

【書類名】 明細書

【発明の名称】 渦電流センサの出力信号処理回路および出力信号処理方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、渦電流センサの出力信号処理回路および出力信号処理方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

渦電流センサは膜厚測定、変位測定等に使用される。以下では、膜厚測定を例にして渦電流センサを説明する。膜厚測定用渦電流センサは、例えば半導体デバイスの製造工程（研磨工程）で用いられる。研磨工程において渦電流センサは、以下のように用いられる。半導体デバイスの高集積化が進むにつれて回路の配線が微細化し、配線間距離もより狭くなりつつある。そこで、被研磨物である半導体ウェハの表面を平坦化することが必要となるが、この平坦化法の一手段として研磨装置により研磨（ポリッシング）することが行われている。

【0003】

研磨装置は、被研磨物を研磨するための研磨パッドを保持するための研磨テーブルと、被研磨物を保持して研磨パッドに押圧するためにトップリングを備える。研磨テーブルとトップリングはそれぞれ、駆動部（例えばモータ）によって回転駆動される。研磨剤を含む液体（スラリー）を研磨パッド上に流し、そこにトップリングに保持された被研磨物を押し当てることにより、被研磨物は研磨される。

【0004】

研磨装置では、被研磨物の研磨が不十分であると、回路間の絶縁がとれず、ショートするおそれが生じ、また、過研磨となった場合は、配線の断面積が減ることによる抵抗値の上昇、又は配線自体が完全に除去され、回路自体が形成されないなどの問題が生じる。このため、研磨装置では、最適な研磨終点を検出することが求められる。

【0005】

このような技術としては、特開2011-23579号に記載のものがある。この技術においては、3個のコイルを用いた渦電流センサが研磨終点を検出するために用いられている。特開2011-23579号の図5に示すように、3個のコイルのうちの検出コイルとダミーコイルは直列回路を構成し、その両端は可変抵抗を含む抵抗ブリッジ回路に接続されている。抵抗ブリッジ回路でバランスの調整を行うことで、膜厚がゼロのときに、抵抗ブリッジ回路の出力がゼロになるようにゼロ点の調整が可能である。抵抗ブリッジ回路の出力は、特開2011-23579号の図6に示すように、同期検波回路に入力される。同期検波回路は、入力された信号から、膜厚の変化に伴う抵抗成分（R）、リアクタンス成分（X）、振幅出力（Z）お

よび位相出力 ($\tan^{-1} R/X$) を取り出す。

【0006】

従来のブリッジ回路を使用した検出方法に関しては、ゼロ点調整時の抵抗値調整量はブリッジ回路を構成する抵抗値全体の大きさに比べて非常に小さい。その結果、抵抗値全体の温度変化量は、ゼロ点調整時の抵抗値調整量と比べると、無視できない量である。温度変化による抵抗値の変化や、抵抗が有する浮遊容量の変化等のために、抵抗の周囲環境の変化に対してブリッジ回路の特性が敏感に影響を受ける。この結果、上述のゼロ点がシフトしやすく、膜厚の測定精度が低下するという問題があった。

【0007】

また、従来の渦電流センサを使用した膜厚の測定方法に関しては、渦電流センサが出力する信号に含まれるノイズが大きい。このため、微小な配線（例えば、Cu配線）を検出する時は、出力信号自体が小さく、出力信号がノイズに埋もれてしまい、膜厚が測れない場合もある。また、出力信号の大きさがノイズより多少大きい場合には、膜厚が測定できるが、膜厚の測定精度が低いという問題がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2011-23579号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

本発明の一形態は、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、周囲環境の変化に対して従来よりも影響を受けにくい渦電流センサの出力信号処理回路および出力信号処理方法を提供することである。

【0010】

本発明の別の形態は、別の問題点を解消すべくなされたもので、その目的は、信号対雑音比(S/N: signal-to-noise ratio)を従来技術よりも改善した渦電流センサの出力信号処理回路および出力信号処理方法を提供することである。

【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、形態1では、渦電流センサと、前記渦電流センサの出力信号を処理する出力信号処理回路とを有し、前記出力信号処理回路は、前記出力信号と、所定の周波数の信号が入力されて、入力された前記2つの信号の乗算を行い、前記乗算によって得られた

出力信号を出力するミキサ回路と、前記ミキサ回路が出力する前記出力信号が入力されて、入力された前記出力信号に含まれる高周波信号をカットして、少なくとも直流信号を出力するローパスフィルタとを有することを特徴とする渦電流センサ組立体という構成を採っている。

【0012】

形態2では、第1、第2の出力信号をそれぞれ出力する第1、第2のコイルを有する渦電流センサが出力する前記第1、第2の出力信号を処理する渦電流センサの出力信号処理回路において、前記第1の出力信号と、所定の周波数の信号が入力されて、入力された前記2つの信号の乗算を行い、前記乗算によって得られた出力信号を出力する第1のミキサ回路と、前記第1のミキサ回路が出力する前記出力信号が入力されて、入力された前記出力信号に含まれる高周波信号をカットして、少なくとも直流信号を出力する第1のローパスフィルタと、前記第2の出力信号と、前記周波数の信号が入力されて、入力された前記2つの信号の乗算を行い、前記乗算によって得られた出力信号を出力する第2のミキサ回路と、前記第2のミキサ回路が出力する前記出力信号が入力されて、入力された前記出力信号に含まれる高周波信号をカットして、少なくとも直流信号を出力する第2のローパスフィルタと、前記第1のローパスフィルタが出力する前記直流信号と前記第2のローパスフィルタが出力する前記直流信号が入力されて、入力された2つの前記直流信号の差を求めて、得られた前記差を出力する第1の減算回路とを有することを特徴とする渦電流センサの出力信号処理回路という構成を採っている。

【0013】

形態3では、前記出力信号処理回路は、前記第1のローパスフィルタが出力する前記直流信号が入力されて、入力された前記直流信号の振幅の大きさを調整して、調整後の直流信号を出力する第1の調整回路を有し、前記第1の減算回路は、前記第1の調整回路が出力する前記直流信号と前記第2のローパスフィルタが出力する前記直流信号が入力されて、入力された2つの前記直流信号の差を求めて、得られた前記差を出力することを特徴とする形態2記載の渦電流センサの出力信号処理回路という構成を採っている。

【0014】

形態4では、前記出力信号処理回路は、前記第1のローパスフィルタが出力する前記直流信号が入力されて、入力された前記直流信号の振幅の大きさを調整して、調整後の直流信号を出力する第1の調整回路と、前記第2のローパスフィルタが出力する前記直流信号が入力されて、入力された前記直流信号の振幅の大きさを調整して、調整後の直流信号を出力する第2の調整回路とを有し、前記第1の減算回路は、前記第1の調整回路が出力する前記直流信号と前記第2の調整回路が出力する前記直流信号が入力されて、入力された2つの前記直流信号の差を求めて、得られた前記差を出力することを特徴とする形態2記載の渦電流センサの出力信号処理回路という構成を採っている。

【 0 0 1 5 】

形態 5 では、前記渦電流センサは、第 3、第 4 の出力信号をそれぞれ出力する第 3、第 4 のコイルを有し、前記出力信号処理回路は、前記第 3 の出力信号と、前記周波数の信号が入力されて、入力された前記 2 つの信号の乗算を行い、前記乗算によって得られた出力信号を出力する第 3 のミキサ回路と、前記第 3 のミキサ回路が出力する前記出力信号が入力されて、入力された前記出力信号に含まれる高周波信号をカットして、少なくとも直流信号を出力する第 3 のローパスフィルタと、前記第 4 の出力信号と、前記周波数の信号が入力されて、入力された前記 2 つの信号の乗算を行い、前記乗算によって得られた出力信号を出力する第 4 のミキサ回路と、前記第 4 のミキサ回路が出力する前記出力信号が入力されて、入力された前記出力信号に含まれる高周波信号をカットして、少なくとも直流信号を出力する第 4 のローパスフィルタと、前記第 3 のローパスフィルタが出力する前記直流信号と前記第 4 のローパスフィルタが出力する前記直流信号が入力されて、入力された 2 つの前記直流信号の差を求めて、得られた前記差を出力する第 2 の減算回路と、前記第 1 の減算回路が出力する前記差と前記第 2 の減算回路が出力する前記差が入力されて、入力された 2 つの前記差を加算してまたは 2 つの前記差の差を求めて、得られた前記和または差を出力する加算回路とを有することを特徴とする形態 2 ないし 4 のいずれか 1 項に記載の渦電流センサの出力信号処理回路という構成を採っている。

【 0 0 1 6 】

形態 6 では、渦電流センサの出力信号と、所定の周波数の信号をミキサ回路に入力して、ミキサ回路によって前記 2 つの信号の乗算を行い、前記乗算によって得られた出力信号を出力するステップと、前記ミキサ回路が出力する前記出力信号をローパスフィルタに入力して、高周波信号をカットして、少なくとも直流信号を出力するステップとを有することを特徴とする渦電流センサの出力信号処理方法という構成を採っている。

【 0 0 1 7 】

形態 7 では、第 1、第 2 の出力信号をそれぞれ出力する第 1、第 2 のコイルを有する渦電流センサが出力する前記第 1、第 2 の出力信号を処理する渦電流センサの出力信号処理方法において、前記第 1 の出力信号と、所定の周波数の信号を第 1 のミキサ回路に入力して、前記第 1 のミキサ回路によって前記 2 つの信号の乗算を行い、前記乗算によって得られた出力信号を出力するステップと、前記第 1 のミキサ回路が出力する前記出力信号を第 1 のローパスフィルタに入力して、前記第 1 のローパスフィルタによって、前記出力信号に含まれる高周波信号をカットして、少なくとも直流信号を出力するステップと、前記第 2 の出力信号と、前記周波数の信号を第 2 のミキサ回路に入力して、前記第 2 のミキサ回路によって前記 2 つの信号の乗算を行い、前記乗算によって得られた出力信号を出力するステップと、前記第 2 のミキサ回路が出力する前記出力信号を第 2 のローパスフィルタに入力して、前記第 2 のローパスフィルタによ

って、前記出力信号に含まれる高周波信号をカットして、少なくとも直流信号を出力するステップと、前記第1のローパスフィルタが出力する前記直流信号と前記第2のローパスフィルタが出力する前記直流信号を第1の減算回路に入力して、前記第1の減算回路によって、2つの前記直流信号の差を求めて、得られた前記差を出力するステップとを有することを特徴とする渦電流センサの出力信号処理方法という構成を採っている。

【0018】

形態8では、前記渦電流センサは、第3、第4の出力信号をそれぞれ出力する第3、第4のコイルを有し、前記出力信号処理方法は、前記第3の出力信号と、前記周波数の信号を第3のミキサ回路に入力して、前記第3のミキサ回路によって前記2つの信号の乗算を行い、前記乗算によって得られた出力信号を出力するステップと、前記第3のミキサ回路の出力信号を第3のローパスフィルタに入力して、前記第3のローパスフィルタによって、前記出力信号に含まれる高周波信号をカットして、少なくとも直流信号を出力するステップと、前記第4の出力信号と、前記周波数の信号を第4のミキサ回路に入力して、前記第4のミキサ回路によって前記2つの信号の乗算を行い、前記乗算によって得られた出力信号を出力するステップと、前記第4のミキサ回路の出力信号を第4のローパスフィルタに入力して、前記第4のローパスフィルタによって、前記出力信号に含まれる高周波信号をカットして、少なくとも直流信号を出力するステップと、前記第3のローパスフィルタが出力する前記直流信号と前記第4のローパスフィルタが出力する前記直流信号を第2の減算回路に入力して、前記第2の減算回路によって、2つの前記直流信号の差を求めて、得られた前記差を出力するステップと、前記第1の減算回路が出力する前記差と前記第2の減算回路が出力する前記差を加算回路に入力して、前記加算回路によって、2つの前記差を加算してまたは2つの前記差の差を求めて、得られた前記和または差を出力するステップとを有することを特徴とする渦電流センサの出力信号処理方法という構成を採っている。

【0019】

形態9では、基板を研磨するための研磨パッドが貼り付けられるように構成される研磨テーブルと、前記研磨テーブルを回転駆動するように構成される駆動部と、前記基板を保持して前記研磨パッドに押圧するように構成される保持部と、前記研磨テーブルの内部に配置され、前記研磨テーブルの回転に伴い、前記基板に形成される導電性膜に形成される渦電流を検出するように構成される前記渦電流センサと、形態2から5のいずれか1項に記載の前記渦電流センサの出力信号処理回路と、前記出力信号処理回路の出力から前記基板の膜厚データを算出するように構成される終点検出コントローラと、を備える研磨装置という構成を採っている。

【0020】

上記課題を解決するために、形態10では、励磁用信号を入力されて磁場を生成可能な励磁

コイルと、前記磁場を検出して検出信号を出力可能な検出コイルとを有する渦電流センサと、前記検出信号を処理する出力信号処理回路とを有し、前記出力信号処理回路は、前記励磁用信号または前記検出信号からノイズを低減するためのノイズ低減信号を生成可能な生成回路と、前記生成回路において生成された前記ノイズ低減信号を前記検出信号に加算して、前記検出信号が含むノイズを低減したノイズ減少信号を生成可能な加算回路とを有することを特徴とする渦電流センサ組立体という構成を採っている。

【 0 0 2 1 】

形態 1 1 では、励磁用信号を入力されて第 1 の磁場を生成可能な第 1 の励磁コイルと、前記第 1 の磁場を検出して第 1 の検出信号を出力可能な第 1 の検出コイルと、前記第 1 の磁場を検出して第 1 のダミー信号を出力可能な第 1 のダミーコイルとを有する渦電流センサが出力する前記第 1 の検出信号と前記第 1 のダミー信号とを処理する渦電流センサの出力信号処理回路において、前記第 1 の検出信号と前記第 1 のダミー信号の差である第 1 の差信号を出力可能な第 1 の抵抗ブリッジ回路と、前記励磁用信号、前記第 1 の検出信号、前記第 1 のダミー信号、前記第 1 の差信号のいずれかからノイズを低減するための第 1 のノイズ低減信号を生成可能な第 1 の生成回路と、前記第 1 の生成回路において生成された前記第 1 のノイズ低減信号を前記第 1 の差信号に加算して、前記第 1 の差信号が含むノイズを低減した第 1 のノイズ減少信号を生成可能な第 1 の加算回路とを有することを特徴とする渦電流センサの出力信号処理回路という構成を採っている。

【 0 0 2 2 】

形態 1 2 では、前記渦電流センサは、前記励磁用信号を入力されて第 2 の磁場を生成可能な第 2 の励磁コイルと、前記第 1 の磁場と前記第 2 の磁場を検出して第 2 の検出信号を出力可能な第 2 の検出コイルと、前記第 1 の磁場と前記第 2 の磁場を検出して第 2 のダミー信号を出力可能な第 2 のダミーコイルとを有し、前記第 1 の検出コイルは、前記第 1 の磁場と前記第 2 の磁場を検出して前記第 1 の検出信号を出力可能であり、前記第 1 のダミーコイルは、前記第 1 の磁場と前記第 2 の磁場を検出して前記第 1 のダミー信号を出力可能であり、前記出力信号処理回路は、前記第 2 の検出信号と前記第 2 のダミー信号の差である第 2 の差信号を出力可能な第 2 の抵抗ブリッジ回路と、前記励磁用信号、前記第 2 の検出信号、前記第 2 のダミー信号、前記第 2 の差信号のいずれかからノイズを低減するための第 2 のノイズ低減信号を生成可能な第 2 の生成回路と、前記第 2 の生成回路において生成された前記第 2 のノイズ低減信号を前記第 2 の差信号に加算して、前記第 2 の差信号が含むノイズを低減した第 2 のノイズ減少信号を生成可能な第 2 の加算回路と、前記第 1 のノイズ減少信号と前記第 2 のノイズ減少信号とを加算可能な第 3 の加算回路とを有することを特徴とする形態 1 1 記載の渦電流センサの出力信号処理回路という構成を採っている。

【0023】

形態13では、励磁用信号を入力されて第1、第2の磁場をそれぞれ生成可能な第1、第2の励磁コイルと、前記第1の磁場と前記第2の磁場を検出して、それぞれ第1、第2の検出信号を出力可能な第1、第2の検出コイルと、前記第1の磁場と前記第2の磁場を検出して、それぞれ第1、第2のダミー信号を出力可能な第1、第2のダミーコイルとを有する渦電流センサが出力する前記第1、第2の検出信号と前記第1、第2のダミー信号とを処理する渦電流センサの出力信号処理回路において、前記第1の検出信号と前記第1のダミー信号の差である第1の差信号を出力可能な第1の抵抗ブリッジ回路と、前記第2の検出信号と前記第2のダミー信号の差である第2の差信号を出力可能な第2の抵抗ブリッジ回路と、前記第1の差信号と前記第2の差信号とを加算可能な第3の加算回路とを有することを特徴とする渦電流センサの出力信号処理回路という構成を採っている。

【0024】

形態14では、励磁用信号を入力されて磁場を生成可能な励磁コイルと、前記磁場を検出して検出信号を出力可能な検出コイルとを有する渦電流センサが出力する前記検出信号を処理する渦電流センサの出力信号処理方法において、前記励磁用信号または前記検出信号からノイズを低減するためのノイズ低減信号を生成するステップと、前記生成された前記ノイズ低減信号を前記検出信号に加算して、前記検出信号が含むノイズを低減したノイズ減少信号を生成するステップとを有することを特徴とする渦電流センサの出力信号処理方法という構成を採っている。

【0025】

形態15では、励磁用信号を入力されて第1の磁場を生成可能な第1の励磁コイルと、前記第1の磁場を検出して第1の検出信号を出力可能な第1の検出コイルと、前記第1の磁場を検出して第1のダミー信号を出力可能な第1のダミーコイルとを有する渦電流センサが出力する前記第1の検出信号と前記第1のダミー信号とを処理する渦電流センサの出力信号処理方法において、前記第1の検出信号と前記第1のダミー信号の差である第1の差信号を出力するステップと、前記励磁用信号、前記第1の検出信号、前記第1のダミー信号、前記第1の差信号のいずれかからノイズを低減するための第1のノイズ低減信号を生成するステップと、生成された前記第1のノイズ低減信号を前記第1の差信号に加算して、前記第1の差信号が含むノイズを低減した第1のノイズ減少信号を生成するステップとを有することを特徴とする渦電流センサの出力信号処理方法という構成を採っている。

【0026】

形態16では、前記渦電流センサは、前記励磁用信号を入力されて第2の磁場を生成可能な第2の励磁コイルと、前記第1の磁場と前記第2の磁場を検出して第2の検出信号を出力可能

な第2の検出コイルと、前記第1の磁場と前記第2の磁場を検出して第2のダミー信号を出力可能な第2のダミーコイルとを有し、前記第1の検出コイルは、前記第1の磁場と前記第2の磁場を検出して前記第1の検出信号を出力可能であり、前記第1のダミーコイルは、前記第1の磁場と前記第2の磁場を検出して前記第1のダミー信号を出力可能であり、前記出力信号処理方法は、前記第2の検出信号と前記第2のダミー信号の差である第2の差信号を出力するステップと、前記励磁用信号、前記第2の検出信号、前記第2のダミー信号、前記第2の差信号のいずれかからノイズを低減するための第2のノイズ低減信号を生成するステップと、生成された前記第2のノイズ低減信号を前記第2の差信号に加算して、前記第2の差信号が含むノイズを低減した第2のノイズ減少信号を生成するステップと、前記第1のノイズ減少信号と前記第2のノイズ減少信号とを加算するステップとを有することを特徴とする形態15記載の渦電流センサの出力信号処理方法という構成を採っている。

【0027】

形態17では、励磁用信号を入力されて第1、第2の磁場をそれぞれ生成可能な第1、第2の励磁コイルと、前記第1の磁場と前記第2の磁場を検出して、それぞれ第1、第2の検出信号を出力可能な第1、第2の検出コイルと、前記第1の磁場と前記第2の磁場を検出して、それぞれ第1、第2のダミー信号を出力可能な第1、第2のダミーコイルとを有する渦電流センサが出力する前記第1、第2の検出信号と前記第1、第2のダミー信号とを処理する渦電流センサの出力信号処理方法において、前記第1の検出信号と前記第1のダミー信号の差である第1の差信号を出力するステップと、前記第2の検出信号と前記第2のダミー信号の差である第2の差信号を出力するステップと、前記第1の差信号と前記第2の差信号とを加算するステップとを有することを特徴とする渦電流センサの出力信号処理方法という構成を採っている。

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1】図1は、本発明の一実施形態に係る研磨装置の全体構成を示す概略図である。

【図2】図2は、研磨テーブルと渦電流センサと半導体ウェハとの関係を示す平面図である。

【図3A】図3Aは渦電流センサ組立体の構成を示すブロック図である。

【図3B】図3Bは渦電流センサ組立体の等価回路図である。

【図4】図4は、本実施形態の渦電流センサ組立体を示すブロック図である。

【図5】図5は、本実施形態の渦電流センサ50におけるコイルの構成例を示す概略図である。

【図6】図6は、他の実施形態における出力信号処理回路を示す概略図である。

【図7】図7は、抵抗ブリッジ回路を示す図である。

【図 8】図 8 は、他の実施形態の渦電流センサの構成例を示す概略図である。

【図 9】図 9 は、渦電流センサにおける励磁コイルの接続例を示す概略図である。

【図 10】図 10 は、渦電流センサによる磁場を示す図である。

【図 11】図 11 は、他の実施形態における出力信号処理回路を示す概略図である。

【図 12】図 12 は、図 8 に示す他の実施形態の渦電流センサの斜視図である。

【図 13】図 13 は、デジタルシグナルプロセッサの内部の回路構成を示す概略図である。

。

【図 14 A】図 14 A は、渦電流センサの出力信号と、交流信号源の信号との間にある位相差によって、直流信号がどのように変化するかを示す図である。

【図 14 B】図 14 B は、渦電流センサの出力信号と、交流信号源の信号との間にある位相差によって、直流信号がどのように変化するかを示す図である。

【図 14 C】図 14 C は、渦電流センサの出力信号と、交流信号源の信号との間にある位相差によって、直流信号がどのように変化するかを示す図である。

【図 14 D】図 14 D は、渦電流センサの出力信号と、交流信号源の信号との間にある位相差によって、直流信号がどのように変化するかを示す図である。

【図 15】図 15 は、本発明の別の一実施形態に係る研磨装置の全体構成を示す概略図である。

【図 16】図 16 は、本実施形態の渦電流センサ組立体を示すブロック図である。

【図 17】図 17 は、本実施形態のノイズキャンセリングの原理を示すブロック図である。

。

【図 18】図 18 は、渦電流センサの同期検波回路を示すブロック図である。

【図 19 A】図 19 A は、渦電流センサにおける各コイルの接続例を示す概略図である。

【図 19 B】図 19 B は、渦電流センサにおける各コイルの接続例を示す概略図である。

【図 19 C】図 19 C は、渦電流センサにおける各コイルの接続例を示す概略図である。

【図 20】図 20 は、図 8 に示す渦電流センサの斜視図と、接続例を示すブロック図である。

【図 21】図 21 は、図 8 に示す渦電流センサの斜視図と、接続例を示すブロック図である。

【図 22】図 22 は、検出コイルの出力信号に含まれるノイズと信号の強度分布を周波数に対して示すスペクトルである。

【図 23】図 23 は、検出コイルの出力信号に含まれるノイズと信号の強度分布を周波数に対して示すスペクトルである。

【発明を実施するための形態】

【0029】

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ことがある。また、各実施形態で示される特徴は、互いに矛盾しない限り他の実施形態にも適用可能である。

【0030】

図1は、本発明の一実施形態に係る渦電流センサ50が適用される研磨装置の全体構成を示す概略図である。図1に示すように、研磨装置は、研磨テーブル100と、研磨対象物である半導体ウェハ等の基板を保持して研磨テーブル上の研磨面に押圧するトップリング(保持部)1とを備えている。

【0031】

研磨テーブル100は、テーブル軸100aを介してその下方に配置される駆動部であるモータ(図示せず)に連結されており、そのテーブル軸100a周りに回転可能になっている。研磨テーブル100の上面には研磨パッド101が貼付されており、研磨パッド101の表面101aが半導体ウェハWHを研磨する研磨面を構成している。研磨テーブル100の上方には研磨液供給ノズル102が設置されており、この研磨液供給ノズル102によって研磨テーブル100上の研磨パッド101上に研磨液Qが供給されるようになっている。図1に示すように、研磨テーブル100の内部には、渦電流センサ50が埋設されている。

【0032】

トップリング1は、半導体ウェハWHを研磨面101aに対して押圧するトップリング本体142と、半導体ウェハWHの外周縁を保持して半導体ウェハWHがトップリングから飛び出さないようにするリテーナリング143とから基本的に構成されている。

【0033】

トップリング1は、トップリングシャフト111に接続されており、このトップリングシャフト111は、上下動機構124によりトップリングヘッド110に対して上下動するようになっている。このトップリングシャフト111の上下動により、トップリングヘッド110に対してトップリング1の全体を昇降させ位置決めするようになっている。なお、トップリングシャフト111の上端にはロータリージョイント125が取り付けられている。

【0034】

トップリングシャフト111およびトップリング1を上下動させる上下動機構124は、軸受126を介してトップリングシャフト111を回転可能に支持するブリッジ128と、ブリッジ128に取り付けられたボールねじ132と、支柱130により支持された支持台129と、支持台129上に設けられたサーボモータ138とを備えている。サーボモータ138を支持する支持台129は、支柱130を介してトップリングヘッド110に固定されている。

【0035】

ボールねじ132は、サーボモータ138に連結されたねじ軸132aと、このねじ軸132aが螺合するナット132bとを備えている。トップリングシャフト111は、ブリッジ128と一体となって上下動するようになっている。したがって、サーボモータ138を駆動すると、ボールねじ132を介してブリッジ128が上下動し、これによりトップリングシャフト111およびトップリング1が上下動する。

【0036】

また、トップリングシャフト111はキー（図示せず）を介して回転筒112に連結されている。この回転筒112はその外周部にタイミングプーリ113を備えている。トップリングヘッド110にはトップリング用モータ114が固定されており、上記タイミングプーリ113は、タイミングベルト115を介してトップリング用モータ114に設けられたタイミングプーリ116に接続されている。したがって、トップリング用モータ114を回転駆動することによってタイミングプーリ116、タイミングベルト115、およびタイミングプーリ113を介して回転筒112およびトップリングシャフト111が一体に回転し、トップリング1が回転する。なお、トップリングヘッド110は、フレーム（図示せず）に回転可能に支持されたトップリングヘッドシャフト117によって支持されている。

【0037】

図1に示すように構成された研磨装置において、トップリング1は、その下面に半導体ウェハWHなどの基板を保持できるようになっている。トップリングヘッド110はトップリングヘッドシャフト117を中心として旋回可能に構成されており、下面に半導体ウェハWHを保持したトップリング1は、トップリングヘッド110の旋回により半導体ウェハWHの受取位置から研磨テーブル100の上方に移動される。そして、トップリング1を下降させて半導体ウェハWHを研磨パッド101の表面（研磨面）101aに押圧する。このとき、トップリング1および研磨テーブル100をそれぞれ回転させ、研磨テーブル100の上方に設けられた研磨液供給ノズル102から研磨パッド101上に研磨液Qを供給する。このように、半導体ウェハWHを研磨パッド101の研磨面101aに摺接させて半導体ウェハWHの表面を研磨する。

【0038】

図2は、研磨テーブル100と渦電流センサ50と半導体ウェハWHとの関係を示す平面図である。図2に示すように、渦電流センサ50は、トップリング1に保持された研磨中の半導体ウェハWHの中心Cwを通過する位置に設置されている。研磨テーブル100は回転中心160の周りを回転する。例えば、渦電流センサ50は、半導体ウェハWHの下方を通過している間、通過軌跡（走査線）上で連続的に半導体ウェハWHのCu層等の金属膜（導電性膜）を

検出できるようになっている。

【0039】

次に、本発明に係る研磨装置が備える渦電流センサ50について、添付図面を用いてより詳細に説明する。

【0040】

図3A、3Bは、渦電流センサ50を含む渦電流センサ組立体の構成を示す図であり、図3Aは渦電流センサ組立体の構成を示すブロック図であり、図3Bは渦電流センサ組立体の等価回路図である。図3Aに示すように、渦電流センサ50は、検出対象の金属膜（または導電性膜）mfの近傍に配置され、そのコイルに交流信号源52が接続されている。ここで、検出対象の金属膜（または導電性膜）mfは、例えば半導体ウェハWH上に形成されたCu、Al、Au、Wなどの薄膜である。渦電流センサ50は、検出対象の金属膜（または導電性膜）に対して、例えば1.0～4.0mm程度の近傍に配置される。コイルはフェライト等の磁性体（図示せず）に通常、巻かれている。渦電流センサ50は空芯コイルでもよい。

【0041】

渦電流センサの信号検出には、金属膜（または導電性膜）mfに渦電流が生じることにより、インピーダンスが変化し、このインピーダンス変化から金属膜（または導電性膜）を検出するインピーダンスタイプと呼ばれるものがある。即ち、インピーダンスタイプでは、図3Bに示す等価回路において、渦電流 I_2 が変化することで、インピーダンスZが変化し、信号源（固定周波数発振器）52から見たインピーダンスZが変化すると、出力信号処理回路54でこのインピーダンスZの変化を検出し、金属膜（または導電性膜）の変化を検出することができる。

【0042】

インピーダンスタイプの渦電流センサでは、信号出力X、Y、位相、合成インピーダンスZ（ $=X + iY$ ）、を取り出すことが可能である。インピーダンス成分X、Y等から、金属膜（または導電性膜）Cu、Al、Au、Wの膜厚に関する測定情報が得られる。渦電流センサ50は、図1に示すように研磨テーブル100の内部の表面付近の位置に内蔵することができ、研磨対象の半導体ウェハに対して研磨パッドを介して対面するように位置し、半導体ウェハ上の金属膜（または導電性膜）に流れる渦電流から金属膜（または導電性膜）の変化を検出することができる。

【0043】

渦電流センサの周波数は、単一電波、AM変調電波、関数発生器の掃引出力等を用いることができ、金属膜の膜種に適合させて、感度の良い発振周波数や変調方式を選択することが好ましい。

【0044】

以下に、インピーダンスタイプの渦電流センサについて具体的に説明する。交流信号源52は、2～30MHz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52により供給される交流電圧により、渦電流センサ50に電流 I_1 が流れる。金属膜（または導電性膜）mfの近傍に配置された渦電流センサ50に電流が流れることで、この磁束が金属膜（または導電性膜）mf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、金属膜（または導電性膜）mf中に渦電流 I_2 が流れる。ここでR1は渦電流センサを含む一次側の等価抵抗であり、L1は同様に渦電流センサを含む一次側の自己インダクタンスである。金属膜（または導電性膜）mf側では、R2は渦電流損に相当する等価抵抗であり、L2はその自己インダクタンスである。交流信号源52の端子a、bから渦電流センサ側を見たインピーダンスZは、金属膜（または導電性膜）mf中に形成される渦電流損の大きさによって変化する。

【0045】

図1は、渦電流センサ50の出力信号処理回路54も示す。図2に示すように、研磨装置の研磨テーブル100は矢印で示すようにその軸心170まわりに回転可能になっている。この研磨テーブル100内には、交流信号源52および出力信号処理回路54が埋め込まれている。渦電流センサ50と交流信号源52および出力信号処理回路54を一体型としてもよい。出力信号処理回路54の出力信号172は、研磨テーブル100のテーブル軸100a内を通り、テーブル軸100aの軸端に設けられたロータリジョイント（図示せず）を経由して、出力信号172により終点検出コントローラ246に接続されている。なお、交流信号源52および出力信号処理回路54のうちの少なくとも一方を研磨テーブル100外に配置してもよい。

【0046】

図4に、渦電流センサ組立体174を示す。渦電流センサ組立体174は、渦電流センサ50と、渦電流センサ50の出力信号176を処理する出力信号処理回路54とを有する。出力信号処理回路54は、出力信号176と、所定の周波数の信号180が入力される。ミキサ回路178は、入力された前記2つの信号（出力信号176と信号180）の乗算を行い、乗算によって得られた出力信号182を出力する。出力信号処理回路54は、さらにローパスフィルタ184を有する。ローパスフィルタ184は、ミキサ回路178が出力する出力信号182が入力されて、入力された出力信号182に含まれる高周波信号をカットして、少なくとも直流信号を含む出力信号186を出力する。

【0047】

渦電流センサ50は、半導体ウェハWH上の金属膜（または導電性膜）に渦電流を形成するための励磁コイルと、生成された渦電流を検出するための検出コイルとを有する。例えば、円

筒状のフェライトコアに、励磁コイルと検出コイルが軸方向に配置される。励磁コイルは、交流信号源 5 2 に接続される。励磁コイルは、交流信号源 5 2 より供給される電圧の形成する磁界により、渦電流センサ 5 0 の近傍に配置される半導体ウェハ W H 上の金属膜（または導電性膜） m f に渦電流を形成する。フェライトコアの上側（金属膜（または導電性膜）側）には、検出コイルが配置され、金属膜（または導電性膜）に形成される渦電流により発生する磁界を検出する。図 4 は、励磁コイルは図示していない。ミキサ回路 1 7 8 には、交流信号源 5 2 から、励磁コイルに供給される電圧と同一の周波数を有する信号 1 8 0 が供給される。

【 0 0 4 8 】

ミキサ回路 1 7 8 は、アナログ乗算器もしくはデジタル乗算器である。ミキサ回路 1 7 8 は、2 つの同一（または異なる）周波数成分 f_1 、 f_2 の電圧信号を入力されて、両信号に対して乗算の演算を行う回路である。ミキサ回路 1 7 8 は、混合器、混合回路、周波数混合器、周波数混合回路、ミキサ、周波数変換器、周波数変換回路、周波数コンバータ等とも呼ばれる。ミキサ回路の用途は、入力された 2 つの信号を掛け合わせ、2 つの信号が有するそれぞれの周波数の和や差の周波数を取り出す（周波数変換を行う）ものである。入力された 2 つの信号が有するそれぞれの周波数が同一である場合は、2 つの信号の位相差を取り出すことができる。

【 0 0 4 9 】

ミキサ回路 1 7 8 は、入力ポート 1 9 8 と、ローカルオシレータポート 2 0 0 と、出力ポート 2 0 2 を有する。入力ポート 1 9 8 に渦電流センサ 5 0 からの出力信号 1 7 6 が入力される。ローカルオシレータポート 2 0 0 には、交流信号源 5 2 からの信号 1 8 0 が入力される。出力信号 1 7 6 と信号 1 8 0 は、同一周波数である。ミキサ回路 1 7 8 で出力信号 1 7 6 と信号 1 8 0 を乗算した結果は、出力ポート 2 0 2 から出力される。出力ポート 2 0 2 が出力する出力信号 1 8 2 は、ローパスフィルタ 1 8 4 に入力される。ローパスフィルタ 1 8 4 を通すことで、渦電流センサ 5 0 が検出した出力信号 1 7 6 と、信号 1 8 0 との位相変化量（位相差）を直流信号（出力信号 1 8 6）として取り出す。ローパスフィルタのカットオフ周波数は、例えば 0. 1 ～ 1 0 H z の範囲で設定することができる。

【 0 0 5 0 】

ミキサ回路 1 7 8 の行う処理は次の通りである。出力信号 1 7 6 を $A \cdot \sin(\omega t + \theta_A)$ とする。信号 1 8 0 を $B \cdot \sin(\omega t + \theta_B)$ とする。A, B は、それぞれ出力信号 1 7 6, 信号 1 8 0 の振幅（例えば、m v）、 ω は周波数（1/ s）、t は時間(S)、 θ_A 、 θ_B は、それぞれ出力信号 1 7 6, 信号 1 8 0 の位相である。ミキサ回路 1 7 8 の出力信号 1 8 2 は、以下のようになる。 $A \cdot \sin(\omega t + \theta_A) \cdot B \cdot \sin(\omega t + \theta_B) = (1/2)A \cdot B \cdot \cos(\omega t + \theta_A + \omega t + \theta_B) + (1/2) A \cdot B \cdot \cos(\omega t + \theta_A - \omega t - \theta_B) = (1/2)A \cdot B \cdot \cos(2\omega t + \theta_A + \theta_B) + (1/2)A \cdot B \cdot \cos(\theta_A - \theta_B)$ である。この信号をローパスフィルタ 1 8 4 に入力すると、上式の第 1 項は除去されて

、ローパスフィルタ 184 の出力信号 186 は、上式の第 2 項 $(1/2)A \cdot B \cdot \cos(\theta_A - \theta_B)$ すなわち、直流信号となる。

【0051】

本実施形態では、渦電流センサ 50 の出力信号 176 が抵抗ブリッジ回路を介さずに、ミキサ回路 178 に接続されている。温度変化の影響受けやすい抵抗ブリッジ回路を用いていないため、周囲環境の変化に対して従来よりも影響を受けにくい渦電流センサ 50 の出力信号処理回路 54 を提供できる。

【0052】

また、特開 2011-23579 号では、その図 6 に示すように、抵抗ブリッジ回路の端子で検出された信号は、高周波アンプおよび位相シフト回路を経て、 $\cos$ 同期検波回路および $\sin$ 同期検波回路からなる同期検波部により検出信号の $\cos$ 成分と $\sin$ 成分とが取り出される。同期検波された信号は、ローパスフィルタにより、信号成分以上の不要な高周波成分が除去される。このため、コイルが出力する高周波出力は、長い処理ステップを経た後に低周波信号となる。高周波信号であるステップが多いため、従来は信号にノイズが多くなる。

【0053】

本実施形態では、渦電流センサ 50 のコイルが出力する高周波出力（出力信号 176）は、ミキサ回路 178 とローパスフィルタ 184 により低周波信号（出力信号 186）となる。出力信号 176 が高周波信号であるステップ数が少ないため、従来と比較して出力信号 186 はノイズが少なくなる。すなわち、周囲の影響を受けやすい高周波信号から、取り扱いやすい直流信号に早い段階（少ないステップ）で変換されるため、安定した信号測定を行うことができる。

【0054】

図 4 において、信号 180 と出力信号 176 を比較したときに、2 つの信号間で位相変化が大きく、振幅変化が小さい場合は、位相変化により膜厚を測定することが好ましい。2 つの信号間で位相変化が小さく、振幅変化が小さい場合は、振幅変化により膜厚を測定することが好ましい。2 つの信号間で位相変化が大きく、振幅変化も大きい場合は、位相変化と振幅変化により膜厚を測定することが好ましい。また、信号 180 は、正弦波でなくてもよい。例えば、出力信号 176 と同一の周波数の矩形波を用いてもよい。さらに、出力信号 176 と信号 180 の周波数は厳密に同一でなくても、実質的に同一であればよい。出力信号 176 と信号 180 の周波数のずれが大きい場合、出力信号 176 と信号 180 の周波数のうちの少なくとも一方の周波数を、周波数調整回路により調整した後に、ミキサ回路 178 に入力してもよい。

【0055】

次に、本発明の別の実施形態について説明する。図 5 は、本実施形態の渦電流センサ 50 に

におけるコイルの構成例を示す概略図である。本形態では、渦電流センサ 50 は、金属膜（または導電性膜）に渦電流を形成するための励磁コイル 72 と、金属膜（または導電性膜）の渦電流を検出するための検出コイル 73 と、ダミーコイル 74 とを有する。渦電流センサ 50 は、フェライトコア 71 に巻回された 3 層のコイル、励磁コイル 72、検出コイル 73、ダミーコイル 74 により構成されている。なお、渦電流センサ 50 の構造としては、図 4、5、8 に示す構造に限られず、任意の構造を採用することができる。

【0056】

ここで中央の励磁コイル 72 は、交流信号源 52 に接続される。この励磁コイル 72 は、交流信号源 52 より供給される電圧の形成する磁界により、半導体ウェハ WH の近傍に配置される半導体ウェハ WH 上の金属膜（または導電性膜）m f に渦電流を形成する。フェライトコア 71 の上側（金属膜（または導電性膜）側）には、検出コイル 73 が配置され、金属膜（または導電性膜）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 72 の検出コイル 73 と反対側にはダミーコイル 74 が配置されている。励磁コイル 72、検出コイル 73、ダミーコイル 74 は例えば、同じターン数（1～20 t）のコイルである。ダミーコイル 74 を設ける理由は、金属膜（または導電性膜）が存在しないときには、出力信号処理回路 54 の出力がゼロとなるように調整可能とするためである。

【0057】

図 6 は、本実施形態における出力信号処理回路 54 を示す概略図である。渦電流センサ 50 は、出力信号 176（第 1 の出力信号）、出力信号 188（第 2 の出力信号）をそれぞれ出力する検出コイル 73（第 1 のコイル）、ダミーコイル 74（第 2 のコイル）を有する。出力信号処理回路 54 は、渦電流センサ 50 が出力する出力信号 182、出力信号 188 を処理する。出力信号処理回路 54 は、出力信号 176 と、交流信号源 52 が出力する所定の周波数の信号 180 が入力されて、入力された 2 つの出力信号 176、信号 180 の乗算を行い、乗算によって得られた出力信号 182 を出力するミキサ回路 1781（第 1 のミキサ回路）と、ミキサ回路 1781 が出力する出力信号 182 が入力されて、入力された出力信号 182 に含まれる高周波信号をカットして、少なくとも直流信号を含む出力信号 1861 を出力するローパスフィルタ 1841（第 1 のローパスフィルタ）を有する。

【0058】

出力信号処理回路 54 は、さらに出力信号 188 と、交流信号源 52 が出力する所定の周波数の信号 180 が入力されて、入力された出力信号 188 と信号 180 の乗算を行い、乗算によって得られた出力信号 190 を出力するミキサ回路 1782（第 2 のミキサ回路）と、ミキサ回路 1782 が出力する出力信号 190 が入力されて、入力された出力信号 190 に含まれる高周波信号をカットして、少なくとも直流信号を含む出力信号 1862 を出力するローパス

フィルタ 1 8 4 2（第 2 のローパスフィルタ）とを有する。

【 0 0 5 9 】

出力信号処理回路 5 4 は、さらにローパスフィルタ 1 8 4 1 が出力する出力信号 1 8 6 1 とローパスフィルタ 1 8 4 2 が出力する出力信号 1 8 6 2 が入力されて、入力された 2 つの出力信号 1 8 6 1 と出力信号 1 8 6 2 の差を求めて、得られた差を出力する第 1 の減算回路 1 9 6 1（減算回路）とを有する。

【 0 0 6 0 】

また、出力信号処理回路 5 4 は、ローパスフィルタ 1 8 4 1 が出力する出力信号 1 8 6 1（直流信号）が入力されて、入力された出力信号 1 8 6 1 の振幅の大きさを調整して、調整後の直流信号 1 9 2 1 を出力する第 1 の調整回路 1 9 4 1 と、ローパスフィルタ 1 8 4 2 が出力する出力信号 1 8 6 2（直流信号）が入力されて、入力された出力信号 1 8 6 2 の振幅の大きさを調整して、調整後の直流信号 1 9 2 2 を出力する第 2 の調整回路 1 9 4 2 とを有し、さらに第 1 の調整回路 1 9 4 1 が出力する調整後の直流信号 1 9 2 1 と、第 2 の調整回路 1 9 4 2 が出力する調整後の直流信号 1 9 2 2 の差を求めて、得られた差を出力する第 1 の減算回路 1 9 6 1（減算回路）とを有してもよい。

【 0 0 6 1 】

本実施形態でも、渦電流センサ 5 0 の出力信号 1 7 6，出力信号 1 8 8 が抵抗ブリッジ回路を介さずに、ミキサ回路 1 7 8 1，ミキサ回路 1 7 8 2 に接続されている。温度変化の影響受けやすい抵抗ブリッジ回路を用いていないため、周囲環境の変化に対して従来よりも影響を受けにくい渦電流センサの出力信号処理回路 5 4 を提供できる。

【 0 0 6 2 】

本形態では第 1 の減算回路 1 9 6 1 により、膜厚変化に対応した微小な信号変化を 2 個のコイルを用いて取り出すという従来のブリッジ回路を用いた検出方法と同様なことができる。すなわち、2 つの直流信号の差を求めて、膜厚変化に対応した微小な信号変化分のみを検出することが可能である。

【 0 0 6 3 】

ここで、比較例としてのブリッジ回路を用いた検出方法を図 7 により説明する。図 7 に示すように、3 個の励磁コイル 7 2，検出コイル 7 3，ダミーコイル 7 4 のうちの検出コイル 7 3 とダミーコイル 7 4 は直列回路を構成する。その両端は、可変抵抗 2 0 6 と可変抵抗 2 0 8 と固定抵抗 2 1 0 を含む抵抗ブリッジ回路 2 0 4 に接続されている。抵抗ブリッジ回路 2 0 4 の可変抵抗 2 0 6 と可変抵抗 2 0 8 でバランスの調整を行うことで、膜厚がゼロのときに、抵抗ブリッジ回路 2 0 4 の出力がゼロになるようにゼロ点の調整が可能である。抵抗ブリッジ回路 2 0 4 の出力は、図 7 に示すように、同期検波回路 2 1 4 に入力される。同期検波回路 2 1 4

は、入力された信号から、膜厚の変化に伴う抵抗成分（R）、リアクタンス成分（X）、振幅出力（Z）および位相出力（ $\tan^{-1} R/X$ ）を取り出す。この回路には、抵抗が有する浮遊容量212が発生する。

【0064】

可変抵抗206、可変抵抗208の抵抗値の調整量、すなわち、ゼロ点調整時の抵抗値調整量はブリッジ回路を構成する抵抗値全体の大きさに比べて非常に小さい。その結果、抵抗値全体の温度変化量は、ゼロ点調整量と比べると、無視できない量である。温度変化による抵抗値の変化や、抵抗が有する浮遊容量等のために、抵抗の周囲環境の変化に対して抵抗ブリッジ回路204の特性が敏感に影響を受ける。この結果、上述のゼロ点がシフトしやすく、膜厚の測定精度が低下するという問題がある。

【0065】

図6の説明に戻る。第1の減算回路1961は、第1の調整回路1941が出力する直流信号1921と第2の調整回路1942が出力する直流信号1922が入力されて、入力された2つの直流信号1921、直流信号1922の差を求めて、得られた差を出力する。第1の調整回路1941、第2の調整回路1942を設ける理由は、次の通りである。

【0066】

調整回路と減算回路により、膜厚変化に対応した微小な信号変化を2個のコイル（検出コイル73、ダミーコイル74）を用いて取り出すという従来の抵抗ブリッジ回路を用いた検出方法と同等の性能を維持することができる。すなわち、少なくとも1個のコイル（ただし、図6では2個の検出コイル73、ダミーコイル74）からの位相検波信号のレベルを調整回路により調整した後に減算して、膜厚変化に対応した微小な信号変化分のみを検出する。調整回路により、調整回路が無い場合と比べてゼロ点調整の精度を改善することができる。これにより、既述のゼロ点からの信号の微弱変化を取り出すことができる。第1の調整回路1941、第2の調整回路1942のうちの一方のみを設けることとしてもよい。なぜならば、一方の調整回路のみでも、位相検波信号のレベルを調整回路により調整して、ゼロ点調整が可能な場合があるからである。

【0067】

第1の調整回路1941と第2の調整回路1942は、例えばアッテネータである。アッテネータとは、アッテネータに入力される信号を適切な信号レベル（振幅）に減衰させる回路素子および装置をいう。第1の調整回路1941と第2の調整回路1942は、例えば増幅器でもよい。第1の調整回路1941、第2の調整回路1942を設ける理由としては、コイルの特性に起因した理由以外に、以下もある。

【0068】

ミキサ回路やローパスフィルタは、入力信号の振幅を増幅または減衰して出力する場合がある。その場合は、ミキサ回路やローパスフィルタの出力の振幅を調整するために、第１の調整回路１９４１と第２の調整回路１９４２が必要となる場合がある。

【００６９】

次に、本発明の別の実施形態について説明する。図８、９は、本実施形態の渦電流センサ５０の構成例及び渦電流センサにおける励磁コイルの接続例を示す概略図である。導電性膜が形成された基板の近傍に配置される渦電流センサ５０は、ポットコア６０と、６個のコイル８６０、８６２、８６４、８６６、８６８、８７０により構成されている。磁性体であるポットコア６０は、底面部６１ａ（底部磁性体）と、底面部６１ａの中央に設けられた磁心部６１ｂ（中央磁性体）と、底面部６１ａの周辺部に設けられた周壁部６１ｃ（周辺部磁性体）とを有する。周壁部６１ｃは、磁心部６１ｂを囲うように底面部６１ａの周辺部に設けられる壁部である。本実施形態では、底面部６１ａは、円形のディスク形状であり、磁心部６１ｂは、中実な円柱形状であり、周壁部６１ｃは、底面部６１ａを囲うシリンダ形状である。

【００７０】

前記６個のコイル８６０、８６２、８６４、８６６、８６８、８７０のうち中央のコイル８６０、８６２は、交流信号源５２に接続される励磁コイルである。この励磁コイル８６０、８６２は、交流信号源５２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上の金属膜（または導電性膜）ｍｆに渦電流を形成する。励磁コイル８６０、８６２の金属膜側には、検出コイル８６４、８６６が配置され、金属膜に形成される渦電流により発生する磁界を検出する。励磁コイル８６０、８６２を挟んで検出コイル８６４、８６６と反対側にはダミーコイル８６８、８７０が配置されている。

【００７１】

励磁コイル８６０は、磁心部６１ｂの外周に配置され、磁場を生成可能な内部コイルであり、導電性膜に渦電流を形成する。励磁コイル８６２は、周壁部６１ｃの外周に配置され、磁場を生成可能な外部コイルであり、導電性膜に渦電流を形成する。検出コイル８６４は、磁心部６１ｂの外周に配置され、磁場を検出可能であり、導電性膜に形成される渦電流を検出する。検出コイル８６６は、周壁部６１ｃの外周に配置され、磁場を検出可能であり、導電性膜に形成される渦電流を検出する。

【００７２】

渦電流センサは、導電性膜に形成される渦電流を検出するダミーコイル８６８、８７０を有する。ダミーコイル８６８は、磁心部６１ｂの外周に配置され、磁場を検出可能である。ダミーコイル８７０は、周壁部６１ｃの外周に配置され、磁場を検出可能である。検出コイルとダミーコイルは、本実施形態では、底面部６１ａの外周および周壁部６１ｃの外周に配置されて

いるが、検出コイルとダミーコイルは、底面部 6 1 a の外周および周壁部 6 1 c の外周の一方のみに配置してもよい。

【 0 0 7 3 】

磁心部 6 1 b の軸方向は、基板上の導電性膜に直交し、検出コイル 8 6 4, 8 6 6 と励磁コイル 8 6 0, 8 6 2 とダミーコイル 8 6 8, 8 7 0 は、磁心部 6 1 b の軸方向に異なる位置に配置され、かつ磁心部 6 1 b の軸方向に、基板上の導電性膜に近い位置から遠い位置に向かって、検出コイル 8 6 4, 8 6 6、励磁コイル 8 6 0, 8 6 2、ダミーコイル 8 6 8, 8 7 0 の順に配置される。検出コイル 8 6 4, 8 6 6、励磁コイル 8 6 0, 8 6 2、ダミーコイル 8 6 8, 8 7 0 からは、それぞれ、外部と接続するためのリード線（図 1 1 に示す）が出ている。

【 0 0 7 4 】

図 8 は、磁心部 6 1 b の中心軸 8 7 2 を通る平面における断面図である。磁性体であるポットコア 6 0 は、円板形状の底面部 6 1 a と、底面部 6 1 a の中央に設けられた円柱形状の磁心部 6 1 b と、底面部 6 1 a の周囲に設けられた円筒形状の周壁部 6 1 c とを有する。ポットコア 6 0 の寸法の 1 例としては、底面部 6 1 a の直径 L E 1 は約 1 c m ～ 5 c m、渦電流センサ 5 0 の高さ L E 2 は約 1 c m から 5 c m である。周壁部 6 1 c の外径は、図 1 8 では高さ方向に同一である円筒形状であるが、底面部 6 1 a から離れる方向に、すなわち先端に向かって細くなる先細形状（テーパ形状）でもよい。

【 0 0 7 5 】

検出コイル 8 6 4, 8 6 6、励磁コイル 8 6 0, 8 6 2、ダミーコイル 8 6 8, 8 7 0 に使用される導線は、銅、マンガン線、又はニクロム線である。マンガン線やニクロム線を使用することにより、電気抵抗等の温度変化が少なくなり、温度特性が良くなる。

【 0 0 7 6 】

本実施形態では、フェライト等からなる磁心部 6 1 b の外側と、周壁部 6 1 c の外側に線材を巻き付けて、励磁コイル 8 6 0, 8 6 2 を形成しているために、計測対象物に流れる渦電流密度を上げることができる。また、検出コイル 8 6 4, 8 6 6 も磁心部 6 1 b の外側と、周壁部 6 1 c の外側に形成しているために、生成された逆磁場（鎖交磁束）を効率的に収集できる。

【 0 0 7 7 】

計測対象物に流れる渦電流密度を上げるために、本実施形態では、さらに、励磁コイル 8 6 0 と励磁コイル 8 6 2 は、図 9 に示すように、並列に接続する。すなわち、内部コイルと外部コイルは電氣的に並列に接続される。並列に接続する理由は、以下のとおりである。並列に接続すると、直列に接続した場合よりも、励磁コイル 8 6 0 と励磁コイル 8 6 2 に印加できる電圧が増加して、励磁コイル 8 6 0 と励磁コイル 8 6 2 に流れる電流が増加する。このため、磁

場が大きくなる。また、直列に接続すると、回路のインダクタンスが増加して、回路の周波数が低下する。必要な高周波を励磁コイル 8 6 0, 8 6 2 に印可することが困難になる。矢印 8 7 4 は、励磁コイル 8 6 0 と励磁コイル 8 6 2 に流れる電流の向きを示す。

【0078】

励磁コイル 8 6 0 と励磁コイル 8 6 2 は、図 9 に示すように、励磁コイル 8 6 0 と励磁コイル 8 6 2 の磁場方向が同じになるように接続する。すなわち、電流は励磁コイル 8 6 0 と励磁コイル 8 6 2 で異なる方向に流す。磁場 8 7 6 は、内側の励磁コイル 8 6 0 が生成する磁場であり、磁場 8 7 8 は、外側の励磁コイル 8 6 2 が生成する磁場である。図 10 に示すように、励磁コイル 8 6 0 と励磁コイル 8 6 2 の磁場方向は同じである。すなわち、内部コイルが磁心部 6 1 b 内に生成する磁場の方向と、外部コイルが磁心部 6 1 b 内に生成する磁場の方向は同じである。

【0079】

領域 8 8 0 に示す磁場 8 7 6 と磁場 8 7 8 は、同じ向きであるために、2 つの磁場が加算されて大きくなる。従来のような励磁コイル 8 6 0 による磁場 8 7 6 のみが存在する場合に比べて、本実施形態では励磁コイル 8 6 2 による磁場 8 7 8 分だけ、磁場が大きくなる。

【0080】

検出コイル 8 6 4, 励磁コイル 8 6 0, ダミーコイル 8 6 8 は、図 5 の検出コイル 7 3, 励磁コイル 7 2, ダミーコイル 7 4 に対応する。検出コイル 8 6 6, 励磁コイル 8 6 2, ダミーコイル 8 7 0 は、図 5 の検出コイル 7 3, 励磁コイル 7 2, ダミーコイル 7 4 に対応する。すなわち、図 10 の渦電流センサは、図 5 の渦電流センサを同心状に 2 個配置した構造をしている。これに伴い、図 10 の渦電流センサに対応した出力信号処理回路 5 4 は、図 6 に示す出力信号処理回路 5 4 を 2 個有するものが好ましい。

【0081】

図 10 の渦電流センサに対応した出力信号処理回路 5 4 の一例を図 11 に示す。渦電流センサ 5 0 は、出力信号 1 7 6 (第 1 の出力信号)、出力信号 1 8 8 (第 2 の出力信号) をそれぞれ出力する検出コイル 8 6 4 (第 1 のコイル)、ダミーコイル 8 6 8 (第 2 のコイル) を有する。渦電流センサ 5 0 は、第 3 の出力信号 1 7 6 1、第 4 の出力信号 1 8 8 1 をそれぞれ出力する検出コイル 8 6 6 (第 3 のコイル)、ダミーコイル 8 7 0 (第 4 のコイル) を有する。

【0082】

第 1 の出力信号と第 2 の出力信号に関するミキサ回路 1 7 8 1, ミキサ回路 1 7 8 2, ローパスフィルタ 1 8 4 1, ローパスフィルタ 1 8 4 2 の処理は、既述の通りであるから説明を省略する。

【0083】

出力信号処理回路 5 4 は、第 3 の出力信号 1 7 6 1 と、交流信号源 5 2 が出力する所定の周波数の信号 1 8 0 が入力されて、入力された 2 つの信号の乗算を行い、乗算によって得られた出力信号 1 8 2 1 を出力する第 3 のミキサ回路 1 7 8 3 と、第 3 のミキサ回路 1 7 8 3 が出力する出力信号 1 8 2 1 が入力されて、入力された出力信号 1 8 2 1 に含まれる高周波信号をカットして、少なくとも直流信号を含む出力信号 1 8 6 3 を出力する第 3 のローパスフィルタ 1 8 4 3 を有する。

【0084】

出力信号処理回路 5 4 は、第 4 の出力信号 1 8 8 1 と、交流信号源 5 2 が出力する所定の周波数の信号 1 8 0 が入力されて、入力された 2 つの信号の乗算を行い、乗算によって得られた出力信号 1 9 0 1 を出力する第 4 のミキサ回路 1 7 8 4 と、第 4 のミキサ回路 1 7 8 4 が出力する出力信号 1 9 0 1 が入力されて、入力された出力信号 1 9 0 1 に含まれる高周波信号をカットして、少なくとも直流信号を含む出力信号 1 8 6 4 を出力する第 4 のローパスフィルタ 1 8 4 4 を有する。

【0085】

デジタルシグナルプロセッサ 2 1 6 の内部構成を図 1 3 に示す。出力信号処理回路 5 4 は、第 3 のローパスフィルタ 1 8 4 3 が出力する出力信号 1 8 6 3 と第 4 のローパスフィルタ 1 8 4 4 が出力する出力信号 1 8 6 4 が入力されて、入力された 2 つの直流信号の差 2 2 2 2 を求めて、得られた差 2 2 2 2 を出力する第 2 の減算回路 1 9 6 2 と、第 1 の減算回路 1 9 6 1 が出力する差 2 2 2 1 と第 2 の減算回路 1 9 6 2 が出力する差 2 2 2 2 が入力されて、入力された 2 つの差を加算してまたは 2 つの差の差を求めて、得られた和または差を出力信号 1 7 2 として出力する加算回路 2 2 4 とを有する。

【0086】

本実施形態では、デジタルシグナルプロセッサ 2 1 6 (digital signal processor : DSP) が、第 1、第 2、第 3、第 4 の調整回路、第 1、第 2 の減算回路、加算回路の機能を有する。すなわち、デジタルシグナルプロセッサ 2 1 6 は、第 3 のローパスフィルタ 1 8 4 3 が出力する出力信号 1 8 6 3 (直流信号) が入力されて、入力された出力信号 1 8 6 3 の振幅の大きさを調整して、調整後の直流信号を出力する第 3 の調整回路 1 9 4 3 と、第 4 のローパスフィルタ 1 8 4 4 が出力する出力信号 1 8 6 4 (直流信号) が入力されて、入力された出力信号 1 8 6 4 の振幅の大きさを調整して、調整後の直流信号 1 9 2 4 を出力する第 4 の調整回路 1 9 4 4 を有してもよい。デジタルシグナルプロセッサ 2 1 6 は、デジタル信号処理に適したマイクロプロセッサである。第 1、第 2、第 3、第 4 の調整回路、第 1、第 2 の減算回路、加算回路のうちの少なくとも 1 つをアナログ回路またはデジタル回路として独立に設けてもよい。

【0087】

本実施形態では、図 5 に示す 2 個のコイルを有するコイル組立に加えて、さらに、2 個のコイルを有するコイル組立を有する。すなわち、2 個のコイルの組み合わせを 2 組有する。組み合わせを 2 組有するため、2 組により得られた 2 つの直流信号の差を加算してまたは 2 つの直流信号の差の差を求めることにより、測定精度が向上する。測定精度が向上する理由は以下のとおりである。加算する場合は、信号出力が大きくなるために、より小さな信号変化、すなわち、より小さな膜厚変化を検知できるので測定精度が向上する。

【0088】

差を求める場合は例えば、一方の組み合わせが他方の組み合わせよりも、広い領域の膜厚を測定できるようにする。このとき、一方の組み合わせの出力から他方の組み合わせの出力を減算することにより、広い領域の膜厚の影響を低減して、狭い領域の膜厚の変化のみを、より正確に測定することができる。すなわち測定の空間的精度を改善することができる。

【0089】

図 8 に示す渦電流センサの斜視図を図 12 に示す。図 12 では理解の容易のために、上面 218 が上面 220 の上方にあるが、上面 218 と上面 220 は、図 8 に示すように同一水平面にある。図 12 では、コイル組立体が 2 組あるが、コイル組立体が 3 組以上あってもよい。コイル組立体が 2 組以上ある場合、コイル組立体が 1 組の場合に比べて、膜厚の測定数が増えるために、測定精度（S/N 比）が向上する。

【0090】

本実施形態でも、渦電流センサの出力信号が抵抗ブリッジ回路を介さずに、ミキサ回路に接続されている。温度変化の影響受けやすい抵抗ブリッジ回路を用いていないため、周囲環境の変化に対して従来よりも影響を受けにくい渦電流センサの出力信号処理回路を提供できる。

【0091】

本形態では減算回路により、膜厚変化に対応した微小な信号変化を 2 個のコイルを用いて取り出すという従来のブリッジ回路を用いた検出方法と同様なことができる。すなわち、2 つの直流信号の差を求めて、膜厚変化に対応した微小な信号変化分のみを検出することが可能である。

【0092】

乗算回路および減算回路は、乗算および減算した結果に所定の定数（定数は、1、1 より小、1 より大のいずれでもよい）を掛けた、すなわち増幅した出力信号を出力する回路でもよい。

【0093】

図 14 A、14 B、14 C、14 D に、渦電流センサ 50 の出力信号 176（図 4 に示す）と、交流信号源 52 の信号 180 との間にある位相差によって、直流信号である出力信号 18

6がどのように変化するかを示す。図14A、14B、14C、14Dは、位相差がそれぞれ0度、30度、60度、90度の場合である。位相差が大きくなるに伴い、出力信号186が小さくなる。図の横軸は時間（s）であり、縦軸は、振幅（mv）である。

【0094】

次に、渦電流センサの出力信号処理方法について説明する。図4において、渦電流センサ50の出力信号176と、交流信号源52の信号180をミキサ回路178に入力する。ミキサ回路178によって2つの信号の乗算を行い、乗算によって得られた出力信号182を出力する。ミキサ回路178が出力する出力信号182をローパスフィルタ184に入力して、高周波信号をカットして、少なくとも直流信号186を出力する。

【0095】

次に、渦電流センサの別の出力信号処理方法について説明する。図6において、第1、第2の出力信号176、188をそれぞれ出力する第1、第2のコイル73、74を有する渦電流センサ50が出力する第1、第2の出力信号176、188を処理する。

【0096】

第1の出力信号176と、交流信号源52の信号180を第1のミキサ回路1781に入力して、第1のミキサ回路1781によって2つの信号の乗算を行い、乗算によって得られた出力信号182を出力する。第1のミキサ回路1781が出力する出力信号182を第1のローパスフィルタ1841に入力して、第1のローパスフィルタ1841によって、出力信号182に含まれる高周波信号をカットして、少なくとも直流信号1861を出力する。

【0097】

第2の出力信号188と、交流信号源52の信号180を第2のミキサ回路1782に入力して、第2のミキサ回路1782によって2つの信号の乗算を行い、乗算によって得られた出力信号190を出力する。第2のミキサ回路1782が出力する出力信号190を第2のローパスフィルタ1842に入力して、第2のローパスフィルタ1842によって、出力信号190に含まれる高周波信号をカットして、少なくとも直流信号1862を出力する。

【0098】

第1のローパスフィルタ1841が出力する直流信号1861と第2のローパスフィルタ1842が出力する直流信号1862を第1の減算回路1961に入力して、第1の減算回路1961によって、2つの直流信号の差172を求めて、得られた差172を出力する。

【0099】

次に、渦電流センサの別の出力信号処理方法について説明する。図11において、渦電流センサは、第3、第4の出力信号1761、1881をそれぞれ出力する第3、第4のコイル866、870を有する。第3の出力信号1761と、交流信号源52の信号180を第3のミ

キサ回路 1 7 8 3 に入力して、第 3 のミキサ回路 1 7 8 3 によって 2 つの信号の乗算を行い、乗算によって得られた出力信号 1 8 2 1 を出力する。

【0 1 0 0】

第 3 のミキサ回路 1 7 8 3 の出力信号 1 8 2 1 を第 3 のローパスフィルタ 1 8 4 3 に入力して、第 3 のローパスフィルタ 1 8 4 3 によって、出力信号 1 8 2 1 に含まれる高周波信号をカットして、少なくとも直流信号 1 8 6 3 を出力する。第 4 の出力信号 1 8 8 1 と、交流信号源 5 2 の信号 1 8 0 を第 4 のミキサ回路 1 7 8 4 に入力して、第 4 のミキサ回路 1 7 8 4 によって 2 つの信号の乗算を行い、乗算によって得られた出力信号 1 9 0 1 を出力する。

【0 1 0 1】

第 4 のミキサ回路 1 7 8 4 の出力信号 1 9 0 1 を第 4 のローパスフィルタ 1 8 4 4 に入力して、第 4 のローパスフィルタ 1 8 4 4 によって、出力信号 1 9 0 1 に含まれる高周波信号をカットして、少なくとも直流信号 1 8 6 4 を出力する。第 3 のローパスフィルタ 1 8 4 3 が出力する直流信号 1 8 6 3 と第 4 のローパスフィルタ 1 8 4 4 が出力する直流信号 1 8 6 4 を第 2 の減算回路 1 9 6 2 に入力して、第 2 の減算回路 1 9 6 2 によって、2 つの直流信号 1 8 6 3, 1 8 6 4 の差 2 2 2 2 を求めて、得られた差 2 2 2 2 を出力する。第 1 の減算回路 1 9 6 1 が出力する差 2 2 2 1 と第 2 の減算回路 1 9 6 2 が出力する差 2 2 2 2 を加算回路 2 2 4 に入力する。加算回路 2 2 4 によって、2 つの差 2 2 2 1, 2 2 2 2 を加算してまたは 2 つの差 2 2 2 1, 2 2 2 2 の差を求めて、得られた和 1 7 2 または差 1 7 2 を出力する。

【0 1 0 2】

渦電流センサ 5 0 によって得られた膜厚に基づいて、研磨装置の各部を制御する方法について以下説明する。図 1 に示すように、渦電流センサ 5 0 は、終点検出コントローラ 2 4 6 に接続され、終点検出コントローラ 2 4 6 は、機器制御コントローラ 2 4 8 に接続されている。渦電流センサ 5 0 の出力信号は、終点検出コントローラ 2 4 6 に送られる。終点検出コントローラ 2 4 6 は、渦電流センサ 5 0 の出力信号に対して必要な処理（演算処理・補正）を施してモニタリング信号（終点検出コントローラ 2 4 6 によって補正された膜厚データ）を生成する。機器制御コントローラ 2 4 8 は、補正された膜厚データに基づいて、トップリング用モータ 1 1 4、研磨テーブル 1 0 0 用モータ（図示しない）等を制御する。

【0 1 0 3】

図 1 5 は、本発明の別の一実施形態に係る渦電流センサ 5 0 が適用される研磨装置の全体構成を示す概略図である。図 1 5 に示すように、研磨装置は、研磨テーブル 1 0 0 と、研磨対象物である半導体ウェハ等の基板を保持して研磨テーブル上の研磨面に押圧するトップリング（保持部）1 とを備えている。

【0 1 0 4】

研磨テーブル１００は、テーブル軸１７０を介してその下方に配置される駆動部であるモータ（図示せず）に連結されており、そのテーブル軸１７０周りに回転可能になっている。研磨テーブル１００の上面には研磨パッド１０１が貼付されており、研磨パッド１０１の表面１０１aが半導体ウェハWHを研磨する研磨面を構成している。研磨テーブル１００の上方には研磨液供給ノズル１０２が設置されており、この研磨液供給ノズル１０２によって研磨テーブル１００上の研磨パッド１０１上に研磨液Qが供給されるようになっている。図１５に示すように、研磨テーブル１００の内部には、渦電流センサ５０が埋設されている。

【０１０５】

以下に、本実施形態におけるインピーダンスタイプの渦電流センサについて具体的に説明する。交流信号源５２は、２～３０MHz程度の固定周波数の発振器２６０（図１６を参照）を有する。発振器２６０は、例えば水晶発振器である。そして、交流信号源５２により供給される交流電圧により、渦電流センサ５０に電流 I_1 が流れる。金属膜（または導電性膜）mfの近傍に配置された渦電流センサ５０に電流が流れることで、この磁束が金属膜（または導電性膜）mf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、金属膜（または導電性膜）mf中に渦電流 I_2 が流れる。ここでR１は渦電流センサを含む一次側の等価抵抗であり、L１は同様に渦電流センサを含む一次側の自己インダクタンスである。金属膜（または導電性膜）mf側では、R２は渦電流損に相当する等価抵抗であり、L２はその自己インダクタンスである。交流信号源５２の端子a，bから渦電流センサ側を見たインピーダンスZは、金属膜（または導電性膜）mf中に形成される渦電流損の大きさによって変化する。

【０１０６】

図１５は、渦電流センサ５０の出力信号処理回路５４も示す。図２に示すように、研磨装置の研磨テーブル１００は矢印で示すようにその軸心１７０まわりに回転可能になっている。この研磨テーブル１００内には、交流信号源５２および出力信号処理回路５４が埋め込まれている。渦電流センサ５０と交流信号源５２および出力信号処理回路５４を一体型としてもよい。出力信号処理回路５４の出力信号１７２は、研磨テーブル１００のテーブル軸１００a内を通り、テーブル軸１００aの軸端に設けられたロータリジョイント（図示せず）を経由して、出力信号１７２により終点検出コントローラ２４６に接続されている。なお、交流信号源５２および出力信号処理回路５４のうちの少なくとも一方を研磨テーブル１００外に配置してもよい。

【０１０７】

図１６に、渦電流センサ組立体１７４を示す。渦電流センサ組立体１７４は、渦電流センサ５０と、渦電流センサ５０の出力信号１７６を処理する出力信号処理回路５４とを有する。渦電流センサ５０は、励磁用信号２５０を入力されて磁場３０８（図１９A参照）を生成可能な

励磁コイル 7 2 と、磁場 3 0 8 を検出して出力信号 1 7 6（検出信号）を出力可能な検出コイル 7 3 とを有する。出力信号処理回路 5 4 は、励磁用信号 2 5 0 または出力信号 1 7 6 からノイズを低減するためのノイズ低減信号 2 5 2 を生成可能な生成回路 2 5 4 と、生成回路 2 5 4 において生成されたノイズ低減信号 2 5 2 を出力信号 1 7 6 に加算して、出力信号 1 7 6 が含むノイズを低減したノイズ減少信号 2 5 6 を生成可能な加算回路 2 5 8 とを有する。本実施形態では、生成回路 2 5 4 は、検出コイル 7 3 の出力信号 1 7 6 からノイズ低減信号 2 5 2 を生成する。本実施形態では、出力信号 1 7 6 をフィルタ 2 6 6 と増幅器 2 6 8 により信号処理している。生成回路 2 5 4 は、信号処理後の出力信号 1 7 6 からノイズ低減信号 2 5 2 を生成する。

【0108】

交流信号源 5 2 は、発振器 2 6 0 の出力信号 2 7 0 を増幅する増幅器 2 6 2 と、増幅器 2 6 2 の出力信号 2 7 2 に含まれるノイズを低減するためのフィルタ 2 6 4 を有してもよい。増幅器 2 6 2 によりノイズも増幅されるため、増幅されたノイズ低減のために、増幅器 2 6 2 の後段にフィルタ 2 6 4 が設置される。本実施形態では、フィルタ 2 6 4 の出力信号が励磁用信号 2 5 0 である。

【0109】

渦電流センサ 5 0 は、半導体ウェハ WH 上の金属膜（または導電性膜）に渦電流を形成するための励磁コイル 7 2 と、生成された渦電流を検出するための検出コイル 7 3 とを有する。例えば、円筒状のフェライトコアに、励磁コイル 7 2 と検出コイル 7 3 が軸方向に配置される。励磁コイル 7 2 は、交流信号源 5 2 に接続される。励磁コイル 7 2 は、交流信号源 5 2 より供給される電圧の形成する磁界により、渦電流センサ 5 0 の近傍に配置される半導体ウェハ WH 上の金属膜（または導電性膜）m f に渦電流を形成する。フェライトコアの上側（金属膜（または導電性膜）側）には、検出コイル 7 3 が配置され、金属膜（または導電性膜）に形成される渦電流により発生する磁界を検出する。渦電流センサ 5 0 は、後述するようにダミーコイル 7 4 を有してもよい。

【0110】

出力信号 1 7 6 は、出力信号処理回路 5 4 のフィルタ 2 6 6 と増幅器 2 6 8 を介して、生成回路 2 5 4 に入力される。フィルタ 2 6 6 の前段には、図示しない増幅器が配置されている。フィルタ 2 6 6 は、増幅されたノイズ低減のために設置される。図示しない増幅器だけでは、出力信号 1 7 6 が微弱な場合があるため、フィルタ 2 6 6 の後段に増幅器 2 6 8 を配置している。増幅器 2 6 8 の出力信号 2 7 4 は、生成回路 2 5 4 と加算回路 2 5 8 に入力される。

【0111】

生成回路 2 5 4 は、ノイズ低減信号 2 5 2 を生成する。生成は、以下のようにして行われる

。生成回路 254 はバンドストップフィルタ 276 と位相反転回路 278 とを有する。バンドストップフィルタ 276 は、発振器 260 が生成する特定の周波数信号（例えば、16MHz）の近傍の周波数信号だけを非常に低いレベルに減衰させる。バンドストップフィルタ 276 は、他の周波数信号（すなわちノイズ信号）はそのまま通す。バンドストップフィルタ 276 の出力信号 282 は、位相反転回路 278 に送られて、位相反転回路 278 により、位相が反転する。位相を反転させるとは、位相を 180 度進ませることである。

【0112】

位相反転回路 278 の出力であるノイズ低減信号 252 は、加算回路 258 に送られて、加算回路 258 において、出力信号 274 と加算される。ノイズ低減信号 252 は、出力信号 274 に含まれるノイズ成分のみと打ち消しあう信号である。加算回路 258 の出力であるノイズ減少信号 256 は、発振器 260 が生成する特定の周波数以外の周波数の信号（すなわちノイズ）が減少した信号である。ノイズ減少信号 256 は、検波回路 280 に送られる。検波回路 280 は高周波信号から、既述の信号出力 X、Y、位相、合成インピーダンス $Z (= X + iY)$ 等を取り出す。これらは直流信号である。検波回路 280 の出力が出力信号 172 である。

【0113】

本実施形態では、ノイズ低減信号 252 を検出信号 274 に加算して、検出信号 274 が含むノイズを低減したノイズ減少信号 256 を生成するため、従来技術よりも S/N が改善される。渦電流センサ 50 を膜厚の測定に使用する場合、ノイズの影響が低減されることによる Cu 配線等の検出精度が従来技術よりも改善して、渦電流センサ 50 の性能が向上する

【0114】

図 17 により、バンドストップフィルタ 276 と、位相反転回路 278 と、加算回路 258 において行われる処理をさらに説明する。以下では、ノイズキャンセリングが理想的に行われる場合を仮定する。バンドストップフィルタ 276 は、ノイズ成分のみを含む出力信号 282 を出力する。説明の明瞭化のために、出力信号 282 が $Y1 = A \sin(\omega t)$ であるとする。ここで、A は、ノイズの振幅（その単位は、例えばミリボルト (mV)）であり、 ω は、ノイズの角周波数（その単位は、例えばラジアン毎秒 (rad/s)）であり、t は時間（秒 (s)）である。

【0115】

出力信号 282 は、位相反転回路 278 により、ノイズ低減信号 252 となる。ノイズ低減信号 252 を Y2 とすると、 $Y2 = -Y1$ である。別の表現では、 $Y2 = A \sin(\omega t + \pi)$ である。一方、検出コイル 73 が出力する出力信号 274 は、ノイズ成分として、上記のノイズ成分 $Y1 = A \sin(\omega t)$ と同一のノイズ成分 $Y3 = A \sin(\omega t)$ を含む。

【0116】

加算回路258は、ノイズ低減信号252と出力信号274を加算して、ノイズ減少信号256を出力する。ノイズ減少信号256に含まれるノイズ成分をY4とすると、 $Y4 = Y3 + Y2$ である。Y3とY2は、振幅が同一で、位相が180度ずれているため、 $Y4 = 0$ となる。ノイズ減少信号256は、ノイズ成分を含まない信号である。

【0117】

図16において、ノイズ低減信号252は、検出コイル73またはダミーコイル74の出力から生成されている。ノイズ低減信号252は、検出コイル73またはダミーコイル74の出力以外から生成してもよい。例えば、発振器260の出力信号270や励磁用信号250からノイズ低減信号252を生成してもよい。図16には、増幅器やフィルタが複数使用されているが、増幅器やフィルタの前段または後段の信号からノイズ低減信号252を生成してもよい。なお、ノイズ低減信号252を検出コイル73またはダミーコイル74の出力から生成するときは、検出コイル73の出力からノイズ低減信号252を生成することが好ましい。最終的に必要な信号は検出コイル73の出力であるから、検出コイル73のノイズを除去するために、検出コイル73の出力をノイズ低減信号252の生成に用いることが好ましい。

【0118】

図16に戻って、検波回路280について説明する。図18は、渦電流センサの同期検波回路280を示すブロック図である。本図は、交流信号源52側から渦電流センサ50側を見たインピーダンスZの計測回路例を示している。本図に示すインピーダンスZの計測回路においては、膜厚の変化に伴う抵抗成分(R)、リアクタンス成分(X)、振幅出力(Z)および位相出力($\tan^{-1} R/X$)を取り出すことができる。

【0119】

上述したように、検出対象の金属膜（または導電性膜）mfが成膜された半導体ウェハWH近傍に配置された渦電流センサ50に、信号源52は、交流信号を供給する。信号源52は、水晶発振器からなる固定周波数の発振器である。信号源52は、例えば、2MHz、8MHz、16MHzの固定周波数の電圧を供給する。信号源52で形成される交流電圧は、バンドパスフィルタ82を介して渦電流センサ50に供給される。渦電流センサ50の端子で検出された信号は、高周波アンプ83および位相シフト回路84を経て、cos同期検波回路85およびsin同期検波回路86からなる同期検波部により検出信号のcos成分とsin成分とが取り出される。ここで、信号源52で形成される発振信号は、位相シフト回路84により信号源52の同相成分(0°)と直交成分(90°)の2つの信号が形成され、それぞれcos同期検波回路85とsin同期検波回路86とに導入され、上述の同期検波が行われる。

【0120】

同期検波された信号は、ローパスフィルタ 87, 88 により、信号成分以上の不要な高周波成分が除去され、 $\cos$ 同期検波出力である抵抗成分 (R) 出力と、 $\sin$ 同期検波出力であるリアクタンス成分 (X) 出力とがそれぞれ取り出される。また、ベクトル演算回路 89 により、抵抗成分 (R) 出力とリアクタンス成分 (X) 出力とから振幅出力 $(R^2 + X^2)^{1/2}$ が得られる。また、ベクトル演算回路 90 により、同様に抵抗成分出力とリアクタンス成分出力とから位相出力 $(\tan^{-1} R/X)$ が得られる。ここで、測定装置本体には、各種フィルタがセンサ信号の雑音成分を除去するために設けられている。各種フィルタは、それぞれに応じたカットオフ周波数が設定されており、例えば、ローパスフィルタのカットオフ周波数を 0.1 ~ 10 Hz の範囲で設定することにより、研磨中のセンサ信号に混在する雑音成分を除去して測定対象の金属膜（または導電性膜）を高精度に測定することができる。

【0121】

次に、本実施形態の渦電流センサ 50 におけるコイルの構成例について説明する。図 5 は、本実施形態の渦電流センサ 50 におけるコイルの構成例を示す概略図である。本形態では、渦電流センサ 50 は、金属膜（または導電性膜）に渦電流を形成するための励磁コイル 72 と、金属膜（または導電性膜）の渦電流を検出するための検出コイル 73 と、ダミーコイル 74 とを有する。渦電流センサ 50 は、フェライトコア 71 に巻回された 3 層のコイル、励磁コイル 72、検出コイル 73、ダミーコイル 74 により構成されている。なお、渦電流センサ 50 の構造としては、図 5 に示す構造に限られず、任意の構造を採用することができる。

【0122】

ここで中央の励磁コイル 72 は、交流信号源 52 に接続される。この励磁コイル 72 は、交流信号源 52 より供給される電圧の形成する磁界により、半導体ウェハ WH の近傍に配置される半導体ウェハ WH 上の金属膜（または導電性膜）mf に渦電流を形成する。フェライトコア 71 の上側（金属膜（または導電性膜）側）には、検出コイル 73 が配置され、金属膜（または導電性膜）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 72 の検出コイル 73 と反対側にはダミーコイル 74 が配置されている。励磁コイル 72、検出コイル 73、ダミーコイル 74 は例えば、同じターン数（1 ~ 20 t）のコイルである。ダミーコイル 74 を設ける理由は、金属膜（または導電性膜）が存在しないときには、出力信号処理回路 54 の出力がゼロとなるように調整可能とするためである。

【0123】

検出コイル 73 とダミーコイル 74 の出力の処理方法としては、種々可能である。例えば、図 16 に示すように、検出コイル 73 とダミーコイル 74 のそれぞれの出力について、ノイズキャンセリングと同期検波を行う。その後、得られた 2 つの直流信号の減算を行う。減算結果に基づいて、膜厚測定を行うことができる。減算を行う理由は、既述のように、金属膜が存在

しないときには、検出コイル 7 3 の出力がゼロとなるようにするためである。

【0 1 2 4】

図 1 9 A、1 9 B、1 9 C は、渦電流センサにおける各コイルの別の接続例を示す概略図である。この例では、抵抗ブリッジ回路 7 7 を用いている。図 1 9 A に示すように、検出コイル 7 3 とダミーコイル 7 4 は互いに逆相に接続されている。検出コイル 7 3 とダミーコイル 7 4 は、逆相の直列回路を構成し、その両端は可変抵抗 7 6 を含む抵抗ブリッジ回路 7 7 に接続されている。

【0 1 2 5】

具体的には、検出コイル 7 3 の信号線 7 3 1 は、抵抗ブリッジ回路 7 7 の端子 7 7 3 に接続され、検出コイル 7 3 の信号線 7 3 2 は、抵抗ブリッジ回路 7 7 の端子 7 7 1 に接続される。ダミーコイル 7 4 の信号線 7 4 1 は、抵抗ブリッジ回路 7 7 の端子 7 7 2 に接続され、ダミーコイル 7 4 の信号線 7 4 2 は、抵抗ブリッジ回路 7 7 の端子 7 7 1 に接続される。端子 7 7 1 は接地される。抵抗ブリッジ回路 7 7 の端子 7 7 4 がセンサ出力である。検出コイル 7 3、励磁コイル 7 2、ダミーコイル 7 4 は、それぞれインダクタンス L_1 、 L_2 、 L_3 を有する。

【0 1 2 6】

励磁コイル 7 2 は交流信号源 5 2 に接続され、交番磁束を生成することで、近傍に配置される金属膜（または導電性膜）m f に渦電流を形成する。可変抵抗 7 6 の抵抗値を調整することで、検出コイル 7 3 とダミーコイル 7 4 からなる直列回路の出力電圧が、金属膜（または導電性膜）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。検出コイル 7 3 とダミーコイル 7 4 のそれぞれに並列に入る可変抵抗 7 6（ VR_1 、 VR_2 ）で L_1 、 L_3 の信号を同位相にするように調整する。即ち、図 1 9 B の等価回路において、

$VR_{1-1} \times (VR_{2-2} + j\omega L_3) = VR_{1-2} \times (VR_{2-1} + j\omega L_1)$ (1) となるように、可変抵抗 $VR_1 (=VR_{1-1} + VR_{1-2})$ および $VR_2 (=VR_{2-1} + VR_{2-2})$ を調整する。これにより、図 1 9 C に示すように、調整前の L_1 、 L_3 の信号（図中点線で示す）を、同位相・同振幅の信号（図中実線で示す）とする。

【0 1 2 7】

次に、本発明の別の実施形態について説明する。図 8、9 は、本実施形態の渦電流センサ 5 0 の構成例及び渦電流センサにおける励磁コイルの接続例を示す概略図である。導電性膜が形成された基板の近傍に配置される渦電流センサ 5 0 は、ポットコア 6 0 と、6 個のコイル 8 6 0、8 6 2、8 6 4、8 6 6、8 6 8、8 7 0 により構成されている。磁性体であるポットコア 6 0 は、底面部 6 1 a（底部磁性体）と、底面部 6 1 a の中央に設けられた磁心部 6 1 b（中央磁性体）と、底面部 6 1 a の周辺部に設けられた周壁部 6 1 c（周辺部磁性体）とを有する。周壁部 6 1 c は、磁心部 6 1 b を囲うように底面部 6 1 a の周辺部に設けられる壁部である。本実施形態では、底面部 6 1 a は、円形のディスク形状であり、磁心部 6 1 b は、中実な

円柱形状であり、周壁部 6 1 c は、底面部 6 1 a を囲うシリンダ形状である。

【0 1 2 8】

前記 6 個のコイル 8 6 0、8 6 2、8 6 4、8 6 6、8 6 8、8 7 0 のうち中央のコイル 8 6 0、8 6 2 は、交流信号源 5 2 に接続される励磁コイルである。この励磁コイル 8 6 0、8 6 2 は、交流信号源 5 2 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 WH 上の金属膜（または導電性膜）m f に渦電流を形成する。励磁コイル 8 6 0、8 6 2 の金属膜側には、検出コイル 8 6 4、8 6 6 が配置され、金属膜に形成される渦電流により発生する磁界を検出する。励磁コイル 8 6 0、8 6 2 を挟んで検出コイル 8 6 4、8 6 6 と反対側にはダミーコイル 8 6 8、8 7 0 が配置されている。

【0 1 2 9】

励磁コイル 8 6 0 は、磁心部 6 1 b の外周に配置され、磁場を生成可能な内部コイルであり、導電性膜に渦電流を形成する。励磁コイル 8 6 2 は、周壁部 6 1 c の外周に配置され、磁場を生成可能な外部コイルであり、導電性膜に渦電流を形成する。検出コイル 8 6 4 は、磁心部 6 1 b の外周に配置され、磁場を検出可能であり、導電性膜に形成される渦電流を検出する。検出コイル 8 6 6 は、周壁部 6 1 c の外周に配置され、磁場を検出可能であり、導電性膜に形成される渦電流を検出する。

【0 1 3 0】

渦電流センサは、導電性膜に形成される渦電流を検出するダミーコイル 8 6 8、8 7 0 を有する。ダミーコイル 8 6 8 は、磁心部 6 1 b の外周に配置され、磁場を検出可能である。ダミーコイル 8 7 0 は、周壁部 6 1 c の外周に配置され、磁場を検出可能である。検出コイルとダミーコイルは、本実施形態では、底面部 6 1 a の外周および周壁部 6 1 c の外周に配置されているが、検出コイルとダミーコイルは、底面部 6 1 a の外周および周壁部 6 1 c の外周の一方のみに配置してもよい。

【0 1 3 1】

磁心部 6 1 b の軸方向は、基板上の導電性膜に直交し、検出コイル 8 6 4、8 6 6 と励磁コイル 8 6 0、8 6 2 とダミーコイル 8 6 8、8 7 0 は、磁心部 6 1 b の軸方向に異なる位置に配置され、かつ磁心部 6 1 b の軸方向に、基板上の導電性膜に近い位置から遠い位置に向かって、検出コイル 8 6 4、8 6 6、励磁コイル 8 6 0、8 6 2、ダミーコイル 8 6 8、8 7 0 の順に配置される。検出コイル 8 6 4、8 6 6、励磁コイル 8 6 0、8 6 2、ダミーコイル 8 6 8、8 7 0 からは、それぞれ、外部と接続するためのリード線（図 2 0 に示す）が出ている。

【0 1 3 2】

図 8 は、磁心部 6 1 b の中心軸 8 7 2 を通る平面における渦電流センサ 5 0 の断面図である。磁性体であるポットコア 6 0 は、円板形状の底面部 6 1 a と、底面部 6 1 a の中央に設けら

れた円柱形状の磁心部 6 1 b と、底面部 6 1 a の周囲に設けられた円筒形状の周壁部 6 1 c とを有する。ポットコア 6 0 の寸法の 1 例としては、底面部 6 1 a の直径 L E 1 は約 1 c m ～ 5 c m、渦電流センサ 5 0 の高さ L E 2 は約 1 c m から 5 c m である。周壁部 6 1 c の外径は、図 1 8 では高さ方向に同一である円筒形状であるが、底面部 6 1 a から離れる方向に、すなわち先端に向かって細くなる先細形状(テーパ形状)でもよい。

【0 1 3 3】

検出コイル 8 6 4, 8 6 6、励磁コイル 8 6 0, 8 6 2、ダミーコイル 8 6 8, 8 7 0 に使用される導線は、銅、マンガン線、又はニクロム線である。マンガン線やニクロム線を使用することにより、電気抵抗等の温度変化が少なくなり、温度特性が良くなる。

【0 1 3 4】

本実施形態では、フェライト等からなる磁心部 6 1 b の外側と、周壁部 6 1 c の外側に線材を巻き付けて、励磁コイル 8 6 0, 8 6 2 を形成しているために、計測対象物に流れる渦電流密度を上げることができる。また、検出コイル 8 6 4, 8 6 6 も磁心部 6 1 b の外側と、周壁部 6 1 c の外側に形成しているために、生成された逆磁場(鎖交磁束)を効率的に収集できる。

【0 1 3 5】

計測対象物に流れる渦電流密度を上げるために、本実施形態では、さらに、励磁コイル 8 6 0 と励磁コイル 8 6 2 は、図 9 に示すように、並列に接続する。すなわち、内部コイルと外部コイルは電氣的に並列に接続される。並列に接続する理由は、以下のとおりである。並列に接続すると、直列に接続した場合よりも、励磁コイル 8 6 0 と励磁コイル 8 6 2 に印加できる電圧が増加して、励磁コイル 8 6 0 と励磁コイル 8 6 2 に流れる電流が増加する。このため、磁場が大きくなる。また、直列に接続すると、回路のインダクタンスが増加して、回路の周波数が低下する。必要な高周波を励磁コイル 8 6 0, 8 6 2 に印可することが困難になる。矢印 8 7 4 は、励磁コイル 8 6 0 と励磁コイル 8 6 2 に流れる電流の向きを示す。

【0 1 3 6】

励磁コイル 8 6 0 と励磁コイル 8 6 2 は、図 9 に示すように、励磁コイル 8 6 0 と励磁コイル 8 6 2 の磁場方向が同じになるように接続する。すなわち、電流は励磁コイル 8 6 0 と励磁コイル 8 6 2 で異なる方向に流す。磁場 8 7 6 は、内側の励磁コイル 8 6 0 が生成する磁場であり、磁場 8 7 8 は、外側の励磁コイル 8 6 2 が生成する磁場である。図 9 に示すように、励磁コイル 8 6 0 と励磁コイル 8 6 2 の磁場方向は同じである。すなわち、内部コイルが磁心部 6 1 b 内に生成する磁場の方向と、外部コイルが磁心部 6 1 b 内に生成する磁場の方向は同じである。

【0 1 3 7】

領域 880 に示す磁場 876 と磁場 878 は、同じ向きであるために、2つの磁場が加算されて大きくなる。従来のような励磁コイル 860 による磁場 876 のみが存在する場合に比べて、本実施形態では励磁コイル 862 による磁場 878 分だけ、磁場が大きくなる。

【0138】

検出コイル 864，励磁コイル 860，ダミーコイル 868 は、図 5 の検出コイル 73，励磁コイル 72，ダミーコイル 74 に対応する。検出コイル 866，励磁コイル 862，ダミーコイル 870 は、図 5 の検出コイル 73，励磁コイル 72，ダミーコイル 74 に対応する。すなわち、図 10 の渦電流センサは、図 5 の渦電流センサを同心状に 2 個配置した構造をしている。これに伴い、図 10 の渦電流センサに対応した出力信号処理回路 54 は、図 16 に示す出力信号処理回路 54 を 2 個有するものが好ましい。

【0139】

図 10 の渦電流センサに対応した出力信号処理回路 54 の一例を図 20、21 に示す。図 20 は、ノイズキャンセリング機能を有しない比較例である。図 21 は、ノイズキャンセリング機能を有する。図 20、21 は、図 8 に示す渦電流センサを斜視図で示す。図 20、21 では理解の容易のために、上面 218 が上面 220 の上方にあるが、上面 218 と上面 220 は、図 8 に示すように同一水平面にある。図 20、21 では、コイル組立体が 2 組あるが、コイル組立体が 3 組以上あってもよい。コイル組立体が 2 組以上ある場合、コイル組立体が 1 組の場合に比べて、膜厚の測定数が増えるために、測定精度（S/N 比）が向上する。

【0140】

最初に比較例の構成について説明する。比較例では、内側渦電流センサ 286 の検出コイル 864 と、外側渦電流センサ 288 の検出コイル 866 は直列に接続される。内側渦電流センサ 286 のダミーコイル 868 と、外側渦電流センサ 288 のダミーコイル 870 は直列に接続される。内側と外側の渦電流センサの励磁コイル 860 と励磁コイル 862 は、信号源 52 に並列に接続される。

【0141】

具体的な接続は以下の通りである。内側渦電流センサ 286 において、検出コイル 864 は、信号線 8641，8642 を有する。励磁コイル 860 は、信号線 8601，8602 を有する。ダミーコイル 868 は、信号線 8681，8682 を有する。外側渦電流センサ 288 において、検出コイル 866 は、信号線 8661，8662 を有する。励磁コイル 862 は、信号線 8621，8622 を有する。ダミーコイル 870 は、信号線 8701，8702 を有する。

【0142】

内側渦電流センサ 286 の検出コイル 864 の信号線 8641 は、抵抗ブリッジ回路 77 の

端子 7 7 3 に接続される。検出コイル 8 6 4 の信号線 8 6 4 2 は、外側渦電流センサ 2 8 8 の検出コイル 8 6 6 の信号線 8 6 6 1 に接続される。検出コイル 8 6 6 の信号線 8 6 6 2 は、抵抗ブリッジ回路 7 7 の端子 7 7 1 に接続される。内側渦電流センサ 2 8 6 のダミーコイル 8 6 8 の信号線 8 6 8 1 は、抵抗ブリッジ回路 7 7 の端子 7 7 2 に接続される。ダミーコイル 8 6 8 の信号線 8 6 4 2 は、外側渦電流センサ 2 8 8 のダミーコイル 8 7 0 の信号線 8 7 0 1 に接続される。ダミーコイル 8 7 0 の信号線 8 7 0 2 は、抵抗ブリッジ回路 7 7 の端子 7 7 1 に接続される。

【0 1 4 3】

比較例においては、内側渦電流センサ 2 8 6 の検出コイル 8 6 4 の出力と、外側渦電流センサ 2 8 8 の検出コイル 8 6 6 の出力が直列であるため、検出コイルが 1 個の場合と比較して、出力が大きくなるという効果がある。ブリッジ回路 7 7 の端子 7 7 4 が検波回路 2 8 0 に接続される。検波回路 2 8 0 の出力が出力信号 1 7 2 であり、図 1 5 に示す終点検出コントローラ 2 4 6 に接続される。

【0 1 4 4】

図 2 1 に示す形態は、ノイズキャンセリング機能を有するため、比較例よりも S/N が改善されるという利点を有する。本形態は、内側渦電流センサ 2 8 6 用と外側渦電流センサ 2 8 8 用にそれぞれブリッジ回路 7 7 を 1 つ用いる。そして、抵抗ブリッジ回路 7 7 の後段に、それぞれ出力信号処理回路 5 4（生成回路 2 5 4 と加算回路 2 5 8）を設けているため、 S/N が改善する。

【0 1 4 5】

内側渦電流センサ 2 8 6 用の生成回路 2 5 4 が生成回路 2 5 4 1 であり、外側渦電流センサ 2 8 8 用の生成回路 2 5 4 が生成回路 2 5 4 2 である。生成回路 2 5 4 1 と、生成回路 2 5 4 2 は、生成回路 2 5 4 と同一の構成である。生成回路 2 5 4 1 と生成回路 2 5 4 2 の前段には、図 1 6 と同様にフィルタ 2 6 6 と増幅器 2 6 8 が設けられている。内側渦電流センサ 2 8 6 用の加算回路 2 5 8 が加算回路 2 5 8 1 であり、外側渦電流センサ 2 8 8 用の加算回路 2 5 8 が加算回路 2 5 8 2 である。加算回路 2 5 8 1 と、加算回路 2 5 8 2 は、加算回路 2 5 8 と同一の構成である。

【0 1 4 6】

内側渦電流センサ 2 8 6 と外側渦電流センサ 2 8 8 で得られたノイズ減少信号 2 5 6 が検波回路 2 8 0 に送られて、2 つのブリッジ回路 7 7 1 0，7 7 1 1 の出力は、直流になる。その後、加算回路 2 8 4 で加算される。加算により、感度が改善される。

【0 1 4 7】

本形態の構成を具体的に説明する。内側渦電流センサ 2 8 6 は、励磁用信号 8 6 0 1，8 6

02を信号源52から入力されて第1の磁場876（図10参照）を生成可能な励磁コイル860（第1の励磁コイル）と、第1の磁場876を検出して信号8641（第1の検出信号）を出力可能な検出コイル864（第1の検出コイル）と、第1の磁場を検出して信号8681（第1のダミー信号）を出力可能なダミーコイル868（第1のダミーコイル）とを有する。なお、本明細書では、信号線と、その信号線を流れる信号に同一の参照符号を付す場合がある。例えば、信号線8641と、信号8641である。

【0148】

内側渦電流センサ286が出力する信号8641と信号8681とを処理する本形態の出力信号処理回路290は、信号8641と信号8681の差である第1の差信号292を出力可能な第1の抵抗ブリッジ回路7710を有する。出力信号処理回路290は、励磁用信号8601、信号8641（第1の検出信号）、信号8681（第1のダミー信号）、第1の差信号292のいずれかからノイズを低減するための第1のノイズ低減信号252を生成可能な生成回路2541（第1の生成回路）を有する。本形態では、端子774からの出力である第1の差信号292からノイズを低減するための第1のノイズ低減信号252を生成する。

【0149】

出力信号処理回路290は、さらに生成回路2541において生成された第1のノイズ低減信号252を第1の差信号292に加算して、第1の差信号292が含むノイズを低減した第1のノイズ減少信号256を生成可能な第1の加算回路2581を有する。

【0150】

外側渦電流センサ288は、励磁用信号8621を入力されて第2の磁場878（図10参照）を生成可能な励磁コイル862（第2の励磁コイル）と、第1の磁場876と第2の磁場878を検出して信号8661（第2の検出信号）を出力可能な検出コイル866（第2の検出コイル）と、第1の磁場876と第2の磁場878を検出して信号8701（第2のダミー信号）を出力可能なダミーコイル870（第2のダミーコイル）とを有する。

【0151】

内側渦電流センサ286の検出コイル864は、第1の磁場876と第2の磁場878を検出して信号8641号を出力可能である。ダミーコイル868は、第1の磁場876と第2の磁場878を検出して前記第1のダミー信号を出力可能である。出力信号処理回路290は、信号8661と信号8701の差である第2の差信号294を出力可能な第2の抵抗ブリッジ回路7711を有する。

【0152】

ここで、第1、第2の検出コイルは、第1の磁場876と第2の磁場878を検出することの意味について説明する。内側渦電流センサ286の検出コイル864は、膜厚を以下

のようにして検出する。最初に、励磁コイルが生成する高周波磁場によって金属表面に渦電流が誘起される。すなわち磁場の状態は、ウェハ（導電膜）が磁場の近傍にあるときとないときで異なる。高周波(2MHz～)を励磁コイルに印加することにより金属表面に磁場を発生させることができる励磁コイルを導電性金属表面に近づける。高周波の磁場により金属表面に渦状の電流が発生する。渦電流は磁場を部分的に打ち消す方向に流れる。渦電流センサの検出コイルは、部分的に打ち消された磁場を検出する。渦電流センサは、渦電流の大きさと膜の厚みとの相関性を利用して、金属上の導電膜の厚さを測る。

【0153】

「第1の磁場と前記第2の磁場を検出する」とは、「第1の磁場と第2の磁場を合成した磁場を検出すること」であり、合成磁場も、ウェハ（導電膜）があるときとないときで異なる。「第1、第2の検出コイルが第1、第2の磁場を検出する」とは、「第1、第2の磁場の合成された磁場により金属表面に渦電流が発生し、合成された磁場が、発生した渦電流により部分的に打ち消されて、部分的に打ち消された磁場を検出する」という意味である。

【0154】

外側渦電流センサ288の説明に戻る。出力信号処理回路290は、励磁用信号8621、信号8661（第2の検出信号）、信号8701（第2のダミー信号）、第2の差信号294のいずれかからノイズを低減するための第2のノイズ低減信号252を生成可能な生成回路2542（第2の生成回路）を有する。本形態では、端子772からの出力である第2の差信号294からノイズを低減するための第2のノイズ低減信号252を生成する。

【0155】

出力信号処理回路290は、生成回路2542において生成された第2のノイズ低減信号252を第2の差信号294に加算して、第2の差信号294が含むノイズを低減した第2のノイズ減少信号256を生成可能な第2の加算回路2582と、第1のノイズ減少信号256と第2のノイズ減少信号256とを加算可能な第3の加算回路284とを有する。

【0156】

本実施形態によると、第1の差信号と第2の差信号とを加算するため、渦電流センサの出力信号が従来よりも大きくなり、膜厚測定の精度が改善する。

【0157】

図21の形態の効果を、渦電流センサが1個で、かつノイズキャンセリング機能を有しない形態と比較したときの効果を概念的に図22、23に示す。図22、23は、検出コイルの出力信号に含まれるノイズと信号の強度分布を周波数に対して示すスペクトルである。図22は、渦電流センサが1個で、かつノイズキャンセリング機能を有しない形態（図示せず）における渦電流センサの出力300のスペクトルを示す。図23は、渦電流センサが2個で、かつノ

イズキャンセリング機能を有する図 2 1 に示す形態において、ノイズキャンセリング処理後の 2 個の渦電流センサの出力を加算した出力 3 0 2 のスペクトルである。図 2 2、2 3 において、横軸は周波数（単位は周波数（1 / 秒））、縦軸は、各周波数におけるパワー密度（振幅の 2 乗）（単位は、ミリボルトの 2 乗）である。出力 3 0 0、3 0 2 は、周波数 2 9 6 の近傍に存在する信号 3 0 4 と、周波数 2 9 6 の近傍以外に存在するノイズ 3 0 6 を含む。

【0 1 5 8】

図 2 2、2 3 を比較すると、励磁用信号 8 6 0 1 が有する周波数 2 9 6 の近傍における、2 個の渦電流センサの信号 3 0 4 を加算した出力 3 0 2 の大きさは、1 個の渦電流センサの信号 3 0 4 の大きさの 2 倍程度ある。励磁用信号 8 6 0 1 が有する周波数 2 9 6 の近傍以外における、2 個の渦電流センサによる出力 3 0 2 に含まれるノイズ 3 0 6 の大きさは、1 個の渦電流センサの出力 3 0 0 に含まれるノイズ 3 0 6 の大きさよりもかなり低減している。

【0 1 5 9】

なお図 2 1 に示すように、第 1 のノイズ減少信号 2 5 6 と第 2 のノイズ減少信号 2 5 6 は、それぞれ検波回路 2 8 0 を介して、直流信号（第 1 のノイズ減少信号 2 8 0 1 と第 2 のノイズ減少信号 2 8 0 2）に変換されたのちに、第 3 の加算回路 2 8 4 により加算される。図 2 0 と図 2 1 を比較すると、図 2 1 の形態は、図 2 0 の形態に、第 1 の抵抗ブリッジ回路 7 7 1 0 と、第 1 の生成回路 2 5 4 1、第 2 の生成回路 2 5 4 2、第 1 の加算回路 2 5 8 1、第 2 の加算回路 2 5 8 2 と、内側渦電流センサ 2 8 6 用検波回路 2 8 0 と、第 3 の加算回路 2 8 4 を追加したものである。

【0 1 6 0】

図 2 1 の形態から、ノイズキャンセリング回路を除いた形態も可能である。すなわち 2 つの渦電流センサ 2 8 6、2 8 8 の出力をそれぞれブリッジ回路 7 7 1 0、7 7 1 1 で処理した後に、それぞれの処理信号の検波回路 2 8 0 で直流にしたのちに、第 3 の加算回路 2 8 4 により加算を行ってもよい。

【0 1 6 1】

具体的には、この形態の出力信号処理回路は、信号 8 6 4 1（第 1 の検出信号）と信号 8 6 8 1（第 1 のダミー信号）の差である第 1 の差信号 2 9 2 を出力可能な第 1 の抵抗ブリッジ回路 7 7 1 0 と、信号 8 6 6 1（第 2 の検出信号）と信号 8 7 0 1（第 2 のダミー信号）の差である第 2 の差信号 2 9 4 を出力可能な第 2 の抵抗ブリッジ回路 7 7 1 1 と、第 1 の差信号 2 9 2 と第 2 の差信号 2 9 4 とを、検波回路 2 8 0 を経由して加算可能な第 3 の加算回路 2 8 4 とを有する。

【0 1 6 2】

図 2 1 においては、検波回路 2 8 0 により直流化したのちに、第 3 の加算回路 2 8 4 により

加算しているが、検波回路 280 による直流化は行わなくてもよい。すなわち、交流信号同士を加算してもよい。しかし、直流化したのちに加算することには、後述する利点がある。

【0163】

図 20 と比較したときに、図 21 は、次の利点がある。図 20 においては、信号線 8642 と信号線 8661 を直結することにより、検出コイル 864 と検出コイル 866 の出力を加算している。これらは高周波信号であり、高周波信号の加算は、信号が相殺することがある。その結果、出力信号を有効に活用できない場合がある。図 21 においては、検波回路 280 により、直流化してから、第 3 の加算回路 284 により加算している。直流信号の加算であるため、信号が相殺することが無く、出力信号のレベルが大きくなる。

【0164】

図 21 の形態においては、第 3 の加算回路 284 は、内側渦電流センサ 286 の出力と外側渦電流センサ 288 の出力を加算しているが、第 3 の加算回路 284 は、内側渦電流センサ 286 の出力から外側渦電流センサ 288 の出力を減算してもよい。この時は以下の利点がある。内側渦電流センサ 286 は、直径が小さいため、小さい領域の導電膜の影響を受ける。その結果、小さい領域の膜厚を測ることができる。外側渦電流センサ 288 は直径が大きいため、大きい領域の導電膜の影響を受ける。その結果、大きい領域の膜厚を測ることができる。内側渦電流センサ 286 の出力から外側渦電流センサ 288 の出力を減算すると、内側渦電流センサ 286 の出力から、大きい領域の導電膜の影響を除去できる。その結果、小さい領域の膜厚を、より正確に測ることができる。図 21 に示す第 3 の加算回路 284 における「加算する」という用語には、この意味で「加算」と「減算」を含む。

【0165】

なお、図 8 に示す渦電流センサは、内側渦電流センサ 286 と外側渦電流センサ 288 が一体となっているが、内側渦電流センサ 286 と外側渦電流センサ 288 は、別個独立の渦電流センサでもよい。図 8 に示す一体化した渦電流センサの製作方法としては、(1) 底面部 61a, 磁心部 61b, 周壁部 61c を一体として切削加工により形成する方法、(2) 底面部 61a, 磁心部 61b, 周壁部 61c を別々に製作して、コイルを巻いた後に、これらの 3 ピースをロウ付け等により接着して、一体化する方法等がある。

【0166】

バンドストップフィルタ 276, 位相反転回路 278, 加算回路 258 は、デジタルシグナルプロセッサ (digital signal processor : DSP) により構成することができる。デジタルシグナルプロセッサは、デジタル信号処理に適したマイクロプロセッサである。バンドストップフィルタ 276, 位相反転回路 278, 加算回路 258 をアナログ回路としてもよい。デジタルシグナルプロセッサは、その前段に、図示しないアナログ-デジタル変換回路 (A/D 変換回

路：ADC：アナログ電気信号をデジタル電気信号に変換する電子回路）を有する。デジタルシグナルプロセッサは、その後段に、図示しないデジタル-アナログ変換回路（D/A変換回路：DAC：デジタル電気信号をアナログ電気信号に変換する電子回路）を有する。加算回路258の後段にある検波回路280もデジタルシグナルプロセッサにより構成することができる。

【0167】

なお、図17の説明において、ノイズ成分Y1とノイズ成分Y3は、振幅Aの大きさが同じであると、説明の簡明化のために仮定したが、ノイズ成分Y1とノイズ成分Y3は、振幅Aの大きさが異なる場合がある。例えば、ノイズ成分Y1は励磁用信号250から生成し、ノイズ成分Y3は、検出コイル73に含まれるノイズ成分である場合である。その時は、DSP内において、振幅Aの大きさを一致させる処理を行う。図17の説明において、ノイズ成分Y1とノイズ成分Y3の位相についても同じであると、説明の簡明化のために仮定したが、位相のずれが大きい場合は、DSP内において、位相のずれを一致させる処理を行う。

【0168】

なお、図16の加算回路258では、出力信号274と、出力信号274の位相を反転させた信号を加算する。ノイズキャンセリングの方法は、これに限られるものではなく、ノイズキャンセリングが可能であれば、任意の方法を採用することができる。例えば、位相反転させないで、信号を減算する方法がある。すなわち、位相反転回路278を無くして、加算回路258において、出力信号274から、バンドストップフィルタ276の出力信号を減算する。この方法でも、位相反転回路278を用いた場合と同様にノイズキャンセリングが可能である。

【0169】

従って、「位相反転させた信号を加算する」とこと、「位相反転させない信号を減算する」ことは、ノイズキャンセリングという観点からは、同一の効果を有する。本明細書において、「加算する」という用語には、この意味で「加算」と「減算」を含む。

【0170】

なお、渦電流センサ50内に温度センサを配置することによって、渦電流センサ50内の温度変化を検知して、検出コイル73の出力を補正することができる。補正の方法は例えば以下の通りである。半導体ウェハWHの研磨を行う前に、渦電流センサ50の温度と検出コイル73の出力との関係を測定して、この関係を補正テーブルとして作成する。補正テーブルの構成は種々可能である。例えば、渦電流センサ50の温度ごとに、検出コイル73の出力に乗ずる係数を補正テーブルとして作成する。または、温度の関数としての補正係数を表す多項式を補正テーブル（多項式の各次数の係数を表示する表）として作成する。温度に応じた補正を行うことにより温度変化に対応できるようになる。膜厚の測定精度が向上し、研磨終了の検知精度が改善できる。

【0171】

次に、渦電流センサの出力信号処理方法について説明する。図16において、励磁コイル72は、励磁用信号250を入力されて磁場を生成する。検出コイル73は、磁場を検出して検出信号176を出力する。励磁用信号250または検出信号176からノイズを低減するためのノイズ低減信号252を生成回路254は生成する。加算回路258は、生成されたノイズ低減信号252を検出信号176に加算して、検出信号176が含むノイズを低減したノイズ減少信号256を生成する。

【0172】

次に、渦電流センサの別の出力信号処理方法について説明する。図21において、励磁コイル860（第1の励磁コイル）は、励磁用信号250を入力されて第1の磁場876を生成する。検出コイル864（第1の検出コイル）は、第1の磁場876（図10参照）を検出して信号8641（第1の検出信号）を出力する。ダミーコイル868（第1のダミーコイル）は、第1の磁場876を検出して信号8681（第1のダミー信号）を出力する。

【0173】

渦電流センサ286が出力する信号8641と信号8681とを処理する渦電流センサの出力信号処理方法において、第1の抵抗ブリッジ回路7710は、信号8641と信号8681の差である第1の差信号292を出力する。生成回路2541は、励磁用信号250、信号8641、信号8681、第1の差信号292のいずれかからノイズを低減するための第1のノイズ低減信号252を生成する。図21においては、生成回路2541は、第1の差信号292からノイズを低減するための第1のノイズ低減信号252を生成する。第1の加算回路2581は、生成された第1のノイズ低減信号252を第1の差信号292に加算して、第1の差信号292が含むノイズを低減した第1のノイズ減少信号2801を生成する。

【0174】

次に、渦電流センサの別の出力信号処理方法について説明する。図21において、励磁コイル862（第2の励磁コイル）は、励磁用信号250を入力されて第2の磁場878（図10参照）を生成する。検出コイル866（第2の検出コイル）は、第1の磁場876と前記第2の磁場878を検出して信号8661（第2の検出信号）を出力する。ダミーコイル870（第2のダミーコイル）は、第1の磁場876と前記第2の磁場878を検出して信号8701（第2のダミー信号）を出力する。

【0175】

検出コイル864は、第1の磁場876と第2の磁場878を検出して信号8641（第1の検出信号）を出力する。ダミーコイル868は、第1の磁場876と第2の磁場878を検出して信号8681（第1のダミー信号）を出力する。第2の抵抗ブリッジ回路7711は、

信号 8 6 6 1 と信号 8 7 0 1 の差である第 2 の差信号 2 9 4 を出力する。生成回路 2 5 4 2 は、励磁用信号 2 5 0、信号 8 6 6 1、信号 8 7 0 1、第 2 の差信号 2 9 4 のいずれかからノイズを低減するための第 2 のノイズ低減信号 2 5 2 を生成する。第 2 の加算回路 2 5 8 2 は、生成された第 2 のノイズ低減信号 2 5 2 を第 2 の差信号 2 9 4 に加算して、第 2 の差信号 2 9 4 が含むノイズを低減した第 2 のノイズ減少信号 2 8 0 2 を生成する。第 3 の加算回路 2 8 4 は、第 1 のノイズ減少信号 2 8 0 1 と第 2 のノイズ減少信号 2 8 0 2 とを加算する。

【0176】

次に、渦電流センサの別の出力信号処理方法について説明する。本実施形態は、図 2 1 の実施形態において、ノイズキャンセリング回路を除いたものである。2 つの渦電流センサ 2 8 6、2 8 8 の出力をそれぞれブリッジ回路 7 7 1 0、7 7 1 1 で処理する。その後、検波回路 2 8 0 により直流にした後に第 3 の加算回路 2 8 4 で加算を行う。具体的には、励磁コイル 8 6 0、8 6 2 は、励磁用信号 2 5 0 を入力されて第 1 の磁場 8 7 6、第 2 の磁場 8 7 8 をそれぞれ生成する。検出コイル 8 6 4、8 6 6（第 1、第 2 の検出コイル）は、第 1 の磁場 8 7 6 と第 2 の磁場 8 7 8 を検出して、それぞれ信号 8 6 4 1、8 6 6 1（第 1、第 2 の検出信号）を出力する。ダミーコイル 8 6 8、8 7 0（第 1、第 2 のダミーコイル）は、第 1 の磁場 8 7 6 と第 2 の磁場 8 7 8 を検出して、それぞれ信号 8 6 8 1、8 7 0 1（第 1、第 2 のダミー信号）を出力する。

【0177】

本実施形態の出力信号処理方法においては、渦電流センサ 2 8 6、2 8 8 が出力する信号 8 6 4 1、8 6 6 1 と信号 8 6 8 1、8 7 0 1 とを処理する。第 1 の抵抗ブリッジ回路 7 7 1 0 は、信号 8 6 4 1（第 1 の検出信号）と信号 8 6 8 1（第 1 のダミー信号）の差である第 1 の差信号 2 9 2 を出力する。第 2 の抵抗ブリッジ回路 7 7 1 1 は、信号 8 6 6 1（第 2 の検出信号）と信号 8 7 0 1（第 2 のダミー信号）の差である第 2 の差信号 2 9 4 を出力する。第 1 の差信号 2 9 2 と第 2 の差信号 2 9 4 は、検波回路 2 8 0 において直流にされたのちに、第 3 の加算回路 2 8 4 において加算される。

【0178】

渦電流センサ 5 0 によって得られた膜厚に基づいて、研磨装置の各部を制御する方法について以下説明する。図 1 5 に示すように、渦電流センサ 5 0 は、終点検出コントローラ 2 4 6 に接続され、終点検出コントローラ 2 4 6 は、機器制御コントローラ 2 4 8 に接続されている。渦電流センサ 5 0 の出力信号は、終点検出コントローラ 2 4 6 に送られる。終点検出コントローラ 2 4 6 は、渦電流センサ 5 0 の出力信号に対して必要な処理（演算処理・補正）を施してモニタリング信号（終点検出コントローラ 2 4 6 によって補正された膜厚データ）を生成する。機器制御コントローラ 2 4 8 は、補正された膜厚データに基づいて、トップリング用モータ

114、研磨テーブル100用モータ（図示しない）等を制御する。

【0179】

なお本発明の実施形態の動作は、以下のソフトおよび／またはシステムを用いて行うことも可能である。例えば、システム（研磨装置）は、全体を制御するメインコントローラ（制御部）と、各部（駆動部、保持部、渦電流センサの出力信号処理回路、終点検出コントローラ）の動作をそれぞれ制御する複数のサブコントローラとを有する。メインコントローラおよびサブコントローラは、それぞれ、CPU、メモリ、記録媒体と、各部を動作させるために記録媒体に格納されたソフトウェア（プログラム）を有する。本発明の実施形態の渦電流センサの出力信号処理方法はソフトウェア（プログラム）によって実行することもできる。

【0180】

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。

【0181】

本願は、日本国特許庁において2019年12月16日に出願された特願2019-226547号及び特願2019-226549号に対するパリ条約に基づく優先権の利益を主張するものである。特開2011-23579号の明細書、特許請求の範囲、図面、要約を含む開示全体は、ここに本明細書の一部を構成するものとして援用する。

【符号の説明】

【0182】

- 50…渦電流センサ
- 54、290…出力信号処理回路
- 72、860、862…励磁コイル
- 73、864、866…検出コイル
- 74、868、870…ダミーコイル
- 174…渦電流センサ組立体
- 178、1781、1782…ミキサ回路
- 184、1841、1842…ローパスフィルタ
- 216…デジタルシグナルプロセッサ
- 246、248…終点検出コントローラ

2 5 2 …ノイズ低減信号、第 1 のノイズ低減信号、第 2 のノイズ低減信号

2 5 6 …ノイズ減少信号、第 1 のノイズ減少信号、第 2 のノイズ減少信号

2 5 8 …加算回路

2 8 4 …加算回路、第 3 の加算回路

2 9 2 …第 1 の差信号

2 9 4 …第 2 の差信号

1 7 8 3 …第 3 のミキサ回路

1 7 8 4 …第 4 のミキサ回路

1 8 4 3 …第 3 のローパスフィルタ

1 8 4 4 …第 4 のローパスフィルタ

1 9 4 1 …第 1 の調整回路

1 9 4 2 …第 2 の調整回路

1 9 6 1 …第 1 の減算回路

2 5 4 1、2 5 4 2 …生成回路

2 5 8 1 …第 1 の加算回路

2 5 8 2 …第 2 の加算回路

2 8 0 1 …第 1 のノイズ減少信号

2 8 0 2 …第 2 のノイズ減少信号

【書類名】 特許請求の範囲

【請求項 1】

渦電流センサと、

前記渦電流センサの出力信号を処理する出力信号処理回路とを有し、

前記出力信号処理回路は、

前記出力信号と、所定の周波数の信号が入力されて、入力された前記 2 つの信号の乗算を行い、前記乗算によって得られた出力信号を出力するミキサ回路と、

前記ミキサ回路が出力する前記出力信号が入力されて、入力された前記出力信号に含まれる高周波信号をカットして、少なくとも直流信号を出力するローパスフィルタとを有することを特徴とする渦電流センサ組立体。

【請求項 2】

第 1、第 2 の出力信号をそれぞれ出力する第 1、第 2 のコイルを有する渦電流センサが出力する前記第 1、第 2 の出力信号を処理する渦電流センサの出力信号処理回路において、

前記第 1 の出力信号と、所定の周波数の信号が入力されて、入力された前記 2 つの信号の乗算を行い、前記乗算によって得られた出力信号を出力する第 1 のミキサ回路と、

前記第 1 のミキサ回路が出力する前記出力信号が入力されて、入力された前記出力信号に含まれる高周波信号をカットして、少なくとも直流信号を出力する第 1 のローパスフィルタと、

前記第 2 の出力信号と、前記周波数の信号が入力されて、入力された前記 2 つの信号の乗算を行い、前記乗算によって得られた出力信号を出力する第 2 のミキサ回路と、

前記第 2 のミキサ回路が出力する前記出力信号が入力されて、入力された前記出力信号に含まれる高周波信号をカットして、少なくとも直流信号を出力する第 2 のローパスフィルタと、

前記第 1 のローパスフィルタが出力する前記直流信号と前記第 2 のローパスフィルタが出力する前記直流信号が入力されて、入力された 2 つの前記直流信号の差を求めて、得られた前記差を出力する第 1 の減算回路とを有することを特徴とする渦電流センサの出力信号処理回路。

【請求項 3】

前記出力信号処理回路は、前記第 1 のローパスフィルタが出力する前記直流信号が入力されて、入力された前記直流信号の振幅の大きさを調整して、調整後の直流信号を出力する第 1 の調整回路を有し、

前記第 1 の減算回路は、前記第 1 の調整回路が出力する前記直流信号と前記第 2 のローパスフィルタが出力する前記直流信号が入力されて、入力された 2 つの前記直流信号の差を求めて、得られた前記差を出力することを特徴とする請求項 2 記載の渦電流センサの出力信号処理回路。

【請求項 4】

前記出力信号処理回路は、前記第 1 のローパスフィルタが出力する前記直流信号が入力されて、入力された前記直流信号の振幅の大きさを調整して、調整後の直流信号を出力する第 1 の調整回路と、

前記第 2 のローパスフィルタが出力する前記直流信号が入力されて、入力された前記直流信号の振幅の大きさを調整して、調整後の直流信号を出力する第 2 の調整回路とを有し、

前記第 1 の減算回路は、前記第 1 の調整回路が出力する前記直流信号と前記第 2 の調整回路が出力する前記直流信号が入力されて、入力された 2 つの前記直流信号の差を求めて、得られた前記差を出力することを特徴とする請求項 2 記載の渦電流センサの出力信号処理回路。

【請求項 5】

前記渦電流センサは、第 3、第 4 の出力信号をそれぞれ出力する第 3、第 4 のコイルを有し、

前記出力信号処理回路は、

前記第 3 の出力信号と、前記周波数の信号が入力されて、入力された前記 2 つの信号の乗算を行い、前記乗算によって得られた出力信号を出力する第 3 のミキサ回路と、

前記第 3 のミキサ回路が出力する前記出力信号が入力されて、入力された前記出力信号に含まれる高周波信号をカットして、少なくとも直流信号を出力する第 3 のローパスフィルタと、

前記第 4 の出力信号と、前記周波数の信号が入力されて、入力された前記 2 つの信号の乗算を行い、前記乗算によって得られた出力信号を出力する第 4 のミキサ回路と、

前記第 4 のミキサ回路が出力する前記出力信号が入力されて、入力された前記出力信号に含まれる高周波信号をカットして、少なくとも直流信号を出力する第 4 のローパスフィルタと、

前記第 3 のローパスフィルタが出力する前記直流信号と前記第 4 のローパスフィルタが出力する前記直流信号が入力されて、入力された 2 つの前記直流信号の差を求めて、得られた前記差を出力する第 2 の減算回路と、

前記第 1 の減算回路が出力する前記差と前記第 2 の減算回路が出力する前記差が入力されて、入力された 2 つの前記差を加算してまたは 2 つの前記差の差を求めて、得られた前記和または差を出力する加算回路とを有することを特徴とする請求項 2 ないし 4 のいずれか 1 項に記載の渦電流センサの出力信号処理回路。

【請求項 6】

基板を研磨するための研磨パッドが貼り付けられるように構成される研磨テーブルと、

前記研磨テーブルを回転駆動するように構成される駆動部と、

前記基板を保持して前記研磨パッドに押圧するように構成される保持部と、

前記研磨テーブルの内部に配置され、前記研磨テーブルの回転に伴い、前記基板に形成され

る導電性膜に形成される渦電流を検出するように構成される前記渦電流センサと、
請求項 2 から 5 のいずれか 1 項に記載の前記渦電流センサの出力信号処理回路と、
前記出力信号処理回路の出力から前記基板の膜厚データを算出するように構成される終点
検出コントローラと、
を備える研磨装置。

【請求項 7】

励磁用信号を入力されて磁場を生成可能な励磁コイルと、前記磁場を検出して検出信号を出
力可能な検出コイルとを有する渦電流センサと、
前記検出信号を処理する出力信号処理回路とを有し、
前記出力信号処理回路は、
前記励磁用信号または前記検出信号からノイズを低減するためのノイズ低減信号を生成可
能な生成回路と、
前記生成回路において生成された前記ノイズ低減信号を前記検出信号に加算して、前記検出
信号が含むノイズを低減したノイズ減少信号を生成可能な加算回路とを有することを特徴と
する渦電流センサ組立体。

【請求項 8】

励磁用信号を入力されて第 1 の磁場を生成可能な第 1 の励磁コイルと、前記第 1 の磁場を検
出して第 1 の検出信号を出力可能な第 1 の検出コイルと、前記第 1 の磁場を検出して第 1 のダ
ミー信号を出力可能な第 1 のダミーコイルとを有する渦電流センサが出力する前記第 1 の検
出信号と前記第 1 のダミー信号とを処理する渦電流センサの出力信号処理回路において、
前記第 1 の検出信号と前記第 1 のダミー信号の差である第 1 の差信号を出力可能な第 1 の
抵抗ブリッジ回路と、
前記励磁用信号、前記第 1 の検出信号、前記第 1 のダミー信号、前記第 1 の差信号のいずれ
かからノイズを低減するための第 1 のノイズ低減信号を生成可能な第 1 の生成回路と、
前記第 1 の生成回路において生成された前記第 1 のノイズ低減信号を前記第 1 の差信号に
加算して、前記第 1 の差信号が含むノイズを低減した第 1 のノイズ減少信号を生成可能な第 1
の加算回路とを有することを特徴とする渦電流センサの出力信号処理回路。

【請求項 9】

前記渦電流センサは、前記励磁用信号を入力されて第 2 の磁場を生成可能な第 2 の励磁コイ
ルと、前記第 1 の磁場と前記第 2 の磁場を検出して第 2 の検出信号を出力可能な第 2 の検出コ
イルと、前記第 1 の磁場と前記第 2 の磁場を検出して第 2 のダミー信号を出力可能な第 2 のダ
ミーコイルとを有し、
前記第 1 の検出コイルは、前記第 1 の磁場と前記第 2 の磁場を検出して前記第 1 の検出信号

を出力可能であり、

前記第 1 のダミーコイルは、前記第 1 の磁場と前記第 2 の磁場を検出して前記第 1 のダミー信号を出力可能であり、

前記出力信号処理回路は、

前記第 2 の検出信号と前記第 2 のダミー信号の差である第 2 の差信号を出力可能な第 2 の抵抗ブリッジ回路と、

前記励磁用信号、前記第 2 の検出信号、前記第 2 のダミー信号、前記第 2 の差信号のいずれかからノイズを低減するための第 2 のノイズ低減信号を生成可能な第 2 の生成回路と、

前記第 2 の生成回路において生成された前記第 2 のノイズ低減信号を前記第 2 の差信号に加算して、前記第 2 の差信号が含むノイズを低減した第 2 のノイズ減少信号を生成可能な第 2 の加算回路と、

前記第 1 のノイズ減少信号と前記第 2 のノイズ減少信号とを加算可能な第 3 の加算回路とを有することを特徴とする請求項 8 記載の渦電流センサの出力信号処理回路。

【請求項 10】

励磁用信号を入力されて第 1、第 2 の磁場をそれぞれ生成可能な第 1、第 2 の励磁コイルと、前記第 1 の磁場と前記第 2 の磁場を検出して、それぞれ第 1、第 2 の検出信号を出力可能な第 1、第 2 の検出コイルと、前記第 1 の磁場と前記第 2 の磁場を検出して、それぞれ第 1、第 2 のダミー信号を出力可能な第 1、第 2 のダミーコイルとを有する渦電流センサが出力する前記第 1、第 2 の検出信号と前記第 1、第 2 のダミー信号とを処理する渦電流センサの出力信号処理回路において、

前記第 1 の検出信号と前記第 1 のダミー信号の差である第 1 の差信号を出力可能な第 1 の抵抗ブリッジ回路と、

前記第 2 の検出信号と前記第 2 のダミー信号の差である第 2 の差信号を出力可能な第 2 の抵抗ブリッジ回路と、

前記第 1 の差信号と前記第 2 の差信号とを加算可能な第 3 の加算回路とを有することを特徴とする渦電流センサの出力信号処理回路。