

(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2005-62188

(P2005-62188A)

(43) 公開日 平成17年3月10日(2005.3.10)

(51) Int.Cl.⁷

G O 1 B 11/06

H O 1 L 21/66

F I

G O 1 B 11/06

H O 1 L 21/66

H O 1 L 21/66

テーマコード (参考)

2 F O 6 5

4 M 1 O 6

審査請求 未請求 請求項の数 29 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2004-235955 (P2004-235955)
 (22) 出願日 平成16年8月13日 (2004.8.13)
 (31) 優先権主張番号 2003-056961
 (32) 優先日 平成15年8月18日 (2003.8.18)
 (33) 優先権主張国 韓国 (KR)

(71) 出願人 390019839
 三星電子株式会社
 大韓民国京畿道水原市靈通区梅灘洞 4 1 6
 (74) 代理人 100072349
 弁理士 八田 幹雄
 (74) 代理人 100110995
 弁理士 奈良 泰男
 (74) 代理人 100111464
 弁理士 齋藤 悦子
 (74) 代理人 100114649
 弁理士 宇谷 勝幸
 (74) 代理人 100124615
 弁理士 藤井 敏史

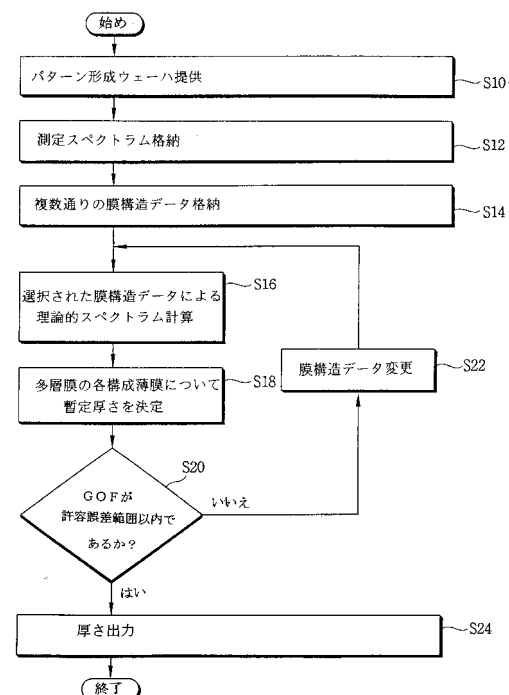
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 厚さ測定装置及び厚さ測定方法

(57) 【要約】

【課題】 パターン形成ウェーハに積層された多層膜の厚さを測定する装置及び方法を提供する。

【解決手段】 多層膜が形成されたウェーハからの反射光を分析して測定スペクトラムを生成する (S12)。前記多層膜として想定されうる複数通りの想定多層膜に対応する複数通りの膜構成データが格納される (S14)。膜構成データのうちの一つの膜構成データを用いて、想定多層膜の各構成薄膜を種々の仮定的な厚さに設定することによって複数の理論的スペクトラムを計算する (S16)。前記測定スペクトラムと複数の理論的スペクトラムとを比較して前記多層膜の各構成薄膜の暫定厚さを決定し (S18)、前記暫定厚さの信頼度が許容誤差範囲に含まれる場合には (S20)、前記暫定厚さを前記多層膜の各構成薄膜の厚さとして出力する (S24)。許容誤差範囲から外れる場合には、膜構成データを変更して (S22)、暫定厚さを計算する処理を反復する。従って、多層膜の正確な厚さを取得することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

多層膜が形成されたウェーハに光を照射し、前記ウェーハからの反射光を分析して前記反射光についての測定スペクトラムを生成する測定部と、

前記多層膜として想定されうる複数通りの想定多層膜にそれぞれ対応する複数通りの膜構成データを入力するための入力部と、

前記測定部で生成された測定スペクトラムを格納する第 1 格納部と、

前記複数通りの膜構成データを格納する第 2 格納部と、

前記ウェーハ上に形成された多層膜を構成する各薄膜の厚さの測定結果を出力する出力部と、

10

前記測定部、前記入力部、前記第 1 格納部、前記第 2 格納部、及び前記出力部とそれぞれ連結され、前記第 2 格納部に格納されている複数通りの膜構成データのうちの一つの膜構成データを用いて、前記想定多層膜を構成する各薄膜を種々の仮想的な厚さに設定することによって複数の理論的スペクトラムを計算し、前記測定スペクトラムと前記複数の理論的スペクトラムとを比較して前記多層膜を構成する各薄膜の暫定的な厚さである暫定厚さを決定し、前記暫定厚さの信頼度が許容誤差範囲から外れる場合には、他の膜構成データに変更して新たに暫定厚さを決定する処理を繰り返し、前記暫定厚さの信頼度が許容誤差範囲内に含まれる場合には、前記暫定厚さを前記測定結果として前記出力部に伝送する制御部と、

を含むことを特徴とする厚さ測定装置。

20

【請求項 2】

前記測定部は、

ウェーハをローディングするローディング部と、

光源光を生成する光源と、

前記光源光を偏光させて前記ウェーハの表面に偏光された光を照射する偏光器と、

前記ウェーハからの反射光を分析して前記測定スペクトラムを生成する偏光分析器と、を具備することを特徴とする請求項 1 記載の厚さ測定装置。

【請求項 3】

前記測定部は、

前記反射光を垂直偏光成分及び水平偏光成分に分解するプリズムと、前記垂直偏光成分及び前記水平偏光成分の強度を検出する検出器と、をさらに含み、前記反射光の波長に応じて前記垂直偏光成分と前記水平偏光成分との間の強度比及び位相差を決定することを特徴とする請求項 2 記載の厚さ測定装置。

30

【請求項 4】

前記制御部は、前記複数の理論的スペクトラムのうち、前記測定スペクトラムとの差異を示すスペクトラムエラーが最も小さい理論的スペクトラムを最適スペクトラムとして選択し、前記最適スペクトラムを計算するために利用された前記仮定的な厚さを前記暫定厚さに決定することを特徴とする請求項 1 記載の厚さ測定装置。

【請求項 5】

前記暫定厚さの信頼度は、前記スペクトラムエラーの大きさを表す数値で表現されることを特徴とする請求項 4 記載の厚さ測定装置。

40

【請求項 6】

前記それぞれの膜構成データは、前記想定多層膜の積層順序、積層個数、及び前記想定多層膜を構成する各薄膜の物理的特性についての情報を含むことを特徴とする請求項 1 記載の厚さ測定装置。

【請求項 7】

前記薄膜の物理的特性についての情報は、薄膜の屈折率及び前記減衰係数を含むことを特徴とする請求項 6 記載の厚さ測定装置。

【請求項 8】

多層膜が形成されたウェーハに光源光を照射し、前記ウェーハからの反射光を分析して

50

前記反射光についての測定スペクトラムを生成する段階と、

前記多層膜として想定されうる複数通りの想定多層膜にそれぞれ対応する複数通りの膜構成データを格納する段階と、

前記複数通りの想定多層膜のうちのいずれか一つに対応する前記膜構成データを用いて、前記想定多層膜を構成する各薄膜を種々の仮想的な厚さに設定することによって複数の理論的スペクトラムを計算する段階と、

前記測定スペクトラムと前記複数の理論的スペクトラムとを比較して前記多層膜を構成する各薄膜の暫定的な厚さである暫定厚さを決定する段階と、

前記暫定厚さの信頼度を計算する段階と、

前記信頼度が許容誤差範囲内に含まれる場合には、前記暫定厚さを前記多層膜を構成する各薄膜の厚さの測定結果として出力する段階と、

を含むことを特徴とする厚さ測定方法。

【請求項 9】

前記暫定厚さの信頼度が許容誤差範囲から外れる場合には、前記膜構成データを他の膜構成データに変更して、変更された膜構成データを用いて、対応する想定多層膜を構成する各薄膜を種々の仮想的な厚さに設定することによって複数の理論的スペクトラムを計算する段階と、前記測定スペクトラムと前記複数の理論的スペクトラムとを比較して新たに暫定厚さを決定する段階と、前記暫定厚さの信頼度を計算する段階と、を反復的に実施することを特徴とする請求項 8 記載の厚さ測定方法。

【請求項 10】

格納された複数通りの膜構成データの全てを利用して決定された全ての前記暫定厚さの信頼度が許容誤差範囲から外れる場合には、前記信頼度が最も高い暫定厚さを前記測定結果として出力することを特徴とする請求項 9 記載の厚さ測定方法。

【請求項 11】

前記複数通りの想定多層膜には、設計された積層順序にしたがって積層された標準多層膜が含まれることを特徴とする請求項 8 記載の厚さ測定方法。

【請求項 12】

前記理論的スペクトラムは、最初に前記標準多層膜に対応する前記膜構成データを利用して計算されることを特徴とする請求項 11 記載の厚さ測定方法。

【請求項 13】

前記標準多層膜以外の他の想定多層膜には、前記標準多層膜の上部側から、当該標準多層膜を構成する薄膜を 1 つずつ除去して順次に決定された想定多層膜が含まれることを特徴とする請求項 11 記載の厚さ測定方法。

【請求項 14】

前記標準多層膜以外の他の想定多層膜には、前記標準多層膜上に追加的な薄膜を 1 つずつ付加して順次に決定された想定多層膜が含まれることを特徴とする請求項 11 記載の厚さ測定方法。

【請求項 15】

前記それぞれの膜構成データは、前記想定多層膜の積層順序、積層個数、及び前記想定多層膜を構成する各薄膜の物理的特性についての情報を含むことを特徴とする請求項 8 記載の厚さ測定方法。

【請求項 16】

前記薄膜の物理的特性についての情報は、薄膜の屈折率及び減衰係数を含むことを特徴とする請求項 15 記載の厚さ測定方法。

【請求項 17】

前記反射光は偏光を含み、前記反射光を垂直偏光成分及び水平偏光成分に分解する段階と、前記反射光の波長に応じて前記垂直偏光成分と前記水平偏光成分との強度比及び位相差を決定する段階をさらに含むことを特徴とする請求項 8 記載の厚さ測定方法。

【請求項 18】

前記複数の理論的スペクトラムのうち、前記測定スペクトラムとの差異を表すスペクト

10

20

30

40

50

ラムエラーが最も小さい理論的スペクトラムを最適スペクトラムとして選択し、前記最適スペクトラムを計算するために利用された前記仮定的な厚さを前記暫定厚さに決定することを特徴とする請求項 8 記載の厚さ測定方法。

【請求項 19】

前記暫定厚さの信頼度は、前記スペクトラムエラーの大きさを表す数値で表現されることを特徴とする請求項 18 記載の多層膜の厚さ測定方法。

【請求項 20】

前記ウェーハは、半導体製造工程が実施されたパターン形成ウェーハであることを特徴とする請求項 8 記載の多層膜の厚さ測定方法。

【請求項 21】

前記測定スペクトラムを生成する段階は、前記パターン形成ウェーハのスクライブライン領域内に形成された酸化膜領域上で実施されることを特徴とする請求項 20 記載の厚さ測定方法。

【請求項 22】

前記測定スペクトラムを生成する段階は、前記ウェーハ上の複数の測定点で実施されることを特徴とする請求項 8 記載の厚さ測定方法。

【請求項 23】

多層膜が形成されたパターン形成ウェーハの複数の領域上にそれぞれ光源光を照射し、前記各領域からの反射光を分析して複数の測定スペクトラムを生成する段階と、

前記多層膜として想定されうる複数通りの想定多層膜にそれぞれ対応する複数通りの膜構成データを格納する段階と、

前記複数通りの想定多層膜のうちのいずれか一つに対応する前記膜構成データを用いて、前記想定多層膜を構成する各薄膜を種々の仮想的な厚さに設定することによって複数の理論的スペクトラムを計算する段階と、

前記各領域別にそれぞれの測定スペクトラムと前記複数の理論的スペクトラムとを比較して前記各領域別に前記多層膜を構成する各薄膜の暫定的な厚さである暫定厚さをそれぞれ決定する段階と、

前記各領域別に出力された前記暫定厚さの信頼度をそれぞれ計算する段階と、

前記信頼度が許容誤差範囲内に含まれる場合には、前記暫定厚さを前記領域での前記多層膜を構成する各薄膜の厚さの測定結果として出力する段階と、

を含むことを特徴とする厚さ測定方法。

【請求項 24】

前記暫定厚さの信頼度が許容誤差範囲から外れる場合には、前記膜構成データを他の膜構成データに変更して、変更された膜構成データを用いて、対応する想定多層膜を構成する各薄膜を種々の仮想的な厚さに設定することによって複数の理論的スペクトラムを計算する段階と、前記それぞれの測定スペクトラムと前記複数の理論的スペクトラムとを比較して新たに前記各領域での暫定厚さを決定する段階と、前記各領域での暫定厚さの信頼度を計算する段階と、を反復的に実施することを特徴とする請求項 23 記載の厚さ測定方法。

【請求項 25】

格納された複数通りの膜構成データの全てを利用して決定された全ての前記暫定厚さの信頼度が許容誤差範囲から外れる場合には、前記信頼度が最も高い暫定厚さを前記測定結果として出力することを特徴とする請求項 24 記載の厚さ測定方法。

【請求項 26】

前記複数通りの想定多層膜には、設計された積層順序にしたがって積層された標準多層膜が含まれることを特徴とする請求項 23 記載の厚さ測定方法。

【請求項 27】

前記理論的スペクトラムは、最初に前記標準多層膜に対応する前記膜構成データを利用して計算されることを特徴とする請求項 23 記載の厚さ測定方法。

【請求項 28】

前記標準多層膜以外の他の想定多層膜には、前記標準多層膜の上部側から、当該標準多層膜を構成する薄膜を1つずつ除去して順次に決定された想定多層膜が含まれることを特徴とする請求項23記載の厚さ測定方法。

【請求項29】

前記標準多層膜以外の他の想定多層膜には、前記標準多層膜上に追加的な薄膜を1つずつ付加して順次に決定された想定多層膜が含まれることを特徴とする請求項23記載の厚さ測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はウェーハ上に形成された多層膜を構成する各薄膜の厚さを測定する厚さ測定装置及び方法に関し、より詳細には測定用ウェーハ（モニタリングウェーハ）を使用することなく、パターン形成ウェーハから直接的に各薄膜の厚さを測定する厚さ測定装置及び方法に関する。

【背景技術】

【0002】

一般に、半導体装置の製造工程（以下、「半導体製造工程」と称する）は、単結晶シリコン材質のウェーハ上に絶縁膜や誘電膜などの膜を積層する積層工程と、前記積層された膜を所望する形態のパターンに形成するフォトリソグラフィ工程と、を含む。これらの工程が実施された後、前記膜が所望する厚さに積層されたか、あるいは、前記膜が所望する部分までエッチングされたかを確認するために、これらの工程の実施後には、膜の厚さを測定しなければならない。

【0003】

前記膜の厚さを測定するためには、パターンが形成されていない測定用ウェーハが使用される。即ち、半導体装置が製造される製品ウェーハとしてのパターン形成ウェーハに対して工程が適用されるのと同時に、測定用ウェーハに対しても同様の工程が適用される。続いて、前記工程が完了した後に、前記測定用ウェーハに形成された膜の厚さ、及びエッチング後に残っている膜の厚さを測定して、工程不良の有無が判断される。

【0004】

しかしながら、前記測定用ウェーハを再使用することは、正確な厚さを測定する上で望ましくない。したがって、前記測定用ウェーハは、1回または2回使用した後廃棄される。このため、前記測定用ウェーハを使用して膜の厚さを測定する方法は、多大な費用の増加を招く。また、前記測定用ウェーハを用いて測定された膜の厚さが実際のパターン形成ウェーハに形成されている膜の厚さと同一であるか否かを確認するのが非常に難しい。従って、前記測定用ウェーハを使用することなく、パターン形成ウェーハから直接的に膜の厚さを測定する方法が要求されている。

【0005】

前記測定用ウェーハには、測定前の工程で蒸着されたり、またはエッチングされたりした後に残っている単層の薄膜のみが形成されており、前記単層の薄膜より下部には、膜は全く形成されていない。従って、測定用ウェーハを用いる場合には、一つの単層の膜に対する厚さのみを測定すればよい。しかしながら、パターン形成ウェーハでは、半導体装置の製造に要求される多様な種類の薄膜が積層されて構成された多層膜が形成されている。従って、パターン形成ウェーハから直接的に多層膜を構成する各薄膜の厚さを測定する場合には、前記パターン形成ウェーハ上に形成されている多層膜の構造を考慮しなければならない。また、前記パターン形成ウェーハが損傷してはいけいないので、非破壊方式で厚さを測定する必要もある。前記非破壊方式の測定としては、例えば、デュアルビームスペクトル分析方式（Dual Beam Spectrometry）及び分光学的楕円偏光解析法（Spectroscopic Ellipsometry）などを挙げることができる。

【0006】

10

20

30

40

50

前記デュアルビームスペクトル分析方式では、垂直に近い角度でウェーハに光を入射させる。反射光は、試料経路と基準経路とに分けられた後、分光される。そして、光源から出る光の強度が測定され、シリコン基準チップを用いて基準強度が計算される。続いて、前記計算された基準強度と実際のウェーハにおける測定結果とによって相対的な反射率が求められる。この結果、前記反射率を変数として用いてウェーハ上に形成されている膜の厚さを求めることができる。しかしながら、前記デュアルビームスペクトル分析方式には、薄膜や多層膜に対しては、測定結果が不正確になるという短所がある。

【0007】

一方、前記分光学的楕円偏光解析法では、偏光された光が特定角度の傾斜をもってウェーハ上に入射される。前記光は、偏光の方向が入射面に水平な成分（以下、「水平偏光成分」と称する）と入射面に垂直の成分（以下、「垂直偏光成分」と称する）とに分解される。前記ウェーハからの反射光も偏光であり、反射光の水平偏光成分及び垂直偏光成分から、水平偏光成分と垂直偏光成分との間の強度比と位相差が求められる。

【0008】

そして、前記強度比と位相差を変数として利用してウェーハ上に形成されている膜の厚さを求めることができる。

【0009】

以上のような非破壊方式の測定では、ウェーハ上で、波長別のスペクトラムを測定し、これを理論上のスペクトラムと互いに比較して誤差を最小化させる。そして、非破壊方式の測定は、この誤差が最小化される理論上の厚さを膜の厚さとして出力する方法で行われる。

【0010】

前記理論上のスペクトラムを演算するためには、測定対象となる多層膜の情報として、薄膜積層構造及び多層膜を構成する各薄膜の物理的特性を正確に知る必要がある。前記多層膜に対する情報は、具体的には、パターン形成ウェーハ上に形成された多層膜の積層順序、積層個数、各薄膜の屈折率及び減衰係数などを含む。前記屈折率は、真空中での光の速度に対する特定物質での光の速度比で定義される。また、前記減衰係数は、光が特定物質を通過する際、どのくらい速く強度が減少するかについての尺度として定義される。

【0011】

仮に、前記多層膜の情報が正確ではない場合には、理論上のスペクトラムと測定スペクトラムとを一致させることができないので、厚さの測定結果を信頼することができない。

【0012】

前記パターン形成ウェーハの場合には、設計上の積層順序に応じて膜が形成されるので、多層膜の薄膜積層構造に対する概略的な情報を容易に知ることができる。しかし、反復的に膜が積層され、エッチングされる際に、いずれか一つの工程で不良が発生し、オーバーエッチングなどによって、薄膜積層構造が設計上の構造と相異なる場合には、正確な厚さの測定が不可能となる。特に、パターン形成ウェーハの面内での均一性（uniformity）がよくない場合には、前記パターン形成ウェーハの領域別に薄膜積層構造が異なる状態が生じ、この場合には、測定された薄膜の厚さを全く信頼することができなくなる。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

従って、本発明の第1の目的はパターン形成ウェーハに形成された多層膜を構成する各薄膜の厚さを測定する厚さ測定装置を提供することにある。

【0014】

本発明の第2の目的はパターン形成ウェーハに形成された多層膜を構成する各薄膜の厚さを測定する厚さ測定方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0015】

10

20

30

40

50

上記した第1の目的を達成するために本発明は、多層膜が形成されたウェーハに光を照射し、前記ウェーハからの反射光を分析して反射光についての測定スペクトラムを生成する測定部と、前記多層膜として想定されうる複数通りの想定多層膜にそれぞれ対応する複数通りの膜構成データを入力するための入力部と、前記測定部で生成された測定スペクトラムを格納する第1格納部と、前記複数通りの膜構成データを格納する第2格納部と、前記ウェーハ上に形成された多層膜を構成する各薄膜の厚さの測定結果を出力する出力部と、前記測定部、前記入力部、前記第1格納部、前記第2格納部、及び前記出力部とそれぞれ連結される制御部と、を含む厚さ測定装置を提供する。前記制御部は、前記第2格納部に格納されている複数通りの膜構成データのうちの一つの膜構成データを用いて、前記想定多層膜を構成する各薄膜を種々の仮想的な厚さに設定することによって複数の理論的スペクトラムを計算し、前記測定スペクトラムと前記複数の理論的スペクトラムとを比較して前記多層膜を構成する各薄膜の暫定的な厚さである暫定厚さを決定する。前記暫定厚さの信頼度が許容誤差範囲から外れる場合には、他の膜構成データに変更して新たに暫定厚さを決定する処理を繰り返し、前記暫定厚さの信頼度が許容誤差範囲内に含まれる場合には、前記暫定厚さを前記測定結果として前記出力部に伝送する。

10

【0016】

前記厚さ測定装置は、暫定厚さの信頼度が前記許容誤差範囲から外れる場合には、前記膜構成データを他の膜構成データに変更して、変更された膜構成データを用いて、新たに暫定厚さを反復的に決定する。これによって、工程の不良などによって前記多層膜の薄膜積層構造が、設計された構造と異なる場合にも、正確な厚さを測定することができる。

20

【0017】

前記第2の目的を達成するために、本発明は、多層膜が形成されたウェーハに光源光を照射し、前記ウェーハからの反射光を分析して前記反射光についての測定スペクトラムを生成する。続いて、前記多層膜として想定されうる複数通りの想定多層膜にそれぞれ対応する複数通りの膜構成データを格納する。前記複数通りの想定多層膜のうちのいずれか一つに対応する前記膜構成データを用いて、前記想定多層膜を構成する各薄膜を種々の仮想的な厚さに設定することによって複数の理論的スペクトラムを計算する。前記測定スペクトラムと前記複数の理論的スペクトラムとを比較して前記多層膜を構成する各薄膜の暫定的な厚さである暫定厚さを決定し、前記暫定厚さの信頼度を計算する。前記信頼度が許容誤差範囲内に含まれている場合には、前記暫定厚さを前記多層膜を構成する各薄膜の厚さの測定結果として出力する。前記暫定厚さの信頼度が許容誤差範囲から外れる場合には、前記膜構成データを他の膜構成データに変更して、変更された膜構成データを用いて、対応する想定多層膜を構成する各薄膜を種々の仮想的な厚さに設定することによって複数の理論的スペクトラムを計算する段階と、前記測定スペクトラムと前記複数の理論的スペクトラムとを比較して新たに前記暫定厚さを決定する段階と、前記暫定厚さの信頼度を計算する段階と、を反復的に実施する。

30

【0018】

また、上述した第2目的を達成するために本発明は、多層膜が形成されたパターン形成ウェーハの複数の領域上にそれぞれ光源光を照射し、前記各領域からの反射光を分析して複数の測定スペクトラムを生成する。前記多層膜として想定されうる複数通りの想定多層膜にそれぞれ対応する複数通りの膜構成データを格納する。前記複数通りの想定多層膜のうちのいずれか一つに対応する前記膜構成データを用いて、前記想定多層膜を構成する各薄膜を種々の仮想的な厚さに設定することによって複数の理論的スペクトラムを計算する。前記各領域別にそれぞれの測定スペクトラムと前記複数の理論的スペクトラムとを比較して前記各領域別に前記多層膜を構成する各薄膜の暫定的な厚さである暫定厚さをそれぞれ決定する。前記各領域別に出力された暫定厚さの信頼度をそれぞれ計算し、前記信頼度が許容誤差範囲内に含まれる場合には、前記暫定厚さを前記各領域での前記多層膜の厚さの測定結果として出力する。前記暫定厚さの信頼度が許容誤差範囲から外れる場合には、前記膜構成データを他の膜構成データに変更して、変更された膜構成データを用いて、対応する想定多層膜を構成する各薄膜を種々の仮想的な厚さに設定することによって複数の

40

50

理論的スペクトラムを計算する段階と、前記それぞれの測定スペクトラムと前記複数の理論的スペクトラムとを比較して新たに前記各領域での前記暫定厚さを決定する段階と、前記各領域での暫定厚さに対する信頼度を計算する段階と、を反復的に実施する。

【0019】

前記方法によると、工程の不良などによって前記多層膜の薄膜積層構造が、設計された構造と異なる場合であっても、膜構成データが自動的に変更されるので、許容誤差範囲内に収まるように正確な多層膜の厚さを測定することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0020】

以下、図面を参照して本発明の望ましい一実施の形態を詳細に説明する。

10

【0021】

図1は本発明の一実施の形態における偏光解析方式を用いた厚さ測定装置の概略図である。

【0022】

図1に示すように、厚さ測定装置は、多層膜が形成されたパターン形成ウェーハW上に光を照射し、前記ウェーハWからの反射光を分析して前記反射光についての測定スペクトラムを生成する測定部30を具備する。さらに詳細には、偏光された光を、測定対象のウェーハに照射し、前記ウェーハから反射された偏光の垂直偏光成分と水平偏光成分との間の強度比及び位相差を前記反射光の波長別に測定したスペクトラムを出力する。

【0023】

20

前記測定部30は、具体的に、ウェーハWをローディングするローディング部10と、前記ウェーハWへ光を照射するために光源光を生成する光源12と、前記光源光を偏光させてウェーハWの表面に偏光された光を照射する偏光器14と、前記ウェーハからの反射光を分析して測定スペクトラムを生成して出力する偏光分析器16、プリズム、18及び検出器20と、を含む。前記偏光された光は、前記ウェーハWの表面に対して特定角度を有するように斜入射されなければならない。このために、前記光の経路上には光の経路変更のために複数のミラーを具備していてもよい。

【0024】

前記偏光分析器16は、前記反射光の偏光状態に比例して前記パターン形成ウェーハの表面からの前記反射光を伝送する。前記プリズム18は、前記偏光分析器16によって伝送された反射光を水平偏光成分及び垂直偏光成分に分解する。前記検出器20は、前記反射光の波長に応じて前記反射光の垂直偏光成分及び水平偏光成分の強度を測定する。そして、既知の方法を利用して、前記垂直偏光成分及び水平偏光成分の強度から前記垂直偏光成分と水平偏光成分との間の強度比が計算され、前記垂直偏光成分と水平偏光成分との間の位相差が計算される。

30

【0025】

厚さ測定装置は、多層膜として想定されうる複数通りの想定多層膜にそれぞれ対応する複数通りの膜構成データ（レシピデータ）を入力するための入力部40を具備する。前記想定多層膜は、前記パターン形成ウェーハ上に実際に形成されていると想定しうる理論的な擬似多層膜であって、設計条件に応じて想定されうる薄膜積層構造を有する。従って、作業者は、前記パターン形成ウェーハ上に実際に形成された多層膜が予想された順序通りに積層されたと仮定して、前記想定多層膜に対応する複数通りの膜構成データを入力部40を通じて直接入力することができる。

40

【0026】

前記膜構成データは、前記想定多層膜の積層順序、積層個数、及び想定多層膜を構成する各薄膜（以下、「構成薄膜」と称する）の物理的特性についての情報を含む。ここで、物理的特性についての情報は、各構成薄膜の屈折率及び前記減衰係数などを含む。前記入力部に入力される複数通りの膜構成データは前記想定多層膜の理論的なスペクトラム（以下、「理論的スペクトラム」という）の計算時に使用される。

【0027】

50

厚さ測定装置は、前記測定部 40 で測定されたデータを格納する第 1 格納部 50 を具備する。即ち、前記第 1 格納部 50 は、前記基板からの反射光を測定して形成した測定スペクトラムを格納する。

【0028】

また、厚さ測定装置は、前記入力部 40 に入力した膜構成データをそれぞれ格納する第 2 格納部 60 を具備する。前記第 2 格納部 60 は、前記複数通りの想定多層膜にそれぞれ対応する複数通りの膜構成データを格納する。

【0029】

さらに、厚さ測定装置は、前記パターン形成ウェーハに形成されている多層膜の各構成薄膜の厚さを出力する出力部 70 を具備する。

10

【0030】

また、厚さ測定装置は、前記測定部 30、入力部 40、第 1 格納部 50、第 2 格納部 60、及び出力部 70 とそれぞれ連結されて各部を制御する制御部を具備する。

【0031】

前記制御部は、具体的には、前記第 2 格納部 60 に格納されている複数通りの膜構成データのうちの一つの膜構成データを用いて前記想定多層膜の理論的スペクトラムを計算する。前記理論的スペクトラムは、多層膜の構成薄膜の物理的情報を理論式に代入して計算された波長別の垂直偏光成分及び水平偏光成分との強度比及び位相差を含む。多層膜の構成薄膜の物理的情報は、膜構成データに含まれる。

【0032】

20

このとき、前記理論的スペクトラムは、前記想定多層膜の各構成薄膜を種々の仮想的な厚さに設定することによって反復的に得られる。従って、各構成薄膜の仮想的な厚さに応じて、前記複数の理論的スペクトラムを得ることができる。前記理論的スペクトラムと前記想定多層膜の構成薄膜の仮想的な厚さとの間の関係を分散カーブと称する。複数の前記分散カーブが、ライブラリファイルとして格納される。

【0033】

前記測定スペクトラムと前記複数の理論的スペクトラムとが比較されて、複数の仮想的な厚さのうちの一つの仮想的な厚さが、前記パターン形成ウェーハに実際に形成された多層膜の構成薄膜の暫定的な厚さ（以下、「暫定厚さ」と称する）に決定される。具体的には、前記測定スペクトラムと前記複数の理論的スペクトラムとを互いに比較して、複数の理論的スペクトラムのうち、前記測定スペクトラムとの間のスペクトラムエラー（誤差）が最も小さくなる理論的スペクトラムが最適スペクトラムとして選択される。そして、前記最適スペクトラムを計算するために利用された前記仮想的な厚さが前記暫定厚さに決定される。ここで、前記スペクトラムエラーは、前記測定スペクトラムと理論的スペクトラムとの差異（不一致）を表す。

30

【0034】

前記決定された暫定厚さの信頼度（近似度）を計算するために、前記暫定厚さに基づく前記最適スペクトラムの近似度（G O F : g o o d n e s s o f f i t）が計算される。前記スペクトラム近似度は前記測定スペクトラムと前記最適スペクトラムとの間の一致程度を示す数値である。すなわち、暫定厚さの信頼度は、スペクトラムエラーの大きさを表す数値である近似度（G O F）で表現される。前記近似度は、0 ないし 1 の値を有し、前記近似度が 1 である場合には前記測定スペクトラムと前記最適スペクトラムとが完全に一致することを意味する。前記近似度が 0 の場合には前記測定スペクトラムと前記最適スペクトラムとが完全に不一致となることを意味する。近似度（G O F）の算出式自体は、曲線の適合度を求める際に用いられている既知の方法と同様であるので、詳しい説明は省略する。

40

【0035】

続いて、前記暫定厚さの信頼度、すなわち、計算された近似度が、予め設定された許容誤差範囲（近似度範囲）内に含まれるか否かが判断される。計算された近似度が許容誤差範囲から外れる場合には、前記膜構成データを他の膜構成データに変更して、前述したよ

50

うな方法で新たな暫定厚さが決定される。一方、前記暫定厚さの近似度が許容誤差範囲内に含まれる場合には、前記暫定厚さが、実際の構成薄膜の厚さの測定結果として前記出力部 70 に伝送される。即ち、前記近似度が、設定された許容誤差範囲から外れる場合には、暫定厚さが正確ではないと判断され、膜構成データを変更して暫定厚さを再決定することで、正確に厚さを測定することができる。

【0036】

なお、前記第 2 格納部 60 に格納されている複数通りの膜構成データの全てを適用して決定された全ての暫定厚さの信頼度が、許容誤差範囲から外れる場合には、前記近似度が最も高い暫定厚さが前記多層膜の各構成薄膜の厚さの測定結果として前記出力部 70 に伝送される。

10

【0037】

方法実施例 1

図 2 は、本発明の一実施例による厚さ測定方法を示すフローチャートである。

【0038】

まず、複数の薄膜（構成薄膜）が積層されてなる多層膜が形成されたパターン形成ウェーハが提供される（S10）。

【0039】

前記パターン形成ウェーハのスクライブライン領域内には各工程が正常に実施されたか否かを判断するために形成された OS サイト（酸化膜領域）が形成されている。前記 OS サイトのうち少なくとも一つは厚さ測定のための積層構造を有する。従って、前記 OS サイトにおいて、前記パターン形成ウェーハ上に形成されている多層膜の厚さが測定される。

20

【0040】

以下、前記パターン形成ウェーハとして、エッチング工程以前に第 1 ないし第 5 膜が蒸着され、エッチング工程によって前記第 5 及び第 4 膜が順次にエッチングされて第 1 ないし第 3 膜が残されるように設計されているウェーハを採用し、エッチングを実施した後に残されている各薄膜の厚さを測定する場合を例にとって説明する。

【0041】

前記パターン形成ウェーハの OS サイトに偏光が照射される。続いて、前記パターン形成ウェーハからの反射光を分析して反射光についての測定スペクトラムが第 1 格納部に格納される（S12）。前記測定スペクトラムは、前記光の波長別に取得された水平偏光成分と垂直偏光成分間との間の強度比および位相差を含む。

30

【0042】

最初に、複数通りの想定多層膜のうちのいずれか一つが前記パターン形成ウェーハ上に実際に形成されているものと仮定し、前記各想定多層膜に対応する膜構成データが前記第 2 格納部に格納される（S14）。前記膜構成データを格納する過程は前記パターン形成ウェーハでスペクトラムを測定する前に実施しても構わない。

【0043】

前記複数通りの想定多層膜には、設計された積層順序にしたがって積層された標準多層膜が含まれる。そして、前記標準多層膜以外の他の想定多層膜には、標準多層膜の上部側から、当該標準多層膜を構成する薄膜を 1 つずつ除去して順次に決定された想定多層膜が含まれる。また、前記標準多層膜以外の他の想定多層膜には、必要に応じて、標準多層膜上に追加的な薄膜を 1 つずつ付加して順次に決定された想定多層膜が含まれていてもよい。

40

【0044】

具体的には、前記パターン形成ウェーハの場合、前記標準多層膜である第 1 想定多層膜としては、設計された薄膜積層構造と同一の構造、すなわち、第 1 膜、第 2 膜及び第 3 膜が順次に積層された構造が指定される。そして、第 2 想定多層膜としては、標準多層膜の上部側から前記第 3 膜が除去されて決定された形態であり、第 1 膜及び第 2 膜が積層された形態が指定される。即ち、前記第 2 想定多層膜は、オーバーエッチによって、設計され

50

た薄膜積層構造の最上部膜（第3膜）がエッチングされた時の薄膜積層構造である。また、第3想定多層膜としては、標準多層膜から前記第3及び第2膜が除去されており、第1膜のみが積層された形態が指定される。なお、前記第1膜が最下部膜であるので、それ以上の膜を除去して新たな想定多層膜を指定する必要はない。

【0045】

前記第4想定多層膜は、標準多層膜である前記第1想定多層膜の上部層に一層の膜がさらに追加した形態であり、第1ないし第4膜が積層された形態を有する。即ち、前記第4想定多層膜は、設計された薄膜積層構造である標準多層膜の最上部膜上に、さらに一層の膜がエッチングされないまま残っている構造である。また、第5想定多層膜は、第1ないし第5膜が形成された構造である。前記第5膜が、前工程での最上部膜であるので、それ以上の膜を追加して新たな想定多層膜を師弟する必要はない。前記第5想定多層膜は、エッチング工程時における不良発生で、膜が全然エッチングされない場合の積層構造である。

【0046】

前記のような第1ないし第5想定多層膜がそれぞれ指定されると、前記各想定多層膜に合う第1膜構成データないし第5膜構成データがそれぞれ作成される。前記膜構成データは、前記想定多層膜の積層順序、積層個数、及び構成薄膜の物理的特性についての情報を含む。前記構成薄膜の物理的特性についての情報は、各薄膜の屈折率及び減衰係数を含む。

【0047】

前記標準多層膜に対応する第1膜構成データを使用して前記強度比及び位相差が前記偏光の波長に応じて計算される。続いて、前記強度比、前記位相差、及び前記想定多層膜の各構成薄膜に対する仮想的な厚さを利用して複数の理論的スペクトラムが計算される（S16）。即ち、前記強度比及び位相差は、前記第1膜構成データに含まれる各構成薄膜の屈折率及び前記減衰係数を用いて分光学的楕円偏光解析法の理論的公式によって計算される。続いて、前記想定多層膜の各構成薄膜を種々の仮想的な厚さに設定する。この結果、前記複数の理論的スペクトラムが、前記設定された仮想的な厚さと、前記各構成薄膜の屈折率及び減衰係数とを利用して、前記分光学的楕円偏光解析法における他の理論的公式によって計算される。前記仮定的な厚さは、前記パターン形成ウェーハ上に実際に多層膜を形成する工程において許容されうる誤差範囲内で種々に設定される。

【0048】

前記理論的スペクトラムを計算する段階を初めて実施する場合には、まず最初に、前記標準多層膜に対応する第1膜構成データを使用して計算することが最も望ましい。これは前記パターン形成ウェーハに不良が発生しなかった場合には、前記パターン形成ウェーハ上に実際に形成された多層膜は前記標準多層膜と同一となるので、前記第1膜構成データから計算された理論的スペクトラムを使用することによって正確に多層膜の構成薄膜の厚さを測定することができる確率が最も大きくなるからである。

【0049】

前記第1膜構成データを用いるとともに、第1想定多層膜の各構成膜厚を種々の複数の仮定的な厚さに設定することによって、複数の理論的スペクトルが計算されると、以下の処理がされる。まず、前記測定スペクトラムと前記複数の理論的スペクトラムとを比較することによって、複数の理論的スペクトラムのうち、前記測定スペクトラムとの差異を示すスペクトラムエラー（誤差）が最も小さくなる理論的スペクトラムが最適スペクトラムとして選択される。そして、前記最適スペクトラムを計算するために利用された前記仮定的な厚さが、前記パターン形成ウェーハに形成された多層膜の各構成薄膜の暫定的な厚さである暫定厚さに決定されて、出力される。以上の処理を実行することによって、前記第1ないし第3薄膜のそれぞれの厚さが同時に測定される。以下、前記第1膜構成データを使用して決定した第1ないし第3薄膜の厚さを第1暫定厚さと称する（S18）。

【0050】

前記測定スペクトラムと、前記第1暫定厚さを用いて理論的に計算された前記最適スペ

クトラムとの近似度を算出して、前記第1暫定厚さの信頼度が計算される。

【0051】

前記最適スペクトラムの近似度が許容誤差範囲内に含まれる場合には、前記第1暫定厚さが、前記実際の多層膜の各構成薄膜の厚さの測定結果として前記出力部70に伝送される。従って、前記第1想定多層膜を構成する第1ないし第3構成薄膜のそれぞれの厚さが、前記パターン形成ウェーハに形成された実際の多層膜の各構成薄膜の厚さの測定結果として出力される(S20)。

【0052】

しかし、前記最適スペクトラムの近似度が許容誤差範囲から外れる場合には、前記膜構成データを他の膜構成データに変更して(S22)、上述した方法で新たに暫定厚さを決定し、新たに決定された暫定厚さの信頼度、すなわち新たな最適スペクトラムの近似度が計算される。 10

【0053】

具体的には、前記近似度が許容誤差範囲から外れる場合には、前記第1膜構成データを用いて決定された第1暫定厚さが信頼できないと判断される。従って、前記第1膜構成データ以外の膜構成データ、例えば、前記第2膜構成データを使用して、理論的スペクトラムを再演算する(S16)。そして、前記第2膜構成データを適用した理論的スペクトラムと前記測定スペクトラムとを比較して第2暫定厚さが決定される(S18)。続いて、前記第2暫定厚さの近似度が計算される(S20)。

【0054】

次いで、前記第2暫定厚さを決定するための最適スペクトラムの近似度が、予め設定された許容誤差範囲内に含まれるか否かが判断される。前記近似度が許容誤差範囲内に含まれる場合には、前記第2暫定厚さが出力部に伝送されて、前記第2膜構成データの薄膜積層構造による第1及び第2薄膜の厚さが多層膜の厚さの測定結果として出力される(S20)。 20

【0055】

しかしながら、前記第2暫定厚さを決定するための最適スペクトラムの近似度が許容誤差範囲から外れる場合には、続いて、前記第3膜構成データを使用して、第3暫定厚さが決定され、前記第3暫定厚さを決定するための最適スペクトラムの近似度が計算される処理が反復的に実行される。 30

【0056】

前記近似度が許容誤差範囲から続けて外れる場合には、順次に、第4ないし第5膜構成データを使用して第4及び第5暫定厚さが決定される。

【0057】

以上のとおり、前記処理を実行する際に、前記近似度が前記許容誤差範囲内に含まれる場合には、暫定厚さを決定する処理が完了し、前記近似度を満足する暫定厚さが実際の多層膜の各構成薄膜の厚さの測定結果として出力される(S24)。しかし、格納された第1ないし第5膜構成データの全てを利用して決定された第1ないし第5暫定厚さの信頼度、すなわち、これらの第1ないし第5暫定厚さを決定するための最適スペクトラムの近似度の全てが、許容誤差範囲から外れる場合には、前記決定された第1ないし第5暫定厚さのうちの最も信頼度が高い暫定厚さが前記実際の多層膜の各構成薄膜の厚さの測定結果として出力される。 40

【0058】

以上の方法によると、前記基板上に形成された多層膜の各構成薄膜の厚さを非接触方式で測定することができる。また、前記多層膜が、工程不良によって、設計された薄膜積層構造を有することができない場合であっても、正確に厚さを測定することができる。

【0059】

方法実施例2

まず、複数の薄膜が積層されてなる多層膜が形成されたパターン形成ウェーハがローディングされる。 50

【0060】

ローディングされた前記パターン形成ウェーハは、エッチング工程が実施された状態であるものとする。エッチング工程前の薄膜構造は、図3に示されたように、シリコン基板100上に第1シリコン窒化膜260Å(102)、第1シリコン酸化膜750Å(104)、第2シリコン窒化膜500Å(106)、第2シリコン酸化膜5500Å(108)、第3シリコン窒化膜600Å(110)、第3シリコン酸化膜1300Å(112)及び第4シリコン窒化膜3000Å(114)が積層されている構造である。

【0061】

そして、パターン形成ウェーハは、前記第4シリコン窒化膜114、第3シリコン酸化膜112、及び第3シリコン窒化膜110をエッチングした後、前記第2シリコン酸化膜108を部分的にエッチングした状態となっている。従って、前記エッチング工程が正常に行われたか否かを確認するために前記パターン形成ウェーハ上に残っている薄膜の厚さがそれぞれ測定される。

【0062】

前記エッチング工程が実施されると、前記パターン形成ウェーハには第1シリコン窒化膜260Å(102)、第1シリコン酸化膜750Å(104)、第2シリコン窒化膜500Å(106)、及び第2シリコン酸化膜4500Å(108)が残されるように設計されている。

【0063】

図8は、パターン形成ウェーハ上での厚さの測定領域を示し、図9はショット(1回の露光で照射される領域)内のOSサイトを示す。

【0064】

前記パターン形成ウェーハ上で厚さを測定する複数の領域が指定され、前記領域内で測定すべきOSサイトが指定される。一般に前記パターン形成ウェーハの上部、中央、下部、左側部及び右側部に、それぞれ1つ以上のOSサイトが指定される。以下、前記パターン形成ウェーハ上で、上部、中央、下部、左側部、及び右側部にそれぞれ1つずつ第1ないし第5OSサイトが指定される場合を説明する。

【0065】

前記OSサイト120は、各工程の正常な進行の可否を判断するためのパターンとしてウェーハのスクライプライン領域内に形成されている。前記OSサイト120のうち少なくとも一つは、パターン形成ウェーハのチップ領域に形成される所定のパターンと同一の薄膜積層構造を有する。

【0066】

偏光された光が、パターン形成ウェーハの選択された第1OSサイトに照射される。続いて、前記パターン形成ウェーハの第1OSサイトからの反射光(偏光)の水平偏光成分と垂直偏光成分との間の強度比及び位相差を前記反射光の波長別に取得して測定スペクトラムが生成される。前記測定スペクトラムは第1格納部に格納される。

【0067】

続いて、前記パターン形成ウェーハ上に形成されていると想定されうる実際の多層膜の薄膜積層構造を予想した後、複数通りの想定多層膜に対応する膜構成データが作成されて第2格納部に格納される。

【0068】

図4ないし図7はパターン形成ウェーハ上に形成されていると想定されうる複数の通りの想定多層膜の断面図である。

【0069】

図4に示されるように、第1想定多層膜は、設計された薄膜積層構造と同一の標準多層膜であり、第1シリコン窒化膜102、第1シリコン酸化膜104、第2シリコン窒化膜106、及び第2シリコン酸化膜108が積層された薄膜積層構造として指定される。前記第1膜構成データは、前記第1想定多層膜の薄膜積層順序、第1及び第2シリコン窒化膜、第1及び第2シリコン酸化膜それぞれの屈折率及び減衰係数を含む。

10

20

30

40

50

【0070】

図5に示されるように、第2想定多層膜は、標準多層膜である前記第1想定多層膜の上部側から最上部膜が除去された薄膜積層構造として指定される。即ち、前記第2想定多層膜は、第1シリコン窒化膜102、第1シリコン酸化膜104、第2シリコン窒化膜106が積層された構造として指定される。前記第2膜構成データは、前記第2想定多層膜の薄膜積層順序、第1及び第2シリコン窒化膜、第1シリコン酸化膜それぞれの屈折率及び減衰係数などを含む。

【0071】

図6に示されるように、第3想定多層膜は、前記第2想定多層膜から最上部膜が除去された薄膜積層構造として指定される。言い換えれば、第3想定多層膜は、標準多層膜である前記第1想定多層膜の上部側から2層の膜が除去された薄膜積層構造として指定される。即ち、前記第3想定多層膜は、第1シリコン窒化膜102、第1シリコン酸化膜104が積層された薄膜積層構造として指定される。

10

【0072】

図7に示されるように、前記第4想定多層膜は、前記第3想定多層膜から最上部膜が除去された薄膜積層構造として指定される。言い換えれば、第4想定多層膜は、標準多層膜である前記第1想定多層膜の上部側から3層の膜が除去された薄膜積層構造として指定される。即ち、前記第4想定多層膜は、第1シリコン窒化膜102のみが形成された構造として指定される。前記第1シリコン窒化膜102が最下部膜であるので、それ以上の膜を除去して新たな想定多層膜を指定する必要はない。

20

【0073】

図示していないが、前記第1想定多層膜の最上部膜上に、追加的な薄膜として、第3シリコン窒化膜600Å、第3シリコン酸化膜1300Å、及び第4シリコン窒化膜3000Åを順次に1つつ付加して他の想定多層膜を決定することができる。しかし、上述したとおり、エッチング工程が過度であり、設計された積層構造の上部膜がオーバーエッチされて除去される場合が、より一般的であるので、前記第1想定多層膜に、付加的な膜を追加して、新たな膜構成データを作成する処理は省略することができる。

【0074】

続いて、前記第1膜構成データを使用して理論式による理論的スペクトラムが演算される。前記第1膜構成データによって指定された第1シリコン窒化膜102、第1シリコン酸化膜104、第2シリコン窒化膜106、及び第2シリコン酸化膜108のそれぞれの屈折率及び減衰係数を使用し、各薄膜の仮定的な厚さを順次に変更して演算することによって、前記仮定的な厚さに応じて複数の理論的スペクトラムが出力される。前記仮定的な厚さは、設計された薄膜積層構造における各薄膜の厚さの設計値に一定のマージンを付加した範囲内で種々に設定される。この範囲内で仮想的な厚さを変更することによって、複数の理論的スペクトラムが出力され、格納される。

30

【0075】

続いて、前記第1OSサイトで測定された測定スペクトラムと前記複数の理論的スペクトラムとを比較して、複数の理論的スペクトラムのうち、前記測定スペクトラムとの差異を示すスペクトラムエラー（誤差）が最も小さくなる理論的スペクトラムが最適スペクトラムとして選択される。そして、前記最適スペクトラムを計算するのに使用された仮定的な厚さが、前記パターン形成ウェーハに形成された多層膜の各構成薄膜の暫定的な厚さである暫定厚さに決定されて、出力される。以上の処理を実行すると、前記第1シリコン窒化膜102、第1シリコン酸化膜104、第2シリコン窒化膜106、及び第2シリコン酸化膜108のそれぞれの厚さが同時に測定される。以下、前記第1膜構成データを使用して決定した前記各薄膜の厚さを第1暫定厚さと称する。

40

【0076】

前記測定スペクトラムと、前記第1暫定厚さを用いて計算された理論的スペクトラムである前記最適スペクトラムとの間の近似度（GOF、goodness of fit）を算出して、前記第1暫定厚さの信頼度が計算される。前記近似度が許容誤差範囲内にあ

50

る場合には、前記第1暫定厚さが前記実際の多層膜の各構成薄膜の厚さの測定結果として出力され格納される。前記近似度の許容誤差範囲は、GOFで0.9以上になるように指定することができる。

【0077】

一方、前記近似度が許容誤差範囲から外れる場合には、前記第1膜構成データによって決定された第1暫定厚さが信頼できないと判断される。

【0078】

ここで、前記近似度が前記許容誤差範囲から外れる場合には、前記第2膜構成データを使用して、前記第2想定多層膜の各構成薄膜に関する第2暫定厚さが決定される。これは、先に実施されたエッチング工程によって最上部の第2シリコン酸化膜108まで過度にエッチングされて実際の薄膜積層構造が第1膜構成データと適合しないと判断された場合であり、前記第2シリコン酸化膜108が除去された薄膜積層構造で作成された第2膜構成データを使用して厚さを再決定する処理である。前記厚さの決定過程は、前記第2膜構成データを適用することを出ては前記方法と等しいのでその説明は省略する。

10

【0079】

続いて、前記測定された測定スペクトラムと最適スペクトラムとの近似度を算出して、前記第2暫定厚さの信頼度が計算される。前記最適スペクトラムの近似度が許容誤差範囲内に含まれる場合には、前記第2暫定厚さが、前記実際の多層膜の各構成薄膜の厚さの測定結果として出力される。

【0080】

20

しかし、前記近似度が前記許容誤差範囲から外れる場合には、前記第2膜構成データによって決定された前記第2暫定厚さが信頼できないと判断される。そして、前記第3膜構成データを使用して、前記第3想定多層膜の各構成薄膜に関する第3暫定厚さが決定されて、前記第3暫定厚さの信頼度を計算する過程が実施される。

【0081】

同様に、前記第3暫定厚さの信頼度を意味する近似度が許容誤差範囲から外れる場合には、第4膜構成データを使用して、第4暫定厚さが決定されて、前記第4暫定厚さの信頼度を計算する過程が反復的に実施される。

【0082】

前記処理を実施する際に、前記近似度が前記許容誤差範囲内に含まれる場合には、暫定厚さを決定する処理が完了し、前記近似度、すなわち信頼度を満足する暫定厚さが前記第1OSサイトでの多層膜の各構成薄膜の厚さの測定結果として出力される。

30

【0083】

しかし、前記処理を実施する際に、格納された膜構成データの全てを利用して決定された第1ないし第4暫定厚さの全ての信頼度、すなわち、これらの暫定厚さを決定するための最適スペクトラムの近似度の全てが許容誤差範囲から外れる場合には、前記決定された第1ないし第4暫定厚さのうち信頼度が最も高い暫定厚さが多層膜の各構成薄膜の厚さの測定結果として出力される。

【0084】

以上の方法によると、前記第1OSサイトに形成されている多層膜の各構成薄膜の厚さを非接触方式で測定することができる。

40

【0085】

続いて、前記第1OSサイト以外の他の第2ないし第5OSサイトにおいても、上述したような厚さ測定過程を実施することによって、各OSサイトに形成されている多層膜の各構成薄膜の厚さを測定することができる。

【0086】

従って、前記パターン形成ウェーハにおいて、エッチング工程がウェーハ面内において均一に実施されなかった場合であっても、各OSサイトの薄膜積層構造に適合した膜構成データを適用して正確に厚さを測定することができる。

【0087】

50

方法実施例 3

方法実施例 3 は、測定順序を除いて、上記の方法実施例 2 と、ほぼ類似する。

【0088】

複数の薄膜が積層されてなる多層膜が形成されたパターン形成ウェーハがローディングされる。

【0089】

前記パターン形成ウェーハは前記方法実施例 2 と同一のものとして、以下、説明する。即ち、前記パターン形成ウェーハは、前記エッチング工程以後に残されている各薄膜の厚さが第 1 シリコン窒化膜 260 Å、第 1 シリコン酸化膜 750 Å、第 2 シリコン窒化膜 500 Å、及び第 2 シリコン酸化膜 4500 Å になるように設計されている。

10

【0090】

偏光された光が、パターン形成ウェーハの選択された第 1 OS サイトに照射される。続いて、前記パターン形成ウェーハの第 1 OS サイトからの反射光（偏光）の水平偏光成分と垂直変更成分との間の強度比と位相差を前記反射光の波長別に取得して第 1 測定スペクトラムが生成される。続いて、前記第 2 ないし第 5 OS サイトにおいても同様の処理を実行して第 2 ないし第 5 測定スペクトラムが生成される。次に、前記第 1 ないし第 5 測定スペクトラムが第 1 格納部に格納される。すなわち、以上の処理によって、パターン形成ウェーハの複数の領域上にそれぞれ光源光が照射され、各領域からの反射光を分析して複数の測定スペクトラムが生成される。

【0091】

続いて、実施例 2 と同様の方法で、多層膜として想定されうる複数の想定多層膜を予想した後、第 1 ないし第 4 想定多層膜に対応した第 1 ないし第 4 膜構成データが設定されて格納される。

20

【0092】

続いて、前記パターン形成ウェーハ上で厚さを測定するための複数の OS サイトが指定される。本実施例では前記パターン形成ウェーハの上部、中央、下部、左側部、及び右側部に該当する第 1 ないし第 5 OS サイトが指定される。

【0093】

そして、前記第 1 膜構成データを使用して理論式による理論的スペクトラムが演算される。前記第 1 膜構成データによって指定された構成薄膜のそれぞれの屈折率及び減衰係数を使用し、各薄膜の仮定的な厚さを順次に変更して演算することによって、前記仮定的な厚さに応じて複数の理論的スペクトラムが出力される。前記仮定的な厚さは、設計された薄膜積層構造における各薄膜の厚さに一定のマージンを付加した範囲内で種々に設定される。この範囲内で仮想的な厚さを変更することによって、複数の理論的スペクトラムが出力され、格納される。

30

【0094】

続いて、前記第 1 OS サイトで測定された測定スペクトラムと前記複数の理論的スペクトラムとを比較して、複数の理論的スペクトラムのうち、前記測定スペクトラムとの差異を示すスペクトラムエラー（誤差）が最も小さくなる理論的スペクトラムが最適スペクトラムとして選択される。そして、前記最適スペクトラムを計算するのに使用された仮定的な厚さが、第 1 OS サイトの多層膜の各構成薄膜の第 1 領域暫定厚さに決定される。同様の方法で、前記第 2 ないし第 5 OS サイトにおいても、第 2 ないし第 5 領域暫定厚さが決定される。すなわち、各領域別にそれぞれの測定スペクトラムと前記複数の理論的スペクトラムとを比較して各領域別に前記多層膜の各構成薄膜の暫定的な厚さである暫定厚さが決定される。

40

【0095】

前記第 1 ないし第 5 領域暫定厚さのそれぞれの信頼度、すなわち、各暫定厚さを求めるのに使用された最適スペクトラムの近似度が計算される。前記第 1 ないし第 5 領域暫定厚さのうち、前記近似度が許容誤差範囲内に含まれる暫定厚さは、正常に計算された厚さと判断されて、該当する領域での多層膜の構成薄膜の厚さの測定結果として出力され、格納

50

される。

【0096】

一方、前記信頼度が許容誤差範囲から外れるOSサイトで測定された厚さは信頼することができないと判断される。ここで、特定OSサイト（例えば第1OSサイト）で前記信頼度が許容誤差範囲から外れる場合には、前記第2膜構成データを使用して、前記理論的スペクトラムが再度、演算される。

【0097】

続いて、前記第1OSサイトの測定スペクトラムと、前記第2膜構成データによって演算された複数の理論的スペクトラムとを比較して、複数の理論的スペクトラムのうち、前記測定スペクトラムとの差異を示すスペクトラムエラー（誤差）が最も小さくなる理論的スペクトラムが最適スペクトラムとして選択され、前記最適スペクトラムの計算に利用された仮定的な厚さが前記第1OSサイトの新たな暫定厚さに決定される。 10

【0098】

続いて、前記第2膜構成データによって測定された厚さの信頼度を計算し、許容誤差範囲から外れる場合には、第3膜構成データ及び第4膜構成データを順次に使用して暫定厚さが再決定される。

【0099】

前記第1ないし第5OSサイトの全てにおいて、前記信頼度が、前記誤差許容範囲内に含まれる場合には、各OSサイト別に暫定厚さを決定する処理が完了し、各暫定厚さが前記各OSサイトでの前記多層膜の構成薄膜の厚さの測定結果として出力される。 20

【0100】

しかしながら、前記第1ないし第5OSサイトのうちに、上述したとおり、格納された複数通りの膜構成データの全てを利用して決定された全ての暫定厚さの信頼度が許容誤差範囲から外れるOSサイトがある場合には、このOSサイトでは、信頼度が最も高い暫定厚さが前記測定結果として出力される。

【0101】

以上の方法によると、前記第1ないし第5OSサイトに形成されている多層膜の各構成薄膜の厚さを非接触方式で測定することができる。また、ウェーハの面内においてエッチング工程が均一に実施されない場合であっても、各OSサイトの薄膜積層構造に適合した膜構成データを使用して、各OSサイトに形成されている多層膜の各構成薄膜の厚さを正確に測定することができる。 30

【0102】

次に、前記方法を使用してパターン形成ウェーハの各OSサイトにおいて多層膜の各構成膜厚の厚さを測定した結果を示す。

【0103】

試料は、パッドエッチング後のパターン形成ウェーハとした。測定には、分光学的楕円偏光解析法（SE）を用いた。測定点の数は、6点とした。OSサイトにおける複数通りの想定多層膜としては、以下の第1～第3想定多層膜を設定した。第1想定多層膜（第1薄膜積層構造）は、第1シリコン窒化膜、シリコン酸化膜、および第2シリコン窒化膜が積層されているものとした。第2想定多層膜（第2薄膜積層構造）は、第1シリコン窒化膜、およびシリコン酸化膜が積層されているものとした。第3想定多層膜（第3薄膜積層構造）は、第1シリコン窒化膜が形成されているものとした。これら第1～第3想定多層膜に対応して、第1～第3膜構成データを用意し、予め格納した。 40

【0104】

図10は測定点を示すためのウェーハマップである。前記パターン形成ウェーハ上で、3つの群（「200a, 200b」の群、「200c, 200d」の群、および「200e, 200f」の群）を指定し、各群には、略隣接する2つの測定点が含まれるようにした。図10において、第1ないし第6測定点は、参照番号200aないし200fに該当する領域内に形成されたそれぞれのOSサイトである。

【0105】

図 1 1 は、各測定点で測定された波長別の強度比を示す各スペクトラム（以下、S E α ）である。図 1 2 は各測定点で測定された波長別の位相差を示す各スペクトラム（以下、S E β ）である。

【0106】

図 1 1 に示されるとおり、参照番号 2 1 0 a、2 1 0 b は、第 1 及び第 2 測定点でのスペクトラムであり、参照番号 2 1 2 a、2 1 2 b は第 3 及び第 4 測定点でのスペクトラムであり、参照番号 2 1 4 a、2 1 4 b は第 5 及び第 6 測定点でのスペクトラムである。また、図 1 2 において、参照番号 2 5 0 a、2 5 0 b は第 1 及び第 2 測定点でのスペクトラムであり、参照番号 2 5 2 a、2 5 2 b は第 3 及び第 4 測定点でのスペクトラムであり、参照番号 2 5 4 a、2 5 4 b は第 5 及び第 6 測定点でのスペクトラムである。

10

【0107】

図 1 1 及び図 1 2 に示されるとおり、互いに隣接する領域の測定点の間では、S E α の形態が非常に類似し、S E β の形態も非常に類似する。すなわち、測定スペクトラム（S E α 、S E β ）の形態は測定点間で同様であり、ただそれらの位置のみがシフトされる。しかしながら、互いに隣接しない領域の測定点間では、S E α 及び S E β の双方とも、形態が全く異なることが示される。この結果によれば、前記隣接する測定点間では薄膜積層構造が同一であり、測定スペクトラム（S E α 、S E β ）の形態もは非常に類似して示されることが確認できる。一方、前記パターン形成ウェーハでは、エッチング工程などにおけるウェーハ面内の均一性（u n i f o r m i t y）の悪いので、互いに隣接していない領域の測定点間では、薄膜積層構造が互いに異なり、これによって、測定スペクトラム（S E α 、S E β ）の形態が全く異なって示されることが確認できる。

20

【0108】

前記第 1 想定多層膜に対応した第 1 膜構成データを用いて前記各測定点における多層膜の各構成薄膜の厚さを測定した。続いて、前記構成薄膜の厚さの信頼度（G O F）をそれぞれ計算した。測定結果は次のようになった。

【0109】

【表 1】

	第 1 シリコン窒化膜の厚さ	シリコン酸化膜の厚さ	第 2 シリコン窒化膜の厚さ	厚さの合計	G O F
第 1 測定点	7 6 . 6 2	5 2 4 . 1 2	6 8 2 . 2 4	1 2 8 5 . 9 8	0 . 0 0 0
第 2 測定点	3 2 9 . 9 3	1 6 3 . 6 3	6 7 0 . 5 0	1 1 6 4 . 0 7	0 . 0 0 0
第 3 測定点	2 2 8 . 5 3	1 0 7 0 . 2 0	1 3 3 . 8 1	1 4 3 2 . 5 4	0 . 9 9 3
第 4 測定点	2 3 4 . 6 1	1 0 6 3 . 0 5	1 1 0 . 5 3	1 4 0 8 . 1 9	0 . 9 9 3
第 5 測定点	2 8 7 . 0 9	7 5 1 . 1 6	0	1 0 3 8 . 2 5	0 . 9 9 4
第 6 測定点	2 8 7 . 8 0	7 4 4 . 4 8	0	1 0 3 2 . 2 8	0 . 9 9 4

30

40

【0110】

前記測定結果に示されるように、第 3 ないし第 6 測定点で測定された厚さの信頼度は 0 . 9 以上であり、信頼することができる一方、第 1 及び第 2 想定点で測定された信頼度は

50

0であり、信頼することができない。また、前記第5及び第6測定点の第2シリコン窒化膜の厚さは、0と測定された。この結果、たとえば、実際の薄膜積層構造が第1想定薄膜積層構造（第1想定多層膜）から最上部膜（この場合は、第2シリコン窒化膜）のみが除去されている場合（すなわち、第2想定多層膜に対応する場合）には、前記第1膜構成データを適用しても、比較的正確に厚さを測定することができることがわかる。

【0111】

続いて、前記信頼度が許容誤差範囲から外れている第1及び第2測定点において、前記第2積層構造（第2想定多層膜）に対応する第2膜構成データを用いて厚さを測定した。続いて、前記薄膜の厚さの信頼度をそれぞれ計算した。測定結果は次の表に示されるとおりになった。

10

【0112】

【表2】

	第1シリコン窒化膜の厚さ	シリコン酸化膜の厚さ	厚さの合計	GOF
第1測定点	81.36	0.00	81.36	0.994
第2測定点	78.89	0.00	78.89	0.994

【0113】

20

続いて、前記第1ないし第6測定点で測定された厚さで前記信頼度が0.9以上の値を聚合して、結果を出力した。出力された結果は次の表のようになった。

【0114】

【表3】

	第1シリコン窒化膜の厚さ	シリコン酸化膜の厚さ	第2シリコン窒化膜の厚さ	厚さの合計	GOF
第1測定点	81.36	0.00	-	81.36	0.994
第2測定点	78.89	0.00	-	78.89	0.994
第3測定点	228.53	1070.20	133.81	1432.54	0.993
第4測定点	234.61	1063.05	110.53	1408.19	0.993
第5測定点	287.09	751.16	0	1038.25	0.994
第6測定点	287.80	744.48	0	1032.28	0.994

30

40

【0115】

上記の結果によれば、第1及び第2測定点では、第2シリコン窒化膜及びシリコン酸化膜が除去されて第1シリコン窒化膜のみが部分的に残されている構造を有し、前記第3及び第4測定点では、第1シリコン窒化膜、シリコン酸化膜及び第2シリコン窒化膜が全部残っている積層構造を有し、第5及び第6測定点は第2シリコン窒化膜が除去され、シリコン酸化膜及び第1シリコン窒化膜が残されている積層構造を有することがわかる。

【0116】

以上のように、パターン形成ウェーハの面内で、工程が均一に進行せずに、ウェーハ領

50

域別に薄膜積層構造が異なっている場合であっても、前記パターン形成ウェーハの全領域で0.9以上のGOFを有するように厚さを測定することができる。

【0117】

以上のように、本発明によれば、測定用ウェーハを使用せず、パターン形成ウェーハから直接的に非接触方式で厚さを測定することができるので、原価節減効果を奏することができる。また、前記パターン形成ウェーハの面内で工程が均一に進行せずにウェーハ領域別に多層膜の積層構造が異なっている場合であっても、前記パターン形成ウェーハの全領域で信頼性のある厚さを迅速に測定することができる。

【0118】

以上、本発明の好適な実施の形態について詳細に説明したが、本発明は、これらの場合に限定されず、本発明が属する技術分野において通常の知識を有するものであれば本発明の思想と精神を離れることなく、本発明を修正または変更できる。

【図面の簡単な説明】

【0119】

【図1】本発明の一実施に形態による分光学的楕円偏光解析法を用いた厚さ測定装置の概略図である。

【図2】本発明の一実施の形態による厚さ測定方法を示すフローチャートである。

【図3】想定多層膜の構造を示す断面図である。

【図4】想定多層膜の構造を示す断面図である。

【図5】想定多層膜の構造を示す断面図である。

【図6】想定多層膜の構造を示す断面図である。

【図7】想定多層膜の構造を示す断面図である。

【図8】パターン形成ウェーハでの厚さの測定領域を示す図である。

【図9】ショット内のOSサイトを示す図である。

【図10】測定点を示すための前記ウェーハマップである。

【図11】各測定点で測定された波長別の強度比を示す各スペクトラムである。

【図12】各測定点で測定された波長別の位相差を示す各スペクトラムである。

【符号の説明】

【0120】

10 ローディング部、

12 光源、

14 偏光器、

16 偏光分析器、

18 プリズム、

20 検出器、

30 測定部、

40 入力部、

50 第1格納部、

60 第2格納部、

70 出力部、

100 シリコン基板、

102 第1シリコン窒化膜、

104 第1シリコン酸化膜、

106 第2シリコン窒化膜、

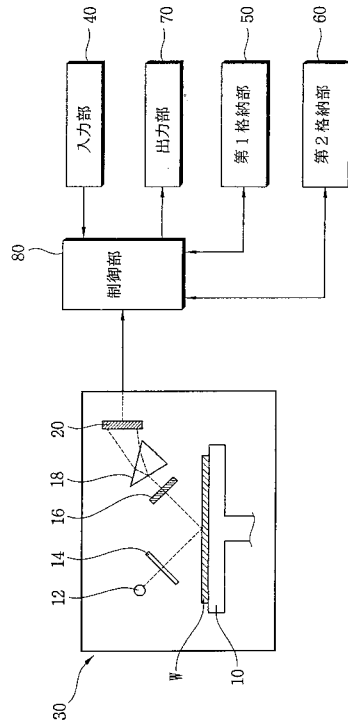
108 第2シリコン酸化膜、

110 第3シリコン窒化膜、

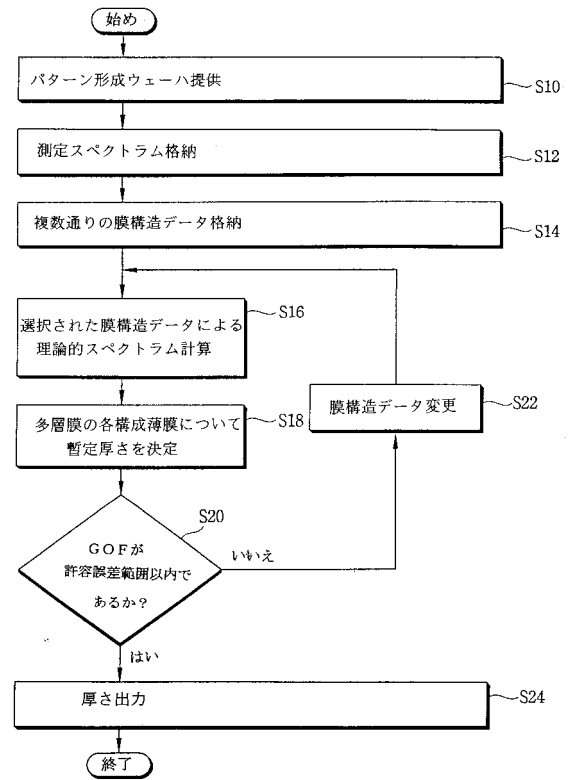
112 第3シリコン酸化膜、

114 第4シリコン窒化膜。

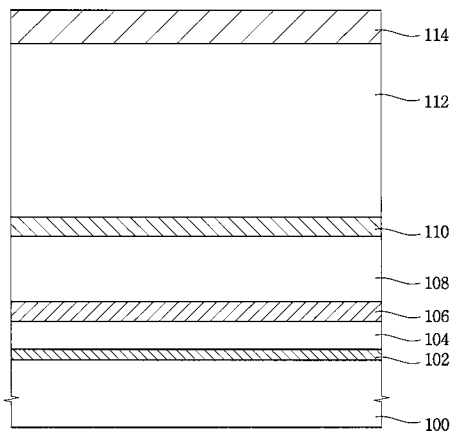
【図 1】



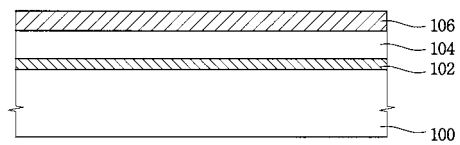
【図 2】



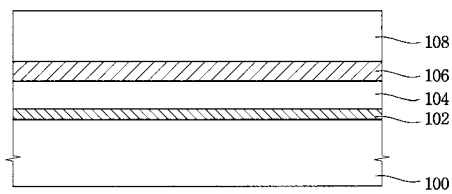
【図 3】



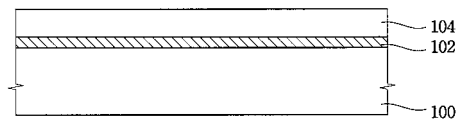
【図 5】



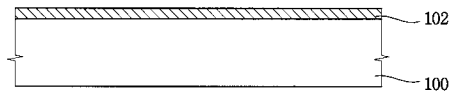
【図 4】



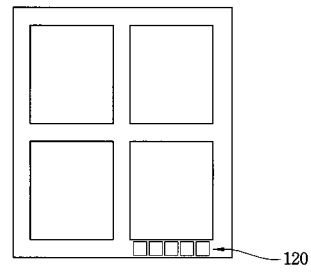
【図 6】



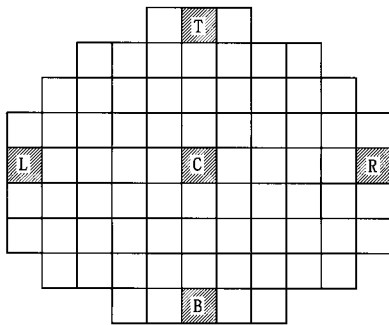
【図 7】



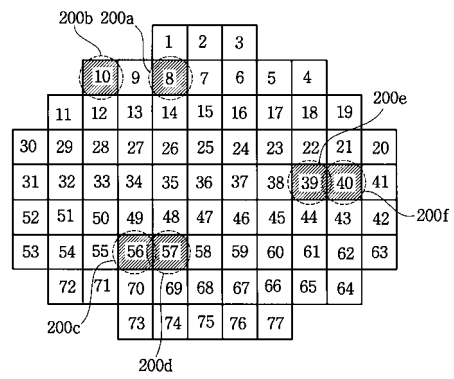
【図 9】



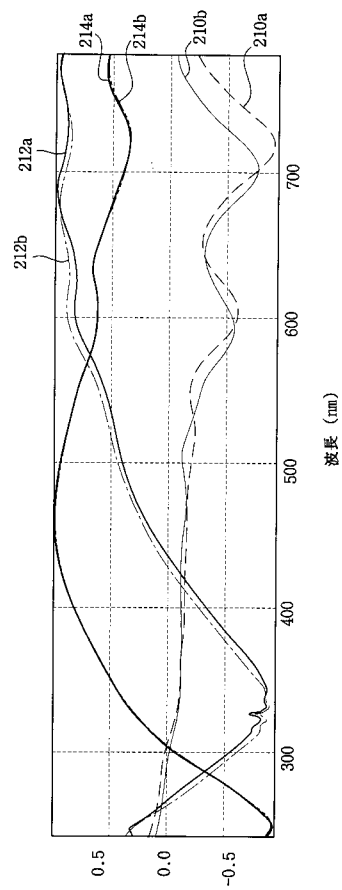
【図 8】



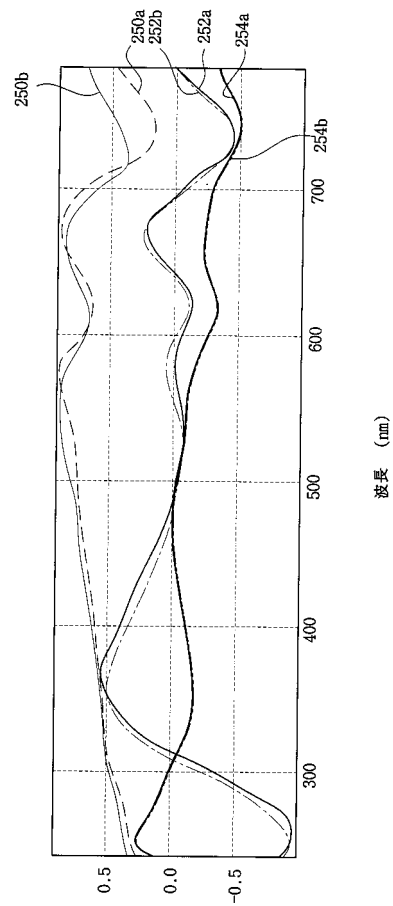
【図 10】



【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

(72)発明者 姜 善 振

大韓民国京畿道水原市八達区霊通洞 9 7 0 - 3 番地 住公アパート 9 0 4 棟 1 9 0 2 号

(72)発明者 李 相 吉

大韓民国京畿道水原市八達区霊通洞清明マウル 4 団地建栄アパート 4 2 6 棟 5 0 2 号

(72)発明者 鄭 ▲けい▼ ▲こう▼

大韓民国仁川広域市富平区富平 1 洞 7 0 - 1 2 5 番地 東亜 1 団地アパート 1 3 棟 4 0 3 号

(72)発明者 玄 弼 植

大韓民国京畿道水原市八達区霊通洞 9 5 5 - 1 番地 黄骨住公アパート 1 3 7 棟 1 8 0 4 号

F ターム(参考) 2F065 AA30 BB01 BB17 CC19 CC31 FF50 HH08 HH12 JJ08 LL32

LL46 LL67 QQ17 QQ23 TT01 TT07

4M106 AA01 AA07 AA13 AB15 AB20 BA04 CA48 DH03 DH12 DH37

DH55

【要約の続き】

【選択図】 図 2