

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7316355号
(P7316355)

(45)発行日 令和5年7月27日(2023.7.27)

(24)登録日 令和5年7月19日(2023.7.19)

(51)国際特許分類 F I
G 0 1 J 4/04 (2006.01) G 0 1 J 4/04 A
G 0 1 N 21/21 (2006.01) G 0 1 N 21/21 Z

請求項の数 21 (全30頁)

(21)出願番号	特願2021-520898(P2021-520898)	(73)特許権者	515057001 コリア リサーチ インスティトゥート オブ スタンダーズ アンド サイエンス 大韓民国 3 0 5 - 3 4 0 テジョン ユ ソン ク カジェン ロ 2 6 7 (コリア リサーチ インスティトゥート オブ ス タンダーズ アンド サイエンス ドリョ ン ドン)
(86)(22)出願日	令和1年7月3日(2019.7.3)	(74)代理人	110002664 弁理士法人相原国際知財事務所
(65)公表番号	特表2021-529328(P2021-529328 A)	(72)発明者	チョ, ヨン ジャイ 大韓民国 3 4 1 2 1 テジョン, ユソ ン-グ 5 9 0 ボン-ギル, テドク-テ ロ, 1 1 - 1 0, # 1 - 5 0 6
(43)公表日	令和3年10月28日(2021.10.28)	(72)発明者	チェガル, ウォン
(86)国際出願番号	PCT/KR2019/008147		
(87)国際公開番号	WO2020/013517		
(87)国際公開日	令和2年1月16日(2020.1.16)		
審査請求日	令和2年12月23日(2020.12.23)		
(31)優先権主張番号	10-2018-0081169		
(32)優先日	平成30年7月12日(2018.7.12)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	韓国(KR)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 垂直入射エリプソメータおよびこれを用いた試験片の光物性の測定方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

視準光学系を含み、試験片に向かって入射平行ビームを放射する光源と、
前記光源と前記試験片との間に配置され、前記入射平行ビームの一部を前記試験片の面
に対して垂直方向に向かうようにする光分割器と、
前記光分割器と前記試験片との間に配置され、予め設定された方位角で固定され、前記
入射平行ビームを予め設定された方向の線偏光成分のみ通過させる固定偏光子と、
前記固定偏光子と前記試験片との間に配置され、等速で回転して前記入射平行ビームの
偏光状態を等速回転振動数に応じて規則的に変調させる等速回転偏光子と、
前記試験片から反射した反射平行ビームの入射を受けて分光放射束の露光量を測定する
光検出素子と、
前記試験片と前記光検出素子との間に配置され、等速で回転して前記反射平行ビームの
偏光状態を等速回転振動数に応じて規則的に変調させる等速回転検光子と、
前記等速回転検光子と前記光検出素子との間に配置され、予め設定された方位角で固定
され、前記反射平行ビームの予め設定された方向の線偏光成分のみ通過させる固定検光子
と、
前記固定偏光子および前記固定検光子の方位角、前記等速回転偏光子および前記等速回
転検光子の等速回転角速度を制御し、前記光検出素子で測定された分光放射束の露光量値
を分析して前記試験片の光物性を算出する電算機器と、を含み、
前記固定偏光子および前記固定検光子が波長依存性のない一つの固定された線形偏光子

10

20

として一体になり、前記固定された線形偏光子が同時に垂直入射光ビームおよび垂直反射光ビームの偏光状態誤差を除去し、

前記等速回転偏光子および前記等速回転検光子が波長依存性のない一つの回転する等速回転線形偏光子として一体になり、前記等速回転偏光子が垂直入射光ビームおよび垂直反射光ビームの偏光状態を同時に変調することを特徴とする、垂直入射エリプソメータ。

【請求項 2】

前記垂直入射エリプソメータは、

前記光分割器、前記固定偏光子および前記固定検光子が一つの光分割線形偏光子として一体になることを特徴とする、請求項 1 に記載の垂直入射エリプソメータ。

【請求項 3】

前記光分割線形偏光子は、

ウォラストンプリズムであることを特徴とする、請求項 2 に記載の垂直入射エリプソメータ。

【請求項 4】

前記光検出素子は、

画素が線形または二次元平面構造で配列された CCD、CMOS またはフォトダイオードアレイ素子を含む分光器でそれぞれ指定された波長帯域に対する画素またはピンングされた画素から選択される少なくとも一つであることを特徴とする、請求項 1 に記載の垂直入射エリプソメータ。

【請求項 5】

前記光検出素子は、

一つの分光器であるか、または S 偏光分光器および P 偏光分光器からなる分光器セットでそれぞれ指定された波長帯域に対する画素またはピンングされた画素から選択される少なくとも一つであることを特徴とする、請求項 4 に記載の垂直入射エリプソメータ。

【請求項 6】

前記光検出素子は、

前記光源がガスレーザー、レーザーダイオードから選択される少なくとも一つである単一波長の光源装置の場合、PMT およびフォトダイオードを含む単一点光検出器として構成されることを特徴とする、請求項 1 に記載の垂直入射エリプソメータ。

【請求項 7】

前記光検出素子は、

画素が二次元平面構造で配列された CCD または CMOS を含むイメージング光検出器から選択される一つの画素であることを特徴とする、請求項 1 に記載の垂直入射エリプソメータ。

【請求項 8】

前記垂直入射エリプソメータは、

前記固定偏光子および前記固定検光子に方位角の調節のための中空軸ステッピングモータが備えられ、

前記等速回転偏光子および前記等速回転検光子の等速回転角速度の調節のための等速回転中空軸モータが備えられることを特徴とする、請求項 1 に記載の垂直入射エリプソメータ。

【請求項 9】

前記電算機器は、

前記光検出素子から測定された光の分光放射束の露光量値から分光放射束波形に対するフーリエ係数値を計算し、前記フーリエ係数値から前記試験片のミューラー行列成分値を計算し、前記ミューラー行列成分値から前記試験片の光物性値を分析および算出する演算部と、

前記固定偏光子および前記固定検光子の方位角を中空軸ステッピングモータを使用して遠隔制御し、前記等速回転偏光子および前記等速回転検光子の等速回転角速度を等速回転中空軸モータを使用して遠隔制御する制御部と、

前記分光放射束の露光量値である測定値、前記フーリエ係数値および前記ミューラー行列

10

20

30

40

50

成分値である計算値、前記試験片の光物性値である分析値を格納する記憶部と、

前記測定値、前記計算値、前記分析値を出力する出力部とを含むことを特徴とする、請求項 1 に記載の垂直入射エリプソメータ。

【請求項 10】

前記光源は、

キセノン (XENON) ランプ、タングステン (TUNGSTEN) ハロゲン (HALOGEN) ランプ、重水素 (DEUTERIUM) ランプ、レーザ駆動の光源 (LASER DRIVEN LIGHT SOURCE)、ガスレーザ、レーザダイオードから選択される少なくとも一つであるか、またはこれらから放射した光を光ファイバを通じて伝達することを特徴とする、請求項 9 に記載の垂直入射エリプソメータ。

10

【請求項 11】

前記垂直入射エリプソメータは、

光経路を外部大気と遮蔽する遮蔽用ブースと、

前記遮蔽用ブースに連結されて不活性ガスを供給するガス供給装置とを含むことを特徴とする、請求項 1 に記載の垂直入射エリプソメータ。

【請求項 12】

前記不活性ガスは、

窒素ガスまたはアルゴンガスであることを特徴とする、請求項 11 に記載の垂直入射エリプソメータ。

【請求項 13】

前記垂直入射エリプソメータは、

前記等速回転偏光子と前記試験片との間に配置され、前記試験片の局所領域に焦点が結ばれるように前記入射平行ビームを収束させる焦点光学系を含むことを特徴とする、請求項 1 に記載の垂直入射エリプソメータ。

20

【請求項 14】

前記焦点光学系は、

光帯域波長に対する色収差補正のために、少なくとも一つの鏡、少なくとも一つのレンズ、または少なくとも一つの鏡および少なくとも一つのレンズのセットから選択される一つであることを特徴とする、請求項 13 に記載の垂直入射エリプソメータ。

【請求項 15】

前記焦点光学系は、

透過または反射効率の向上のために、前記鏡または前記レンズに単一薄膜または多層薄膜がコーティングされることを特徴とする、請求項 14 に記載の垂直入射エリプソメータ。

30

【請求項 16】

前記垂直入射エリプソメータは、

複数個の前記試験片を収容および保管する試験片保管容器、前記試験片保管容器から複数個の前記試験片を予め設定された規則に従って順に一つずつ取り出して前記垂直入射エリプソメータの試験片保持具に配置し、測定完了した前記試験片を前記試験片保管容器の最初の位置に復帰させる試験片搬送装置を含む試験片搬送システムを含むことを特徴とする、請求項 1 に記載の垂直入射エリプソメータ。

40

【請求項 17】

前記垂直入射エリプソメータは、

試験片を位置合わせする光を放射する整列用レーザ、前記整列用レーザから放射する光を前記試験片に予め設定された方向に入射させる整列用光学系、前記試験片に入射されて反射した光を受光して前記試験片の位置を判別する整列用光検出器を含む試験片整列システムを含むことを特徴とする、請求項 1 に記載の垂直入射エリプソメータ。

【請求項 18】

前記垂直入射エリプソメータは、

測定環境の振動による影響を防止するために、前記垂直入射エリプソメータの下部に備えられる防振システムを含むことを特徴とする、請求項 1 に記載の垂直入射エリプソメータ。

50

タ。

【請求項 19】

前記垂直入射エリプソメータは、

温度変化による測定誤差発生を防止するために、測定環境温度を維持するか冷却する恒温装置または冷却装置を含むことを特徴とする、請求項 1 に記載の垂直入射エリプソメータ。

【請求項 20】

請求項 1 に記載の垂直入射エリプソメータを用いた試験片の光物性の測定方法であって、光物性を測定しようとする前記試験片が前記垂直入射エリプソメータの試験片保持具に装着および整列される試験片装着ステップと、

前記電算機器によって、前記固定偏光子および前記固定検光子の方位角値が選択される方位角選択ステップと、

前記電算機器によって、前記固定偏光子および前記固定検光子を設定方位角に移動させる方位角移動ステップと、

前記光検出素子によって、前記等速回転偏光子および前記等速回転検光子の方位角の変化による前記反射平行ビームの分光放射束の露光量値が測定される露光量測定ステップと、

前記電算機器によって、前記分光放射束の露光量値から分光放射束波形のフーリエ係数値が計算されるフーリエ係数計算ステップと、

前記電算機器によって、前記フーリエ係数値から前記試験片のミューラー行列成分値が計算されるミューラー行列成分計算ステップと、

前記電算機器によって、前記ミューラー行列成分値から前記試験片の光物性値が分析および算出される試験片光物性分析ステップとを含むことを特徴とする、垂直入射エリプソメータを用いた試験片の光物性の測定方法。

【請求項 21】

前記光物性は、

界面特性、薄膜厚さ、複素屈折率、ナノ形状、非等方特性、表面粗さ、組成比、結晶性から選択される少なくとも一つであることを特徴とする、請求項 20 に記載の垂直入射エリプソメータを用いた試験片の光物性の測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、垂直入射エリプソメータおよびこれを用いた試験片の光物性の測定方法に関する。より具体的には、本発明は、試験片によって反射した光の偏光状態の変化を測定および分析して試験片の光物性を測定するために使用される垂直入射エリプソメータおよびこれを用いた試験片の光物性の測定方法に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体素子、平板ディスプレイ、薄膜型太陽電池、ナノインプリント、ナノバイオ、薄膜光学などに関する様々な産業分野が急激に発展している中、薄膜の厚さはますます小さくなって、数個の原子層水準までに達しており、ナノパターンの形状は、既存の二次元構造から三次元構造に複雑化している傾向にある。これに伴い、かかる製品の製造工程ステップでナノ試験片を損傷しないように非接触式になるとともに、薄膜の厚さ、ナノパターンの形状などのナノスケールの試験片の形状および物性をより正確に分析するための工程用測定技術へのニーズがより高まっている。かかる非接触式ナノスケール測定技術のうち、エリプソメータとこれを用いた方法が、光源、光検出器、コンピュータなどの発展に伴って広く用いられている。

【0003】

入射角を基準とした時に、エリプソメータの種類は、垂直入射方式と傾斜入射方式とに分けられる。垂直入射方式は、試験片の面に垂直に（すなわち、入射角が 0 度）測定ビームを入射させた時に、試験片によって垂直に反射した光の偏光状態の変化を測定する方式

10

20

30

40

50

であり、傾斜入射方式は、測定ビームの入射角が0度～90度の範囲内で任意に選択される値を有するようにして測定する方式である。このうち、垂直入射方式は、測定装置の大きさをより小さくすることができ、試験片でより小さな面積の内部地域を測定できるように測定ビームを小さくすることができるという利点がある。米国特許登録第7355708号、米国特許登録第7889340号などの様々な特許文献やその他の様々な論文にかかる垂直入射方式のエリプソメータの基本的な構成および原理について詳細に開示されている。

【0004】

[垂直入射エリプソメータの基本構成]

光素子 回転型エリプソメータは、基本的に、光源 (Light Source ; LS)、偏光状態発生器 (Polarization State Generator ; PSG)、試験片 (Sample ; SP)、偏光状態分析器 (Polarization State Analyzer)、検出光学系 (Detection Optic System ; DOS)、光検出素子 (Photodetector Element ; PDE) を含むことができるが、各部について簡単に説明すると以下のとおりである。光源は、ランプなどから放射した光を光学系を使用して平行ビームにする役割をする。偏光状態発生器は、光源から放射した平行ビームを特定の偏光状態にする役割をする偏光光学系である。試験片は、変調した入射平行ビームの進行経路上に配置される。偏光状態分析器は、試験片から反射した反射平行ビームの進行経路上に前記反射平行ビームの偏光状態を分析するための役割をする偏光光学系である。光検出素子は、偏光状態分析器を通過した指定された波長帯域の反射平行ビームの光量を電圧または電流のような値として測定する役割をし、電算機器 (Processor) を用いて、このように測定された電圧または電流値から前記試験片の光物性値を計算して格納または画面に表示することができる。検出光学系は、偏光状態分析器 (PSA) と光検出素子 (PDE) との間の反射平行ビーム軸線上に配置されるが、反射平行ビームの偏光状態の変化を与えることができる光学素子と同じ効果を有する仮想的偏光光学系として、光分割器 (Beam Splitter) と分光器 (Spectrometer) の内部に装着されている反射鏡およびグレーチング (Grating) などが含まれ得る。

【0005】

上述のように、偏光状態発生器または偏光状態分析器は、各々の役割を果たすように複数個の回転可能偏光光素子が適切に配置される偏光光学系の形態からなる。この際、前記回転可能偏光光素子のうち少なくとも1個以上の選択される回転可能偏光光素子は、等速で回転し、前記等速回転偏光光素子以外の残りの回転可能偏光光素子は、固定偏光光素子として測定のために予め指定された方位角に移動し、測定の際に停止されていてもよい。

【0006】

かかる回転可能偏光光素子の種類や配置は、エリプソメータの種類に応じて適宜異なり得、具体的には、前記回転可能偏光光素子は、線形偏光子 (Linear Polarizer) と補償器 (Compensator) から構成され得る。また、前記線形偏光子が前記偏光状態発生器に配置された場合には偏光子 (Polarizer) と称し、前記偏光状態分析器に配置された場合には検光子 (Analyzer) と区分して称する。前記補償器の場合には、前記偏光状態発生器に配置された場合には入射軸補償器と称し、前記偏光状態分析器に配置された場合には反射軸補償器と区分して称する。

【0007】

従来の光素子 回転型エリプソメータは、入射角 (Angle of Incidence) を基準に見ると、傾斜入射方式と垂直入射方式とに分けられる。前記入射角は、試験片の面に垂直な様々な平面のうち入射平行ビームと反射平行ビームの経路を含むものを入射面 (Incident Plane) と定義し、入射面で試験片の面に垂直な軸を基準軸 (Reference Axis) としたときに、入射平行ビームまたは反射平行ビームと基準軸との内角を入射角と定義し と表記する。前記垂直入射方式は、入射角が0度である光学構造を採択した場合であり、前記傾斜入射方式は、入射角が0度ではない光学構造を採択した場合である。前記傾斜入射方式に比べて前記垂直入射方式の利点は、測定装置の大きさを小さくことができ、試験片の上に入射されるビームの面積をより小さくことができ、微細な面積内部の測定が可

10

20

30

40

50

能である。

【 0 0 0 8 】

傾斜入射または垂直入射光素子 回転型エリプソメータの原理について簡単に説明すると、以下のとおりである。傾斜入射または垂直入射光素子 回転型エリプソメータでは、光源から放射した入射平行ビームを偏光状態発生器に入射させ、入射平行ビームは、偏光状態発生器によって統制可能な特定の偏光状態に変化し、偏光状態に変調した入射平行ビームは、試験片に照射されて試験片によって偏光状態が変化し、試験片の光物性情報を有する反射平行ビームになり、反射平行ビームは、偏光状態分析器に入射されて再度統制可能な特定の偏光状態に変化し、かかる一連の変化を経た反射平行ビームを光検出素子を使用して電圧または電流のような電気的信号として測定され、電算機器によって測定された電気的信号から最終に試験片の光物性情報を得る一連の過程が行われる。

10

【 0 0 0 9 】

従来の垂直入射エリプソメータで偏光状態発生器および偏光状態分析器を具現するにあたり、一つの線形偏光子と一つの等速回転補償器だけ配置されて構成された単一補償器 回転型垂直入射エリプソメータと一つの線形偏光子と2個の等速回転補償器だけ配置されて構成された二重補償器 回転型垂直入射エリプソメータが開示される。

【 0 0 1 0 】

[従来の垂直入射エリプソメータの構成]

図1を参照すると、従来の垂直入射エリプソメータの一実施形態である単一補償器 回転型垂直入射エリプソメータ10は、光源11と、光分割器12 (Beam Splitter) と、線形偏光子13と、等速回転補償器14と、分光器15 (Spectrometer) と、電算機器16 (Processor) とを含む。

20

【 0 0 1 1 】

図1の単一補償器 回転型垂直入射エリプソメータ10を測定原理の基本構造の面で記述すると以下のとおりである。光源11から放射した入射平行ビームL10aは、光分割器12によって試験片1000の面に垂直方向に進行して(線形偏光子13に具現される)固定偏光子に入射される。固定偏光子に入射した入射平行ビームL10aは、固定偏光子と(等速回転補償器14に具現される)等速回転入射軸補償器を順に通過して入射平行ビームL10の偏光状態が変調し、試験片1000に入射されるL10b。試験片1000によって反射した反射平行ビームL10cは(やはり等速回転補償器14に具現される)等速回転反射軸補償器に入射され、等速回転反射軸補償器に入射した反射平行ビームL10cは、等速回転反射軸補償器と(やはり線形偏光子13に具現される)固定検光子を順に通過してまた偏光状態が変調し、光分割器12によって分光器15に入射されるL10d。分光器15に入射した反射平行ビームL10dは、各波長別に分光され、分光器15に内在している光検出素子によって電気的デジタル信号値に変換され、測定されたデジタル信号値は、電算機器16によって試験片1000の光物性の分析に使用される。

30

【 0 0 1 2 】

図1の実施形態において、検出光学系は、光分割器12と、分光器15に内在した反射鏡と、グレーチング (grating) などを含む。また、図1の実施形態において、線形偏光子13は、固定偏光子だけでなく、固定検光子の役割も果たし、等速回転補償器14は、等速回転入射軸補償器だけでなく、等速回転反射軸補償器の役割を同時に果たす。したがって、傾斜入射方式に比べて測定装置の大きさを小さくすることができるという利点がある。

40

【 0 0 1 3 】

線形偏光子は、主に、MgF₂、CaCO₃、SiO₂のように複屈折率 (Birefringence) 特性を有する結晶体をプリズム形態に加工組立して作られる。線形偏光子に入射した光の電場成分のうち線形偏光子の透過軸方向の成分は透過することができ、透過軸に垂直な成分は透過することができないため、透過した光は、線偏光状態になる。光活性 (Optical Activity) のないプリズム型線形偏光子の場合には、波長の種類に応じて透過した光の線形偏光状態が影響を受けず、MgF₂で作ったローション方式 (Rochon Type) の

50

線形偏光子の場合には、150～6,500nmの光帯域波長領域に対して使用することができる。

【0014】

一方、任意の偏光特性を有している光が補償器を通過する時に、補償器に入射した光の電場成分のうち速い軸（fast axis）方向に通過した成分と、これに垂直な遅い軸（slow axis）方向に通過した成分との間の位相遅延（Phase Retardation）差が90度になる、すなわち、 $\lambda/4$ 波長板の役割を果たすように作られた場合が最も理想的である。しかし、多数の波長を使用する場合には、現実的にこのように補償器を作製することが難しいという問題がある。具体的には、多数の波長に対して実時間測定が可能な補償器が内在した分光エリプソメータを作るためには、測定波長領域に適する補償器を作らなければならないが、かかる製造が難しいという問題がある。また、各波長別に補償器の位相遅延値が異なるため、測定に使用される前に、先に校正手続き（Calibration Process）により位相遅延値を探さなければならないが、かかる校正方法が非常に複雑であるため、校正手続きの過程に誤差が発生し得るという問題もある。

10

【0015】

図2を参照すると、従来の垂直入射エリプソメータの他の実施形態である二重補償器回転型垂直入射エリプソメータ20は、光源21と、光分割器22と、線形偏光子23と、第1等速回転補償器24aと、第1波長板24aw（Waveplate）と、第1等速回転中空軸モータ24amと、第2等速回転補償器24bと、第2波長板24bwと、第2等速回転中空軸モータ24bmと、分光器25と、電算機器26と、遮蔽用ブース27と、ガス供給装置28を含む。二重補償器回転型垂直入射エリプソメータ20は、単一補償器回転型垂直入射エリプソメータ10とは異なり、測定波長領域をより広く拡大するために、第2等速回転補償器24b、第1波長板24awおよび第2波長板24bwなどをさらに備える。また、遠紫外線（deep UV）の波長領域よりも小さな波長を有する光は、測定ビームの経路にある酸素と水分などによって吸収されやすいため、これを防止するために、遮蔽用ブース27で測定光学系を遮蔽し、ガス供給装置28を用いて高純度窒素または高純度アルゴンなどのガスで測定ビーム経路を満たすパージングシステム（Purging System）をさらに備える。

20

【0016】

図2の二重補償器回転型垂直入射エリプソメータ20を測定原理の基本構造の面で記述すると以下のとおりである。光源21から放射した入射平行ビームL20aは、光分割器22によって試験片1000の面に垂直方向に（線形偏光子23に具現される）固定偏光子に入射される。固定偏光子に入射した入射平行ビームL20aは、入射光軸相の固定偏光子、（第1等速回転補償器24aに具現される）第1等速回転入射軸補償器と（第2等速回転補償器24bに具現される）第2等速回転入射軸補償器を順に通過して入射平行ビームの偏光状態が変調し、試験片1000にL20bが入射される。試験片1000によって反射した反射平行ビームL20cは、反射光軸上の（やはり第2等速回転補償器24bに具現される）第1等速回転反射軸補償器、（やはり第1等速回転補償器24aに具現される）第2等速回転反射軸補償器と（やはり線形偏光子23に具現される）固定検光子を順に通過してまた反射平行ビームの偏光状態が変調し、光分割器22によって分光器25にL20dが入射される。分光器25に入射した反射平行ビームL20dは、各波長別に分光され、この反射平行ビームL20dは分光器25に内在している光検出素子によって電氣的デジタル信号値に変換され、測定されたデジタル信号値は、電算機器26によって試験片1000の光物性の分析に使用される。

30

40

【0017】

図2の実施形態において、線形偏光子23は、固定偏光子だけでなく、固定検光子の役割も果たす。また、図2の実施形態において、第1等速回転補償器24aと第1波長板24awは、第1等速回転入射軸補償器だけでなく、第2等速回転反射軸補償器の役割を果たし、図2の第2等速回転補償器24bと第2波長板24bwは、第2等速回転入射軸補償器だけでなく、第1等速回転反射軸補償器の役割を果たす。かかる構成によって、傾斜

50

入射方式よりも測定装置の大きさを小さくすることができるという利点がある。

【0018】

しかし、二重補償器 回転型垂直入射エリプソメータ20も、単一補償器 回転型垂直入射エリプソメータ10と同様、補償器と波長板の波長依存性のために発生する製造および校正の複雑性の問題を依然として内包している。

【0019】

まとめると、エリプソメータは、基本的に、偏光状態生成部 (Polarization State Generator; PSG) および偏光状態分析部 (Polarization State Analyzer; PSA) を含んでなる。従来の垂直入射エリプソメータの場合、偏光状態生成部および偏光状態分析部を具体的実現する構成として、一つの固定線形偏光子および1または2個の等速回転補償器 (compensator) を使用する。しかし、かかる補償器は、相対的位相遅延 (relative phase delay) が波長に応じて異なる値を有する波長依存性があるため、装備校正が必須になり、また、複雑な校正手続きを行う過程で誤差が発生し得るという問題がある。それだけでなく、測定の信頼性の向上のために測定波長領域をより広く拡張しようとする場合、それに適する補償器を新たに開発しなければならないという問題もある。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0020】

【文献】米国特許登録第7355708号 ("Normal incidence rotating compensator ellipsometer", 2008.04.08.)

20

米国特許登録第7889340号 ("Normal-incidence ellipsometer with complementary waveplate rotating compensators", 2011.02.15.)

【非特許文献】

【0021】

【文献】1. R.M.A. Azzam, "PIE: Perpendicular-Incidence Ellipsometry - Application to the Determination of the Optical Properties of Uniaxial and Biaxial Absorbing Crystals," Opt. Commun. 19, 122 (1976).

2. R.M.A. Azzam, "NIRSE: Normal-Incidence Rotating-Sample Ellipsometer," Opt. Commun. 20, 405 (1977).

3. Y. J. Cho, et. al., "Universal Evaluations and Expressions of Measuring Uncertainty for Rotating-Element Spectroscopic Ellipsometers," Opt. Express 23, 15481 (2015).

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0022】

したがって、本発明は、上述のような従来技術の問題点を解決するために導き出されたものであり、本発明は、波長依存性がある補償器の代わりに波長依存性がない線形偏光子を使用することで、装備校正手続きを簡素化できるようにし、且つ測定波長領域の拡張を容易に実現できるようにする、垂直入射エリプソメータおよびこれを用いた試験片の光物性の測定方法を提供することを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0023】

上述のような目的を達成するための本発明の垂直入射エリプソメータは、視準光学系を含み、試験片に向かって入射平行ビームを放射する光源と、前記光源と前記試験片との間に配置され、前記入射平行ビームの一部を前記試験片の面に対して垂直方向に向かうようにする光分割器と、前記光分割器と前記試験片との間に配置され、予め設定された方位角で固定され、前記入射平行ビームを予め設定された方向の線偏光成分のみ通過させる固定偏光子と、前記固定偏光子と前記試験片との間に配置され、等速で回転して前記入射平行ビームの偏光状態を等速回転振動数に応じて規則的に変調させる等速回転偏光子と、前記試験片から反射した反射平行ビームの入射を受けて分光放射束の露光量を測定する光検出

50

素子と、前記試験片と前記光検出素子との間に配置され、等速で回転して前記反射平行ビームの偏光状態を等速回転振動数に応じて規則的に変調させる等速回転検光子と、前記等速回転検光子と前記光検出素子との間に配置され、予め設定された方位角で固定され、前記反射平行ビームの予め設定された方向の線偏光成分のみ通過させる固定検光子と、前記固定偏光子および前記固定検光子の方位角、前記等速回転偏光子および前記等速回転検光子の等速回転角速度を制御し、前記光検出素子で測定された分光放射束の露光量値を分析して前記試験片の光物性を算出する電算機器とを含み、前記固定偏光子および前記固定検光子が一つの線形偏光子として一体になり、前記等速回転偏光子および前記等速回転検光子が一つの等速回転線形偏光子として一体になることができる。

【0024】

この際、前記垂直入射エリプソメータは、前記光分割器、前記固定偏光子および前記固定検光子が一つの光分割線形偏光子として一体になることができる。また、この際、前記光分割線形偏光子は、ウォラストンプリズム (Wollaston Prism) であってもよい。

【0025】

また、前記光検出素子は、画素が線形または二次元平面構造で配列された CCD、CMOS またはフォトダイオードアレイ素子を含む分光器でそれぞれ指定された波長帯域に対する画素またはビニングされた画素から選択される少なくとも一つであってもよい。また、この際、前記光検出素子は、一つの分光器であるか、または s 偏光分光器および p 偏光分光器からなる分光器セットでそれぞれ指定された波長帯域に対する画素またはビニングされた画素から選択される少なくとも一つであってもよい。

【0026】

または、前記光検出素子は、前記光源が単一波長の光源装置の場合、PMT およびフォトダイオードを含む単一点光検出器であってもよい。前記単一波長の光源装置は、ガスレーザー、レーザーダイオードから選択される少なくとも一つであってもよい。

【0027】

または、前記光検出素子は、指定された波長帯域の光を透過させる色フィルタ (color filters) と画素が二次元平面構造で配列された CCD または CMOS を含むイメージング光検出器から選択される一つの画素であってもよい。

【0028】

また、前記垂直入射エリプソメータは、前記固定偏光子および前記固定検光子に方位角の調節のための中空軸ステップモータが備えられ、前記等速回転偏光子および前記等速回転検光子の等速回転角速度の調節のための等速回転中空軸モータが備えられ得る。

【0029】

また、前記電算機器は、前記光検出素子から測定された光の分光放射束の露光量値から分光放射束波形に対するフーリエ係数値を計算し、前記フーリエ係数値から前記試験片のミューラー行列成分値を計算し、前記ミューラー行列成分値から前記試験片の光物性値を分析および算出する演算部と、前記固定偏光子および前記固定検光子の方位角を中空軸ステップモータを使用して遠隔制御し、前記等速回転偏光子および前記等速回転検光子の等速回転角速度を等速回転中空軸モータを使用して遠隔制御する制御部と、前記分光放射束の露光量値である測定値、前記フーリエ係数値および前記ミューラー行列成分値である計算値、前記試験片の光物性値である分析値を格納する記憶部と、前記測定値、前記計算値、前記分析値を出力する出力部とを含むことができる。

【0030】

また、前記光源は、キセノン (Xenon) ランプ、タングステン (Tungsten) ハロゲン (Halogen) ランプ、重水素 (Deuterium) ランプ、レーザー駆動の光源 (Laser Driven Light Source)、ガスレーザー、レーザーダイオードから選択される少なくとも一つであるか、またはこれらから放射した光を光ファイバを通じて伝達することができる。

【0031】

また、前記垂直入射エリプソメータは、光経路を外部大気と遮蔽する遮蔽用ブースと、前記遮蔽用ブースに連結されて不活性ガスを供給するガス供給装置とを含むことができる

10

20

30

40

50

。この際、前記不活性ガスは、窒素ガスまたはアルゴンガスであってもよい。

【0032】

また、前記垂直入射エリプソメータは、前記等速回転偏光子と前記試験片との間に配置され、前記試験片の局所領域に焦点が結ばれるように前記入射平行ビームを収束させる焦点光学系を含むことができる。この際、前記焦点光学系は、光帯域波長に対する色収差補正のために、少なくとも一つの鏡、少なくとも一つのレンズ、または少なくとも一つの鏡および少なくとも一つのレンズのセットから選択される一つであってもよい。また、この際、前記焦点光学系は、透過または反射効率の向上のために、前記鏡または前記レンズに単一薄膜または多層薄膜がコーティングされ得る。

【0033】

また、前記垂直入射エリプソメータは、複数個の前記試験片を収容および保管する試験片保管容器、前記試験片保管容器から複数個の前記試験片を予め設定された規則に従って順に一つずつ取り出して前記垂直入射エリプソメータの試験片保持具に配置し、測定完了した前記試験片を前記試験片保管容器の最初の位置に復帰させる試験片搬送装置を含む試験片搬送システムを含むことができる。

【0034】

また、前記垂直入射エリプソメータは、試験片を位置合わせする光を放射する整列用レーザー、前記整列用レーザーから放射する光を前記試験片に予め設定された方向に入射させる整列用光学系、前記試験片に入射されて反射した光を受光して前記試験片の位置を判別する整列用光検出器を含む試験片整列システムを含むことができる。

【0035】

また、前記垂直入射エリプソメータは、測定環境の振動による影響を防止するために、前記垂直入射エリプソメータの下部に備えられる防振システムを含むことができる。

【0036】

また、前記垂直入射エリプソメータは、温度変化による測定誤差発生を防止するために、測定環境温度を維持するか冷却する恒温装置または冷却装置を含むことができる。

【0037】

また、本発明の垂直入射エリプソメータを用いた試験片の光物性の測定方法は、上述のような垂直入射エリプソメータを用いた試験片の光物性の測定方法であって、光物性を測定しようとする前記試験片が前記垂直入射エリプソメータの試験片保持具に装着および整列される試験片装着ステップと、前記電算機器によって、前記固定偏光子および前記固定検光子の方位角値が選択される方位角選択ステップと、前記電算機器によって、前記固定偏光子および前記固定検光子を設定方位角に移動させる方位角移動ステップと、前記光検出素子によって、前記等速回転偏光子および前記等速回転検光子の方位角の変化による前記反射平行ビームの分光放射束の露光量値が測定される露光量測定ステップと、前記電算機器によって、前記分光放射束の露光量値から分光放射束波形のフーリエ係数値が計算されるフーリエ係数計算ステップと、前記電算機器によって、前記フーリエ係数値から前記試験片のミューラー行列成分値が計算されるミューラー行列成分計算ステップと、前記電算機器によって、前記ミューラー行列成分値から前記試験片の光物性値が分析および算出される試験片光物性分析ステップとを含むことができる。

【0038】

この際、前記光物性は、界面特性、薄膜厚さ、複素屈折率、ナノ形状、非等方特性、表面粗さ、組成比、結晶性から選択される少なくとも一つであってもよい。

【発明の効果】

【0039】

本発明によると、垂直入射エリプソメータを構成する際に、偏光状態を分析する装置として波長依存性がない線形偏光子を使用することで、従来、波長依存性がある補償器を使用することから発生した様々な問題を一度に解消するという大きな効果がある。より具体的には、本発明によると、波長依存性の排除によって装備校正手続きを簡素化できるようにする効果があり、これにより、複雑な装備校正手続きから発生する誤差の発生も大幅に

10

20

30

40

50

縮小できるという効果がある。また、従来、測定波長領域を拡張するためにはそれに適する補償器を新たに開発しなければならなかったが、本発明によると、そのような必要がないため、測定波長領域の拡張がはるかに自由であるという効果がある。また、本発明によると、測定波長領域を拡張することで、最後には、垂直入射エリプソメータの測定信頼性を向上するという効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【0040】

【図1】従来の単一補償器 回転型垂直入射エリプソメータの概略図である。

【図2】従来の二重補償器 回転型垂直入射エリプソメータの概略図である。

【図3】本発明の第1実施形態による線形偏光子 回転型垂直入射エリプソメータの概略図である。 10

【図4】本発明の第2実施形態による線形偏光子 回転型垂直入射エリプソメータの概略図である。

【図5】本発明の第3実施形態による線形偏光子 回転型垂直入射エリプソメータの概略図である。

【図6】本発明の線形偏光子 回転型垂直入射エリプソメータを用いた試験片の光物性の測定方法を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0041】

以下、上述のような構成を有する本発明による垂直入射エリプソメータおよびこれを用いた試験片の光物性の測定方法について添付の図面を参照して詳細に説明する。 20

【0042】

[本発明の垂直入射エリプソメータの基本構成]

本発明では、波長依存性がある補償器の代わりに波長依存性がない線形偏光子を使用することで、上述のような従来の問題点を解消する。本発明の垂直入射エリプソメータの様々な実施形態が図3～図5に図示されており、それぞれの実施形態については以下でより詳細に説明する。本発明の垂直入射エリプソメータは、基本的に、光源と、光分割器と、固定偏光子と、等速回転偏光子と、光検出素子と、等速回転検光子と、固定検光子と、電算機器とを含む。各部について説明すると以下のとおりである。

【0043】 30

前記光源 (Light Source) は、視準光学系 (Collimator) を含み、試験片に向かって入射平行ビーム (Incident Collimated Beam) を放射する役割をする。この際、前記光源は、キセノン (Xenon) ランプ、タングステン (Tungsten) ハロゲン (Halogen) ランプ、重水素 (Deuterium) ランプ、レーザ駆動の光源 (Laser Driven Light Source)、ガスレーザ、レーザダイオードから選択される少なくとも一つであるか、またはこれらから放射した光を光ファイバを通じて伝達するものであってもよい。

【0044】

前記光分割器 (Beam Splitter) は、前記光源と前記試験片との間に配置され、前記入射平行ビームの一部を前記試験片の面に対して垂直方向に向かうようにする役割をする。

【0045】 40

前記固定偏光子 (Fixed Polarizer) は、前記光分割器と前記試験片との間に配置され、予め設定された方位角で固定されて、前記入射平行ビームを予め設定された方向の線偏光成分のみ通過させる役割をする。この際、前記固定偏光子の方位角は、常に固定されているものではなく、前記試験片を測定しようとする時に所望の方位角に調節できるように前記固定偏光子自体は移動可能になり、この際、測定時には固定されているため、「固定」という用語が使用されるものである。この際、前記固定偏光子の方位角の調節のために、前記固定偏光子には中空軸ステッピングモータが備えられ得る。

【0046】

前記等速回転偏光子 (Constantly Rotating Polarizer) は、前記固定偏光子と前記試験片との間に配置され、等速で回転して前記入射平行ビームの偏光状態を等速回転振動数 50

に応じて規則的に変調する役割をする。この際、前記等速回転偏光子の等速回転角速度の調節のために、前記等速回転偏光子には等速回転中空軸モータが備えられ得る。

【0047】

前記光検出素子は、前記試験片から反射した反射平行ビーム (Reflected Collimated Beam) の入射を受けて分光放射束 (Spectral Radiant Flux) の露光量を測定する役割をする。この際、前記光検出素子は、画素が線形または二次元平面構造で配列された CCD、CMOS またはフォトダイオードアレイ素子を含む分光器でそれぞれ指定された波長帯域に対する画素またはビンニングされた画素から選択される少なくとも一つであってもよい。また、この際、前記光検出素子は、一つの分光器であるか、または s 偏光分光器および p 偏光分光器からなる分光器セットでそれぞれ指定された波長帯域に対する画素またはビンニングされた画素から選択される少なくとも一つであってもよい。

10

【0048】

より詳細に説明すると、前記光源が白色光を使用する場合、光を検出するための手段として分光器を使用することができるが、実質的に光を検出するものは、分光器内に備えられた光検出器アレイでの各画素または各ビンニングされた画素群になる。すなわち、分光器自体と言うよりは、各画素または各ビンニングされた画素群が一つの光検出素子の役割を果たすようになるものであると理解すれば良い。

【0049】

または、前記光検出素子は、前記光源が単一波長の光源装置の場合、PMT およびフォトダイオードを含む単一点光検出器であってもよい。前記単一波長の光源装置は、ガスレーザー、レーザーダイオードから選択される少なくとも一つであってもよい。または、前記光検出素子は、画素が二次元平面構造で配列された CCD または CMOS を含むイメージング光検出器から選択される一つの画素であってもよい。この際、前記光源が単一波長の光源装置の場合であれば、他の部品がさらに必要ではないが、前記光源が複数波長の多波長光源装置の場合であれば、前記光源および (前記 CCD または CMOS を含むイメージング光検出器の画素からなる) 前記光検出素子の間に指定された波長帯域の光を透過させる色フィルタ (color filters) がさらに備えられ得る。

20

【0050】

前記光検出素子は、外部トリガーが伝達される前には待機状態を維持し、外部トリガーが伝達されると測定を行うが、前記光検出素子が分光器の CCD、CMOS またはフォトダイオードアレイのような積分型光検出器から選択される一つの画素またはビンニングされた画素 (pixel binning) の場合、各光検出素子別に指定された積分時間の間に露光量値を出力するか臨時に格納する方式で作動し、前記光検出素子が PMT およびフォトダイオードを含む光検出器のような非積分型光検出器の場合、非常に短い積分時間の間の露光量値、すなわち、近似的に光の分光放射束の値を出力するか臨時に格納する方式で作動することができる。

30

【0051】

前記等速回転検光子 (Constantly Rotating Analyzer) は、前記試験片と前記光検出素子との間に配置され、等速で回転して前記反射平行ビームの偏光状態を等速回転振動数に応じて規則的に変調させる役割をする。ここで、前記等速回転検光子が上述の前記等速回転偏光子と役割が異なるため別の名称が使用されているが、上記でも説明したように、傾斜入射方式の場合には、実際にもそれぞれが別の部品で具現されるが、垂直入射方式の場合には、実質的には一つの部品で具現され得る (このようにすることで、傾斜入射方式よりも垂直入射方式のエリプソメータが装置をより小型化できるという点については前述した)。すなわち、本発明において、前記等速回転偏光子および前記等速回転検光子は、一つの等速回転線形偏光子として一体になる。

40

【0052】

前記固定検光子 (Fixed Analyzer) は、前記等速回転検光子と前記光検出素子との間に配置され、予め設定された方位角で固定されて、前記反射平行ビームの予め設定された方向の線偏光成分のみ通過させる役割をする。前記固定検光子も前記固定偏光子と同様、

50

前記固定検光子自体は移動可能になるが、測定時には固定されているため、「固定」という用語が使用される。また、前記等速回転偏光子 前記等速回転検光子と同様、前記固定偏光子および前記固定検光子は、一つの線形偏光子として一体になる。さらには、装置をさらに小型化および集積化できるように、前記光分割器、前記固定偏光子および前記固定検光子が一つの光分割線形偏光子として一体になるようにすることもできる。この場合、前記光分割線形偏光子は、ウォラストンプリズム (Wollaston prism) からなることができる。

【0053】

前記電算機器 (Processor) は、前記固定偏光子および前記固定検光子の方位角、前記等速回転偏光子および前記等速回転検光子の等速回転角速度を制御し、前記光検出素子で測定された分光放射束 (Spectral Radiant Flux) の露光量値を分析して前記試験片の光物性を算出する役割をする。より具体的には、前記電算機器は、様々な演算を行う演算部と、上述の様々な部品の駆動を制御する制御部と、演算に必要な値を格納する記憶部と、分析結果を出力する出力部とを含む。前記演算部は、前記光検出素子から測定された光の分光放射束 (Spectral Radiant Flux) の露光量値から分光放射束波形に対するフーリエ係数 (Fourier Coefficient) 値を計算し、前記フーリエ係数値から前記試験片のミュラー行列 (Mueller Matrix) 成分値を計算し、前記ミュラー行列成分値から前記試験片の光物性値を分析および算出することができる。前記制御部は、前記固定偏光子および前記固定検光子の方位角を中空軸ステッピングモータ (Hollow Shaft Stepping Motor) を使用して遠隔制御し、前記等速回転偏光子および前記等速回転検光子の等速回転角速度 (Angular Velocity) を等速回転中空軸モータを使用して遠隔制御することができる。前記記憶部は、前記演算部で行う演算に必要な値、すなわち、前記光検出素子から測定された露光量値 (測定値)、分光放射束波形に対するフーリエ係数値および前記試験片のミュラー行列成分値 (計算値)、前記試験片の光物性値 (分析値) を格納する。前記出力部は、モニタ、印刷装置などにより前記測定値、前記計算値、前記分析値を画面または印刷物など、ユーザが希望する形態に出力する。

【0054】

さらに、本発明の垂直入射エリプソメータは、光経路を外部大気と遮蔽する遮蔽用ブースおよび前記遮蔽用ブースに連結されて窒素ガス、アルゴンガスなどの不活性ガスを供給するガス供給装置をさらに含むことができる。このようにすることで、前述のように水分、酸素などによって特定の波長の光が吸収されるという問題を効果的に防止し、最後には、測定波長領域をスムーズに拡張することができる。

【0055】

かかる構成からなる本発明の垂直入射エリプソメータは、図1または図2に図示された従来のエリプソメータとは異なり、等速回転補償器の代わりに等速回転線形偏光子を使用している。従来のエリプソメータで使用される補償器は、前述のように波長別に補償器の位相遅延値が変化する波長依存性を有しており、これによって複雑な校正手続きを要し、かかる校正手続きを行う間に誤差が発生するという問題があった。しかし、本発明によると、補償器自体を除去し、波長依存性がない線形偏光子を代わりに使用することで、かかる校正手続き自体を大幅に簡素化することができるようにし、それによる誤差発生の問題も最初から排除できることは言うまでもない。

【0056】

具体的には、本発明の垂直入射エリプソメータで、前記線形偏光子 (前記固定偏光子および前記固定検光子の役割) は、入射平行ビーム軸線上では光源と光分割器によって発生し得る偏光状態誤差を、反射平行ビーム軸線上では光分割器と検出光学系によって発生し得る偏光状態誤差を除去する役割をする。また、前記等速回転線形偏光子 (前記等速回転偏光子および前記等速回転検光子の役割) は、入射平行ビームと反射平行ビームの偏光状態を等速回転振動数によって規則的に変調する役割をする。このように本発明の垂直入射エリプソメータでは、波長依存性がある偏光素子を使用しないため、装備校正手続きが非常に簡便で装備間のマッチングが容易であり、測定信頼度の向上のために測定波長領域

10

20

30

40

50

を光帯域に容易に拡張することができる。

【 0 0 5 7 】

[本発明の垂直入射エリプソメータの付加構成]

本発明の垂直入射エリプソメータは、測定正確性およびユーザ便宜性の向上のために、焦点光学系、試験片搬送システム、試験片整列システム、防振システム、恒温装置または冷却装置などの付加構成をさらに含むことができる。

【 0 0 5 8 】

前記垂直入射エリプソメータが半導体業界のような分野に使用される場合、試験片で測定しようとする領域の大きさが数十マイクロメータ程度に非常に小さいため、入射光が試験片の局所領域にスムーズに焦点を結ぶようにするために、前記焦点光学系が試験片の前経路に選択的に備えられ得る。すなわち、前記焦点光学系は、前記等速回転偏光子と前記試験片との間に配置され、前記試験片の局所領域に焦点が結ばれるように、前記入射平行ビームを収束する役割をする。具体的には、前記焦点光学系は、光帯域波長に対する色収差補正のために、少なくとも一つの鏡、少なくとも一つのレンズ、または少なくとも一つの鏡および少なくとも一つのレンズのセットから選択される一つからなることができる。この際、透過または反射効率の向上のために、前記鏡または前記レンズに単一薄膜または多層薄膜がコーティングされるようになることが好ましい。

10

【 0 0 5 9 】

一方、このように半導体産業の分野で前記垂直入射エリプソメータが使用される場合、多数のウェハ試験片を短い時間内に測定をすることが重要であり、そのために、前記試験片搬送システムが備えられ得る。具体的には、前記試験片搬送システムは、複数個の前記試験片を収容および保管する試験片保管容器と、前記試験片保管容器から複数個の前記試験片を予め設定された規則に従って順に一つずつ取り出し、前記垂直入射エリプソメータの試験片保持具に配置し、測定が完了した前記試験片を前記試験片保管容器の最初の位置に復帰させる試験片搬送装置とを含むことができる。この際、前記試験片保持具は、試験片の自由な整列および測定位置の変更がスムーズに行われるように、高さおよび左右の3自由度の平行移動、2自由度を有する勾配の調節および回転機能を含む6自由度システムからなることができる。

20

【 0 0 6 0 】

また、このように短い時間内に測定する過程で試験片の整列もより正確且つ迅速に行われるようにするために、前記試験片整列システムが備えられ得る。具体的には、前記試験片整列システムは、試験片を位置合わせする光を放射する整列用レーザと、前記レーザから放射する光を前記試験片に予め設定された方向に入射させる整列用光学系と、前記試験片に入射して反射した光を受光し、前記試験片の位置を判別する整列用光検出器とを含むことができる。

30

【 0 0 6 1 】

さらに、測定環境の振動による影響を防止するように、前記防振システムが前記垂直入射エリプソメータの下部に備えられ得る。また、温度の変化による測定誤差の発生を防止するように、前記光源、前記偏光素子、前記試験片、および前記光検出素子に前記恒温装置が備えられて測定環境の温度を維持するか、または前記光検出素子に前記冷却装置が備えられて冷却するようにすることが好ましい。

40

【 0 0 6 2 】

[本発明の垂直入射エリプソメータの様々な実施形態]

図3は本発明の第1実施形態による線形偏光子 回転型垂直入射エリプソメータの概略図を図示している。本発明の第1実施形態の線形偏光子 回転型垂直入射エリプソメータ100は、光源101と、光分割器102と、線形偏光子103と、中空軸ステッピングモータ103mと、等速回転線形偏光子104と、等速回転中空軸モータ104mと、光検出素子105と、電算機器106とを含む。第1実施形態において、基本構成の説明での前記線形偏光子103は、前記固定偏光子および前記固定検光子の役割をすべて果たすようになり、前記等速回転線形偏光子104は、前記等速回転偏光子および前記等速回転

50

検光子の役割をすべて果たすようになる。

【 0 0 6 3 】

さらに、第 1 実施形態の垂直入射エリプソメータ 1 0 0 は、前述のように、測定波長領域拡張のための遮蔽用ブース 1 0 7 と、ガス供給装置 1 0 8 とを含むことができ、また、試験片 1 0 0 0 の局所領域にスムーズに焦点を合わせるようにする焦点光学系 1 0 9 を含むことができる。

【 0 0 6 4 】

図 4 は本発明の第 2 実施形態による線形偏光子 回転型垂直入射エリプソメータの概略図を図示している。本発明の第 2 実施形態の線形偏光子 回転型垂直入射エリプソメータ 2 0 0 は、光源 2 0 1 と、光分割線形偏光子 2 0 3 と、等速回転線形偏光子 2 0 4 と、等速回転中空軸モータ 2 0 4 m と、光検出素子 2 0 5 と、電算機器 2 0 6 とを含む。第 2 実施形態において、前記光分割線形偏光子 2 0 3 は、基本構成の説明での前記光分割器、前記固定偏光子および前記固定検光子の役割をすべて果たすようになることで装備をさらに小型化および集積化することができる。

10

【 0 0 6 5 】

図 4 には遮蔽用ブース、ガス供給装置、焦点光学系などが図示されていないが、図 4 の第 2 実施形態（および以下で説明する図 5 の第 3 実施形態）にもかかる構成をさらに備えることが可能であることはいうまでもない。

【 0 0 6 6 】

図 5 は本発明の第 3 実施形態による線形偏光子 回転型垂直入射エリプソメータの概略図を図示している。本発明の第 3 実施形態の線形偏光子 回転型垂直入射エリプソメータ 3 0 0 は、光源 3 0 1 と、光分割器 3 0 2 と、光分割線形偏光子 3 0 3 と、等速回転線形偏光子 3 0 4 と、等速回転中空軸モータ 3 0 4 m と、s 偏光光検出素子 3 0 5 s と、p 偏光光検出素子 3 0 5 p と、電算機器 3 0 6 とを含む。第 3 実施形態において、前記 s 偏光光検出素子 3 0 5 s および前記 p 偏光光検出素子 3 0 5 p が基本構成の説明での前記光検出素子の役割を果たすようになる。一方、第 3 実施形態において、前記光分割線形偏光子 3 0 3 は、基本構成の説明での前記光分割器、前記固定偏光子および前記固定検光子の役割をすべて果たすようになる。この際、前記光分割器 3 0 2 は、図 5 から分かるように、前記光源 3 0 1 から放射する光を試験片 1 0 0 0 の方に向かう光経路を形成するためにさらに備えられるものである。

20

30

【 0 0 6 7 】

さらに、本発明の線形偏光子 回転型垂直入射エリプソメータにおいて、偏光光素子の等速回転中空軸モータによる等速回転線形偏光子の回転は、等速回転またはステップ回転から選択される一つであってもよい。

【 0 0 6 8 】

[本発明の垂直入射エリプソメータを用いた試験片の光物性測定原理]

上述のようになる本発明の垂直入射エリプソメータを用いた試験片の光物性測定原理について詳細に説明すると以下のとおりである。本発明の垂直入射エリプソメータで使用される固定偏光子、等速回転偏光子、等速回転検光子および固定検光子に対するそれぞれの方位角は、固定偏光子で線形偏光子の透過軸、等速回転偏光子で線形偏光子の透過軸、等速回転検光子で線形偏光子の透過軸、固定検光子で線形偏光子の透過軸の位置を任意に選定された基準軸の位置を基準として、それぞれ

40

P, P_r, A_r, A と記述する。

【 0 0 6 9 】

50

周期が $T(=2\pi/\omega)$ である任意の分光放射束波形関数 $I_{\text{ex}}(t)$ は、時間 T の関数として以下の式で表される。

$$I_{\text{ex}}(t) = I'_0 + \sum_{n=1}^{N_{ho}} [A'_n \cos(n\omega t) + B'_n \sin(n\omega t)] \quad (1)$$

10

【 0 0 7 0 】

ここで、分光放射束波形のフーリエ係数 (FOURIER COEFFICIENT) 成分のうち直流 (DC

) 成分 I'_0 、分光放射束波形のフーリエ係数成分のうち交流 (AC) 成分 (A'_n, B'_n)

および等速回転偏光の角速度 ω , N_{ho} は、0 ではないフーリエ係数成分のうち最も大きいインデックスの値である。

20

【 0 0 7 1 】

したがって、誤謬のない理想的な前記線形偏光子 回転型垂直入射エリプソメータにおいて時間 t である時に光検出素子によって測定される準単色波長 (Polychromatic Wave length) での分光放射束の値は、以下の一般的な波形に対する式で表すことができる。

$$I(t) = I'_0 + \sum_{n=1}^{N_{ho}} [A'_n \cos(n\omega t) + B'_n \sin(n\omega t)] \quad (2)$$

30

【 0 0 7 2 】

ここで I'_0 は、フーリエ係数の直流成分であり、 A'_n and B'_n は、フーリエ係

数の交流成分であり、 $\omega(=2\pi/T)$ は、等速で回転する等速回転線形偏光子の角速

40

度であり、 N_{ho} は、0 ではないフーリエ係数の交流成分のうち最上位のインデックスの値である。

【 0 0 7 3 】

前記線形偏光子 回転型垂直入射エリプソメータでは、光検出素子を用いて分光放射束

50

波形のフーリエ係数を正確に測定することは非常に重要である。最先端の実時間分光エリプソメータでは、高い精度の実時間測定のためにフーリエ係数のスペクトルをできるだけ速く収集することができる CCD (Charge coupled Device) または PD アレイ (Photo Diode array) を光検出器として使用している。CCD または PD アレイの各画素または各ビニング (binning) 画素群は、前記一つの光検出素子としての役割を果たしている。CCD または PD アレイの出力信号は、分光放射束だけでなく、積分時間に比例することから積分型光検出器と称する。

【 0 0 7 4 】

CCD または PD アレイのデータ測定過程は、フレーム取得とフレーム読み込み過程とに分けることができ、測定周期、すなわち、等速で回転する等速回転光素子システムでは、等速回転角速度による 1 回転当たり、すなわち、等速回転角速度に対する

10

回転周期 $T (= 2\pi/\omega)$ ごとに一つの基準パルスが発生し、 T/J の等間隔で J

個の等時間パルスが発生し得る。基準パルスは、エリプソメータで測定の開始を知らせる基準時刻であり、等時間パルスは CCD または PD アレイのデータ測定のための外部トリガーとして伝達することができる。等時間パルスが CCD または PD アレイ

20

に外部トリガーとして伝達された後、周期 T の間に CCD または PD アレイのデータ測定の詳細過程は、以下のように一連の順に行われ得る。CCD または PD アレイの各画素または各ビニング (BINNING) 画素群のうち一つの光検出素子が等時間パ

ルスを外部トリガーとして受けた後、露光を開始する前に T_d の間の時間遅延があ

30

った後、積分時間 T_i の間に入射された光の光子を光電子として貯蔵する露光量測定過程を経て、その後に測定された露光量を電気的信号に変換するためにフレーム取得過程が行われると、次の等時間パルスを受けるために待つ待機時間で構成される。

したがって、前記測定された露光量データは、以下の波形の積分で記述される。

40

$$S_j = \int_{(j-1)T/J+T_d}^{(j-1)T/J+T_d+T_i} I(t) dt, \quad (j=1, \dots, J) \quad (3)$$

【 0 0 7 5 】

式 (2) と式 (3) から測定された露光量の式は、以下のような形態で誘導される。

【 0 0 7 6 】

50

$$S_j = T_i I'_0 + \sum_{n=1}^{N_{ho}} \frac{T_i}{\xi_n} \sin \xi_n \cos \left[\frac{2n\pi(j-1)}{J} \right] \left\{ A'_n \cos \left[\xi_n \left(1 + \frac{2T_d}{T_i} \right) \right] + B'_n \sin \left[\xi_n \left(1 + \frac{2T_d}{T_i} \right) \right] \right\} \\ - \sum_{n=1}^{N_{ho}} \frac{T_i}{\xi_n} \sin \xi_n \sin \left[\frac{2n\pi(j-1)}{J} \right] \left\{ A'_n \sin \left[\xi_n \left(1 + \frac{2T_d}{T_i} \right) \right] - B'_n \cos \left[\xi_n \left(1 + \frac{2T_d}{T_i} \right) \right] \right\}. \quad (4)$$

【 0 0 7 7 】

10

ここで、 $\xi_n = n\pi T_i / T$ である。式 (4) において、周期 T 時間の間に測定さ

れた J 個の露光量セットは、式 (2) の $2N_{ho} + 1$ 個の未知のフーリエ係数で構

成された線形方程式のグループを形成するため、 $\mathbf{S} = \mathbf{E}\mathbf{X}'$ のように簡単に表記する

20

ことができる。ここで、露光量を示す $\mathbf{S} = (S_1, \dots, S_J)^T$ とフーリエ係数を表現した

$\mathbf{X}' = (I'_0, A'_1, B'_1, \dots, A'_{N_{ho}}, B'_{N_{ho}})^T$ は、列ベクトル (COLUMN VECTOR) であり、 \mathbf{E} は、

J -by- $(2N_{ho} + 1)$ の係数行列である。仮に、 J が $\{J \geq 2N_{ho} + 1, \text{ for odd } J\}$

30

と $\{J \geq 4N_{ho} + 2, \text{ for even } J\}$ の整数集合に対する和集合の元素の一つである場

合には、最小二乗法 (LEAST SQUARES ANALYSIS) を用いると、 $\mathbf{X}' = (\mathbf{E}^T \mathbf{E})^{-1} \mathbf{E}^T \mathbf{S}$ の

40

ように露光量 (\mathbf{S}) からフーリエ係数 (\mathbf{X}') を計算できる解を得ることができる。

【 0 0 7 8 】

式 (4) のように測定された露光量に対して離散フーリエ変換 (Discrete Fourier Transform) を適用すると、その結果は、前記のように最小二乗法によって得られた結果と同

50

じであるが、その表現方法は、以下のようにより簡潔であるという利点がある。

$$\langle H_n^c \rangle + i \langle H_n^s \rangle = \frac{2}{NJ} \sum_{j=1}^{NJ} S_j \exp \left[i \frac{2n\pi(j-1)}{J} \right] \quad (5)$$

【 0 0 7 9 】

ここで、 $\langle H_n^c \rangle$ と $\langle H_n^s \rangle$ 、実数値関数であり、山括弧は基準角速度の回転周期

10

ごとに 1 回の測定が行われる時に総 N 回測定して得られた測定値に対する平均値を意味する。式 (4) を式 (5) に代入し、三角関数システムの直交性を活用してまとめると、測定されたフーリエ係数の平均値は、以下のように得ることができる。

20

$$\langle I'_0 \rangle = \frac{\langle H_0^c \rangle}{2T_i} \quad (6)$$

$$\langle A'_n \rangle = C_n^c \langle H_n^c \rangle - C_n^s \langle H_n^s \rangle, \quad (n \geq 1) \quad (7)$$

$$\langle B'_n \rangle = C_n^c \langle H_n^s \rangle + C_n^s \langle H_n^c \rangle, \quad (n \geq 1) \quad (8)$$

30

$$C_n^c = \frac{\xi_n}{T_i \sin \xi_n} \cos \left[\xi_n \left(1 + \frac{2T_d}{T_i} \right) \right], \quad (n \geq 1) \quad (9)$$

$$C_n^s = \frac{\xi_n}{T_i \sin \xi_n} \sin \left[\xi_n \left(1 + \frac{2T_d}{T_i} \right) \right], \quad (n \geq 1) \quad (10)$$

40

【 0 0 8 0 】

一般的なエリプソメータの構成では、光源 (Light Source ; L S) から放射した平行ビームが偏光状態発生器 (Polarization State Generator ; P S G) を通過し、試験片によって反射してから偏光状態分析器 (Polarization State Analyzer ; P S A) を通過して光検出素子 (Photodetector Element ; P D E) に入射すると、分光放射束は、電気

50

的信号に変換される。特に、光素子 回転型分光エリプソメータで使用される回転可能な偏光光素子 (Rotatable Polarization Element) は、線形偏光子 (Linear Polarizer) と補償器 (Compensator) とに分けられ、これらは、光素子 回転型分光エリプソメータの種類に応じて偏光状態発生器と偏光状態分析器にそれぞれ別々に配置される。光素子 回転型分光エリプソメータで回転可能な偏光光素子のうち少なくとも一つの偏光光素子は、一定の各振動数で等速回転をしなければならず、それ以外の回転可能な偏光光素子は、それぞれ指定された位置に停止している。回転可能な偏光光素子の方位角は、中空軸モータによってリモートコントロールが可能であり、中空軸モータの方位角基準点、すなわち、インデックス原点 (index origin) に位置した時に回転可能な偏光光素子の特性軸がそれぞれ異なる位置にあり得る。測定が正しく行われるためには、任意に定められた基準軸から回転可能な偏光光素子の特性軸の方位角の位置をそれぞれ知るべきである。既存によく知られた校正法 (calibration) を使用すると、偏光光素子の特性軸の方位角の位置を前記基準軸座標系でそれぞれ探し出すことができる。したがって、式 (2) を基準軸座標系に対して変換すると、以下のように与えられる。

$$I(\theta_r) = I_0 + \sum_{n=1}^{N_{hc}} [A_n \cos(n\theta_r) + B_n \sin(n\theta_r)] \quad (11)$$

【 0 0 8 1 】

ここで、 θ_r は、基準軸に対して測定された等速回転角速度による方位角の変化量であり、 I_0 は、補正されたフーリエ係数の直流成分であり、 A_n と B_n は、

補正されたフーリエ係数の交流成分である。式 (11) において方位角を

$\omega t = \theta_r + \theta_{r0,n}$ と表記すると $-\theta_{r0,n}$ は、 $t = 0$ の時に、 θ_r の値になり、未補

正のおよび補正されたフーリエ係数の間の関係式は、式 (2) と式 (11) の恒等関係式から以下のように与えられる。

$$I_0 = I'_0 \quad (12)$$

$$A_n = A'_n \cos(n\theta_{r0,n}) + B'_n \sin(n\theta_{r0,n}) \quad (13)$$

$$B_n = -A'_n \sin(n\theta_{r0,n}) + B'_n \cos(n\theta_{r0,n}) \quad (14)$$

【 0 0 8 2 】

エリプソメータでデータ整理 (data reduction) 関数は、補正されたフーリエ係数から試験片の偏光エリプソメトリックパラメータを抽出するために使用するため、使用される光素子 回転型分光エリプソメータに適したデータ整理方法を探ることが非常に重要である。ストークス (Stokes) 表現によると、偏光状態発生器を通過するために入射される光波のストークスベクトルは

$$\mathbf{S}^{(LS)} = (L_0, L_1, L_2, L_3)^T \quad \text{とし、試験片のミューラー行列は} \quad \mathbf{M}^{(SP)} = (M_{jk})_{4 \times 4} \quad \text{と表記し、}$$

10

偏光状態発生器と偏光状態分析器のミューラー行列は $T_{PSG} \mathbf{M}^{(PSG)}$ と $T_{PSA} \mathbf{M}^{(PSA)}$ とそ

れぞれ表記し、ここで、 T_{PSG} と T_{PSA} は、それぞれ偏光状態発生器と偏光状態分析

器の有効透過係数であり、 $\mathbf{M}^{(DOS)} = (D_{jk})_{4 \times 4}$ は、偏光状態分析器と光検出素子との間に配置された検出光学系 (DETECTOR OPTIC SYSTEM ; DOS) のミューラー行列にあ

20

り、最後に、 $\mathbf{S}^{(PDE)} = (S_0^{(PDE)}, S_1^{(PDE)}, S_2^{(PDE)}, S_3^{(PDE)})^T$ は、光検出素子に入射される光波の

ストークスベクトルである。偏光状態発生器と偏光状態分析器に配置されている固定偏光子、等速回転偏光子、等速回転検光子、固定検光子の特性軸の方位角の位置を任

30

意の基準軸座標系でそれぞれ P, P_r, A_r, A と表記し、これらの方位角の変化を座標系回転に対するミューラー行列でそれぞれ記述する。

【 0 0 8 3 】

準単色光波に対して光検出素子に入射される光波のストークスベクトルは、以下のように記述することができる。

40

$$\mathbf{S}^{(PDE)} = T_{PSA} T_{PSG} \mathbf{M}^{(DOS)} \mathbf{M}^{(PSA)} \mathbf{M}^{(SP)} \mathbf{M}^{(PSG)} \mathbf{S}^{(LS)} \quad (15)$$

【 0 0 8 4 】

50

光検出素子の面積は A_{PDE} であり、量子効率が μ_{QE} の時に光検出素子によって測定

される分光放射束は $I(\theta_r) = \mu_{\text{QE}} A_{\text{PDE}} S_0^{(\text{PDE})}$ と与えられ、この関係式によって求められた補正されたフーリエ係数に対する解は、試験片のミュー行列成分に対する連立一次方程式の形態でそれぞれ与えられる。かかる連立一次方程式をより簡単に表現するために、

$\mathbf{V}^{(\text{SP})} = (M_{11}, \dots, M_{1v}, \dots, M_{u1}, \dots, M_{uv})^T$ のように試験片に対するミュー行列成分を有する

列ベクトルを導入した。ここで、 \mathbf{u} と \mathbf{v} は、使用された光素子 - 回転型分光エリプソメータの種類に応じて異ならせて与えられる整数である。したがって、補正されたフーリエ係数は、以下のようにスカラー積で与えられる。

$$I_0 = \gamma \sum_{j=1}^u \sum_{k=1}^v i_{0,jk} M_{jk} = \gamma \mathbf{i}_0 \cdot \mathbf{V}^{(\text{SP})} \quad (16)$$

$$A_n = \gamma \sum_{j=1}^u \sum_{k=1}^v a_{n,jk} M_{jk} = \gamma \mathbf{a}_n \cdot \mathbf{V}^{(\text{SP})} \quad (17)$$

$$B_n = \gamma \sum_{j=1}^u \sum_{k=1}^v b_{n,jk} M_{jk} = \gamma \mathbf{b}_n \cdot \mathbf{V}^{(\text{SP})} \quad (18)$$

【 0 0 8 5 】

10

20

30

40

50

ここで、
$$\mathbf{i}_0 = (\partial I_0 / \partial M_{11}, \dots, \partial I_0 / \partial M_{1v}, \dots, \partial I_0 / \partial M_{u1}, \dots, \partial I_0 / \partial M_{uv}) / \gamma, \quad \mathbf{a}_n =$$

$$(\partial A_n / \partial M_{11}, \dots, \partial A_n / \partial M_{1v}, \dots, \partial A_n / \partial M_{u1}, \dots, \partial A_n / \partial M_{uv}) / \gamma, \quad \mathbf{b}_n = (\partial B_n / \partial M_{11}, \dots,$$

$$\partial B_n / \partial M_{1v}, \dots, \partial B_n / \partial M_{u1}, \dots, \partial B_n / \partial M_{uv}) / \gamma$$
は、一般的に固定光素子の方位角だけの

10

関数であるが、仮に補償器が含まれていると、補償器の方位角と位相各 (RETARDATIO
N ANGLE) がさらに含まれた関数として行ベクトルで記述されており、 γ は、光源
の強度と偏光特性、光検出素子の有効検出面積および量子効率、DOSの偏光依存特
性、また、光素子 - 回転型分光エリプソメータで使用される光学素子の透過率状態に
関する共通因子 (COMMON FACTOR) として以下のように与えられる。

20

$$\gamma = \kappa (1 + d_{12} \cos 2A + d_{13} \sin 2A) (1 + l_1 \cos 2P + l_2 \sin 2P) \quad (19)$$

【 0 0 8 6 】

ここで、
$$K = \mu_{\text{OE}} A_{\text{PDE}} T_{\text{PSA}} T_{\text{PSG}} D_{11} L_0, \quad d_{12(13)} = D_{12(13)} / D_{11}, \quad \text{および} \quad l_{1(2)} = L_{1(2)} / L_0$$

30

である。

【 0 0 8 7 】

データ整理に使用された線形方程式の総数に応じて、前記連立一次方程式の解は、固有
の (Unique) または過剰決定された (Overdetermined) 形態で与えられる。前記デー
タ整理に関する式は、すべての形態の光素子 回転型エリプソメータへの適用が可能であ
る。

40

【 0 0 8 8 】

補正されたすべてのフーリエ係数から試験片のエリプソメトリックパラメータを得るこ
とができる一般化したデータ整理方法を紹介する。補正されたフーリエ係数の列ベクトルを

50

$\mathbf{X} = (I_0, A_1, B_1, A_2, B_2, \dots, A_{N_{ho}}, B_{N_{ho}})^T$ と表記し、前記行ベクトルを成分として構成され

た $(2N_{ho} + 1)$ -by- wv 係数行列を $\mathbf{\Omega} = \gamma(i_0, a_1, b_1, a_2, b_2, \dots, a_{N_{ho}}, b_{N_{ho}})^T$ と表記すると、

式 (16) ~ (18) は、 $\mathbf{X} = \mathbf{\Omega} \mathbf{V}^{(SP)}$ のように示すことができる。 $\mathbf{\Omega}$ の行列級

数 (MATRIX RANK) が $\mathbf{M}^{(SP)}$ での未知の行列要素の総数と同じであるかより大きい場

合には、試験片に対するミューラー行列成分に対するベクトルの解は、以下のように与えられる。

$$\mathbf{V}^{(SP)} = (\mathbf{\Omega}^T \mathbf{\Omega})^{-1} \mathbf{\Omega}^T \mathbf{X} \quad (20)$$

【0089】

したがって、光学的特性がよく知られた基準試験片を使用した測定結果または試験片なしに直線上の測定結果から各波長ごとに式 (19) で

$$\kappa, d_{12}, d_{13}, l_1, \text{および } l_2$$

の値を得ると、式 (20) を使用して補正されたフーリエ係数の値から試験片のミューラー行列の成分を直接計算することが可能である。ここで強調したいことは、前記のような方法で計算されたミューラー行列成分に対するベクトルの解は、非等方性試験片の場合にも適用可能であるということである。

【0090】

10

20

30

40

50

また、 $\kappa, d_{12}, d_{13}, l_1, \text{および } l_2$ の値を知らないとしても、

$m_{jk} = M_{jk} / M_{11}$ のように正規化したミュラー行列成分で定義される試験片の偏光計測媒介変数の測定値を得ることができる。また、等方性試験片の場合には、一般的に

$N_{sp} = -m_{12} \text{ (or } -m_{21})$ および $C_{sp} = m_{33} \text{ (or } m_{44})$ のように定義された試験片の偏光エリプソメトリックパラメータで簡単に表現され得る。

【 0 0 9 1 】

上記のように光の分光放射束を測定し、試験片に対する光学的理論式を定立し、定立した理論式に対して設定された領域に対する多数の未知の媒介変数を使用して試験片のミュラー行列成分のデータを計算し、前記データに最小二乗法などを用いて最適化を行うことで、試験片で求めようとする光物性の値を推測することができる。すなわち、ミュラー行列から他の物理的な特性を分析することができる。このように本発明の実施形態による線形偏光子 回転型垂直入射エリプソメータは、前記測定されたフーリエ係数または前記測定されたミュラー行列成分から試験片の界面特性、薄膜厚さ、複素屈折率、ナノ形状、非等方特性、表面粗さ、組成比、結晶性などの様々な物性を分析することができ、かかる分析結果を半導体素子工程用の測定装置、平板ディスプレイ工程用の測定装置、太陽光素子測定装置、薄膜光学測定装置、バイオセンサまたはガスセンサなどに活用することができる。具体的には、本発明の実施形態による線形偏光子 回転型垂直入射エリプソメータにおいてナノパターン形状測定のように分析方法が非常に複雑な場合の物性分析方法について説明すると、以下のとおりである。先に測定しようとする試験片に対するフーリエ係数またはミュラー行列成分の測定データを得て、試験片に対する光学的理論式を定立し、定立した理論式に対して設定された領域で定められた多数の未知の媒介変数の値を使用して計算されたフーリエ係数またはミュラー行列成分のデータを得て、計算されたデータに対して未知の媒介変数に対する連続関数を作り、連続関数を測定データに最小二乗法を用いて最適化することで、試験片の物性を得ることができる。かかる場合に、本発明のエリプソメータは、前記試験片に対して測定された前記フーリエ係数または前記ミュラー行列成分の測定データから前記試験片の物性を迅速に探し出すために、高性能並列コンピュータ、RCWA (rigorous coupled wave analysis) アルゴリズムベースの分析ソフトウェアおよび大容量データ記憶装置から構成された大容量高速演算システムを含むことができる。

【 0 0 9 2 】

[本発明の垂直入射エリプソメータを用いた試験片の光物性の測定方法]

図6は本発明の線形偏光子 回転型垂直入射エリプソメータを用いた試験片の光物性の測定方法を示すフローチャートであり、上述のような原理を用いた光物性の測定方法をまとめて説明する。本発明の垂直入射エリプソメータを用いた試験片の光物性の測定方法は、図6に図示されているように、試験片装着ステップS10と、方位角選択ステップS20と、方位角移動ステップS30と、露光量測定ステップS40と、フーリエ係数計算ステップS50と、ミュラー行列成分計算ステップS60と、試験片光物性分析ステップS70とを含むことができる。

【 0 0 9 3 】

10

20

30

40

50

前記試験片装着ステップ S 1 0 では、光物性を測定しようとする前記試験片が前記垂直入射エリプソメータの試験片保持具に装着および整列される。前記方位角選択ステップ S 2 0 では、前記電算機器によって、前記固定偏光子および前記固定検光子の方位角値が選択される。前記方位角移動ステップ S 3 0 では、前記電算機器によって、前記固定偏光子および前記固定検光子を設定方位角に移動させる。前記露光量測定ステップ S 4 0 では、前記光検出素子によって、前記等速回転偏光子および前記等速回転検光子の方位角の変化による前記反射平行ビームの露光量値が測定される。前記フーリエ係数計算ステップ S 5 0 では、前記電算機器によって、前記露光量値から分光放射束波形のフーリエ係数値が計算される。前記ミューラー行列成分計算ステップ S 6 0 では、前記電算機器によって、前記フーリエ係数値から前記試験片のミューラー行列成分値が計算される。前記試験片光物性分析ステップ S 7 0 では、前記電算機器によって、前記ミューラー行列成分値から前記試験片の光物性値が分析および算出される。

10

【 0 0 9 4 】

本発明は、上述の実施形態に限定されず、適用範囲が多様であることはいうまでもなく、請求の範囲で請求する本発明の要旨から逸脱することなく、当該本発明が属する分野において通常の知識を有する者であれば、誰でも様々な変形実施が可能であることはいうまでもない。

【産業上の利用可能性】

【 0 0 9 5 】

本発明によると、垂直入射エリプソメータを構成する際に、偏光状態を分析する装置として波長依存性のない線形偏光子を使用することで、従来の波長依存性のある補償器を使用することから発生した様々な問題、すなわち、複雑な装備校正手続き、これより生じる誤差発生などの問題を解消することができる。また、本発明によると、従来に比べ測定波長領域の拡張が自由であり、これによって垂直入射エリプソメータの測定信頼性を向上することができる。

20

【符号の説明】

【 0 0 9 6 】

1 0 (従来の)単一補償器 回転型垂直入射エリプソメータ

1 1 光源

1 2 光分割器

1 3 線形偏光子

1 4 等速回転補償器

1 5 分光器

1 6 電算機器

L 1 0 a 光源で放射された入射平行ビーム

L 1 0 b 試験片に入射する入射平行ビーム

L 1 0 c 試験片によって反射した反射平行ビーム

L 1 0 d 分光器に入射する反射平行ビーム

2 0 (従来の)二重補償器 回転型垂直入射エリプソメータ

2 1 光源

2 2 光分割器

2 3 線形偏光子

2 4 a 第 1 等速回転補償器

2 4 a w 第 1 波長板

2 4 a m 第 1 等速回転中空軸モータ

2 4 b 第 2 等速回転補償器

2 4 b w 第 2 波長板

2 4 b m 第 2 等速回転中空軸モータ

2 5 分光器

2 6 電算機器

30

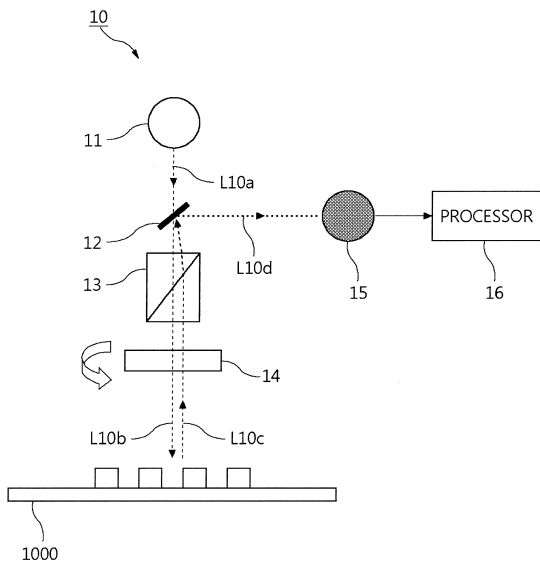
40

50

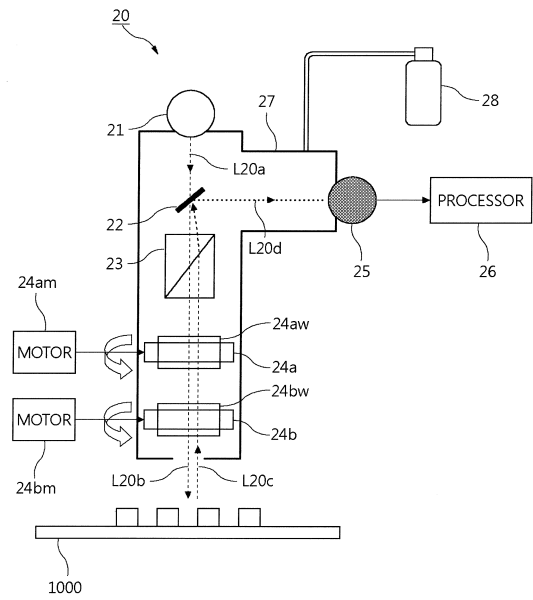
2 7	遮蔽用ブース	
2 8	ガス供給装置	
L 2 0 a	光源で放射された入射平行ビーム	
L 2 0 b	試験片に入射する入射平行ビーム	
L 2 0 c	試験片によって反射した反射平行ビーム	
L 2 0 d	分光器に入射する反射平行ビーム	
1 0 0	本発明の第 1 実施形態の線形偏光子 回転型垂直入射エリプソメータ	
1 0 1	光源	
1 0 2	光分割器	
1 0 3	線形偏光子	10
1 0 3 m	中空軸ステッピングモータ	
1 0 4	等速回転線形偏光子	
1 0 4 m	等速回転中空軸モータ	
1 0 5	光検出素子	
1 0 6	電算機器	
1 0 7	遮蔽用ブース	
1 0 8	ガス供給装置	
1 0 9	焦点光学系	
L 1 0 0 a	光源で放射された入射平行ビーム	
L 1 0 0 b	試験片に入射する入射平行ビーム	20
L 1 0 0 c	試験片によって反射した反射平行ビーム	
L 1 0 0 d	光検出素子に入射する反射平行ビーム	
2 0 0	本発明の第 2 実施形態の線形偏光子 回転型垂直入射エリプソメータ	
2 0 1	光源	
2 0 3	光分割線形偏光子	
2 0 4	等速回転線形偏光子	
2 0 4 m	等速回転中空軸モータ	
2 0 5	光検出素子	
2 0 6	電算機器	
L 2 0 0 a	光源で放射された入射平行ビーム	30
L 2 0 0 d	光検出素子に入射する反射平行ビーム	
3 0 0	本発明の第 3 実施形態の線形偏光子 回転型垂直入射エリプソメータ	
3 0 1	光源	
3 0 2	光分割器	
3 0 3	光分割線形偏光子	
3 0 4	等速回転線形偏光子	
3 0 4 m	等速回転中空軸モータ	
3 0 5 s	s 偏光光検出素子	
3 0 5 p	p 偏光光検出素子	
3 0 6	電算機器	40
L 3 0 0 a	光源で放射された入射平行ビーム	
L 3 0 0 s	s 偏光光検出素子に入射する反射平行ビーム	
L 3 0 0 p	p 偏光光検出素子に入射する反射平行ビーム	
1 0 0 0	試験片	

【図面】

【図 1】



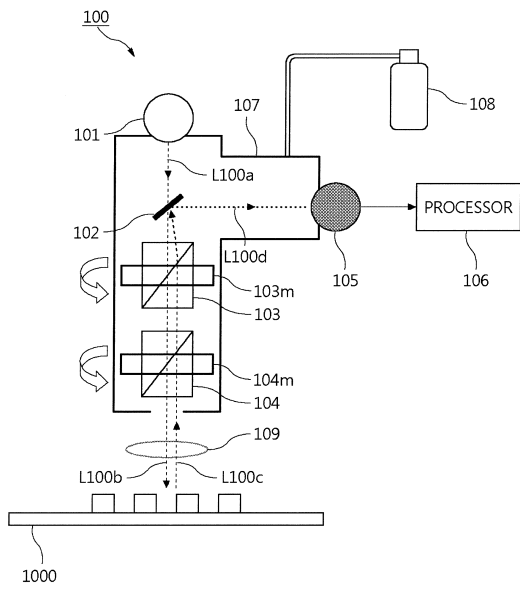
【図 2】



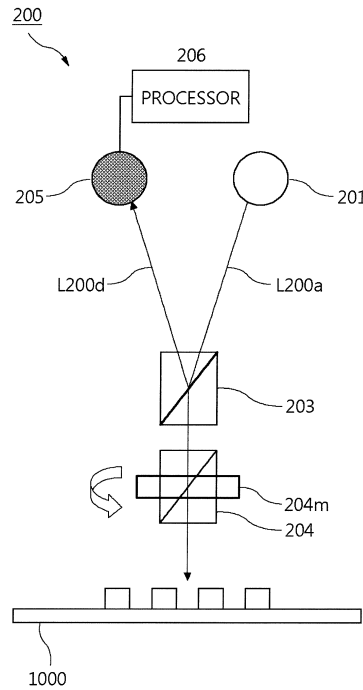
10

20

【図 3】



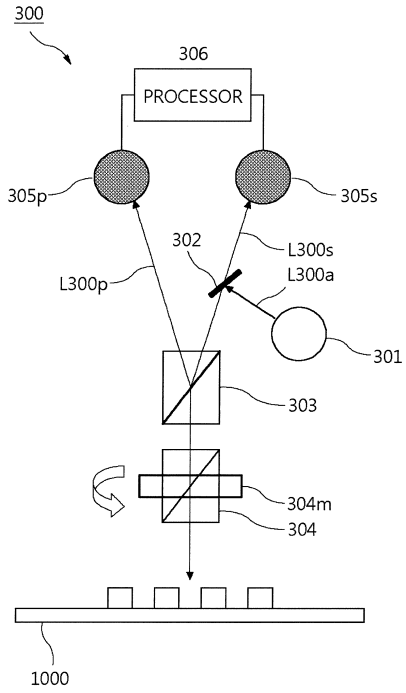
【図 4】



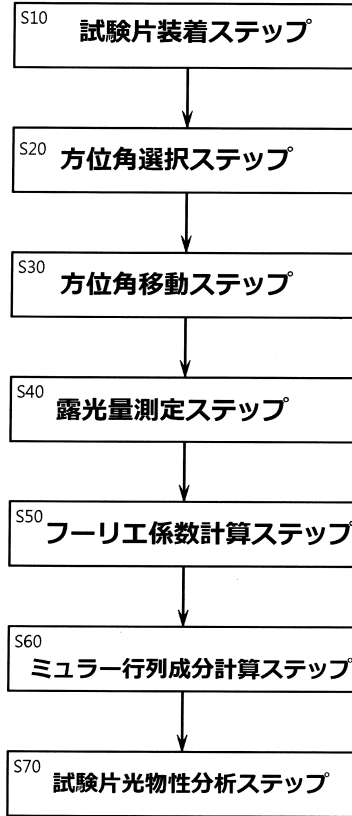
30

40

【図5】



【図6】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- 大韓民国 34022 テジョン, ユソン-グ ペウル 2-口, 24
(72)発明者 チョ, ヒュン モ
大韓民国 35228 テジョン, ソ-グ トゥンサン-口, 15, #115-1403
審査官 田中 洋介
(56)参考文献 米国特許出願公開第2018/0113069(US, A1)
米国特許出願公開第2005/0248763(US, A1)
米国特許第06753961(US, B1)
特表2010-530074(JP, A)
特許第4140737(JP, B2)
特開平10-293011(JP, A)
米国特許第07889339(US, B1)
(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01J 4/00 - 4/04
G01N 21/00 - 21/61