

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5186129号
(P5186129)

(45) 発行日 平成25年4月17日(2013.4.17)

(24) 登録日 平成25年1月25日(2013.1.25)

(51) Int.Cl.		F I			
GO 1 B	11/02	(2006.01)	GO 1 B	11/02	G
GO 1 B	11/06	(2006.01)	GO 1 B	11/06	G
HO 1 L	21/66	(2006.01)	HO 1 L	21/66	J

請求項の数 5 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2007-101307 (P2007-101307)	(73) 特許権者	000207551
(22) 出願日	平成19年4月9日(2007.4.9)		大日本スクリーン製造株式会社
(65) 公開番号	特開2008-76379 (P2008-76379A)		京都府京都市上京区堀川通寺之内上る4丁目天神北町1番地の1
(43) 公開日	平成20年4月3日(2008.4.3)	(74) 代理人	100110847
審査請求日	平成21年12月16日(2009.12.16)		弁理士 松阪 正弘
(31) 優先権主張番号	特願2006-228597 (P2006-228597)	(72) 発明者	山口 真二
(32) 優先日	平成18年8月25日(2006.8.25)		京都府京都市上京区堀川通寺之内上る4丁目天神北町1番地の1 大日本スクリーン製造株式会社内
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(72) 発明者	堀江 正浩
			京都府京都市上京区堀川通寺之内上る4丁目天神北町1番地の1 大日本スクリーン製造株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 溝パターンの深さの測定方法および測定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板に形成された溝パターンの深さの測定方法であって、
 a) 所定の方向に伸びる溝パターンが測定領域に形成された基板に開口数0.05以上0.1以下の対物レンズを介して照明光を照射する工程と、
 b) 前記基板からの前記照明光の反射光が導かれる回折格子が、前記回折格子の格子方向に対応する前記基板上の方向と前記所定の方向とのなす角が40度以上50度以下となる状態で配置されており、前記回折格子にて前記反射光を受光して分光する工程と、
 c) 前記b)工程により分光された光を検出器にて受光して前記測定領域の測定分光反射率を取得する工程と、
 d) 少なくとも前記溝パターンの深さ、前記溝パターンの底面の面積率および前記基板の表面における最上面の面積率をパラメータとして、前記溝パターンの前記底面からの光に基づいて理論的に求められる複素振幅反射係数に前記底面の面積率を乗じたものと、前記最上面からの光に基づいて理論的に求められる複素振幅反射係数に前記最上面の面積率を乗じたものとの和を前記測定領域における複素振幅反射係数とすることにより求められる理論分光反射率と、前記測定分光反射率とを比較することにより、前記パラメータの値を決定する工程と、
 を備えることを特徴とする溝パターンの深さの測定方法。

【請求項2】

請求項1に記載の溝パターンの深さの測定方法であって、

前記基板の前記測定領域に少なくとも1つの膜が形成されており、

前記d)工程において、前記パラメータに前記少なくとも1つの膜の膜厚が含まれることを特徴とする溝パターンの深さの測定方法。

【請求項3】

請求項1に記載の溝パターンの深さの測定方法であって、

e)前記基板の前記測定領域および前記溝パターンが存在しない補助領域に少なくとも1つの膜が形成されており、前記a)工程の前に、照明光を前記補助領域に照射して前記検出器にて前記補助領域の分光反射率を取得することにより、前記少なくとも1つの膜の一部または全部の膜厚を求める工程をさらに備え、

前記d)工程において、前記e)工程にて取得された前記膜厚を利用して前記理論分光反射率が求められることを特徴とする溝パターンの深さの測定方法。

10

【請求項4】

請求項3に記載の溝パターンの深さの測定方法であって、

前記e)工程において、前記少なくとも1つの膜の一部の膜厚が求められ、

前記d)工程において、前記パラメータに前記一部以外の膜の膜厚が含まれることを特徴とする溝パターンの深さの測定方法。

【請求項5】

基板に形成された溝パターンの深さの測定装置であって、

所定の方向に伸びる溝パターンが測定領域に形成された基板を保持する保持部と、

前記基板に開口数0.05以上0.1以下の対物レンズを介して照明光を照射する照射部と、

20

前記基板からの前記照明光の反射光を所定位置へと導く光学系と、

前記所定位置に配置される回折格子を有し、前記回折格子の格子方向に対応する前記基板上の方向と前記所定の方向とのなす角が40度以上50度以下となる状態とされ、前記回折格子にて前記反射光を受光して分光する分光器と、

前記分光器により分光された光を受光して前記測定領域の測定分光反射率を取得する検出器と、

少なくとも前記溝パターンの深さ、前記溝パターンの底面の面積率および前記基板の表面における最上面の面積率をパラメータとして、前記溝パターンの前記底面からの光に基づいて理論的に求められる複素振幅反射係数に前記底面の面積率を乗じたものと、前記最上面からの光に基づいて理論的に求められる複素振幅反射係数に前記最上面の面積率を乗じたものととの和を前記測定領域における複素振幅反射係数とすることにより求められる理論分光反射率と、前記測定分光反射率とを比較することにより、前記パラメータの値を決定する演算部と、

30

を備えることを特徴とする溝パターンの深さの測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、基板に形成された溝パターンの深さを測定する技術に関する。

【背景技術】

40

【0002】

従来より、基板上に形成された溝(トレンチとも呼ばれる。)のパターン(例えば、一方向に伸びる複数の溝の集合)の深さを分光干渉法にて非破壊で測定する手法が提案されており、例えば特許文献1では、溝を有する基板に光を照射しつつ基板からの反射光を分光して分光スペクトルを取得し、基板の最上面と溝の底面との間の光路差に起因する分光スペクトル中のピークの周期を最大エントロピー法を用いて特定することにより、溝深さを測定する手法が開示されている。また、特許文献2では、基板上の膜のエッチングにより形成されたエッチング溝の深さを測定する際に、まず、基板上の元の厚さの膜に対して得られるスペクトルと、当該元の厚さよりも薄い膜が基板上に形成されていると仮定した場合のスペクトルの理論値とが取得される。この薄い膜は、エッチング溝の底面に対応し

50

ており（すなわち、元の厚さの膜の膜厚と薄い膜の膜厚との差が溝の深さとなる。））、元の厚さの膜のスペクトルと薄い膜のスペクトルとを設計上のエッチング溝の面積比に応じた混合比にて混合することにより、複数の深さのエッチング溝にそれぞれ対応する複数の混合スペクトルが取得される。そして、基板から得られる実際のスペクトルを複数の混合スペクトルと比較することにより、エッチング溝の深さが求められる。

【特許文献 1】特公平 6 - 6 5 9 6 3 号公報

【特許文献 2】特許第 3 7 4 0 0 7 9 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 3 】

ところで、分光反射率を取得する際には、回折格子を有する分光器がよく用いられるが、回折格子では、光の入射強度と反射強度との比である回折効率が、当該光の波長によっては p 偏光光と s 偏光光とで大きく異なることが知られている。一方、基板上に形成された溝パターンの深さの測定では、各種条件によっては、溝パターンの影響により基板からの反射光の振動方向が限定されてしまう（すなわち、基板からの反射光が偏光光となる。）。したがって、回折格子に入射する反射光の振動方向によっては、基板からの反射光に基づいて分光反射率を正確に求めることができず、溝パターンの深さを精度よく求めることができない場合がある。

【 0 0 0 4 】

また、単層膜や多層膜を有する基板の溝パターンの深さを測定する際に、基板の反射光から取得される測定分光反射率と、演算により求められる理論分光反射率とを比較する場合には、測定分光反射率は膜の影響を受けているため、理論分光反射率においても膜の影響が考慮される必要がある。しかしながら、基板上の膜が極めて薄い（例えば、膜厚 10 ナノメートル）場合に、当該膜の膜厚もパラメータとする理論分光反射率と測定分光反射率とを比較して膜の膜厚および溝パターンの深さを求めようとしても、これらのパラメータの値を精度よく決定できないことがある。基板上に多層膜が形成されている場合も同様である。

【 0 0 0 5 】

本発明は上記課題に鑑みなされたものであり、溝パターンの深さを精度よく求めることを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 6 】

請求項 1 に記載の発明は、基板に形成された溝パターンの深さの測定方法であって、 a) 所定の方向に伸びる溝パターンが測定領域に形成された基板に開口数 0 . 0 5 以上 0 . 1 以下の対物レンズを介して照明光を照射する工程と、 b) 前記基板からの前記照明光の反射光が導かれる回折格子が、前記回折格子の格子方向に対応する前記基板上的方向と前記所定の方向とのなす角が 4 0 度以上 5 0 度以下となる状態で配置されており、前記回折格子にて前記反射光を受光して分光する工程と、 c) 前記 b) 工程により分光された光を検出器にて受光して前記測定領域の測定分光反射率を取得する工程と、 d) 少なくとも前記溝パターンの深さ、前記溝パターンの底面の面積率および前記基板の表面における最上面の面積率をパラメータとして、前記溝パターンの前記底面からの光に基づいて理論的に求められる複素振幅反射係数に前記底面の面積率を乗じたものと、前記最上面からの光に基づいて理論的に求められる複素振幅反射係数に前記最上面の面積率を乗じたものととの和を前記測定領域における複素振幅反射係数とすることにより求められる理論分光反射率と、前記測定分光反射率とを比較することにより、前記パラメータの値を決定する工程とを備える。

【 0 0 0 7 】

請求項 2 に記載の発明は、請求項 1 に記載の溝パターンの深さの測定方法であって、前記基板の前記測定領域に少なくとも 1 つの膜が形成されており、前記 d) 工程において、前記パラメータに前記少なくとも 1 つの膜の膜厚が含まれる。

10

20

30

40

50

【0008】

請求項3に記載の発明は、請求項1に記載の溝パターンの深さの測定方法であって、e)前記基板の前記測定領域および前記溝パターンが存在しない補助領域に少なくとも1つの膜が形成されており、前記a)工程の前に、照明光を前記補助領域に照射して前記検出器にて前記補助領域の分光反射率を取得することにより、前記少なくとも1つの膜の一部または全部の膜厚を求める工程をさらに備え、前記d)工程において、前記e)工程にて取得された前記膜厚を利用して前記理論分光反射率が求められる。

【0009】

請求項4に記載の発明は、請求項3に記載の溝パターンの深さの測定方法であって、前記e)工程において、前記少なくとも1つの膜の一部の膜厚が求められ、前記d)工程において、前記パラメータに前記一部以外の膜の膜厚が含まれる。

10

【0010】

請求項5に記載の発明は、基板に形成された溝パターンの深さの測定装置であって、所定の方向に伸びる溝パターンが測定領域に形成された基板を保持する保持部と、前記基板に開口数0.05以上0.1以下の対物レンズを介して照明光を照射する光照射部と、前記基板からの前記照明光の反射光を所定位置へと導く光学系と、前記所定位置に配置される回折格子を有し、前記回折格子の格子方向に対応する前記基板上の方向と前記所定の方向とのなす角が40度以上50度以下となる状態とされ、前記回折格子にて前記反射光を受光して分光する分光器と、前記分光器により分光された光を受光して前記測定領域の測定分光反射率を取得する検出器と、少なくとも前記溝パターンの深さ、前記溝パターンの底面の面積率および前記基板の表面における最上面の面積率をパラメータとして、前記溝パターンの前記底面からの光に基づいて理論的に求められる複素振幅反射係数に前記底面の面積率を乗じたものと、前記最上面からの光に基づいて理論的に求められる複素振幅反射係数に前記最上面の面積率を乗じたものとを前記測定領域における複素振幅反射係数とすることにより求められる理論分光反射率と、前記測定分光反射率とを比較することにより、前記パラメータの値を決定する演算部とを備える。

20

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、溝パターンの深さを精度よく求めることができる。

【0012】

また、照明光の溝パターンの底面への照射を確実に行うことができ、溝パターンの側面からの反射光の影響を無視して、溝パターンの深さ並びに底面の面積率および最上面の面積率を容易に取得することができる。請求項2の発明では、基板に形成された膜を考慮しつつ溝パターンの深さを精度よく求めることができる。

30

【0013】

また、請求項3および4の発明では、少なくとも1つの膜を有する基板において、溝パターンが存在しない領域にて膜厚を求めることにより、溝パターンの深さをより精度よく求めることができ、請求項4の発明では、膜厚測定にて求められなかった膜の膜厚も精度よく求めることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

40

【0014】

図1は、本発明の一の実施の形態に係るトレンチ形状測定装置1の構成を示す図である。トレンチ形状測定装置1は、半導体の基板9上に形成された溝パターン(すなわち、トレンチパターン)の深さ等の溝パターンの形状に係る情報を取得するためのものである。実際には、トレンチ形状測定装置1では、溝パターンの形状に係る情報を取得するために、基板9に形成される膜の膜厚も測定される。また、本実施の形態では、基板9の溝パターンは、一方向に伸びる複数の溝の集合(すなわち、回折格子形状のパターン)となっている。

【0015】

トレンチ形状測定装置1は、溝パターンが形成された円板状の基板9を保持する保持部

50

21、保持部21を上下方向を向く軸を中心として回転する回転機構22、回転機構22を介して保持部21を水平方向であるX方向およびY方向に移動する保持部移動機構23、照明光を出射する光照射部3、光照射部3からの照明光を基板9に導くとともに基板9からの反射光が入射する光学系4、光学系4により導かれる反射光を受光して分光する分光器5、分光器5により分光された光を受光して分光反射率を取得する検出器6、並びに、各種演算を行う演算部71を有するとともにトレンチ形状測定装置1の全体制御を担う制御部7を備える。保持部移動機構23は、図示省略のX方向移動機構およびY方向移動機構を備え、各移動機構にはモータ、ボールネジおよびガイドレールの組合せが設けられる。

【0016】

光照射部3は、電源31に接続された光源32を有し、光源32から照明光（白色光）が出射される。光源32からの照明光は光学系4のレンズ41、42を介してハーフミラー43へと導かれ、基板9側へと反射された照明光は対物レンズ44を介して基板9上に照射される。このとき、対物レンズ44の開口数（NA）は0.05以上0.1以下とされており、基板9に対してほぼ垂直に、かつ、平行光に近い状態にて照明光が照射される。

【0017】

基板9からの照明光の反射光は対物レンズ44により取り込まれ、ハーフミラー43およびレンズ45を介して分光器5へと入射する。分光器5は、ピンホール511を有する開口板51を備え、ピンホール511を通過した反射光は一方向に伸びる多数の溝（図1中では平行斜線を付して溝の領域を示しており、以下、溝が伸びる方向を「格子方向」という。なお、図1では回折格子52の溝の個数を実際のものよりも大幅に少なく描いている。）が表面に形成された回折格子52に照射される。このとき、仮に、基板9の主面上にてY方向に振動方向を有する直線偏光光を基板9の位置から出射した場合に、当該直線偏光光は回折格子52の格子方向に対して平行または垂直となるように回折格子52に入射する。言い換えれば、回折格子52の格子方向に対応する基板9上の方向が、Y方向に平行または垂直となるように、回折格子52が配置されている。回折格子52では、ピンホール511を通過した反射光が受光されて分光され、分光された光は、検出器6の受光面上において波長毎に異なる位置へと導かれる。なお、図1では、分光器5内の詳細な構成要素の図示を省略している。

【0018】

検出器6の受光面には複数の受光素子が一列に並べられており、所定の波長帯（以下、「測定波長帯」という。）に含まれる各波長の光が対応する受光素子にて受光され、その光の強度が取得される。トレンチ形状測定装置1では、保持部21にミラーを載置して照明光を照射し、当該ミラーからの反射光が分光器5を介して検出器6の各受光素子に照射される際の光の強度が予め取得されており、各受光素子にて基板9から取得される光の強度と、ミラーを用いて取得される光の強度との比が（相対）反射率として取得される。これにより、測定波長帯に含まれる複数の波長にそれぞれ対応する複数の反射率の集合が分光反射率として取得される。以下の説明では、検出器6にて取得される分光反射率を測定分光反射率という。なお、基板9から取得される光の強度と、ミラーを用いて取得される光の強度との比を求める演算は、検出器6の外部にて実現されてもよい。

【0019】

次に、トレンチ形状測定装置1が溝パターンの形状の測定を行う動作の流れについて図2を参照しつつ説明する。溝パターン形状の測定を行う際には、まず、外部の搬送装置によりトレンチ形状測定装置1内に測定対象の基板9が搬送され、保持部21上に載置されて保持される（ステップS10）。このとき、基板9上の所定の測定領域93内では、溝パターンが基板9に形成された基準部位（すなわち、基板9の方向を定める部位であり、例えば、ノッチやオリエンテーション・フラット等）に対して予め定められた方向に伸びるように形成されており、トレンチ形状測定装置1では、保持部21に設けられる位置決めピンを基準部位に当接させることにより基板9が所定の方向に向くようにして保持され

10

20

30

40

50

る。これにより、保持部 2 1 上の基板 9 の測定領域 9 3 内の溝パターンの向きが Y 方向に対して 45 度 ± 5 度 (40 度 ~ 50 度) の範囲内のいずれかの角度、好ましくは 45 度だけ傾いた状態とされる。換言すれば、回折格子 5 2 の格子方向に対応する基板 9 上の方向と溝パターンの伸びる方向とのなす角が 40 度以上 50 度以下、好ましくは 45 度となる状態とされる。以下の説明では、溝パターンが伸びる方向を溝方向とも呼ぶ。

【0020】

続いて、溝パターンの形状に係る情報 (溝パターンの深さ等を含む情報であり、以下、「溝パターン情報」という。) の取得の前に基板 9 上に形成された膜の膜厚を補助的に測定する処理 (以下、「補助膜厚測定」という。) を行うか否かが確認される (ステップ S 1 1)。補助膜厚測定の要否は基板 9 の膜構造に応じて決定され、例えば、基板 9 上に極めて薄い単層膜や、多層膜が形成されている場合には、溝パターン情報の測定精度を向上するために、補助膜厚測定が行われる。ここでは、基板 9 上に極めて薄い単層膜が形成されており、補助膜厚測定が行われるものとする (ステップ S 1 2)。

10

【0021】

図 3 は、補助膜厚測定の処理の流れを示す図である。また、図 4 は、溝方向に垂直な基板 9 の断面を示す図である。なお、図 4 では、基板 9 の断面の平行斜線の図示を省略している (後述の図 5 において同様)。

【0022】

図 4 に示すように、基板 9 の表面には酸化シリコン (SiO_2) の薄い膜 9 1 (例えば、膜厚 10 ナノメートルの膜であり、図 4 では膜 9 1 を実際よりも厚く図示している。後述の図 5 において同様。) が形成されており、溝方向に垂直な方向に一定ピッチ P 1 にて並ぶ複数の溝 9 2 は膜 9 1 およびシリコン (Si) にて形成される基板 9 の本体 9 0 がエッチングされることにより形成される。実際には、基板 9 の主面上には、溝パターンが形成され、測定の対象となる測定領域 9 3 の他に、溝パターンが存在しない領域 (いわゆる、ベタ領域であり、溝パターン形状の測定を補助するための情報が取得される領域であるため、以下、「補助領域」という。) 9 4 が形成されており、補助膜厚測定では、保持部移動機構 2 3 により基板 9 上の照明光の照射位置に補助領域 9 4 が配置された後、光照射部 3 から照明光が出射されて補助領域 9 4 に照射される (ステップ S 1 2 1)。補助領域 9 4 からの反射光は光学系 4 により分光器 5 に導かれて分光され (ステップ S 1 2 2)、検出器 6 にて受光されて補助領域 9 4 の測定分光反射率が取得される (ステップ S 1 2 3)。

20

30

【0023】

一方、トレンチ形状測定装置 1 では、補助膜厚測定にて利用される理論分光反射率が予め求められて準備されている。ここで、補助膜厚測定における理論分光反射率について述べる。理論分光反射率を求める際には、まず、膜 9 1 がある膜厚 d であると仮定して、膜 9 1 の屈折率を N 、膜 9 1 への光 (照明光) の入射角を θ 、光の波長を λ 、空気 9 9 と膜 9 1 との界面における振幅反射係数を r_{01} 、膜 9 1 と基板 9 の本体 9 0 との界面における振幅反射係数を r_{12} として、数 1 に各値を代入することにより、当該波長 λ の光に対する反射率 R が求められる。なお、本実施の形態では、膜 9 1 への光の入射角 θ を 0 度としている (後述の数 3 および数 4 において同様)。

40

【0024】

【数 1】

$$R = |r|^2 = \left| \frac{r_{01} + r_{12} \exp(-i2\beta)}{1 + r_{01} r_{12} \exp(-i2\beta)} \right|^2$$

ただし、 $\beta = 2\pi d N \cos \theta / \lambda$

50

【 0 0 2 5 】

実際には、測定波長帯に含まれる複数の波長のそれぞれに対して反射率 R が求められ、複数の波長における複数の反射率 R の集合が理論分光反射率として取得される。トレンチ形状測定装置 1 では、膜 9 1 の想定される膜厚を変更しつつ上記演算が繰り返されることにより、複数の膜厚に対する複数の理論分光反射率が取得される。

【 0 0 2 6 】

ステップ S 1 2 3 にて取得された補助領域 9 4 の測定分光反射率は複数の理論分光反射率と比較され、これらの理論分光反射率から測定分光反射率に近似するものが特定されて膜 9 1 の膜厚が求められる (ステップ S 1 2 4)。具体的には、ある波長において理論分光反射率が示す反射率を R_c 、測定分光反射率が示す反射率を R_m として、類似度 E_{rr} が数 2 により求められる。なお、数 2 において $mean(A)$ は、測定波長帯に含まれる複数の波長に対して得られる複数の A の平均値を示す。

10

【 0 0 2 7 】

【 数 2 】

$$E_{rr} = \text{mean}((R_c - R_m)^2)$$

【 0 0 2 8 】

トレンチ形状測定装置 1 では、類似度 E_{rr} が最小となる理論分光反射率が特定され、当該理論分光反射率における膜厚が、基板 9 の補助領域 9 4 における膜 9 1 の膜厚とされる。なお、類似度 E_{rr} が所定値以下となる場合等、必要に応じてガウス・ニュートン法やレーベンバーグ・マーカート法等の非線形最適化手法が用いられ、類似度 E_{rr} を収束させつつ類似度 E_{rr} が所定値よりも大きくなる理論分光反射率が取得されて膜 9 1 の膜厚が求められてもよい。

20

【 0 0 2 9 】

以上のようにして、基板 9 の膜 9 1 の膜厚が求められると、溝パターン情報を取得する際の理論分光反射率 (補助膜厚測定における理論分光反射率とは異なる。) の演算におけるパラメータの設定 (いわゆる、測定レシピの生成) が行われる (図 2 : ステップ S 1 3)。具体的には、溝パターンの深さ (すなわち、溝 9 2 の深さ)、測定領域 9 3 における複数の溝 9 2 の底面 9 2 1 の集合の面積率、および、複数の最上面 (すなわち、補助領域 9 4 の表面と同じ高さの面) 9 3 1 の集合の面積率のそれぞれがパラメータとされ、各パラメータの初期値および複数の変動値 (すなわち、初期値との差) が演算部 7 1 に設定されるとともに、ステップ S 1 2 にて求められた膜 9 1 の膜厚も設定される。なお、各パラメータに対して複数の値を設定することにより、後述の類似度の算出において類似度が局所解に陥ることが抑制される。以下、複数の底面 9 2 1 の集合の面積率および複数の最上面 9 3 1 の集合の面積率を、それぞれ、単に底面 9 2 1 の面積率および最上面 9 3 1 の面積率と呼ぶ。

30

【 0 0 3 0 】

続いて、溝パターン情報の取得時における理論分光反射率が求められる (ステップ S 1 4)。具体的には、膜 9 1 の膜厚の設定された値を d 、膜 9 1 の屈折率を N 、膜 9 1 への光 (照明光) の入射角を θ 、光の波長を λ 、空気 9 9 と膜 9 1 との界面における振幅反射係数を r_{01} 、膜 9 1 と基板 9 の本体 9 0 との界面における振幅反射係数を r_{12} として、数 3 に各値を代入することにより、当該波長の光に対する最上面 9 3 1 の複素振幅反射係数 r_I が求められる。

40

【 0 0 3 1 】

【数3】

$$r_I = \frac{r_{01} + r_{12} \exp(-i2\beta)}{1 + r_{01} r_{12} \exp(-i2\beta)}$$

ただし、 $\beta = 2\pi d N \cos \theta / \lambda$

【0032】

また、底面921に関して、図5中にて平行斜線を付して示すように溝92が、溝92の深さの初期値に等しい膜厚 t の空気の膜99aであるものと捉えて、膜99aの屈折率を N 、膜99aへの光(照明光)の入射角を θ 、光の波長を λ 、空気99と膜99aとの界面における振幅反射係数を r_{01} 、膜99aと基板9の本体90との界面における振幅反射係数を r_{12} として、数4に各値を代入することにより、当該波長の光に対する底面921の複素振幅反射係数 r_{II} が求められる。実際には、数4中の屈折率 N は1、空気99と膜99aとの界面における振幅反射係数 r_{01} は0とされる。

10

【0033】

【数4】

$$r_{II} = \frac{r_{01} + r_{12} \exp(-i2\beta)}{1 + r_{01} r_{12} \exp(-i2\beta)}$$

20

ただし、 $\beta = 2\pi t N \cos \theta / \lambda$

【0034】

ここで、図6中に平行斜線を付してそれぞれ示す領域 $V1$ 、 $V2$ からの光は、符号81、82をそれぞれ付す矢印にて抽象的に示すように、光路差が生じて干渉する。したがって、領域 $V1$ 、 $V2$ の全体におけるある波長の光に対する複素振幅反射係数 r_V は、領域 $V1$ 、 $V2$ の面積率をそれぞれ A_{V1} 、 A_{V2} とし、領域 $V1$ 、 $V2$ における当該波長の光に対する複素振幅反射係数をそれぞれ r_{V1} 、 r_{V2} として、数5により求められる。

【0035】

【数5】

$$r_V = r_{V1} \times A_{V1} + r_{V2} \times A_{V2}$$

30

【0036】

実際には、図4中の右側の測定領域93では、最上面931および底面921に加えて、溝92の傾斜した側面922も存在するため、基板9に垂直な方向から側面922を見た場合における側面922の領域を側面領域として、測定領域93における最上面931の面積率、並びに、溝92の底面921の面積率、および、側面領域の面積率(正確には、測定領域93における複数の最上面931の集合の面積率、並びに、複数の溝92の底面921の集合の面積率、および、複数の溝92の側面領域の集合の面積率)をそれぞれ A_I 、 A_{II} 、 A_{III} (ただし、これらの面積率の和は1となる。)とし、ある波長の光に対する最上面931の複素振幅反射係数、並びに、溝92の底面921の複素振幅反射係数、および、側面領域の複素振幅反射係数をそれぞれ r_I 、 r_{II} 、 r_{III} とすると、測定領域93における当該波長の光に対する複素振幅反射係数 r_{sample} は、数6にて表される。

40

【0037】

【数6】

$$r_{sample} = r_I \times A_I + r_{II} \times A_{II} + r_{III} \times A_{III}$$

【0038】

50

本実施の形態では、後述するように、開口数が小さい対物レンズ 4 4 を介して照明光が基板 9 に照射され、基板 9 からの反射光も対物レンズ 4 4 を介して光学系 4 内に取り込まれるため、側面 9 2 2 にて反射した光は無視することができ（すなわち、当該光は光学系 4 内にはほとんど取り込まれない。）、側面領域における複素振幅反射係数 $r_{||}$ を 0 とすることができる。したがって、数 6 中の最上面 9 3 1 の面積率 A_I および底面 9 2 1 の面積率 $A_{||}$ に初期値を代入し、数 3 および数 4 にて求められる波長 λ の光に対する最上面 9 3 1 の複素振幅反射係数 r_I および底面 9 2 1 の複素振幅反射係数 $r_{||}$ も数 6 中に代入することにより、パラメータである溝 9 2 の深さ、底面 9 2 1 の面積率および最上面 9 3 1 の面積率のそれぞれを初期値とした場合の当該波長 λ の光に対する測定領域 9 3 の複素振幅反射係数 r_{sample} が求められる。そして、数 7 に示すように、複素振幅反射係数 r_{sample} の絶対値の二乗の値を求めることにより、各パラメータを初期値とした場合の当該波長 λ の光に対する測定領域 9 3 の反射率 R_{sample} が求められる。

【 0 0 3 9 】

【 数 7 】

$$R_{\text{sample}} = |r_{\text{sample}}|^2$$

【 0 0 4 0 】

実際には、測定波長帯に含まれる複数の波長のそれぞれに対して反射率 R_{sample} が求められ、複数の波長における複数の反射率 R_{sample} の集合が、各パラメータを初期値とした場合の理論分光反射率として取得される。トレンチ形状測定装置 1 では、各パラメータの値を、初期値、および、初期値から変動値だけ離れた値（以下、「設定値」と総称する。）に順次変更しつつ上記演算が繰り返されることにより、溝 9 2 の深さ、底面 9 2 1 の面積率および最上面 9 3 1 の面積率における設定値の全ての組合せにそれぞれ対応する複数の理論分光反射率が取得される。

【 0 0 4 1 】

複数の理論分光反射率が取得されると、保持部移動機構 2 3 により基板 9 上の照明光の照射位置が測定領域 9 3 内に配置された後、光照射部 3 から照明光が出射され、基板 9 上の測定領域 9 3 に照射される（ステップ S 1 5）。このとき、既述のように、開口数が小さい対物レンズ 4 4 を介して照明光が基板 9 へと導かれることにより、照明光の溝パターンの底面 9 2 1 への照射を確実に行うことができる。また、基板 9 の測定領域 9 3 からの反射光は、対物レンズ 4 4 を介して光学系 4 内に取り込まれることにより、溝 9 2 の側面 9 2 2 にて反射した光や、溝パターンにおける 1 次以上の回折光は光学系 4 内には取り込まれず、底面 9 2 1 からの正反射光（0 次光）のみが光学系 4 に入射する。そして、反射光は光学系 4 により分光器 5 へと導かれて回折格子 5 2 にて分光され（ステップ S 1 6）、分光された光が検出器 6 にて受光されて測定領域 9 3 の測定分光反射率が取得される（ステップ S 1 7）。

【 0 0 4 2 】

続いて、測定分光反射率とステップ S 1 4 にて求められた複数の理論分光反射率のそれぞれとの間の類似度 E_{rr} が、上記の数 2 を用いて求められる。そして、類似度 E_{rr} が最小となる理論分光反射率が特定され、当該理論分光反射率におけるパラメータの値が基板 9 の測定領域 9 3 における溝 9 2 の深さ、底面 9 2 1 の面積率および最上面 9 3 1 の面積率として取得される（ステップ S 1 8）。このように、測定領域 9 3 の測定分光反射率と理論分光反射率とが比較されることにより複数のパラメータの値が決定されて、溝パターン情報が取得される。なお、類似度 E_{rr} が所定値以下となる場合等、必要に応じてガウス・ニュートン法やレーベンバーグ・マーカート法等の非線形最適化手法が用いられ、類似度 E_{rr} を収束させつつ類似度 E_{rr} が所定値よりも大きくなる理論分光反射率が取得されて測定領域 9 3 における溝 9 2 の深さ、底面 9 2 1 の面積率および最上面 9 3 1 の面積率が求められてもよい。

【 0 0 4 3 】

続いて、演算部 7 1 では、溝パターンの形状に係る他の情報も取得される（ステップ S

10

20

30

40

50

19)。例えば、値1から底面921の面積率および最上面931の面積率を減じた値が、側面領域の面積率として求められ、既知であるピッチP1を用いて溝方向に垂直な方向の1つの側面922の幅(図4中にて符号W1を付して示す幅)を取得して、溝方向に垂直な基板9の断面上における側面922の傾斜角(図4中にて符号を付して示す角度)が求められる。また、ピッチP1を用いて溝方向に垂直な方向に関する1つの最上面931の幅(図4中にて符号W2を付して示す幅であり、線幅と捉えられる。)や1つの底面921の幅(図4中にて符号W3を付して示す幅)を取得することもでき、測定領域93の面積が既知である場合には、底面921、最上面931および側面領域のそれぞれの総面積も求めることが可能である。

【0044】

また、トレンチ形状測定装置1では、基板9上の膜91が比較的厚い場合等には、補助膜厚測定を行うことなく、溝パターン情報を取得することも可能である(ステップS11)。この場合、溝パターンの深さ、溝92の底面921の面積率および最上面931の面積率に加えて、膜91の膜厚もパラメータとされ、各パラメータの設定値が演算部71に設定される(ステップS13)。続いて、溝92の深さ、底面921の面積率、最上面931の面積率および膜91の膜厚における設定値の全ての組合せにそれぞれ対応する複数の理論分光反射率が演算により取得される(ステップS14)。そして、光照射部3により測定領域93に照明光を照射し、測定領域93からの照明光の反射光に基づいて測定領域93の測定分光反射率が取得され(ステップS15~S17)、測定分光反射率と複数の理論分光反射率とを比較することにより各パラメータの値が決定される。これにより、基板9上の溝92の深さ、底面921の面積率、最上面931の面積率および膜91の膜厚が取得される(ステップS18)。また、必要に応じて、溝パターンの形状に係る他の情報も取得される(ステップS19)。

【0045】

ところで、分光器の回折格子では、光の入射強度と反射強度との比である回折効率が、当該光の波長によっては格子方向に平行な振動方向の偏光光と格子方向に垂直な振動方向の偏光光とで大きく異なる。また、溝パターンの形状測定では溝パターンの影響により基板からの反射光の振動方向が限定されてしまう(例えば、基板9からの反射光が基板9上の溝方向に平行な方向に振動する直線偏光光や当該方向におよそ沿って振動する楕円偏光光を多く含む)。この場合に、回折格子に入射する反射光の振動面と格子方向とのなす角と、当該振動面と格子方向に垂直な方向とのなす角との間に差があると、基板からの反射光のスペクトルを正確に取得することができず(すなわち、基板の正確な分光反射率を取得することができず)、溝パターンの深さを精度よく求めることができない。

【0046】

これに対し、トレンチ形状測定装置1では、基板9からの照明光の反射光が導かれる回折格子52が、回折格子52の格子方向に対応する基板9上の方向と溝方向とのなす角が40度以上50度以下(好ましくは45度)となる状態で配置されているため、基板9上の溝パターンによる反射光の偏光の影響を受けることなく基板の分光反射率を正確に求めることができ、非破壊方式にて溝パターンの深さを精度よく求めることができる。

【0047】

トレンチ形状測定装置1では、対物レンズ44の開口数が0.05以上0.1以下とされることにより、基板9上に形成される溝パターンのアスペクト比(断面形状の縦横比)が大きい場合でも、照明光の溝パターンの底面921への照射、および、底面921からの反射光の回折格子52における受光を確実に行うことが可能とされる。また、溝パターン情報を取得する際に、測定波長帯に含まれる各波長において、底面921からの光に基づいて理論的に求められる複素振幅反射係数に底面921の面積率を乗じたものと、最上面931からの光に基づいて理論的に求められる複素振幅反射係数に最上面931の面積率を乗じたものとの和を、測定領域93における複素振幅反射係数とすることにより、溝パターンの側面922からの反射光の影響を無視しつつ理論分光反射率が適切に求められる。これにより、溝パターンの深さ並びに底面921の面積率および最上面931の面積

10

20

30

40

50

率を容易にかつ精度よく求めることができる。

【 0 0 4 8 】

また、補助膜厚測定において、照明光を補助領域 9 4 に照射して検出器 6 にて補助領域 9 4 の分光反射率を取得することにより、基板 9 上の膜 9 1 の膜厚を求め、その後、補助膜厚測定にて得られた膜厚を利用して溝パターン情報の取得時の理論分光反射率が求められる。このように、膜 9 1 を有する基板 9 において、溝パターンが存在しない領域にて膜厚を求めることにより、溝パターンの深さをより精度よく求めることが実現される。さらに、補助膜厚測定が行われない場合であっても、溝パターン情報を取得する際における理論分光反射率の演算のパラメータに膜 9 1 の膜厚を含めることにより、基板 9 に形成された膜 9 1 を考慮しつつ溝パターンの深さを精度よく求めることができる。

10

【 0 0 4 9 】

トレンチ形状測定装置 1 では、複数の膜が形成されている（すなわち、多層膜の）基板 9 上の溝パターンの形状の測定が行われてもよく、例えば、補助膜厚測定を行う場合には（ステップ S 1 1）、基板 9 上の補助領域 9 4 に照明光を照射して検出器 6 にて反射光に基づいて補助領域 9 4 の分光反射率を取得することにより、複数の膜の一部（例えば、溝パターン情報を取得する際に溝パターンの深さと共にパラメータに含めた場合、膜厚を精度よく求めることが困難な測定感度が低い膜）の膜厚が求められる（ステップ S 1 2）。続いて、溝パターンの深さ、測定領域 9 3 における溝 9 2 の底面 9 2 1 の面積率、および、最上面 9 3 1 の面積率に加えて、他の膜の膜厚もパラメータに含められ、各パラメータの設定値が演算部 7 1 に設定される（ステップ S 1 3）。そして、補助膜厚測定にて取得された一部の膜の膜厚を利用しつつ、溝 9 2 の深さ、底面 9 2 1 の面積率、最上面 9 3 1 の面積率および他の膜の膜厚における設定値の全ての組合せにそれぞれ対応する複数の理論分光反射率が演算により求められ（ステップ S 1 4）、測定領域 9 3 に照明光を照射して取得される測定分光反射率と比較されることにより各パラメータの値が決定される（ステップ S 1 5 ~ S 1 8）。このように、溝パターン情報を取得する際における演算のパラメータに、補助膜厚測定にて測定される一部の膜以外の膜の膜厚が含まれることにより、補助膜厚測定にて求められなかった膜の膜厚も精度よく求めることができる。

20

【 0 0 5 0 】

また、補助膜厚測定では、複数の膜の全部の膜厚が求められてもよい。さらに、溝パターン情報を取得する際における演算のパラメータに補助膜厚測定にて測定された膜の膜厚も含まれてもよく、この場合、補助膜厚測定にて得られた測定値を初期値とすることが好ましい。

30

【 0 0 5 1 】

以上のように、トレンチ形状測定装置 1 では、基板 9 の測定領域 9 3 および溝パターンが存在しない補助領域 9 4 に少なくとも 1 つの膜が形成される場合に、補助膜厚測定において、照明光を補助領域 9 4 に照射し、反射光に基づいて補助領域 9 4 の分光反射率を取得することにより、当該少なくとも 1 つの膜の一部または全部の膜厚を求め、続いて、溝パターン情報を取得する際に当該膜厚を利用して理論分光反射率を求めることにより、少なくとも 1 つの膜を有する基板 9 において、溝パターンの深さをより精度よく求めることが可能となる。

40

【 0 0 5 2 】

また、複数の膜が形成されている基板 9 上の溝パターンの形状の測定を行う際に、基板 9 上の膜構造によっては、補助膜厚測定を行うことなく、溝パターン情報を取得する際における演算のパラメータに、複数の膜のそれぞれの膜厚が含まれてもよい。すなわち、基板 9 の測定領域 9 3 に少なくとも 1 つの膜が形成されている場合に、溝パターン情報を取得する際における演算のパラメータに、当該少なくとも 1 つの膜の膜厚が含まれることにより、基板 9 に形成された膜を考慮しつつ溝パターンの深さを精度よく求めることが実現される。

【 0 0 5 3 】

図 7 は、本発明の関連技術に係るトレンチ形状測定装置 1 a の構成を示す図である。図

50

7のトレンチ形状測定装置1aは、図1のトレンチ形状測定装置1と比較して、ハーフミラー43とレンズ45との間に、入射する光に含まれる偏光光を非偏光光とする偏光解消素子46が設けられる点でのみ相違する。他の構成は、図1と同様であり同符号を付している。

【0054】

図7のトレンチ形状測定装置1aによる溝パターン9の形状の測定動作では、保持部21上にて基板9を保持する際に(図2:ステップS10)、基板9の向きは調整されず、以降の処理は、図1のトレンチ形状測定装置1と同様にして行われる。トレンチ形状測定装置1aでは、基板9と回折格子52との間の光路上に偏光解消素子46が配置されることにより、偏光解消素子46を用いて溝パターン9による反射光の偏光の影響を解消することができ、分光反射率を正確に取得して溝パターン9の深さを精度よく求めることが可能となる。なお、偏光解消素子46は基板9と回折格子52との間の光路上に配置されるのであるならば、いずれの位置に設けられてもよい。

10

【0055】

以上、本発明の実施の形態について説明してきたが、上記形態は様々な変形が可能である。

【0056】

上記一の実施の形態では、基板9を保持部21にて保持する際に基板9の向きが回折格子52に対して調整されるが、例えば、分光器5および検出器6を一体として回折格子52の中心線を中心として回転する機構を設け、測定分光反射率を取得する際に、回折格子52の格子方向に対応する基板9上の方向と溝方向とのなす角が40度以上50度以下(好ましくは45度)となるように、分光器5および検出器6が回転されてもよい。

20

【0057】

図7のトレンチ形状測定装置1aでは、基板9からの照明光の反射光が偏光解消素子46を介して回折格子52に導かれることにより、溝パターン9による反射光の偏光の影響を容易に除去することが実現されるが、図1のトレンチ形状測定装置1において、基板9と回折格子52との間の光路上に偏光解消素子が追加され、反射光の偏光の影響がより確実に除去されてもよい。

【0058】

上記では、溝パターン9情報を取得する際における演算のパラメータに溝パターン9の深さ、底面921の面積率および最上面931の面積率が必ず含まれるが、溝92の側面922が基板9に垂直である場合等、側面領域の面積が0と捉えられる場合には、溝パターン9の深さおよび底面921の面積率(1から最上面931の面積率を減じたものでもよい。)のみがパラメータとされてもよい。すなわち、少なくとも溝パターン9の深さおよび溝パターン9の底面921の面積率をパラメータとする演算により理論分光反射率が求められる。

30

【0059】

トレンチ形状測定装置1, 1aでは、保持部移動機構23が照射位置変更部として基板9を移動することにより、光照射部3からの照明光の基板9上における照射位置が変更されるが、照射位置変更部は、光照射部3、光学系4、分光器5および検出器6を基板9に対して移動する機構により実現されてもよい。

40

【0060】

図2に示す動作の流れは、可能な範囲内で適宜変更されてよく、例えば、測定分光反射率が取得された後に、理論分光反射率が求められてもよい。

【0061】

トレンチ形状測定装置1, 1aにおける反射光の偏光の影響を除去する手法は、一方向に伸びる複数の溝(ラインアンドスペース状の溝)が形成された基板9以外に、1つの溝のみが形成された基板や、互いに直交する2つの方向に伸びる複数の溝が形成された基板、あるいは、一方向に並ぶ複数のホールの集合が実質的に1つの溝として捉えられる基板等、基板からの反射光に溝パターン9による偏光の影響が生じる場合に利用される。す

50

なわち、実質的に所定の方向に伸びる溝パターンが測定領域に形成された基板が対象とされる。

【 0 0 6 2 】

また、補助膜厚測定を行って溝パターン情報を精度よく取得する手法は、様々な形状の溝パターンを有する基板に対して適用することが可能である。この場合に、回折格子 5 2 以外の光学素子を用いて反射光を分光して測定分光反射率が取得されてもよい。

【 0 0 6 3 】

トレンチ形状測定装置 1 , 1 a における測定対象の基板は、半導体基板以外に、プリント配線基板やガラス基板等であってもよい。

【 図面の簡単な説明 】

10

【 0 0 6 4 】

【 図 1 】 一の実施の形態に係るトレンチ形状測定装置の構成を示す図である。

【 図 2 】 溝パターンの形状の測定を行う動作の流れを示す図である。

【 図 3 】 補助膜厚測定の流れを示す図である。

【 図 4 】 溝方向に垂直な基板の断面を示す図である。

【 図 5 】 底面の複素振幅反射係数を求める処理を説明するための図である。

【 図 6 】 領域全体における複素振幅反射係数を説明するための図である。

【 図 7 】 関連技術に係るトレンチ形状測定装置の構成を示す図である。

【 符号の説明 】

【 0 0 6 5 】

20

1 , 1 a トレンチ形状測定装置

3 光照射部

4 光学系

5 分光器

6 検出器

7 制御部

9 基板

2 1 保持部

2 3 保持部移動機構

4 4 対物レンズ

4 6 偏光解消素子

5 2 回折格子

7 1 演算部

9 1 膜

9 2 溝

9 3 測定領域

9 4 補助領域

9 2 1 底面

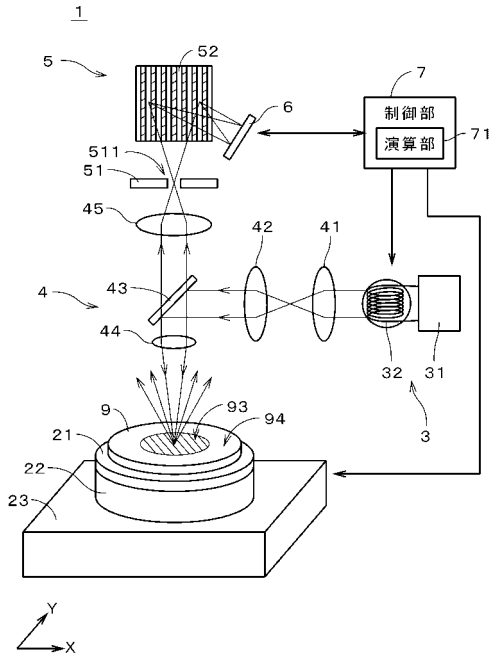
9 3 1 最上面

S 1 0 , S 1 4 ~ S 1 8 , S 1 2 1 ~ S 1 2 4 ステップ

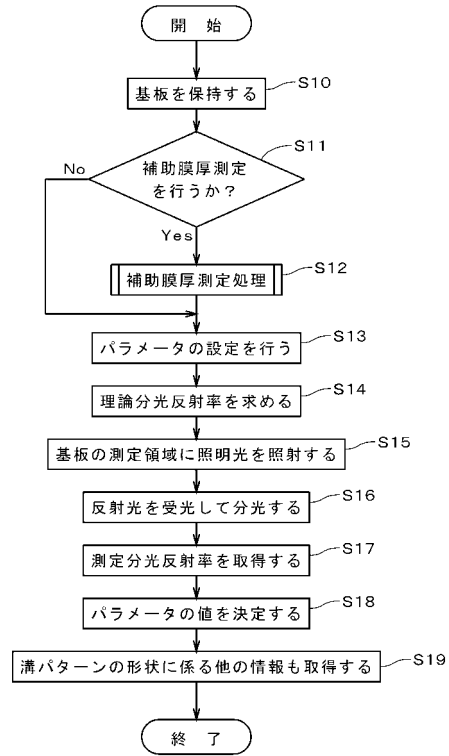
30

40

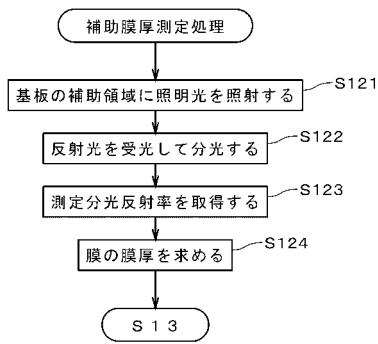
【図1】



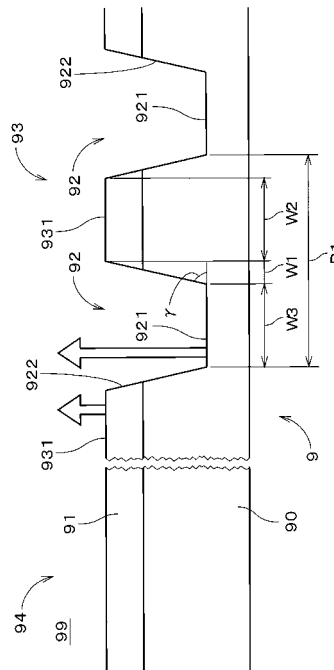
【図2】



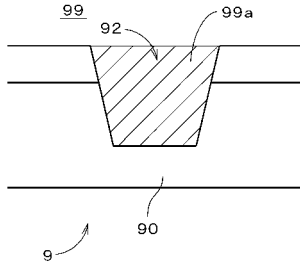
【図3】



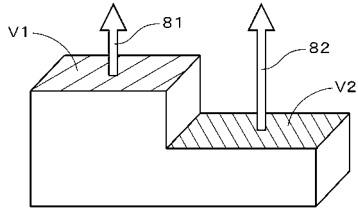
【図4】



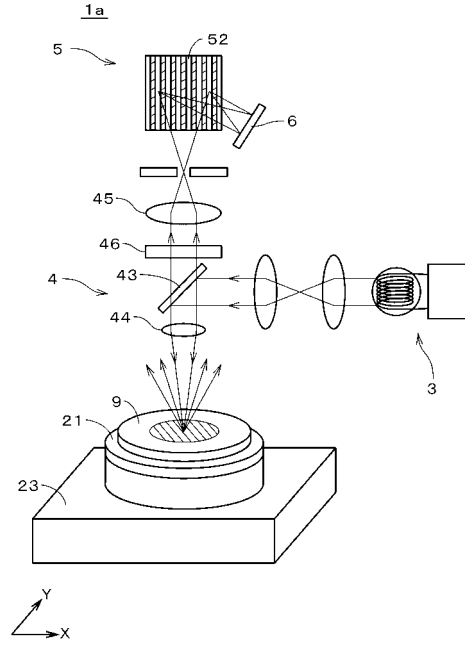
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

審査官 北川 創

- (56)参考文献 特開2006-112884(JP,A)
特表2005-515465(JP,A)
特表2002-506198(JP,A)
国際公開第2006/076484(WO,A1)
特開2005-003666(JP,A)
特開平04-229864(JP,A)
特開平09-237812(JP,A)
特開昭62-172203(JP,A)
実開平06-015004(JP,U)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 11/00 - 11/30
H01L 21/66