

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2013-120063

(P2013-120063A)

(43) 公開日 平成25年6月17日(2013.6.17)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 B 11/22 (2006.01)	GO 1 B 11/22 G	2 F 0 6 5
GO 1 B 11/06 (2006.01)	GO 1 B 11/06 G	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2011-266613 (P2011-266613)	(71) 出願人	000001993 株式会社島津製作所 京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地
(22) 出願日	平成23年12月6日(2011.12.6)	(74) 代理人	110001069 特許業務法人京都国際特許事務所
		(72) 発明者	後藤 洋臣 京都市中京区西ノ京桑原町1番地 株式会 社島津製作所内
		(72) 発明者	南雲 雄三 京都市中京区西ノ京桑原町1番地 株式会 社島津製作所内
		(72) 発明者	加藤 昱 京都市中京区西ノ京桑原町1番地 株式会 社島津製作所内

最終頁に続く

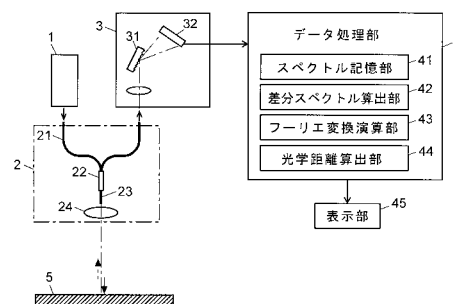
(54) 【発明の名称】 表面処理状況モニタリング装置

(57) 【要約】

【課題】 エッチングや研磨などの表面処理加工実行中に、高い精度で孔深さや基板厚さを算出する。

【解決手段】 差分スペクトル算出部 4 2 は、或る時点で取得したスペクトルとそれから所定時間（測定対象構造に対する光学距離変化が測定光の1波長を超えない程度の時間以内）だけ遡った時点で取得したスペクトルとの差分を計算する。観測スペクトルに含まれる干渉に起因しないベーススペクトルは共通であるとみなせるので、差分スペクトルはベーススペクトルを含まない実質的に正規化された干渉スペクトルである。フーリエ変換演算部 4 3 が差分スペクトルに対しフーリエ変換等による周波数解析を実行すると、得られる信号には干渉に起因する光路長に対応した明瞭なピークが現れる。光学距離算出部 4 4 はこのピーク位置から光路長を求め、孔深さを算出して出力する。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

表面処理加工によって基板上に形成される孔若しくは溝の深さや段差、又は増加若しくは減少する膜層や基板の厚さといった測定対象構造のサイズを測定する表面処理状況モニタリング装置であって、所定の波長幅を有する測定光を発生する光源と、測定対象構造の第 1 部位と第 2 部位とからそれぞれ反射した光を干渉させる干渉光学系と、該干渉光学系による干渉光を波長分散させる分光手段と、該分光手段により波長分散された光を波長毎に検出する検出手段と、を具備する表面処理状況モニタリング装置において、

a) 微小な時間だけ隔てた 2 つの時点で前記検出手段によりそれぞれ所定波長範囲のスペクトルを取得するスペクトル取得手段と、

b) 前記スペクトル取得手段による 2 つのスペクトルの差分スペクトルを求める差分スペクトル算出手段と、

c) 前記差分スペクトルに対し周波数解析を行って目的とする干渉距離を算出し、該干渉距離から測定対象構造のサイズを求める周波数解析手段と、

を備えることを特徴とする表面処理状況モニタリング装置。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載の表面処理状況モニタリング装置であって、

前記周波数解析手段による周波数解析はフーリエ変換演算であることを特徴とする表面処理状況モニタリング装置。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の表面処理状況モニタリング装置であって、

前記周波数解析手段による周波数解析は最大エントロピー法による解析であることを特徴とする表面処理状況モニタリング装置。

20

【請求項 4】

表面処理加工によって基板上に形成される孔若しくは溝の深さや段差、又は増加若しくは減少する膜層や基板の厚さといった測定対象構造のサイズを測定する表面処理状況モニタリング装置であって、所定の波長幅を有する測定光を発生する光源と、測定対象構造の第 1 部位と第 2 部位とからそれぞれ反射した光を干渉させる干渉光学系と、該干渉光学系による干渉光を波長分散させる分光手段と、該分光手段により波長分散された光を波長毎に検出する検出手段と、を具備する表面処理状況モニタリング装置において、

a) 微小な時間だけ隔てた 2 つの時点で前記検出手段によりそれぞれ所定波長範囲のスペクトルを取得するスペクトル取得手段と、

b) 前記スペクトル取得手段による 2 つのスペクトルの差分スペクトルを求める差分スペクトル算出手段と、

c) 前記差分スペクトルに基づいて位相を検出し、該位相から目的とする干渉距離を算出し、該干渉距離から測定対象構造のサイズを求める周波数解析手段と、

を備えることを特徴とする表面処理状況モニタリング装置。

30

【請求項 5】

請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の表面処理状況モニタリング装置であって、

前記差分スペクトルの振幅の大きさに基づいて前記微小な時間の最適値を判別して設定する取得条件決定手段をさらに備えることを特徴とする表面処理状況モニタリング装置。

40

【請求項 6】

請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の表面処理状況モニタリング装置であって、

前記差分スペクトルのカーブで囲まれる面積の大きさ又はその変化振幅に基づいて前記微小な時間の最適値を判別して設定する取得条件決定手段をさらに備えることを特徴とする表面処理状況モニタリング装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、各種のエッチング加工によって半導体基板などに形成される微細な孔、例え

50

ばTSV (=Through Silicon Via: シリコン貫通ビア)、の深さや段差、或いは、各種の研磨加工によって表面が削られる基板や結晶体などの厚さなどを、加工中に略リアルタイムで測定するための表面処理状況モニタリング装置に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体集積回路の製造プロセスでは、シリコンウエハ等の半導体基板にごく微細な孔や溝を形成するために低圧プラズマ等を用いたエッチング加工が行われている。通常、エッチング工程では、まず、基板上で孔や溝を形成しない部分にレジスト膜によるマスキングを行った上でエッチング加工を実行する。これにより、マスキングされていない部分のみが選択的に削られるから、加工後にレジスト膜を除去することで任意の形状の孔や溝を形成することが可能となる。このときに形成される孔や溝の深さはエッチングの時間、ガス種類、ガス圧などの様々な条件に依存するから、孔や溝の深さを目標深さにするために、加工中に実際の深さをモニタリングしながらエッチングの終了点を決めたり条件を調整したりする制御がなされる。

10

【0003】

エッチングによって形成される微細孔の深さや段差、又は削られる膜層の膜厚、さらには、研磨等によって表面が徐々に削られる基板や結晶体の厚さなどを光学的に測定する技術として、以下に述べるように、従来から様々な提案がなされている。

【0004】

特許文献1～3には、計測対象である孔や溝の低部からの反射光とその孔周囲や溝上縁の部位からの反射光との干渉により生じる干渉光、或いは計測対象である基板表面からの反射光と基板底面からの反射光との干渉により生じる干渉光を分光測定することで干渉スペクトルデータを取得し、そのスペクトルに対するフィッティングによって干渉縞を解析し、その干渉縞に基づいて孔や溝深さ、或いは基板や膜層の厚さを算出する装置が開示されている。

20

【0005】

また特許文献4には、計測対象である膜層の両面からの反射光の干渉により生じる干渉光を分光測定することで干渉スペクトルデータを取得し、そのスペクトルに対するフーリエ変換を実行することにより膜厚を求めることが開示されている。

【0006】

また特許文献5、6には、分光測定により取得した干渉スペクトルに対し時間微分を適用し、計算した時間微分スペクトルと予め求めておいた所望のプロセス条件を満たした際の過去の参照スペクトルとの比較を行うことにより、プロセスの進行をチェックすることが開示されている。

30

【0007】

上述した従来手法はいずれも、測定対象からの干渉光を分光測定することで干渉スペクトルを求め、そのスペクトルに対して何らかのデータ処理や演算を実行して目的とする結果を得るものである。一般に、分光測定によって取得されたスペクトルには、測定対象である構造に起因するスペクトル干渉縞以外に、様々な要因による波長特性が含まれる。そのため、上記手法の中で干渉スペクトルを元にフィッティング又は周波数解析を用いる手法では、フィッティングや周波数解析を行う前に、取得されたスペクトルから測定対象である構造に起因するスペクトル干渉縞のみを抽出する必要がある。

40

【0008】

例えばいま、測定対象構造である膜層の厚さ(或いはエッチング孔の深さなど) d に起因する2つの面A、Bの反射光をそれぞれ F_A 、 F_B とする。干渉に寄与しないスペクトル強度分布を $Ref(\lambda)$ 、A面反射光及びB面反射光の振幅をそれぞれ A_A 、 A_B とすると、 F_A 、 F_B のスペクトルはそれぞれ次の(1)、(2)式で与えられる。

$$F_A(\lambda) = A_A \cdot \{ Ref(\lambda) \cdot \exp(kx - t + 2d/\lambda \cdot 2\pi) \} \quad \dots(1)$$

$$F_B(\lambda) = A_B \cdot \{ Ref(\lambda) \cdot \exp(kx - t + 0) \} \quad \dots(2)$$

分光測定により得られる干渉縞は上の2つの反射光 F_A 、 F_B が合波されたものであり、

50

そのスペクトル $F(\lambda)$ は(3)式で表される。

$$F(\lambda) = |F_A(\lambda) + F_B(\lambda)|^2 = \text{Ref}(\lambda) \{ A_A^2 + A_B^2 + 2 A_A A_B \cos(2d/\lambda \cdot 2\pi) \} \quad \dots(3)$$

【0009】

一般にフーリエ変換によって周波数解析を行う場合には、分光測定で得られる干渉縞(3)式)からcos波成分を抽出する必要があり、そのためには $F(\lambda) - (A_A^2 + A_B^2)\text{Ref}(\lambda)$ で示される正規化処理が必要となる。通常、正規化処理のための干渉に寄与しないスペクトル分布 $\text{Ref}(\lambda)$ としては既知である光源の発光スペクトルが用いられるが、実際に観測されるスペクトルにおける $\text{Ref}(\lambda)$ の形状や大きさは光学系の様々な収差や歪みの影響を受け、光源の発光スペクトル分布とは異なったものとなるため一意に設定することが難しい。また、基板上のそのほかの多層膜構造や既作製パターンなど、被エッチング(被研磨)対象ではない構造による干渉、散乱、吸収等の影響を受けるため、測定系で受光したスペクトル中における、対象とする干渉を含まないベーススペクトル $\text{Ref}(\lambda)$ を推定することは非常に困難である。

10

【0010】

即ち、スペクトル干渉縞を基にして解析を行う手法は、フィッティング、極大小波長検出、或いは周波数解析のいずれを用いる場合であっても、その精度は正規化処理の影響を大きく受ける。そのため、高い測定精度を確保するには、そうした測定系において干渉縞スペクトルの影響が現れていないベーススペクトル $\text{Ref}(\lambda)$ を正確に求めることが不可欠である。ところが、実際には正確なベーススペクトル $\text{Ref}(\lambda)$ を求めることは難しく、それ故に、測定対象である孔や段差の深さ、膜層や基板の厚さなどを精度良く算出するには限界があった。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0011】

【特許文献1】特開平11-274259号公報

【特許文献2】特開2004-507070号公報

【特許文献3】特開2004-253516号公報

【特許文献4】特開2005-184013号公報

【特許文献5】特開2002-81917号公報

【特許文献6】特開2008-218898号公報

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

本発明は上記課題を解決するためになされたものであり、その主な目的は、正確な設定が困難であるベーススペクトル $\text{Ref}(\lambda)$ を使用することなく、分光測定により得られたスペクトルに基づいてエッチング孔の深さや段差、或いは膜層や基板の厚さなどを高い精度で且つ短時間で測定することができる表面処理状況モニタリング装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

40

【0013】

基板表面に形成された孔や段差、薄膜、或いは基板そのものなどの測定対象構造を含む測定光学系では、エッチングや研磨などの表面処理加工によってその光路長は変化するものの、その他の構造に起因するスペクトル歪みや干渉の状態などは短い時間の間には変化しない。即ち、或る時刻において取得された干渉スペクトルと、該時刻から十分に短い時間だけ遡った時点で取得された干渉スペクトルとは、同じ測定光学系において取得時刻が僅かに異なる(ずれた)スペクトル同士であるため、それらのベーススペクトル $\text{Ref}(\lambda)$ は対象とする干渉に関与せず等しいものとみなせる。したがって、取得時間間隔が十分に短い2つの異なる時刻における干渉スペクトルの差を求めることにより、正規化処理を行うことなく、干渉縞を表すcos波成分を抽出することが可能となる。

50

【 0 0 1 4 】

本願発明者は上記知見に基づいて、ベーススペクトル $Ref(\)$ を用いる代わりに、一定時間だけ遡った時点の干渉波形を参照波形として用いることで実質的な干渉縞スペクトルを求め、これを周波数解析することによって孔深さや膜厚などを算出することに想到した。

【 0 0 1 5 】

即ち、上記課題を解決するためになされた第1発明は、表面処理加工によって基板上に形成される孔若しくは溝の深さや段差、又は増加若しくは減少する膜層や基板の厚さといった測定対象構造のサイズを測定する表面処理状況モニタリング装置であって、所定の波長幅を有する測定光を発生する光源と、測定対象構造の第1部位と第2部位とからそれぞれ反射した光を干渉させる干渉光学系と、該干渉光学系による干渉光を波長分散させる分光手段と、該分光手段により波長分散された光を波長毎に検出する検出手段と、を具備する表面処理状況モニタリング装置において、

a) 微小な時間だけ隔てた2つの時点で前記検出手段によりそれぞれ所定波長範囲のスペクトルを取得するスペクトル取得手段と、

b) 前記スペクトル取得手段による2つのスペクトルの差分スペクトルを求める差分スペクトル算出手段と、

c) 前記差分スペクトルに対し周波数解析を行って目的とする干渉距離を算出し、該干渉距離から測定対象構造のサイズを求める周波数解析手段と、

を備えることを特徴としている。

【 0 0 1 6 】

第1発明（及び後述の第2発明）における表面処理加工とは典型的には、エッチング（ドライエッチング、ウェットエッチングとも含む）による孔や溝などの形成、研磨（化学研磨、機械研磨とも含む）による表面除去、CVD（Chemical Vapor Deposition）等による膜層の形成、などである。

【 0 0 1 7 】

測定対象構造が基板である場合には、上記第1部位と第2部位とは基板の表面と裏面である。測定対象構造が基板上に形成されている膜層である場合には、上記第1部位と第2部位とは膜層の上面と下面である。測定対象構造が基板表面に形成されている孔や溝である場合には、上記第1部位と第2部位とは孔や溝の底面と孔周囲や溝上縁の面である。

【 0 0 1 8 】

第1発明に係る表面処理状況モニタリング装置において、或る時刻 t_0 において取得したスペクトルを $F_0(\)$ 、それより t だけ遡った時刻（測定対象構造に対する光学距離変化 d が測定光の1波長を超えない程度の時間以内の時刻） t_1 において取得したスペクトルを $F_1(\)$ とすると、それぞれの取得スペクトルは(4)、(5)式を用いて表される。

$$F_0(\) = Ref(\) \{ A_A^2 + A_B^2 + 2 A_A A_B \cos(2 d / \lambda \cdot 2 \pi) \} \quad \dots(4)$$

$$F_1(\) = Ref(\) \{ A_A^2 + A_B^2 + 2 A_A A_B \cos(2 [d - d'] / \lambda \cdot 2 \pi) \} \quad \dots(5)$$

上記2つのスペクトルの差分スペクトルは(6)式で表される。

$$F_{0-1}(\) = 4 Ref(\) A_A A_B \sin(2 \pi d / \lambda) \cos \{ (4 \pi d / \lambda) - (2 \pi d' / \lambda) + (\pi / 2) \} \quad \dots(6)$$

d は十分に小さく、また測定波長幅が十分に狭帯域であるとすれば、 d / λ は測定波長領域全体に亘って一定であるとみなすことができる。つまり、(6)式において $d / \lambda = d' / \lambda_0$ として、次の(7)式が導出される。

$$F_{0-1}(\) = 4 Ref(\) A_A A_B \sin(2 \pi d / \lambda_0) \cos \{ (4 \pi d / \lambda) - (2 \pi d' / \lambda_0) + (\pi / 2) \} \quad \dots(7)$$

(7)式と(4)式とを比較すれば、差分スペクトル $F_{0-1}(\)$ と t_0 において取得されたスペクトル $F_0(\)$ とは、周波数がいずれも $4 \pi d / \lambda$ であって等しいことが分かる。即ち、(7)式は(4)式と同じ周波数の干渉縞を含む。したがって、この(7)式を周波数解析することによってエッチング孔深さ（又は膜厚など） d を求めることが可能となる。

【 0 0 1 9 】

10

20

30

40

50

なお、上記の(7)式により検出される振幅は $4 \text{Re}\{A_A A_B \sin(2d/\lambda_c)\}$ となり、光路長の変化 d が測定波長 λ_c の $1/4$ となるような時間差でデータ取得を行うと、 $4 \text{Re}\{A_A A_B\}$ と、本来の干渉縞の2倍(4)式との比較)の高い感度が得られる。

【0020】

第1発明に係る表面処理状況モニタリング装置では、差分スペクトルに対する周波数解析の手法として周知の各種手法を用いることができるが、具体的には例えば、フーリエ変換演算や最大エントロピー法による解析を用いることができる。

【0021】

また、一般に周波数解析は観測スペクトル上のピーク幅の逆数から決まるあいまいさが残り、干渉縞周波数の推定精度が十分に高くない。そこで、(7)式に示す差分スペクトルにおける干渉縞の位相 $4d/\lambda_c - 2d/\lambda_c$ を用いて、例えばゼロクロス点(干渉振幅がゼロとなる波長)を検出すると、 $\sin(4d/4 - 2d/\lambda_c) = 0$ より、(8)式を用いてより高い精度で光路長 d の推定が可能となる。

$$d = \lambda_c / 4 (2d/\lambda_c + k) \quad \dots(8)$$

ただし、 k は整数の定数である。

【0022】

即ち、第2発明に係る表面処理状況モニタリング装置は、表面処理加工によって基板上に形成される孔若しくは溝の深さや段差、又は増加若しくは減少する膜層や基板の厚さといった測定対象構造のサイズを測定する表面処理状況モニタリング装置であって、所定の波長幅を有する測定光を発生する光源と、測定対象構造の第1部位と第2部位とからそれぞれ反射した光を干渉させる干渉光学系と、該干渉光学系による干渉光を波長分散させる分光手段と、該分光手段により波長分散された光を波長毎に検出する検出手段と、を具備する表面処理状況モニタリング装置において、

a) 微小な時間だけ隔てた2つの時点で前記検出手段によりそれぞれ所定波長範囲のスペクトルを取得するスペクトル取得手段と、

b) 前記スペクトル取得手段による2つのスペクトルの差分スペクトルを求める差分スペクトル算出手段と、

c) 前記差分スペクトルに基づいて干渉縞の位相を検出し、該位相から目的とする干渉距離を算出し、該干渉距離から測定対象構造のサイズを求める周波数解析手段と、

を備えることを特徴としている。

【0023】

なお、上述したように、2つのスペクトルを取得する時間差は測定対象構造に対する光学距離変化 d が測定光の1波長を超えない程度の時間以内に抑える必要があるが、時間差が短すぎると光学距離変化 d が小さすぎて測定の意味がない。そこで、この時間差を自動的に適切な値に設定できるように、第1発明及び第2発明に係る表面処理状況モニタリング装置の一態様では、前記差分スペクトルの振幅の大きさに基づいて前記微小な時間の最適値を判別して設定する取得条件決定手段をさらに備える構成とする。また、別の態様として、前記差分スペクトルのカーブで囲まれる面積の大きさ又はその変化振幅に基づいて前記微小な時間の最適値を判別して設定する取得条件決定手段をさらに備える構成としてもよい。

【発明の効果】

【0024】

第1発明及び第2発明に係る表面処理状況モニタリング装置によれば、光源の経時変化によるスペクトル歪みの影響、測定光学系の経時変化によるスペクトル歪みの影響、測定対象である基板上に存在するエッチングや研磨等の処理加工に関係しない各構造に起因する干渉や散乱によるスペクトル歪みの影響などに一切左右されることなく、干渉を含んだ観測スペクトルから測定対象構造であるエッチング孔の深さや膜層或いは基板の厚みなどを示す干渉縞を正確に抽出することができる。それによって、エッチングにより形成される目的の孔の深さや段差、或いは研磨によって変化する基板や薄膜の厚さなどを正確に且つ高い分解能でもって計測することができる。また、孔深さ等の測定対象構造のサイズを

計算するための演算処理が簡単であって時間を要しないので、そうした計測を高いリアルタイム性を以て行うことができ、例えばエッチングや研磨の終点検知や条件変更などの制御にも好適である。

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】本発明の一実施例である表面処理状況モニタリング装置の概略構成図。

【図2】本実施例の表面処理状況モニタリング装置における孔深さ測定時と基板厚さ測定時の反射光の状態の模式図。

【図3】本実施例の表面処理状況モニタリング装置における計測動作を示すフローチャート。

【図4】図3に示した計測動作における各動作のタイミングを示す概略タイミング図。

【図5】本実施例の表面処理状況モニタリング装置におけるスペクトル取得及びその処理の一例を示す図。

【図6】本実施例の表面処理状況モニタリング装置におけるスペクトル取得及び処理によって非研磨構造に起因する干渉縞をキャンセルした結果の一例を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0026】

本発明の一実施例である表面処理状況モニタリング装置について、添付図面を参照して説明する。図1は本実施例の表面処理状況モニタリング装置の概略構成、図2は孔深さ測定時(a)と基板厚さ測定時(b)の反射光の状態の模式図である。

【0027】

この表面処理状況モニタリング装置は、例えばプラズマエッチング装置や基板研磨装置などにより加工処理される試料5の基板厚みや形成されるトレンチ深さなど、時々刻々と変化する試料5との間の距離をモニタリングする装置である。該装置は、光源1と、計測光学系2と、分光部3と、データ処理部4とを備える。光源1と計測光学系2、また計測光学系2と分光部3とは光ファイバを介して接続されている。

【0028】

計測用の光源1としては、例えば中心波長が830nm、半値全幅が15nmであるスーパーレミネセントダイオード(SLD)や、同程度の波長幅を有するその他の光源を用いることができる。この光源1から発せられた測定光は入射側光ファイバ21に取り込まれ、ファイバカプラ22を介して光ファイバ23中を進行し、光ファイバ23先端より空間に射出される。光ファイバ23端部から出射された測定光はコリメートレンズ24を介して試料5上に照射される。

【0029】

試料5の測定対象構造における干渉の状態を図2を用いて説明する。例えば研磨中の基板5Bの厚みを計測する場合には、図2(b)に示すように、基板5B表面からの反射光64、及び基板5B中に進入した光による裏面からの反射光65の2つの反射光による干渉が生ずる。またエッチング中のトレンチ深さを計測する場合には、図2(a)に示すように基板51表面のレジスト層53表面からの反射光62と、レジスト層53中に入り込んだ光に対する基板51表面からの反射光63と、被エッチング部であるトレンチ孔52の底面からの反射光61と、が主として干渉する。これら反射光61~63又は64~65はコリメートレンズ24を照射時とは逆に辿って光ファイバ23に入射する。そして、ファイバカプラ22を経て分光部3に達する。光ファイバ23中を通過して分光部3に達するまでに、複数の反射光は十分に干渉し干渉光となる。

【0030】

分光部3において干渉光は回折格子31等の分光手段により波長分散され、CCDラインセンサ等のアレイ検出器32により複数波長の光が同時に検出される。アレイ検出器32による各波長に対応した検出信号はデータ処理部4に入力される。データ処理部4は機能ブロックとして、スペクトル記憶部41、差分スペクトル算出部42、フーリエ変換演算部43、光学距離算出部44を含み、後述する処理を実行することで被研磨基板5Bの

10

20

30

40

50

板厚や被エッチング部であるトレンチ孔 5 2 の深さなどが算出される。その算出結果は表示部 4 5 により観測者に提示される。

【 0 0 3 1 】

なお、データ処理部 4 の実体はパーソナルコンピュータであり、該コンピュータに予めインストールされたデータ処理用ソフトウェアを実行することにより、データ処理部 4 としての機能を発揮させるようにすることができる。

【 0 0 3 2 】

次に、図 3 ~ 図 5 を用いて、本実施例の表面処理状況モニタリング装置に特徴的なデータ処理部 4 において実行されるデータ処理を中心に説明する。図 3 は本実施例の表面処理状況モニタリング装置における計測動作を示すフローチャート、図 4 は各動作のタイミングを示す概略タイミング図、図 5 はスペクトル取得及びその処理の一例を示す図である。なお、図 5 の例は、中心波長が 8 0 0 nm、半値全幅 (F W H M) が 1 5 nm である光源 1 を用いてトレンチ孔深さを計測したものである。したがって、以下の説明では、エッチングにより形成されるトレンチ孔深さを計測する場合を例示するが、基板や膜層の厚さを計測する場合にもそのまま適用可能である。

10

【 0 0 3 3 】

例えばエッチングの開始とともに孔深さの計測が開始されると、データ処理部 4 は所定時点で分光部 3 のアレキ検出器 3 2 で得られる所定の波長範囲に亘るスペクトルデータを取り込んでスペクトル記憶部 4 1 に格納する (ステップ S 1)。その後、ステップ S 6 において測定終了であると判定されるまで、ステップ S 1 及び S 7 の処理により、所定時間 p 間隔で繰り返しスペクトルデータを取得する。ここでは p は後述する t の $1 / 3$ に設定されているが、これに限定されるものではない。

20

【 0 0 3 4 】

ステップ S 1 でスペクトルデータを取得した後、差分スペクトル算出部 4 2 は t だけ遡った時点のスペクトルデータがスペクトル記憶部 4 1 に保存されているか否かを判定し (ステップ S 2)、保存されていなければ後述する光学距離算出処理を実行できないので上述したステップ S 7 へと進む。図 4 に示したように p 間隔でスペクトルデータの取得・保存を繰り返してゆくと、ある時点においてステップ S 2 の判定は Yes となる。いま、時刻 t_0 においてスペクトルデータ P 1 が取得され、時刻 t_0 から t 経過後の時刻 t_1 においてスペクトルデータ P 4 が取得されたものとする。時刻 t_1 において得られる観測スペクトル (図 5 (c)) は、干渉を含まない反射光スペクトル (ベーススペクトル) (図 5 (a)) に、測定対象であるトレンチ孔 5 2 に起因して生じた干渉によるスペクトル干渉縞 (図 5 (b)) が重畳されたものである。

30

【 0 0 3 5 】

従来一般的には、この観測スペクトルを例えばフーリエ変換 (F T) 演算で周波数解析することによってフーリエ変換後信号 (図 5 (d)) を求め、その信号上のピーク位置を求めることによって干渉を引き起こした光路長を推定する。図 5 (c) は $d = 2 0 . 3 \mu\text{m}$ の光路長を計測して得られるスペクトルであるが、これに対するフーリエ変換後信号である図 5 (d) が示すとおり、 $d = 2 0 . 3 \mu\text{m}$ の位置に信号は存在するものの、距離 $0 \mu\text{m}$ の側に現れるバイアス信号に解析対象とする信号が隠れてしまい、ピーク位置 (矢印箇所) の推定が困難となっている。本来は図 5 (c) に示した観測スペクトルから干渉に寄与しないスペクトルであるベーススペクトル (図 5 (a)) を予め差し引いてフーリエ変換を行うことが望ましい。しかしながら、前述したとおりベーススペクトルの形状は測定光学系の様々な歪みや試料の反射率などの影響を受けるため、測定毎にベーススペクトルの適切な形状・大きさを推定することは非常に困難である。その結果、観測スペクトルから適切にベーススペクトルを差し引くことができず、フーリエ変換後信号から十分な精度でピーク位置を見つけるのが難しくなる。

40

【 0 0 3 6 】

これに対し、本実施例で採用している手法では、ベーススペクトルではなく一定時間だけ遡った時点の干渉波形を参照波形として用いる。ここでは、時刻 t_1 から t だけ遡っ

50

た時刻 t_0 において取得された観測スペクトル P_1 がスペクトル記憶部 4 1 に格納されているから、それを参照波形として利用する。この t は測定対象構造の光学距離変化 d が測定光の波長を超えない程度の時間以内に定められている。いま、時刻 t_0 において取得された観測スペクトルは図 5 (g) (図 5 (g) はエッチングが 200 nm 進行する前の孔深さ $d = 20.1 \mu\text{m}$ の例) である。この観測スペクトルも、図 5 (e) に示した干渉を含まない反射光スペクトル (ベーススペクトル) に、測定対象であるトレンチ孔 5 2 に起因して生じた干渉によるスペクトル干渉縞 (図 5 (f)) が重畳されたものである。

【 0 0 3 7 】

時刻 t_1 と時刻 t_0 との時間差 t が十分に短い場合には、ベーススペクトルの変動は無視できる程度である。そこで、差分スペクトル算出部 4 2 は時刻 t_1 におけるスペクトルデータ P_4 から時刻 t_0 におけるスペクトルデータ P_1 を差し引く演算を行う (ステップ S 3)。この演算により、ほぼ同じであるベーススペクトルはキャンセルされ、実効的に同じ周波数で位相が異なる 2 つの干渉縞 (図 5 (b)、(f)) のみの除算と等価となり、やはり同じ周波数である干渉縞 (図 5 (i)) を差分スペクトルとして得ることができる。この差分スペクトルはベーススペクトルを含まない実質的に正規化された干渉スペクトルである。そこで、フーリエ変換演算部 4 3 は上記差分スペクトルに対しフーリエ変換による周波数解析を行うことによって図 5 (j) に示すようなフーリエ変換後信号を求める (ステップ S 4)。

【 0 0 3 8 】

このフーリエ変換後信号は図 5 (d) に示した信号とは異なりバイアス信号を含まないため、ピークが明瞭に現れ、ピーク位置の推定が容易となる。光学距離算出部 4 4 は差分スペクトルから得られたフーリエ変換後信号上でピーク位置を確定させることにより、干渉を引き起こした光路長を求める。そして、その光路長から測定対象であるトレンチ孔深さや基板厚さを求めて表示部 4 5 から出力する (ステップ S 5)。図 5 (j) の例では、ピーク位置から光路長差が $20 \mu\text{m}$ であると求まる。

【 0 0 3 9 】

そうして孔深さが求まったならば、ステップ S 6 へと進み、上述したように測定終了でなければステップ S 7 へと進んで、エッチングの進行に伴って変化する新たなスペクトルの取得を実行する。新たなスペクトルを取得する毎に t だけ遡った時点のスペクトルとの差分スペクトルを求め (図 4 参照)、この差分スペクトルからトレンチ孔深さに対応した光路長が算出される。したがって、新たなスペクトルを取得する毎に、その時点で最新のトレンチ孔深さを計算して表示部 4 5 から出力することができる。

【 0 0 4 0 】

上述したように差分スペクトルを計算する 2 つのスペクトルの時間差 t は、測定対象構造に対する光学距離変化 d が測定光の 1 波長を超えない程度の時間以内に定める必要がある。これは予め決めておいてもよいが、エッチング (又は研磨等) 速度が不明である場合などには適切な値を決めるのが難しいし、またその値が適切でないと、干渉縞を示す差分スペクトルの波形が小さくなるおそれもある。そこで、 t を予め決めておくのではなく、取得した差分スペクトルから適応的に t を決めるようにしてもよい。

【 0 0 4 1 】

例えば上記例の場合、観測スペクトル P_6 に対し参照波形として P_3 以外に P_4 、 P_5 (さらに場合によっては P_2 以前のスペクトル) を選択し得るが、例えば $P_6 - P_5$ 、 $P_6 - P_4$ 、 $P_6 - P_3$ の 3 つの組み合わせについてそれぞれ差分スペクトルを計算し、得られた差分スペクトルの振幅の大きさを比較して最も適切な組み合わせを選択して、その差分スペクトルを周波数解析するとよい。また、単に差分スペクトルに現れる波形 (干渉縞) の振幅の大きさを判断するのではなく、差分スペクトルに現れる波形のカーブで囲まれる面積の大きさ又はその変化振幅に基づいて最適な組み合わせを選択するようにしてもよい。なお、エッチング (又は研磨等) 速度が一定である場合には、そのプロセスの途中で最適な t が変わることはないため、上記のような処理によって一旦適切な t を定めたとすればそのプロセス実行中は同じ t を用いて差分スペクトルを計算するようすれば

10

20

30

40

50

よい。

【0042】

また上記実施例では、差分スペクトルに対してフーリエ変換による周波数解析を実施することで求めたフーリエ変換後信号から干渉により生じる光路長を算出していたが、近年、周波数解析を行うためにフーリエ変換に代わる方法としてよく用いられる最大エントロピー法(MEM)による周波数解析を実施してもよい。

【0043】

また、周波数解析ではなく、上記(8)式に基づいた位相検出を行う手法について説明する。図5(j)に示したようなフーリエ変換後信号では、光路長dに対応する信号の拡がり光源1のスペクトル幅15nmの逆数である20 μ m程度の幅をもつ。フーリエ変換の代わりに最大エントロピー法による周波数解析を行うことで、より幅の狭い周波数信号を推定することも可能であるが、いずれにせよ周波数解析では0.1 μ m以下の精度で周波数推定を行うことは困難である。そこで、図5(i)の差分スペクトルの位相に着目すると、そのゼロクロス点(干渉振幅がゼロとなる波長)は $\lambda = 800$ nmであることから、(8)式においておおよそ $d = 20.3 \mu\text{m}$ となるよう定数 $k = 101 \pm 1$ と設定すると、 $d = 0.2 \mu\text{m}$ 、ゼロクロス $\lambda = 0.8 \mu\text{m}$ 、 $\lambda_c = 0.8 \mu\text{m}$ であるから、測定光路長dは $d = 20.10 \mu\text{m}$ ($k = 100$)、 $d = 20.30 \mu\text{m}$ ($k = 101$)、 $d = 20.50 \mu\text{m}$ ($k = 102$)のいずれかであり、決して $d = 20.25 \mu\text{m}$ や $d = 20.35 \mu\text{m}$ ではないことが判明する。このようにして、差分スペクトル(干渉縞)の位相検出を行うことにより、周波数解析を行うよりも高い分解能で以て光学距離を算出することができる。

【0044】

続いて、基板研磨中の基板厚みのモニタリングにおいて、上記説明した本発明による手法を用いることで、測定対象以外の構造による干渉縞をキャンセルした結果の一例を図6により説明する。図6は、測定経路内に18 μ m厚のSiO₂層を含む10 μ mの厚さのSiを計測した場合のシミュレーション結果である。Siの厚みを測定するため、Siの吸収のない波長帯である1300nmの光源を用いた。図6(a)は研磨が10 μ mまで進行した際に取得されるスペクトルであるが、10 μ mのSiによる光路長35 μ mに対して18 μ mのSiO₂層の光路長は27 μ mであり、非常に近接している。そのため、フーリエ変換後の信号位置が近く分離が困難であり、図6(b)に示すとおり、一般的なフーリエ解析ではSiの板厚を示すピーク位置の推定が非常に困難である。

【0045】

このような場合でも、一定時間だけ遡った時点における研磨状態である10.02 μ m厚Siの際に取得された図6(c)に示すスペクトルを用いて差分処理を行いさえすれば、SiO₂層による干渉縞が存在しない図6(e)に示す正規化スペクトルを生成することができる。その後は上記例と同様にこのスペクトルをフーリエ変換することにより、図6(f)に示すようなSi層のみに由来するフーリエ変換後信号が得られるから、容易にピーク位置を求め、これからSi板厚を算出することができる。

【0046】

なお、上記実施例はいずれも本発明の一例にすぎず、本発明の趣旨の範囲で適宜修正、追加、変更を加えても本願特許請求の範囲に包含されることは明らかである。

【符号の説明】

【0047】

- 1 ... 光源
- 2 ... 計測光学系
- 2 1 ... 入射側光ファイバ
- 2 2 ... ファイバカプラ
- 2 3 ... 光ファイバ
- 2 4 ... コリメートレンズ
- 3 ... 分光部
- 3 1 ... 回折格子

10

20

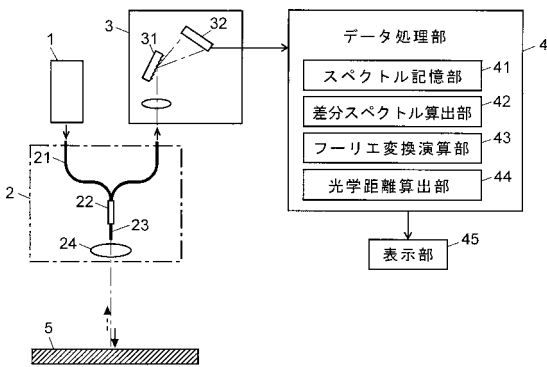
30

40

50

- 3 2 ... アレイ検出器
- 4 ... データ処理部
- 4 1 ... スペクトル記憶部
- 4 2 ... 差分スペクトル算出部
- 4 3 ... フーリエ変換演算部
- 4 4 ... 光学距離算出部
- 5 ... ステップ S
- 5 ... 試料
- 5 A、5 B、5 1 ... 基板
- 5 2 ... トレンチ孔
- 5 3 ... レジスト層
- 6 1 ~ 6 5 ... 反射光

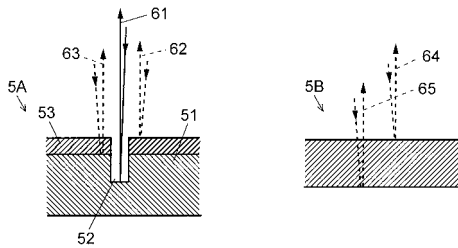
【 図 1 】



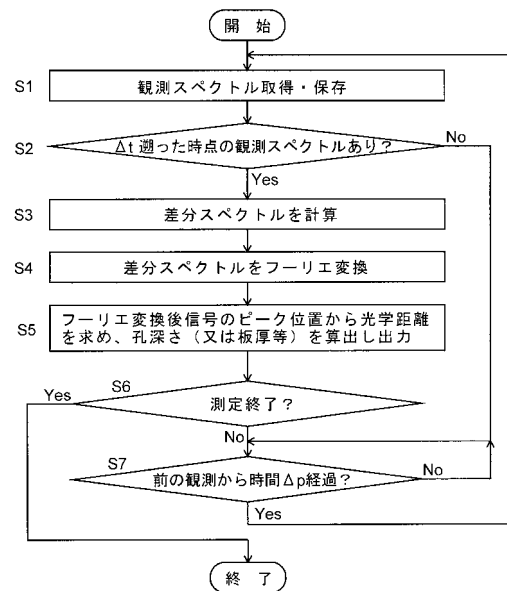
【 図 2 】

(a) 孔 (段差) 深さ測定

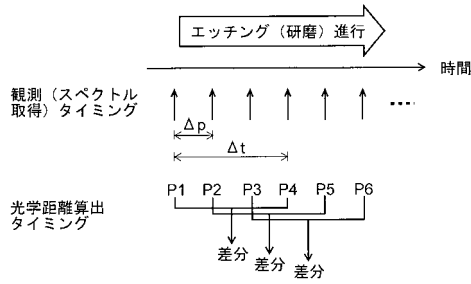
(b) 膜厚 (板厚) 測定



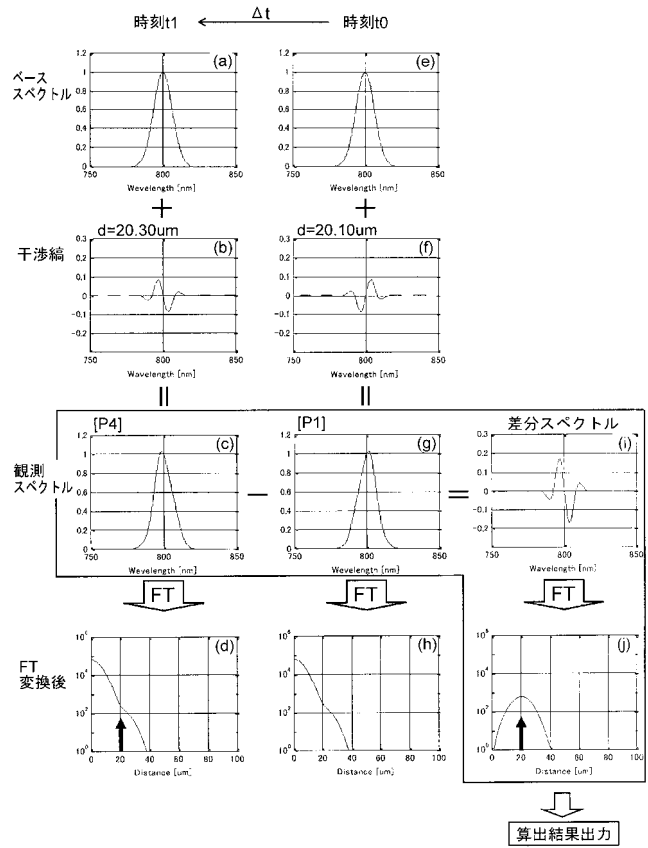
【 図 3 】



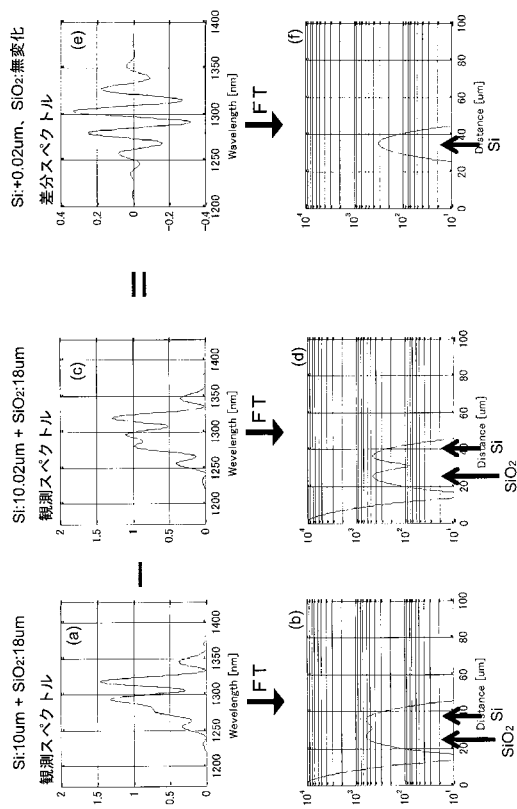
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2F065 AA25 AA30 BB03 CC19 DD04 FF52 GG07 JJ02 JJ25 LL02
LL04 LL42 QQ16 QQ23 QQ25 QQ29 QQ44