

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5502491号
(P5502491)

(45) 発行日 平成26年5月28日 (2014.5.28)

(24) 登録日 平成26年3月20日 (2014.3.20)

| (51) Int. Cl. | | F I | |
|---------------|--------------|------------------|----------------|
| GO 1 B | 11/02 | (2006.01) | GO 1 B 11/02 G |
| GO 1 B | 11/24 | (2006.01) | GO 1 B 11/24 D |
| GO 1 B | 9/02 | (2006.01) | GO 1 B 9/02 |
| GO 1 N | 21/21 | (2006.01) | GO 1 N 21/21 Z |
| GO 1 N | 21/45 | (2006.01) | GO 1 N 21/45 Z |

請求項の数 61 (全 48 頁)

| | | | |
|---------------|-------------------------------|-----------|----------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2009-543279 (P2009-543279) | (73) 特許権者 | 598176743 |
| (86) (22) 出願日 | 平成19年12月21日 (2007.12.21) | | ザイゴ コーポレーション |
| (65) 公表番号 | 特表2010-515027 (P2010-515027A) | | ZYGO CORPORATION |
| (43) 公表日 | 平成22年5月6日 (2010.5.6) | | アメリカ合衆国 コネチカット州 064 |
| (86) 国際出願番号 | PCT/US2007/088708 | | 55ミドルフィールド ローレル ブルック |
| (87) 国際公開番号 | W02008/080127 | | ロード (番地なし) |
| (87) 国際公開日 | 平成20年7月3日 (2008.7.3) | (74) 代理人 | 100068755 |
| 審査請求日 | 平成22年12月20日 (2010.12.20) | | 弁理士 恩田 博宣 |
| (31) 優先権主張番号 | 60/876,748 | (74) 代理人 | 100105957 |
| (32) 優先日 | 平成18年12月22日 (2006.12.22) | | 弁理士 恩田 誠 |
| (33) 優先権主張国 | 米国 (US) | (74) 代理人 | 100142907 |
| | | | 弁理士 本田 淳 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 表面特徴の特性測定のための装置および方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

対物レンズを備え、第1のモードにおいて、試験光による試験対象物の異なる照射角度に対応する複数の干渉計シグナルの第1のセットを生成し、第2のモードにおいて、試験対象物の異なる表面位置に対応する複数の干渉計シグナルの第2のセットを生成するよう動作すべく設定されている干渉計システムであって、第1および第2のモードにおいて試験対象物に光を導き試験対象物から光を集めるために前記対物レンズが用いられる、干渉計システムと、

同干渉計システムに連結されており、第1のセットの干渉計シグナルを受けよう設定されるとともに、第1のセットの複数の干渉計シグナルから導き出される情報を試験対象物の複数のモデルに対応する情報と比較して、試験対象物の解像限界以下の1つ以上の特徴に関連した情報を決定し出力するようプログラムされている電子プロセッサとを備え、

試験対象物は格子構造を含み、試験対象物の解像限界以下の1つ以上の特徴に関する前記情報は格子ピッチと格子の深さとのうちの1つを含む装置。

【請求項2】

前記装置は第1のモードと第2のモードとの間で選択的に切り替わるよう設定されている、請求項1に記載の装置。

【請求項3】

前記装置は両方のモードで同時に測定を行うよう設定されている、請求項1に記載の装置。

10

20

【請求項 4】

干渉計システムは少なくとも1つの電子検出器を備え、第1のモードにおいて前記検出器の異なる素子が、干渉計システムにおける試験光による試験表面の異なる照射角度に対応する、請求項1に記載の装置。

【請求項 5】

第1のモードは1つ以上の選択された偏光についての角度および波長の範囲にわたって試験表面の反射率を測定する偏光解析モードに対応する、請求項4に記載の装置。

【請求項 6】

前記反射率は複素反射率である、請求項5に記載の装置。

【請求項 7】

第1のモードは非偏光についての角度および波長の範囲にわたって試験表面の反射率を測定する反射率測定モードに対応する、請求項4に記載の装置。

【請求項 8】

前記反射率は複素反射率である、請求項7に記載の装置。

【請求項 9】

干渉計システムは、試験表面へ導いた試験光の瞳面を前記検出器へ結像させる、請求項4に記載の装置。

【請求項 10】

干渉計システムは少なくとも1つの電子検出器を備え、第2のモードにおいて前記検出器の異なる素子が、干渉計システムにおける試験光によって照射される試験表面の異なる位置に対応する、請求項1に記載の装置。

【請求項 11】

干渉計システムは前記検出器に試験表面を結像するよう設定されている、請求項10に記載の装置。

【請求項 12】

第2のモードはプロファイリングモードである、請求項11に記載の装置。

【請求項 13】

電子プロセッサは、第1および第2のセットの干渉計シグナルを受けよう設定されるとともに、試験対象物についての情報を決定し、試験対象物についての同情報を出力するようプログラムされていることを含む、請求項1に記載の装置。

【請求項 14】

電子プロセッサは、動作の一方のモードを使用する時、動作の他方のモードで導き出された情報を利用して試験対象物についてのさらなる情報の決定を支援するようさらに設定されている、請求項13に記載の装置。

【請求項 15】

電子プロセッサは、動作の第2のモードを使用する時、動作の第1のモードで決定された試験対象物の解像限界以下の特徴に関連する情報を利用して試験対象物についてのさらなる情報の決定を支援するよう設定されている、請求項14に記載の装置。

【請求項 16】

電子プロセッサは、

i) 動作の第1のモードで決定された試験対象物の解像限界以下の特徴に関連する情報に基づき試験対象物の複数のモデルを導き出すことと、

ii) 第2のセットの複数の干渉計シグナルから導き出される情報を、解像限界以下の特徴に関連する情報に基づく試験対象物の前記複数のモデルに対応する情報と比較して、試験対象物に関連するさらなる情報を決定し出力することと、を行うよう設定されている請求項14に記載の装置。

【請求項 17】

前記さらなる情報は表面プロファイルである、請求項16に記載の装置。

【請求項 18】

干渉計システムは、試験表面の非干渉光学像を測定する非干渉顕微鏡モードで選択的に

10

20

30

40

50

動作するようさらに設定されている、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 19】

試験対象物は 1 つ以上の薄膜をさらに含み、試験対象物の解像限界以下の 1 つ以上の特徴に関連する前記情報は薄膜の厚さをさらに含む、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 20】

試験対象物はパターン形成された層をさらに含み、試験対象物の解像限界以下の 1 つ以上の特徴に関連する前記情報は、パターン形成された層の幅に関する上部限界寸法及び底部限界寸法をさらに含む、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 21】

干渉計システムは、

対物レンズを備え、試験光を試験表面に導き、続いて、干渉パターンを形成するように同試験光を参照光と合成し、試験光および参照光が共通の光源から引き出されるよう設定されている、干渉計と、

電子検出器と、

前記検出器の異なる領域が試験光による試験表面の異なる照射角度に対応するように、前記合成した光の少なくとも一部を前記検出器に導くよう設定されている 1 つ以上の光学部品とを備え、

干渉計システムは、前記検出器の異なる領域が試験光による試験表面の異なる照射角度に対応するように、前記合成した光を前記検出器に導く第 1 のモードと、前記検出器の異なる領域が試験光によって照射される試験表面の異なる照射角度に対応し、プロファイリングモードの動作を可能にする第 2 のモードとで動作するよう設定されている、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 22】

前記 1 つ以上の光学部品に対して前記検出器の位置を調節し、動作の第 1 のモードと第 2 のモードとを切り換えるよう設定されているステージをさらに備える、請求項 21 に記載の装置。

【請求項 23】

前記検出器の前記ステージに連結され、前記ステージに動作の第 1 のモードと第 2 のモードとを調節的に切り換えさせるよう設定されている、電子コントローラをさらに備える、請求項 22 に記載の装置。

【請求項 24】

前記 1 つ以上の光学部品は、動作の第 1 のモードで動作するための 1 つ以上の光学部品の第 1 セットと、動作の第 2 のモードで動作するための 1 つ以上の光学部品の第 2 セットと、を含む、請求項 21 に記載の装置。

【請求項 25】

第 1 および第 2 セットの光学部品を支持するとともに、前記合成した光が前記検出器へ導かれる経路に調節可能に第 1 および第 2 セットのうちの一方の光学部品を配置し、かつ第 1 および第 2 セットのうちの他方の光学部品を配置しないようにして、第 1 のモードと第 2 のモードとを切り換えるよう設定されている、複数位置光学部品ホルダーをさらに備える、請求項 24 に記載の装置。

【請求項 26】

複数位置光学部品レンズホルダーは電気で駆動されることと、前記装置は、複数位置光学部品ホルダーを選択的に動作の第 1 のモードと第 2 のモードとの間で切り換えるべく、電気で駆動される複数位置光学部品ホルダーに連結されている電子コントローラをさらに備えることと、を含む請求項 25 に記載の装置。

【請求項 27】

前記合成した光の第 1 の部分を第 1 セットの光学部品に導き、前記合成した光の第 2 の部分を第 2 セットの光学部品に導くように配置されたビーム・スプリッタと、第 2 の電子検出器とをさらに備え、第 2 セットの光学部品は、第 2 の検出器の異なる領域が試験光によって照射される試験表面の異なる領域に対応するように、前記合成した光の第 2 の部分を

10

20

30

40

50

第 2 の電子検出器に導くよう設定されている、請求項 2 4 に記載の装置。

【請求項 2 8】

干渉計は、前記対物レンズを含む複数の対物レンズを支持し、選択された対物レンズを前記共通の光源からの入射光の経路に配置するよう設定されている複数位置マウントを備えることと、前記複数の対物レンズのうちの少なくとも 1 つは干渉対物レンズであることと、を含む請求項 2 1 に記載の装置。

【請求項 2 9】

前記複数位置マウントは電気駆動され、前記装置は、前記マウントが複数の対物レンズの間で選択的に切り換わるように複数位置マウントに連結されている電子コントローラをさらに備える、請求項 2 8 に記載の装置。

10

【請求項 3 0】

前記複数の対物レンズは 2 つの異なる干渉対物レンズを含み、その一方のみが偏光光学部品を含む、請求項 2 8 に記載の装置。

【請求項 3 1】

前記複数の対物レンズは、入射光の経路上に配置された場合に前記装置を非干渉顕微鏡モードで動作させる非干渉対物レンズを含む、請求項 2 8 に記載の装置。

【請求項 3 2】

干渉計システムは走査型干渉計を備える、請求項 4 に記載の装置。

【請求項 3 3】

前記プロセッサは、第 1 のセットの干渉計シグナルの 1 つ以上の干渉計シグナルを周波数ドメインに変換し、変換したシグナルに基づいて試験表面に関する角度分解情報および波長分解情報を抽出するよう設定されている、請求項 3 2 に記載の装置。

20

【請求項 3 4】

前記情報は反射率を含む、請求項 3 2 に記載の装置。

【請求項 3 5】

対物レンズを備える干渉計システムを動作の第 1 のモードで用い、試験光による試験対象物の異なる照射角度に対応する複数の干渉計シグナルの第 1 のセットを生成するステップと、

同じ干渉計システムを第 2 のモードで用い、試験対象物の異なる表面位置に対応する複数の干渉計シグナルの第 2 のセットを生成するステップと、

30

第 1 のセットの複数の干渉計シグナルから導き出される情報を試験対象物の複数のモデルに対応する情報と比較して試験対象物の解像限界以下の 1 つ以上の特徴に関する情報を決定するステップと、

前記情報を出力するステップとを含み、

干渉計システムを第 1 のモードおよび第 2 のモードで用いるステップは、前記対物レンズを用いて試験対象物に光を導き試験対象物から光を集めるステップを含み、

試験対象物の解像限界以下の前記 1 つ以上の特徴に関する前記情報は、試験対象物上の解像限界以下のパターン化された構造におけるピッチ、変調度、および要素幅のうちの 1 つ以上を含む方法。

【請求項 3 6】

40

対物レンズを備える干渉計システムを動作の第 1 のモードで用い、試験光による試験対象物の異なる照射角度に対応する複数の干渉計シグナルの第 1 のセットを生成するステップと、

同じ干渉計システムを第 2 のモードで用い、試験対象物の異なる表面位置に対応する複数の干渉計シグナルの第 2 のセットを生成するステップと、

第 1 のセットの複数の干渉計シグナルから導き出される情報を試験対象物の複数のモデルに対応する情報と比較して試験対象物の解像限界以下の 1 つ以上の特徴に関する情報を決定するステップと、

前記情報を出力するステップとを含み、

干渉計システムを第 1 のモードおよび第 2 のモードで用いるステップは、前記対物レン

50

ズを用いて試験対象物に光を導き試験対象物から光を集めるステップを含み、

試験対象物の解像限界以下の前記1つ以上の特徴に関する前記情報は、少なくとも試験対象物上の解像限界以下のパターン化された構造の変調度を含む方法。

【請求項37】

干渉計シグナルのうちの少なくとも一部は試験対象物への照射によって生じ、その偏光は解像限界以下のパターン化された構造の要素に対し配向される、請求項35に記載の方法。

【請求項38】

前記偏光は、解像限界以下のパターン化された構造を規定する個別の要素の長さに対して直角、平行、および45°のうちのいずれかで整合する直線偏光である、請求項37に記載の方法。

10

【請求項39】

試験対象物の解像限界以下の前記1つ以上の特徴に関する前記情報は、試験対象物上の段差の高さおよび位置のうちの1つ以上をさらに含む、請求項35に記載の方法。

【請求項40】

前記モデルは、厳密結合波解析を用いてコンピューターにより生成される、請求項35に記載の方法。

【請求項41】

前記モデルは、既知の特性を有する試験対象物から経験的に生成される、請求項35に記載の方法。

20

【請求項42】

解像限界以下の表面の特徴についての情報がユーザーへ出力される、請求項35に記載の方法。

【請求項43】

解像限界以下の表面の特徴についての情報は、半導体製造のための自動プロセス制御システムへ出力される、請求項35に記載の方法。

【請求項44】

干渉計シグナルは走査干渉計シグナルである、請求項35に記載の方法。

【請求項45】

走査干渉計シグナルは、試験光を検出器に導き参照光と干渉させ、共通の光源から前記検出器までの光路長差を試験光と参照光との干渉部分の間で変化させることによって生成され、試験光および参照光は前記共通の光源から引き出され、走査干渉計シグナルは光路長差が変化するとき検出器により測定される干渉強度に相当する、請求項44に記載の方法。

30

【請求項46】

走査干渉計シグナルを生成するステップをさらに含む、請求項45に記載の方法。

【請求項47】

第1のセットの干渉計シグナルの1つ以上の干渉計シグナルを周波数ドメインに変換し、変換したシグナルに基づき試験表面についての角度分解情報および波長分解情報を抽出するステップをさらに含む、請求項46に記載の方法。

40

【請求項48】

干渉計システムは少なくとも1つの電子検出器を備え、第1のモードにおいて前記検出器の異なる素子は干渉計システムにおける試験光による試験表面の異なる照射角度に対応する、請求項35に記載の方法。

【請求項49】

第1のセットの複数の干渉計シグナルから導き出される情報は、1つ以上の選択された偏光についての角度および波長の範囲にわたる試験表面の反射率を含む、請求項48に記載の方法。

【請求項50】

前記反射率は複素反射率である、請求項49に記載の方法。

50

【請求項 5 1】

第 1 のセットの複数の干渉計シグナルから導き出される情報は、非偏光についての角度および波長の範囲にわたる試験表面の反射率を含む、請求項 4 7 に記載の方法。

【請求項 5 2】

前記反射率は複素反射率である、請求項 5 1 に記載の方法。

【請求項 5 3】

試験表面へ導いた試験光の瞳面を前記検出器へ結像させるステップをさらに含む、請求項 4 8 に記載の方法。

【請求項 5 4】

第 1 および第 2 のセットの干渉計シグナルから導き出される情報に基づき試験対象物についての情報を決定するステップと、

試験対象物についての前記情報を出力するステップとをさらに含む、請求項 3 5 に記載の方法。

【請求項 5 5】

試験対象物についての情報を決定する前記ステップは、動作の一方のモードを使用する時、動作の他方のモードで導き出された情報を利用して試験対象物についてのさらなる情報の決定を支援するステップを含む、請求項 5 4 に記載の方法。

【請求項 5 6】

試験対象物についての情報を決定する前記ステップは、動作の第 2 のモードを使用する時、動作の第 1 のモードで決定された試験対象物の解像限界以下の前記 1 つ以上の特徴に関連する情報を利用して試験対象物についてのさらなる情報の決定を支援するステップを含む、請求項 5 4 に記載の方法。

【請求項 5 7】

試験対象物についての情報を決定する前記ステップは、

動作の第 1 のモードで決定された試験対象物の解像限界以下の特徴に関連する情報に基づき試験対象物の複数のモデルを導き出すステップと、

第 2 のセットの複数の干渉計シグナルから導き出される情報を、解像限界以下の特徴に関連する情報に基づく試験対象物の前記複数のモデルに対応する情報と比較して、試験対象物に関するさらなる情報を決定するステップと、

試験対象物に関する前記さらなる情報を出力するステップと、を含む、請求項 5 6 に記載の方法。

【請求項 5 8】

試験対象物についての前記情報は表面プロフィールを含む、請求項 5 4 に記載の方法。

【請求項 5 9】

干渉計を動作の第 1 のモードで用いるステップは、第 1 の偏光状態を有する光で試験対象物を照射する 1 つの第 1 セットの複数の干渉シグナルを生成するステップと、第 2 の偏光状態を有する光で試験対象物を照射する別の第 1 のセットの干渉シグナルを生成するステップとを含み、第 1 の偏光状態は第 2 の偏光状態と異なる、請求項 3 5 に記載の方法。

【請求項 6 0】

第 1 の偏光状態と第 2 の偏光状態とは直角をなす、請求項 5 9 に記載の方法。

【請求項 6 1】

前記解像限界以下の特徴は格子を含み、第 1 の偏光状態は格子の複数の線に対して直角に整合する直線偏光状態である、請求項 6 0 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本開示は、複雑な表面構造を備える対象物の表面特性を測定するための走査干渉法の利用に関する。複雑な表面構造としては、例えば薄膜、異種材料の不連続構造、または干渉顕微鏡の光学的分解能では解像限界以下の (under-resolved) 不連続構造などが挙げられる。このような測定は、フラットパネル・ディスプレイ・コンポーネント

10

20

30

40

50

の特性評価、半導体ウエハ計測法、ならびに薄膜および異種材料のその場分析に関連する。

【背景技術】

【0002】

干渉分光技術は、対象物の表面プロファイルを測定するために広く用いられている。測定を行うために、干渉計では、対象とする表面から反射される測定波面と、参照面から反射した参照波面とを組み合わせ、インターフェログラムを生成する。インターフェログラムにおけるフリンジは、対象とする表面と参照面との間の空間的な変化を示す。

【0003】

一般的に、走査型干渉計は、干渉計の参照区間および測定区間との間の光路長差(OPD)を、干渉波面のコヒーレンス長に匹敵するか、またはそれよりも長い範囲にわたって走査して、インターフェログラムを測定するために用いられる各カメラ画素に対して走査干渉計シグナルを生成する。例えば、白色光源を用いることにより、一定範囲のコヒーレンス長を生成することができる。これは、走査型白色光干渉計(SWLI)と呼ばれる。典型的な走査白色光干渉計シグナルは、少数のフリンジがゼロ光路差(OPD)位置の付近に局在したものである。一般的にこのシグナルは、釣り鐘型のフリンジ・コントラスト包絡線を伴う正弦波搬送波の変調(「フリンジ」)が特徴である。SWLI計測法の基礎となる従来の考え方は、表面プロファイルの測定にフリンジの局在を利用する点にある。

【0004】

SWLI処理技術には、2つの主要な傾向がある。第1のアプローチは、包絡線のピークまたは中心を配置し、この位置が2本ビーム干渉計のゼロ光路差(OPD)に相当すると見なすものである。2本ビーム干渉計の一方のビームは、対象物表面から反射する。第2のアプローチは、シグナルを周波数ドメインに変換して、波長に対する位相変化レートを計算し、基本的に直線上である勾配が対象物の位置に正比例しているから見なすものである。例えば、Peter de Grootに対する特許文献1明細書を参照されたい。この後者のアプローチは、周波数ドメイン解析(FDA)と呼ばれる。

【0005】

走査干渉分光法は、複雑な表面構造を有する対象物の表面トポグラフィおよび/または他の特性を測定するために利用することができ、このような複雑な表面構造としては、例えば薄膜、異種材料の不連続構造、または干渉顕微鏡の光学的分解能では解像限界以下の不連続構造などが挙げられる。このような測定は、フラットパネル・ディスプレイ・コンポーネントの特性評価、半導体ウエハ計測法、ならびに薄膜および異種材料のその場分析に関連する。例えば、その内容が参照によって本明細書に組み込まれる、「Profiling Complex Surface Structures Using Scanning Interferometry」と題する、ピーター、デ、グルート(Peter de Groot)による2004年9月30日公開の特許文献2、およびその内容が参照によって本明細書に組み込まれる、「Interferometry Method for Ellipsometry, Reflectometry, and Scatterometry Measurements, Including Characterization of Thin Film Structures」と題する、ピーター、デ、グルート(Peter de Groot)による2004年5月6日公開の特許文献3を参照されたい。

【0006】

対象物に関する情報を光学的に測定するその他の手法としては、偏光解析(ellipsometry)および反射率測定などが挙げられる。偏光解析は、例えば60°といった傾斜角で、時には様々な角度または複数の波長で照射した場合の表面の複素反射率を測定する。従来の偏光解析装置で容易に達成できる分解能よりも高い分解能を達成するために、マイクロ偏光解析装置は、対象物の後焦点面における位相および/または強度分布を測定する。後焦点面は瞳面としても知られ、様々な照射角がフィールド位置にマップされる。このような機器は、従来の偏光顕微鏡または「コノスコープ」の現代版であり、歴史

10

20

30

40

50

的には、瞳面複屈折材料を解析するために交差する偏光子およびベルトラン (B e r t r a n d) レンズを用いる結晶学および鉱物学との関連がある。

【 0 0 0 7 】

薄膜の特性評価に利用される従来の手法 (例えば、偏光解析および反射率測定) は、未知の光学的界面の複素反射率が、その界面固有の特性 (材料特性および個別の膜の厚さ) ならびに反射率の測定に用いられる光の3つの特性、すなわち波長、入射角、および偏光状態、の両方に依存するという事実を利用している。実際には、特性評価機器は、既知の範囲にわたって変化するこれらのパラメータの結果として生じる反射率の変化を記録する。次いで、測定された反射率データと光学構造モデルから導かれる反射率関数との間の差を最小化して未知のパラメータの推定値を得るために、例えば最小二乗法などの最適化方法が用いられる。

10

【 0 0 0 8 】

例えばパターン化半導体ウエハなどの複雑な表面構造は、mmサイズから数十nmサイズに至るまで様々なサイズの異種材料の特徴で構成されてもよい。

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 9 】

【特許文献1】米国特許第5,398,113号明細書

【特許文献2】米国特許出願公開第2004-1089999号明細書

【特許文献3】米国特許出願公開第2004-0085544号明細書

20

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 0 】

【図1】偏光解析モードで動作するよう設定された干渉計システム100の概略図である。

【図2】干渉計システム100によって検出された典型的干渉シグナルの取得および処理を例示する略図である。

【図3】実験的に導かれた複素反射率のプロットを示す。

【図4】特性評価過程について記載するフローチャートである。

【図5】ライブラリ検索手法を用いるデータ処理の説明図である。

【図6a】正弦波回折格子の略図である。

30

【図6b】図6aに例示された格子の特性評価の結果を示す。

【図7】RCWA分析のためのトレンチ構造モデルを示す。

【図8】プロファイリングモードで動作するよう設定された干渉計システム100の概略図である。

【図9】自動的な方法でどのように種々のコンポーネントを調節できるかを示す干渉計システム100の概略図である。

【図10】プロファイリング測定改善のための偏光解析の使用を示す流れ図である。

【図11】偏光解析改善のためのプロファイリング測定の使用を示す流れ図である。

【図12】Cuダマシン研磨のための腐食測定用試験構造を例示する略図である。

【図13】積層膜のサブ波長エッチングによって作られた試験構造を例示する略図である

40

【図14】回折光学素子を例示する略図である。

【図15】半導体処理過程の最終ステップに典型的な、複雑な積層構造を特徴とする試験構造を例示する略図である。

【図16】上端および下端限界寸法を備える試験対象物を例示する略図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 1 】

発明者は、走査干渉計シグナルの中に、従来の処理ではほとんど無視される豊富な情報が存在することを見出した。広帯域スペクトル光源で照射する干渉計で測定される干渉計信号は、従来の結像型顕微鏡では完全に分解することができない対象物表面の光学的特性

50

(すなわち、解像限界以下の特徴)を解析して測定することが出来る。例えば、照射光の波長の半分未満の場合もある対象物の深さ、幅などの寸法パラメーター、側壁角、エッジの丸みおよび対象物の薄膜構造に関する情報を取得できる。

【 0 0 1 2 】

本明細書に記載の処理技術では、所定角度の光の入射、波長および偏光状態に関する、試験対象物の複素反射率に相当する走査型干渉計シグナルから導き出せる情報を、試験対象物の複数のモデルに対応する情報と比較する。例えば、試験対象物は、例えば、考えられる深さおよびピッチ範囲を有する解像限界以下の格子などのような、構造的特徴の範囲を有するものとしてモデル化することもできる。この比較は角度、波長、および偏光状態の範囲にわたって反復し、モデルに基づく理論的予測に対して、どのモデルの実験データが最適にフィットするかを決定する。最適にフィットするモデルの構造的特徴は、試験対象物の構造的特徴に対する最良の予測に相当する。

10

【 0 0 1 3 】

この方法で決定される構造的特徴の情報は、表面プロファイル測定のパフォーマンス(例えば、精度、速さなど)を向上させるために利用することもできる。さらに、表面プロファイルの情報は、上述の種類の表面特徴の測定のパフォーマンスを向上させるために利用することもできる。一つの実施態様において、両タイプの測定を行うことができ、他方の改善のために各測定タイプを利用できる干渉計システムを開示する。

【 0 0 1 4 】

本明細書に述べられる測定技術、およびそれに続く解析法は、いくつかの半導体工程ステップに応用可能である。光近接効果補正および/または位相シフトマスクの利用により、パターン化対象物の寸法は、光リソグラフィー・ツールを使用した場合の波長よりも小さくすることができる。例えば、現在の大量生産設備では、193nmリソグラフィー・ツールは日常的に65nmの対象物のパターンを形成し;エッチバイアス工程およびハード・マスク構造の使用により、下限を45nm以下に広げることができる。サブ波長の構造的特徴をプリントできる性能に伴い、これらの特徴ならびに関連するエッチング工程および蒸着工程をモニターする必要がある。本開示の実施形態は、解像限界以下の構造的特徴の測定を可能にする。

20

【 0 0 1 5 】

このようなインプロセス計測法の一例としては、半導体ウエハのウエハ上の誘電体層の化学機械研磨(CMP)中の、半導体ウエハの非接触表面トポグラフィー測定のための走査型干渉分光測定など、半導体チップの測定が挙げられる。CMPは、精密な光リソグラフィーに適した誘電体層の平滑な表面を作るために用いられる。干渉分光法の結果に基づき、CMPの処理条件(例えば、パッド圧力、研磨スラリー組成など)を調節して、許容可能な範囲内に不均一性の無い表面を保つこともできる。

30

【 0 0 1 6 】

複素反射率に加え、本明細書で開示されたような走査型干渉計から導き出せる情報は、異なる入射角および/または異なる波長での複素反射率に関連する情報を含む場合もある。例えば、干渉データは、異なる入射角および/または異なる波長での複素反射率に関連する、全体的位相関係を含む場合もある。

40

【 0 0 1 7 】

一部の実施形態では、実験データのモデル化したデータとの比較において、全体的位相関係を利用する。例えば全体的位相関係は、実験データをモデル化データに適合させる際に、より強固な解決方法を提供して、試験構造の正確なモデルを考慮するために、モデル化したデータが適合すべき、さらなる制限をもたらす可能性もある。例えば、従来の偏光解析では、入射角および/または波長の範囲について、測定された および の値をモデル化した および の値と比較することができる。サンプリングした範囲にわたって、様々なモデル化構造が および の適合値となり、試料の構造決定を試みる場合に縮退の解決方法をもたらす可能性がある。 および の適合値をもたらす様々なモデルはサンプリングされた範囲全体にわたることから、全体的位相関係などのさらなる制限を有すること

50

によって、この縮退を高めることもでき、例えば、全体的位相関係を満たす必要が無くなるだろう。

【0018】

一実施態様では、第1のモードおよび第2のモードで動作するように設定された干渉計システムを備える装置を開示する。第1のモードでは、試験光による試験対象物の異なる照射角に対応する複数の干渉計シグナルの第1のセットを生成し、第2のモードでは、試験対象物の異なる表面位置に対応する複数の干渉計シグナルの第2のセットを生成する。干渉計システムに連結されている電子プロセッサは、第1のセットの干渉計シグナルを受けよう設定されるとともに、第1のセットの複数の干渉計シグナルから導き出される情報を試験対象物の複数のモデルに対応する情報と比較して、試験対象物の1つ以上の特徴に関連した情報を決定し出力するようプログラムされている。一部の実施形態は、この特徴は解像限界以下の特徴を含む。

10

【0019】

一部の実施形態では、装置は第1のモードと第2のモードとの間で選択的に切り換わるよう設定されている。一部の実施形態では、装置は両方のモードで同時に測定を行うよう設定されている。

【0020】

一部の実施形態では、干渉計システムは1つ以上の電子検出器を備え、第1のモードでは、検出器の異なる素子は干渉計システムにおける試験光による試験表面の異なる照射角に対応する。一部の実施形態では、第1のモードは、1つ以上の選択された偏光の角度および波長範囲にわたって試験表面の反射率を測定する、偏光解析モードに対応する。一部の実施形態では、反射率は複素反射率である。

20

【0021】

一部の実施形態では、第1のモードは、非偏光の角度および波長範囲にわたって試験表面の反射率を測定する、反射率測定モードに対応する。一部の実施形態では、反射率は複素反射率である。

【0022】

一部の実施形態では、干渉計システムは、試験表面に導いた試験光の瞳面を検出器へ結像させる。

一部の実施形態では、干渉計システムは、1つ以上の電子検出器を備え、第2のモードでは、検出器の異なる素子は、干渉計システムにおける試験光によって照射される試験表面の異なる位置に対応する。例えば一部の実施形態では、干渉計は、検出器に試験表面を結像するよう設定されている。一部の実施形態では、第2のモードはプロファイリングモードである。

30

【0023】

一部の実施形態では、電子プロセッサはさらに、第1および第2のセットの干渉計シグナルを受けよう設定されるとともに、試験対象物についての情報を測定し出力するようプログラムされている。

【0024】

一部の実施形態では、電子プロセッサは、動作の一方のモードを使用する時、動作の他方のモードで導き出された情報を利用して試験対象物についてのさらなる情報の決定を支援するようさらに設定されている。例えば、一部の実施形態では、電子プロセッサは、第1の動作モードにおける試験対象物の解像限界以下の特徴に関する情報を利用して、別の動作モードを使用する時、試験対象物についてのさらなる情報の決定を支援するよう設定されている。例えば、一部の実施形態では、さらなる情報としては、表面トポグラフィ、薄膜構造、および/またはエッチングの深さなどが挙げられる。一部の実施形態では、電子プロセッサは、一方の動作モードで決定される試験対象物の表面プロファイルに関する情報を利用して、別の動作モードを使用する時、試験対象物についてのさらなる情報の決定を支援するよう設定されている。例えば、一部の実施形態では、さらなる情報として、解像限界以下の表面特徴に関する情報が含まれる。

40

50

【 0 0 2 5 】

一部の実施形態では、動作の第1のモードで決定された試験対象物の解像限界以下の特徴に関連する情報に基づき試験対象物の複数のモデルを導き出し、第2のセットの複数の干渉計シグナルから導き出される情報を、解像限界以下の特徴に関連する情報に基づく試験対象物の複数のモデルに対応する情報と比較して、試験対象物に関連するさらなる情報を決定し出力するよう設定されている。一部の実施形態では、さらなる情報には表面プロファイルに関する情報が含まれる。

【 0 0 2 6 】

一部の実施形態では、干渉計システムは、試験表面の非干渉光学像を測定する非干渉顕微鏡モードで選択的に動作するよう、さらに設定されている。

10

一部の実施形態では、電子プロセッサは、第1の動作モードにおける解像限界以下の試験対象物の特徴に関する情報を、別の動作モードを用いるときに試験対象物に関するさらなる情報の測定に役立つよう利用すべく設定されている。

【 0 0 2 7 】

一部の実施形態では、試験対象物としては、格子構造などが挙げられる。また、試験対象物の解像限界以下の1つ以上の特徴に関する情報としては、格子（または別の周期的構造）のピッチ、格子の深さのうちの1つが挙げられる。

【 0 0 2 8 】

一部の実施形態では、試験対象物としては、1つ以上の薄膜が挙げられる。また、試験対象物の解像限界以下の1つ以上の特徴に関する情報としては、薄膜の厚さなどが挙げられる。

20

【 0 0 2 9 】

一部の実施形態では、試験対象物としては、限界寸法を特徴とする構造が挙げられる。また、試験対象物の解像限界以下の1つ以上の特徴に関する情報としては、限界寸法などが挙げられる。

【 0 0 3 0 】

一部の実施形態では、干渉計システムは、共通の光源から発した試験光および参照光のうち試験光を試験表面に導き、続いて試験光を参照光と合成し、干渉パターンを形成するように設定された干渉計、電子検出器、および検出器の異なる領域が試験光によって試験表面の異なる照射角に対応するように、合成された光の少なくとも一部分を検出器に導くよう設定された一つまたは複数の光学部品を備える。干渉計システムでは、第1のモードでは、検出器の異なる領域が試験光によって試験表面の異なる照射角に対応するように、合成された光を検出器に導くべく動作するよう設定されている。第2のモードでは、プロファイリングモードでの動作が可能になるように、検出器の異なる領域が試験光によって試験表面の異なる照射角に対応する。

30

【 0 0 3 1 】

一部の実施形態では、装置は、1つ以上の光学部品に対して、第1と第2の動作モードを切り換えるべく検出器の位置を調節するように設定されたステージを備える。

一部の実施形態では、装置は、検出器ステージと連結された電子コントローラを含み、調節可能な状態で第1および第2の動作モードとを切り換えるように設定されている。

40

【 0 0 3 2 】

一部の実施形態では、1つ以上の光学部品は、第1の動作モードで動作する、第1セットの1つ以上の光学部品、および第2の動作モードで動作する、第2セットの1つ以上の光学部品を備える。

【 0 0 3 3 】

一部の実施形態では、装置は、第1および第2のセットの光学部品を支える、複数位置の光学部品ホルダーを備える。この光学部品ホルダーは、第1および第2のモードとを切り換えるにあたって、第1および第2のセットの光学部品を調節可能な状態で適切な位置に置き、合成された光が検出に導かれる経路上にもう一方の第1および第2のセットの光学部品が置かれないうように設定されている。

50

【 0 0 3 4 】

一部の実施形態では、複数位置に設置されたレンズホルダーは電気で駆動される。さらに、装置は、複数位置光学部品ホルダーを第1および第2の動作モードの走査とで選択的に切り換えるための、電気で駆動される複数位置光学部品ホルダーに連結された電子コントローラを備える。

【 0 0 3 5 】

一部の実施形態では、装置は、第2セットの1つ以上の光学部品、合成された光の第1の部分を第1の光学部品に導き、合成された光の第2の部分を第2のセットの光学部品に導くように配置されたビーム・スプリッタ、および第2の電子検出器を含み、第2のセットの光学部品は、合成された光の第2の部分を第2の電子検出器に導き、第2の電子検出器の異なる領域が試験光に照射される試験表面の異なる領域に対応するように設定されている。

10

【 0 0 3 6 】

一部の実施形態では、干渉計は、複数の対物レンズを支持し、選択された対物レンズを共通光源からの入射光の経路上に配置するよう設定された複数位置マウントを備える。複数の対物レンズは、少なくとも1つの対物レンズを備える。

【 0 0 3 7 】

一部の実施形態では、複数位置マウントは電気で駆動され、さらに、装置は、複数位置マウントの対物レンズを選択的に切り換えるための、複数位置マウントに連結した電子コントローラを備える。

20

【 0 0 3 8 】

一部の実施形態では、複数の対物レンズとしては、2つの異なる干渉対物レンズが挙げられる。また、1つのみの対物レンズとしては、偏光光学部品が挙げられる。

一部の実施形態では、複数の対物レンズとしては、入射光の経路上に配置された場合に装置を干渉計モードではない顕微鏡モードで作動可能にする、干渉用ではない対物レンズが挙げられる。

【 0 0 3 9 】

一部の実施形態では、干渉計システムは、走査型干渉計を備える。一部の実施形態では、プロセッサは、1つまたは多重干渉計シグナルを第1のセットの干渉計シグナルから周波数ドメインに変換し、変換されたシグナルに基づいて試験表面に関する角度分解情報および波長分解情報を抽出するよう設定されている。一部の実施形態では、情報としては反射率を含む。

30

【 0 0 4 0 】

別の実施形態では、第1の動作モードにおいて、試験光によって試験対象物の異なる照射角に対応する第1セットの複数の干渉計シグナルを生成する干渉計システムを使用するステップと；第2のモードにおいて、試験対象物の異なる表面位置に対応する第2セットの複数の干渉計シグナルを生成する同一の干渉計システムを使用するステップと；第1セットの複数の干渉計シグナルから導き出せる情報を試験対象物の複数のモデルに対応する情報と比較して、試験対象物の1つ以上の特徴に関する情報を見いだすステップ；および情報を出力するステップからなる方法を開示する。一部の実施形態は、解像限界以下の特徴も含む。

40

【 0 0 4 1 】

一部の実施形態では、試験対象物の1つ以上の解像限界以下の特徴としては、試験対象物上のパターン化された解像限界以下の構造の1つ以上のピッチ、変調度 (modulation depth)、および要素幅が該当する。

【 0 0 4 2 】

一部の実施形態では、試験対象物の1つ以上の解像限界以下の特徴としては、試験対象物上のパターン化された解像限界以下の構造の少なくとも変調度が該当する。

一部の実施形態では、少なくとも一部の干渉計シグナルは、試験対象物への照射によって生じる。その際、試験対象物偏光は、パターン化された解像限界以下の構造の要素に対

50

し配向される。例えば一部の実施形態では、偏光は、パターン化された解像限界以下の構造を規定する個別の要素の長さに対して直角に配向される直線偏光である。

【0043】

一部の実施形態では、試験対象物の1つ以上の解像限界以下の特徴は、試験対象物上の1つ以上の段差の高さおよび位置に相当する。

一部の実施形態では、試験対象物は、個々の要素が不明瞭である、パターン化された構造を含む。

【0044】

一部の実施形態では、解像限界以下の特徴に関する情報は、パターン化された構造の1つ以上の変調度および要素の幅に相当する。

一部の実施形態では、モデルは、厳密結合波解析を用いてコンピューターにより生成される。

【0045】

一部の実施形態では、モデルは、既知の特性を持つ試験対象物から経験的に生成される。

一部の実施形態では、解像限界以下の表面の特徴に関する情報がユーザーへ出力される。

【0046】

一部の実施形態では、解像限界以下の表面の特徴に関する情報は、半導体製造のための自動プロセス制御システムへ出力される。

一部の実施形態では、干渉計シグナルは、走査干渉計シグナルである。例えば一部の実施形態では、走査干渉計シグナルは、試験光を参照光と干渉させて検出器に導き、共通光源から検出器までの光路長差を試験光と参照光の干渉部分で変化させることによって生成され、試験光および参照光は共通光源に由来し、また、走査干渉計シグナルは、光路長差が変化するにつれて検出器により測定される、干渉強度に相当する。一部の実施形態は、走査干渉計シグナルの生成も含む。

【0047】

いくつかの実施形態で、1つまたは多重干渉計シグナルを第1のセットの干渉計シグナルから周波数ドメイン変換し、変換されたシグナルに基づいて試験表面に関する角度分解情報および波長分解情報を抽出する。

【0048】

一部の実施形態では、干渉計システムは、少なくとも1つの電子検出器を含み、第1のモードでは、検出器の異なる素子は、干渉計システムにおいて、試験表面の試験光による異なる照射角に対応する。

【0049】

一部の実施形態では、第1セットの複数の干渉計シグナルから導き出せる情報は、1つ以上の選択された偏光に対する角度および波長の範囲にわたる、試験表面の反射率を含む。

【0050】

一部の実施形態では、第1セットの複数の干渉計シグナルから導き出せる情報は、偏光ではない光の角度および波長の範囲にわたる、試験表面の反射率を含む。一部の実施形態では、反射率は複素反射率である。

【0051】

一部の実施形態は、試験表面に導いた試験光の瞳面を検出器に結像させるステップも含む。

一部の実施形態は、第1および第2の干渉計シグナルから導き出せる情報に基づいて、試験対象物に関する情報を測定するステップ、ならびに試験対象物に関する情報を出力するステップを含む。例えば、一部の実施形態では、試験対象物に関する情報を測定するステップは、一方の動作モードを利用する際に試験対象物に関するさらなる情報の測定に役立つよう、他方の動作モードで得られた情報を使用するステップを含む。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 2 】

一部の実施形態では、試験対象物に関する情報を測定するステップは、別の動作モードを利用する際に試験対象物に関するさらなる情報の測定に役立つよう、第1の動作モードで測定される、試験対象物の1つ以上の解像限界以下の特徴に関する情報を利用するステップを含む。例えば、一部の実施形態では、試験対象物に関する情報を測定するステップは、第1の動作モードで測定される、試験対象物の解像限界以下の特徴に関する情報に基づく試験対象物の複数のモデルを導き出すステップ；第2のセットの複素干渉計シグナルから導き出せる情報を、解像限界以下の特徴に関する情報に基づいた試験対象物の複数のモデルに対応する情報と比較して、試験対象物に関するさらなる情報を測定するステップ；試験対象物に関するさらなる情報を出力するステップからなる。一部の実施形態では、試験対象物に関するさらなる情報は、表面プロファイルを含む。

10

【 0 0 5 3 】

別の実施態様では、試験光を試験対象物に導き、次いで、試験光を参照光と合成して干渉パターンを形成するよう設定された干渉計と；共通光源から引き出される試験光および参照光と；電子検出器と；検出器の異なる領域が、試験対象物の試験光による異なる照射角に対応するように、合成された光の少なくとも一部を検出器に導くよう設定される1つ以上の光学部品；ならびに検出器と組み合わされた電子プロセッサとを備える装置が開示される。電子プロセッサは、干渉計の光学的特性に関する較正情報、ならびに較正データに基づいた、および検出器により測定された情報から導き出される情報と試験対象物の複数のモデルに相当する情報との比較に基づいた、試験対象物の解像限界以下の特徴に関する情報を測定するために、検出器により測定される処理情報を保存し、かつ試験対象物の特徴に関する情報を出力すべく設定されている。一部の実施形態は、解像限界以下の特徴を含む。

20

【 0 0 5 4 】

一部の実施形態では、電子プロセッサは、試験対象物について角度分解反射率情報を検出器の測定値から抽出すべく設定されている。ここで、検出器によって測定された情報から導かれる情報は、角度分解反射率である。

【 0 0 5 5 】

一部の実施形態では、装置は、試験光および参照光が干渉パターンを形成する際に、双方の間の相対光路長差を調節するよう設定される並進ステージを備える。この場合、電子プロセッサは、検出器の全体を通じて各複数位置で測定され、並進ステージを走査することによって生成される、干渉強度シグナルを分析するよう設定されている。一部の実施形態では、電子プロセッサは、検出器の異なる位置の強度シグナルの周波数に基づいて、検出器の異なる領域および試験表面の試験光による異なる照射角の間の対応を測定するよう設定されている。

30

【 0 0 5 6 】

一部の実施形態では、電子プロセッサは、検出器全体を通じて測定された強度シグナルに基づいて、試験表面に関する角度分解情報および波長分解情報を抽出するよう設定されている。一部の実施形態では、電子プロセッサは、検出器の異なる位置の干渉計シグナルを周波数ドメインに変換し、角度分解情報および波長分解情報を抽出するよう設定されている。例えば、一部の実施形態では、干渉計は、検出器により測定される干渉パターンの偏光内容を調整するよう配置された1つ以上の偏光素子を備える。この場合、電子プロセッサは、検出器全体を通じて測定される強度シグナルに基づいて、試験表面に関する角度分解情報、波長分解情報、および偏光分解情報を抽出するよう設定されている。一部の実施形態では、角度分解情報、波長分解情報、および偏光分解情報は、試験表面の反射率に関連する。

40

【 0 0 5 7 】

別の実施態様では、試験光を試験対象物の既知の反射特性を持つ試験表面に照射角の範囲全体にわたって導くステップ；次いで、共通の光源から引き出される試験光および参照光を合成し、干渉パターンを形成するステップ；ならびに、検出器の異なる素子が、試験

50

表面の試験光による異なる照射角に対応するように、合成された光の少なくとも一部を複数素子検出器に導くステップを含む、干渉分光法に関する方法が開示される。本方法は、検出器の異なる素子に対応する干渉計シグナルを測定するステップ；異なる検出器素子で測定される干渉計シグナルおよび試験表面の既知の反射パラメーターに基づいて、試験光を導き試験光を参照光と合成するために利用される、偏光計の反射パラメーターを較正するステップ；干渉計シグナルから導き出せる情報を、試験対象物の複数のモデルに対応する情報と比較するステップ；ならびに情報を入力するステップも含む。一部の実施形態では、特徴は、解像限界以下の特徴を含む。

【 0 0 5 8 】

一部の実施形態では、モデルは、較正された反射パラメーターに基づく。

10

一部の実施形態では、本方法は、既知の反射特性を持つ第2の試験表面で、試験光を導くステップ、測定するステップ、および較正するステップを反復するステップ、ならびに異なる検出器素子で測定されたシグナルおよび試験表面の既知の反射パラメーターに基づいて、干渉計の反射パラメーターをさらに較正するステップも含む。

【 0 0 5 9 】

別の実施態様では、試験光を試験対象物の試験表面に照射角の範囲全体にわたって導くステップ；次いで、試験光および参照光を合成し、干渉パターンを形成するステップ；ならびに、検出器の異なる素子が、試験表面の試験光による異なる照射角に対応するように、合成された光の少なくとも一部を複数素子検出器に導くステップからなる、干渉分光法に関する方法が開示される。その際、試験光および参照光は共通の光源から引き出される。また、試験表面は既知の反射特性を持つ。本方法は、検出器の異なる素子に対応する干渉計シグナルを、試験光および参照光の間の光路長差を変える関数として測定するステップ；干渉計シグナルに基づく較正情報を測定するステップ；干渉計シグナルから導き出せる情報を、試験対象物の複数のモデルに対応する情報と比較して、試験対象物の1つ以上の特徴に関する情報を測定するステップ；ならびに情報を入力するステップも含む。一部の実施形態は、解像限界以下の特徴を含む。

20

【 0 0 6 0 】

一部の実施形態では、較正情報を測定するステップは、異なる検出器素子での干渉計シグナルの周波数に基づいて、検出器上の合成された光に対する光軸の位置を測定するステップを含む。

30

【 0 0 6 1 】

一部の実施形態では、較正情報を測定するステップは、異なる検出器素子での干渉計シグナルの周波数に基づいて、光路長差が変化する割合を測定するステップを含む。

一部の実施形態では、モデルは較正情報に基づく。

【 0 0 6 2 】

別の実施態様では、瞳面をもつ干渉対物レンズ；光源；電子検出器；検出器の異なる領域が試験表面の試験光による異なる照射角に対応するように合成された光の少なくとも一部を検出器に導くよう設定された、1つ以上の光学部品；および検出器と連結された電子プロセッサとを備える、干渉計などの装置が開示される。光源および干渉計は、ケーラー（K o e h l e r）照明ではない瞳面の照射を提供するように設定されている。電子プロセッサは、検出器により測定される情報を処理し、検出器によって測定された情報に基づくデータと試験対象物の複数のモデルに基づくデータの比較に基づいて試験対象物の1つ以上の特徴に関連する情報を測定するよう設定されている。一部の実施形態は、解像限界以下の特徴を含む。

40

【 0 0 6 3 】

一部の実施形態では、照射は、クリティカル照明である。

一部の実施形態では、干渉計および光源は、瞳面上の空間的に分離された1対または複数対の点に対して、ゼロより大きい相互コヒーレンス関数で光を提供するよう設定されている。

【 0 0 6 4 】

50

一部の実施形態では、干渉計および光源は、光源が瞳面で結像されないように光源から瞳面に光を導くよう設定されている。

別の実施態様では、干渉計の対物レンズの瞳面にケーラー照明ではない照射をもたらして試験光を形成し、それによって干渉計の対物レンズにおいて試験光および参照光をもたらすステップ；照射角の範囲にわたって試験光を試験対象物の試験表面に導くステップ；次いで、共通の光源から引き出される試験光および参照光を合成して干渉パターンを生成するステップ；検出器の異なる素子が試験表面の試験光による異なる照射角に対応するよう合成された光の少なくとも一部を多素子検出器に導くステップ；検出器の異なる素子に対応する干渉計シグナルを測定するステップ；干渉計シグナルから導き出せる情報を試験対象物の複数のモデルに対応する情報と比較して、試験対象物の1つ以上の特徴に関する情報を測定するステップ；および情報を入力するステップを含む方法が開示される。一部の実施形態は、解像限界以下の特徴を含む。

10

【0065】

一部の実施形態では、照射を提供するステップは、クリティカル照明を提供するステップを含む。

一部の実施形態では、照射を提供するステップは、瞳面上の空間的に分離された1対または複数対の点に対して、ゼロより大きい相互コヒーレンス関数で光を提供するステップを含む。

【0066】

一部の実施形態では、照射を提供するステップは、光源が瞳面で結像されないように光源から瞳面に光を導くステップを含む。

20

一般的には、別の実施態様では、本発明は、干渉計を用いて試験データを得るステップを含む方法を特徴とし、試験データは；試験光の試験対象物への様々な入射角に対する試験対象物からの試験光の反射に関する情報、試験光の様々な波長、および試験表面上の試験光の様々な方位角を含み、様々な波長および入射角での試験データに関連する位相関係を満足させる；また位相関係は干渉計に対する試験対象物の位置に依存する。本方法は、各モデルデータが対応するモデル対象物の光の反射の特徴を明らかにする、1つ以上のモデルデータセットを提供するステップ；試験データを1つ以上のモデルデータセットと比較して、位相関係を満たした適合するモデルデータセットを選択するステップ；ならびに選択したモデルデータセットに対応するモデル試験対象物に基づいて試験対象物の1つ以上の解像限界以下の特徴に関する情報を測定するステップを含む。

30

【0067】

本方法の実施は、1つもしくは複数の以下の特徴および/または他の実施態様の特徴を含んでもよい。例えば、位相関係は、試験対象物の干渉計からの距離に依存してもよい。位相関係は、次式

【0068】

【数1】

$$\frac{\lambda_1}{\cos \alpha_1} \arg \left(\frac{z(\alpha_1, \lambda_1, \theta_1)}{R(\alpha_1, \lambda_1, \theta_1)} \right) = \frac{\lambda_2}{\cos \alpha_2} \arg \left(\frac{z(\alpha_2, \lambda_2, \theta_2)}{R(\alpha_2, \lambda_2, \theta_2)} \right)$$

40

を要求してもよく、式中、 λ_1 および λ_2 は試験光の異なる波長であり、 α_1 および α_2 は試験光の異なる入射角であり、 θ_1 および θ_2 は試験光の異なる方位角であり、 z は λ_i 、 α_i 、および θ_i での試験データより導き出される量であり、 R は λ_i 、 α_i 、および θ_i でのモデル化された複素反射率であり、 $i = 1, 2$ である。

【0069】

一部の実施形態では、干渉計は、検出器の様々な領域が試験対象物上の試験光の様々な入射角に対応させよう、干渉計の瞳面を多素子検出器上に結像するよう設定されている。

試験データを取得するステップは、干渉計を用いて1つまたは多重干渉計シグナルを周

50

波数ドメインに変換するステップを含んでもよい。

【0070】

モデルデータは、異なる入射角、波長、および方位角に対して計算された、複素反射率値を含んでもよい。

試験データおよびモデルデータを比較するステップは、様々な入射角、波長、および方位角について、試験データとモデルデータの差に関するメリット関数を解くステップを含んでもよい。メリット関数は、モデル対象物の少なくとも1つの構造的パラメータおよび干渉計に対する試験対象物の位置に関するスカラー h によってパラメータ化されてもよい。少なくとも1つの構造的パラメータは、変調度またはパターン化された構造の要素幅であってもよい。パターン化された構造は、周期的構造（例えば、格子）であつてもよい。

10

【0071】

様々なモデルデータセットは、様々な解像限界以下の特徴を持つモデル対象物に対応する場合もある。モデルデータは、厳密結合波解析を用いてコンピューターにより生成されてもよい。複数セットのモデル化データは、試験データを得る前に決定されてもよい。

【0072】

一部の実施形態では、第1のモデル化データのセットを試験データと比較した後に、さらなるモデルデータセットがコンピューターにより生成されてもよい。試験データセットおよびモデルデータセットを比較するステップは、モデルデータの試験データに対する事前の比較に基づいて新しいモデル化データセットを生成することにより、回帰分析を反復して行うステップを含んでもよい。例えば、モデルデータと試験データの間の差を最少にすべく、モデルパラメータの回帰および最適化を行うために、レーベンバーグ・マルカート (Levenberg-Marquardt) ソルバーなどの最適化アルゴリズムが使用されてもよい。

20

【0073】

一般的に、別の実施態様では、本発明は、試験光を試験対象物に導き、続いて共通光源から引き出される試験光と参照光とを合成して干渉パターンを形成するように設定された干渉計と；電子検出器と；検出器の異なる領域が、試験対象物の試験光による異なる照射角に対応するように、合成された光の少なくとも一部を検出器に導くよう設定された1つ以上の光学部品と；検出器と組み合わされた電子プロセッサとを含む装置を特徴とする。電子プロセッサは、i) 試験データは、干渉計からの試験データ、試験対象物上での試験光の様々な入射角、試験光の様々な波長、および試験表面上での試験光の様々な方位角に関する試験対象物からの試験光の反射に関する情報を含み、様々な波長および入射角での試験データと関連する位相関係を満たし、位相関係が干渉計に対する試験対象物の位置に依存する、干渉計からの試験データを取得し；ii) 試験データを1つ以上モデルデータセットと比較して、各モデルデータが対応するモデル対象物の光の反射の特徴を明らかにして、位相関係を満たす適合するモデルデータセットを選択するステップ；ならびにiii) 選択されたモデルデータセットに対応するモデル試験対象物に基づいて試験対象物の1つ以上の解像限界以下の特徴に関する情報を測定すべく設定されている。本装置の実施形態は、他の実施態様の1つ以上の特徴を含んでもよい。

30

40

【0074】

実施形態は、上述の多様な実施形態に見いだされるあらゆる特徴または特性を含むこともできる。

本明細書において使用されるように、「光」および「光学的」の用語は、可視的な電磁放射のみを意味するものではなく、このような用語は、むしろ紫外線、可視光、近赤外線、および赤外線スペクトル領域内のあらゆる電磁放射を含む。

【0075】

他に規定されない限りは、本明細書で用いられる全ての技術的および科学的用語は、本開示が属する技術分野の当業者によって一般的に理解されているものと同じ意味を持つ。参照によって組み込まれたいずれかの文献と対立する場合には、本開示が統制する。

50

【 0 0 7 6 】

他の特徴は、以下の詳細な説明において述べられる。

異なる図における類似した参照番号は、共通の要素を表す。

ここで、様々な実施態様および特徴をまとめる。

【 0 0 7 7 】

図1は、それぞれが参照によって本明細書に組み込まれる、ザビエル、コロナ、デ、レガら (Xavier Colonna de Lega et al.) による米国特許出願公開第2006-0158659号(A1)明細書、「INTERFEROMETER FOR DETERMINING CHARACTERISTICS OF AN OBJECT SURFACE」、ザビエル、コロナ、デ、レガら (Xavier Colonna de Lega et al.) による米国特許第2006-0158658号(A)明細書、「INTERFEROMETER WITH MULTIPLE MODES OF OPERATION FOR DETERMINING CHARACTERISTICS OF AN OBJECT SURFACE」、およびザビエル、コロナ、デ、レガら (Xavier Colonna de Lega et al.) による米国特許第2006-0158657号明細書、「A INTERFEROMETER FOR DETERMINING CHARACTERISTICS OF AN OBJECT SURFACE, INCLUDING PROCESSING AND CALIBRATION」に記載のタイプの干渉計システム100の概略図である。

10

【 0 0 7 8 】

空間的に広範囲にわたる光源102は、中継光学部品108および110ならびにビーム・スプリッタ112を介して、入射光104を干渉対物レンズ106に導く。中継光学部品108および110は、入射光104を空間的に広範囲にわたる光源102から開口絞り115および干渉対物レンズ106の対応する瞳面114に(点線で描かれた周辺光線116および実線で描かれた主光線117により示されているように)結像させる。

20

【 0 0 7 9 】

図1の実施形態において、干渉対物レンズ106は、対物レンズ118、ビーム・スプリッタ120、および参照表面122を含むミロー(Mirau)型である。ビーム・スプリッタ120は、入射光104を、試験対象物126の試験表面124に導かれた試験光122、および参照表面122から反射する参照光128に分ける。対物レンズ118は、試験光および参照光を試験表面および参照表面にそれぞれ集束させる。参照表面122を支持する参照光学部品130は、焦点が合った参照光のみ反射するようにコーティングされており、ビーム・スプリッタ120によって分割される前に入射光の大部分が参照光学部品を通過する。

30

【 0 0 8 0 】

試験表面および参照表面から反射した後、試験光および参照光はビーム・スプリッタ120によって再合成され、ビーム・スプリッタ112および中継レンズ136により伝えられ電子検出器134(例えば、多素子CCDまたはCMOS検出器)上に光学的干渉パターンを形成する、合成光132を形成する。検出器全体を通じた光学的干渉パターンの強度プロファイルは、検出器の様々な素子によって測定され、電子プロセッサ(図示せず)に蓄えられて分析される。試験表面が検出器に結像される従来のプロファイリング干渉計と異なり、本実施形態では、中継レンズ136(例えば、ペルトランレンズが瞳面114上の様々な点を、検出器134上の対応する点に(この場合も上述と同様に、点線で描かれた周辺光線116および実線で描かれた主光線117により示されているように)結像する。

40

【 0 0 8 1 】

瞳面114を照射する各光源点は、試験表面124を照射する試験光122に対して平らな波面を作るため、瞳面114における光源点の放射状の配置が対象物の法線に対するこの照射束の入射角を画定する。従って、対物レンズ118が試験光122を試験表面124に集束させることにより、光軸から所定の距離に位置する全ての光源点は一定の入射

50

角に対応する。中継光学部品 108 および 110 の間に位置する視野絞り 138 は、試験光 122 によって照射される試験表面 124 の面積を規定する。試験表面および参照表面から反射した後、合成光 132 は対物レンズの瞳面 114 での光源の二次像を形成する。瞳面上の合成光は、次に、中継レンズ 136 により検出器 134 上に再結像されることから、検出器 134 の異なる素子が、試験表面 124 上の試験光 122 の異なる照射角に対応する。

【0082】

一部の実施形態では、偏光素子 140、142、144、および 146 が任意で備えられ、試験表面および参照表面それぞれに導かれる試験光および参照光の偏光状態、ならびに検出器に導かれる試験光および参照光の合成光を規定する。実施形態によっては、各偏光素子は、偏光子（例えば、直線偏光子）、遅延板（例えば、半波長もしくは四半波長遅延板）、または入射ビームの偏光状態に影響する同様の光学部品であってもよい。さらに、一部の実施形態では、1つ以上の偏光素子が存在しなくてもよい。一部の実施形態では、これらの素子は調節可能であり、例えば、回転マウント上に取り付けられており、さらにシステムの電子制御下で電動化されている。また、実施形態によっては、ビーム・スプリッタ 112 は偏光ビーム・スプリッタまたは無偏光ビーム・スプリッタであってもよい。一般的に、偏光素子 140、142、および/または 146 が存在することから、試験光 122 の試験表面 124 での偏光状態は、瞳面 114 における光の方位角の位置の関数であってもよい。

【0083】

現在述べられている実施形態では、光源 102 は、広帯域の波長（例えば、全幅、50 nm を超える、または好ましくは、100 nm を超える波長での半値を有する発光スペクトル）にわたって照射を与える。例えば、光源 102 は白色発光ダイオード（LED）、ハロゲン電球のフィラメント、キセノン・アーク灯などのアーク灯、または光学材料に非線形効果を用いて非常に広帯域の光源スペクトル（> 200 nm）を発生させる、いわゆるスーパーコンティニューム光源であってもよい。広帯域の波長は、一定範囲のコヒーレンス長に相当する。

【0084】

従来の走査型干渉計のように、並進ステージ 150 は、試験光および参照光の間の相対的な光路長を調節し、各検出器素子に光学的干渉計シグナルを生成する。例えば、図 1 の実施形態では、並進ステージ 150 は、試験表面および干渉対物レンズの間の距離を調節するために、干渉対物レンズ 106 に連結されている、圧電性トランスデューサーであり、それによって検出器での試験光および参照光の間の相対的な光路長を変化させる。光学的干渉計シグナルは、コンピューター 151 により記録され、処理される。

【0085】

図 2 は、並進ステージ 150 が試験光および参照光の間の相対的な光路長を変化させた場合に検出器 134 の検出器素子 202 によって測定される、典型的な干渉計シグナル 201 を示す。干渉計シグナル 201 は、光源のコヒーレンス長に相当するコントラスト包絡線によって調節される。一部の実施形態では、参照表面は、対物レンズ 118 に対する焦点にある試験表面の位置が試験光および参照光の間のゼロ光路長差に相当するように、干渉計内に置かれる。従って、最大コントラストは一般的に、試験表面が干渉対物レンズに対してこの焦点位置にある場合に観察される。測定は、コントラスト包絡線が検出器 134 で測定される一連の強度パターン内に捉えられるように、並進ステージ 150 をコヒーレンス長より広い範囲にわたって走査することによって行われる。

【0086】

各検出器素子で測定される干渉計シグナルは、検出器 134 および並進ステージ 150 の両方と電気的に連結されている、電子プロセッサによって分析される。現在、述べられている実施形態では、電子プロセッサは、例えばフーリエ変換または高速フーリエ変換を用いて、干渉計シグナルを周波数ドメインに変換し、光源の様々な波長要素について、位相 202 および振幅 203 の情報を抽出する。多くの個別スペクトル要素をこの方法によ

10

20

30

40

50

り計算することができるよう、光源スペクトルは広帯域であることが好ましい。振幅および位相データは、試験対象物に関する情報を測定するために分析することができる、試験表面の複素反射率に直接関連する。一部の実施形態では、電子プロセッサは、参照ミラーの反射率および干渉計の他の光学的特性に関する測定値を補正するための、別の較正からの情報を用いる。干渉計システム100の配列のため、電子検出器134の各検出器素子は、特定の入射角および偏光状態（偏光素子140、142、144、および/または146の方向に照らして）について、光源102により発生する様々な波長で反射率の測定値をもたらす。したがって、検出器素子の集合は、入射角、偏光状態、波長の範囲に及び、未知の光学的構造を適切に特性評価する機器の能力を増大させる。

【0087】

図3は、上述の手法を用いて測定される、実験的に導かれた複素反射率の典型的なプロットを示す。複素反射係数は、この場合は、シリコン基材上の675nmの厚さの二酸化ケイ素単分子層についての方位角の関数として、選択された入射角（43度）および選択された波長（576nm）についてプロットされている。上の曲線は複素反射率の実成分であり、下の曲線は虚数成分である。

【0088】

図4は、特性評価過程について説明するフローチャートである。上述のように、コンピューターは、複数の検出器素子それぞれについて干渉強度シグナルを記録する。次に、異なる検出器素子それぞれの走査位置の関数として、干渉強度シグナルを保存した後、コンピューターは、変換（フーリエ変換または高速フーリエ変換）を行って、シグナルの周波数ドメイン・スペクトルを生成する。スペクトルは、照射光の特定の入射角および偏光状態について、光源102により発生する様々な波長における複素反射率情報を含む。

【0089】

別のステップでは、コンピューターは、表面特徴の範囲および干渉計のモデルについて、干渉データ（例えば、周波数ドメイン・スペクトル）の理論予測ライブラリを生成する。代替の方法として、予測ライブラリは、試料アーティファクトを用いて経験的に生成されてもよい。別の代替の方法として、ライブラリは、未知の表面パラメーターの数を減らすために、例えば、偏光計などの他の機器により提供される、対象物表面の事前の補足測定値からの情報、およびユーザーからの対象物表面の既知の特性に関するその他の情報を用いることもできる。補足測定値で補強されているライブラリ作成、理論モデリング、経験的データ、または理論に関するこれらの手法は、いずれもライブラリ作成の一環として、またはライブラリ検索中にリアルタイムで中間値を生成して補間することにより展開されてもよい。

【0090】

光学部品の適切な物理的モデルは、光源の部分干渉性、干渉計における偏光混合、高NA対物レンズの結像特性、および高照射角および不連続な表面特徴の存在下での電場ベクトルの相互作用を考慮すると、非常に複雑である可能性がある。

【0091】

例えば、所定の構造からの干渉計のシグナルを厳密に予測するためには、その構造についてのマクスウェル方程式を解く必要がある。白色光干渉法は、照明の帯域幅の範囲にわたる十分に密度が高い一連の波長を必要とする。2Dでマクスウェル方程式を解くには数多くの方法がある。2Dにおいて特に単純な方法の1つは、レイリー（Rayleigh）仮説に基づいている。この方法では、構造は薄い積層膜として扱われるが、特定のトポグラフィーを有する積層膜における各層の間に界面を有する。レイリー仮説は、各層内では電磁場は上向きおよび下向きに伝播する平面波に拡大することもできること、ならびに解は電磁場が界面で標準的境界条件を満足するように係数を選択することにより生成することもできることを述べている。この方法は、実施が容易であり、比較的速く、一度の計算で一波長および一偏光についての表面の完全な光学的伝達関数または散乱行列を生成する。限界は、この方法は、界面と接する層において各界面のトポグラフィーが、概略で波長の半分未満の範囲に及ぶ場合のみに有効な解を生成することである。すなわち、ケイ素

10

20

30

40

50

のような屈折率が高い材料は、可視光線でのトポグラフィーを、100nmをはるかに下回るように制限する。

【0092】

3Dモデリング手法としては、有限差分時間領域(FDTD)法、有限要素法および厳密結合波解析(RCWA)法などが挙げられる。例えば、エム、ジー、モハラムおよびティー、ケー、ゲイロード(M. G. Moharam and T. K. Gaylord)によるDiffraction analysis of dielectric surface-relief gratings、J. Opt. Soc. Am.、第72巻、1385~1392ページ(1982年)、およびエム、トチェック(M. Totzeck)、Numerical simulation of high-NA quantitative polarization microscopy and corresponding near-fields、Optik、第112巻、381~390ページ(2001年)などを参照されたい。また、シュトゥットガルト大学の技術光学研究所(Institute of Technical Optics)(ITO)は、エム、トチェック(M. Totzeck)の研究に基づいて、RCWAを行うための、Microsimと呼ばれるソフトウェアを開発している。この手法は、必要メモリおよびランタイムの両方を適度に保つために、しばしば少量に、すなわち一辺がわずかな波長に限定されるものの、強力である。それにもかかわらず、一部の実施形態では、このような手法は適切なライブラリの生成に先だって用いることもできるために、ライブラリを生成するために費やされる多大な計算時間は、本明細書で開示される手法のインプロセス利用を妨げない。

10

20

【0093】

次のステップでは、実験データは、例えばライブラリ検索などの方法によって、予測ライブラリと比較される。例えば、一部の実施形態では、ライブラリは、可視光線で従来の顕微鏡では分解されなかった回折格子についての予測シグナルを含む。ライブラリは、一連のピッチ、深さ、および薄膜構造を持つ構造についての予測シグナルを含む。

【0094】

別の実施例では、半導体テストパターンなど、さらに複雑な特徴を測定するための実施形態において、期待されているシグナルは、例えば、RCWAまたは関連の一般化されたマクスウェル方程式の解法を用いてモデル化される。ライブラリは、構造の考え得る形状要因の範囲にわたる予測シグナルを含む。

30

【0095】

分析は、理論モデルには含まれていない恐れがある、システム波面エラー、散乱、および効率などのパラメーターを測定するために、例えば、既知の表面構造および表面トポグラフィーを有する1つ以上の参照アーティファクトの計測などを含む、システム評価を含んでもよい。

【0096】

さらに分析は、例えば、ライブラリ検索によって決定される薄膜の厚さなどの測定される表面のパラメーターと、例えば、偏光解析によって個別に測定されるようなこれらのパラメーターの値の間の相関関係を測定するために、例えば、1つ以上の参照アーティファクトの測定を含む、全体的な較正を含んでもよい。

40

【0097】

実験データの予測ライブラリに対する比較に基づいて、コンピューターは、最良合致に相当する表面モデルを特定する。次いでコンピューターは、表面構造情報(例えば、ピッチ、深さ、薄膜構造、または形状要因)をユーザーまたは更なる解析もしくはデータ保存のためにホストシステムに表示(例えば、数字として、もしくは画像として)または送信してもよい。一部の事例では、結果をさらに向上させるために、ライブラリ検索およびデータ収集が反復して行われてもよい。

【0098】

上述のように、干渉計シグナルのデータ処理の間に、コンピューターは干渉計シグナル

50

に対してフーリエ変換などの変換を行う。理論に制約されることを望まないのであれば、個別の瞳位置で測定された干渉シグナルへのフーリエ変換の適用は、入射角、波長、および方位角位置の関数、すなわち

【 0 0 9 9 】

【 数 2 】

$$Z(\alpha, \lambda, \theta) = I(\alpha, \lambda, \theta) \exp\left(-i \frac{4\pi}{\lambda} h \cos \alpha\right) R(\alpha, \lambda, \theta) \quad (1)$$

10

であって、式中、 h は干渉データの回収に用いられる OPD スキャン内の対象物表面の位置を表す未知の高さである関数として測定されるスペクトル成分をもたらす。式 (1) に示されている関係の数学的形式は、その内容全体が参照によって本明細書に組み込まれる、2006年1月19日出願の米国特許出願公開第2006-0158659号(A1)明細書に提示されている。米国特許出願公開第2006-0158659号(A1)明細書に述べられているように、 $I(\alpha, \lambda, \theta)$ は対象物に依存しない、干渉計の瞳にわたる位相および強度の変化を記述する複素数値関数である。この関数は、効果的に干渉計および光学システムの固有の属性を明らかにする。最後に、複素数値関数 $R(\alpha, \lambda, \theta)$ は、干渉シグナルに対する対象物表面の寄与を表す。例えば、瞳の面において照射光が直線的に偏光されているシステム、および結像区間に平行分析器が設置されているシステム

20

では、この関数は対象物が等方でパターン化されていない積層膜である場合に以下の形をとる：すなわち、

【 0 1 0 0 】

【 数 3 】

$$R(\alpha, \lambda, \theta) = \cos(\theta)^2 r_p(\alpha, \lambda) - \sin(\theta)^2 \tau(\alpha, \lambda) r_s(\alpha, \lambda) \quad (2)$$

であって、式中、 r_p 、 r_s は積層膜のフレネル反射係数であり、 τ は偏光子軸に対して測定される方位角であり、 $\tau(\alpha, \lambda)$ は偏光計の関連する属性をとらえる複素数値関数である。

30

【 0 1 0 1 】

散乱構造の事例では、関数 $R(\alpha, \lambda, \theta)$ は必ずしも解析形式を持たず、その数値は、最終的には、例えば RCWA コードなどを用いてモデル化されなければならないであろう。我々は、モデルパラメータ（例えば、薄膜の厚さ、光学的特性、構造形状など）のリストが変数 M によって表される、上述のモデル関数である $R(\alpha, \lambda, \theta, M)$ を示す。これらは、事実上、測定過程の最終結果である。

【 0 1 0 2 】

米国特許出願公開第2006-0158659号(A1)明細書に述べられるように、既知の試料を用いるシステムの特性評価過程を用いて $I(\alpha, \lambda, \theta)$ および $R(\alpha, \lambda, \theta)$ の推定値を与えてもよい。特性評価される試料の測定は、理論的に数式 (1) に示される形をとる実験データを与える。試料の特性評価および測定の間で光源のスペクトル分布および平均光源レベルに変化がないと仮定すれば、新しい量を導くことができる：すなわち、

40

【 0 1 0 3 】

【数4】

$$z(\alpha, \lambda, \theta) = \frac{Z(\alpha, \lambda, \theta)}{I(\alpha, \lambda, \theta) \exp\left(-i \frac{4\pi}{\lambda} h_0 \cos \alpha\right)} = \exp\left(i \frac{4\pi}{\lambda} \Delta h \cos \alpha\right) R(\alpha, \lambda, \theta) \quad (3)$$

であり、式中、 h はシステムの特性格評価に用いられる試料の未知の高さおよび測定試料の未知の高さに関連する未知の高さの値である。

【0104】

10

所定の測定について、腫で収集されたデータを所定の対 (α, λ) に対する方位角位置の範囲をとらえるデータリングのセットにグループ化することが可能である。各リングは、他と個別に処理されてもよい。例えば、振幅の測定値である $Z(\alpha, \lambda, \theta)$ は、未知量の振幅 $R(\alpha, \lambda, \theta)$ と等しい。同様に、様々な方位角位置のリング要素の割合は、ここでは h と無関係である振幅比および位相差の両方を与える。従って、我々は以下の関係を有する：すなわち、

【0105】

【数5】

$$\begin{aligned} |z(\alpha, \lambda, \theta)| &= |R(\alpha, \lambda, \theta)| \\ \arg\left(\frac{z(\alpha, \lambda, \theta_1)}{z(\alpha, \lambda, \theta_2)}\right) &= \arg\left(\frac{R(\alpha, \lambda, \theta_1)}{R(\alpha, \lambda, \theta_2)}\right) \end{aligned} \quad (4)$$

20

であり、式中、 $\arg(\cdot)$ 関数は、複素数の引数を返す。

【0106】

これらの条件は、 $R(\alpha, \lambda, \theta)$ の値の計算およびこれらの値を実験データ $Z(\alpha, \lambda, \theta)$ に適合させるために用いられる、モデルのパラメーター M を絞り込む最適化処理の基礎を形成することができる。例えば、数式(2)が有効である特定の事例では、上述

30

の条件は以下の式となる：

【0107】

【数6】

$$\begin{aligned} |z(\alpha, \lambda, \theta = 0)| &= |rp(\alpha, \lambda)| \\ |z(\alpha, \lambda, \theta = \frac{\pi}{2})| &= |\tau(\alpha, \lambda)| |rs(\alpha, \lambda)| \\ -\frac{z(\alpha, \lambda, \theta = 0)}{\tau(\alpha, \lambda) z(\alpha, \lambda, \theta = \frac{\pi}{2})} &= \frac{rp(\alpha, \lambda)}{rs(\alpha, \lambda)} = \tan \psi \exp i \Delta \end{aligned} \quad (5)$$

40

この事例では、実験リングデータは偏光パラメーター ψ および Δ 、ならびに複素反射係数の振幅の推定値を与える。実際には、これらのパラメーターは、特定の方位角位置のみを用いる代わりにリングデータ全体にモデル関数をフィッティングすることにより有利に測定することができることに留意されたい。

【0108】

これまでに示したスキームは、対象物構造のモデルのパラメーターの最適化を可能にする。この過程は、例えば、以下の式：すなわち、

【0109】

【数 7】

$$\chi^2(M, \varphi) = \sum_i \frac{1}{\sigma_i^2} |z(\alpha_i, \lambda_i, \theta_i) - R(\alpha_i, \lambda_i, \theta_i, M) \exp(i\varphi(\alpha_i, \lambda_i))|^2 \quad (6)$$

であり、式中、 $z(\alpha_i, \lambda_i, \theta_i)$ は所定の測定点 $Z(\alpha_i, \lambda_i, \theta_i)$ に関連した不確実性の標準偏差であり、式中、 $R(\alpha_i, \lambda_i, \theta_i, M)$ はデータの各リングに対して個別に、効果的に最適化されている任意の位相の補正值である式のメリット関数を最小化することで、複数のリング（例えば、複数の波長および入射角）に同時に適用することもできる。

10

【0110】

一部の実施形態では、さらなる情報を最適化過程に適用することもできる。実際に、データ収集のための干渉計の使用は、データの様々なリング間の全体的な位相関係を作成する。この関係は、以下の数式として表現することができる：

【0111】

【数 8】

$$4\pi\Delta h = \frac{\lambda_i}{\cos \alpha_i} \arg \left(\frac{z(\alpha_i, \lambda_i, \theta_i)}{R(\alpha_i, \lambda_i, \theta_i)} \right) = \dots = \frac{\lambda_i}{\cos \alpha_i} \arg \left(\frac{z(\alpha_i, \lambda_i, \theta_i)}{R(\alpha_i, \lambda_i, \theta_i)} \right) \quad (7)$$

20

言い換えると、全体的な位相関係を使用して、数式(4)に表現されている関係を別の方法で満足させるモデルデータを微分し、実験データに対して比較されるモデルデータを制約することができる。従って、全体的な位相関係を用いるモデルデータおよび試験データの比較は、数式(4)の関係のみを用いる、より着実かつ正確な結果をもたらすこともできる。

【0112】

実施形態において、数式(4)によって規定されるリング特異的な条件および数式(7)によって規定される全体的な位相条件の合成は、例えば、次の形のメリット関数：

【0113】

【数 9】

$$\chi^2(M, \Delta h) = \sum_i \frac{1}{\sigma_i^2} \left| z(\alpha_i, \lambda_i, \theta_i) - R(\alpha_i, \lambda_i, \theta_i, M) \exp \left(i \frac{4\pi}{\lambda_i} \Delta h \cos \alpha_i \right) \right|^2 \quad (8)$$

であり、式中、 Δh はここでは単一のスカラー値である関数を規定することにより、達成することもできる。分解されていない散乱構造の特性評価に用いられる場合、反射率計、偏光解析装置、または偏光計などの光学ツールについては、異なる波長または入射角での測定値の間に数式(7)に相当する関係はない。

40

【0114】

一部の実施形態では、上述の方法は、光源の光レベルまたはスペクトル分布がシステム特性評価時点と未知の試料の実際の測定の間で変化した事例に拡張することもできる。最も単純なモデルは、照明光レベルが不均一に変化し、波長、入射角、方位角位置などとは独立であると仮定することにある。光源の照射レベルを調節するための所定のシステムに用いられるメカニズムによっては、例えば光源強度によるスペクトルの変化を考慮する、より複雑なモデルが必要とされる恐れもある。より一般的な事例は、リングを基盤として光レベルを最適化する自由を与えることができる。

【0115】

図5は、ライブラリ検索手法を用いるデータ処理の例を示す。瞳像における特定の半径

50

位置によって規定される単一入射角についての方位角分解シグナル501が、考え得る特徴構造の定義の範囲に及ぶ予測シグナル502と、例えば、最小二乗手法を用いて、比較される。この比較は、実験データの最良適合503を決定するために、理論推測値に対して、ひいては形状および寸法の特定の特徴に対して、入射角および波長の範囲（図示されず）にわたって反復される。最良合致の場合、ライブラリのエントリーは、測定される表面構造の様々なパラメーター（例えば、ピッチ（Pitch）、深さ（Depth）、テーパーなど）について推測値を与える。2つの寸法パラメーター空間が示されているが、パラメーター空間は、一般的に、より高次元を持つこともできる。

【0116】

図6aは、可視光線で従来の顕微鏡では分解されなかった回折格子601のピッチ、深さ、薄膜構造を決定するための、上述の手法の利用を示す。測定される表面構造は、基材604上の、アルミニウム層603上のMgF₂層602を備える格子で構成される。格子は、公称ピッチ278nmおよび公称の深さ45nmを備える。一連の薄膜の厚さ、格子のピッチおよび格子の深さを備える格子構造に関するエントリーを含む、予測シグナルのライブラリが提供される。

【0117】

最適合致を見つけるために、実験的な複素反射率データは、上述のようにライブラリ検索を用いて予測された数値に対して比較される。図7は、照射光の3つの異なる波長および入射角での、実験データの最適合致ライブラリのエントリーに対する比較を示す。最適合致エントリーは、公称値と一致するピッチ278nmおよび深さ45nmを備える格子に合致している。従って、この構造の回折特性は、格子の寸法の正確な決定を導く明確なシグナルをもたらす。

【0118】

半導体テストパターンなど、さらに複雑な特徴については、期待されているシグナルをモデリングする1つの方法は、RCWAまたは関連の一般化されたマクスウェル方程式の解法である。一部の実施形態では、モデリング計算は、図解されているようにモデル構造の層への「スライシング」を伴ってもよい。図6bは、シャロートレンチアイソレーション（STI）法によって形成された典型的な表面構造のためのモデル700を示す。構造は、層701に分けられる。各層の形状は1つ以上の形状要因により特性評価されてもよい。実験値の予測値に対する最良合致を得るために、この構造についての形状要因を変化させることで、望ましい表面構造の測定値を導く。例えば、一連の形状要因についての予測値のライブラリが用意されてもよく、また上述のように、ライブラリ検索を用いて最適合致が決定されてもよい。

【0119】

図8を参照すると、干渉計システム100は、試験表面についての反射率情報を測定する上述の偏光解析装置（または反射率計）モードから、例えば、試験表面のトポグラフィを測定するプロファイリングモードに切り換えることもできる。これは、例えば、中継レンズ136を（瞳面を検出器に結像するのではなく、）試験表面を検出器に結像する別のレンズ236に置き換えることによって達成することもできる。この設定では、検出器134の異なる素子における干渉シグナルは、試験表面124上の異なる点に相当する。この設定は、表面プロファイリングのための従来の走査型干渉計に相当する。

【0120】

図9は、干渉計システム100内の種々のコンポーネントが電子プロセッサ970の制御下でどのように自動化され得るかを示す概略図を示し、現在述べられている実施形態では、電子プロセッサ970は、数学的分析を実行する分析プロセッサ972、干渉計システムにおいて種々のコンポーネントを制御する装置コントローラ974、ユーザーインタフェース976（例えば、キーボードおよびディスプレイ）、ならびに較正情報、データファイル、試料モデルおよび/または自動化されたプロトコルを保存する記憶媒体978を含んでもよい。

【0121】

10

20

30

40

50

まずシステムは、複数の対物レンズ 9 1 2 を支持する電動タレット 9 1 0 を含んでもよく、また入射光 1 0 4 の経路に選択された対物レンズを導入するよう設定されている。1 つ以上の対物レンズは、異なる干渉対象レンズが異なる倍率を備える、干渉対物レンズであってもよい。また、特定の実施形態では、1 つ（または 1 つ以上の）の干渉対物レンズは、レンズに付属する偏光素子 1 4 6（例えば、直線偏光子）を備えることによって、偏光解析または反射率測定動作モードに特に設定されてもよい。残りの干渉対物レンズは、プロファイリングモードで用いられてもよく、特定の実施形態では（例えば、ビーム・スプリッタ 1 1 2 が偏光ビーム・スプリッタであり、偏光素子 1 4 2 が四半波長遅延版である、上述の実施形態について）、偏光素子 1 4 6 を除外して光の効率を増大させることもできる。さらに、1 つ以上の対物レンズは、システム 1 0 0 が試験表面の可視光画像の取得のために従来型顕微鏡モードで動作することもできるように、それぞれが異なる倍率の非偏光対物レンズ（すなわち、参照区間がないレンズ）であってもよい（この場合、中継レンズは試験表面を検出器に結像するよう取り付けられる）。タレット 9 1 0 は、ユーザーの入力または一部の自動化されたプロトコルに従って望ましい対物レンズを選択する、電子プロセッサ 9 7 0 の制御下にある。

10

【 0 1 2 2 】

次に、システムは、中継レンズ 1 3 6 および 2 3 6 を支持し、瞳面 1 1 4 が検出器に結像される第 1 のモード（例えば、反射計モード）および試験表面が検出器に結像される第 2 のモード（例えば、プロファイリングまたは顕微鏡モード）間を選択するために、一方のレンズを合成光 1 3 2 の経路に選択的に配置する、電動ステージ 9 2 0（例えば、チューブ・レンズホルダー）を備える。電動ステージ 9 2 0 は、電子プロセッサ 9 7 0 の制御下であり、ユーザーの入力または一部の自動化されたプロトコルに従って望ましい中継レンズを選択する。第 1 および第 2 のモードを切り換えるために並進ステージが検出器の位置を調節すべく移動される別の実施形態では、並進は電子プロセッサの制御下にある。また、2 つの検出チャンネルを備える実施形態では、分析のために各検出器が電子プロセッサ 9 7 0 に連結されている。

20

【 0 1 2 3 】

さらに、システムは、電子プロセッサ 9 7 0 の制御下にある電動絞り 9 3 0 および 9 3 2 を備え、視野絞り 1 3 8 および開口絞り 1 1 5 の寸法をそれぞれ制御することもできる。この場合も先と同様に、電動絞りはユーザーの入力または一部の自動化されたプロトコルに従って望ましい設定を選択するために、電子プロセッサ 9 7 0 の制御下にある。

30

【 0 1 2 4 】

また、干渉計の試験区間および参照区間の間の相対的な光路長を変化させるために用いられる並進ステージ 1 5 0 は、電子プロセッサ 9 7 0 の制御下にある。上述のように、並進ステージは、試験対象物 1 2 6 を支持するためのマウント 9 4 0 に対して相対的に干渉対物レンズの位置を調節するために連結されてもよい。あるいは、さらなる実施形態では、並進ステージは、全体としてマウントに対して相対的に干渉計システムの位置を調節することもでき、または並進ステージは、マウントが光路長差を変化させるよう動くように、マウントに連結されてもよい。

40

【 0 1 2 5 】

さらに、やはり電子プロセッサ 9 7 0 の制御下にある側方並進ステージ 9 5 0 は、光学検査中の試料表面の領域を側方に並進させるために、試験対象物を支持するマウント 9 4 0 に連結されてもよい。特定の実施形態では、並進ステージ 9 5 0 は、試験表面の垂線を干渉対物レンズの光軸と一直線になるように、マウント 9 4 0（例えば、傾斜および偏向を与える）の方向を合わせてもよい。

【 0 1 2 6 】

最後に、やはり電子プロセッサ 9 7 0 の制御下にある対象物ハンドリング・ステーション 9 6 0 は、測定のためのシステム 1 0 0 への試料の自動導入および除去を行うために、マウント 9 4 0 に連結されてもよい。例えば、当技術分野において周知の自動化ウエハハンドリング・システムをこの目的のために用いてもよい。また、必要であれば、システム

50

100 および対象物ハンドリング・システムは、試験対象物の汚染を最小限にするために、真空またはクリーンルーム条件下に格納されてもよい。

【0127】

この結果として得られるシステムは、様々な測定モダリティおよび処理を提供するための多大な柔軟性をもたらす。例えば、システムは、まず、対象物の様々な側面位置についての試験対象物の可視光画像を得るために、1つ以上の選択された倍率を備える顕微鏡モードに設定されてもよい。このような画像は、対象物における一定の領域（例えば、特定の構造または特徴、目印、基準マーカ、欠陥など）を特定するために、ユーザーにより、または（マシン・ビジョン手法を用いる）電子プロセッサ970により分析されてもよい。このような識別に基づいて、試料の選択された領域を、偏光解析モードで観察して、試料特性（例えば、屈折率、下層膜の厚さ、解像限界以下の表面構造など）を測定してもよい。

10

【0128】

それに応じて、電子プロセッサは、ステージ920には中継レンズを偏向解析測定モードに設定されているレンズに切り換えさせ、さらに電動タレット910には入射光の経路に適切な干渉対物レンズを導入させる。偏向解析測定の精度を向上させるために、電子プロセッサは、対象物の狭い、横方向に均一な領域を分離するために、視野絞りのサイズを電動絞り930を介して縮小することもできる。偏向解析特性評価の完了後、電子プロセッサ970は、適切な倍率の干渉対物レンズを選択し、視野絞りのサイズを調節して、適宜機器をプロファイリングモードに切り換えてもよい。上述のように、プロファイリングモードは、例えば、対象物を構成する1つ以上の界面のトポグラフィーの再構築を可能にする、干渉シグナルをとらえる。特に、以下に更なる詳細な記述の通り、偏向解析測定モードで測定される様々な材料の分解されていない表面特徴および/または光学的特性の知見は、薄膜の計算されたトポグラフィーまたは、プロファイルを歪曲させかねない異種材料の影響の補正を可能にする。例えば、上記に参照によって組み込まれた、「PROFILING COMPLEX SURFACE STRUCTURES USING SCANNING INTERFEROMETRY」と題し、また特許文献2として公開された、米国特許出願第10/795,579号明細書；上記に参照によって組み込まれた、ザビエル、コロナ、デ、レガら（Xavier Colonna de Lega et al.）による「INTERFEROMETER WITH MULTIPLE MODES OF OPERATION FOR DETERMINING CHARACTERISTICS OF AN OBJECT SURFACE」と題する、米国特許出願第2006-0158658号明細書；および上記に参照によって組み込まれた、2006年9月21日出願のピーター、デ、グルートら（Peter de Groot et al.）による米国特許出願第11/525,355号明細書、「INTERFEROMETER AND METHOD FOR MEASURING CHARACTERISTICS OF OPTICALLY UNRESOLVED SURFACE FEATURES」を参照されたい。望まれる場合には、任意の様々なモードでの測定を向上させるために、電子プロセッサは開口絞りの開口径を電動絞り932を介して調節することもできる。

20

30

40

【0129】

自動化された対象物ハンドリング・システム960を併用する場合、測定過程は一連の試料について自動的に反復されてもよい。これは、1つ以上の半導体処理ステップのモニター、テスト、および/または最適化などの様々なプロセス制御スキームに有用である。

【0130】

例えば、システムは、半導体処理においてツール個別のモニターまたはプロセスフロー自体の制御に用いてもよい。プロセス監視用途では、対応するプロセスツールにより、単/多層膜が成長し、沈着し、研磨され、またはパターンを施していないSiウエハ（モニターウエハ）上でエンチング除去が施され、続いて、厚さ、解像限界以下の特徴、および/または光学的特性が、本明細書で開示されている干渉計システムを用いて（例えば、偏

50

向解析測定モード、プロファイリングモード、または両方を用いて)測定される。関連したプロセスツールが目標規格で動作しているか、または目標を変更、調節、もしくは製造用途から除外すべきかどうかを判定するために、ウエハ内の均一性だけでなく、これらのモニターウエハの厚さ(および/または光学的特性)の平均が用いられている。

【0131】

プロセス制御用途では、対応するプロセスツールにより、単/多層膜が成長し、沈着し、研磨され、またはパターン化Siウエハ(モニターウエハ)上にエンチング除去が施された後、続いて、厚さおよび/または光学的特性が本明細書に開示されている干渉計システムにより(例えば、偏向解析測定モード、プロファイリングモード、または両方を用いて)測定される。プロセス制御に用いられる生産測定は、一般的に小さい測定部位および測定ツールを興味のある試料領域に位置を調整する能力を含む。この部位は、多層膜(それ自体がパターン化される場合もある)で構成されてもよく、従って、関連する物理的パラメータを抽出するためには複素数学的モデルを必要とする。プロセス制御測定は、統合プロセスフローの安定性を判定し、統合プロセスを継続するか、または目標を変更すべきか、別の装置に変更すべきか、もしくは完全に中断するかどうかを決定する。

10

【0132】

具体的には、例えば、以下の機器、すなわち拡散、高速熱アニール、化学気相堆積ツール(低圧および高圧の両方)、誘電体エッチング、化学機械研磨、プラズマ蒸着、プラズマエッチング、リソグラフィトラック、およびリソグラフィ曝露ツールのモニターに本明細書に開示されている干渉計システムを用いてもよい。さらに、以下の過程、すなわち、トレンチアイソレーションおよびトランジスタ形成、ならびに層間絶縁体形成(デュアルダマシンなど)の制御に本明細書に開示されている干渉計システムを用いてもよい。

20

【0133】

干渉計システム100の強力な特徴の1つは、様々な測定モードで試験対象物に関する情報を迅速かつ自動的に収集することが可能であるだけでなく、1つの動作モードで測定された情報を、例えば、その動作モードにおける測定の速度および/または精度の向上に用いることもできる点である。

【0134】

図10は、偏光解析モードで測定された情報がプロファイリングモードの性能向上に用いられている、干渉計システムの実施形態の動作の流れ図を示す。第1のステップでは、上述の手法を用いて、試験対象物から複素反射データを取得するために、干渉計システムは偏光解析(反射率測定)モードで動作する。次に、このデータは、例えば上述のようにライブラリ検索を用いて、試験対象物の複数のモデルに基づく理論予測値と比較する。最良合致が決定し、最良合致に対応する表面構造情報が出力される。この情報は、例えば、薄膜構造、表面粗度、および/または解像限界以下の特徴に関連する様々なパラメータを含んでもよい。

30

【0135】

表面構造情報は、次に、プロファイリングモードで利用する干渉計データの理論的予測値を規定するために用いる。例えば、一部の実施形態では、理論予測値は表面構造情報に基づいて計算され、プロファイリングモードで利用するライブラリを生成する。一部の実施形態では、予測値のライブラリは既に計算されており、表面構造情報は、試験対象物のモデルに基づいて、取得された表面構造情報と不適合であるエントリを排除することによって、ライブラリの範囲を限定するために用いられている。一部の実施形態では、予測値のライブラリは既に計算されており、表面構造情報を用いて理論的予測値を修正または改良する。一部の実施形態は、これらの方法を併用している。

40

【0136】

次のステップでは、システムはプロファイリングモードに切り換えられ、上述の手法を用いて干渉計データが取得される。このデータは、偏光解析モードで測定された表面構造情報を用いて与えられた理論的予測値と、例えば、ライブラリ検索を用いて比較される。最良合致が決定し、表面プロファイル情報が出力される。

50

【0137】

例えば、解像限界以下の表面特徴（すなわち、干渉顕微鏡の空間分解能よりも小さい外側面特徴）などの複雑な表面構造は、フリンジ・コントラスト包絡線におけるピーク位置の特定、または周波数ドメインの位相プロファイルについての傾斜の計算に基づく従来の表面プロファイリング手法で間違いを生じる可能性がある。しかし、複雑な表面構造を特性評価した後、表面の高さは効率的に測定され得る。例えば、プロファイリングモードで取得された走査型干渉計シグナルと、偏光解析モードで測定された分解されていない特徴に対応する1つ以上のモデルシグナルの比較は、表面の高さの正確な測定を実現することができる。例えば、参照によって本明細書に組み込まれる、2006年9月21日出願のピーター、デ、グルートら（Peter de Groot et al.）による米国特許出願第11/525,355号明細書、「INTERFEROMETER AND METHOD FOR MEASURING CHARACTERISTICS OF OPTICALLY UNRESOLVED SURFACE FEATURES」に述べられているように、プロファイリングモードで取得された走査型干渉計シグナルと、試験対象物の複雑で分解されていない表面構造に対応する形状を備えるモデルシグナルの比較により、表面の高さに対して正確に一致する走査座標にピークを生成することができる。モデルシグナルの精度は、偏光解析モードで測定された表面構造の分解されていない特徴に関する情報に基づいて改善されてもよい。同様に、表面構造データは、薄膜構造および/またはエッチングの深さなどの、プロファイリングモードで行われる別のタイプの測定を改善するために用いてもよい。

10

20

【0138】

別の実施例としては、偏光解析動作モードにおいて、システムは、対象物（例えば、半導体ウエハ上の誘電体領域で隔てられた銅線）上の異なる位置に存在する様々な材料の、解像限界以下の表面特徴を含む光学的特性を測定することができる。ザビエル、コロナ、デ、レガラ（Xavier Colonna de Lega et al.）による、米国特許出願第2006-0158658号明細書、「INTERFEROMETER WITH MULTIPLE MODES OF OPERATION FOR DETERMINING CHARACTERISTICS OF AN OBJECT SURFACE」に詳細に述べられているように、これらの特性は一度分かると、例えば、光が対象物表面に反射することによって生じた反射光における位相変化の計算が可能になる。一般的に、これらの位相変化は材料に依存し、トポグラフィー測定に影響する。例えば、銅領域は誘電体領域に対して実際よりも低くみえる可能性がある。しかし、偏光解析モードで測定される材料に依存する位相変化の知見は、真の表面トポグラフィーを得るための、電子プロセッサによるトポグラフィーマップの修正を可能にする。

30

【0139】

同様に、周波数ドメインにおいて、表面構造の解像限界以下の特徴に起因するモデル化された位相の寄与が周波数ドメインの位相プロファイルから差し引かれてもよく、また表面の高さが従来のFDA分析を用いて抽出されてもよい。上述の手法を用いて偏光解析モードで測定される解像限界以下の表面特徴に関連する情報は、位相の寄与をさらに正確にモデル化するために用いてもよい。

40

【0140】

別の実施例としては、ザビエル、コロナ、デ、レガラ（Xavier Colonna de Lega et al.）による、米国特許出願第2006-0158658号明細書、「INTERFEROMETER WITH MULTIPLE MODES OF OPERATION FOR DETERMINING CHARACTERISTICS OF AN OBJECT SURFACE」に述べられるように、特定の条件下（例えば、特定の波長または入射角）において表面プロファイリングモードで取得される干渉計データは、試験対象物の表面構造の解像限界以下の特徴に対して高感度を示す。一部の実施形態では、偏光解析モードで測定する情報表面構造情報を用いて、プロファイリングモードにおいてシステムの特性を調節し、高感度のための条件が満たされて

50

いることを裏付けてもよい。

【0141】

図11は、プロファイリングモードで測定した情報が偏光解析（反射率測定）モードの性能向上に用いる、干渉計システムの実施形態の動作の流れ図を示す。第1のステップでは、上述の手法を用いて試験対象物から干渉計データを取得するために、干渉計システムはプロファイリングモードで動作する。次に、表面プロファイル情報が干渉計データに基づいて測定される。例えば、一部の実施形態では、データは、例えば上述のようにライブラリ検索を用いて、試験対象物の複数のモデルに基づく理論予測値と比較される。最良合致が決定し、最良合致に対応する表面構造情報が出力される。この情報は、例えば、表面トポロジー、薄膜構造、解像限界以下の特徴に関連する様々なパラメーターなどを含んで

10

本明細書に組み込まれる、ピーター、デ、グルートら（Peter de Groot et al.）による特許文献2、「PROFILING COMPLEX SURFACE STRUCTURES USING SCANNING INTERFEROMETRY」；参照されることにより本明細書に組み込まれる、ピーター、デ、グルートら（Peter de Groot et al.）による米国特許出願第60/452,465号明細書「PROFILING COMPLEX SURFACE STRUCTURES USING SIGNALS FROM HEIGHT SCANNING INTERFEROMETRY」；および上記に参照されることにより組み込まれる、

20

ピーター、デ、グルートら（Peter de Groot et al.）による米国特許出願第11/525,355号明細書「INTERFEROMETER AND METHOD FOR MEASURING CHARACTERISTICS OF OPTICALLY UNRESOLVED SURFACE FEATURES」などに述べられている別の方法を用いて干渉計データに基づいて測定される。

【0142】

次に、表面構造情報を用いて、偏光解析モードで利用する干渉計データの理論的予測値を規定する。例えば、一部の実施形態では、理論予測値を表面プロファイル情報に基づいて計算し、偏光解析モードで利用するライブラリを生成する。一部の実施形態では、予測値のライブラリは既に計算されており、表面プロファイル情報を用いて、試験対象物のモデルに基づいて、取得された表面プロファイル情報と適合しないエントリを排除することによって、ライブラリの範囲を限定する。一部の実施形態では、予測値のライブラリは既に計算されており、表面プロファイル情報を用いて、理論的予測値を修正または改良する。一部の実施形態では、表面プロファイル情報を用いて、偏光解析モードで測定された表面構造情報に対して直接的に修正を与える。一部の実施形態は、これらの方法を併用している。

30

【0143】

次のステップでは、システムは偏光解析モードに切り換えられ、上述の手法を用いて干渉計データが取得される。このデータは、プロファイリングモードで測定された表面プロファイル情報を用いて与えられた理論的予測値と、例えば、ライブラリ検索を用いて比較される。最良合致が決定し、表面プロファイル情報が出力される。

40

【0144】

例えば、ザビエル、コロナ、デ、レガら（Xavier Colonna de Lega et al.）による、米国特許出願第2006-0158658号明細書、「INTERFEROMETER WITH MULTIPLE MODES OF OPERATION FOR DETERMINING CHARACTERISTICS OF AN OBJECT SURFACE」に述べられているように、表面プロファイリングモードで取得された干渉計データは、試験対象物の表面構造の解像限界以下の特徴についての情報を与えることができる。この情報は、例えば、偏光解析モードで用いるモデルを生成するために、またはライブラリ検索で用いるモデルの範囲を限定するために用いてもよい。

50

【 0 1 4 5 】

別の実施例として、表面プロファイリングモードで取得された干渉計データは、例えば、薄膜構造または試験対象物上のエッチングの深さについての情報を提供することもできる。この情報は、例えば、偏光解析モードで用いるモデルの生成に、またはライブラリ検索で用いるモデルの範囲を限定するために用いてもよい。

【 0 1 4 6 】

上述の手法は、単純な薄膜（この場合、例えば、興味のある可変パラメーターは、間膜の厚さ、膜の屈折率、基材の屈折率、またはそれらのいくつかの組合せであってもよい）；多層薄膜；回折または別の方法で複雑な干渉効果を生じる鋭いエッジおよび表面特徴；分解されていない表面粗度；例えば、他の部分は平滑である表面上のサブ波長幅の溝など、分解されていない表面特徴；異種物質（例えば、表面は薄膜および固体金属の組合せを含んでもよく、この場合、ライブラリは、表面構造タイプ含んでもよく、対応する周波数ドメイン・スペクトルとの一致によって膜または固形金属を自動的に特定してもよい）；蛍光などの光学活性；色および波長依存の反射率などの表面の分光学的特性；表面の偏光依存性の特性；干渉計シグナルの摂動を引き起こす、表面または変形可能な表面特性のたわみ、振動、または運動；ならびに例えば、干渉強度データを完全に包含しないデータ取得ウィンドウなど、データ取得過程に関連するデータ歪曲など、多種多様な表面分析問題に適用されてもよい。

【 0 1 4 7 】

現在、半導体産業においては、表面構造および/またはトポグラフィーの定量的測定を行おうとすることに相当な関心が集まっている。典型的なチップの外観サイズが小さいことから、これらの測定を行うために用いられる機器は一般的に、チップ表面に対して平行および垂直の両方で高空間分解能を備えなければならない。技術者および科学者は、プロセス制御のために、また製造の進行中に生じる欠陥、特にエッチング、研磨、洗浄およびパターン形成などの過程の結果として生じる欠陥を検出するために表面構造測定システムを利用する。

【 0 1 4 8 】

プロセス制御および欠陥検出のために特に有用であることから、表面構造および/またはトポグラフィー測定システムは、典型的な表面特徴の横方向サイズに相当する方位分解能、およびに許容される最小の表面段差の高さに相当する垂直分解能を備えなければならない。一般的に、これはミクロン未満の方位分解能、および1ナノメートル未満の垂直分解能を必要とする。さもなくばチップ上に損傷を与える可能性がある力が及ぶことから、表面の変更または欠陥の取り込みを回避すべく、チップ表面への接触なしに測定することもこのようなシステムにおいて望ましい。さらに、チップ製造に用いられる多くの過程の影響は、パターン密度およびエッジ近接などの局所的な要因に大いに依存することが周知であるように、高測定処理能力、および1つまたは多数の興味のある表面特徴を含む可能性のある領域で広範囲にわたって密度高くサンプリングする能力を備えることも測定システムにおいて重要である。

【 0 1 4 9 】

チップメーカーの間では、いわゆる「デュアルダマシン銅配線」プロセスを用いてチップの異なる部品間に電気相互接続を作ることが一般になりつつある。これは、適切な表面トポグラフィーシステムを用いて効果的に特性評価が行われる可能性があるプロセスの例である。デュアルダマシンプロセスには5つの部分があると考えられる：（1）絶縁材料（ポリマー、またはガラスなど）の層がウエハ（複数の個別チップを含む）の表面上に沈着される、層間絶縁（ILD）沈着；（2）絶縁体層を研磨して精密な光リソグラフィーに適した平滑な表面を作る、化学機械研磨（CMP）；（3）ウエハ表面を平行に走る狭いトレンチおよびトレンチ底部から下層（前述）の導電層に達する小さいビアを含む複雑なネットワークが構築される、リソグラフィーパターン形成および反応性イオンエッチングのステップの組合せ；（4）トレンチおよびビアが銅で過剰充填される、金属沈着ステップの組合せ；ならびに（5）過剰な銅が除去され、絶縁材料で取り囲まれた銅が充填さ

10

20

30

40

50

れているトレンチ（およびおそらくビア）のネットワークが残る、最終化学機械研磨（CMP）ステップ。

【0150】

一般的には、トレンチ領域の銅の厚さ（すなわち、トレンチの深さ）、および取り囲んでいる絶縁体の厚さは、0.2から0.5ミクロンの範囲である。結果として生じるトレンチの幅は、100から100,000ナノメートルの範囲である可能性があり、各チップ内の銅領域は、平行線の配列などの規則的なパターンを形成する一部の領域にあり、他方の領域ははっきり見えないパターンがない場合もある。同様に、一部の領域内では、表面は銅領域で密に覆われている場合もあるが、他方の領域では、銅領域は疎らである場合もある。研磨レート、ひいては研磨後に残される銅（および絶縁体）の厚さは、研磨条件（パッドの圧力および研磨スラリー組成など）ならびに銅および取り囲んでいる絶縁体領域の局所的な細かい配置（すなわち、向き、近接性、および形状）に、大きく、複雑な挙動で依存することを十分理解することが重要である。

10

【0151】

「位置に依存する研磨レート」は、様々な側方長さスケールで、変化しやすい表面トポグラフィーを生じさせることが知られている。例えば、チップがウエハのエッジ付近に位置したということは、総じて中央近くに位置したチップよりもより急速に研磨され、エッジ近くでは所望の厚さよりも薄い、中央では所望の厚さよりも厚い銅領域を作り出すことを意味する可能性がある。これは、「ウエハスケール」のプロセス不均一性、すなわち、ウエハの直径に相当する長さスケールで生じる不均一性の例である。また、銅トレンチの密度が高い領域は、銅線密度が低い付近の領域よりも高いレートで研磨されることが知られている。これは、銅密度が高い領域で「CMP誘発性浸食」として知られる現象を引き起こす。これは「チップスケール」のプロセス不均一性、すなわち、単独チップの長さ寸法に相当する（また時には、それよりはるかに短い）長さスケールで生じる不均一性の例である。「ディッシング」として知られる別の種類のチップスケール不均一性は、銅で充填されている単独のトレンチ領域内に生じる（取り囲んでいる絶縁材料よりも高い割合で研磨される傾向がある）。幅が数ミクロンを超えるトレンチについては、ディッシングの影響を受けた線は後に過剰な電気抵抗を示し、チップの不具合を引き起こし、重大な問題になる可能性がある。

20

【0152】

CMP誘発性のウエハおよびチップスケールのプロセス不均一性は、予測が本質的に困難であり、CMPプロセスシステムの発展において、長い間、条件変更の対象である。あらゆる不均一性が許容範囲内に収まるように保証するべく、効率的にモニターし、プロセス条件を適切に調節するためには、広範囲の様々な位置にある多数のチップ上の表面構造および/またはトポグラフィーを頻繁に非接触的に測定することがプロセス技術者にとって重要である。これは、上述の干渉分光手法の実施形態を用いることで可能である。

30

【0153】

以下に、我々は、上述の手法を用いて分析される構造の種類について、多数の実施例を記載する。一般的に構造は、表面構造の測定に用いられる光の波長よりも小さい可能性があるという特徴を含む。構造の特徴は、測定機器により光学的には分解されないが、例えば、これらの特徴形状などの特性評価に上述の分析手法を用いることもできる。

40

【0154】

図12は、例えば、上述の種類の、銅のダイヤモンド研磨の浸食測定用の試験構造を示す。試験構造は、酸化被膜1003内に銅線1001および1002の2つの群を含む。銅線の群は、異なる線の幅および線の間隔（または周期）を有する。線の幅は、表面構造の測定に用いられる光の波長よりも短い。それにもかかわらず、上述の分析手法は、例えば、異なる線の幅および間隔ならびに線のトレンチの深さの測定に用いることができる。

【0155】

図13は、例えば光リソグラフィー・ツールを用いて、サブ波長エッチングによって形成された試験構造を示す。例えば、このようなツールは、光リソグラフィー・ツールによ

50

って用いられる波長よりも小さい可能性もあるパターン化された対象物の寸法を規定する、光学近接効果補正および/または位相シフトマスクの使用に、重要な役割をもつ可能性がある。構造は、一連の線でエッチングされている積層膜 1 1 0 1 である。エッチングされた積層膜 1 1 0 1 の線の幅およびピッチは、一般的に、表面構造の測定に用いられる光の波長よりも短い可能性もある。上述の分析手法は、例えば、線の幅、ピッチ、エッチングの深さ、および積層膜の厚さなどの測定に用いることもできる。

【 0 1 5 6 】

図 1 4 は、回折光学素子 1 2 0 1 を示す。回折光学素子 1 2 0 1 は、格子の幅および高さの特徴づけられる格子構造 1 2 0 2 および 1 2 0 3 を含む。上述の分析手法は、例えば、格子の幅および高さの測定に用いることができる。

10

【 0 1 5 7 】

図 1 5 は、例えば、半導体加工ラインの最終ステップで出会う種類の、複雑に積層されている試験構造を示す。構造は、トレンチの深さ、トレンチの幅、およびトレンチの密度で特徴づけられる、一連のトレンチを備える絶縁体層を含む。酸化物層内のトレンチは、SiON の層で上部を覆われた一群の固体銅パッドの全体にわたって位置している。上述の分析手法は、トレンチの深さ、トレンチの幅、およびトレンチの密度の測定に用いることができる。

【 0 1 5 8 】

図 1 6 は、トランジスタ製造において見られる種類の、複雑な表面の試験構造 1 4 0 1 を示す。構造 1 4 0 1 は、基材上のポリシリコンのパターン形成された層を含む。パターン化された層は、上部限界寸法 $T_{c,d}$ および底部限界寸法 $B_{c,d}$ で特徴づけられる。図示されている実施例では、底部限界寸法が上部限界寸法よりも小さく、従って、例えば光学顕微鏡では不明瞭であろうことに留意されたい。また、限界寸法は数十ナノメートルのスケール上にあり、従って、一般的に測定機器では光学的に分解されないであろうことにも留意されたい。それにもかかわらず、上述の分析手法は、例えば、上部および底部の限界寸法の測定に用いることができる。

20

【 0 1 5 9 】

上述の干渉計の実施形態は、ミロー型およびリンニク (Linnik) 型の干渉対物レンズを含む。ミロー型では、干渉対物レンズ内のビーム・スプリッタは、試験光に対して光軸に沿って後ろに参照光を方向付ける。リンニク型では、(入射光に対して) ビーム・スプリッタは試験表面に対する対物レンズの前に位置し、試験光および参照光を異なる経路に沿って方向付ける。別の対物レンズを用いて、参照光を参照レンズに集束する。言い換えると、ビーム・スプリッタは入射光を試験光および参照光に分け、次いで、別々の対物レンズがそれぞれの試験表面および参照表面に試験光および参照光を集束する。理想的には、2つの対物レンズは、試験光および参照光が同様の収差および光路を有するように、互いに対応している。

30

【 0 1 6 0 】

別の実施形態では、干渉計システムは、代わりに、ビーム・スプリッタが参照光を試験光の光軸から離れて方向付ける、マイケルソン (Michelson) 対物レンズなどの別の種類の干渉対物レンズを用いることもできる (例えば、ビーム・スプリッタは、試験光および参照光が互いに正しい角度で進むように、入射光に対して 45 度で方向付けることもできる)。このような場合、参照表面は、試験光の経路外に配置されていてもよい。

40

【 0 1 6 1 】

一部の実施形態では、干渉計システムは以下の任意の特徴を含んでもよい: すなわち、高開口数 (NA) の対物レンズを備えるスペクトル的に狭帯域である光源; スペクトル的に広帯域である光源; 高 NA の対物レンズおよびスペクトル的に広帯域である光源の組合せ; 例えば、マイケルソン、ミロー、またはリンニクジオメトリーで油浸/水浸および固浸タイプを含む、干渉顕微鏡対物レンズ; 複数波長での一連の測定; 非偏光; ならびに直線偏光、円偏光、または構造化された偏光を含む、偏光。例えば、構造化された偏光は、表面特性に起因する偏光依存性の光学的効果を示すように、例えば、異なる照射部分また

50

は結像瞳に対して異なる偏光を生じる、偏光マスクを必要とする場合もある。干渉計は、上述の全体的なシステム較正を含んでもよい。

【 0 1 6 2 】

更なる干渉計設定も可能である。例えばシステムは、試験試料を経て送られる試験光を集め、次いで参照光と合成されるように設定されていてもよい。このような実施形態については、例えばシステムは、各区間にデュアル顕微鏡対物レンズを備えるマッハ・ツェンダ (Mach-Zehnder) 干渉計を提供することもできる。

【 0 1 6 3 】

干渉計における光源は、例えば、スペクトルバンドパスフィルターの有無に関わらず、ハロゲン電球または金属ハロゲンランプなどの白熱光源；広帯域レーザーダイオード；発光ダイオード；同一タイプまたは異なるタイプのいくつかの光源の組合せ；アーク灯；可視スペクトル領域の任意の光源；特に粗い表面の観察および位相プロファイリングを適用するための、IRスペクトル領域の任意の光源；ならびに、特に側方分解能を強化するために、UVスペクトル領域の任意の光源；のいずれかであってよい。広帯域用途については、光源は、平均波長の5%より広い正味スペクトルバンド幅を持つのが好ましく、または平均波長の10%、20%、30%、もしくはさらに50%より大きいスペクトルバンド幅がより好ましい。調節可能な狭帯域用途については、広範囲の波長にわたる情報を提供するためには、調節範囲は、広い（例えば、可視光については50nmより大きく、1000nmより大きく、またさらに200nmより大きい）ことが好ましいが、一方で、スペクトル幅は分解能を最適化するためにはどの特定の設定でも、例えば10nm、2nm、または1nmほどの狭いものが好ましい。光源は、光源から放出される入射光の空間的広がりを増大させるために1つ以上のディフューザー素子を含んでもよい。

【 0 1 6 4 】

一部の実施形態では、光源および干渉計は干渉対物レンズの瞳面にケーラー照射を与えるよう設定されていてもよい。別の実施形態では、瞳面の照射は、ケーラー照射以外の、例えばクリティカル照明またはネルソニアン (Nelsonian) 照射など、別のタイプの照射である。

【 0 1 6 5 】

また、並進ステージ150のような、システムの様々な並進ステージは、圧電素子、ステッピング・モーターおよび音声コイルのいずれかで駆動され；光路差の変化を導入するためには、純粋な並進による（例えば、液晶、電気光学効果、張りつめた線維、および回転波長板のいずれかを用いることにより）よりむしろ光 - 機械的または光 - 電子的に実現され；屈曲マウントをそなえる任意の駆動部；および機械的ステージ、例えばローラー・ベアリングまたは空気ベアリングを持つ任意の駆動部であってもよい。上述のように、走査干渉計シグナルの為の位相シフトは、しばしば機械的並進ステージを用いることで行われる一方で、試験区間および参照区間の間にゼロ以外の光路長差がある場合、光源の波長を変化させることによって、干渉計の試験区間および参照区間の間で位相を変化させることも可能である。

【 0 1 6 6 】

電子検出器は、多素子CCDまたはCMOS検出器など、光学干渉パターンを空間分解能で測定するための任意のタイプの検出器であってもよい。

特定の実施形態では、瞳面における光源点の位置に基づいて、試験表面でのビーム束の照射角の計算を含む、システム較正が行われる。言い換えると、我々は瞳面の像に対応する検出器の各ピクセルに、入射角を割り当てたい。これは、例えば、検出器で検出される光が基本的に単色であり既知の波長を持つように、狭帯域フィルターで測定を行うことによって達成されてもよい。この場合、干渉計シグナルの周波数は、光源の波長と入射角のコサインの積に比例する。シグナル周波数は、シグナルのフーリエ変換によって計算することができ、入射角は並進ステージの走査速度および光源の波長の知見から導くこともできる。

【 0 1 6 7 】

10

20

30

40

50

さらに、並進ステージの走査速度が最初未知である限りは、最大周波数をもつ干渉計シグナルの検出器上にピクセルを配置することで測定することもできる。入射角に依存する周波数の余弦と一致して、このピクセルは法線入射に相当し、それでステージの速度は、測定された周波数および光源の波長の知見から直接抽出することもできる。

【 0 1 6 8 】

顕微鏡対物レンズが瞳位置上の物体空間に角度をマップするその方法に関する推測的情報は、この較正の質を向上させるためにも用いることもできることに留意されたい。例えば、典型的な対物レンズはコマ収差（幾何収差）について補正され、このことは、瞳面での光線マッピングは、名目上、いわゆる「アッペ正弦条件」に従うはずであることを意味する。この条件は、瞳面での光源点の光軸からの半径方向距離が、物体空間における入射角の正弦に直接正比例することを意味する。つまり、瞳位置を入射角にマッピングする分析的関数を与えるために、各ピクセルに対する入射角を計算し、次いで、正弦条件から導かれた全体的な関数をフィットさせることができる。

10

【 0 1 6 9 】

特定の実施形態において、角度に関するマッピング色度変化が考慮されるように、上に概説した手順は様々な名目の光源波長について反復してもよい。フィッティング過程の副産物は、瞳での光軸のピクセル位置である。その情報も、波長の関数として記録され、入射角の計算の補正に適用するために、後で利用してもよい。

【 0 1 7 0 】

特定の実施形態については、較正は、上記参照によって組み込まれる、ザビエル、コロナ、デ、レガラ（Xavier Colonna de Lega et al.）による米国特許出願公開第2006-0158657号明細書、「A INTERFEROMETER FOR DETERMINING CHARACTERISTICS OF AN OBJECT SURFACE, INCLUDING PROCESSING AND CALIBRATION」に述べられているような、様々なシステムパラメータの値の計算も必要とする。

20

【 0 1 7 1 】

上述の任意のコンピューター分析方法をハードウェアもしくはソフトウェア、または両方の組合せで実行することもできる。方法は、本明細書に述べられている方法および図にしたがって、標準的なプログラミング手法を用いるコンピュータープログラムで実行することもできる。プログラムコードは、入力データに適用され、本明細書に述べられている関数を実行し、出力情報を生成する。出力情報は、表示モニターなどの1つ以上の出力機器に適用される。各プログラムは、コンピューターシステムとコミュニケーションするために、高水準手順またはオブジェクト指向プログラミング言語で実行してもよい。また一方、プログラムは、アセンブリ言語または機械語で実行してもよい。さらに、プログラムは、その目的のために予めプログラムされている専用の集積回路上で実行してもよい。

30

【 0 1 7 2 】

このような各コンピュータープログラムは、本明細書に述べられている手順を行うために、記憶媒体または機器がコンピューターによって読み取られる時に、コンピューターを設定および動作させるために、一般的な、または特別な目的でプログラム可能なコンピューターによって読み取り可能な記憶媒体または装置（例えば、ROMまたは磁気ディスク）に保存されるのが望ましい。コンピュータープログラムは、プログラム実行中にキャッシュまたは主記憶装置に存在することもできる。分析方法は、コンピュータープログラムで設定されている、コンピューター可読の記憶媒体として実行されてもよく、その際、そのように設定されている記憶媒体は、本明細書に述べられている機能を行うべく特定の予め規定された方法でコンピューターを動作させる。

40

【 0 1 7 3 】

上の具体的な記載は、干渉計システムにおいてコヒーレンスが限定されている走査型干渉計シグナルが干渉フリンジの局在を引き起こすことについて言及しているが、多くの実施形態については、このようなフリンジの局在性を持たない干渉計シグナルから複雑な表

50

面特徴についての情報を抽出することも可能である。

【0174】

例えば、フリンジの局在化を持たない試験対象物の異なる位置からの干渉計シグナルは、試験対象物についての明確な表面プロファイルを生成するために更に用いることもでき、また明確な表面プロファイルまたはそこから導き出される情報は、低コヒーレンスの走査型干渉計シグナルについて上述されたものとほぼ同一の方法で、上記の解像限界以下の特徴に関する情報を測定するために、明確な表面プロファイルにおいて分解されていないまたは不明瞭な試験対象物の外側面特徴の異なる値について予測されている反応のモデルに対して比較することもできる。上記の「高」コヒーレンスの走査型干渉計シグナルから表面プロファイル情報を抽出するための手法は、一般的に位相シフト干渉計 (PSI) アルゴリズムと呼ばれ、当該技術分野において周知である。例えば、その内容が参照によって本明細書に組み込まれる、「METHOD AND SYSTEM FOR PROFILING OBJECTS HAVING MULTIPLE REFLECTIVE SURFACES USING WAVELENGTH-TUNING PHASE-SHIFTING INTERFEROMETRY」と題する米国特許第6,359,692号明細書の背景および内容を参照されたい。このようなPSI分析のための干渉計データを生成するために、参照区間と測定区間の間の光路長差を機械的に変化させることによって、または参照区間と測定区間の間の固定されたゼロ以外の光路長差について光の波長を変化させることによって、所定のピクセルに対する干渉計シグナルを生成することもできる。

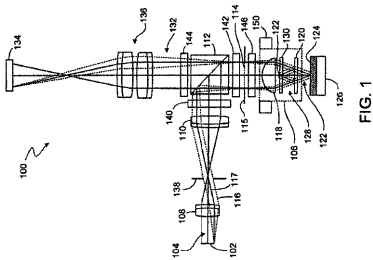
10

20

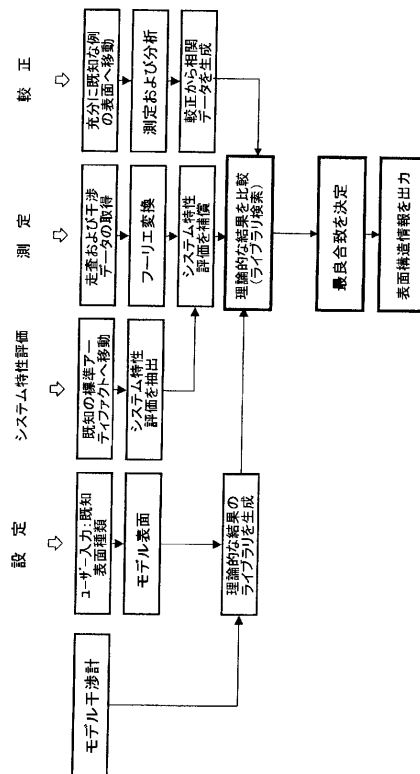
【0175】

多数の実施形態について説明した。他の実施形態は特許請求の範囲に記載する。

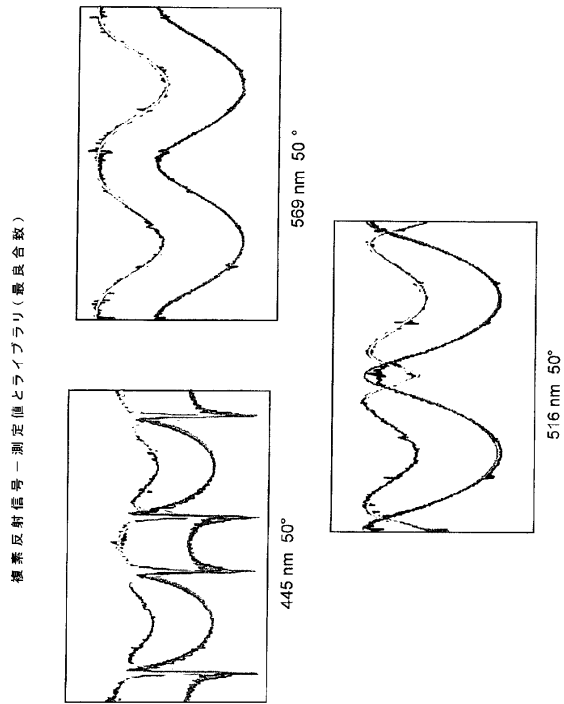
【図1】



【図4】



【図6b】



【図7】

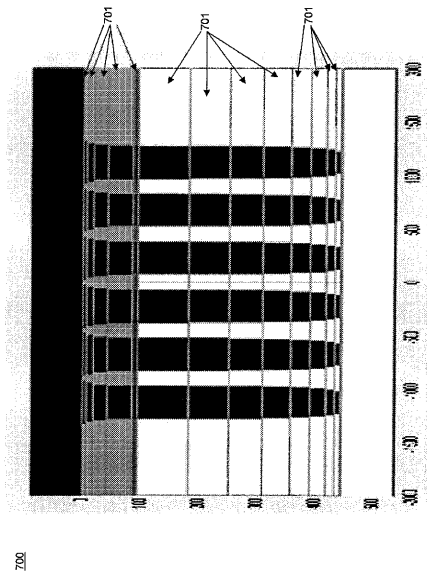


FIG. 7

【図8】

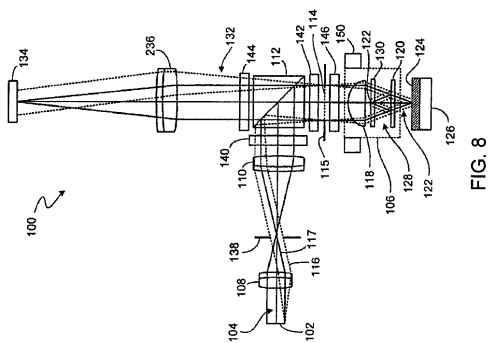
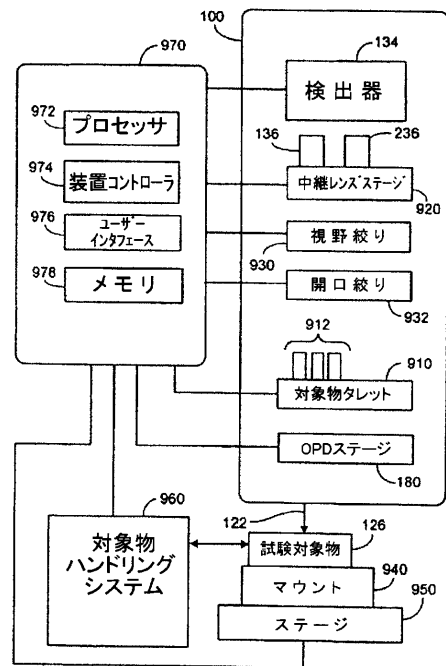
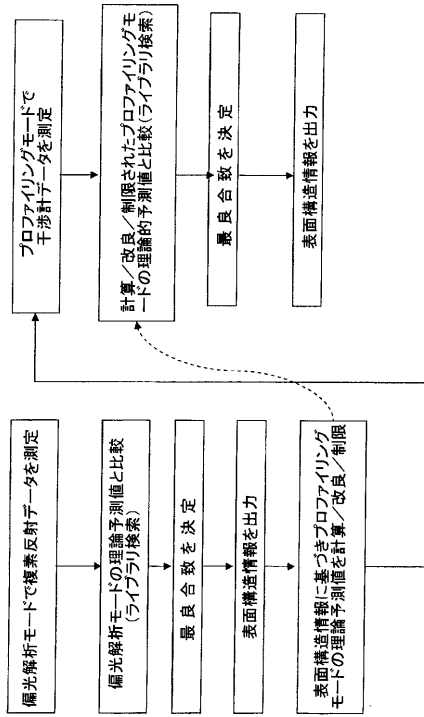


FIG. 8

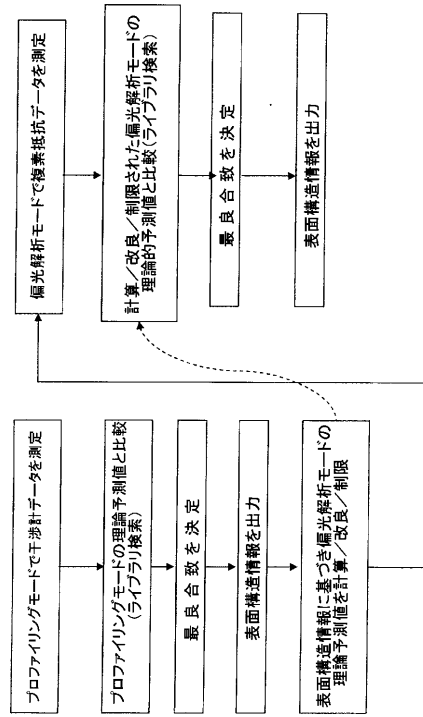
【図9】



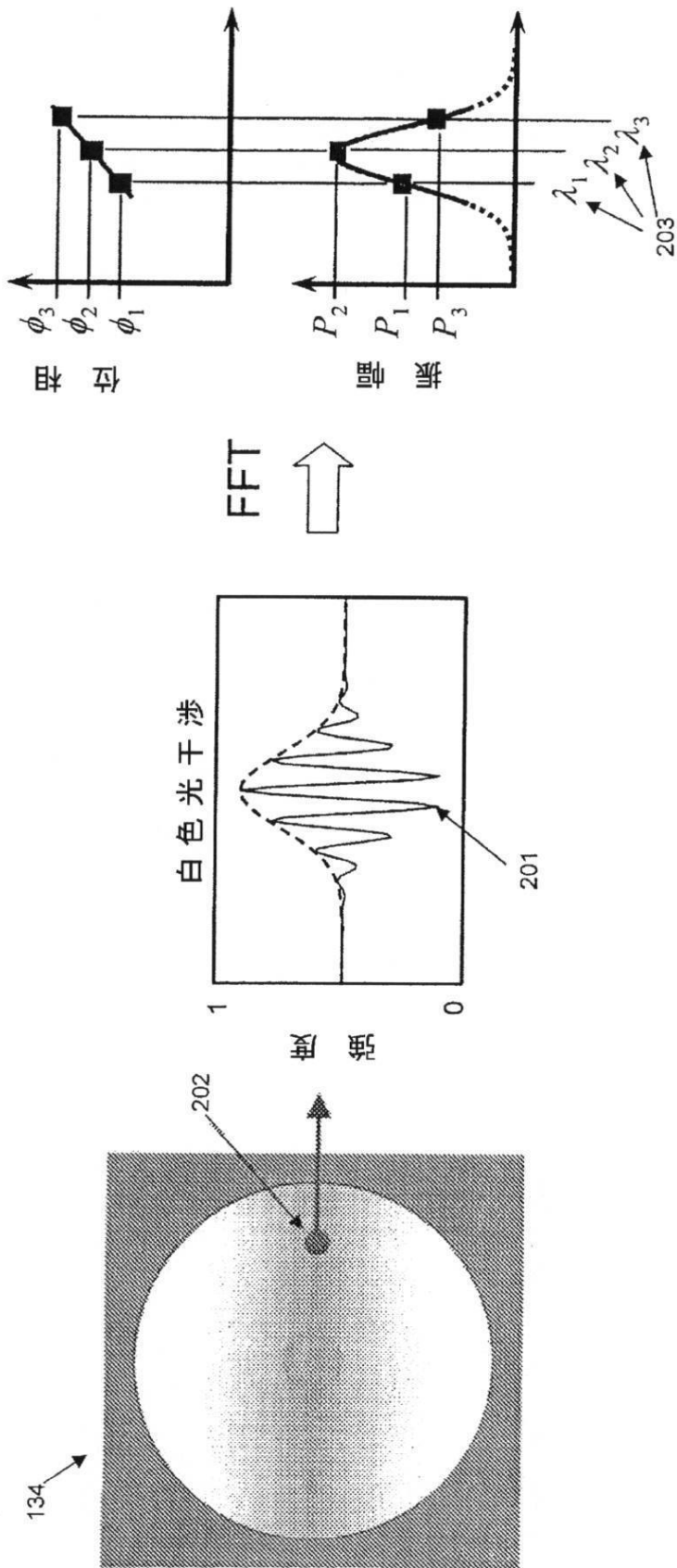
【図10】



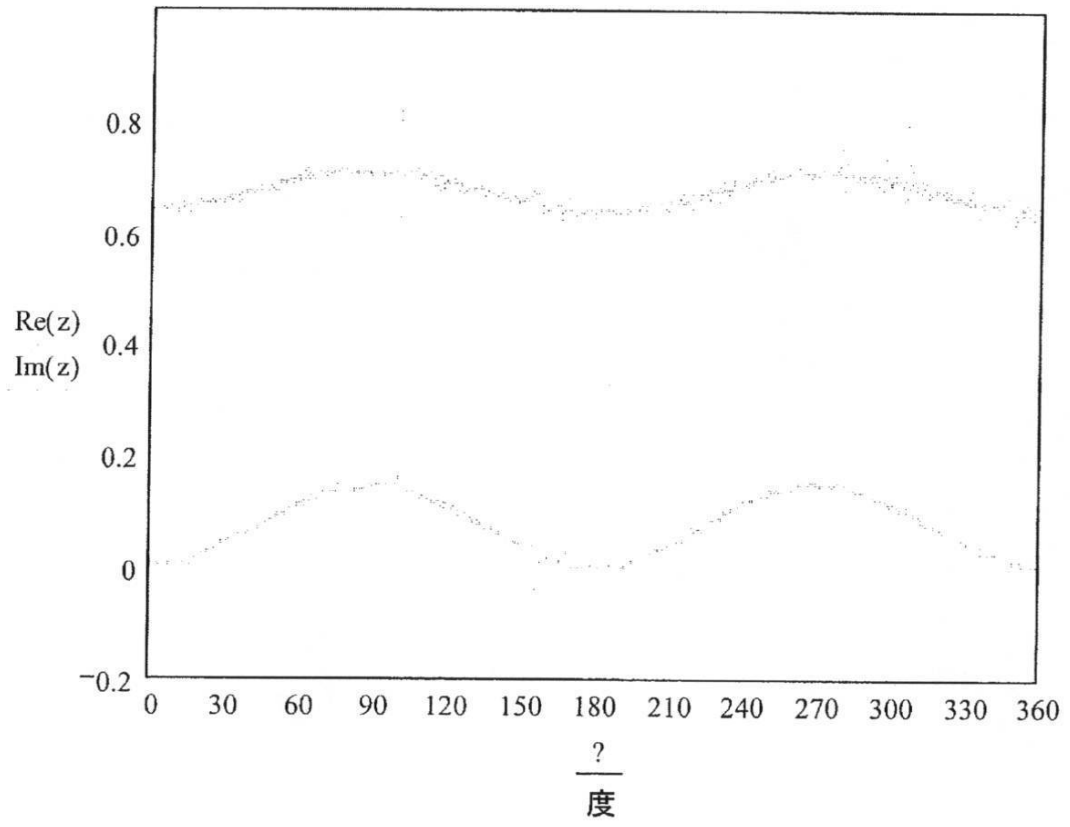
【図11】



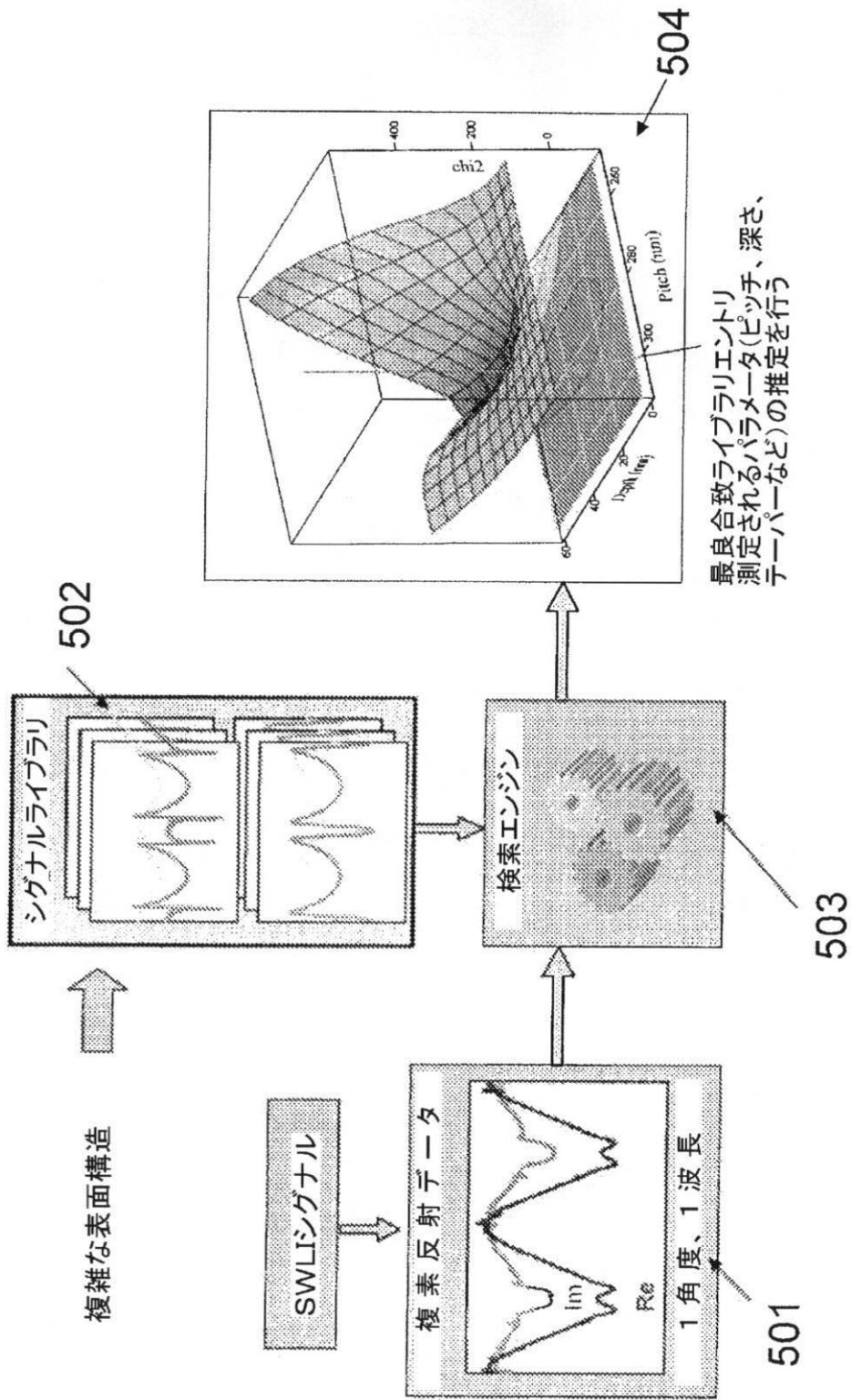
【図2】



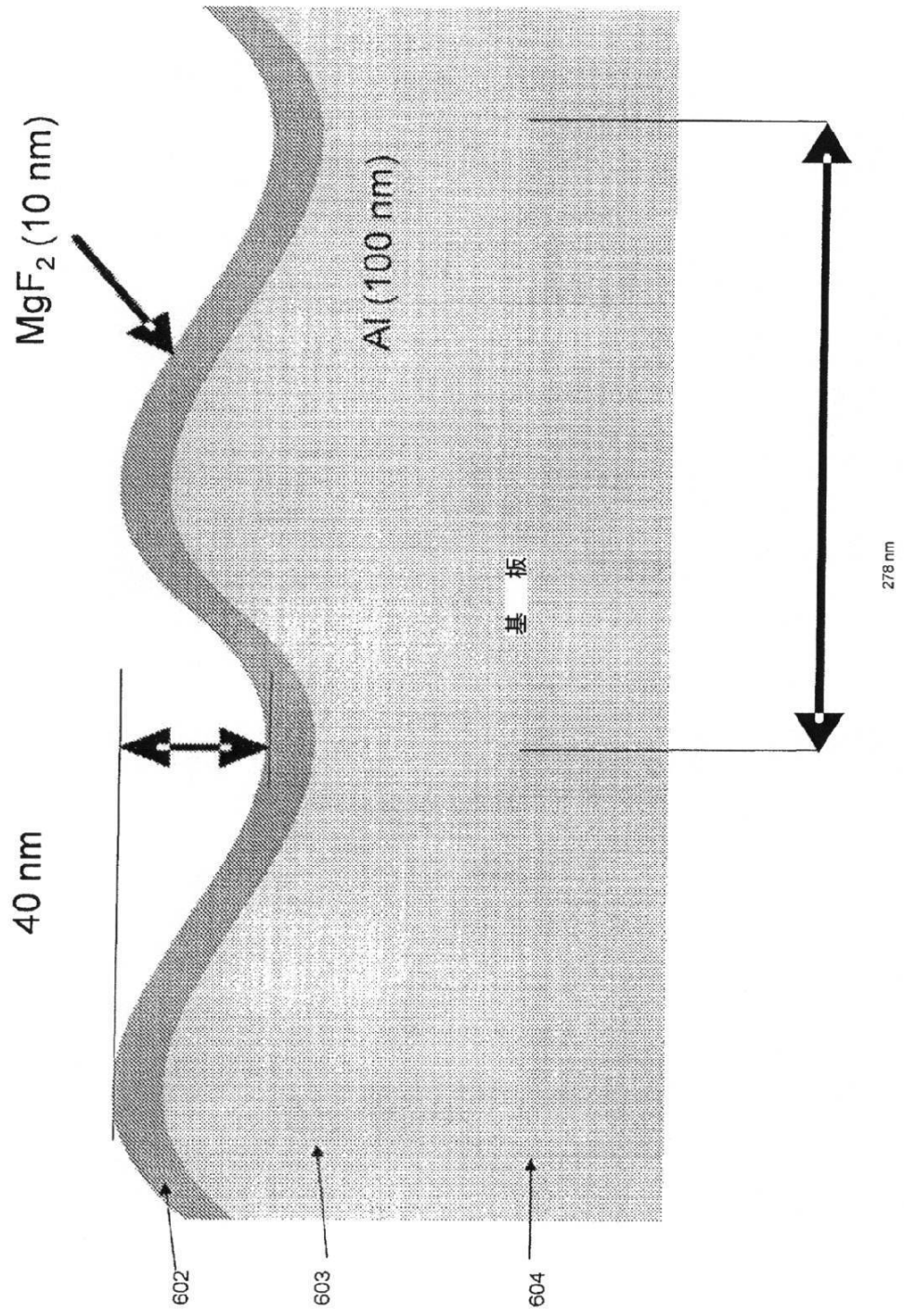
【 図 3 】



【図5】

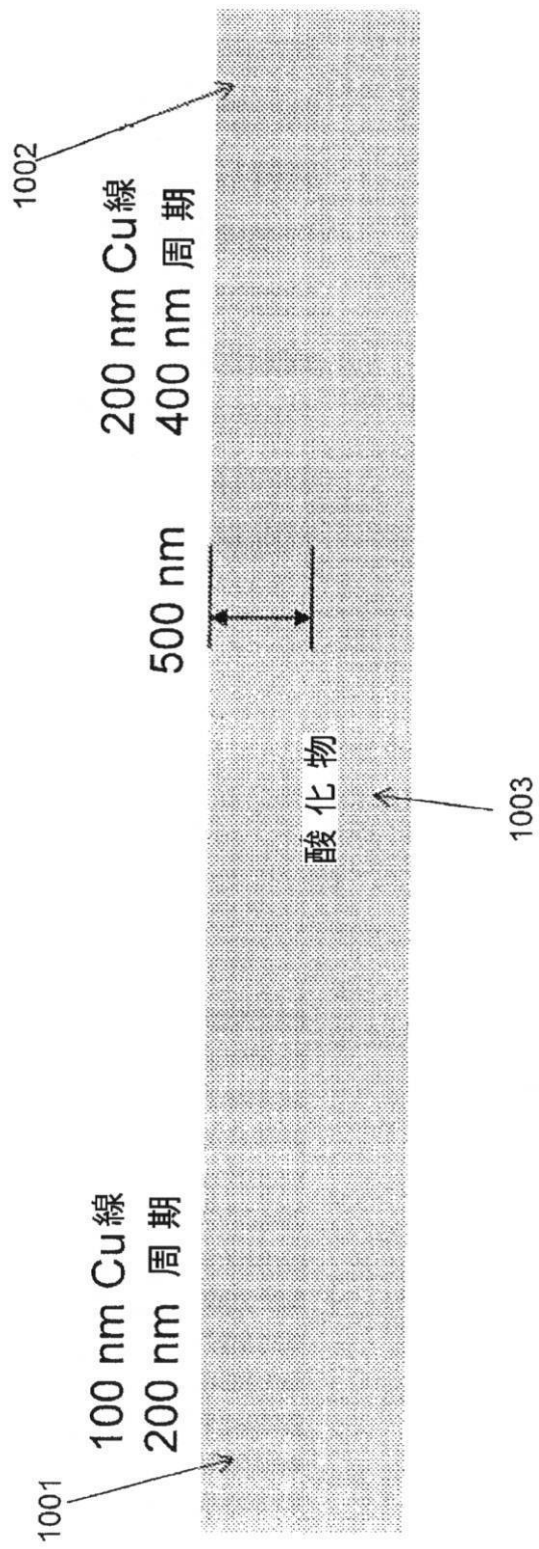


【 図 6 a 】



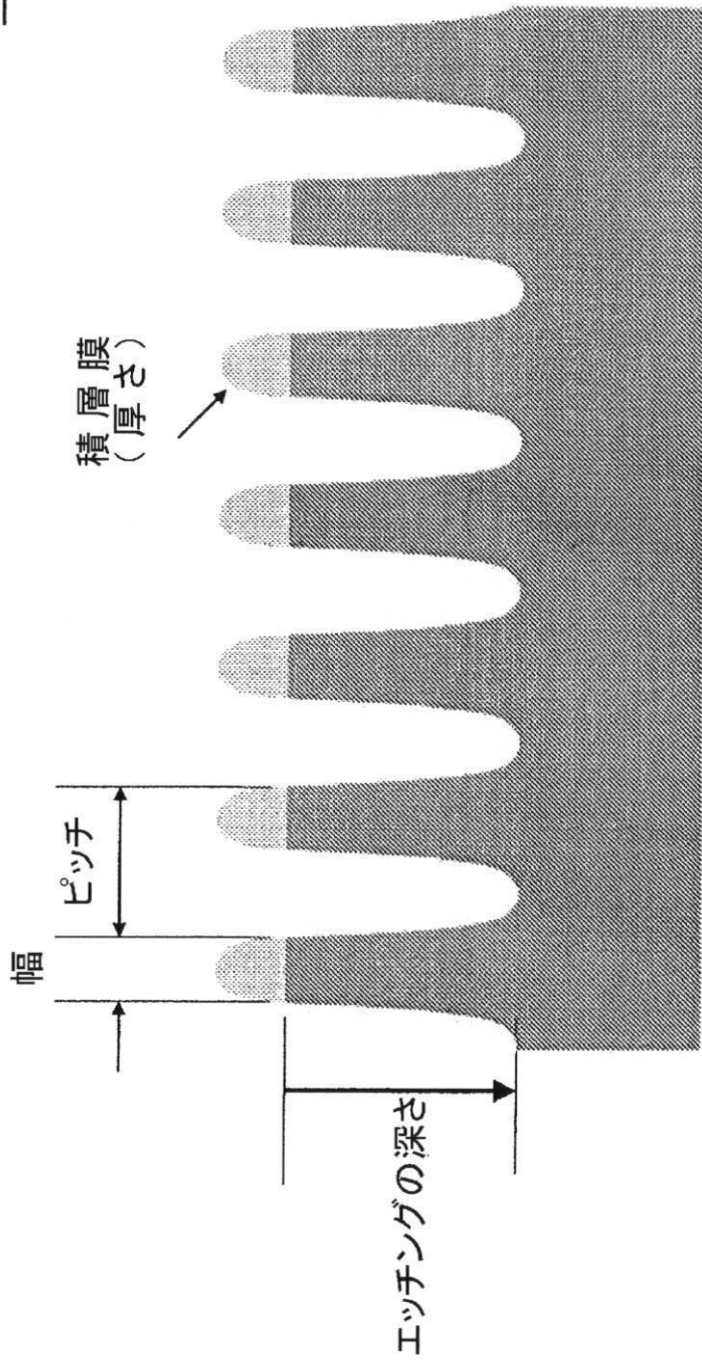
601

【 図 1 2 】



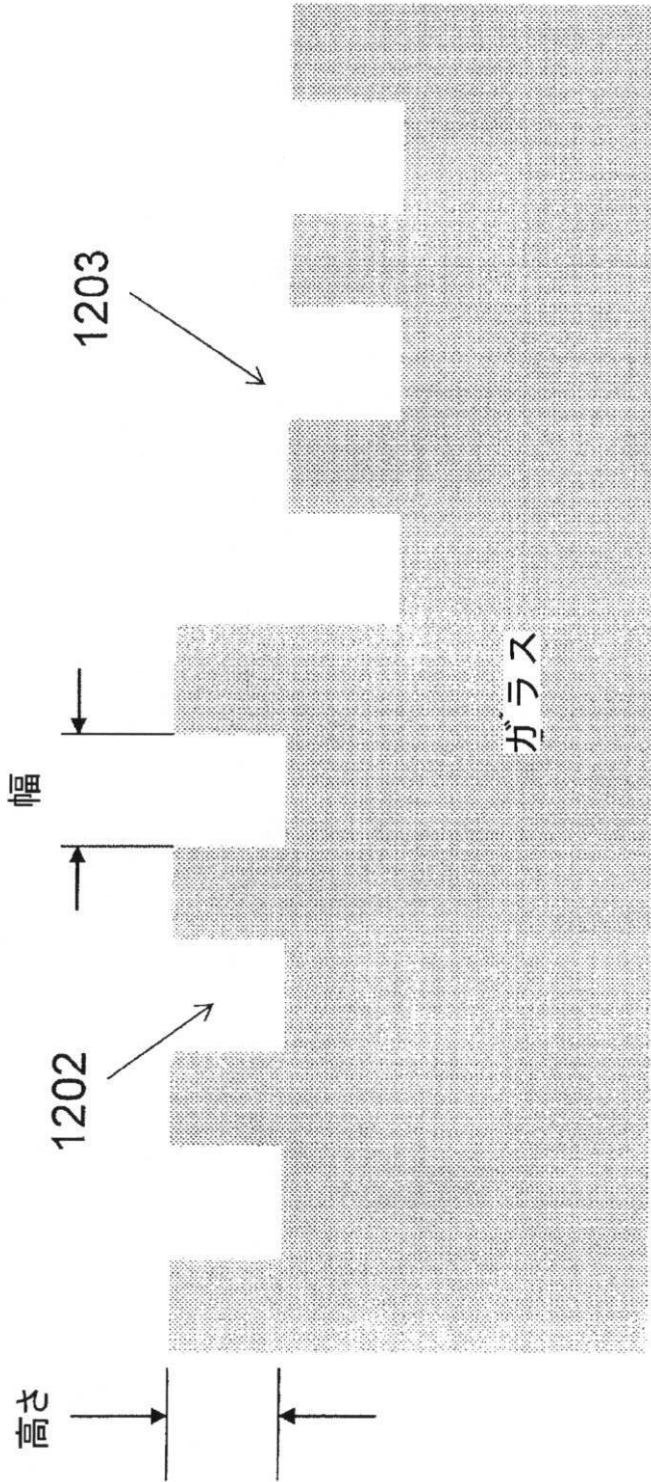
【図13】

1101

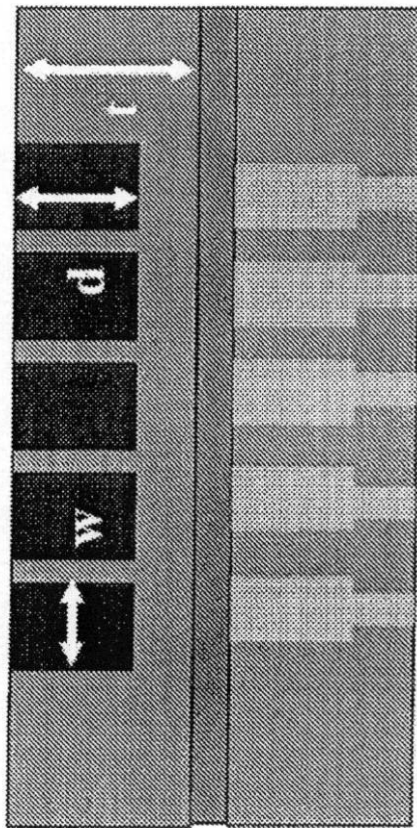


【 図 1 4 】

1201

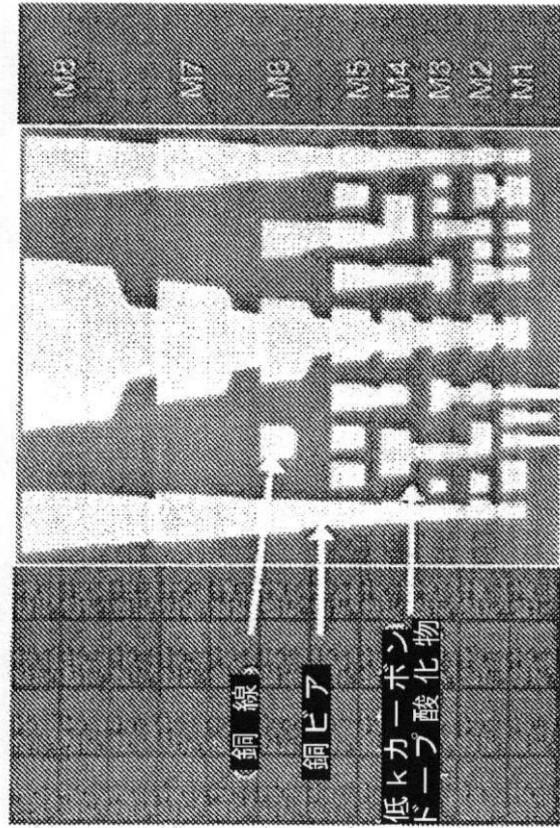


【図15】



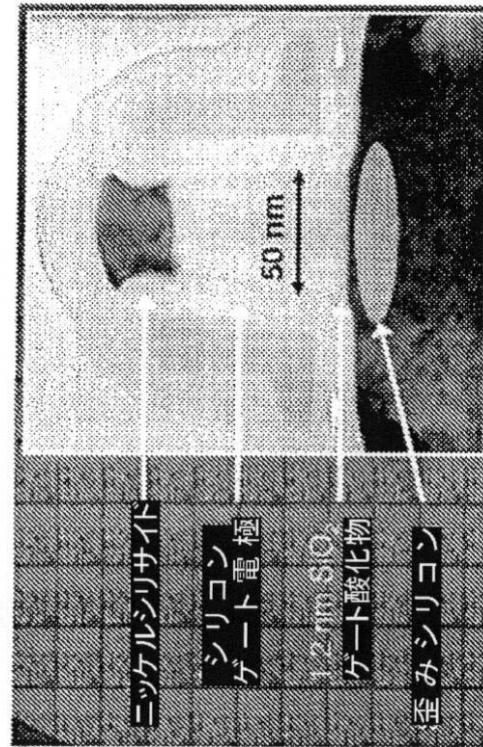
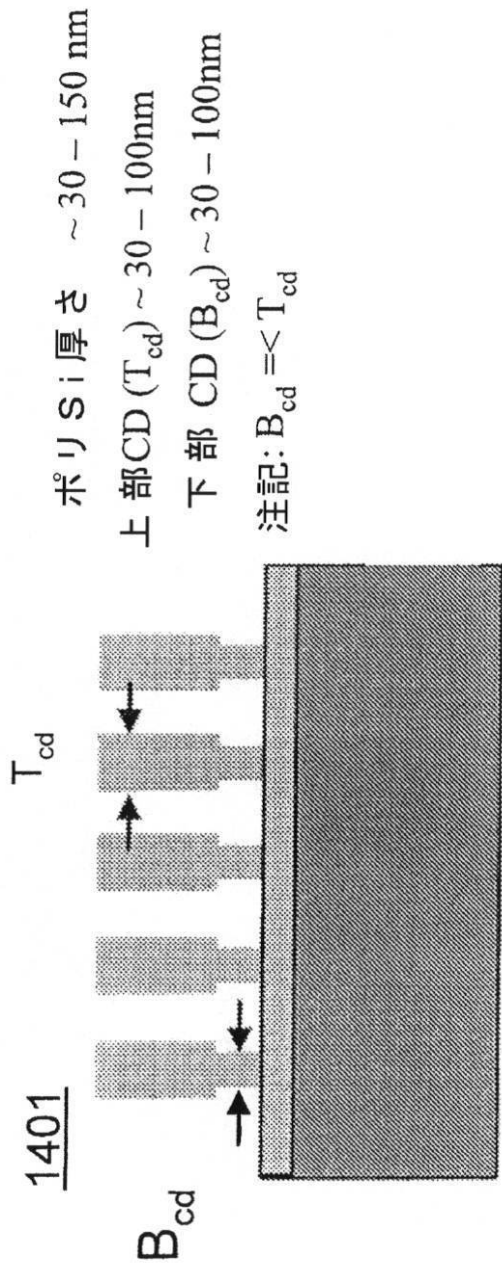
絶縁体の厚さ (t) ~ 100 - 700nm
 トレンチの深さ (d) ~ 100 - 400nm
 トレンチの幅 (w) ~ 100 - 500nm

密度(幅/ピッチ) ~ 30-90%



注記:酸化物トレンチはSIONでキャップされた
 固体のCuパッドの上方にあってもよい。

【 図 16 】



フロントページの続き

(72)発明者 コロナ デ レガ、ザビエル

アメリカ合衆国 06457 コネチカット州 ミドルタウン ナツメグ コート 51

(72)発明者 デ グロート、ピーター

アメリカ合衆国 06457 コネチカット州 ミドルタウン ローレル グローブ ロード 3
55

審査官 うし 田 真悟

(56)参考文献 米国特許出願公開第2006/0158659(US, A1)

特開2003-037140(JP, A)

米国特許出願公開第2004/0189999(US, A1)

米国特許出願公開第2006/0158658(US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 9/00 - 11/30

G01N 21/17 - 21/61