

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5290322号  
(P5290322)

(45) 発行日 平成25年9月18日(2013.9.18)

(24) 登録日 平成25年6月14日(2013.6.14)

(51) Int.Cl.

F I

G O 1 B 11/24 (2006.01)

G O 1 B 11/24

D

請求項の数 59 (全 43 頁)

(21) 出願番号 特願2010-538156 (P2010-538156)  
 (86) (22) 出願日 平成20年12月11日(2008.12.11)  
 (65) 公表番号 特表2011-506972 (P2011-506972A)  
 (43) 公表日 平成23年3月3日(2011.3.3)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2008/086416  
 (87) 国際公開番号 W02009/079334  
 (87) 国際公開日 平成21年6月25日(2009.6.25)  
 審査請求日 平成22年6月30日(2010.6.30)  
 (31) 優先権主張番号 61/013,732  
 (32) 優先日 平成19年12月14日(2007.12.14)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 598176743  
 ザイゴ コーポレーション  
 ZYGO CORPORATION  
 アメリカ合衆国 コネチカット州 064  
 55 ミドルフィールド ローレル ブルッ  
 ク ロード (番地なし)  
 (74) 代理人 100068755  
 弁理士 恩田 博宣  
 (74) 代理人 100105957  
 弁理士 恩田 誠  
 (74) 代理人 100142907  
 弁理士 本田 淳

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 走査干渉法を使用した表面構造の解析

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

試験対象物の表面構造を解析する解析方法であって、前記解析方法は、

前記試験対象物の或る位置から得られた走査干渉法信号を、前記試験対象物をモデル化するための異なるモデルパラメータに対応した複数のモデル信号の各々と比較する比較ステップであって、前記比較ステップは、前記走査干渉法信号と前記モデル信号の間の相関関数を算出することによって、前記走査干渉法信号と前記モデル信号の間の表面高さオフセットを特定するオフセット特定サブステップと、特定した前記表面高さオフセットに基づいて、共通の表面高さである共通表面高さに対する前記走査干渉法信号と、前記共通表面高さに対する前記モデル信号との間の類似点を表わす高さオフセット補正済メリット値を算出するメリット値算出サブステップとを有することと；

異なる前記モデル信号に対する各々の前記高さオフセット補正済メリット値に基づいて、前記位置での試験対象物パラメータを判定するパラメータ判定ステップとを有し、

前記走査干渉法信号の周波数領域表現を、干渉周波数領域表現とし、

前記モデル信号の周波数領域表現を、モデル周波数領域表現とし、

特定された前記表面高さオフセットに対応した傾斜を有する項を、線形位相項とすると

、

前記メリット値算出サブステップは、

前記干渉周波数領域表現またはモデル周波数領域表現を、前記線形位相項を用いて補正

10

20

することと；

前記線形位相項で補正することに続いて、前記走査干渉法信号と前記モデル信号との間の類似点を定量化することと  
を有する、解析方法。

【請求項 2】

算出した前記相関関数は、前記干渉周波数領域表現と、前記モデル周波数領域表現とに基づく、

請求項 1 記載の解析方法。

【請求項 3】

前記相関関数を算出することは、前記干渉周波数領域表現と前記モデル周波数領域表現の積を走査座標領域に逆変換することを有する、

請求項 2 記載の解析方法。

【請求項 4】

特定された前記表面高さオフセットは、算出した前記相関関数におけるピークに対応する、

請求項 1 記載の解析方法。

【請求項 5】

前記ピークは、走査位置間の前記相関関数の補間によって判定される、

請求項 4 記載の解析方法。

【請求項 6】

前記オフセット特定サブステップ ( S 2 8 0 ) は、前記走査干渉法信号と前記モデル信号の間の位相差を判定することを有する、

請求項 1 記載の解析方法。

【請求項 7】

前記位相差を判定することは、前記相関関数を位置決めするピークでの前記相関関数の複素位相を判定することを有する、

請求項 6 記載の解析方法。

【請求項 8】

前記線形位相項を補正することが前記走査干渉法信号の周波数領域表現に適用されることによって、前記モデル信号をモデル化するために使用される前記共通表面高さに対応した前記干渉周波数領域表現を生成する、

請求項 1 記載の解析方法。

【請求項 9】

前記類似点を定量化することは、周波数領域において行なわれる、

請求項 1 記載の解析方法。

【請求項 10】

前記干渉周波数領域表現についての前記線形位相項を補正することは、スペクトル成分に線形位相係数  $\exp(-iK_{\text{offset}})$  を乗じることを有し、

$K$  は、フリンジ周波数成分であり、

$\text{offset}$  は、特定された前記表面高さオフセットである、

請求項 1 記載の解析方法。

【請求項 11】

前記干渉周波数領域表現についての前記線形位相項を補正することは、スペクトル成分に位相係数  $\exp(iA_{\text{peak}})$  を乗じることを有し、

$A_{\text{peak}}$  は、算出した前記相関関数のピークでの前記相関関数の複素位相である、

請求項 1 記載の解析方法。

【請求項 12】

前記干渉周波数領域表現についての前記線形位相項を補正することは、スペクトル内の位相変化の線形部分を除去することを有する、

請求項 1 記載の解析方法。

10

20

30

40

50

## 【請求項 1 3】

前記線形位相項を補正することは、干渉法スペクトルとモデルスペクトルの間の位相差を除去することを有し、

前記位相差は、前記走査干渉法信号と前記モデル信号の間の前記表面高さオフセットから生じる、

請求項 1 記載の解析方法。

## 【請求項 1 4】

前記メリット値算出サブステップは、前記走査干渉法信号の周波数領域表現と、前記モデル信号の周波数領域表現とに基づく、

請求項 1 記載の解析方法。

10

## 【請求項 1 5】

前記メリット値算出サブステップは、周波数領域における注目領域に制限されている、

請求項 1 記載の解析方法。

## 【請求項 1 6】

前記メリット値算出サブステップは、位相補正済の干渉法スペクトルとモデルスペクトルの間の最小二乗差に基づく、

請求項 1 記載の解析方法。

## 【請求項 1 7】

前記メリット値算出サブステップは、ピーク位置での前記相関関数の複素位相に基づく、

20

請求項 1 記載の解析方法。

## 【請求項 1 8】

前記メリット値算出サブステップは、ピーク位置での前記相関関数のピーク値に基づく、

請求項 1 記載の解析方法。

## 【請求項 1 9】

前記メリット値算出サブステップは、前記走査干渉法信号の周波数領域表現と前記モデル信号の周波数領域表現のうちいずれか 1 つを規格化することに基づく、

請求項 1 記載の解析方法。

## 【請求項 2 0】

前記モデル信号に対応した前記モデルパラメータは、1 又は複数の薄膜厚さと、1 又は複数の薄膜インデックスとを有する、

請求項 1 記載の解析方法。

30

## 【請求項 2 1】

前記モデル信号に対応した前記モデルパラメータは、過小解像される表面特徴に関する 1 又は複数のパラメータを有する、

請求項 1 記載の解析方法。

## 【請求項 2 2】

過小解像される前記表面特徴は、回折格子を規定する配列特徴である、

請求項 2 1 記載の解析方法。

40

## 【請求項 2 3】

前記パラメータ判定ステップは、各々の前記メリット値に基づいて複数の試験対象物パラメータを判定することを有する、

請求項 1 記載の解析方法。

## 【請求項 2 4】

判定した前記試験対象物パラメータは、表面高さ、薄膜厚さ、および薄膜屈折率のうちの 1 又は複数に対応する、

請求項 1 記載の解析方法。

## 【請求項 2 5】

判定した前記試験対象物パラメータは、前記モデル信号に対する前記モデルパラメータ

50

のうちの 1 つに対応する、

請求項 1 記載の解析方法。

【請求項 2 6】

前記パラメータ判定ステップは、前記高さオフセット補正済メリット値を比較することに基づいて一致モデル信号を特定することを有する、

請求項 1 記載の解析方法。

【請求項 2 7】

前記パラメータ判定ステップは、前記一致モデル信号に基づく、

請求項 2 6 記載の解析方法。

【請求項 2 8】

前記パラメータ判定ステップは、ピークでの前記相関関数の複素位相に基づいた修正を有する、

請求項 1 記載の解析方法。

【請求項 2 9】

前記解析方法は更に、前記試験対象物パラメータを出力することを有する、

請求項 1 記載の解析方法。

【請求項 3 0】

前記比較ステップと前記パラメータ判定ステップは、前記試験対象物の異なる表面位置に対応した複数の走査干渉法信号の各々に対して繰り返される、

請求項 1 記載の解析方法。

【請求項 3 1】

前記解析方法は更に、複数の前記表面位置に対して前記走査干渉法信号を得ることを有する、

請求項 3 0 記載の解析方法。

【請求項 3 2】

複数の前記表面位置に対する前記走査干渉法信号は、画像化検出器上の複数の位置を画像化する走査干渉計を使用して得られる、

請求項 3 0 記載の解析方法。

【請求項 3 3】

前記干渉法信号は、検出器上の基準光と干渉させるために前記試験対象物から出現する試験光を画像化することと、共通光源から、前記試験光と前記基準光の干渉部分に位置する前記検出器に向かう、光学経路長差を変更することによって得られ、

前記試験光と前記基準光はそれぞれ、前記共通光源から導かれ、

前記干渉法信号は、前記光学経路長差が変わる際に、前記検出器によって測定される干渉強度に対応する、

請求項 1 記載の解析方法。

【請求項 3 4】

前記試験光と前記基準光はそれぞれ、前記試験光と前記基準光に対する中心周波数の 5 % を超えるスペクトル帯域幅を有している、

請求項 3 3 記載の解析方法。

【請求項 3 5】

前記共通光源は、スペクトルコヒーレンス長を有し、

前記光学経路長差は、前記走査干渉法信号を生成するために前記スペクトルコヒーレンス長よりも大きい範囲に亘って変えられる、

請求項 3 3 記載の解析方法。

【請求項 3 6】

前記試験光を前記試験対象物上に導き、且つ前記試験光を検出器に画像化するために使用される光学子は、0.8 を超える、前記試験光のための開口数を規定している、

請求項 3 3 記載の解析方法。

【請求項 3 7】

10

20

30

40

50

前記解析方法は更に、前記走査干渉法信号を取得すべく使用される走査干渉計システムから発生する、前記走査干渉法信号へのシステムの寄与を明らかにすることを有する、請求項 1 記載の解析方法。

【請求項 3 8】

既知の特性を有する試験対象物を使用して前記走査干渉計システムの前記システムの寄与をキャリブレーションすることをさらに有する請求項 3 7 記載の解析方法。

【請求項 3 9】

対象物の表面位置から走査干渉法信号を得るように構成された光学系と、プロセッサとを備える干渉計であって、

前記プロセッサは、

i) 試験対象物をモデル化するための異なるモデルパラメータに対応した複数のモデル信号を受信し、前記走査干渉法信号を複数のモデル信号の各々と比較し、前記モデル信号と比較することは、前記走査干渉法信号と前記モデル信号の間の表面高さオフセットを特定するために、前記走査干渉法信号と前記モデル信号の間の相関関数を算出することと、特定した前記表面高さオフセットに基づいて、近似した共通の表面高さである共通表面高さに対する前記走査干渉法信号と、前記共通表面高さに対する前記モデル信号との間の類似点を表わす高さオフセット補正済メリット値を算出することとを有し、且つ

ii) 異なる前記モデル信号に対する各々のメリット値に基づいて、前記試験対象物の位置での試験対象物パラメータを判定するように構成されたコードを備え、

前記走査干渉法信号の周波数領域表現を、干渉周波数領域表現とし、

前記モデル信号の周波数領域表現を、モデル周波数領域表現とし、

特定された前記表面高さオフセットに対応した傾斜を有する項を、線形位相項とすると

前記高さオフセット補正済メリット値を算出することは、前記線形位相項を用いて、前記干渉周波数領域表現または前記モデル周波数領域表現を補正することと、前記線形位相項で補正することとに続いて、前記走査干渉法信号と前記モデル信号との間の類似点を定量化することとを有することを特徴とする、干渉計。

【請求項 4 0】

前記コードは、前記走査干渉法信号および前記モデル信号を周波数領域に変換し、変換した前記信号に基づいて前記相関関数を算出するようにさらに構成されている、

請求項 3 9 記載の干渉計。

【請求項 4 1】

前記プロセッサは更に、モデルパラメータに基づいて前記モデル信号のうちの 1 つを生成するように構成されたコードを有する、

請求項 3 9 記載の干渉計。

【請求項 4 2】

前記コードは更に、前記試験対象物の表面に関連した試験対象物パラメータマップを判定するように構成されている、

請求項 3 9 記載の干渉計。

【請求項 4 3】

前記試験対象物パラメータマップは、高さパラメータに基づく、

請求項 4 2 記載の干渉計。

【請求項 4 4】

前記試験対象物パラメータマップは、薄膜パラメータに基づく、

請求項 4 2 記載の干渉計。

【請求項 4 5】

前記試験対象物パラメータマップは、過小解像される表面特徴パラメータに基づく、

請求項 4 2 記載の干渉計。

【請求項 4 6】

10

20

30

40

50

前記プロセッサは、判定した前記試験対象物パラメータに関する情報を出力するようにさらに構成されている、

請求項 3 9 記載の干渉計。

【請求項 4 7】

前記光学系は、前記対象物の複数の表面位置の各々から干渉法信号を得るように構成された多素子検出器を備え、

前記プロセッサは、得られた前記干渉法信号に基づいて前記複数の表面位置の各々で試験対象物パラメータに関する情報を判定するように構成されている、

請求項 3 9 記載の干渉計。

【請求項 4 8】

試験対象物の表面構造を解析する解析方法であって、前記解析方法は、

前記試験対象物の複数の位置の各々に対して得られた走査干渉法信号を、前記試験対象物をモデル化するための異なるモデルパラメータに対応した複数のモデル信号の各々と比較する比較ステップであって、前記比較ステップは、前記走査干渉法信号の周波数領域表現である干渉周波数領域表現と、前記モデル信号の周波数領域表現であるモデル周波数領域表現とに基づいて、前記走査干渉法信号と前記モデル信号の間の相関関数を算出することによって、前記走査干渉法信号と前記モデル信号の間の表面高さオフセットを特定する特定サブステップと、特定した前記表面高さオフセットに基づいて、共通の表面高さである共通表面高さに対する前記走査干渉法信号と、前記共通表面高さに対する前記モデル信号との間の類似点を表わす高さオフセット補正済メリット値を算出する算出サブステップとを有すること；

異なる前記試験対象物位置の各々での異なる前記モデル信号に対する各々のメリット値に基づいて、各試験対象物位置での 1 又は複数の試験対象物パラメータを判定する判定ステップと

を有し、

特定された前記表面高さオフセットに対応した傾斜を有する項を、線形位相項とすると

、

前記算出サブステップは、前記干渉周波数領域表現または前記モデル周波数領域表現を、前記線形位相項を用いて補正することと、前記線形位相項で補正することとに続いて、前記走査干渉法信号と前記モデル信号との間の類似点を定量化することとを有する、解析方法。

【請求項 4 9】

試験対象物の表面構造を解析する解析方法であって、前記解析方法は、

1 組のモデル信号のうちの少なくとも 1 つのモデル信号に対して、共通の表面高さである共通表面高さに対する走査干渉法信号と、前記共通表面高さに対する前記モデル信号との間の類似点を表わす高さオフセット補正済メリット値を算出するメリット値算出ステップと；

前記高さオフセット補正済メリット値に基づいて、試験対象物パラメータを判定する判定ステップと

を有し、

前記メリット値算出ステップは、

前記走査干渉法信号と前記モデル信号の相関と、前記走査干渉法信号から導かれる情報と前記モデル信号から導かれる情報の相関とのうちいずれか 1 つを行なうことと；

前記相関に基づいて、前記干渉法信号の周波数領域表現と前記モデル信号の周波数領域表現との間の高さ依存位相傾斜を判定することと、前記干渉法信号と前記モデル信号の周波数領域表現のうちの少なくとも 1 つの係数の位相を、前記高さ依存位相傾斜を用いて補正することとを有することと

を備えることを特徴とする、解析方法。

【請求項 5 0】

表示パネルを作る処理であって、

10

20

30

40

50

前記表示パネルの構成要素を提供すること、

請求項1記載の解析方法を使用して、前記構成要素に関する情報を判定する情報判定ステップであって、前記構成要素は、前記試験対象物に対応し、前記情報は、前記試験対象物パラメータに基づくことと；

前記構成要素を使用して前記表示パネルを形成する表示パネル形成ステップとを有する処理。

【請求項51】

前記構成要素は、間隙によって互いに分離された一対の基板を備え、  
前記情報は、前記間隙に関する情報を有する、  
請求項50記載の処理。

10

【請求項52】

前記表示パネル形成ステップは、前記情報に基づいて前記間隙を調整することを有する

、  
請求項51記載の処理。

【請求項53】

前記表示パネル形成ステップは、前記間隙を液晶材料で充填することを有する、  
請求項51記載の処理。

【請求項54】

前記構成要素は、基板と該基板上のレジスト層とを備えている、  
請求項50記載の処理。

20

【請求項55】

前記情報は、前記レジスト層の厚さに関する情報を有する、  
請求項54記載の処理。

【請求項56】

前記レジスト層は、パターン化層であり、  
前記情報は、前記パターン化層の寸法または表面のオーバーレイ誤差に関する情報を有する、  
請求項54記載の処理。

【請求項57】

前記表示パネル形成ステップは、前記レジスト層の下材料層をエッチングすることを有する、  
請求項54記載の処理。

30

【請求項58】

前記構成要素は、スペーサを具備した基板を備え、  
前記情報は、前記スペーサに関する情報を有する、  
請求項50記載の処理。

【請求項59】

前記表示パネル形成ステップは、前記情報に基づいて前記スペーサを修正することを有する、

請求項58記載の処理。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、試験対象物の表面構造を解析するために走査干渉法を使用することに関し、特に、試験対象物の複雑な表面構造の表面トポグラフィおよび/または特徴を解析することに関する。

【背景技術】

【0002】

走査干渉法は、試験対象物に関する情報を獲得するために使用される。例えば表面構造に関する情報は、平面パネルディスプレイ(FPD)計測学(例えば、FPD構成要素の

50

特性評価、半導体ウェハ計測学、ならびに薄膜および相違材料の現場解析)に関連することがある。関連情報の例は、表面トポグラフィ自体の他に、薄膜パラメータ(厚さまたは屈折率)、相違材料の個別の構造、および干渉顕微鏡の光学分解能によって過小解像される個別構造等の複雑な表面構造の特徴を有する。

#### 【0003】

干渉計測の技術は、一般に、対象物の表面プロファイルを測定するために使用される。そうするために、干渉計は、インターフェログラムを生成すべく、注目する表面で反射した測定光を、基準面を反射した基準光と組み合わせる。インターフェログラムにおけるフリンジは、注目する表面と基準面の間の空間および構造的な変化を示している。

#### 【0004】

10

走査干渉計は、干渉光のコヒーレンス長と比較可能なまたはそれよりも大きい範囲に亘る干渉計の基準および測定光間の光学経路長差(OPD)を走査する。複数の走査位置に対して、検出器は、干渉光の強度を測定し、それは、走査干渉法信号(以降、干渉法信号とも呼ばれる)に基づいている。表面干渉法に対して、例えば、複数のカメラ画素は、各走査位置での空間インターフェログラムを測定するために使用されえ、各カメラ画素は、走査位置の範囲に亘る試験面の対応する位置に対して干渉法信号を測定する。干渉法信号は、典型的には、鐘形のフリンジコントラストエンベロープを持った正弦搬送波変調(「フリンジ」)によって特徴づけられる。

#### 【0005】

干渉光の制限されたコヒーレンス長は、例えば白色光源を使用することによって生じることができ、それは、走査白色光干渉法(SWLI)と呼ばれる。典型的な走査白色光干渉信号は、基準および測定光に対する等光学経路長として規定される零光学経路長差位置の近傍に局地化された少数のフリンジを特徴としている。

20

#### 【0006】

干渉計測学に内在する従来の発想は、干渉法信号から対象物の特徴を引き出すことである。その解析は、走査範囲において(つまり、走査座標に依存する干渉法信号を使用して)または周波数領域において(つまり、干渉法信号から導かれる干渉法スペクトルを使用して)行なわれうる。

#### 【0007】

表面プロファイリングに対して、第1の方法は、例えば、エンベロープのピークまたは中心を見つけることを含んでおり、ここでは、この位置が、1つのビームが対象物表面で反射する2ビーム干渉計の零光学経路長差に対応するものと仮定している。第2の方法は、例えば、波長を持った変換後の干渉法信号の位相の変化率を算出することを含んでおり、ここでは、実質的に線形の傾斜は、試験対象物の表面高さに正比例するものと仮定している。この後者の方法は、周波数領域解析(FDA)と呼ばれる。例えば、特許文献1、特許文献2、および特許文献3を参照し、それらの内容は、参照によってここに援用される。

30

#### 【0008】

表面特性評価に使用される従来の技術(例えば、楕円偏光解析法および反射率測定)は、未知の光学界面の複雑な反射率とその固有の特徴(個々の層の材料特性および厚さ)と、反射率、波長、入射角、および偏光状態を測定するために使用される光の3つの特性との両方に依るという事実依存する。実際のところ、特性評価機器は、既知の範囲に亘るこれらのパラメータを変更することによってもたらされる反射率変動を記録する。

40

#### 【先行技術文献】

#### 【特許文献】

#### 【0009】

【特許文献1】米国特許第5,398,113号明細書

【特許文献2】米国特許第7,106,454号明細書

【特許文献3】米国特許第7,271,918号明細書

【特許文献4】米国特許出願第11/780,360号明細書

50



## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0010】

走査干渉計は、干渉法信号に基づいて試験対象物の表面構造を解析するために使用される。干渉法信号の解析は、1組のモデル信号と干渉法信号の比較を有することができ、各モデル信号は、モデル化される対象物の特定の特徴（パラメータ）を表わす。その比較は、試験対象物パラメータの判定に基づくメリット値を生み出す。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0011】

概して第1の態様では、本発明は、試験対象物の位置に対して得られた走査干渉法信号を、試験対象物をモデル化するための異なるモデルパラメータに対応した複数のモデル信号の各々と比較することを有する方法を特徴とする。ここで、各モデル信号に対して、比較することは、走査干渉法信号とモデル信号の間の表面高さオフセットを特定するために、走査干渉法信号とモデル信号の間の相関関数を算出すること、および、特定された表面高さオフセットに基づいて、共通の表面高さに対する走査干渉法信号と共通の表面高さに対するモデル信号の間の類似点を表わす高さオフセット補正済メリット値を算出することを有する。本方法は更に、異なるモデル信号に対する各々のメリット値に基づいて、試験対象物の位置での試験対象物パラメータを判定することを有する。

10

## 【0012】

別の態様では、干渉計は、対象物の表面位置から走査干渉法信号を得るように構成された光学系と、プロセッサとを備えている。プロセッサは、次のように構成されたコードを有する：

20

i) 試験対象物をモデル化するための互いに異なるモデルパラメータに対応した複数のモデル信号を受信し、走査干渉法信号を複数のモデル信号の各々と比較し（ここで、各モデル信号に対して、比較することは、走査干渉法信号とモデル信号の間の表面高さオフセットを特定するために、走査干渉法信号とモデル信号の間の相関関数を算出することを有する）、そして、特定した表面高さオフセットに基づいて、近似した共通の表面高さに対する走査干渉法信号と、近似した共通の表面高さに対するモデル信号との間の類似点を表わす高さオフセット補正済メリット値を算出する；および

ii) 異なるモデル信号のための各々のメリット値に基づいて、試験対象物の位置での試験対象物パラメータを判定する。

30

## 【0013】

別の態様では、本方法は、試験対象物の複数の位置の各々に対して得られた走査干渉法信号を、試験対象物をモデル化するための異なるモデルパラメータに対応した複数のモデル信号の各々と比較すること（ここで、各試験対象物位置および各モデル信号に対して、比較することは、走査干渉法信号とモデル信号の間の表面高さオフセットを特定するために、走査干渉法信号の周波数領域表現およびモデル信号の周波数領域表現に基づいて、走査干渉法信号とモデル信号の間の相関関数を算出することを有する）、および、特定された表面高さオフセットに基づいて、共通の表面高さに対する走査干渉法信号と共通の表面高さに対するモデル信号の間の類似点を表わす高さオフセット補正済メリット値を算出することを有する。本方法は更に、異なる試験対象物位置の各々での異なるモデル信号に対する各々のメリット値に基づいて、各試験対象物位置での一又は複数の試験対象物パラメータを判定することを有する。

40

## 【0014】

別の態様では、本方法は、1組のモデル信号のうちの少なくとも1つのモデル信号に対して、共通の表面高さに対する走査干渉法信号と共通の表面高さに対するモデル信号の間の類似点を表わす高さオフセット補正済メリット値を算出すること（ここで、高さオフセット補正済メリット値を算出することは、走査干渉法信号とモデル信号の相関と、走査干渉法信号から導かれる情報とモデル信号から導かれる情報の相関のうちいずれか1つを行なうことを有する）と、相関に基づいて、干渉法信号の周波数領域表現とモデル信号の周

50

波数領域表現の間の高さ依存位相傾斜を判定することと、干渉法信号およびモデル信号の周波数領域表現のうちの少なくとも1つの係数の位相を補正することとを有する。本方法は更に、高さオフセット補正済メリット値に基づいて、試験対象物パラメータを判定することを有する。

【0015】

実施は、一又は複数の次の特徴を有しうる。

幾つかの実施形態では、算出した相関関数は、走査干渉法信号の周波数領域表現およびモデル信号の周波数領域表現に基づきうる。

【0016】

幾つかの実施形態では、相関関数を算出することは、走査干渉法信号およびモデル信号の周波数領域表現の積を走査座標領域に逆変換することを有しうる。

10

幾つかの実施形態では、特定された表面高さオフセットは、算出した相関関数におけるピークに対応しうる。ピークは、走査位置間の相関関数の補間によって判定されうる。

【0017】

幾つかの実施形態では、表面高さオフセットを特定することは、走査干渉法信号とモデル信号の間の位相差を判定することを有しうる。

幾つかの実施形態では、位相差を判定することは、相関関数の位置を決めるピークでの相関関数の複素位相を判定することを有しうる。

【0018】

幾つかの実施形態において、高さオフセット補正済メリット値を算出することは、線形位相項と、走査干渉法信号の周波数領域表現またはモデル信号の周波数領域表現とを補正することを有しえ、線形位相項は、特定された表面高さオフセットに対応した傾斜を有し、且つ位相補正に続く走査干渉法信号とモデル信号の間の類似点を定量化する。

20

【0019】

位相補正に続く走査干渉法信号とモデル信号の間の類似点を定量化することは、周波数領域において行なわれうる。

幾つかの実施形態では、位相補正は、モデル信号をモデル化するために使用される表面高さと共通の表面高さに対応した走査干渉法信号の周波数領域表現を生成するために、走査干渉法信号の周波数領域表現に適用されうる。

【0020】

30

干渉法信号の周波数領域表現についての位相補正は、スペクトル成分に線形位相係数  $\exp(-iK_{\text{offset}})$  を乗じることができ、ここで、 $K$  は、フリンジ周波数成分であり、 $\text{offset}$  は、特定された表面高さオフセットである。

【0021】

干渉法信号の周波数領域表現についての位相補正は、スペクトル成分に位相係数  $\exp(-iA_{\text{peak}})$  を乗じることができ、ここで、 $A_{\text{peak}}$  は、算出した相関関数のピークでの相関関数の複素位相である。

【0022】

干渉法信号の周波数領域表現についての位相補正は、スペクトル内の位相変化の線形部分を除去することを有しうる。

40

位相補正は、干渉法スペクトルと、走査干渉法信号とモデル信号の間の表面高さオフセットから生じるモデルスペクトルとの間の位相差を除去することを有する。

【0023】

幾つかの実施形態では、高さオフセット補正済メリット値を算出することは、走査干渉法信号の周波数領域表現およびモデル信号の周波数領域表現に基づきうる。

幾つかの実施形態では、高さオフセット補正済メリット値を算出することは、周波数領域における注目領域に制限されうる。

【0024】

幾つかの実施形態では、高さオフセット補正済メリット値を算出することは、位相補正済干渉法スペクトルとモデルスペクトルの間の最小二乗差に基づきうる。

50

幾つかの実施形態では、高さオフセット補正済メリット値を算出することは、ピーク位置での相関関数の複素位相に基づきうる。

【0025】

幾つかの実施形態では、高さオフセット補正済メリット値を算出することは、ピーク位置での相関関数のピーク値に基づきうる。

幾つかの実施形態では、高さオフセット補正済メリット値を算出することは、走査干渉法信号の周波数領域表現またはモデル信号の周波数領域表現を規格化することに基づきうる。

【0026】

幾つかの実施形態では、モデル信号に対応したモデルパラメータは、一又は複数の薄膜厚さと、一又は複数の薄膜インデックスとを有しうる。モデル信号に対応したモデルパラメータは更に、過小解像される表面特徴に関する一又は複数のパラメータを有しうる。

【0027】

幾つかの実施形態では、過小解像される表面特徴は、回折格子を規定する配列特徴でありうる。

幾つかの実施形態では、試験対象物パラメータを判定することは、各々のメリット値に基づいて複数の試験対象物パラメータを判定することを有しうる。

【0028】

幾つかの実施形態では、判定した試験対象物パラメータは、表面高さ、薄膜厚さ、および薄膜屈折率のうちの一又は複数に対応しうる。判定した試験対象物パラメータは更に、モデル信号に対するモデルパラメータのうちの1つに対応しうる。

【0029】

幾つかの実施形態では、試験対象物パラメータを判定することは、高さオフセット補正済メリット値を比較することに基づいて、一致モデル信号を特定することを有しうる。

試験対象物パラメータを判定することは、一致モデル信号に基づきうる。

【0030】

幾つかの実施形態では、試験対象物パラメータを判定することは、ピークでの相関関数の複素位相に基づいた修正を有しうる。

幾つかの実施形態では、本方法は更に、試験対象物パラメータを出力することを有しうる。

【0031】

幾つかの実施形態では、走査干渉法信号を複数のモデル信号の各々と比較すること、および試験対象物パラメータを判定することは、試験対象物の互いに異なる表面位置に対応した複数の走査干渉法信号の各々に対して繰り返されうる。

【0032】

幾つかの実施形態では、本方法は更に、複数の表面位置に対して走査干渉法信号を得ることを有しうる。

幾つかの実施形態では、複数の表面位置の走査干渉法信号は、画像化検出器上に複数の位置を画像化する走査干渉計を使用して得られる。

【0033】

幾つかの実施形態では、干渉法信号は、検出器上の基準光に干渉させるために試験対象物から出現する試験光を画像化することと、共通光源から試験光と基準光の干渉部分に位置する検出器に光学経路長差を変更することとによって得られることができ、ここでは、試験光と基準光は、共通光源から導かれ、干渉法信号は、光学経路長差が変わる際に、検出器によって測定される干渉強度に対応する。

【0034】

幾つかの実施形態では、試験光と基準光は、試験光と基準光に対する中心周波数の5%を超えるスペクトル帯域幅を有しうる。

共通光源は、スペクトルコヒーレンス長を有することができ、光学経路長差は、走査干渉法信号を生成するためにスペクトルコヒーレンス長よりも大きい範囲に亘って変えられ

10

20

30

40

50

うる。

【0035】

幾つかの実施形態では、試験光を試験対象物上に導き、それを検出器に画像化するのに使用される光学子は、0.8を超える、試験光のための開口数を規定しうる。

幾つかの実施形態では、本方法は更に、走査干渉法信号を取得するために使用される走査干渉計システムから生じた走査干渉法信号へのシステムの寄与を明らかにすることを有しうる。本方法は更に、既知の特性を有した試験対象物を使用して走査干渉法システムのシステムの寄与をキャリブレーションすることを有しうる。

【0036】

干渉計の幾つかの実施形態では、コードは更に、走査干渉計信号およびモデル信号を周波数領域に変換し、変換した信号に基づいて相関関数を算出するように構成されうる。

幾つかの実施形態では、コードは更に、線形位相項と、走査干渉法信号の周波数領域表現またはモデル信号の周波数領域表現とを補正するように構成されえ、線形位相項は、特定された表面高さオフセットに対応した傾斜を有し、位相補正に続く走査干渉法信号とモデル信号の間の類似点を定量化する。

【0037】

幾つかの実施形態では、プロセッサは更に、モデルパラメータに基づいてモデル信号のうちの1つを生成するように構成されたコードを有しうる。

幾つかの実施形態では、コードは更に、試験対象物の表面に関連した試験対象物パラメータマップを判定するように構成されうる。試験対象物パラメータマップは、高さパラメータ、薄膜パラメータ、および/または過小解像される表面特徴パラメータに基づきうる。

【0038】

幾つかの実施形態では、プロセッサは更に、判定した試験対象物パラメータに関する情報を出力するように構成されうる。

幾つかの実施形態では、光学系は、対象物の複数の表面位置の各々から干渉法信号を得るように構成された多素子検出器を備えることができ、プロセッサは、得られた干渉法信号に基づいて複数の表面位置の各々での試験対象物パラメータに関する情報を判定するように構成される。

【0039】

別の態様では、本発明は、表示パネルを作る処理を特徴とし、該処理は、表示パネルの構成要素を提供すること、前述の態様に関して議論した方法または干渉計を使用して構成要素に関する情報を判定すること（ここで、構成要素は、試験対象物に対応し、情報は、試験対象物パラメータに基づいている）、および、構成要素を使用して表示パネルを形成することを有する。

【0040】

処理の実施は、次の特徴および/または他の態様の特徴の一又は複数を有しうる。例えば、構成要素は、間隙によって分離された一对の基板を備えることができ、情報は、間隙に関する情報を有する。表示パネルを形成することは、情報に基づいて間隙を調整することを有しうる。幾つかの実施形態では、表示パネルを形成することは、間隙を液晶材料で充填することを有する。

【0041】

構成要素は、基板と、該基板上のレジスト層を備えうる。情報は、レジスト層の厚さに関する情報を有しうる。レジスト層は、パターン化層であることができ、情報は、パターン化層の寸法または表面のオーバーレイ誤差に関する情報を有しうる。ディスプレイを形成することは、レジスト層の下に材料層をエッチングすることを有しうる。

【0042】

構成要素は、スペーサを具備した基板を備えることができ、情報は、スペーサに関する情報を有しうる。ディスプレイを形成することは、情報に基づいてスペーサを修正することを有しうる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 4 3 】

—又は複数の実施形態の詳細は、添付の図面および下の記述において説明される。他の特徴および利点は、記述および図面、ならびに特許請求の範囲から明白となる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【 0 0 4 4 】

【図 1】M i r a u型走査干渉法システムの模式図である。

【図 2】表面構造を判定する干渉法方法のフローチャートである。

【図 3】干渉法信号の例を示している。

【図 4】モデル信号の例を示している。

【図 5】異なる薄膜厚さに対するモデル信号の例を示している。

10

【図 6】ライブラリ検索を示すフローチャートである。

【図 7】干渉法信号およびモデル信号の相関関数のプロットである。

【図 8】干渉法信号およびモデル信号に対するフーリエスペクトルの実数および虚数部分のプロットを示している。

【図 9】干渉法信号および一致モデル信号を比較するプロットを示している。

【図 10】異なる薄膜厚さに対するモデル信号のためのメリット関数の値のプロットである。

【図 11】薄膜を持った基板においてエッチングされた溝の 2 次元プロファイルのプロットを示している。

【図 12】平面パネルディスプレイ用の T F T 領域の 3 次元表面プロファイルのプロットを示している。

20

【図 13】薄膜干渉法信号に関連したフーリエ振幅およびフーリエ位相を示している。

【図 14 A】基板上に蒸着された銅表面に亘る誘電体の蒸着によってもたらされる膜構造の装置を典型的に示す模式図である。

【図 14 B】化学機械処理を経た後の図 14 A に示された装置の模式図である。

【図 15 A】基板（例えば、ウェハ）および被覆層（例えば、フォトリソ層）を備えた対象物の上面図を示す模式図である。

【図 15 B】対象物の側面図を示す模式図である。

【図 16 A】はんだバンプ処理で使用するのに適した構造の模式図である。

【図 16 B】はんだバンプ処理が生じた後の図 16 A からの構造の模式図である。

30

【図 17 A】幾つかの層からなる L C D パネルの模式図である。

【図 17 B】L C D パネル製造における様々なステップを示すフローチャートである。

【図 17 C】干渉計測センサを備えた L C D パネルのための実施形態検査ステーションの図である。

## 【 0 0 4 5 】

異なる図面中の同様の参照符号は、共有の要素を参照している。

## 【発明を実施するための形態】

## 【 0 0 4 6 】

走査干渉計は、干渉法信号をモデル信号と比較することによって対象物の表面構造を解析するために使用されうる。表面構造の例は、表面の高さ、材料組成、膜厚、および光学的に過小解像される表面構造を有する。走査干渉法の用途は、半導体ウェハ検査、平面パネルディスプレイ処理制御、および一般的な研究所での使用を有する。特定の例は、平面パネルディスプレイに使用される薄膜トランジスタのハーフトーン領域のフォトリソ厚さの測定である。

40

## 【 0 0 4 7 】

測定される干渉信号は、図 1 に示される走査干渉法システム 100 のような干渉法システムで得られる。走査干渉法システム 100 は、測定経路と基準経路の間の調整可能な光学経路長差（OPD）を持つ M i r a u 型干渉計に基づいている。

## 【 0 0 4 8 】

図 1 を参照して、光源モジュール 105 は、ビームスプリッタ 115 に照明光 110 を

50

提供し、それは、照明光 110 を M i r a u 干渉計測指向アセンブリ 120 に向ける。アセンブリ 120 は、対物レンズ 125 と、基準鏡 135 を規定する、その小さい中央部分上の反射性コーティングを有した基準平面 130 と、ビームスプリッタ 140 とを備えている。動作中、対物レンズ 125 は、照明光を対象物 145 へ基準平面 130 を通じて集める。対象物 145 は、その表面高さプロファイル  $h(x, y)$  (対象物表面に亘って変化すると、その複雑な表面構造とによって特徴づけられている。

#### 【0049】

ビームスプリッタ 140 は、測定光 150 を規定するために、対象物 145 に集められる光の第 1 の部分を送信し、基準光 155 を規定するために集められる光の第 2 の部分を基準鏡 135 に反射する。次に、ビームスプリッタ 140 は、対象物 145 を反射した (または拡散された) 測定光 150 を、基準鏡 135 を反射した基準光 155 と再結合する。対物レンズ 125 および画像化レンズ 160 は、検出器 165 (例えば、多画素カメラ) 上で干渉するように結合光を画像化する。対象物 145 の相対位置が走査される際に、検出器 165 は、検出器の一又は複数の画素で干渉光の強度を測定し、その情報を解析のためにコンピュータ 167 に送る。

#### 【0050】

M i r a u 型走査干渉法システム 100 における走査は、M i r a u 干渉計測指向アセンブリ 120 に結合された圧電変圧器 (P Z T) 170 を有する。圧電変圧器 170 は、図 1 における走査座標 によって示されるような対物レンズ 125 の光学軸に沿った対象物 145 に対して、全体としてアセンブリ 120 を走査するように構成されている。M i r a u 型走査干渉法システム 100 は、検出器 165 の各画素での走査干渉法データを提供する。代わりに、圧電変圧器は、P Z T アクチュエータ 175 によって示されるように、それらの間の相対運動を提供するためにアセンブリ 120 ではなく対象物 145 に結合されうる。さらなる実施形態では、走査は、対物レンズ 125 の光学軸に沿って対物レンズ 125 に対して基準鏡 135 およびビームスプリッタ 140 の一方または両方を移動させることによって提供されうる。

#### 【0051】

光源モジュール 105 は、空間的に拡張された光源 180 と、レンズ 185 および 187 によって形成された望遠鏡と、レンズ 185 の正面焦点面 (レンズ 187 の背面焦点面と一致する) に位置した開口 190 とを備えている。この配置は、空間的に拡張された光源 180 を M i r a u 干渉計測指向アセンブリ 120 の瞳面 195 上に画像化し、それは、K o e h l e r 画像化の例である。開口 190 のサイズは、対象物 145 上の照明フィールドのサイズを制御する。

#### 【0052】

単純化のために、図 1 は、対象物 145 および基準鏡 130 の特定箇所それぞれ集められ、続いて検出器 165 上の対応箇所干渉する、測定光 150 および基準光 155 を示している。そのような光は、M i r a u 干渉計測指向アセンブリ 120 の瞳面 195 に垂直に伝播する照明光 110 のそれらの部分に対応する。照明光 110 の他の部分は、最終的に対象物 145 および基準鏡 135 の他の箇所を照らし、それらは、次に、検出器 165 の対応箇所上に画像化される。

#### 【0053】

検出器 165 は、例えば、対象物 145 の異なる箇所に対応した測定光 150 と基準光 155 の間の干渉を独立して測定する多要素 (つまり、多画素) カメラである (つまり、フリンジに対する空間分解能を提供するために)。走査干渉法システム 100 の光学分解能は、その光学的特徴および検出器 165 の画素サイズによって与えられる。

#### 【0054】

照明光 110 が対象物 145 上に集められる領域において走査が生じるので、該走査は、入射角に依存して光学経路長差を変更する。その結果、測定光 150 および基準光 155 の干渉部分間の光源 201 から検出器 165 への光学経路長差は、対象物 145 に入射し、該対象物 145 から出現する、測定光 150 の角度に依存した走査座標 に応じて異

10

20

30

40

50

なって測られる。

#### 【 0 0 5 5 】

光学経路長差が走査座標 に応じてどのように変わるかのこの差は、検出器 1 6 5 の各画素で測定される光のコヒーレンス長を制限する。このように、干渉信号（走査座標 の関数としての）は、典型的には、 $\lambda / 2 (NA)^2$  のオーダーの空間コヒーレンス長を有したエンベロープによって変調され、ここでは、 $\lambda$  は、照明光の公称波長であり、NA は、アセンブリ 1 2 0 の開口数である。制限された空間コヒーレンスを増加させるために、走査干渉法システム 1 0 0 におけるアセンブリ 1 2 0 は、大きい開口数 NA を規定しうる（例えば、約 0.7 よりも大きい（または、好ましくは約 0.8 よりも大きい、あるいは、約 0.9 よりも大きい））。干渉信号は、光源 1 8 0 のスペクトル帯域幅に関連する制限された時間コヒーレンス長によっても変調されうる。走査干渉法システム 1 0 0 の構成によっては、これらの制限されたコヒーレンス長効果の一方または他方が支配することも可能であり、または、それらは、両方とも全体的なコヒーレンス長に実質的に寄与することも可能である。

#### 【 0 0 5 6 】

図 2 は、表面高さオフセット補正に基づいた干渉法信号の解析の典型的なフローチャートを示している。対象物 1 4 5 に対する干渉法信号を得るために、走査干渉法システム 1 0 0 は、基準および測定経路間の光学経路差を機械的または電気光学的に走査する。測定光 1 5 0 は、対象物 1 4 5 への測定経路に沿って向けられ、反射後に基準光 1 5 5 と干渉する。走査の初めに、光学経路長差は、対象物 1 4 5 の局所的な表面高さに依存する。干渉光の強度は、検出器 1 6 5 によって検出される。走査中に、コンピュータ 1 6 7 は、連続したカメラフレームにおける各画像箇所またはカメラ画素  $x, y$  に対する実験から得た強度データ  $I_e(x, y, \lambda)$  を記録する（ステップ S 2 0 0）。走査干渉法システム 1 0 0 の如何なる影響（例えば、検出器感度）も無視して、実験から得た強度データ  $I_e(x, y, \lambda)$  は、干渉法信号を表わしている。対象物 1 4 5 の異なる表面位置に対応した複数のカメラ画素の各々に対して、コンピュータ 1 6 7 は、光学経路長差走査中にそのような干渉法信号を記録しうる。

#### 【 0 0 5 7 】

図 3 では、典型的な走査白色光干渉信号は、単一の画素に対してプロットされる。プロットは、走査位置 の関数としての測定強度を示している。走査白色光干渉信号は、 $SiO_2$  薄膜を有した Si 基板に対して検出される。なお、2 つの走査白色光干渉信号が、2 つの重複信号（Si 基板に対して左側の 1 つおよび  $SiO_2$  薄膜の上面に対して右側の 1 つ）を有する。

#### 【 0 0 5 8 】

次に、光学経路長差走査位置 の関数として干渉法信号を格納した後、コンピュータは、干渉法信号の周波数領域スペクトルを生成するために変形（例えば、フーリエ変換）を行なう（ステップ S 2 1 0）。この干渉法スペクトルは、走査寸法における干渉法信号の空間周波数の関数として振幅および位相情報の両方を有する。周波数領域における干渉法信号を解析する例は、「インターフェログラムの空間周波数解析による表面トポグラフィ測定のための方法および装置」と題する Peter de Groot の特許文献 1 に開示されており、その内容は、参照によってここに援用される。

#### 【 0 0 5 9 】

測定された干渉法信号の解析は、信号モデル化に基づいている。具体的には、コンピュータは、モデルライブラリのエントリとしてモデル信号を算出および格納するか、または、コンピュータは、必要に応じて、ライブラリエントリを算出する。信号モデル化は、同一のコンピュータ 1 6 7 または別のコンピュータによって行なわれうる（ステップ S 2 2 0）。

#### 【 0 0 6 0 】

信号モデル化は、対象物表面構造に関する或るユーザ入力（例えば、積層膜）に（ステップ S 2 3 0）、および、走査干渉法システム 1 0 0 の特性評価（例えば、瞳面画像化を

10

20

30

40

50

使用することによって)に基づく(ステップS240)。その情報により、コンピュータは、ライブラリのエントリ(例えば、対象物145のパラメータキューに対するモデル信号)を算出する。例えば、コンピュータは、様々な表面パラメータおよび干渉計用のシステムモデルに対する周波数領域スペクトルの理論的な予測のライブラリを生成する。これらのモデルスペクトルは、考え得る薄膜厚さの範囲、表面材料、および表面性状をカバーしうる。幾つかの実施形態では、モデルスペクトルは、一定の表面高さに対して(例えば、零光学経路長差に対して)算出される。つまりこのような実施形態では、ライブラリは、走査座標に沿った対象物の位置に関する情報を含んでいないが、複雑な表面構造の種類、ならびに、対象物145、光学系、照明システム、および検出系の相互作用に関する情報を有する。

10

【0061】

さて、走査白色光干渉モデル信号のライブラリの典型的な生成についてみると、走査白色光干渉信号は、瞳を通過するすべての光線に亘るおよび光源のすべての波長に亘る干渉信号の合計である。コヒーレントでない重畳は、フーリエ逆変換として特定の膜厚Lに対するモデル信号 $I(L, \quad)$ を算出することを可能にする。

【0062】

【数1】

$$I(L, z) = \int_{-\infty}^{\infty} r(L, K) \exp(-iKz) dK \quad (1)$$

20

ここで、 $(L, K)$ は、フリンジ周波数Kのフーリエ成分である。K = 4 サイクル/ミクロン(1 サイクル = 2 ラジアン)のフリンジ周波数は、強度がミクロン毎の走査動作の完全な4期間を通じてばらつくことを意味している。フリンジ周波数Kは、

$$K = 4 \quad / \quad (2)$$

に応じて照明瞳を通過する光線の入射角  $\theta$  に対応し、ここで、 $\cos(\theta)$  は、入射角  $\theta$  の方向余弦であり、 $\lambda$  は、光源の光学スペクトル内の波長のうちの1つである。フーリエ成分  $(L, K)$  は、入射角  $\theta$  および波長  $\lambda$  の特定の組合せによってどれくらいの干渉効果がもたらされるかを示し、式(2)によるフリンジ周波数Kを増加させる重み係数である。更にフーリエ成分  $(L, K)$  値は、対象物表面およびシステムレベルの分散の複素位相情報特性を有する。走査白色光干渉ツールは、広範囲の非零フーリエ成分  $(L, K)$  および強度データ  $I(L, \quad)$  の対応するばらつきを有している。膜自由表面に対して、式(1)における構造的干渉は、零 走査位置近傍でのみ起こる。

30

【0063】

各フリンジ周波数Kに対する係数  $(L, K)$  は、光源スペクトルにおける波数  $k = 2 \quad / \quad \lambda$  に亘る単一積分に比例する。

【0064】

【数2】

40

$$\rho(L, K > 0) = \int_{k=K/2}^{\infty} \text{Sys}(\beta, k) m^*(L, \beta, k) \frac{dk}{k^2}, \quad (3)$$

ここで、 $m(L, \quad, k)$  は、厚さLの薄膜構造に対する対象物反射率であり、対象物に依存しないシステム特性は、共に変数  $\text{Sys}(\quad, k)$  に集められる。ここでは、環状対称を仮定して、システム特性は、共に得られる、測定経路の透過率  $t(\quad, k)$ 、基準経路の反射率  $r(\quad, k)$ 、瞳面における光の想定する軸対称な分布  $U(\quad)$ 、ならびに

50



光源および検出器の有効な光学スペクトル  $V(k)$  を有する。

【0065】

$$Sys(\quad, k) = U(\quad) r(\quad, k) t^*(\quad, k) V(k) \quad (4)$$

式(3) [つまり数2] に現われる方向余弦 は、式(2) にかかるフリンジ周波数  $K$  および波数  $k$  の両方の関数であり、従って、積分の変数  $k$  にリンクされる。

【0066】

システム特性評価またはキャリブレーションは、 $Sys(\quad, k)$  を判定し、恐らく対象物に依存しない「基礎」ライブラリとして算出されうる。ここで「基礎」ライブラリは、モデル信号生成の最終ステップとして対象物表面  $m(L, \quad, k)$  に適用されうる。図4は、固体(膜がない)表面の信号予測の質を示している。

10

【0067】

モデル干渉信号を生成する方法は、2007年7月19日に出願され、「干渉法のためのモデル信号の生成」と題する特許文献4に開示され、その内容は、参照によってここに援用される。

【0068】

図5は、図3の実験データを解析する際に使用されうる典型的なモデル信号を示している。モデルに基づいた走査白色光干渉解析の共通用途の例である薄膜測定に対して、コンピュータは、膜材料が既知であると仮定して膜厚  $L$  を予測する。このように、膜厚  $L$  は、変数モデルパラメータであり、実験を理論と比較するための1つの方法は、膜厚の範囲(またはスキュー)に亘る比較のために考え得る信号のライブラリを予め算出することである。次に、モデル信号は、例えば式(3) [つまり数2] から算出されるそれらのフーリエまたは周波数領域当量  $(L, K)$  として格納される。勿論、ソフトウェアが十分に速い場合には、コンピュータはそれらを格納するよりもむしろオンザフライでモデル信号を算出する。しかしながら、潜在的にすべて同一のモデルパラメータスキューを持った多くの画像画素が解析されるとすれば、予め規定したライブラリを使用することは有利であることがある。0nm、500nm、および1000nmの膜厚に対してモデル化された図5のモデル信号を見て、コンピュータは、図3の干渉信号に寄与する  $SiO_2$  の厚さが1000nm厚に近いと推測する。

20

【0069】

一致動作(ステップS250)では、実験から得た干渉法信号は、一致モデル信号を特定するライブラリ検索によってライブラリと比較される。図6は、表面構造情報に対して対象物145を解析するために使用されるライブラリ検索のフローチャート例を示している。コンピュータは、干渉法信号を取得し(ステップS600)、モデル信号のライブラリを生成する(ステップS610)。次に、コンピュータは、干渉法信号およびモデル信号を比較する(ステップS630)。比較に基づいて、コンピュータは、表面構造を特徴づける試験対象物パラメータの判定に使用される一致モデル信号を特定する(ステップS640)。

30

【0070】

未知の厚さ(図3)の薄膜の場合、単一表面タイプのライブラリ(例えば、 $Si$ 上の $SiO_2$ )は、例えば零に常に等しい上面高さを持った多くの考え得る膜厚に亘ることができる。表面構造の他の例は、調整可能なパラメータが粗さの深さおよび/または空間周波数であることがある表面粗さ、および過小解像される格子構造である。

40

【0071】

図2に示される一致動作(ステップS250)を参照して、対象物145は、画素毎に画素上で2次元解析される。このように、コンピュータは、対象物のデータ箇所(画素)に対するフーリエデータを選択する(ステップS260)。次に、コンピュータは、ライブラリのエントリ(例えば、モデル信号またはスペクトル)を選択する(ステップS270)。干渉法およびモデル信号の相関関数を使用して、コンピュータは、干渉法信号およびモデル信号の相対位置(つまり、表面高さオフセット)を判定する(ステップS280)。表面高さオフセットは、どれが(例えば、周波数領域において)干渉法信号、モデル

50

スペクトル、または両方を補正するかに基づいて位相項に対応する（ステップ S 2 9 0）。次に、コンピュータは、干渉法信号とモデル信号の間の周波数領域差を算出することによって高さオフセット補正済メリット値を算出する（ステップ S 3 0 0）。

【 0 0 7 2 】

メリット値の算出は、ライブラリ全体またはライブラリのエントリの部分集合に対して繰り返される（ループ 3 1 0）。次に、コンピュータは、「最良の」メリット値（つまり、メリット関数に関連した基準を最も良く満たすライブラリエントリ（またはライブラリエントリの補間））を特定する。メリット値および／または関連するモデル信号に基づいて、コンピュータは、一又は複数の試験対象物パラメータ（例えば、薄膜厚さ、表面高さ）を判定する（ステップ S 3 2 0）。

10

【 0 0 7 3 】

この手順は、すべての注目する画素に対して繰り返され、試験対象物パラメータは、例えば、膜厚および高さの 3 次元画像として示される（ステップ S 3 4 0）。

次に、解析の数学的な記述が提供される。

【 0 0 7 4 】

幾つかの実施形態では、コンピュータは、周波数領域（例えば、フーリエ変換領域）のモデルおよび干渉法信号を比較する。式（ 1 ）はフーリエ逆変換であるので、コンピュータは、実験から得た強度データ  $I_{ex}(x, y, \zeta)$  の前方変換から、比較可能な実験から得たフーリエ係数  $q_{ex}(x, y, K)$  を生成しうる。

【 0 0 7 5 】

20

【 数 3 】

$$q_{ex}(x, y, K) = \int_{-\infty}^{\infty} I_{ex}(x, y, \zeta) \exp(iK\zeta) d\zeta. \quad (5)$$

実験から得た係数  $q_{ex}(x, y, K)$  は、表面高さ  $h(x, y)$  の一次関数である位相項を有する。

【 0 0 7 6 】

30

$$q_{ex}(x, y, K) = q_{ex}(x, y, K) \exp[iKh(x, y)] \quad (6)$$

項  $Kh(x, y)$  は、高さに依存した位相傾斜であり、該位相傾斜は、表面高さとは無関係に、表面構造のみに基づいて理論上予測されるフーリエ係数  $(L, K)$  とフーリエ係数  $q_{ex}(x, y, K)$  との直接比較を複雑にするおそれがある。したがって、最初にコンピュータは、高さに依存しない部分  $q_{ex}(x, y, K)$  だけを残して、 $q_{ex}(x, y, K)$  からその位相寄与を除去するように  $h(x, y)$  を十分に推定する。

【 0 0 7 7 】

実験から得た側の高さに依存した位相を補正するほか、コンピュータは、モデル側または両方の側の位相を考慮しうる。これらの場合、位相補正は、2つの信号を比較する際に、高さに依存しない重複を最適化するために、実験から得た干渉法信号およびモデル信号を走査位置に伝播させることに対応しうる。

40

【 0 0 7 8 】

高さ依存位相傾斜を判定するために、コンピュータは、 $h(x, y)$  の推定のために相関技術を使用する。コンピュータがモデル信号スペクトル  $(L, K)$  を有していると仮定して、実験およびモデル信号の相関は、次式によって与えられる。

【 0 0 7 9 】

【数 4】

$$J(x, y, L, \zeta) = \int_{-\infty}^{\infty} q_{ex}(x, y, K) \rho^*(L, K) dK \quad (7)$$

理論値と実験値が正しい一致すると識別された場合には、相関は、次式のようになる。

【0080】

【数 5】

$$J(x, y, L, \zeta) = \int_{-\infty}^{\infty} |\rho(L, K)|^2 \exp\{iK[h(x, y) - \zeta]\} dK \quad (8)$$

10

相関は、 $[h(x, y) - \zeta] = 0$  のときに、極大振幅を有するべきである。ピークは、 $|J(x, y, L, \zeta)|$  に対するピーク値を与える（特定のカメラフレームに対応する）離散的な位置  $best(x, y, L)$  をを見つけるために、走査位置  $\zeta$  をくまなく検索することによって、見つけれうる。位置  $best(x, y, L)$  は、例えばカメラフレーム間の二次補間によって値  $fine(x, y, L)$  に精緻化されうる。

【0081】

20

更にモデル信号が干渉法信号とまったく同一ではない場合でも、相関は、モデル信号および干渉法信号の「最良の」重複位置を特定することを依然として可能にする。

図7は、実験から得た干渉法信号およびモデル信号の相関量  $|J(x, y, L, \zeta)|$  の例を示している。ピークは、「最良の」重複位置を表わしている。モデル信号が干渉法信号に正確に一致する場合、ピークは、局所的な表面高さにも対応する。

【0082】

さらなる精緻化は、相関の複素位相  $A$  に基づきうる。

$$A(x, y, L) = \arg\{J[x, y, L, fine(x, y, L)]\} \quad (9)$$

複素位相  $A$  は、信号が相関量に基づいて（つまり、信号形状に基づいて）可及的最良に並ぶ場合のモデル信号と干渉法信号の間の全体的な  $K$  に依存しない位相差に関係している。理想的なケースでは、モデル信号が機器または表面材料に関する任意の予期される位相シフトを有する場合、このように測定された複素位相  $A(x, y, L)$  は、正しい厚さ  $L_{best}$  が特定されると零であるべきである。複素位相  $A(x, y, L)$  は、フィッティングを最適化するために自由変数として保存されうるが、コンピュータは、メリット関数においても複素位相  $A(x, y, L)$  を使用することによって、そのフィッティングの質を評価しうる。

30

【0083】

高さオフセットを与える精緻化された走査位置  $fine(x, y, L)$  に基づいて、コンピュータは、線形位相項を補正しうる。例えば、コンピュータは、走査内の位置およびモデル信号に対する任意の位相オフセットに対して修正された、実験から得た信号係数  $q_{shift}$  を算出しうる。

40

【0084】

$$q_{shift}(x, y, L, K) = q_{ex}(x, y, K) \exp[-iK fine(x, y, L) - iA(x, y, L)] \quad (10)$$

ここで、 $fine(x, y, L)$  は、相関  $|J(x, y, L, \zeta)|$  に対する補間された「最良の」一致走査位置であり、位相差  $A(x, y, L)$  は、式(9)から得られる。もしコンピュータが正しい厚さ  $L_{best}$  を特定していれば、干渉法信号の位相シフトしたフーリエ係数は、次式のようになる。

【0085】

50

$$q_{shift}(x, y, L_{best}, K) = q_{ex}(x, y, K) \quad (11)$$

しかしながら、Lの他のすべての試験値に対して、コンピュータは、これがおよそのケースであるとだけ期待しうる。

【0086】

位相補正に基づいて、コンピュータは、モデル信号および干渉法信号の一致(matching)の質を表わす位相(高さオフセット)補正済メリット値を算出する。モデル信号と干渉法信号の間の一致の質に対する適切な手段は、最小二乗法差である。

【0087】

【数6】

10

$$\chi^2 = \sum_K [q'_{shift}(x, y, L, K) - \rho'(L, K)]^2, \quad (12)$$

ここで、合計は、(L, K) 0に対するK値のすべてに亘っている(つまり、期待される信号帯域幅によって規定される注目している周波数範囲領域  $K_{max} \leq K \leq K_{min}$  内であって、雑音およびドリフトを除く)。

【0088】

式(12)[つまり数6]のようにこの比較を直接行なうために、モデルおよび実験から得た信号は、ダッシュ記号で示されるように信号強度について規格化されている。

20

【0089】

【数7】

$$q'_{shift}(x, y, L, K) = \frac{q_{shift}(x, y, L, K)}{\int_{K=K_{max}}^{K=K_{min}} |q_{ex}(x, y, K)| dK}, \quad (13)$$

30

【0090】

【数8】

$$\rho'(L, K) = \frac{\rho(L, K)}{\int_{K=K_{max}}^{K=K_{min}} |\rho(L, K)| dK}. \quad (14)$$

図8は、左右のプロットにおけるフーリエ係数の実数部分および虚数部分に対するグラフ形式の比較をそれぞれ示している。係数の振動は、膜厚に関係している(膜が厚いほど、フリンジ周波数Kの関数としてこれらの振動はより速くなる)。滑らかな線は、モデルスペクトル  $\rho'(L, K)$  を示し、線(基のデータを示す)は、位相補正済の実験から得た係数  $q'_{shift}(x, y, L, K)$  を示している。

40

【0091】

図9は、周波数領域探索によって分かるように、最良一致に対応したモデル信号(破線で示す)と、走査範囲における実験から得た信号とを示している。実験から得た信号は、図3の元のデータよりも図9においてよりきれいである。なぜならば、それが、信号のみに対応した周波数領域における注目領域から再構築され、それにより、雑音および低周波ドリフトをフィルタリングするからである。

【0092】

50

コンピュータは、 $\chi^2$  関数の最小値によって最良一致を非常にうまく特定しうるが、コンピュータは、 $\chi^2$  関数に反比例するメリット関数を構築することが可能であり、その結果、最良一致は、ライブラリエントリに対するメリット値分布におけるピークによって規定される。メリット関数は更に、複素相関から式(9)において算出された位相差  $A(x, y, L)$  のような他の基準を有しうる。注記したように、理想的なケースでは、このように測定される位相差  $A(x, y, L)$  は、正しい厚さ  $L = L_{best}$  で零であるべきであり、従って、非零値は、実験と理論の間の不一致の量である。更に、良い一致は、 $\zeta_{fine}$  での大きい相関ピークを有するべきである。従って、適切なメリット関数は、例えば次式のようになる。

【0093】

【数9】

$$\Pi(x, y, L) = \frac{|J(x, y, L, \zeta_{fine})|^2}{\chi^2(x, y, L)} \left[ 1 - w_A \left| \frac{A(x, y, L)}{\pi} \right| \right]^2. \quad (15)$$

コンピュータは、勿論、アルゴリズムの堅牢さを最適化するための、または、メリット基準としての信号強度のような他の因子を使用するための他のメリット関数を構築しうる。

【0094】

表面構造を評価するパラメータを決定するために、コンピュータは、応用モデル信号のためのメリット関数の計算値を評価する。図10は、図3の信号の例に対するメリット値の分布を示す。モデル信号のライブラリが十分に小さい厚さインクリメントを有している場合、 $L = L_{best}$  で最大のメリット値を与えるモデル信号を単に特定すれば十分である。ライブラリが十分に小さい厚さインクリメントを有していない場合、ライブラリ値  $L_{best}$  近傍の二次曲線近似によって  $L_{fine}$  を補間することが有用であり、効率的でありうる。他の可能性は、格納されたライブラリ値を使用するのではなく、近隣値間でモデル信号自体を補間すること、または、リアルタイムにモデル信号を算出することを有する「ライブ」検索を行なうことを有する。付加的なオプションは、信号対雑音を改善するために複数の画素に亘るメリット値を平均することである。

【0095】

メリット値の分布は、特定の膜厚 ( $Si$  上の  $SiO_2$ ) に対するモデル信号と実験から得た干渉法信号の間の一貫の質を示す。図10のケースでは、最良一致のモデル信号は、1008 nm の膜厚に関連したモデルパラメータに対してモデル化されている。

【0096】

幾つかの実施形態では、コンピュータが相関手順中に必要な情報を既に算出しているので、上面高さプロファイルを生成することは単純である場合がある。コヒーレンスピークに基づいた表面高さの最初の予測は、次式のようになる。

【0097】

$$h(x, y) = \zeta_{fine}(x, y, L_{best}) \quad (16)$$

ここで、添字  $\zeta$  は、この高さがコヒーレンスまたは信号形状効果に関係していることを示している。より精緻化された予測は、次式で与えられる。

【0098】

【数10】

$$h_\theta(x, y) = h_\theta(x, y) + \frac{1}{K_0} \left\{ A(x, y, L_{best}) - 2\pi \text{round} \left[ \frac{A(x, y, L_{best}) - \alpha}{2\pi} \right] \right\}, \quad (17)$$

10

20

30

40

50

ここで、 $\rho$  は、 $x$  および  $y$  の座標上の  $A(x, y, L_{best})$  のフィールド平均であり、 $K_0$  は、膜のない表面に対するフーリエ係数の平方量の重心 (centroid) によって規定される公称搬送波信号周波数である。

【0099】

【数11】

$$K_0 = \frac{\int_0^\infty K |\rho(L=0, K)|^2 dK}{\int_0^\infty |\rho(L=0, K)|^2 dK} \cdot (18)$$

10

図11および図12は、ここに記述される方法およびシステムのプロファイリング能力を示している。図11は、厚さ980nmのSiO<sub>2</sub>膜を約160nmの深さにエッチングした溝の2次元表面プロファイルを示している。上面プロファイルが薄膜効果による干渉なしに測定されるように、溝の一部は、金で被覆されている。線は、金で溝を被覆することによって測定されるような上面プロファイルである。図11における比較は、この上面高さプロファイルと、測定される膜厚との間にあり、高さプロファイルに対するオフセットは、上面での曲線と一致している。その結果は、僅かに深い溝深さを示し、それは、本物（溝底に金が溜まった結果）またはモデル化のアーティファクト (artifact) であることがある。いずれの場合も、一致はかなり近く、高い横方向分解能の<200nmの膜厚プロファイリングを示している。

20

【0100】

図12は、平面パネルディスプレイ用のTFT領域の3次元表面プロファイルを示している。左側の100X強度画像に示されるようなTFT領域は、右側の3次元プロファイルにおける120nmから320nmまでを測定する蹄鉄形HT領域におけるフォトレジスト膜に対する厚さ範囲を有している。

【0101】

開示の実施形態は、コンピュータが高さオフセットを特定する際に位相をアンラッピングすることに依存せず、従って、一般には位相アンラッピングによって導入されることがある不確実性に影響されない。位相アンラッピングの不確実性は、図13に関連して説明される。干渉法信号を解析する幾つか方法は、位相アンラッピングに依存している。例えば、特許文献2に開示される1つの実施形態では、コンピュータは、走査干渉法信号とモデル信号の間の位相差に対する線形近似を減算することによって線形位相変化を除去する。次に、コンピュータは、残った非線形位相スペクトルを解析する。

30

【0102】

線形近似によって位相傾斜を除去することは、コンピュータがフーリエ周波数に亘って位相データをアンラップするかまたは接続することを必要とする。位相アンラッピングは、不可避の2位相の不確実性を除去する。この不確実性は、位相値が算出される際に生じる。しかしながら、位相アンラッピングは、例えば複雑な表面構造では必ずしも容易だとは限らない。薄膜に関連した実際の位相非線形は、反射防止コーティングに対応した波長および角度に対するの振幅を持ちうる。

40

【0103】

図13では、フーリエ振幅および位相は、508nmの厚さを持つモリブデン上にフォトレジスト材料の薄膜を有した試験対象物の走査干渉法信号に対するフーリエ周波数（サイクル/トレース）に亘ってプロットされる。

【0104】

図13の例は、位相アンラッピングに存在し、且つ試験対象物の解析の質に影響する不確実性を示している。1サイクルまたは2位相跳躍は、周波数ビン28および29と周波数ビン55および56の間で与えられる。2位相跳躍は、恐らく±範囲にラップされる全体的な位相傾斜の結果である。周波数ビン55および56での2位相跳躍は、2

50

を除すること、および、 $-0.5$  サイクルの値で位相を継続することによって修正 (repair) されうる。

【0105】

ピン56からピン57への位相跳躍は、より複雑である。なぜならば、それは、ピン56とは略正確に 分だけ異なるからである。アンラッピング手順は、そのような位相ステップに亘って無秩序である (場合によっては2 でラッピングし、場合によってはそうしない)。位相アンラッピングに一貫性がない場合、解析の結果も一貫性がない。

【0106】

多くの実施形態が記述されている。しかしながら、様々な修正が本発明の精神および範囲から逸脱することなしになされうることが理解されるであろう (その幾つかの例は下に述べられる)。

【0107】

この開示では、「干渉法信号」および「モデル信号」は、多くの場合、単純化の理由で使用されるが、それから派生する情報は、多くの目的に対して同様の方法で使用されうる。例えば、干渉法信号およびモデル信号の比較は、処理された干渉法および/またはモデル信号に基づきうる。例えば、干渉法信号は、雑音抑制または補正によってデジタルで予め処理された信号部分または時間範囲の選択でありうる。更に比較は、周波数領域表現における干渉法信号のライブラリ比較 (例えば、干渉法信号に関連した周波数スペクトルとモデル化された周波数スペクトルとの比較) に基づきうる。

【0108】

上述した実施形態では、高さ補正は、走査干渉法信号の修正によって達成されたが、コンピュータは、モデル信号または両方 (つまり、走査干渉法信号およびモデル信号) を修正しうる。しかしながら、修正は、干渉法信号およびモデル信号の比較が共通の表面高さに関係している信号に基づくようなものであるべきである。例えば、モデルにおける伝播光学経路長は、干渉計の光学経路長に調整され、その結果、干渉計およびモデルにおける零光学経路長差は、測定光および試験光に対して同一条件に基づいている。

【0109】

一般に、高さオフセット補正済メリット値は、高さオフセット補正済、位相補正済、および/または表面高さに依存しない干渉法信号 (またはそれから派生した情報) に基づいて算出されうる。例えば、高さオフセット補正済メリット値は、干渉法信号の位相補正済スペクトル (例えば、フーリエスペクトル) の表示において得られる。

【0110】

モデル信号との比較に対して、モデル信号のライブラリは、サンプル人工物を使用して経験的に生じることが可能である。別の代案として、ライブラリは、他の機器 (例えば、楕円偏光計) によって提供される対象物表面の先行補足測定からの情報および対象物表面の既知の特性に関するユーザからの他の入力を使用することが可能であり、その結果、未知の表面パラメータの数を減じる。ライブラリ生成、理論モデル化、経験的データ、または補足測定によって増大した理論に対するこれらの技術のうちのいずれも、中間値を生成するために、ライブラリ生成の一部として、または、ライブラリ検索中にリアルタイムで、補間によって拡張されうる。

【0111】

モデルおよび干渉法信号の比較は、次のうちのいずれかに基づくことが可能である: 周波数スペクトルにおける振幅および/または位相データの積またはこれらの間の差 (例えば、平均振幅および平均位相、平均振幅自体、ならびに平均位相自体の積またはそれらの間の差を有する); 振幅スペクトルの傾斜、幅、および/または高さ; 干渉コントラスト; DCまたは零空間周波数での周波数スペクトルにおけるデータ; 振幅スペクトルの非線形性または形状; 位相の零周波数切片; 位相スペクトルの非線形性または形状; およびこれらの基準の任意の組合せ。

【0112】

幾つかの実施形態では、試験対象物パラメータは、算出されたメリット値に基づいて判

10

20

30

40

50

定される。具体的には、試験対象物パラメータは、最良のメリット値を有した「最も良く一致する」モデル信号、一又は複数の「最も良く一致する」モデル信号から導かれる一又は複数の補間されたモデル信号、および/または、一又は複数の「最も良く一致する」モデル信号に関連した補間されたモデルパラメータに基づきうる。

#### 【0113】

試験対象物パラメータの例は、表面構造について記述するパラメータを有する。表面構造は、表面高さの特徴（例えば、干渉法顕微鏡で光学的に解像しうる）によって、および、複雑な表面構造の特徴によって特徴づけられうる。本明細書では、複雑な表面構造は、試験対象物の内部構造と、干渉法顕微鏡で光学的に解像することができない過小解像される表面構造とを有する。表面高さの特徴のパラメータに対する例は、表面高さ自体を有する。内部構造のパラメータに対する例は、薄膜データ（例えば、薄膜層の厚さ、屈折率、および数）を有する。過小解像される表面構造のパラメータに対する例は、過小解像回析格子構造、ステップ高さ構造、およびステップの位置などの過小解像特徴データを有する。

10

#### 【0114】

試験対象物パラメータは、モデル信号に関連づけられることが可能である。例えば、表面高さを特徴づけるパラメータは、干渉法信号および最良一致モデル信号を相関させることを通じて判定されうる。次に、相関は、表面高さに関連した走査座標でピークを生じさせる。同様に、周波数領域では、表面高さは、従来のFDA解析を使用して抽出されうる。複雑な表面の特徴に対する例として、コンピュータは、最良一致モデル信号をモデル化する際にモデルパラメータとして使用された界面膜の厚さを、試験対象物の界面膜の判定した厚さとして割り当てうる。

20

#### 【0115】

幾つかのケースでは、比較は、結果を更に改善するために反復して行なわれうる。二次元では、比較は、局所的な表面の種類に関する精緻化されたモデル信号の生成によって、画素または局所的ベースで精緻化されうる。例えば、表面が予備比較中に約0.1ミクロンの薄膜を有していることが分かった場合、コンピュータは、比較を更に精緻化させるために、1ミクロンに近いモデルパラメータの例（薄膜厚さ）の微細粒ライブラリを生成することが可能である。

#### 【0116】

幾つかの実施形態では、解析は、干渉法信号とモデル信号の間の高さ補正済比較が走査座標領域における情報に基づいているという点を除いて、図2に記述されたものと同様であることが可能である。実験から得た信号は、走査座標に対するエンベロープ関数によって振幅で変調された疑似周期的な搬送波振動によって特徴づけられることが可能である。次に、モデルおよび干渉法信号の比較は、次のうちのいずれかに基づくことが可能である：平均信号強度；信号エンベロープの形状（例えば、ガウスなどの或る理想的なまたは基準形状からのずれを有する）；エンベロープ関数に対する搬送波信号の補正済位相；ゼロ交差および/または信号の最大値および最小値の相対間隔；最大値と最小値に対する値およびそれらの順番；最適な相対走査位置を調整した後の干渉法およびモデル信号間の相関のピーク値；およびこれらの基準の任意の組合せ。

30

40

#### 【0117】

干渉法信号およびモデル信号の比較に基づいて、コンピュータは、一又は複数の試験対象物パラメータを判定しうる。次に、コンピュータは、さらなる解析またはデータ保存のためにユーザまたは上位システムに対して、表面構造（複雑な表面構造および高さ情報）について記述するこれらの試験対象物パラメータを数値的にまたはグラフ形式で表示または送信することが可能である。

#### 【0118】

例えば、一致するモデルおよび/または相関関数を使用して、コンピュータは、特定された複雑な表面構造の特徴に加えて、表面高さ情報を判定する。2次元画像化のケースでは、コンピュータは、例えば、高さデータおよび対応する画像平面座標から構築された3

50



次元画像を、複雑な表面構造のグラフ形式のまたは数値的な表示と共に、生成しうる。

【0119】

幾つかの実施形態では、ユーザは、単に、表面高さではなく、モデル信号によってモデル化された複雑な表面構造に興味を持っていることがあり、その場合、表面高さを判定するためのステップは、行なわれない。反対に、ユーザは、単に、モデル信号によってモデル化された複雑な表面構造ではなく、表面高さに興味を持っていることがあり、その場合、コンピュータは、干渉法信号およびモデル信号を比較する際に線形位相の寄与に対する実験から得た干渉法信号（またはそれから派生した情報）および/またはモデル信号（またはそれから派生した情報）を補正し、その結果、一致するモデルおよび連続的に表面高さは、より正確に且つより効率的に判定されうるが、コンピュータは、複雑な表面構造を明示的に判定するか、または、それを表示する必要はない。

10

【0120】

上述した解析は、次のものを有する様々な表面解析の問題に適用されうる：単純な薄膜（その場合、例えば、注目する変数パラメータは、膜厚、膜の屈折率、基板の屈折率、またはそれらの或る組合せであることが可能である）；多層の薄膜；回折するかそうでなければ複雑な干渉効果を生成するシャープエッジおよび表面特徴；過小解像される表面粗さ；過小解像される表面特徴（例えば、そうでなければ滑らかな表面上のサブ波長幅溝）；相違材料（例えば、表面は、薄膜および固体金属の組合せを有することが可能であり、その場合、ライブラリは、両方の表面構造の種類を含み、対応する周波数領域スペクトルに対する一致によって膜または固体金属を自動的に特定することが可能である）；蛍光などの光学活性；色および波長依存反射率などの表面の分光特性；表面の極性依存特性；表面の撓み、振動、もしくは動作、または干渉信号の動揺をもたらす変形可能な表面特徴；およびデータ取得手順に関するデータ歪み（例えば、干渉法信号を完全には包含しないデータ取得ウィンドウ）。

20

【0121】

このように、関連した表面を特徴とする試験対象物パラメータが判定されることができ、モデル信号は、モデル化処理におけるこれらの特徴について記述するモデルパラメータによってパラメータ化されうる。

【0122】

幾つかのケースでは、解析は更に、システム特性評価を有することが可能であり、それは、例えば既知の表面構造および表面トポグラフィを有した一又は複数の基準人工物を測定することを含み、その結果、理論モデルに含まれないことがあるシステム波面誤差、分散、および効率などのパラメータを判定する。

30

【0123】

解析は更に、全体的なキャリブレーションを有することが可能であり、それは、例えば、ライブラリ検索によって判定されるような膜厚などの測定表面パラメータと、例えば偏光解析によって独立して判定されるようなこれらのパラメータに対する値との間の相関を判定するために、一又は複数の基準人工物を測定することを有する。

【0124】

干渉法システムは、次の特徴のうちのいずれかを有しうる。：高開口数（NA）の対物を備えた狭スペクトル帯域光源；広スペクトル帯域光源；高NA対物および広スペクトル帯域光源の組合せ；干渉計測顕微鏡対物（例えば、Michelson、Mirau、またはLinnik形状における油/水浸漬および固体浸漬の種類を有する）；複数の波長での一連の測定；偏光していない光；および偏光した光（線形、円形、または構造化されたものを有する）。例えば、構造化された偏光は、例えば、偏光マスクを有することが可能であり、照明または画像化瞳の異なる部分に対して異なる偏光を生じさせ、その結果、表面の特徴によってもたらされる極性依存の光学的効果を見せる。干渉計は、上述した全体システムのキャリブレーションを有しうる。

40

【0125】

他の実施形態では、光源モジュールは、空間的に拡張された光源が試験対象物上に直接

50

画像化される配置を有することが可能であり、それは、限界画像化として知られている。

幾つかの実施形態では、走査干渉法信号を生成するために使用される光の制限されたコヒーレンス長は、白色光源に基づくか、または、一般に、広帯域の光源に基づいている。他の実施形態では、光源は、単色であることが可能であり、制限されたコヒーレンス長は、試験対象物に光を向けるために高開口数（ $NA$ ）を使用すること、および/または、試験対象物から光を受けることによってもたらされることがある。高 $NA$ は、光線を角度範囲に亘って試験面に接触させ、光学経路長差が走査される際に、記録された信号において異なる空間周波数成分を生成する。さらなる実施形態では、制限されたコヒーレンスは、両方の効果の組合せによってもたらされうる。

【0126】

10

制限されたコヒーレンス長の源は更に、情報が走査干渉法信号にある物理的な根拠であることが可能である。具体的には、走査干渉法信号は、複雑な表面構造に関する情報を有する。なぜならば、それが、様々な波長によりおよび/または様々な角度で試験面と接触する光線によって生じるからである。

【0127】

楕円偏光解析法測定を提供するために、干渉法システムは、瞳面に固定または可変の偏光子を備えることが可能である。図1を参照して、Mirau型走査干渉法システム100は、瞳面に偏光光学子197を備えることができ、試験サンプルに入射する光および試験サンプルから出現する光に望ましい偏光を選択する。偏光光学子は更に、選択された偏光を変更するために再構成可能であることある。偏光光学子は、一又は複数の要素を備え、それは、所定の偏光を選択するために、偏光子、波長板、アポディゼーション開口、および/または変調要素を備えることが可能である。偏光光学子は更に、楕円偏光計のものと同様のデータを生成する目的で、固定される、構造化される、または再構成可能とされることがある。例えば、最初の測定は、 $s$  偏光のための放射状に偏光された瞳を伴い、続いて、 $p$  偏光のための放射状に偏光された瞳を伴う。別の例では、コンピュータは、線形偏光によるアポダイズされた瞳面（例えば、スリットまたはウェッジ）を使用することが可能であり、それは、瞳面において回転することができ、その結果、任意の望ましい線形偏光状態を対象物または液晶ディスプレイなどの再構成可能なスクリーンに向ける。

20

【0128】

さらなる実施形態では、偏光光学子は、装置のどこか他に配置されることも可能である。例えば、線形偏光は、本システムの任意の場所で達成されうる。

30

代替の構成は、干渉法システムの瞳面195でのまたはその近傍の開口、偏光子、波長フィルタ、または他の装置の使用を可能にすることがあり、その結果、静的または動的に様々な瞳面内の方位角、位置、偏光などを分離する。

【0129】

例えば、様々な偏光状態により試験対象物を解析するために、コンピュータは、例えば照明または画像化平面における偏光要素を使用しうる。これらの要素は、電気光学的に作動され、高速に動作することが可能であり、再び、単一検出器配置によって与えられる高速データ取得のために毎秒何百もの測定を提供する。

【0130】

40

これに代えてまたはこれに加えて、コンピュータは、フィルタリングされた光源および複数のデータ取得を使用することによって複数の波長を適用または選択しうる。波長のフィルタリングは、分光手段、調整可能な波長干渉フィルタ、第2の干渉計、音響光学的な調整可能なフィルタ、順に動作する複数のレーザなどの切換え可能な光源、または任意の他の装置、または装置の組合せによって行なわれることが可能である。

【0131】

代替の構成は、高速データ取得を可能にすることがあり、それは、画像平面近傍の単一または小数の検出器要素によって可能になり、必要に応じて迅速で反復的な測定を可能にし、機器構成の平均化または連続的な変化（例えば、波長範囲を通じて連続的に）を提供する。

50

## 【 0 1 3 2 】

他の用途では、上述した技術は、半導体製造における処理制御に適用されうる。この例は、限界寸法（ＣＤ）についての製造過程監視であり、それは、ミクロンおよびナノメートルスケールの多くの先端技術構成要素の製造の中心となる。その例は、トランジスタおよびロジック生成などの半導体ＩＣ処理を含み、同様に、銅のダマシン接続を有する。広く規定すれば、限界寸法は、横方向寸法、エッチング深さ、膜厚、段差、側壁角度、および半導体装置の性能に影響を及ぼす関連した物理的寸法を有する。限界寸法計測学は、製造中に、特に、エッチング、研磨、クリーニング、およびパターン化などの処理の結果として生じる処理制御および欠陥検出を提供する。加えて、限界寸法計測学が意味する基礎的な測定能力は、例えば、ディスプレイ、ナノ構造体、回折光学子を有する半導体ＩＣ製造以外の広い用途を有している。

10

## 【 0 1 3 3 】

例えば、走査干渉法測定は、ウェハ上の誘電体層の化学機械的な研磨（ＣＭＰ）中に非接触面トポグラフィ測定半導体ウェハに使用されうる。ＣＭＰは、精密光学リソグラフィに適した、誘電体層のための滑らかな表面を生成するために使用される。干渉計測トポグラフィ方法の結果に基づいて、ＣＭＰのための処理条件（例えば、パッド圧力、研磨スラリー組成など）は、表面の不均一性を許容限界内に維持するために調整されうる。

## 【 0 1 3 4 】

更に添付図面に図示された構成システム要素および方法ステップのうちの幾つかはソフトウェアで実施されうるので、システム構成要素（または処理ステップ）間の実際の接続は、開示される方法がプログラムされる方法に応じて異なることがあることが理解されるべきである。ここに提供される教示を与えられて、当業者は、開示されるシステムおよび方法のこれらおよび同様の実施または構成を予測することが可能である。

20

## 【 0 1 3 5 】

例えば、ここに記述される数値的および記号のステップは、例えば、本技術において周知の方法にかかるデジタル信号プロセッサ上で実行されるデジタルプログラムに変換されうる。デジタルプログラムは、ハードディスクなどのコンピュータ読取り可能な媒体上に格納されることができ、コンピュータプロセッサによって実行可能でありうる。代わりに、適切なステップは、デジタルプログラムに変換されることができ、また、配線接続されたステップを実行するプロセッサ内の専用電子回路に変換されうる。更に、与えられた数値的または記号の解析手順に基づいたそのような専用電子回路を生成する方法は、本技術分野においても周知である。

30

## 【 0 1 3 6 】

## 〔 典型的な用途 〕

先に議論したように、上記のシステムおよび方法は、様々な表面解析問題に適用されうる。或る典型的な用途の記述は以下の通りである。

## 【 0 1 3 7 】

## 〔 半導体処理 〕

上述したシステムおよび方法は、ツール固有の監視または処理フロー自体の制御に対して半導体処理において使用されうる。処理監視用途では、単一層／多層膜は、対応する処理ツールによってパターン化されていないＳｉウェハ（監視ウェハ）から成長、蒸着、研磨、またはエッチング除去され、続いて、厚さおよび／または光学的性質は、ここに開示される走査誤差修正技術を利用する干渉法システムを使用して測定される。これらの監視ウェハの厚さ（および／または光学的性質）の平均のほかウェハの均一性は、関連する処理ツールが対象とされるスペックで動作しているか、または、再度対象とされるか、調整されるか、または製造使用のために取り出されるべきである否かを判定するために使用される。

40

## 【 0 1 3 8 】

処理制御用途では、後者の単一／多層膜は、パターン化されたＳｉ製造ウェハに、対応する処理ツールによって成長、蒸着、研磨、またはエッチング除去され、続いて、厚さお

50

よび／または光学的性質は、ここに開示される走査誤差修正技術を利用する干渉法システムによって測定される。処理制御に使用される製造測定は、典型的には、小さい測定サイトと、測定ツールを注目するサンプル領域に位置決めする能力とを有する。このサイトは、多層膜スタック（それ自体がパターン化されることがある）からなり、従って、関連する物理的なパラメータを抽出するために複雑な数学的モデル化を要求することがある。処理制御測定は、統合処理フローの安定性を判定し、統合処理が継続するべきか、再度対象とされるべきか、他の装置に転送されるべきか、または、全体的にシャットダウンされるべきか否かを判定する。

#### 【 0 1 3 9 】

具体的には、例えば、ここに開示される干渉法システムは、次の装置を監視するために使用されうる：拡散、高速熱処理（rapid thermal anneal）し、化学気相成長（chemical vapour deposition）ツール（低圧および高圧の両方）、誘電体エッチング、化学機械研磨器、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露光ツール。加えて、ここに開示される干渉法システムは、次の処理を制御するために使用されうる：溝および絶縁、トランジスタ形成のほか、層間誘電体形成（デュアルダマシンなど）。

#### 【 0 1 4 0 】

##### [ 銅相互接続構造および化学機械研磨 ]

チップメーカーの間では、それは、チップの異なる部分間の電気配線を形成する所謂「デュアルダマシン銅」処理を使用することが一般的になっている。これは、適切な表面トポグラフィシステムを使用して効率的に特徴づけられることが可能な処理の一例である。デュアルダマシン処理は、6つ部分を持つと考えられることがある：（1）層間誘電体（ILD）蒸着（誘電体（ポリマーまたはガラスなど）の層がウェハ（複数の個々のチップを有する）の表面に蒸着される）；（2）化学機械研磨（CMP）（誘電体層が、精密光学的リソグラフィに適した滑らかな表面を生成するように研磨される）；（3）リソグラフィのパターン化および反応性イオンのエッチングステップの組合せ（複雑なネットワークが、ウェハ表面と平行に走る狭い溝と、溝の底から下側の（先に規定された）導電層に走る小さいビアとを含んで生成される）；（4）銅溝およびビアの蒸着がもたらす金属蒸着ステップの組合せ；（5）誘電体蒸着ステップ（誘電体が銅溝およびビアに亘って適用される）；および（6）最終CMPステップ（余分な銅が除去され、誘電体に囲まれた銅充填溝（および恐らくビアも）のネットワークを残す）。

#### 【 0 1 4 1 】

図14Aを参照して、装置500は、基板501上に配置された銅表面502に亘って、誘電体504を蒸着することによってもたらされる膜構造の典型例である。誘電体504は、それに沿った高さ変化を呈する不均一の外表面506を有している。装置500から得られる干渉信号は、表面506に起因するフリンジと、銅表面502と誘電体504の間の界面508と、基板501と誘電体504の間の界面510とを有しうる。装置500は、フリンジも生成する複数の他の表面を有しうる。

#### 【 0 1 4 2 】

図14Bを参照して、装置500'は、最終CMPステップ後の装置500の状態を示している。上側の表面506は、表面506'に平坦化され、界面508は、今度は周囲に露出されうる。基板表面の界面510は、元の状態のままである。装置の性能および均一性は、決定的に表面506の平面化の監視に依存している。研磨速度、そして従って、研磨後に残る銅（および誘電体）の厚さは、研磨条件（パッド圧力および研磨スラリー組成など）のほか、銅および周囲の誘電体領域の局所的な詳細構成（つまり、幾何学的配置、近接性、および形状）に強く且つ複雑な方法で依存することを理解することは重要である。従って、銅要素502に亘る表面506の部分は、表面506の他の部分とは異なる速度でエッチングされるおそれがある。加えて、一旦、銅要素502の界面508が露出されると、誘電体および銅要素は、異なるエッチング速度を呈するおそれがある。

#### 【 0 1 4 3 】

この「位置依存の研磨速度」は、多くの横方向長さスケールの可変表面トポグラフィを生じさせるものとして知られている。例えば、それは、全体としてウェハの縁により近くに位置したチップが、中心の近くに位置したものよりも高速に研磨され、縁近傍では望まれるよりも薄く、且つ、中心では望まれるよりも厚い銅領域を生成することを意味する。これは、「ウェハスケール」処理の不均一性の例である（つまり、ウェハ径と同程度である長さスケールで生じる）。高密度の銅溝を有した領域が低銅線密度を持った近くの領域より高速に研磨されることも知られている。これは、高銅密度領域における「CMP誘引腐食」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」処理の不均一性の一例である（つまり、単一チップの直線寸法と同程度である（および、場合によっては、それよりもずっと小さい）長さスケールに生じる）。「凹む（dishing）」こととして知られる別の種類のチップスケールの不均一性は、単一の銅充填溝領域（周囲の誘電体材料よりも高速で研磨される傾向にある）内で生じる。幅方向の数ミクロンよりも大きい溝に対して、凹みは、影響を受けた線が後に過度の電気抵抗を呈する結果と共に深刻になることがあり、チップ故障を引き起こす。

#### 【0144】

CMP起因のウェハおよびチップスケール処理の不均一性は、予測するのが本質的に難しく、それらは、CMP処理システム内の条件が発展する際に時間と共に変化させられる。任意の不均一性が許容限界内に残ることを保証する目的で、処理条件を効率的に監視し、適切に調整するために、プロセスエンジニアにとって、多数のおよび多種多様の位置でチップ上の非接触面トポグラフィ測定を頻繁に行なうことは重要である。これは、上述した干渉法方法およびシステムの実施形態を使用することによって可能となる。

#### 【0145】

幾つかの実施形態では、一又は複数の空間特性（例えば、表面506のトポグラフィおよび/または誘電体504の厚さ）は、CMP前および/またはCMP中に構造から低コヒーレンス干渉信号を得ることによって監視される。空間特性に基づいて、研磨条件は、所望の平面506'を達成するために変更されうる。例えば、パッド圧力、パッド圧力分布、研磨剤の特徴、溶剤組成および流れ、ならびに他の条件は、空間特性に基づいて判定されうる。或る期間の研磨の後、空間特性が再び判定されることができ、研磨条件は、必要に応じて変更される。更に、トポグラフィおよび/または厚さは、例えば、表面504'が達成される終点を示す。このように、低コヒーレンス干渉信号は、対象物の異なる領域を研磨し過ぎることによって生じた窪みを回避するために使用されうる。低コヒーレンス干渉法およびシステムは、この観点において有利である。なぜならば、装置の空間特性（例えば、（a）銅要素502上の、および（b）基板表面510上であるが銅要素502に隣接した、誘電体の表面の相対的な高さ）は、複数の界面が存在する状態でさえ判定されうるからである。

#### 【0146】

##### 〔フォトリソグラフィ〕

多くのマイクロエレクトロニクスの用途では、フォトリソグラフィは、基板（例えば、シリコンウェハ）上に重なるフォトレジスト層をパターン化するために使用される。図15Aおよび図15Bを参照して、対象物30は、基板（例えば、ウェハ32）および被覆層（例えば、フォトレジスト層34）を備えている。対象物30は、異なる屈折率の材料間で生じるように複数の界面を備えている。例えば、対象物周囲界面38は、フォトレジスト層34の外表面39が対象物30を囲む環境（例えば、液体、空気、他のガス、真空）と接触するところと規定される。基板層界面36は、ウェハ32の表面35とフォトレジスト層34の底面37との間に規定される。ウェハの表面35は、複数のパターン化された表面29を有しうる。これらの表面のうちの幾つかは、基板の隣接した部分と同一の高さを有しているが、異なる屈折率を有している。他の表面は、基板の隣接した部分に対して上方または下方へ延びることが可能である。従って、基板層界面36は、フォトレジストの外表面の下に重なる複雑で変化するトポグラフィを呈することがある。

#### 【0147】

フォトリソグラフィ装置は、対象物上にパターンを画像化する。例えば、パターンは、電子回路の要素（または回路のネガティブ）に対応することが可能である。画像化の後、フォトレジストの部分は除去され、除去されたフォトレジストの下に重なる基板を露出させる。露出した基板は、エッチングされるか、蒸着材料で覆われるか、そうでなければ、修正されうる。残ったフォトレジストは、そのような修正から基板の他の部分を保護する。

#### 【0148】

製造効率を上昇させるために、複数の装置が場合によっては単一のウェハから作成される。それらの装置は、同一であるかまたは異なることが可能である。各装置は、ウェハの部分集合をパターンで画像化することを必要とする。幾つかのケースでは、パターンは、異なる部分集合上に連続して画像化される。連続画像化は、幾つかの理由のために行なわれることがある。光学収差は、ウェハのより大きい領域に亘る適切なパターンの焦点品質を達成することを阻害することがある。光学収差がない状態でさえ、ウェハおよびフォトレジストの空間特性もまた、ウェハの大きい領域に亘る適切なパターンの焦点を達成することを阻害することがある。ウェハ/レジストの空間特性と焦点品質の間の関係の態様は、次で議論される。

#### 【0149】

図15Bに戻って参照して、対象物30は、N個の部分集合 $40_i$ で示され、各々は、対象物が画像化される全領域41よりも小さい。各部分集合 $40_i$ 内では、空間特性の変化（例えば、ウェハまたはフォトレジストの高さおよび傾斜変化）は、典型的には、全領域41に亘って得られるよりも小さい。それにも拘わらず、異なる部分集合 $40_i$ のウェハまたはフォトレジストは、典型的には、異なる高さおよび傾斜を有している。例えば、フォトレジスト層34は、厚さ $t_1$ および $t_2$ を呈しており、それは、外表面39の高さおよび傾斜を変化させる。このように、対象物の各部分集合は、フォトリソグラフィ画像化器との異なる空間的關係を有することが可能である。焦点の質は、空間的關係（例えば、対象物とフォトリソグラフィ画像化器の間の距離）に関係している。対象物の互いに異なる部分集合を適切な焦点に合わせることは、対象物および画像化器の相対的な再位置決めを要求することがある。対象物の高さおよび傾斜変化のために、適切な部分集合の焦点は、画像化された部分集合（例えば、対象物の側部43）から遠い対象物の部分に対する対象物の位置および幾何学的配置を判定することのみでは達成することができない。

#### 【0150】

適切な焦点は、画像化される（そうでなければ、処理される）対象物の部分集合内の対象物の空間特性を判定することによって達成されうる。一旦、部分集合の位置が判定されると、対象物（および/またはフォトリソグラフィ画像化器の一部）は、移動（例えば、平行移動、回転、および/または傾倒）されることができ、それによって、基準（例えば、フォトリソグラフィ画像化器の部分）に対する部分集合の位置を修正する。判定および移動（必要な場合）は、画像化される各部分集合に対して繰り返されうる。

#### 【0151】

部分集合の空間特性の判定は、対象物の薄い層の外表面の一又は複数の箇所の位置および/または高さを判定することを有することができ、一又は複数の箇所は、画像化される対象物の部分集合内にある。例えば、部分集合 $40_2$ （図15A）の外表面39の位置および幾何学的配置は、部分集合内の箇所 $42_1 \sim 42_3$ の位置に基づいて判定されうる。画像化される部分集合の空間特性の判定は、光で部分集合を照らすために干渉計を使用すること、および、照らされた部分集合を反射した光を有する干渉信号を検出することを有しうる。幾つかの実施形態では、複数の部分集合は、複数の干渉信号を得るために光によって同時に画像化される。各干渉信号は、部分集合の一又は複数の空間特性を示している。このように、干渉信号は、複数の部分集合に亘る対象物のトポグラフィを示す画像を作成するために使用されうる。部分集合のフォトリソグラフィ中に、ウェハは、複数の干渉信号から判定される際に、個々の部分集合のトポグラフィに基づいて配置される。従って、各部分集合は、フォトリソグラフィ装置に対して最適な焦点のために配置されうる。

## 【 0 1 5 2 】

画像化される対象物の各部分集合から干渉信号を検出することは、部分集合を反射した光と、検出光のコヒーレンス長と少なくとも同じ程度の大きさの光学経路長差範囲に亘る基準光とを検出することを有しうる。例えば、光は、少なくともそのコヒーレンス長に亘って検出されうる。幾つかの実施形態では、照射された部分集合を反射した光が、外側の界面（外表面 3 9 など）または内側の界面（基板層界面 3 6 など）のいずれかを反射した光によって支配されるように、干渉計は構成される。幾つかの実施形態では、対象物の空間特性は、干渉信号の一部のみに基づいて判定される。例えば、干渉信号が複数の重複するフリンジを有する場合、対象物の空間特性は、対象物の単一界面からの寄与によって支配されるフリンジのうちの 1 つの部分に基づいて判定されうる。

10

## 【 0 1 5 3 】

## 〔 はんだバンブ処理 〕

図 1 6 A および図 1 6 B を参照して、構造 1 0 5 0 は、はんだバンブ処理中に生成された構造の典型的である。構造 1 0 5 0 は、基板 1 0 5 1 と、はんだによって非可溶性となった領域 1 0 0 2 と、はんだによって可溶性となった領域 1 0 0 3 とを備えている。領域 1 0 0 2 は、外表面 1 0 0 7 を有している。領域 1 0 0 3 は、外表面 1 0 0 9 を有している。従って、界面 1 0 0 5 は、領域 1 0 0 2 と基板 1 0 0 1 の間に形成される。

## 【 0 1 5 4 】

処理中に、多くのはんだ 1 0 0 4 が、可溶性領域 1 0 0 3 と接触するように配置される。はんだを流す際に、はんだは、可溶性領域 1 0 0 3 との確実な接触を形成する。隣接した非可溶性領域 1 0 0 2 は、本構造に関する不適当な移動から流されるはんだを阻害するダムのように作用する。本構造の空間特性が、表面 1 0 0 7 , 1 0 0 9 の相対的な高さと、表面 1 0 0 2 に対するはんだ 1 0 0 4 の寸法とを有することを知らることは望ましい。ここでの他の議論から判定されうるように、構造 1 0 5 0 は、フリンジをそれぞれもたすことがある複数の界面を備えている。フリンジ間の重複は、既知の干渉技術を使用した空間特性の正確な判定を阻害する。ここで議論したシステムおよび方法の用途によって、空間特性が決定されうる。

20

## 【 0 1 5 5 】

構造 1 0 5 0 から判定された空間特性は、層 1 0 0 2 , 1 0 0 3 に対する蒸着時間および範囲 1 0 0 3 の領域当たりに使用されるはんだ 1 0 0 4 の量などの製造条件を変更するために使用されうる。加えて、はんだを流すために使用される加熱条件は、適切な流れを達成するために、および / または、はんだの移動を阻害するために、空間特性に基づいて変更されうる。

30

## 【 0 1 5 6 】

## 〔 平面パネルディスプレイ 〕

ここに開示される干渉法システムおよび方法は、例えば液晶ディスプレイ（LCD）などの平面パネルディスプレイの製造において使用されうる。

## 【 0 1 5 7 】

一般に、様々な異なる種類の LCD は、ほんの数例を挙げれば、LCD テレビ、デスクトップコンピュータのモニタ、ノート型コンピュータ、携帯電話機、自動車の GPS ナビゲーションシステム、自動車および航空機の娯楽システムなどの様々な用途に使用される。LCD の特定の構造は変化することがあるが、多くの種類の LCD が同様のパネル構造を利用している。図 1 7 A を参照して、例えば、幾つかの実施形態では、LCD パネル 4 5 0 は、縁シール 4 5 4 によって接続された 2 つのガラス板 4 5 2 , 4 5 3 を有する幾つかの層からなっている。ガラス板 4 5 2 および 4 5 3 は、液晶材料で充填される間隙 4 6 4 によって分離されている。偏光子 4 5 6 および 4 7 4 は、ガラス板 4 5 3 および 4 5 2 の外表面にそれぞれ適用される。LCD に一体化されたとき、偏光子のうちの 1 つは、ディスプレイの光源（例えば、図示しないバックライト）からの光を偏光するために動作し、他の偏光子は、分析器として作用し、偏光子の透過軸に平行に偏光された光のその成分だけを透過させる。

40

50

## 【 0 1 5 8 】

カラーフィルタ 4 7 6 のアレイは、ガラス板 4 5 3 上に形成され、パターン化された電極層 4 5 8 は、カラーフィルタ 4 7 6 上に透明な導体（一般には、インジウム酸化スズ（ITO））から形成される。場合によってはハードコート層と呼ばれる一般に  $SiO_x$  に基づいた表面安定化処理層 4 6 0 は、表面を電氣的に絶縁するために電極層 4 5 8 に亘って被覆される。位置決め層 4 6 2（例えば、ポリイミド層）は、液晶材料を間隙 4 6 4 に位置決めするために表面安定化処理層 4 6 0 に亘って配置される。

## 【 0 1 5 9 】

LCD パネル 4 5 0 は更に、ガラス板 4 5 2 上に形成された第 2 の電極層 4 7 2 を備えている。別のハードコート層 4 7 0 は、電極層 4 7 2 上に形成され、別の位置決め層 4 6 8 は、ハードコート層 4 7 0 に配置される。アクティブマトリクス LCD（AM LCD）では、電極層のうちの 1 つは、一般に、薄膜トランジスタ（TFT）のアレイ（例えば、各サブ画素に対して一又は複数）または他の集積回路構造を備えている。例えば、TFT の 3 次元表面プロファイルは、図 1 2 に示されている。

## 【 0 1 6 0 】

液晶材料は、複屈折であり、LCD パネルを通じて伝播する光の偏光方向を修正する。液晶材料は更に、誘電異方性を有しており、従って、間隙 4 6 4 に亘って適用された電場に応答する。従って、電場が適用される際に、液晶分子は幾何学的配置を変え、それによって、パネルの光学的性質を変化させる。液晶材料の複屈折および誘電異方性の利用によって、コンピュータは、パネルによって透過される光の量を制御しうる。

## 【 0 1 6 1 】

セル間隙  $g$ （つまり、液晶材料の厚さ）は、スペーサ 4 6 6 によって決まり、それは、一定の距離で 2 つのガラス板 4 5 2, 4 5 3 を保持する。一般に、スペーサは、所望のセル間隙と等しい径を有した予め形成された円筒形または球形の粒子の形状でありうるか、または、パターン化技術（例えば、従来のフォトリソグラフィ技術）を使用して基板上に形成されうる。セル間隙は、パネルを横断する光の光学的遅延量および液晶材料の分子整列の粘弾性応答の両方に影響し、従って、LCD パネル製造において正確に制御する重要なパラメータに影響する。

## 【 0 1 6 2 】

一般に、LCD パネル製造は、様々な層の形成における複数の処理ステップを有する。例えば、図 1 7 B を参照して、処理 4 9 9 は、各ガラス板上に様々な層を平行に形成すること、および、次いで、セルを形成するために板を接合することを有する。例示されるように、まず、TFT 電極は、第 1 のガラス板上に形成される（ステップ S 4 9 9 A 1）。表面安定化処理層は、TFT 電極上に形成され（ステップ S 4 9 9 A 2）、位置決め層は、表面安定化処理層に亘って形成される（ステップ S 4 9 9 A 3）。次に、スペーサが、位置決め層上に配置される（ステップ S 4 9 9 A 4）。第 2 のガラス板の処理は、典型的には、カラーフィルタを形成すること（ステップ S 4 9 9 B 1）、および、カラーフィルタに亘って表面安定化処理層を形成すること（ステップ S 4 9 9 C 1）を有する。次に、電極（例えば、共通の電極）は、表面安定化処理層上に形成され（ステップ S 4 9 9 B 3）、位置決め層は、電極上に形成される（ステップ S 4 9 9 B 4）。

## 【 0 1 6 3 】

次に、セルは、第 1 および第 2 ガラス板を共に接合することにより形成され（ステップ S 4 9 9 C 1）、セルは、液晶材料で充填され、密閉される（ステップ S 4 9 9 C 2）。密閉の後、偏光子は、ガラス板の各々の外表面に適用され（ステップ S 4 9 9 C 3）、完成した LCD パネルを提供する。本フローチャートに示されるステップの組合せおよび順番は例示であり、一般に、他のステップの組合せおよびそれらの相対的な順番は、変わりうる。

## 【 0 1 6 4 】

更に図 1 7 B におけるフローチャートに示された各ステップは、複数の処理ステップを有しうる。例えば、第 1 のガラス板上に TFT 電極（一般に「画素電極」と呼ばれる）を



形成することは、様々な処理ステップを有する。同様に、第2のガラス板上にカラーフィルタを形成することは、多数の処理ステップを有する。典型的には、画素電極を形成することは、例えば、TFT、ITO電極、およびTFTに様々なバス線を形成するための複数の処理ステップを有する。実際、TFT電極層を形成することは、実質的に、大きい集積回路を形成することであり、従来の集積回路製造において使用される同一の蒸着およびフォトリソグラフィのパターン化処理ステップの多くを有する。例えば、TFT電極層の様々な部分は、材料層（例えば、半導体、導体、または誘電体）をまず蒸着し、材料層に亘ってフォトレジスト層を形成し、パターン化された光線にフォトレジストを露出することによって構築される。次に、フォトレジスト層が現像され、それは、フォトレジストのパターン化層をもたらす。次に、パターン化されたフォトレジスト層の下に配置された材料層の部分がエッチング処理で除去され、それによって、フォトレジストにおけるパターンを材料層に転写する。最後に、残余のフォトレジストが基板から剥がされ、パターン化された材料層を残す。これらの処理ステップは、TFT電極層の異なる構成要素を配置するために何度も繰り返されることができ、また、同様の蒸着およびパターン化のステップが、多くの場合カラーフィルタを形成するために使用される。

#### 【0165】

一般に、ここに開示される干渉法技術は、それらの製造の様々な異なるステージでLCDパネルの製造を監視するために使用されうる。例えば、干渉法技術は、LCDパネル製造中に使用されるフォトレジスト層の厚さおよび/または均一性を監視するために使用されうる。先に説明したように、例えば、フォトレジスト層は、TFT構成要素およびカラーフィルタのリソグラフィのパターン化に使用される。或る処理ステップに対して、フォトレジスト層は、パターン化された光線にフォトレジストを露出する前に、低コヒーレンス干渉法システムを使用して調べられうる。低コヒーレンス干渉法システムは、ガラス板の一又は複数の位置でフォトレジスト層の厚さプロファイルを測定しうる。これに代えてまたはこれに加えて、本技術は、フォトレジスト層の表面プロファイルを判定するために使用されうる。いずれの場合にも、測定されるフォトレジスト層の特徴が指定の許容範囲内にある場合、フォトレジスト層は、所望のパターン化された光線に露出されうる。フォトレジスト層が指定の範囲内でない場合、それは、ガラス板および蒸着された新しいフォトレジスト層から剥がされうる。

#### 【0166】

幾つかの実施形態では、干渉法技術は、パターン化されたフォトレジスト層の特徴を監視するために使用される。例えば、パターン化された表面の限界寸法（例えば、線幅）を、調べる。これに代えてまたはこれに加えて、干渉法技術は、パターン化されたレジストの表面とフォトレジスト層の下表面との間のオーバーレイ誤差を判定するために使用されうる。再び、測定される限界寸法および/またはオーバーレイ誤差が処理範囲外である場合、パターン化されたフォトレジストは、基板および形成されたパターン化された新しいフォトレジスト層から剥がされうる。

#### 【0167】

或る実施形態では、干渉法技術は、ハーフトーンのフォトリソグラフィと共に使用されうる。ますます、ハーフトーンのフォトリソグラフィは、パターン化されたレジスト層の表面の特定の厚さ変化が望まれる場合に使用される。ここに開示される低コヒーレンス干渉法技術は、ハーフトーン領域におけるフォトレジストパターンの厚さプロファイルを監視するために使用されうる。加えて、本技術は、これらの表面のオーバーレイおよび限界寸法の両方を判定するために使用されうる。

#### 【0168】

幾つかの実施形態では、干渉法技術は、製造処理の異なるステージでのガラス板上の異なるステージで汚染物質（例えば、異物）を検出するために使用されうる。そのような汚染物質は、表示パネルに視覚障害（つまり、ムラ欠陥）を生じさせることがあり、最終的にメーカの歩留りに影響する。多くの場合、そのような欠陥は、パネルが組み立てられた後で通常行なわれる外観検査によってのみ検出される。ここに開示される干渉法技術は、

製造処理中に一又は複数の箇所ではガラス板の自動検査を行なうために使用されうる。異物が検出された場合、ガラス板の汚染された表面は、次の製造ステップの前に除去されうる。従って、本技術の使用は、パネルのムラ欠陥の発生を低減し、パネル品質を改善し、製造コストを低減しうる。

#### 【0169】

他の要因の中で、電気光学的特性（例えば、コントラスト比および明るさ）は、セル間隙  $g$  に依存する。製造中のセル間隙制御は、多くの場合、均一な高品質のディスプレイを得るために重大である。或る実施形態では、開示される干渉法技術は、セル間隙が所望の均一性を有することを保証するために使用されうる。例えば、本技術は、ガラス板上のスペーサの高さおよび/または位置を監視するために使用されうる。スペーサ高さを監視および制御することは、例えば、ディスプレイに亘るセル間隙の変化を低減させうる。

10

#### 【0170】

幾つかのケースでは、実際のセル間隙は、スペーサの寸法と異なることがある。なぜならば、組立て中に、圧力または真空が液晶媒体を導入するために加えられ、縁シールは、硬化し、寸法を変更することがあり、付加的な液晶材料がガラス板間の毛管力を生じさせうるからである。液晶物質を加える前および加えた後の両方で、ガラス板上の露出した層の表面は、セル間隙  $g$  を示すフリンジをもたらず光を反射する。干渉信号の低コヒーレンス性質は、それ自体または記述された干渉信号処理技術との組合せで、セルの他の層によって形成された界面が存在する状態であっても製造中にセル間隙  $g$  を有するセルの特性を監視するために使用されうる。

20

#### 【0171】

典型的な方法は、液晶材料を加える前にセル間隙  $g$  を示すフリンジを含んだ低コヒーレンス干渉信号を得ることを有しうる。セル間隙（またはセルの他の空間特性）は、フリンジから判定され、指定された値と比較されうる。製造条件（例えば、ガラス板に加えられた圧力または真空）は、指定された値と判定されたセル間隙の間の差が許容範囲を超える場合、セル間隙  $g$  を修正するために変更されうる。この処理は、所望のセル間隙を達成するまで繰り返されうる。次に、液晶材料がセルに導入される。加えられる液晶媒体の量は、セルの測定された空間特性から判定されうる。これは、セルを過剰に充填したり過少に充填したりすることを回避しうる。充填処理は、ガラス板上の露出した層の表面からの干渉信号を観察することによっても監視されうる。一旦セルが充填されると、付加的な低コヒーレンスフリンジがセル間隙  $g$ （または他の空間特性）を監視するために得られる。再び、製造条件は、セル間隙が許容範囲内に維持されるか、または、許容範囲内に入るように変更されうる。

30

#### 【0172】

或るLCDでは、位置決め層は、液晶材料に所望の位置決め特徴を提供する突出構造を備えている。例えば、幾つかのLCDは、突出位置決め構造が異なる位置決め範囲を提供する、ディスプレイの各画素に対する複数の位置決め範囲を有している。低コヒーレンス干渉法は、例えば、LCDパネルの下に重なる表面に対する、それらの形状、線幅、高さ、および/またはオーバーレイ誤差などの、突出部の様々な特性を測定するために使用されうる。突出部が不十分であると判定された場合、それらは、必要に応じて修復または除去され、且つ、再構築されうる。

40

#### 【0173】

一般に、低コヒーレンス干渉法システムは、望まれるようなLCDパネル製造の様々なステージを監視するために設定されうる。幾つかの実施形態では、干渉法システムを有する検査ステーションは、製造ライン自体において設定されうる。例えば、監視ステーションは、フォトリソグラフィのステップが行なわれるクリーンな製造環境に設置されうる。検査ステーション間のガラス板の受渡しは、全体的に自動化されることができ、ロボット制御で行なわれる。これに代えてまたはこれに加えて、検査ステーションは、製造ラインから除去されて設置されうる。例えば、ディスプレイのサンプリングだけが試験される場合、サンプルは、製造ラインから回収され、試験のためにラインから外されうる。

50

## 【 0 1 7 4 】

図 1 7 C を参照して、典型的な検査ステーション 4 0 0 0 は、テーブル 4 0 3 0 を備えており、それは、干渉計測センサ 4 0 1 0（例えば、先に開示された干渉計測顕微鏡）が取り付けられる構台 4 0 2 0 を備えている。テーブル 4 0 3 0（振動防止軸受を備えうる）は、LCD パネル 4 0 0 1（またはガラス板）を支持し、干渉計測センサ 4 0 1 0 に対して LCD パネル 4 0 0 1 を配置する。干渉計測センサ 4 0 1 0 は、該センサが矢符 4 0 1 2 の方向に前後移動することを可能にするレールを介して構台 4 0 2 0 に取り付けられている。構台 4 0 2 0 は、該構台が矢符 4 0 1 4 の方向に前後移動することを可能にするレール上のテーブル 4 0 3 0 に取り付けられる。このように、検査ステーション 4 0 0 0 は、LCD パネル 4 0 0 1 上の任意の位置を検査するために干渉計測センサ 4 0 1 0 を移動させうる。

10

## 【 0 1 7 5 】

検査ステーション 4 0 0 0 は更に、干渉計測センサ 4 0 1 0 に対して位置決めシステムを制御し、且つ LCD パネル 4 0 0 1 に関する情報を含んだ干渉計測センサ 4 0 1 0 からの信号を取得する制御電子機器 4 0 5 0 を有する。このように、制御電子機器 4 0 5 0 は、データ取得によってセンサの位置決めを調整しうる。

## 【 0 1 7 6 】

## 〔レーザスクライビングおよびカッティング〕

レーザは、異なる、同時に製造される構造（例えば、マイクロエレクトロニクス構造）の分離に備えて対象物をスクライビングするために使用されうる。分離の質は、スクライビング条件（例えば、レーザ焦点サイズ、レーザパワー、対象物の平行移動速度、スクライプ深さ）に関係している。本構造の表面の密度が大きいので、スクライプ線は、本構造の隣接した薄膜または層であることが可能である。薄膜または層に関連した界面は、干渉法がスクライプ深さを判定するために使用されるときに出現するフリンジを生成しうる。ここに記述される方法およびシステムは、そのような隣接した膜または層が存在する状態であってもスクライプ深さを判定するために使用されうる。

20

## 【 0 1 7 7 】

典型的な方法は、一又は複数の電子的構造をスクライプすること、および、スクライプ線に沿って本構造を分離することを有しうる。分離の前および／または後に、低コヒーレンス干渉信号は、スクライプ深さを判定するために使用されうる。他のスクライビング条件（例えば、レーザスポットのサイズ、レーザパワー、平行移動速度）が知られている。スクライプ深さは、干渉信号から判定されうる。スクライプ深さを有する、スクライビング条件の関数としての分離の質は、分離された構造を評価することによって判定されうる。そのような判定に基づいて、所望の分離品質を達成するのに必要なスクライビング条件が判定されうる。継続的な製造中に、低コヒーレンス干渉信号は、本処理を監視するために、スクライプされた領域から得られる。スクライビング条件は、許容範囲内にスクライプ特性を維持し、許容範囲内に入るように変更されうる。

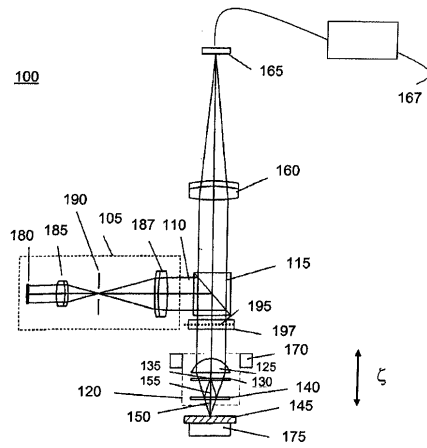
30

## 【 0 1 7 8 】

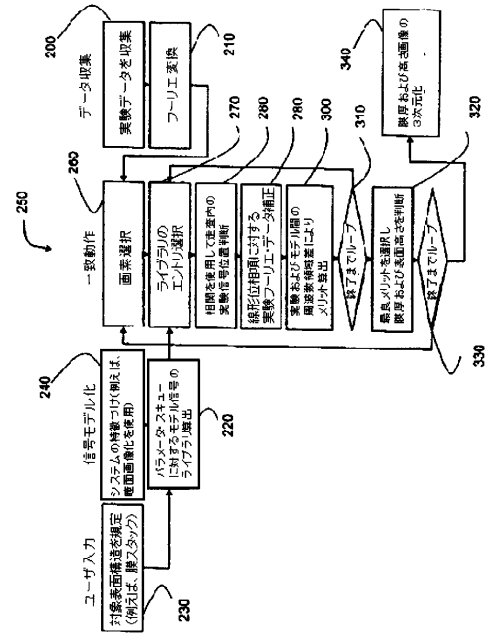
本発明の多数の実施形態が記述されている。他の実施形態は特許請求の範囲内である。

【図 1】

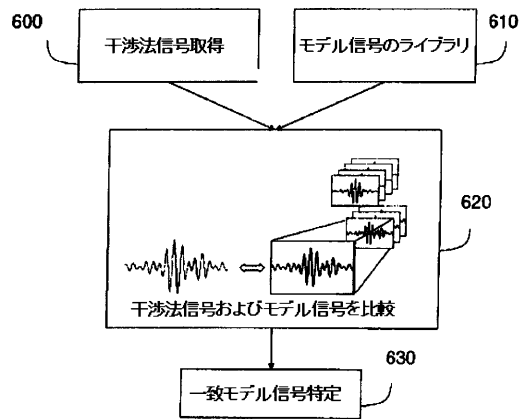
FIG. 1



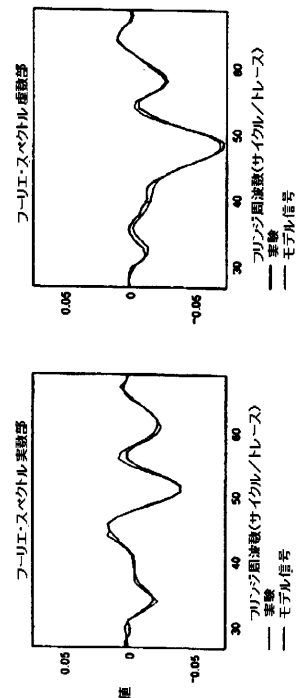
【図 2】



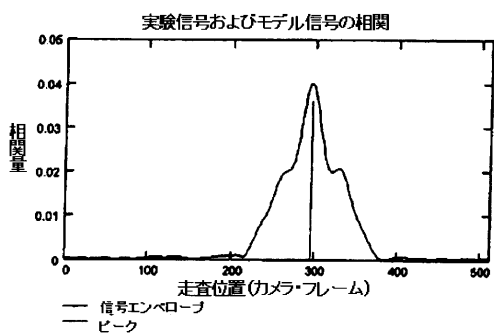
【図 6】



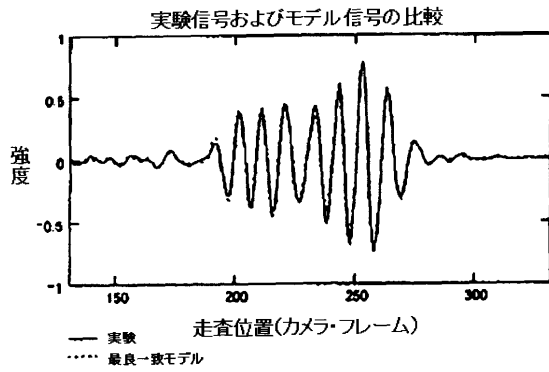
【図 8】



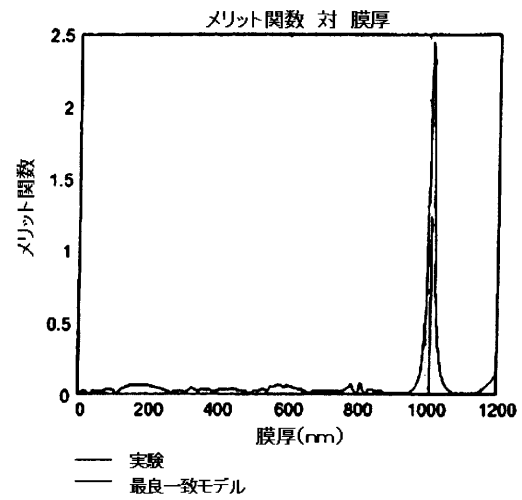
【図 7】



【図 9】

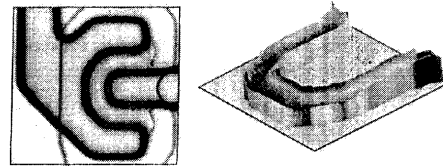


【図 10】



【図 12】

FIG. 12



【図 14 A】

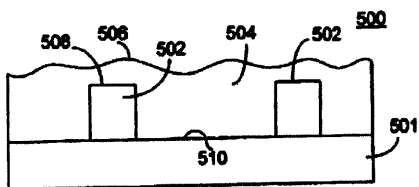


FIG. 14A

【図 14 B】

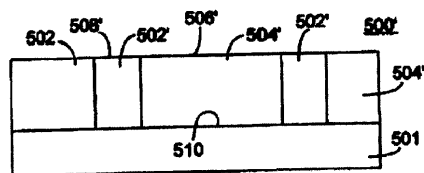


FIG. 14B

【図 15 A】

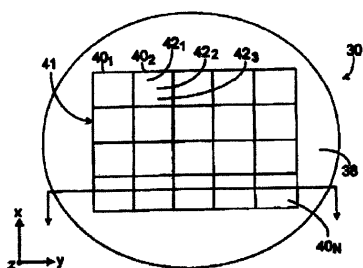


FIG. 15A

【図 15 B】

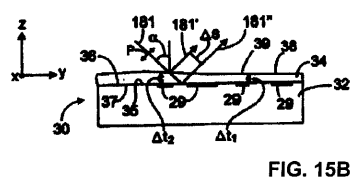


FIG. 15B

【図 16 A】

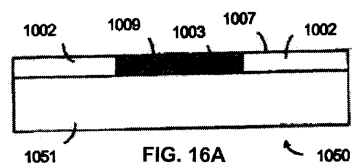


FIG. 16A

【図 16 B】

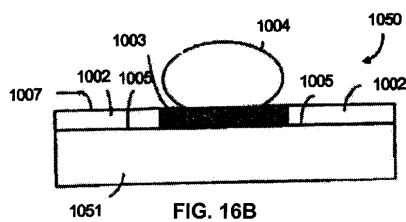


FIG. 16B

【図17A】

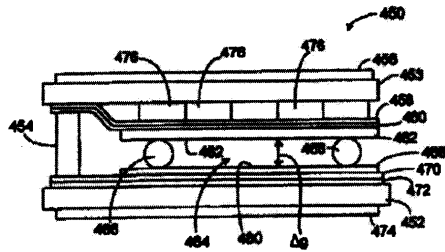
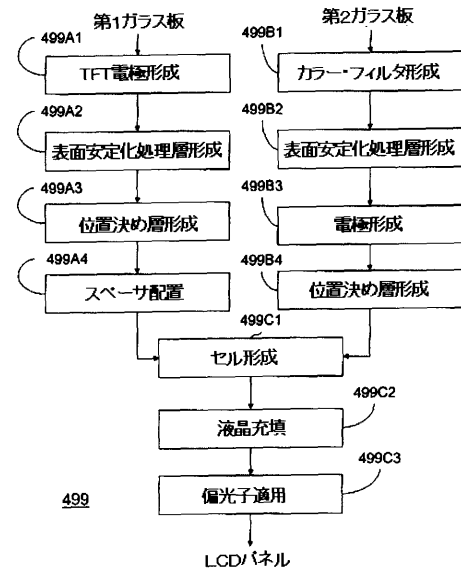


FIG. 17A

【図17B】



【図17C】

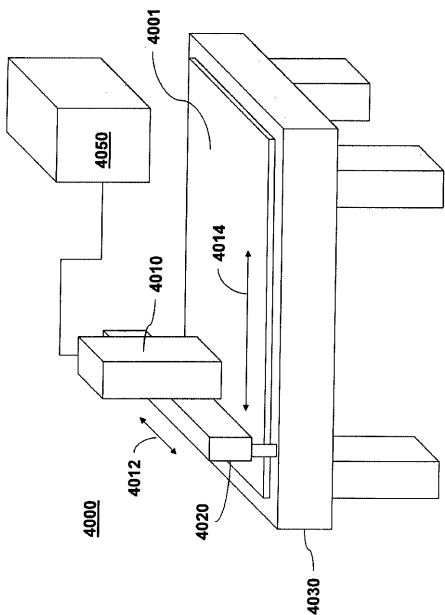
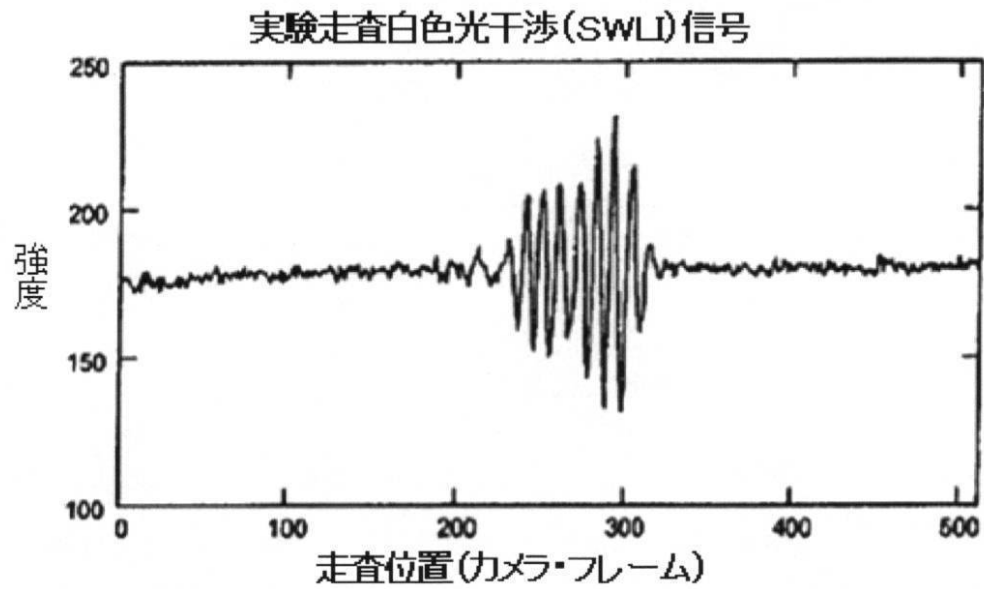
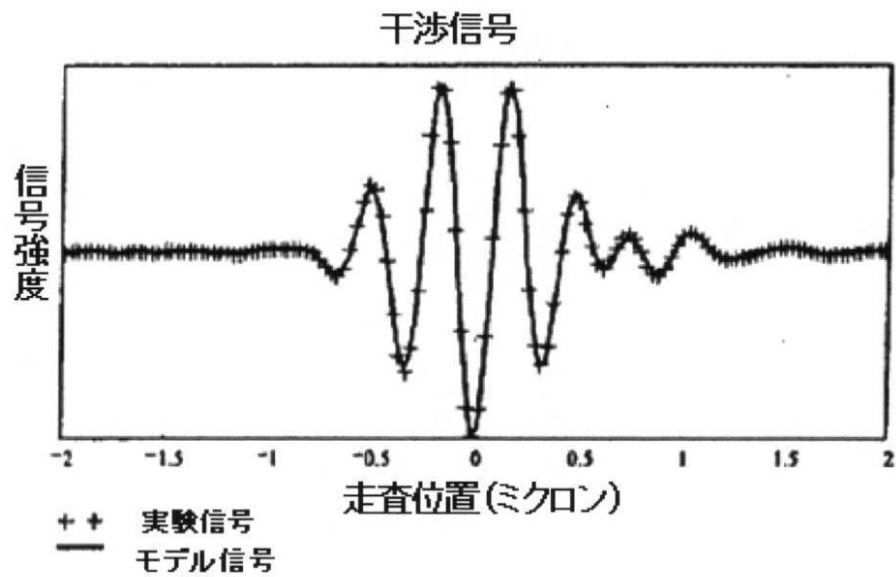


FIG. 17C

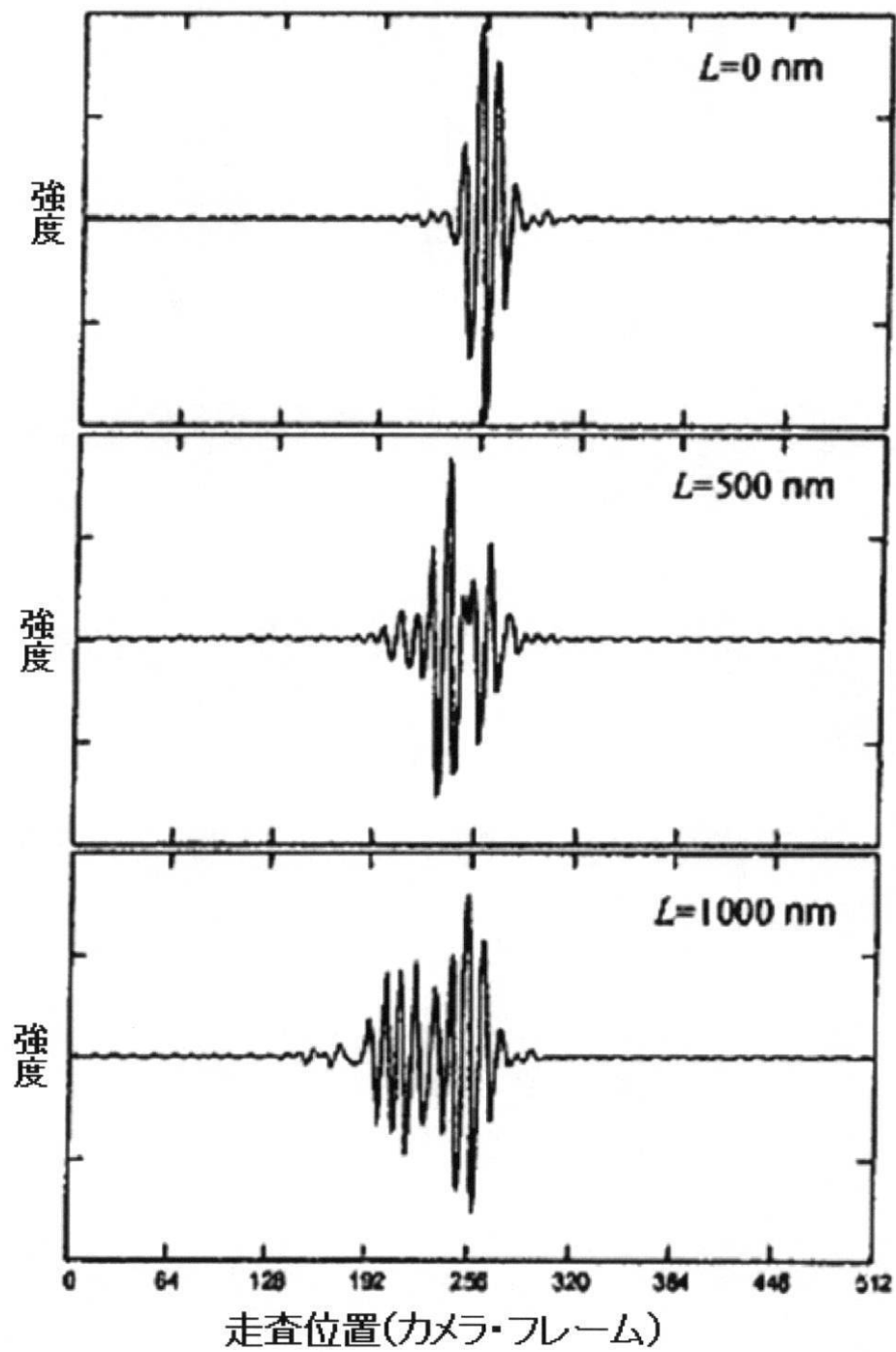
【図3】



【図4】

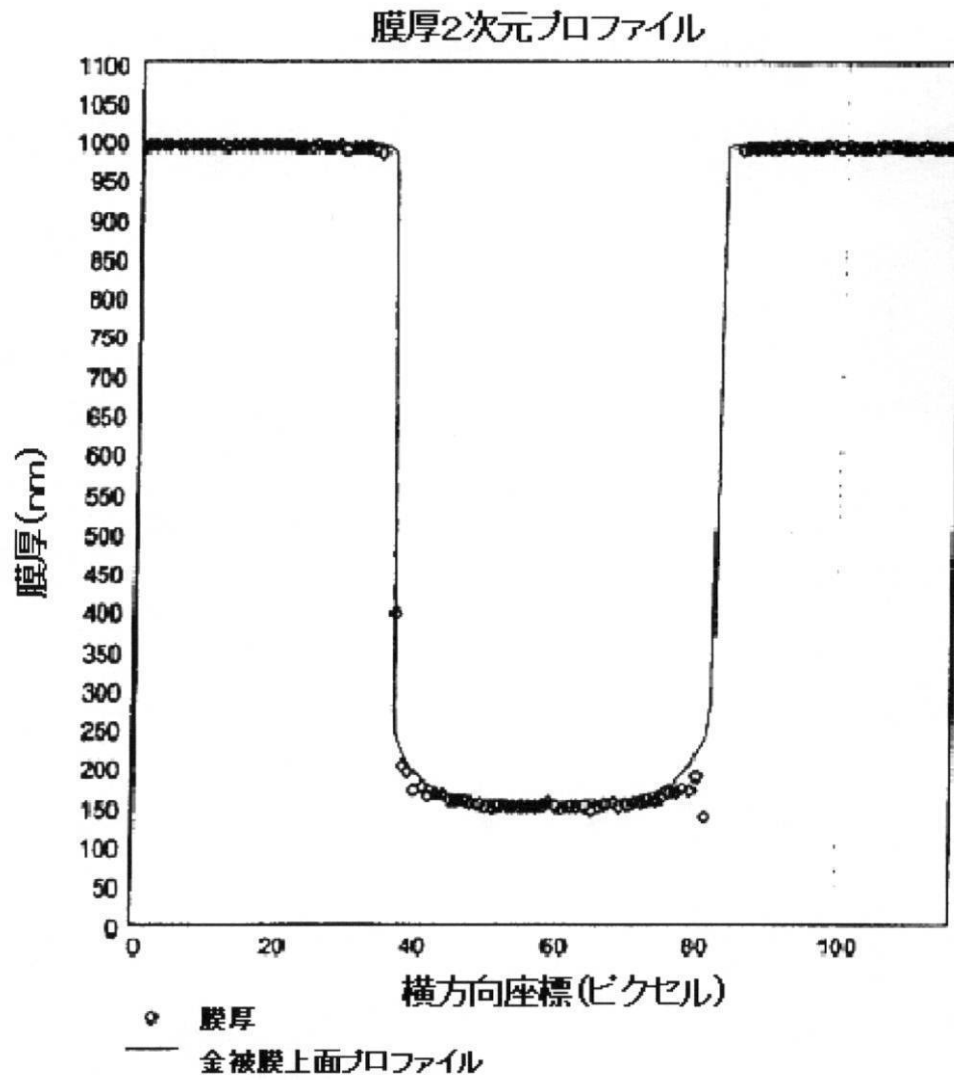


【図5】

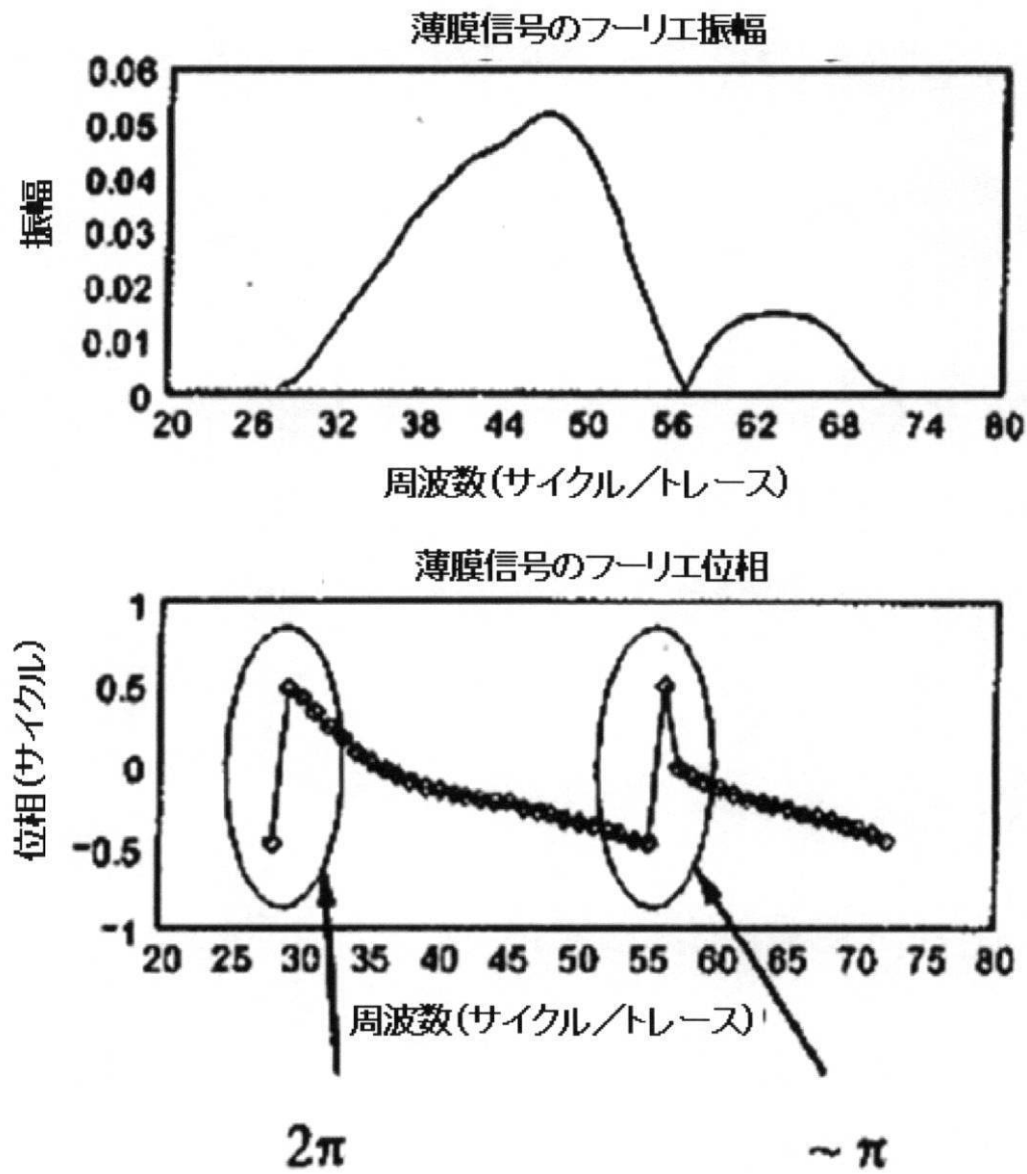




【図11】



【図13】



---

フロントページの続き

(72)発明者 デ グルト、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

(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

審査官 櫻井 仁

(56)参考文献 特表2006-519992(JP,A)

特開2004-340680(JP,A)

国際公開第06/125131(WO,A1)

特表2007-534942(JP,A)

特開平07-004922(JP,A)

特表2006-519993(JP,A)

特表2008-545957(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 11/00~11/30