

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号

特開2022-10553

(P2022-10553A)

(43)公開日 令和4年1月17日(2022.1.17)

(51)国際特許分類	F I	テーマコード (参考)
B 2 4 B 49/12 (2006.01)	B 2 4 B 49/12	3 C 0 3 4
H 0 1 L 21/304 (2006.01)	H 0 1 L 21/304	3 C 1 5 8
B 2 4 B 37/013 (2012.01)	B 2 4 B 37/013	5 F 0 5 7
B 2 4 B 37/10 (2012.01)	B 2 4 B 37/10	

審査請求 未請求 請求項の数 24 O L (全27頁)

(21)出願番号	特願2020-111199(P2020-111199)	(71)出願人	000000239
(22)出願日	令和2年6月29日(2020.6.29)		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	100118500
			弁理士 廣澤 哲也
		(74)代理人	100091498
			弁理士 渡邊 勇
		(74)代理人	100174089
			弁理士 郷戸 学
		(74)代理人	100186749
			弁理士 金沢 充博
		(72)発明者	塩川 陽一
			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
		(72)発明者	八木 圭太

最終頁に続く

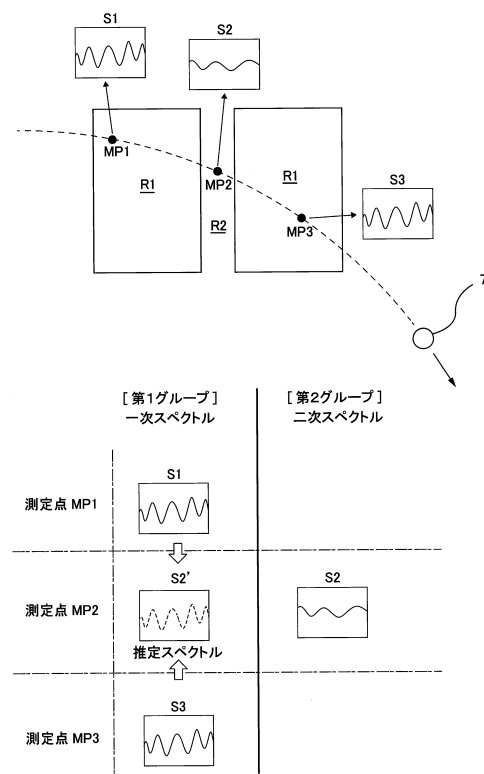
(54)【発明の名称】 研磨方法、研磨装置、およびプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体

(57)【要約】

【課題】様々な構造要素を表面に有する半導体ウェーハなどの基板の膜厚を高い精度で測定することができる研磨方法を提供する。

【解決手段】研磨方法は、基板W上の複数の測定点からの反射光の複数のスペクトルを生成し、複数のスペクトルを、各スペクトルの形状に基づいて第1グループに属する複数の一次スペクトルと、第2グループに属する二次スペクトルに分類し、複数の一次スペクトルから、基板Wの複数の膜厚を決定し、一次スペクトルまたは複数の膜厚を用いて、二次スペクトルに対応する測定点での膜厚を決定する。

【選択図】図9



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板を研磨しながら、前記基板上の複数の測定点からの反射光の複数のスペクトルを生成し、

前記複数のスペクトルを、各スペクトルの形状に基づいて第 1 グループに属する複数の一次スペクトルと、第 2 グループに属する二次スペクトルに分類し、

前記複数の一次スペクトルから、前記基板の複数の膜厚を決定し、

前記一次スペクトルまたは前記複数の膜厚を用いて、前記二次スペクトルに対応する測定点での膜厚を決定する、研磨方法。

【請求項 2】

前記二次スペクトルに対応する測定点での膜厚を決定する工程は、

前記二次スペクトルに対応し、かつ前記第 1 グループに属する推定スペクトルを生成し、

前記推定スペクトルから、前記基板の膜厚を決定する工程である、請求項 1 に記載の研磨方法。

【請求項 3】

前記推定スペクトルを生成する工程は、前記複数の一次スペクトルから内挿または外挿により前記推定スペクトルを生成する工程である、請求項 2 に記載の研磨方法。

【請求項 4】

前記推定スペクトルを生成する工程は、前記複数の一次スペクトルをスペクトル生成モデルに入力し、前記スペクトル生成モデルから前記推定スペクトルを出力する工程である、請求項 2 に記載の研磨方法。

【請求項 5】

前記二次スペクトルに対応する測定点での膜厚を決定する工程は、前記複数の膜厚から内挿または外挿により、前記二次スペクトルに対応する測定点での膜厚を決定する工程である、請求項 2 に記載の研磨方法。

【請求項 6】

前記複数のスペクトルを前記第 1 グループに属する前記一次スペクトルと、前記第 2 グループに属する前記二次スペクトルに分類する工程は、

前記基板の研磨中に生成した前記複数のスペクトルのそれぞれを分類モデルに入力し、

前記分類モデルから出力された分類結果に従って、前記複数のスペクトルを前記第 1 グループに属する前記一次スペクトルと、前記第 2 グループに属する前記二次スペクトルに分類する工程である、請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載の研磨方法。

【請求項 7】

サンプル基板を研磨しながら、前記サンプル基板からの反射光の複数の訓練用スペクトルを生成し、

前記複数の訓練用スペクトルを、前記第 1 グループおよび前記第 2 グループに分類し、

前記複数の訓練用スペクトルと、前記複数の訓練用スペクトルの分類結果を含む分類訓練データを用いて、機械学習により前記分類モデルのパラメータを決定する工程をさらに含む、請求項 6 に記載の研磨方法。

【請求項 8】

参照基板を研磨しながら、前記参照基板上の複数の測定点からの反射光の複数のスペクトルを生成し、

前記複数のスペクトルを、各スペクトルの形状に基づいて第 1 グループに属する複数の一次スペクトルと、第 2 グループに属する二次スペクトルに分類し、

前記二次スペクトルに対応し、かつ前記第 1 グループに属する推定スペクトルを生成し、

前記複数の一次スペクトルおよび前記推定スペクトルを膜厚にそれぞれ関連付け、

前記複数の一次スペクトルおよび前記推定スペクトルを参照スペクトルとしてデータベースに追加し、該データベースは前記複数の一次スペクトルおよび前記推定スペクトルを含む複数の参照スペクトルを有しており、

基板を研磨しながら、該基板からの反射光のスペクトルを生成し、

10

20

30

40

50

前記基板からの反射光のスペクトルに最も形状の近い参照スペクトルを決定し、
前記決定された参照スペクトルに関連付けられた膜厚を決定する、研磨方法。

【請求項 9】

研磨パッドを支持する研磨テーブルと、
基板を前記研磨パッドに対して押し付けて該基板を研磨する研磨ヘッドと、
前記基板上の複数の測定点に光を導き、前記複数の測定点からの反射光を受ける光学センサヘッドと、
前記反射光の複数のスペクトルを生成する処理システムを備え、
前記処理システムは、
前記複数のスペクトルを、各スペクトルの形状に基づいて第 1 グループに属する複数の一次スペクトルと、第 2 グループに属する二次スペクトルに分類し、
前記複数の一次スペクトルから、前記基板の複数の膜厚を決定し、
前記一次スペクトルまたは前記複数の膜厚を用いて、前記二次スペクトルに対応する測定点での膜厚を決定するように構成されている、研磨装置。

10

【請求項 10】

前記処理システムは、
前記二次スペクトルに対応し、かつ前記第 1 グループに属する推定スペクトルを生成し、
前記推定スペクトルから、前記基板の膜厚を決定するように構成されている、請求項 9 に記載の研磨装置。

20

【請求項 11】

前記処理システムは、前記複数の一次スペクトルから内挿または外挿により前記推定スペクトルを生成するように構成されている、請求項 10 に記載の研磨装置。

【請求項 12】

前記処理システムは、スペクトル生成モデルを有しており、
前記処理システムは、前記複数の一次スペクトルを前記スペクトル生成モデルに入力し、
前記スペクトル生成モデルから前記推定スペクトルを出力するように構成されている、請求項 10 に記載の研磨装置。

【請求項 13】

前記処理システムは、前記複数の膜厚から内挿または外挿により、前記二次スペクトルに対応する測定点での膜厚を決定するように構成されている、請求項 10 に記載の研磨装置。

30

【請求項 14】

前記処理システムは、分類モデルを備えており、
前記処理システムは、
前記基板の研磨中に生成した前記複数のスペクトルのそれぞれを前記分類モデルに入力し、
前記分類モデルから出力された分類結果に従って、前記複数のスペクトルを前記第 1 グループに属する前記一次スペクトルと、前記第 2 グループに属する前記二次スペクトルに分類するように構成されている、請求項 9 乃至 13 のいずれか一項に記載の研磨装置。

【請求項 15】

前記処理システムは記憶装置を備えており、前記記憶装置は、サンプル基板からの反射光の複数の訓練用スペクトルを格納しており、
前記処理システムは、
前記複数の訓練用スペクトルを、前記第 1 グループおよび前記第 2 グループに分類し、
前記複数の訓練用スペクトルと、前記複数の訓練用スペクトルの分類結果を含む分類訓練データを用いて、機械学習により前記分類モデルのパラメータを決定するように構成されている、請求項 14 に記載の研磨装置。

40

【請求項 16】

研磨パッドを支持する研磨テーブルと、
基板を前記研磨パッドに対して押し付けて該基板を研磨する研磨ヘッドと、

50

前記基板上の複数の測定点に光を導き、前記複数の測定点からの反射光を受ける光学センサヘッドと、

記憶装置を有する処理システムを備え、

前記記憶装置は、複数の参照スペクトルを含むデータベースと、参照基板上の複数の測定点からの反射光の複数のスペクトルを内部に格納しており、

前記処理システムは、

前記反射光の複数のスペクトルを、各スペクトルの形状に基づいて第１グループに属する複数の一次スペクトルと、第２グループに属する二次スペクトルに分類し、

前記二次スペクトルに対応し、かつ前記第１グループに属する推定スペクトルを生成し、

前記複数の一次スペクトルおよび前記推定スペクトルを膜厚にそれぞれ関連付け、

前記複数の一次スペクトルおよび前記推定スペクトルを参照スペクトルとして前記データベースに追加するように構成されている、研磨装置。

10

【請求項１７】

基板の研磨中に、該基板上の複数の測定点からの反射光の複数のスペクトルを生成するステップと、

前記複数のスペクトルを、各スペクトルの形状に基づいて第１グループに属する複数の一次スペクトルと、第２グループに属する二次スペクトルに分類するステップと、

前記複数の一次スペクトルから、前記基板の複数の膜厚を決定するステップと、

前記一次スペクトルまたは前記複数の膜厚を用いて、前記二次スペクトルに対応する測定点での膜厚を決定するステップをコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

20

【請求項１８】

前記二次スペクトルに対応する測定点での膜厚を決定するステップは、

前記二次スペクトルに対応し、かつ前記第１グループに属する推定スペクトルを生成するステップと、

前記推定スペクトルから、前記基板の膜厚を決定するステップである、請求項１７に記載のコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項１９】

前記推定スペクトルを生成するステップは、前記複数の一次スペクトルから内挿または外挿により前記推定スペクトルを生成するステップである、請求項１８に記載のコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

30

【請求項２０】

前記推定スペクトルを生成するステップは、前記複数の一次スペクトルをスペクトル生成モデルに入力し、前記スペクトル生成モデルから前記推定スペクトルを出力するステップである、請求項１８に記載のコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項２１】

前記二次スペクトルに対応する測定点での膜厚を決定するステップは、前記複数の膜厚から内挿または外挿により、前記二次スペクトルに対応する測定点での膜厚を決定するステップである、請求項１８に記載のコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項２２】

前記複数のスペクトルを前記第１グループに属する前記一次スペクトルと、前記第２グループに属する前記二次スペクトルに分類するステップは、

前記基板の研磨中に生成した前記複数のスペクトルのそれぞれを分類モデルに入力するステップと、

前記分類モデルから出力された分類結果に従って、前記複数のスペクトルを前記第１グループに属する前記一次スペクトルと、前記第２グループに属する前記二次スペクトルに分類するステップである、請求項１７乃至２１のいずれか一項に記載のコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

40

【請求項２３】

前記プログラムは、

50

サンプル基板の研磨中に、該サンプル基板からの反射光の複数の訓練用スペクトルを生成するステップと、
前記複数の訓練用スペクトルを、前記第 1 グループおよび前記第 2 グループに分類するステップと、
前記複数の訓練用スペクトルと、前記複数の訓練用スペクトルの分類結果を含む分類訓練データを用いて、機械学習により前記分類モデルのパラメータを決定するステップをさらに前記コンピュータに実行させるように構成されている、請求項 22 に記載のコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項 24】

参照基板の研磨中に、該参照基板上の複数の測定点からの反射光の複数のスペクトルを生成するステップと、
前記複数のスペクトルを、各スペクトルの形状に基づいて第 1 グループに属する複数の一次スペクトルと、第 2 グループに属する二次スペクトルに分類するステップと、
前記二次スペクトルに対応し、かつ前記第 1 グループに属する推定スペクトルを生成するステップと、
前記複数の一次スペクトルおよび前記推定スペクトルを膜厚にそれぞれ関連付けるステップと、
前記複数の一次スペクトルおよび前記推定スペクトルを参照スペクトルとしてデータベースに追加するステップと、該データベースは前記複数の一次スペクトルおよび前記推定スペクトルを含む複数の参照スペクトルを有しており、
基板を研磨しながら、該基板からの反射光のスペクトルを生成するステップと、
前記基板からの反射光のスペクトルに最も形状の近い参照スペクトルを決定するステップと、
前記決定された参照スペクトルに関連付けられた膜厚を決定するステップをコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ウェーハなどの基板を研磨する方法および装置に関し、特に基板からの反射光に含まれる光学情報に基づいて膜厚を検出する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体ウェーハ等の基板を研磨する研磨装置は、基板および研磨パッドをそれぞれ研磨ヘッドおよび研磨テーブルで回転させながら、基板を研磨テーブル上の研磨パッドに押し付けて、該基板の表面を研磨するように構成される。研磨装置の代表例であるCMP（化学機械研磨）装置は、スラリーを研磨パッドに供給しながら、基板をスラリーの存在下で研磨パッドに対して押し付ける。基板の表面は、スラリーの化学的作用と、スラリーに含まれる砥粒の機械的作用により、研磨される。

【0003】

このような研磨装置において、基板上の絶縁層（透明層）の膜厚を検出する目的でインサイチュウ（in situ）型の分光式膜厚測定器が用いられる。この分光式膜厚測定器は、研磨テーブルに装着された光源および分光器と、光源および分光器にそれぞれ接続された投光用光ファイバーケーブルと受光用光ファイバーケーブルを備えている。これらの光ファイバーケーブルの先端は、光学センサヘッドとして機能する。

【0004】

光学センサヘッドは、研磨テーブルが回転する度にウェーハ表面を走査する。すなわち、光学センサヘッドは、基板を横切る間に、基板上の複数の測定点に光を照射し、これら測定点からの反射光を受ける。分光器は、各測定点からの反射光を波長に従って分解し、光強度データを生成する。分光式膜厚測定器のスペクトル生成部は、光強度データから反射光のスペクトルを生成する。このスペクトルは基板の膜厚に従って変化するので、分光式

膜厚測定器は、スペクトルに基づいて基板の現在の膜厚を決定することができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】国際公開第2003/083522号

【特許文献2】特開2015-8303号公報

【特許文献3】特開2008-244335号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

10

しかしながら、このようなインサイチュウ (in situ) 型の分光式膜厚測定器は、光学センサヘッドを移動させながら、回転する基板の膜厚を測定するため、基板上の測定点の位置が固定されていない。基板の表面は、デバイスやスクライプラインなどの様々な構造要素から構成されている。基板からの反射光の強度は、膜厚のみならず、基板の表面を構成するこれらの構造要素によっても変わりうる。例えば、デバイスからの反射光の強度は、スクライプラインからの反射光の強度とは異なる。他の例では、デバイスの下層構造の違いに起因して、反射光の強度が変わることもある。結果として、膜厚の測定結果が測定点ごとにより変りうる。

【0007】

そこで、本発明は、様々な構造要素を表面に有する半導体ウェーハなどの基板の膜厚を高い精度で測定することができる研磨方法および研磨装置を提供する。

20

【課題を解決するための手段】

【0008】

一態様では、基板を研磨しながら、前記基板上の複数の測定点からの反射光の複数のスペクトルを生成し、前記複数のスペクトルを、各スペクトルの形状に基づいて第1グループに属する複数の一次スペクトルと、第2グループに属する二次スペクトルに分類し、前記複数の一次スペクトルから、前記基板の複数の膜厚を決定し、前記一次スペクトルまたは前記複数の膜厚を用いて、前記二次スペクトルに対応する測定点での膜厚を決定する、研磨方法が提供される。

【0009】

30

一態様では、前記二次スペクトルに対応する測定点での膜厚を決定する工程は、前記二次スペクトルに対応し、かつ前記第1グループに属する推定スペクトルを生成し、前記推定スペクトルから、前記基板の膜厚を決定する工程である。

一態様では、前記推定スペクトルを生成する工程は、前記複数の一次スペクトルから内挿または外挿により前記推定スペクトルを生成する工程である。

一態様では、前記推定スペクトルを生成する工程は、前記複数の一次スペクトルをスペクトル生成モデルに入力し、前記スペクトル生成モデルから前記推定スペクトルを出力する工程である。

一態様では、前記二次スペクトルに対応する測定点での膜厚を決定する工程は、前記複数の膜厚から内挿または外挿により、前記二次スペクトルに対応する測定点での膜厚を決定する工程である。

40

【0010】

一態様では、前記複数のスペクトルを前記第1グループに属する前記一次スペクトルと、前記第2グループに属する前記二次スペクトルに分類する工程は、前記基板の研磨中に生成した前記複数のスペクトルのそれぞれを分類モデルに入力し、前記分類モデルから出力された分類結果に従って、前記複数のスペクトルを前記第1グループに属する前記一次スペクトルと、前記第2グループに属する前記二次スペクトルに分類する工程である。

一態様では、前記研磨方法は、サンプル基板を研磨しながら、前記サンプル基板からの反射光の複数の訓練用スペクトルを生成し、前記複数の訓練用スペクトルを、前記第1グループおよび前記第2グループに分類し、前記複数の訓練用スペクトルと、前記複数の訓練

50

用スペクトルの分類結果を含む分類訓練データを用いて、機械学習により前記分類モデルのパラメータを決定する工程をさらに含む。

【0011】

一態様では、参照基板を研磨しながら、前記参照基板上の複数の測定点からの反射光の複数のスペクトルを生成し、前記複数のスペクトルを、各スペクトルの形状に基づいて第1グループに属する複数の一次スペクトルと、第2グループに属する二次スペクトルに分類し、前記二次スペクトルに対応し、かつ前記第1グループに属する推定スペクトルを生成し、前記複数の一次スペクトルおよび前記推定スペクトルを膜厚にそれぞれ関連付け、前記複数の一次スペクトルおよび前記推定スペクトルを参照スペクトルとしてデータベースに追加し、該データベースは前記複数の一次スペクトルおよび前記推定スペクトルを含む複数の参照スペクトルを有しており、基板を研磨しながら、該基板からの反射光のスペクトルを生成し、前記基板からの反射光のスペクトルに最も形状の近い参照スペクトルを決定し、前記決定された参照スペクトルに関連付けられた膜厚を決定する、研磨方法が提供される。

10

【0012】

一態様では、研磨パッドを支持する研磨テーブルと、基板を前記研磨パッドに対して押し付けて該基板を研磨する研磨ヘッドと、前記基板上の複数の測定点に光を導き、前記複数の測定点からの反射光を受ける光学センサヘッドと、前記反射光の複数のスペクトルを生成する処理システムを備え、前記処理システムは、前記複数のスペクトルを、各スペクトルの形状に基づいて第1グループに属する複数の一次スペクトルと、第2グループに属する二次スペクトルに分類し、前記複数の一次スペクトルから、前記基板の複数の膜厚を決定し、前記一次スペクトルまたは前記複数の膜厚を用いて、前記二次スペクトルに対応する測定点での膜厚を決定するように構成されている、研磨装置が提供される。

20

【0013】

一態様では、前記処理システムは、前記二次スペクトルに対応し、かつ前記第1グループに属する推定スペクトルを生成し、前記推定スペクトルから、前記基板の膜厚を決定するように構成されている。

一態様では、前記処理システムは、前記複数の一次スペクトルから内挿または外挿により前記推定スペクトルを生成するように構成されている。

一態様では、前記処理システムは、スペクトル生成モデルを有しており、前記処理システムは、前記複数の一次スペクトルを前記スペクトル生成モデルに入力し、前記スペクトル生成モデルから前記推定スペクトルを出力するように構成されている。

30

一態様では、前記処理システムは、前記複数の膜厚から内挿または外挿により、前記二次スペクトルに対応する測定点での膜厚を決定するように構成されている。

【0014】

一態様では、前記処理システムは、分類モデルを備えており、前記処理システムは、前記基板の研磨中に生成した前記複数のスペクトルのそれぞれを前記分類モデルに入力し、前記分類モデルから出力された分類結果に従って、前記複数のスペクトルを前記第1グループに属する前記一次スペクトルと、前記第2グループに属する前記二次スペクトルに分類するように構成されている。

40

一態様では、前記処理システムは記憶装置を備えており、前記記憶装置は、サンプル基板からの反射光の複数の訓練用スペクトルを格納しており、前記処理システムは、前記複数の訓練用スペクトルを、前記第1グループおよび前記第2グループに分類し、前記複数の訓練用スペクトルと、前記複数の訓練用スペクトルの分類結果を含む分類訓練データを用いて、機械学習により前記分類モデルのパラメータを決定するように構成されている。

【0015】

一態様では、研磨パッドを支持する研磨テーブルと、基板を前記研磨パッドに対して押し付けて該基板を研磨する研磨ヘッドと、前記基板上の複数の測定点に光を導き、前記複数の測定点からの反射光を受ける光学センサヘッドと、記憶装置を有する処理システムを備え、前記記憶装置は、複数の参照スペクトルを含むデータベースと、参照基板上の複数の

50

測定点からの反射光の複数のスペクトルを内部に格納しており、前記処理システムは、前記反射光の複数のスペクトルを、各スペクトルの形状に基づいて第1グループに属する複数の一次スペクトルと、第2グループに属する二次スペクトルに分類し、前記二次スペクトルに対応し、かつ前記第1グループに属する推定スペクトルを生成し、前記複数の一次スペクトルおよび前記推定スペクトルを膜厚にそれぞれ関連付け、前記複数の一次スペクトルおよび前記推定スペクトルを参照スペクトルとして前記データベースに追加するように構成されている、研磨装置が提供される。

【0016】

一態様では、基板の研磨中に、該基板上の複数の測定点からの反射光の複数のスペクトルを生成するステップと、前記複数のスペクトルを、各スペクトルの形状に基づいて第1グループに属する複数の一次スペクトルと、第2グループに属する二次スペクトルに分類するステップと、前記複数の一次スペクトルから、前記基板の複数の膜厚を決定するステップと、前記一次スペクトルまたは前記複数の膜厚を用いて、前記二次スペクトルに対応する測定点での膜厚を決定するステップをコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体が提供される。

10

【0017】

一態様では、前記二次スペクトルに対応する測定点での膜厚を決定するステップは、前記二次スペクトルに対応し、かつ前記第1グループに属する推定スペクトルを生成するステップと、前記推定スペクトルから、前記基板の膜厚を決定するステップである。

一態様では、前記推定スペクトルを生成するステップは、前記複数の一次スペクトルから内挿または外挿により前記推定スペクトルを生成するステップである。

20

一態様では、前記推定スペクトルを生成するステップは、前記複数の一次スペクトルをスペクトル生成モデルに入力し、前記スペクトル生成モデルから前記推定スペクトルを出力するステップである。

一態様では、前記二次スペクトルに対応する測定点での膜厚を決定するステップは、前記複数の膜厚から内挿または外挿により、前記二次スペクトルに対応する測定点での膜厚を決定するステップである。

【0018】

一態様では、前記複数のスペクトルを前記第1グループに属する前記一次スペクトルと、前記第2グループに属する前記二次スペクトルに分類するステップは、前記基板の研磨中に生成した前記複数のスペクトルのそれぞれを分類モデルに入力するステップと、前記分類モデルから出力された分類結果に従って、前記複数のスペクトルを前記第1グループに属する前記一次スペクトルと、前記第2グループに属する前記二次スペクトルに分類するステップである。

30

一態様では、前記プログラムは、サンプル基板の研磨中に、該サンプル基板からの反射光の複数の訓練用スペクトルを生成するステップと、前記複数の訓練用スペクトルを、前記第1グループおよび前記第2グループに分類するステップと、前記複数の訓練用スペクトルと、前記複数の訓練用スペクトルの分類結果を含む分類訓練データを用いて、機械学習により前記分類モデルのパラメータを決定するステップをさらに前記コンピュータに実行させるように構成されている。

40

【0019】

一態様では、参照基板の研磨中に、該参照基板上の複数の測定点からの反射光の複数のスペクトルを生成するステップと、前記複数のスペクトルを、各スペクトルの形状に基づいて第1グループに属する複数の一次スペクトルと、第2グループに属する二次スペクトルに分類するステップと、前記二次スペクトルに対応し、かつ前記第1グループに属する推定スペクトルを生成するステップと、前記複数の一次スペクトルおよび前記推定スペクトルを膜厚にそれぞれ関連付けるステップと、前記複数の一次スペクトルおよび前記推定スペクトルを参照スペクトルとしてデータベースに追加するステップと、該データベースは前記複数の一次スペクトルおよび前記推定スペクトルを含む複数の参照スペクトルを有しており、基板を研磨しながら、該基板からの反射光のスペクトルを生成するステップと、

50

前記基板からの反射光のスペクトルに最も形状の近い参照スペクトルを決定するステップと、前記決定された参照スペクトルに関連付けられた膜厚を決定するステップをコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体が提供される。

【発明の効果】

【0020】

推定スペクトルは、基板の膜厚を正確に反映していると想定される一次スペクトルである。したがって、処理システムは、基板の正確な膜厚を、推定スペクトルから決定することができる。特に、処理システムは、基板上の複数の測定点のすべてにおける正確な膜厚を決定することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】研磨装置の一実施形態を示す模式図である。

【図2】処理システムによって生成されたスペクトルの一例を示す図である。

【図3】図3(a)乃至図3(c)は、処理システムの例を示す模式図である。

【図4】図1に示す研磨装置の詳細な構成の一実施形態を示す断面図である。

【図5】光学式膜厚測定装置の原理を説明するための模式図である。

【図6】基板と研磨テーブルとの位置関係を示す平面図である。

【図7】反射光のスペクトルから膜厚を決定する方法の一例を説明する図である。

【図8】基板の表面（被研磨面）上の複数の測定点の一例を示す模式図である。

20

【図9】隣接する測定点での複数の一次スペクトルから、推定スペクトルを生成する一実施形態を説明する図である。

【図10】研磨時間に沿った時系列的な一次スペクトルから、推定スペクトルを生成する一実施形態を説明する図である。

【図11】光学式膜厚測定装置が基板の膜厚を決定する動作を説明するフローチャートである。

【図12】スペクトル生成モデルの一例を示す模式図である。

【図13】参照スペクトルのデータベースを更新する一実施形態を示すフローチャートである。

【図14】スペクトルの分類方法を構成するスペクトルの自動分類と分類モデルの作成を説明するためのフローチャートである。

30

【図15】分類モデルの一例を示す模式図である。

【図16】分類モデルを備えた光学式膜厚測定装置が基板の膜厚を決定する動作を説明するフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0022】

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、研磨装置の一実施形態を示す模式図である。図1に示すように、研磨装置は、研磨パッド2を支持する研磨テーブル3と、膜を有するウェーハなどの基板Wを研磨パッド2に押し付ける研磨ヘッド1と、研磨テーブル3を回転させるテーブルモータ6と、研磨パッド2上にスラリーなどの研磨液を供給するための研磨液供給ノズル5を備えている。研磨パッド2の上面は、基板Wを研磨する研磨面2aを構成する。

40

【0023】

研磨ヘッド1はヘッドシャフト10に連結されており、ヘッドシャフト10は図示しない研磨ヘッドモータに連結されている。研磨ヘッドモータは、研磨ヘッド1をヘッドシャフト10とともに矢印で示す方向に回転させる。研磨テーブル3はテーブルモータ6に連結されており、テーブルモータ6は研磨テーブル3および研磨パッド2を矢印で示す方向に回転させるように構成されている。

【0024】

基板Wは次のようにして研磨される。研磨テーブル3および研磨ヘッド1を図1の矢印で

50

示す方向に回転させながら、研磨液供給ノズル 5 から研磨液が研磨テーブル 3 上の研磨パッド 2 の研磨面 2 a に供給される。基板 W は研磨ヘッド 1 によって回転されながら、研磨パッド 2 上に研磨液が存在した状態で基板 W は研磨ヘッド 1 によって研磨パッド 2 の研磨面 2 a に押し付けられる。基板 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。

【0025】

研磨装置は、基板 W の膜厚を決定する光学式膜厚測定装置 40 を備えている。光学式膜厚測定装置 40 は、光を発する光源 44 と、分光器 47 と、光源 44 および分光器 47 に連結された光学センサヘッド 7 と、分光器 47 に連結された処理システム 49 を備えている。光学センサヘッド 7、光源 44、および分光器 47 は研磨テーブル 3 に取り付けられており、研磨テーブル 3 および研磨パッド 2 とともに一体に回転する。光学センサヘッド 7 の位置は、研磨テーブル 3 および研磨パッド 2 が一回転するたびに研磨パッド 2 上の基板 W の表面を横切る位置である。

【0026】

処理システム 49 は、後述するスペクトルの生成および基板 W の膜厚検出を実行するためのプログラムが格納された記憶装置 49 a と、プログラムに含まれる命令に従って演算を実行する処理装置 49 b を備えている。処理システム 49 は、少なくとも 1 台のコンピュータから構成される。記憶装置 49 a は、RAM などの主記憶装置と、ハードディスクドライブ (HDD)、ソリッドステートドライブ (SSD) などの補助記憶装置を備えている。処理装置 49 b の例としては、CPU (中央処理装置)、GPU (グラフィックプロセッシングユニット) が挙げられる。ただし、処理システム 49 の具体的構成はこれらの例に限定されない。

【0027】

光源 44 から発せられた光は、光学センサヘッド 7 に伝送され、光学センサヘッド 7 から基板 W の表面に導かれる。光は基板 W の表面で反射し、基板 W の表面からの反射光は光学センサヘッド 7 によって受けられ、分光器 47 に送られる。分光器 47 は反射光を波長に従って分解し、各波長での反射光の強度を測定する。反射光の強度測定データは、処理システム 49 に送られる。

【0028】

処理システム 49 は、反射光の強度測定データから反射光のスペクトルを生成するように構成されている。反射光のスペクトルは、反射光の波長と強度との関係を示す線グラフ (すなわち分光波形) として表される。反射光の強度は、反射率または相対反射率などの相対値として表わすこともできる。

【0029】

図 2 は、処理システム 49 によって生成されたスペクトルの一例を示す図である。スペクトルは、光の波長と強度との関係を示す線グラフ (すなわち分光波形) として表される。図 2 において、横軸は基板から反射した光の波長を表わし、縦軸は反射した光の強度から導かれる相対反射率を表わす。相対反射率とは、反射光の強度を示す指標値であり、光の強度と所定の基準強度との比である。各波長において光の強度 (実測強度) を所定の基準強度で割ることにより、装置の光学系や光源固有の強度のばらつきなどの不要なノイズを実測強度から除去することができる。

【0030】

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、光学センサヘッド 7 から発せられた光の強度を直接測定するか、または光学センサヘッド 7 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基板 (ベア基板) を研磨パッド 2 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基板 (ベア基板) が研磨パッド 2 上に置かれているときに、分光器 47 により測定されたシリコン基板からの反射光の強度としてもよい。

【0031】

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】

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

10

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

【0032】

光学センサヘッド7は、研磨テーブル3が一回転するたびに、基板Wの表面（被研磨面）に光を導き、基板Wからの反射光を受ける。反射光は分光器47に送られる。分光器47は反射光を波長に従って分解し、各波長での反射光の強度を測定する。反射光の強度測定データは、処理システム49に送られ、処理システム49は反射光の強度測定データから図2に示すようなスペクトルを生成する。さらに、処理システム49は、反射光のスペクトルから基板Wの膜厚を決定する。図2に示す例では、反射光のスペクトルは、相対反射率と反射光の波長との関係を示す分光波形であるが、反射光のスペクトルは、反射光の強度自体と、反射光の波長との関係を示す分光波形であってもよい。

20

【0033】

図1に示すように、処理システム49の記憶装置49aは、複数の参照スペクトルを収容したデータベース60を有している。複数の参照スペクトルは、過去に研磨された複数の基板からの反射光のスペクトルであり、言い換えれば、基板Wとは別の基板を研磨しているときに生成された反射光のスペクトルである。以下の説明では、参照スペクトルの生成に使用された基板を、参照基板という。

【0034】

処理システム49は、少なくとも1台のコンピュータから構成されている。前記少なくとも1台のコンピュータは、1台のサーバまたは複数台のサーバであってもよい。処理システム49は、分光器47に通信線で接続されたエッジサーバであってもよいし、インターネットまたはローカルエリアネットワークなどの通信ネットワークによって分光器47に接続されたクラウドサーバであってもよいし、あるいは分光器47に接続されたネットワーク内に設置されたフォグコンピューティングデバイス（ゲートウェイ、フォグサーバ、ルーターなど）であってもよい。

30

【0035】

処理システム49は、インターネットまたはローカルエリアネットワークなどの通信ネットワークにより接続された複数のサーバであってもよい。例えば、処理システム49は、エッジサーバとクラウドサーバとの組み合わせであってもよい。一実施形態では、データベース60は、処理装置49bから離れた場所にあるデータサーバ（図示せず）内に設けられてもよい。

40

【0036】

図3（a）乃至図3（c）は、処理システム49の例を示す模式図である。図3（a）は、処理システム49の全体が、研磨テーブル3および研磨ヘッド1が設置されている工場内に配置されたコントローラとして設けられている例を示す。この例では、処理システム49は、研磨テーブル3および研磨ヘッド1とともに、1つの装置を構成する。

【0037】

図3（b）は、処理システム49は、工場内に配置されたフォグサーバ500内に設けら

50

れた例を示している。 Fogサーバ500は、ゲートウェイ400を通じて分光器47に接続されている。ゲートウェイ400の例としては、ルーターなどの通信接続機器が挙げられる。ゲートウェイ400は、有線で分光器47および／または Fogサーバ500に接続されてもよいし、または無線により分光器47および／または Fogサーバ500に接続されてもよい。一実施形態では、処理システム49は、ゲートウェイ400内に設けられてもよい。処理システム49がゲートウェイ400内に配置される実施形態は、分光器47から送られる反射光の強度測定データを高速処理する場合に適している。一方、処理システム49が Fogサーバ500内に配置される実施形態は、高速処理が必要とされない場合に用いられる。一実施形態では、処理システム49を構成する複数のコンピュータがゲートウェイ400と Fogサーバ500の両方に設けられてもよい。

10

【0038】

図3(c)は、処理システム49は、工場外に配置されたクラウドサーバ600内に設けられた例を示している。クラウドサーバ600は Fogサーバ500およびゲートウェイ400を介して分光器47に接続されている。 Fogサーバ500はなくてもよい。図3(c)に示す実施形態は、複数の研磨装置が通信ネットワークでクラウドサーバ600に接続されており、処理システム49が大量のデータを処理する場合に適している。

【0039】

図1に戻り、処理システム49は、基板Wの研磨動作を制御するための研磨制御部9に接続されている。この研磨制御部9は、処理システム49によって決定された基板Wの膜厚に基づいて、基板Wの研磨動作を制御する。例えば、研磨制御部9は、基板Wの膜厚が目標膜厚に達した時点である研磨終点を決定する、あるいは基板Wの膜厚が所定の値に達したときに基板Wの研磨条件を変更するように構成されている。

20

【0040】

図4は、図1に示す研磨装置の詳細な構成の一実施形態を示す断面図である。ヘッドシャフト10は、ベルト等の連結手段17を介して研磨ヘッドモータ18に連結されて回転されるようになっている。このヘッドシャフト10の回転により、研磨ヘッド1が矢印で示す方向に回転する。

【0041】

分光器47は、光検出器48を備えている。一実施形態では、光検出器48は、フォトダイオード、CCD、またはCMOSなどから構成されている。光学センサヘッド7は、光源44および光検出器48に光学的に連結されている。光検出器48は処理システム49に電氣的に接続されている。

30

【0042】

光学式膜厚測定装置40は、光源44から発せられた光を基板Wの表面に導く投光用光ファイバーケーブル31と、基板Wからの反射光を受け、反射光を分光器47に送る受光用光ファイバーケーブル32を備えている。投光用光ファイバーケーブル31の先端および受光用光ファイバーケーブル32の先端は、研磨テーブル3内に位置している。

【0043】

投光用光ファイバーケーブル31の先端および受光用光ファイバーケーブル32の先端は、光を基板Wの表面に導き、かつ基板Wからの反射光を受ける光学センサヘッド7を構成する。投光用光ファイバーケーブル31の他端は光源44に接続され、受光用光ファイバーケーブル32の他端は分光器47に接続されている。分光器47は、基板Wからの反射光を波長に従って分解し、所定の波長範囲に亘って反射光の強度を測定するように構成されている。

40

【0044】

光源44は、光を投光用光ファイバーケーブル31を通じて光学センサヘッド7に送り、光学センサヘッド7は光を基板Wに向けて放つ。基板Wからの反射光は光学センサヘッド7に受けられ、受光用光ファイバーケーブル32を通じて分光器47に送られる。分光器47は反射光をその波長に従って分解し、各波長での反射光の強度を測定する。分光器47は、反射光の強度測定データを処理システム49に送る。処理システム49は、反射光

50

の強度測定データから反射光のスペクトルを生成する。

【0045】

研磨テーブル3は、その上面で開口する第1の孔50Aおよび第2の孔50Bを有している。また、研磨パッド2には、これら孔50A、50Bに対応する位置に通孔51が形成されている。孔50A、50Bと通孔51とは連通し、通孔51は研磨面2aで開口している。第1の孔50Aは液体供給ライン53に連結されており、第2の孔50Bはドレインライン54に連結されている。投光用光ファイバケーブル31の先端および受光用光ファイバケーブル32の先端から構成される光学センサヘッド7は、第1の孔50Aに配置されており、かつ通孔51の下方に位置している。

【0046】

基板Wの研磨中は、リンス液として純水が液体供給ライン53を介して第1の孔50Aに供給され、さらに第1の孔50Aを通して通孔51に供給される。純水は、基板Wの表面（被研磨面）と光学センサヘッド7との間の空間を満たす。純水は、第2の孔50Bに流れ込み、ドレインライン54を通じて排出される。第1の孔50Aおよび通孔51内を流れる純水は、研磨液が第1の孔50Aに浸入することを防止し、これにより光路が確保される。

【0047】

投光用光ファイバケーブル31は、光源44によって発せられた光を基板Wの表面まで導く光伝送部である。投光用光ファイバケーブル31および受光用光ファイバケーブル32の先端は、第1の孔50A内に位置しており、基板Wの被研磨面の近傍に位置している。投光用光ファイバケーブル31および受光用光ファイバケーブル32の各先端から構成される光学センサヘッド7は、研磨ヘッド1に保持された基板Wを向いて配置される。研磨テーブル3が回転するたびに基板Wの表面（被研磨面）に光が照射される。本実施形態では、1つの光学センサヘッド7のみが研磨テーブル3内に設けられているが、複数の光学センサヘッド7が研磨テーブル3内に設けられてもよい。

【0048】

図5は、光学式膜厚測定装置40の原理を説明するための模式図であり、図6は、基板Wと研磨テーブル3との位置関係を示す平面図である。図5に示す例では、基板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である。投光用光ファイバケーブル31および受光用光ファイバケーブル32の各先端から構成される光学センサヘッド7は、基板Wの表面に対向して配置されている。光学センサヘッド7は、研磨テーブル3が1回転するたびに基板Wの表面に光を照射する。

【0049】

基板Wに照射された光は、媒質（図5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、基板Wからの反射光から生成されるスペクトルは、上層膜の厚さに従って変化する。

【0050】

基板Wの研磨中、研磨テーブル3が1回転するたびに、光学センサヘッド7は基板Wを横切って移動する。光学センサヘッド7が基板Wの下方にあるとき、光源44は光を発する。光は、光学センサヘッド7から基板Wの表面（被研磨面）に導かれ、基板Wからの反射光は光学センサヘッド7に受けられ、分光器47に送られる。分光器47は、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、反射光の強度測定データを処理システム49に送る。処理システム49は、波長ごとの光の強度を表わす反射光のスペクトルを強度測定データから生成する。

【0051】

処理システム49は、図7に示すように、反射光のスペクトルを、データベース60内の複数の参照スペクトルと比較し、反射光のスペクトルに最も形状の近い1つの参照スペクトルを決定する。具体的には、処理システム49は、反射光のスペクトルと各参照スペク

10

20

30

40

50

トルとの差を算出し、算出された差が最も小さい参照スペクトルを決定する。そして、処理システム 49 は、決定された参照スペクトルに関連付けられた膜厚を決定する。

【0052】

各参照スペクトルにはその参照スペクトルが取得されたときの膜厚が予め関連付けられている。すなわち、各参照スペクトルは、異なる膜厚のときに取得されたものであり、複数の参照スペクトルは複数の異なる膜厚に対応する。したがって、反射光のスペクトルに最も形状の近い参照スペクトルを特定することにより、研磨中の基板 W の現在の膜厚を決定することができる。

【0053】

本実施形態では、光学センサヘッド 7 が基板 W を一回横切る間、光学センサヘッド 7 は基板 W 上の複数の測定点に連続的に光を放ち、これら複数の測定点からの反射光を受ける。図 8 は、基板 W の表面（被研磨面）上の複数の測定点の一例を示す模式図である。図 8 に示すように、光学センサヘッド 7 は、基板 W を横切るたびに、複数の測定点 MP に光を導き、これら複数の測定点 MP からの反射光を受ける。したがって、処理システム 49 は、光学センサヘッド 7 が基板 W を横切るたびに（すなわち、研磨テーブル 3 が一回転するたびに）、複数の測定点 MP からの反射光にそれぞれ対応する複数のスペクトルを生成する。生成された複数のスペクトルは、記憶装置 49 a 内に格納される。

【0054】

反射光のスペクトルは、基板 W の膜厚のみならず、基板 W の表面を構成する構造要素（例えば、デバイス、スクライプラインなど）にも依存して変わりうる。そこで、本実施形態では、基板 W の膜厚測定精度を向上させるために、光学式膜厚測定装置 40 は、次のようにして基板 W の膜厚を決定する。

【0055】

図 9 は、基板 W 上の複数の測定点からの反射光のスペクトルの一例を示す模式図である。図 9 に示す例では、第 1 の測定点 MP 1 および第 3 の測定点 MP 3 は、基板 W の第 1 構造要素 R 1（例えばデバイス）上にあり、第 2 の測定点 MP 2 は、基板 W の第 2 構造要素 R 2（例えばスクライプライン）上にある。第 1 構造要素 R 1 と第 2 構造要素 R 2 は異なる表面構造を有している。このような表面構造の違いに起因して、第 1 の測定点 MP 1 および第 3 の測定点 MP 3 からの反射光のスペクトル S 1，S 3 の形状は、第 2 の測定点 MP 2 からの反射光のスペクトル S 2 の形状とは大きく異なっている。

【0056】

処理システム 49 は、これらスペクトル S 1，S 2，S 3 を、その形状に基づいて、第 1 グループに属する一次スペクトルと、第 2 グループに属する二次スペクトルに分類する。図 9 に示す例では、処理システム 49 は、第 1 の測定点 MP 1 および第 3 の測定点 MP 3 からの反射光のスペクトル S 1，S 3 を、第 1 グループに属する一次スペクトルに分類し、第 2 の測定点 MP 2 からの反射光のスペクトル S 2 を、第 2 グループに属する二次スペクトルに分類する。

【0057】

処理システム 49 は、一次スペクトル S 1，S 3 を二次スペクトル S 2 よりも優先的に使用して、基板 W の膜厚を決定する。処理システム 49 は、第 1 の測定点 MP 1 からの反射光のスペクトルと第 3 の測定点 MP 3 からの反射光のスペクトルである一次スペクトル S 1，S 3 から、第 1 の測定点 MP 1 および第 3 の測定点 MP 3 での膜厚を決定する。膜厚の決定は、図 7 を参照して説明した工程に従って実行される。

【0058】

第 2 グループに属する二次スペクトル S 2 は、第 1 グループに属する一次スペクトル S 1，S 3 とは形状が大きく異なっているため、二次スペクトル S 2 から決定される膜厚は、相対的に不正確である可能性がある。そこで、処理システム 49 は、二次スペクトル S 2 が取得された第 2 の測定点 MP 2 での膜厚を次のように決定する。

【0059】

図 9 に示すように、処理システム 49 は、二次スペクトル S 2 に対応し、かつ第 1 グループ

10

20

30

40

50

ブに属する推定スペクトル S_2' を一次スペクトル S_1 , S_3 から生成する。より具体的には、処理システム 49 は、第 1 の測定点 MP 1 および第 3 の測定点 MP 3 での一次スペクトル S_1 , S_3 を用いて、第 2 の測定点 MP 2 での推定スペクトル S_2' を内挿により生成する。

【0060】

推定スペクトル S_2' は、第 1 グループに属する一次スペクトルに分類されるべき形状を有する。すなわち、推定スペクトル S_2' は、第 2 の測定点 MP 2 が、基板 W の第 1 構造要素 R 1 (例えばデバイス) 上に位置していると仮定した場合の、第 2 の測定点 MP 2 からの反射光の一次スペクトルに相当する。第 1 の測定点 MP 1、第 2 の測定点 MP 2、第 3 の測定点 MP 3 の配列によっては、処理システム 49 は、推定スペクトル S_2' を一次スペクトル S_1 , S_3 から外挿により生成してもよい。処理システム 49 は、生成した推定スペクトル S_2' から膜厚を決定する。この膜厚の決定は、図 7 を参照して説明した工程に従って実行される。一次スペクトル S_1 , S_3 および推定スペクトル S_2' は、処理システム 49 の記憶装置 49 a 内に格納される。

10

【0061】

推定スペクトル S_2' は、基板 W の膜厚を正確に反映していると想定される一次スペクトルである。したがって、光学式膜厚測定装置 40 は、基板 W の第 1 構造要素 R 1 とは異なる構造を有する第 2 構造要素 R 2 での正確な膜厚を、推定スペクトル S_2' から決定することができる。特に、光学式膜厚測定装置 40 は、図 8 に示す複数の測定点 MP のすべてにおける正確な膜厚を決定することができる。

20

【0062】

本実施形態では、説明の簡略化のために、2 つの測定点での一次スペクトルから、1 つの測定点での推定スペクトルを生成しているが、本発明は本実施形態に限られない。3 つ以上の測定点での一次スペクトルから、1 つの測定点での推定スペクトルを生成してもよい。基板の表面構造によっては、スクライブラインからの反射光のスペクトルを優先的に使用して膜厚を決定してもよい。このような場合は、スクライブラインからの反射光のスペクトルは、第 1 グループに属する一次スペクトルに分類される。

【0063】

図 9 に示す実施形態では、処理システム 49 は、第 2 の測定点 MP 2 の近傍にある第 1 の測定点 MP 1 および第 3 の測定点 MP 3 からの反射光の一次スペクトルを用いて、第 2 の測定点 MP 2 での推定スペクトル S_2' を生成しているが、一実施形態では、処理システム 49 は、研磨時間に沿った時系列的な第 2 の測定点 MP 2 での複数の一次スペクトルから、第 2 の測定点 MP 2 での推定スペクトルを生成してもよい。以下、この実施形態について図 10 を参照して説明する。

30

【0064】

処理システム 49 は、基板 W の研磨中、研磨テーブル 3 が一回転するたびに第 2 の測定点 MP 2 からの反射光のスペクトルを生成し、第 2 の測定点 MP 2 での複数のスペクトルを取得する。処理システム 49 は、これら複数のスペクトルを研磨時間に沿って、すなわち研磨テーブル 3 の回転回数に従って並べ、複数のスペクトルを、その形状に基づいて、第 1 グループに属する一次スペクトルと、第 2 グループに属する二次スペクトルとに分類する。図 10 に示す例では、研磨テーブル 3 が $n-1$ 回転目の中に生成されたスペクトル S_{2n-1} は一次スペクトルに分類され、研磨テーブル 3 が n 回転目の中に生成されたスペクトル S_{2n} は一次スペクトルに分類され、研磨テーブル 3 が $n+1$ 回転目の中に生成されたスペクトル S_{2n+1} は二次スペクトルに分類される。

40

【0065】

処理システム 49 は、研磨テーブル 3 が $n+1$ 回転目の中に生成されたと予想される推定スペクトル S_{2n+1}' を、一次スペクトル S_{2n-1} , S_{2n} から生成する。推定スペクトル S_{2n+1}' は、二次スペクトル S_{2n+1} に対応し、かつ第 1 グループに属する一次スペクトルである。具体的には、処理システム 49 は、一次スペクトル S_{2n-1} と一次スペクトル S_{2n} を用いて、推定スペクトル S_{2n+1}' を外挿により生成する。処理システム 49 は

50

、生成した推定スペクトル S_{2n+1}' から膜厚を決定する。この膜厚の決定は、図 7 を参照して説明した工程に従って実行される。一次スペクトル S_{2n-1} 、 S_{2n} および推定スペクトル S_{2n+1}' は、処理システム 49 の記憶装置 49a 内に格納される。

【0066】

処理システム 49 は、複数の一次スペクトルから、内挿により推定スペクトルを生成してもよい。例えば、スペクトル S_{2n-1} 、 S_{2n+1} が一次スペクトルに分類され、スペクトル S_{2n} が二次スペクトルに分類される場合は、処理システム 49 は、二次スペクトル S_{2n} に対応し、かつ第 1 グループに属する推定スペクトル S_{2n}' を、一次スペクトル S_{2n-1} 、 S_{2n+1} から内挿により生成してもよい。3 つ以上の時系列的な一次スペクトルから推定スペクトルを内挿または外挿により生成してもよい。

10

【0067】

図 11 は、光学式膜厚測定装置 40 が基板 W の膜厚を決定する動作を説明するフローチャートである。

ステップ 1-1 では、基板 W の研磨中に、光学センサヘッド 7 が基板 W を横切るたびに（すなわち、研磨テーブル 3 が一回転するたびに）、光学センサヘッド 7 は基板 W 上の複数の測定点に光を照射し、これら測定点からの反射光を受ける。

ステップ 1-2 では、基板 W の研磨中に、処理システム 49 は、複数の測定点からの反射光の複数のスペクトルを生成する。生成された複数のスペクトルは、処理システム 49 の記憶装置 49a 内に格納される。

【0068】

20

ステップ 1-3 では、処理システム 49 は、反射光の複数のスペクトルを、各スペクトルの形状に基づいて、第 1 グループに属する一次スペクトルと、第 2 グループに属する二次スペクトルに分類する。

ステップ 1-4 では、処理システム 49 は、第 1 グループに属する複数の一次スペクトルから基板 W の複数の膜厚を決定する。

ステップ 1-5 では、処理システム 49 は、上記複数の一次スペクトルを用いて、推定スペクトルを生成する。この推定スペクトルは、上記ステップ 1-3 で分類された二次スペクトルに対応し、かつ第 1 グループに属する一次スペクトルである。推定スペクトルは、図 9 または図 10 を参照して説明した工程に従って生成される。

ステップ 1-6 では、処理システム 49 は、推定スペクトルから基板 W の膜厚を決定する。

30

【0069】

上記ステップ 1-4 は、上記ステップ 1-5 の後に実施されてもよい。具体的には、処理システム 49 は、ステップ 1-5 で推定スペクトルを生成した後、複数の一次スペクトルおよび推定スペクトルから、基板 W の複数の膜厚を決定してもよい。

【0070】

処理システム 49 は、決定した基板 W の膜厚を図 1 および図 4 に示す研磨制御部 9 に送る。研磨制御部 9 は、基板 W の膜厚に基づいて、基板 W の研磨動作を制御する。例えば、研磨制御部 9 は、基板 W の膜厚が目標膜厚に達した時点である研磨終点を決定する、あるいは基板 W の膜厚が所定の値に達したときに基板 W の研磨条件を変更する。

40

【0071】

処理システム 49 は、一次スペクトルおよび推定スペクトルから決定された膜厚の移動平均をさらに算出してもよい。研磨制御部 9 は膜厚の移動平均に基づいて研磨終点を決定する、あるいは研磨条件を変更してもよい。膜厚の移動平均は、時系列に沿った複数の膜厚の時間的な移動平均であってもよいし、または隣接する複数の測定点での複数の膜厚の空間的な移動平均であってもよい。上述した各実施形態によれば、時系列に沿った時間的な複数の膜厚、および隣接する空間的な複数の膜厚のどちらもばらつきが少ないので、これら膜厚の移動平均の値は、複数の膜厚の正確な代表値を表す。

【0072】

一実施形態では、処理システム 49 は、内挿または外挿に代えて、スペクトル生成モデル

50

を用いて推定スペクトルを一次スペクトルから生成してもよい。図 9 に示す例では、処理システム 49 は、第 1 の測定点 MP 1 および第 3 の測定点 MP 3 からの反射光の一次スペクトル S 1 , S 3 をスペクトル生成モデルに入力し、第 2 の測定点 MP 2 での推定スペクトル S 2 ' をスペクトル生成モデルから出力する。図 10 に示す例では、処理システム 49 は、研磨テーブル 3 が $n-1$ 回転目中に生成された一次スペクトル S 2 $n-1$ と、研磨テーブル 3 が n 回転目中に生成された一次スペクトル S 2 n をスペクトル生成モデルに入力し、推定スペクトル S 2 $n+1$ ' をスペクトル生成モデルから出力する。

【0073】

スペクトル生成モデルは、一次スペクトルの生成を人工知能のアルゴリズムに従って学習したニューラルネットワークからなる学習済みモデルである。人工知能のアルゴリズムの例としては、サポートベクター回帰法、ディープラーニング法、ランダムフォレスト法、または決定木法などが挙げられるが、本実施形態では機械学習の一例であるディープラーニング法が使用されている。ディープラーニング法は、中間層（隠れ層ともいう）が多層化されたニューラルネットワークをベースとする学習法である。本明細書では、入力層と、二層以上の中間層と、出力層で構成されるニューラルネットワークを用いた機械学習をディープラーニングと称する。

【0074】

スペクトル生成モデルは、処理システム 49 の記憶装置 49 a 内に格納されている。処理システム 49 は、その記憶装置 49 a に電氣的に格納されたプログラムに含まれる命令に従って、訓練データを用いた機械学習を実行してスペクトル生成モデルを構築する。機械学習に使用される訓練データは、研磨対象の基板 W と同じ積層構造を有する複数の基板を研磨しているときに生成された複数の一次スペクトルを含む。より具体的には、訓練データは、複数の基板を研磨しているときに生成された複数の一次スペクトルのうちの 1 つを目的変数（正解データ）として含み、他の一次スペクトルを説明変数として含む。

【0075】

図 9 に示す例では、説明変数は、ある基板を研磨しているときに生成された第 1 の測定点 MP 1 および第 3 の測定点 MP 3 での一次スペクトルであり、目的変数はその基板を研磨しているときに生成された第 2 の測定点 MP 2 での一次スペクトルである。あるいは、説明変数は、第 1 の基板を研磨しているときに生成された第 1 の測定点 MP 1 および第 3 の測定点 MP 3 での一次スペクトルであり、目的変数は第 2 の基板を研磨しているときに生成された第 2 の測定点 MP 2 での一次スペクトルである。

【0076】

図 10 に示す例では、説明変数は、第 1 の基板および第 2 の基板を研磨しているときに生成された所定の測定点での複数の一次スペクトルであり、目的変数は第 3 の基板を研磨しているときに生成された上記所定の測定点での一次スペクトルである。この例で説明変数および目的変数として使用される一次スペクトルは、時系列的な一次スペクトルである。

【0077】

処理システム 49 は、研磨対象の基板 W を研磨しているときに生成した一次スペクトルをスペクトル生成モデルに入力し、推定スペクトルをスペクトル生成モデルから出力する。図 12 は、スペクトル生成モデルの一例を示す模式図である。図 12 に示すように、スペクトル生成モデルは、入力層 200、複数の中間層 201、および出力層 202 を有するニューラルネットワークから構成される。

【0078】

図 9 乃至図 12 を参照して説明した推定スペクトルの生成は、図 7 に示す参照スペクトルのデータベース 60 の更新に用いることができる。以下、この参照スペクトルのデータベース 60 を更新する一実施形態について、図 13 に示すフローチャートを参照しながら説明する。

【0079】

ステップ 2-1 では、研磨対象の基板 W と同じ積層構造を有する参照基板を上記研磨装置により研磨しながら、光学センサヘッド 7 は参照基板上の複数の測定点に光を照射し、こ

10

20

30

40

50

れら測定点からの反射光を受ける。より具体的には、光学センサヘッド 7 が参照基板を横切るたびに（すなわち、研磨テーブル 3 が一回転するたびに）、光学センサヘッド 7 は参照基板上の複数の測定点に光を照射し、これら測定点からの反射光を受ける。

ステップ 2-2 では、処理システム 49 は、参照基板上の上記複数の測定点からの反射光の複数のスペクトルを生成する。生成された複数のスペクトルは、処理システム 49 の記憶装置 49 a 内に格納される。

ステップ 2-3 では、処理システム 49 は、複数のスペクトルを、各スペクトルの形状に基づいて第 1 グループに属する複数の一次スペクトルと、第 2 グループに属する二次スペクトルに分類する。

【0080】

ステップ 2-4 では、処理システム 49 は、上記ステップ 2-3 で分類された二次スペクトルに対応し、かつ上記第 1 グループに属する推定スペクトルを上記複数の一次スペクトルから生成する。推定スペクトルは、図 9 または図 10 または図 12 を参照して説明した工程に従って生成される。

ステップ 2-5 では、処理システム 49 は、複数の一次スペクトルおよび推定スペクトルを、複数の測定点での複数の膜厚にそれぞれ関連付ける。推定スペクトルに対応する測定点は、上記ステップ 2-3 で分類された二次スペクトルで表される光が反射した測定点である。

ステップ 2-6 では、処理システム 49 は、複数の一次スペクトルおよび推定スペクトルを参照スペクトルとしてデータベース 60 に追加し、これによってデータベース 60 を更新する。複数の一次スペクトルおよび推定スペクトルは、それぞれ対応する膜厚に関連付けられた状態で、データベース 60 に追加される。

【0081】

研磨対象である基板 W と、参照基板は同じ積層構造を有しているので、基板 W の研磨時に生成された一次スペクトルおよび推定スペクトルも同様に、参照スペクトルとしてデータベース 60 に加えることができる。基板 W の研磨時に生成された一次スペクトルおよび推定スペクトルは、同じ積層構造を持つ他の基板の膜厚を決定するための参照スペクトルとして使用することができる。

【0082】

上述した各実施形態では、複数の一次スペクトルから推定スペクトルを生成するが、一実施形態では、処理システム 49 は、推定スペクトルを生成せずに、複数の一次スペクトルから決定された複数の膜厚から、内挿または外挿により、二次スペクトルに対応する測定点での膜厚を決定してもよい。図 9 に示す例では、処理システム 49 は、第 1 の測定点 MP1 での一次スペクトル S1 から決定された膜厚と、第 3 の測定点 MP3 での一次スペクトル S3 から決定された膜厚から、第 2 の測定点 MP2 での膜厚を内挿または外挿により算定する。図 10 に示す例では、処理システム 49 は、所定の測定点でのある時点での膜厚を、上記所定の測定点での異なる時点での複数の膜厚から内挿または外挿により算定する。推定スペクトルを生成しない本実施形態は、処理システム 49 の負荷を低減することができる。

【0083】

次に、スペクトルを、その形状に基づいて、一次スペクトルと二次スペクトルに分類するための分類方法について説明する。この分類方法は、訓練用スペクトルの自動分類と、分類モデルの作成と、基板の研磨中に生成された反射光のスペクトルを分類モデルに入力する工程を含む。

【0084】

スペクトルの自動分類は、予め用意された複数の訓練用スペクトルを分類アルゴリズム（クラスタリングアルゴリズム）に従って複数のクラスター（集団）に分類し、さらに複数のクラスター（集団）を第 1 グループおよび第 2 グループに分類する工程である。分類アルゴリズム（クラスタリングアルゴリズム）の例として、k 平均法、混合ガウスモデル（GMM）などが挙げられる。予め用意された複数の訓練用スペクトルは、複数のサンプル

10

20

30

40

50

基板を研磨しているときに得られた反射光のスペクトルである。これらの訓練用スペクトルは、記憶装置 49 a 内に格納されている。

【0085】

分類モデルの作成は、第1グループおよび第2グループに分類された複数の訓練用スペクトルと、それら訓練用スペクトルの分類結果を用いて、ニューラルネットワークからなる分類モデルを機械学習により構築する工程である。分類モデルの構築は、分類モデルのパラメータ（重み係数やバイアスなど）を決定することを含む。

【0086】

図14は、スペクトルの分類方法を構成する訓練用スペクトルの自動分類と分類モデルの作成を説明するためのフローチャートである。

10

ステップ3-1では、上記研磨装置によりサンプル基板を研磨しながら、処理システム49は、サンプル基板からの反射光の強度測定データを受け取り、強度測定データから複数の訓練用スペクトルを生成する。サンプル基板は、研磨対象の基板Wと同じ積層構造を有してもよいし、または有していなくてもよい。サンプル基板は複数用意され、各サンプル基板の研磨と、訓練用スペクトルの生成が繰り返される。訓練用スペクトルは、記憶装置49 a 内に格納される。

【0087】

ステップ3-2では、処理システム49は、前記複数の訓練用スペクトルを、分類アルゴリズムに従って複数のクラスター（集団）に分類に分類する。分類アルゴリズムには、上述したように、k平均法、混合ガウスモデル（GMM）などの公知のクラスタリングアルゴリズムが使用される。

20

ステップ3-3では、処理システム49は、複数のクラスター（集団）をさらに第1グループおよび第2グループに分類する。複数の訓練用スペクトルは、分類アルゴリズムに従って3つ以上のクラスターに分類されることもある。その場合、これらクラスターのうちの少なくとも1つが第1グループに分類（選定）され、他のクラスターのうちの少なくとも1つが第2グループに分類（選定）される。例えば、複数の訓練用スペクトルが3つのクラスターに分類された場合、1つのクラスターが第1グループに分類（選定）され、他の2つのクラスターが第2グループに分類（選定）されることがある。

【0088】

分類アルゴリズムに従って分類された複数のクラスターのうちのどれを第1グループに選定するかは、処理システム49が予め定めるか、あるいはユーザーが予め定めてもよい。例えば、処理システム49は、分類アルゴリズムに従って複数のスペクトルを複数のクラスターに分類し、最も多い数のスペクトルが属するクラスターを第1グループに選定し、その選定された第1グループに属するスペクトルを一次スペクトルに指定してもよい。他の例では、処理システム49は、外部の膜厚測定器によって取得された膜厚プロファイルに最も一致する膜厚プロファイルを持つスペクトルが属するクラスターを第1グループに選定し、その選定された第1グループに属するスペクトルを一次スペクトルに指定してもよい。さらに他の例では、処理システム49は、研磨対象の基板Wの積層構造の仮想モデルを作成し、光反射のシミュレーションを実行し、仮想モデルからの反射光の仮想スペクトル（あるいは理論スペクトル）を生成し、仮想スペクトルに近い形状を有するスペクトルが属するクラスターを決定し、その決定されたクラスターを第1グループに選定し、その選定された第1グループに属するスペクトルを一次スペクトルに指定してもよい。さらに他の例では、処理システム49は、スペクトル形状のばらつきがもっとも小さいクラスターを第1グループに選定し、その選定された第1グループに属するスペクトルを一次スペクトルに指定してもよい。

30

40

【0089】

ステップ3-4では、処理システム49は、第1グループおよび第2グループに分類された複数の訓練用スペクトルと、それらの分類結果を含む分類訓練データを作成する。分類訓練データは、複数の訓練用スペクトルを説明変数として含み、これら訓練用スペクトルのそれぞれの分類結果を目的変数として含む。例えば、第1グループに分類された訓練用

50

スペクトル（説明変数）は、分類結果として第１グループを示す数値（目的変数）と組み合わせられる。同様に、第２グループに分類された訓練用スペクトル（説明変数）は、分類結果として第２グループを示す数値（目的変数）と組み合わせられる。分類訓練データは、処理システム４９の記憶装置４９a内に格納される。

ステップ３－５では、処理システム４９は、上記分類訓練データを用いて、機械学習により分類モデルのパラメータ（重み係数やバイアスなど）を決定する。

【００９０】

図１５は、分類モデルの一例を示す模式図である。図１５に示すように、分類モデルは、入力層２５０、複数の中間層２５１、および出力層２５２を有するニューラルネットワークから構成される。一実施形態では、分類モデルを構築するための機械学習のアルゴリズムとして、ディープラーニングが使用される。処理システム４９は、訓練用スペクトルを分類モデルの入力層２５０に入力する。具体的には、処理システム４９は、訓練用スペクトルを構成する、各波長での反射光の強度（例えば相対反射率）を分類モデルの入力層２５０に入力する。

10

【００９１】

処理システム４９は、入力層２５０に入力された訓練用スペクトルに対応する分類結果（第１グループまたは第２グループを示す数値）が出力層２５２から出力されるように分類モデルのパラメータ（重みやバイアスなど）を調節する。このような機械学習の結果、学習済みモデルとしての分類モデルが作成される。分類モデルは、処理システム４９の記憶装置４９a内に格納される。

20

【００９２】

分類モデルを備えた処理システム４９は、基板Wの研磨中に、該基板Wからの反射光の複数のスペクトルを１つずつ分類モデルに入力し、分類モデルから分類結果を出力させる。処理システム４９は、分類モデルから出力された分類結果に従って、反射光の複数のスペクトルを第１グループに属する一次スペクトルと第２グループに属する二次スペクトルに分類する。処理システム４９は、第１グループに属する一次スペクトルを用いて基板Wの膜厚を決定し、かつ上述した推定スペクトルを生成する。処理システム４９は、推定スペクトルから基板Wの膜厚を決定する。

【００９３】

図１６は、分類モデルを備えた光学式膜厚測定装置４０が基板Wの膜厚を決定する動作を説明するフローチャートである。

30

ステップ４－１では、基板Wの研磨中に、光学センサヘッド７が基板Wを横切るたびに（すなわち、研磨テーブル３が一回転するたびに）、光学センサヘッド７は基板W上の複数の測定点に光を照射し、これら測定点からの反射光を受ける。

ステップ４－２では、基板Wの研磨中に、処理システム４９は、複数の測定点からの反射光の複数のスペクトルを生成する。生成された複数のスペクトルは、処理システム４９の記憶装置４９a内に格納される。

【００９４】

ステップ４－３では、処理システム４９は、複数のスペクトルを１つずつ分類モデルに入力し、分類モデルによって定義される計算アルゴリズムに従って演算を実行し、分類結果を分類モデルから出力する。

40

ステップ４－４では、処理システム４９は、分類モデルから出力された分類結果に従って、反射光の複数のスペクトルを第１グループに属する一次スペクトルと、第２グループに属する二次スペクトルに分類する。

【００９５】

ステップ４－５では、処理システム４９は、第１グループに属する複数の一次スペクトルから基板Wの複数の膜厚を決定する。

ステップ４－６では、処理システム４９は、二次スペクトルに対応し、かつ第１グループに属する推定スペクトルを上記複数の一次スペクトルから生成する。推定スペクトルは、図９、図１０、または図１２を参照して説明した実施形態に従って生成される。

50

ステップ４－７では、処理システム４９は、推定スペクトルから基板Ｗの膜厚を決定する。

【００９６】

上記ステップ４－５は、上記ステップ４－６の後に実施されてもよい。具体的には、処理システム４９は、ステップ４－６で推定スペクトルを生成した後、複数の一次スペクトルおよび推定スペクトルから、基板Ｗの複数の膜厚を決定してもよい。

【００９７】

処理システム４９は、上記ステップ４－６，４－７に代えて、複数の一次スペクトルから決定された複数の膜厚から、内挿または外挿により、二次スペクトルに対応する測定点での膜厚を決定してもよい。

【００９８】

処理システム４９は、上述のようにして決定された膜厚の移動平均をさらに算出してもよい。また、研磨制御部９は膜厚の移動平均に基づいて研磨終点を決定する、あるいは研磨条件を変更してもよい。膜厚の移動平均は、時系列に沿った複数の膜厚の時間的な移動平均であってもよいし、または隣接する複数の測定点での膜厚の空間的な移動平均であってもよい。上述した各実施形態によれば、時系列に沿った時間的な複数の膜厚、および隣接する空間的な複数の膜厚のどちらもばらつきが少ないので、これら膜厚の移動平均の値は、複数の膜厚の正確な代表値を表す。

【００９９】

少なくとも１台のコンピュータからなる処理システム４９は、その記憶装置４９ａに電氣的に格納されたプログラムに含まれる命令に従って動作する。すなわち、処理システム４９は、プログラムに含まれる命令に従って、上述した各実施形態における各動作ステップを実行する。これらステップを処理システム４９に実行させるためのプログラムは、非一時的な有形物であるコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録され、記録媒体を介して処理システム４９に提供される。または、プログラムは、インターネットまたはローカルエリアネットワークなどの通信ネットワークを介して処理システム４９に入力されてもよい。

【０１００】

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。

【符号の説明】

【０１０１】

- １ 研磨ヘッド
- ２ 研磨パッド
- ２ a 研磨面
- ３ 研磨テーブル
- ５ 研磨液供給ノズル
- ６ テーブルモータ
- ７ 光学センサヘッド
- ９ 研磨制御部
- １０ ヘッドシャフト
- １７ 連結手段
- １８ 研磨ヘッドモータ
- ３１ 投光用光ファイバケーブル
- ３２ 受光用光ファイバケーブル
- ４０ 光学式膜厚測定装置
- ４４ 光源

10

20

30

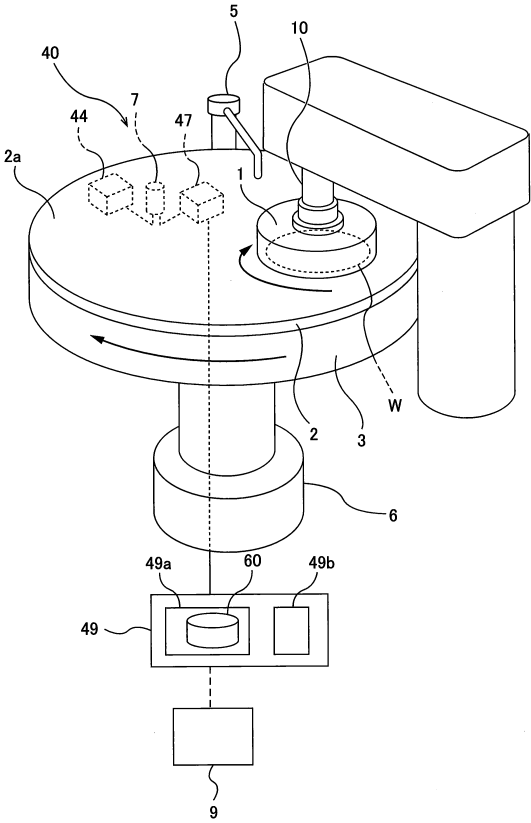
40

50

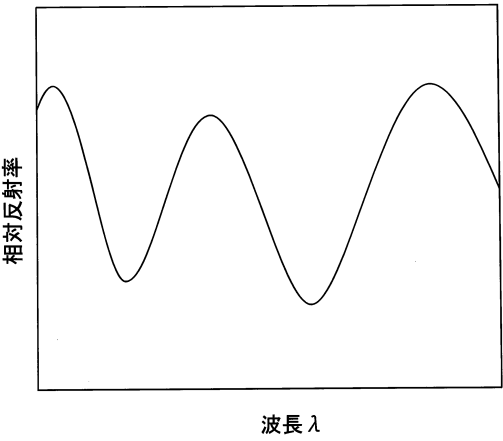
- 4 7 分光器
- 4 8 光検出器
- 4 9 処理システム
- 4 9 a 記憶装置
- 4 9 b 処理装置
- 5 0 A 第 1 の孔
- 5 0 B 第 2 の孔
- 5 1 通孔
- 6 0 データベース

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

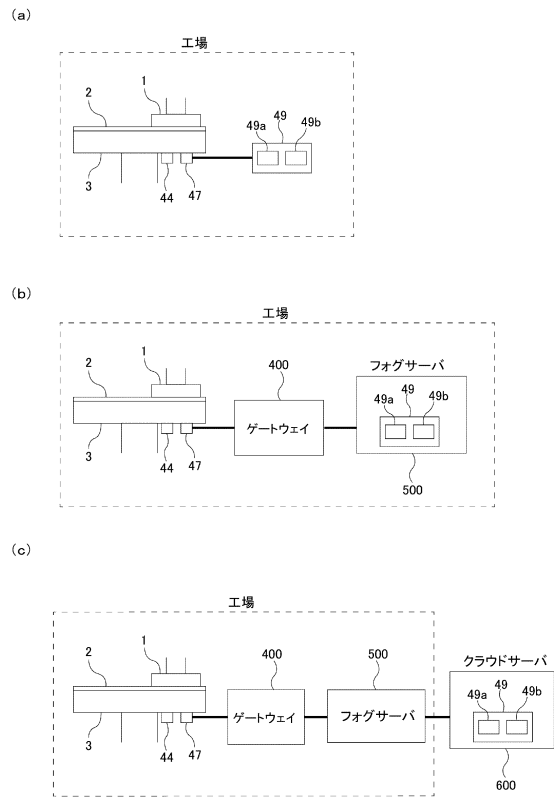
20

30

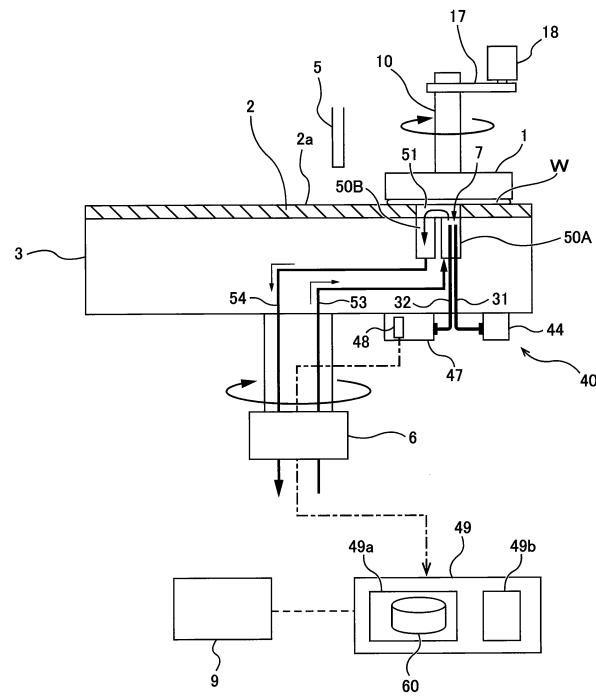
40

50

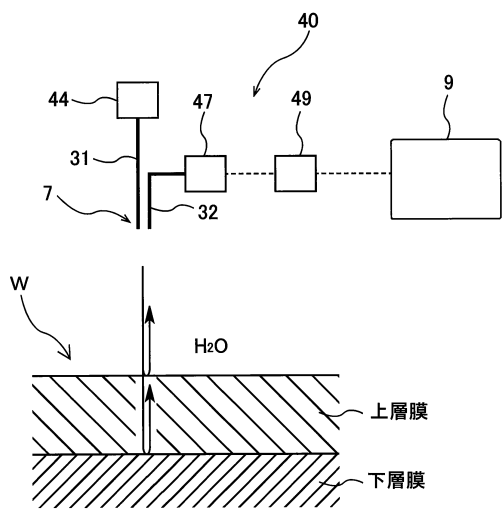
【図 3】



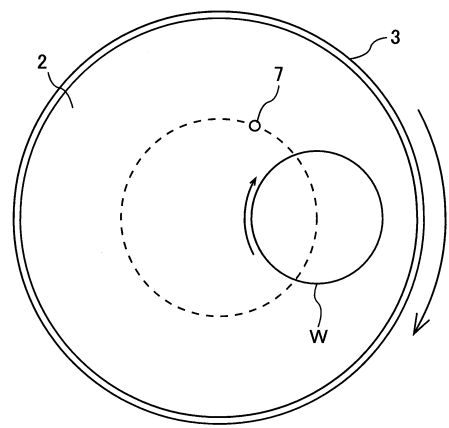
【図 4】



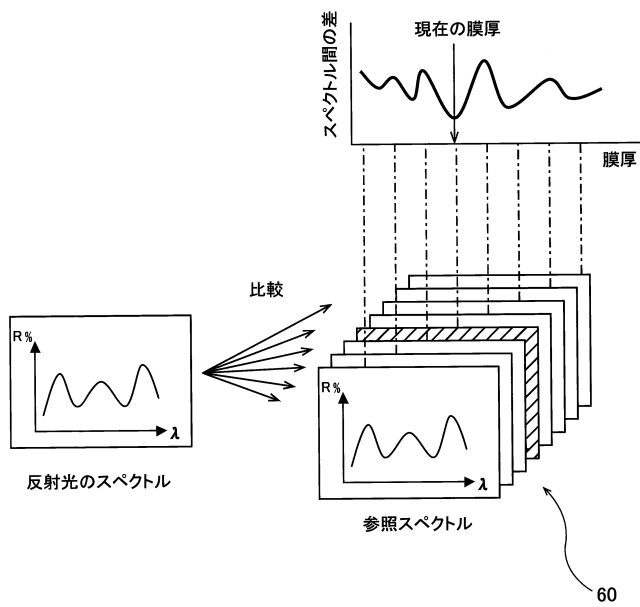
【図 5】



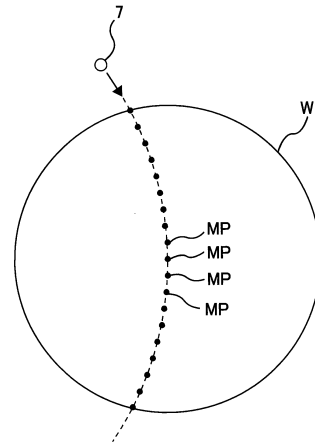
【図 6】



【図 7】



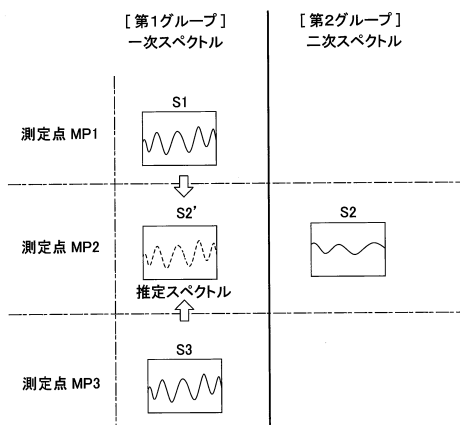
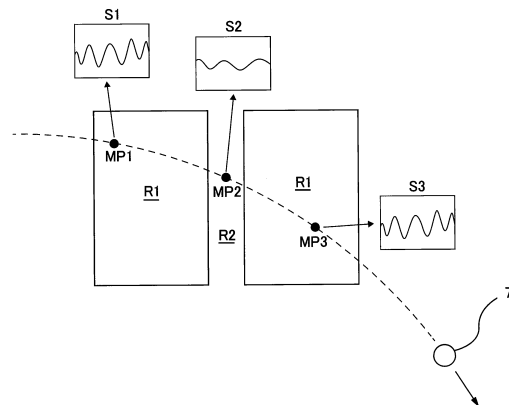
【図 8】



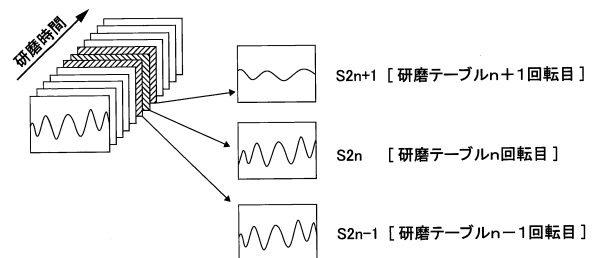
10

20

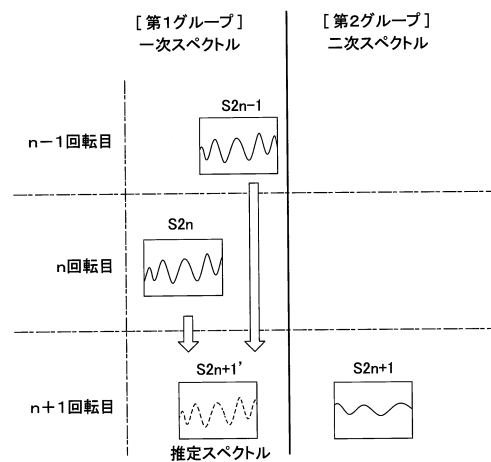
【図 9】



【図 10】



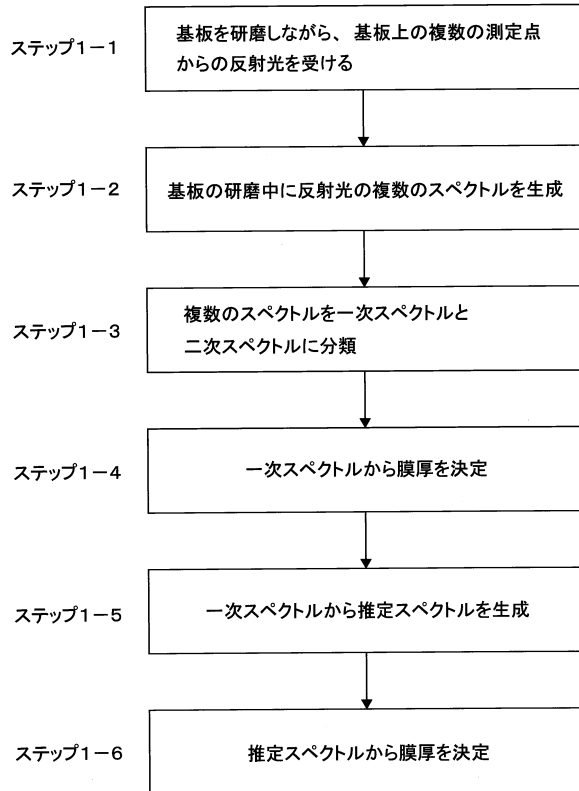
30



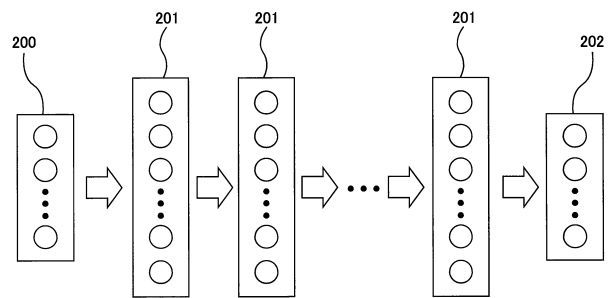
40

50

【図 1 1】



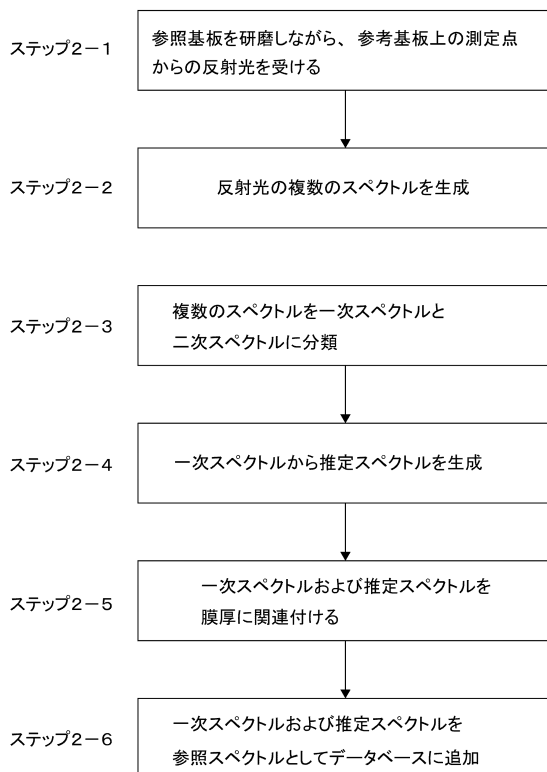
【図 1 2】



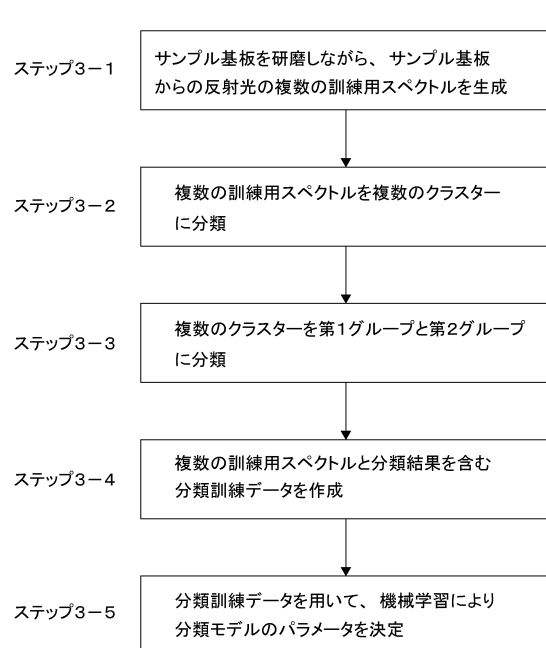
10

20

【図 1 3】



【図 1 4】

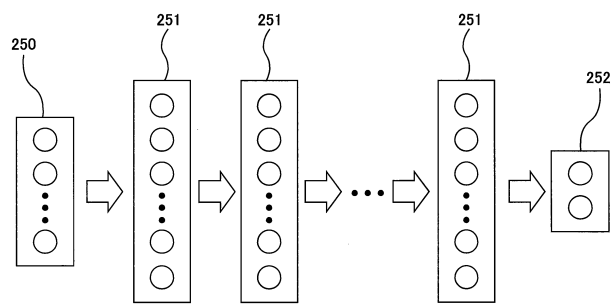


30

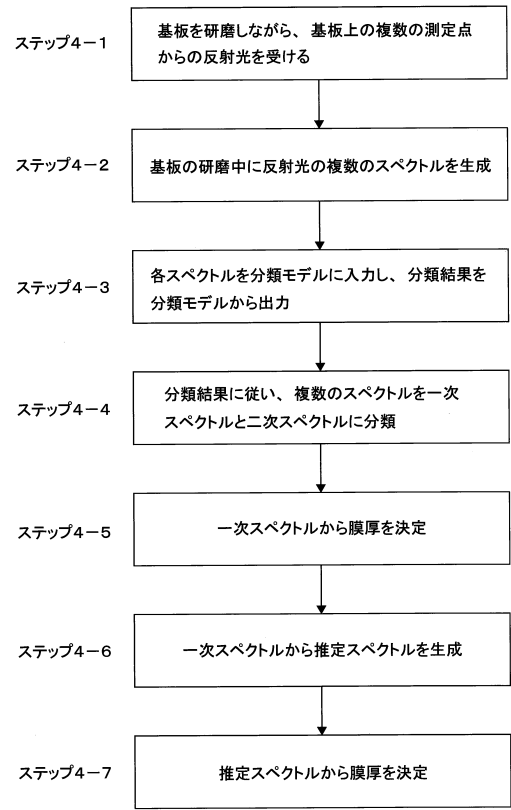
40

50

【図 15】



【図 16】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

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

(72)発明者 渡邊 夕貴

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

(72)発明者 チャウハン ナチケタ

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) 3C034 AA13 AA19 BB93 CA02 CA22 CA26 CB03 CB18 DD10 DD20
 3C158 AA07 AC02 BA02 BA09 BB02 BB06 BB08 BB09 BC01 BC02
 CA01 CB01 DA12 EA11 EB01
 5F057 AA02 AA19 BA15 CA12 CA27 DA03 GA12 GB02 GB20