

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7012734号

(P7012734)

(45)発行日 令和4年1月28日(2022.1.28)

(24)登録日 令和4年1月20日(2022.1.20)

(51)国際特許分類

F I

G 0 1 B 11/00 (2006.01)

G 0 1 B 11/00

G

G 0 3 F 9/00 (2006.01)

G 0 3 F 9/00

H

請求項の数 32 (全33頁)

(21)出願番号	特願2019-546814(P2019-546814)	(73)特許権者	500049141 ケーエルエー コーポレーション アメリカ合衆国 カリフォルニア ミルピ タス ワン テクノロジー ドライブ
(86)(22)出願日	平成30年3月1日(2018.3.1)	(74)代理人	110001210 特許業務法人Y K I 国際特許事務所
(65)公表番号	特表2020-510195(P2020-510195 A)	(72)発明者	パンデブ スティリアン アメリカ合衆国 カリフォルニア サンタ クララ レベッカ リン ウェイ 2 4 5 2
(43)公表日	令和2年4月2日(2020.4.2)	(72)発明者	リウ ウェイ アメリカ合衆国 カリフォルニア フレモ ント マーロウ ストリート 3 6 8 3 3
(86)国際出願番号	PCT/US2018/020342	(72)発明者	シュヘグロフ アンドレイ アメリカ合衆国 カリフォルニア ロス ガトス オーク リム ウェイ 1 2 0 ア
(87)国際公開番号	WO2018/160779		
(87)国際公開日	平成30年9月7日(2018.9.7)		
審査請求日	令和3年2月25日(2021.2.25)		
(31)優先権主張番号	62/465,163		
(32)優先日	平成29年3月1日(2017.3.1)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		
(31)優先権主張番号	15/861,938		
(32)優先日	平成30年1月4日(2018.1.4)		
	最終頁に続く		最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光学散乱計測に基づくプロセスに対してロバストなオーバーレイ計測

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

光学散乱計測ベースの計測システムであって、
 複数のオーバーレイ計測ターゲットに訓練データを生成するための第1量の照明光と実オーバーレイの値を推定するための第2量の照明光とを提供するように構成された照明源であって、前記複数の計測ターゲットは、異なる、既知のプログラムされたオーバーレイ値と、少なくとも1つの作製プロセス変量の異なる既知の値で作製される、照明源と、
 前記第1量の照明光に反応して前記複数のオーバーレイターゲットそれぞれから散乱されたある量の光の像を検出し、前記第2量の照明光に反応して前記複数のオーバーレイターゲットそれぞれから散乱されたある量の光を示す複数の信号を検出するように構成された検出器であって、前記第1量の照明光に反応した前記像は前記検出器の複数のピクセルによって検出され、前記検出された像ピクセルは、オーバーレイ値計測に用いられる測定モデルを訓練するためのある量の訓練データを含む、検出器と、
 コンピューティングシステムであって、
 前記複数のオーバーレイ計測ターゲットそれぞれに関連する実オーバーレイの値を推定し、前記複数のオーバーレイ計測ターゲットそれぞれに関連する実オーバーレイの値の前記推定が前記第2量の照明光に反応して前記複数のオーバーレイターゲットそれぞれから散乱され前記検出器で検出された前記ある量の光を示す複数の信号にもとづき実行され、前記実オーバーレイの推定値と前記ある量の訓練データに基づいて、光学散乱計測信号とオーバーレイ値に関する関数の係数を決定するように前記測定モデルを訓練する、

ように構成されたコンピューティングシステムと、
を備える光学散乱計測ベースの計測システム。

【請求項 2】

前記検出器は、前記光学散乱計測ベースの計測システムの瞳像面に、またはその付近に配置されている、請求項 1 に記載の光学散乱計測ベースの計測システム。

【請求項 3】

前記測定モデルは、線形モデル、多項式モデル、ニューラルネットワークモデル、サポートベクターマシンモデル、デシジョンツリーモデル、ランダムフォレストモデルのうちいずれかである、請求項 1 に記載の光学散乱計測ベースの計測システム。

【請求項 4】

前記ある量の訓練データは、同じプロセス条件およびプログラムされたオーバーレイ値で形成された、前記複数のオーバーレイ計測ターゲットのうち少なくとも 2 つの異なる計測ターゲットの光学散乱計測測定の組み合わせを含む、請求項 1 に記載の光学散乱計測ベースの計測システム。

【請求項 5】

前記ある量の訓練データは、複数の異なる計測技法によって取得された光学散乱計測測定を含む、請求項 1 に記載の光学散乱計測ベースの計測システム。

【請求項 6】

前記複数のオーバーレイ計測ターゲットは前記複数の半導体ウェハ上に配置され、前記複数の半導体ウェハそれぞれは、少なくとも 1 つの半導体作製プロセス変量の異なる値で処理される、請求項 1 に記載の光学散乱計測ベースの計測システム。

【請求項 7】

前記複数のオーバーレイ計測ターゲットは 1 つ以上の半導体ウェハの複数のフィールド上に配置されている、請求項 1 に記載の光学散乱計測ベースの計測システム。

【請求項 8】

前記ある量の照明光を提供することと、前記複数のオーバーレイターゲットそれぞれから散乱された前記ある量の光の前記像を検出することは、1 つ以上の測定システムパラメータの複数の異なる値で実行される、請求項 1 に記載の光学散乱計測ベースの計測システム。

【請求項 9】

前記計測ターゲットのうち少なくとも 1 つは、少なくとも一方向に周期性を有するグレーティング構造のアレイを有する単一セル計測ターゲットである、請求項 1 に記載の光学散乱計測ベースの計測システム。

【請求項 10】

前記計測ターゲットのうち少なくとも 1 つは、少なくとも二方向に周期性を有するグレーティング構造のアレイを有する単一セル計測ターゲットである、請求項 1 に記載の光学散乱計測ベースの計測システム。

【請求項 11】

前記計測ターゲットのうち少なくとも 1 つは、少なくとも一方向に 2 つ以上の異なる周期性を有するグレーティング構造のアレイを有する単一セル計測ターゲットである、請求項 1 に記載の光学散乱計測ベースの計測システム。

【請求項 12】

前記複数のオーバーレイ計測ターゲットそれぞれに関連する実オーバーレイの値の推定は、前記プログラムされたオーバーレイ値に基づいている、請求項 1 に記載の光学散乱計測ベースの計測システム。

【請求項 13】

前記複数のオーバーレイ計測ターゲットそれぞれに関連する実オーバーレイの値の推定は、基準計測システムによる前記複数のオーバーレイ計測ターゲットそれぞれの測定に基づいている、請求項 1 に記載の光学散乱計測ベースの計測システム。

【請求項 14】

前記基準計測システムは走査電子顕微鏡 (SEM) である、請求項 13 に記載の光学散乱

10

20

30

40

50

計測ベースの計測システム。

【請求項 15】

前記コンピューティングシステムがさらに、

前記ある量の訓練データの複数の主特徴を、前記訓練データの次元を削減する前記ある量の訓練データの変換に基づいて決定するように構成され、前記測定モデルの訓練は、前記ある量の訓練データから抽出された複数の主特徴と、実オーバーレイの推定値に基づいている、請求項 1 に記載の光学散乱計測ベースの計測システム。

【請求項 16】

前記ある量の訓練データの変換は、主成分分析 (PCA)、独立成分分析 (ICA)、カーネル PCA、非線形 PCA、高速フーリエ変換 (FFT) 分析、離散コサイン変換 (DCT) 分析、ウェーブレット分析のうちいずれかを包含する、請求項 15 に記載の光学散乱計測ベースの計測システム。

10

【請求項 17】

前記測定モデルの訓練はさらに、前記少なくとも 1 つの作製プロセス変量の異なる既知の値および前記ある量の訓練データに基づいている、請求項 1 に記載の光学散乱計測ベースの計測システム。

【請求項 18】

前記複数の計測ターゲットはさらに、少なくとも 1 つの付加的な関心パラメータの異なる既知の値で作製され、前記測定モデルの訓練はさらに、前記少なくとも 1 つの付加的な関心パラメータの前記異なる既知の値および前記ある量の訓練データに基づいている、請求項 17 に記載の光学散乱計測ベースの計測システム。

20

【請求項 19】

前記少なくとも 1 つの付加的な関心パラメータは、プロセスパラメータ、構造的パラメータ、分散パラメータおよびレイアウトパラメータのうちいずれかを含み、請求項 18 に記載の光学散乱計測ベースの計測システム。

【請求項 20】

前記照明源はさらに、未知のオーバーレイエラーを有する少なくとも 1 つのオーバーレイ計測ターゲットを照明するように構成され、前記検出器はさらに、前記少なくとも 1 つのオーバーレイターゲットから散乱されたある量の光の像を検出するように構成され、前記コンピューティングシステムはさらに、前記少なくとも 1 つのオーバーレイターゲットに関連する実オーバーレイの値を、前記少なくとも 1 つのオーバーレイターゲットの検出像および前記訓練された測定モデルに基づいて推定するように構成されている、請求項 1 に記載の光学散乱計測ベースの計測システム。

30

【請求項 21】

前記コンピューティングシステムはさらに、前記少なくとも 1 つのオーバーレイターゲットの前記像の複数の主特徴を、前記像の次元を削減する変換に基づいて決定するように構成され、前記少なくとも 1 つのオーバーレイターゲットに関連する実オーバーレイの値の前記推定は、前記複数の主特徴および前記訓練された測定モデルに基づいている、請求項 20 に記載の光学散乱計測ベースの計測システム。

【請求項 22】

リソグラフィプロセス変量の値は、実オーバーレイの前記推定値に基づいて調整される、請求項 20 に記載の光学散乱計測ベースの計測システム。

40

【請求項 23】

光学散乱計測ベースの計測システムであって、

複数のオーバーレイ計測ターゲットそれぞれにある量の照明光を複数の異なる照明波長で提供するように構成された照明源と、

各オーバーレイ計測ターゲットから各異なる照明波長で前記検出器の複数のピクセルに散乱されたある量の光の像を検出するように構成された検出器であって、前記ある量の散乱された光は、+1 および -1 回折次数を含む、検出器と、

各異なる照明波長の前記 +1 および -1 回折次数の間の差に基づいて実オーバーレイの第

50

1の値を推定し、
 前記異なる照明波長に関連する実オーバーレイの前記第1の値から実オーバーレイのピーク値を決定し、
 ウェハ内オーバーレイ変動を最小化する前記ピーク値に関連する前記波長からの波長の差であって、前記ピーク値からの距離である波長の差を決定し、
 前記ピーク値からの距離でのオーバーレイの測定に基づいて実オーバーレイの第2の値を推定する、
 ように構成されたコンピューティングシステムと、を備えた光学散乱計測ベースの計測システム。

【請求項24】

光学散乱計測ベースのオーバーレイ計測システムの光照明源によって生成された、訓練データを生成するための第1量の照明光で複数のオーバーレイ計測ターゲットそれぞれを照明し、前記複数の計測ターゲットは、異なる既知のプログラムされたオーバーレイ値および、少なくとも1つの作製プロセス変量の異なる既知の値で作製され、
 前記第1量の照明光に反応して、前記複数のオーバーレイ計測ターゲットそれぞれから散乱された第1量の光を収集し、
 前記複数のオーバーレイターゲットそれぞれから、光学散乱計測ベースの計測システムの光学検出器の複数のピクセルに収集された前記第1量の光の像を検出し、前記検出された像ピクセルは、オーバーレイ値計測に用いられる測定モデルを訓練するためのある量の訓練データを含み、
 前記光学散乱計測ベースのオーバーレイ計測システムの前記光照明源によって生成された、実オーバーレイの値を推定するための第2量の照明光で前記複数のオーバーレイ計測ターゲットそれぞれを照明し、
 前記第2量の照明光に反応して、前記複数のオーバーレイ計測ターゲットそれぞれから散乱された第2量の光を収集し、
 前記複数のオーバーレイターゲットそれぞれから、光学散乱計測ベースの計測システムの前記光学検出器に収集された前記第2量の光を示す複数の信号を検出し、
 前記複数のオーバーレイ計測ターゲットそれぞれに関連する実オーバーレイの値を推定し、
 前記複数のオーバーレイ計測ターゲットそれぞれに関連する前記実オーバーレイの値の推定が、前記第2量の照明光に反応して、前記複数のオーバーレイ計測ターゲットそれぞれから散乱された前記量の光を示す前記複数の信号にもとづき実行され、
 前記実オーバーレイの前記推定値および前記ある量の訓練データに基づいて、光学散乱計測信号とオーバーレイ値に関する関数の係数を決定するように前記測定モデルを訓練する、
 ことを含む方法。

【請求項25】

前記検出器は、前記光学散乱計測ベースの計測システムの瞳像面に、またはその付近に位置している、請求項24に記載の方法。

【請求項26】

前記測定モデルの訓練はさらに、前記少なくとも1つの作製プロセス変量の異なる既知の値および前記ある量の訓練データに基づいており、前記複数の計測ターゲットはさらに、
 少なくとも1つの付加的な関心パラメータの異なる既知の値で作製され、前記測定モデルの訓練はさらに、前記少なくとも1つの付加的な関心パラメータの前記異なる既知の値および前記ある量の訓練データに基づいている、請求項24に記載の方法。

【請求項27】

前記計測ターゲットのうち少なくとも1つは、少なくとも一方向に周期性を有するグレーティング構造のアレイを有する単一セル計測ターゲットである、請求項24に記載の方法。

【請求項28】

前記計測ターゲットのうち少なくとも1つは、少なくとも二方向に周期性を有するグレーティング構造のアレイを有する単一セル計測ターゲットである、請求項24に記載の方法。

【請求項29】

10

20

30

40

50

前記計測ターゲットのうち少なくとも1つは、少なくとも一方向に2つ以上の異なる周期性を有するグレーティング構造のアレイを有する単一セル計測ターゲットである、請求項24に記載の方法。

【請求項30】

前記第2量の照明光が複数の異なる照明波長を含み、
前記複数のオーバーレイ計測ターゲットそれぞれから散乱された前記第2量の光が+1および-1回折次数を含み、
前記複数の検出された信号が各異なる照明波長で前記複数のオーバーレイ計測ターゲットから収集された前記第2量の光を示し、
前記実オーバーレイの推定が、
各異なる照明波長に関して前記+1および-1回折次数間の差に基づいて実オーバーレイの第1の値を推定し、
前記異なる照明波長に関連する実オーバーレイの前記第1の値から実オーバーレイのピーク値を決定し、
ウェハ内オーバーレイ変動を最小化する前記ピーク値に関連する前記波長からの波長の差を決定し、前記決定された波長の差が前記ピーク値からの距離であり、
前記ピーク値からの距離でのオーバーレイの前記測定に基づいて実オーバーレイの第2の値を推定する、ことを含む、請求項24に記載の方法。

10

【請求項31】

さらに、少なくとも1つのオーバーレイ計測ターゲットを、前記光学散乱計測ベースのオーバーレイ計測システムの前記光照明源によって生成された照明光で照明し、前記少なくとも1つの計測ターゲットが未知のオーバーレイエラーを有し、
前記照明光に応答して、前記少なくとも1つのオーバーレイ計測ターゲットから散乱されたある量の光を収集し、
前記少なくとも1つのオーバーレイターゲットから前記光学散乱計測ベースの計測システムの前記光学検出器の複数のピクセルへ収集された前記ある量の光の像を検出し、
前記少なくとも1つのオーバーレイターゲットの前記検出された像と、前記訓練された測定モデルに基づいて、前記少なくとも1つのオーバーレイターゲットに関連する実オーバーレイの値を推定し、
前記オーバーレイ値をメモリに記憶する、ことを含む請求項24に記載の方法。

20

30

【請求項32】

さらに、リソグラフィプロセス変量の値を、前記実オーバーレイの推定値に基づいて調整することを含む、請求項31に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

記載される実施形態は計測システムおよび方法に関し、より詳細には、改良されたオーバーレイ測定のための方法およびシステムに関する。

【背景技術】

【0002】

関連出願の相互参照

本出願は、米国特許法第119条に基づいて、2017年3月1日出願の、「Method and System for Process Robust Overlay Metrology Using Optical Scatterometry」というタイトルの、米国仮特許出願第62/465,163号の優先権を主張し、その仮特許出願の主題の全体を参照により本明細書に援用する。

【0003】

ロジックおよびメモリデバイスなどの半導体デバイスは、典型的には、検体に適用される一連の処理ステップによって作製される。半導体デバイスの種々の特性と複数の構造的レベルはこれらの処理ステップによって形成される。例えば、とりわけリソグラフィは、半

40

50

導体ウェハ上にパターンを生成することを包含する1つの半導体作製プロセスである。半導体作製プロセスの付加的な例は、化学機械研磨（CMP）、エッチング、堆積およびイオン注入を含むが、これらに限定されない。複数の半導体デバイスが単一の半導体ウェハ上に作製され、次に、個々の半導体デバイスに分離されてよい。

【0004】

計測プロセスは、ウェハ上の欠陥を検出してより高い収率を促進するために、半導体製造プロセスにおける様々なステップで使用されている。光計測技法は、サンプル破壊のリスクなしで高スループットの可能性を提供する。光学散乱計測および反射光測定実装を含むいくつかの光計測に基づく技法ならびに関連する解析アルゴリズムが、ナノスケール構造のクリティカルディメンション、膜厚、組成、オーバーレイおよび他のパラメータを特性評価するために一般に用いられている。

10

【0005】

半導体デバイスは多くの場合、基板上に一連のレイヤを堆積することによって作製される。レイヤの一部または全部は種々のパターン付き構造を含む。特定のレイヤ内およびレイヤ間両方における構造の相対位置は、完成した電子デバイスの性能にとって重要である。オーバーレイとは、ウェハの同じまたは異なるレイヤ上のオーバーレイされたまたはインターレースされた構造の相対位置を指す。オーバーレイエラーとは、オーバーレイされたまたはインターレースされた構造の公称（すなわち、望ましい）相対位置からの偏差を指す。オーバーレイエラーが大きくなるほど、構造のミスアライメントが大きくなる。オーバーレイエラーが大きすぎると、製造された電子デバイスの性能に妥協が出ることになり得る。

20

【0006】

オーバーレイエラーは典型的に、ウェハ上の種々の位置にリソグラフィーツールによって形成された特殊用途のターゲット構造の測定に基づいて評価される。伝統的には、光計測技法を用いてオーバーレイ測定を行ってきた。一部の例では、イメージングのオーバーレイ（IBO）計測技法が用いられている。IBO測定は、特殊用途のターゲットを反射光に基づいてイメージングすることを包含する。ターゲット構造は、ボックスインボックス構造またはバインバ構造などの多くの形態を取ってよい。一例では、ウェハの1つのレイヤに1つのボックスが形成され、別のレイヤに、第2の、より小さいボックスが形成される。2つのボックスの中心間のアライメントを比較することによって、局所化されたオーバーレイエラーが測定される。そのような測定は、ターゲット構造が利用可能であるウェハ上の位置でなされる。オーバーレイは、各像を処理して、異なるレイヤ上に印刷されたターゲットフィーチャ間での、測定像からの距離を推定することによって測定される。

30

【0007】

生憎、これらの特殊用途のターゲット構造は、多くの場合、電子デバイスを作製するために用いられた特定の半導体製造プロセスの設計ルールに準拠していない。これは、適用設計ルールに従って製造された実際のデバイス構造に付随するオーバーレイエラーの推定におけるエラーを招く。例えば、IMO計測は多くの場合、光学顕微鏡で上首尾に解像されるためには、パターンが、設計ルールのクリティカルディメンションを遙かに超えたクリティカルディメンションでの太いラインを有することを要求する。

40

【0008】

一部の他の例では、オーバーレイターゲットからの散乱光または回折光を用いてオーバーレイを推定する。一般に光学散乱計測オーバーレイ（SCOL）と呼ばれる光学散乱計測ベースのオーバーレイ計測技法または回折ベースのオーバーレイ（DBO）は、それぞれがプログラムされたオーバーレイオフセットを有する2つの異なるターゲットからの回折に対応する光信号の示差測定に主として基づいている。未知のオーバーレイエラーが、これらの示差測定に基づいて抽出される。

【0009】

殆どの既存の光学散乱計測ベースの方法は、構造の非対称性に感応するメトリックに基づ

50

いてオーバーレイエラーを特性評価する。例えば、既存の角度分解光学散乱計測オーバーレイ (SCOL) は、+1 から -1 回折次数の間の測定された非対称性に基づいてオーバーレイを特性評価する。しかしながら、対称および非対称両方の変動を含むプロセス誘起変動がオーバーレイ測定に有意に影響するため、オーバーレイエラーの指標として非対称性だけに頼ることは問題がある。例えば、側壁角非対称性、ラインプロファイル非対称性またはビーム照明非対称性などの非対称プロセス変動が、測定信号内でのオーバーレイ生成非対称性に結合する。これは、オーバーレイエラーの不正確な測定につながる。別の例では、膜厚変動などの対称プロセス変動が、測定信号内でのオーバーレイから生成する非対称性に結び付く。

【0010】

伝統的に、SCOL および DBO におけるプロセス変動に対するロバスト性の欠如 (すなわち、測定された非対称性に影響する非オーバーレイパラメータにおける変化) は、プロセス変動に対する感度が低い特定の照明波長を選択し、ターゲット設計を最適化してプロセス変動に対する感度を低減することによって対処される。生憎、これらの手法はいずれも、その有効性に限度がある。例えば、特定の照明波長の選択は、オーバーレイ測定エラーを小さくするかも知れないが、それは全プロセスウィンドウの小さい範囲内においてのみである。これは測定を不確実かつ一貫性がないものとし、照明波長の頻繁な再評価を要する。ターゲット設計最適化は非常に時間がかかり、構造、材料分散および光学システムの正確なモデルを要する。マスクとターゲットは典型的に、レシピ開発の時点では利用可能でないため、モデルの精度を検証することは非常に難しい。それに加えて、ターゲット最適化はプロセス変動に対する測定感度を減少させるかも知れないが、プロセス変動の全ウィンドウに対するロバスト性に完全に対処するわけではない。

【0011】

図 1 A - 1 C は、3つの異なる照明波長で実行された SCOL 測定に関連する 1つの測定された回折次数の瞳像を示す。図 1 A は、523 ナノメートルの照明波長での測定された回折次数の像 10 を描写する。図 1 B は、579 ナノメートルの照明波長での測定された回折次数の像 11 を描写する。図 1 C は、668 ナノメートルの照明波長での測定された回折次数の像 12 を描写する。

【0012】

図 1 B に示すように、測定像 11 は、その波長での共振によって像の中心を通る弧で歪む。測定された回折次数の総強度は、共振弧ならびに結果として得られるオーバーレイ推定によって影響される。像 10 および 12 は、そのような歪みを表さず、これらの照明波長に関連する、結果として得られるオーバーレイ推定はより正確である。

【0013】

図 2 は、ある波長範囲にわたる SCOL システムによるオーバーレイ測定の不正確さのプロット 13 を描写している。プロットライン 14 は、オーバーレイの不正確さが許容できないレベルに急増する 3つの異なる波長サブレンジを描写している。ポイント 15 - 17 はそれぞれ、図 1 A - 1 C に示した照明波長に対応する。図 2 は一般に、不正確さランドスケープと呼ばれる。そのようなプロットは、オーバーレイ不正確さと、プロセス変動に対するロバスト性を分析するために有用である。

【0014】

特定のオーバーレイ測定用途に関するレシピ開発への現行の取り組みは、不正確さが急増する波長サブ領域を回避することである。しかしながら、対称および非対称プロセス変動の存在が不正確さランドスケープにおけるシフトを引き起こし、それが適切な照明波長の選択を複雑化する。

【0015】

図 3 は、ラインプロファイル非対称性の異なる値にそれぞれ関連するいくつかの不正確さランドスケープのプロット 20 を描写する。プロットライン 21 は、ラインプロファイル非対称性がない場合の不正確さを描写する。プロットライン 22 は、2 ナノメートルのラインプロファイル非対称性での不正確さを描写する。プロットライン 23 は、4 ナノメー

10

20

30

40

50

トルのラインプロファイル非対称性での不正確さを描写する。プロットライン 24 は、8 ナノメートルのラインプロファイル非対称性での不正確さを描写する。図 3 に示すように、例えば、印刷エラーによって構造的な非対称性が増加するにつれ、オーバーレイ測定の誘起される不正確さの振幅が増加する。この例では、不正確さの増加は、ラインプロファイル非対称性の振幅に線形に比例する。

【0016】

図 4 は、オーバーレイ構造の高さ変動の異なる値にそれぞれ関連するいくつかの不正確さランドスケープ、非対称プロセス変動のプロット 30 を描写する。プロットライン 31 は、高さ変動がない場合の不正確さを描写する。プロットライン 32 は、+6 ナノメートルの高さ変動での不正確さを描写する。プロットライン 33 は、-6 ナノメートルの高さ変動での不正確さを描写する。図 4 に示すように、対称プロセス変動が変化するにつれ、不正確さランドスケープは波長においてシフトする。

10

【0017】

図 3 および 4 は、オーバーレイ不正確さが対称変動と非対称変動に依存することを示している。オーバーレイエラーは非対称プロセス変動によって増幅されて、対称プロセス変動によって波長においてシフトする。オーバーレイ不正確さのピークは、対称プロセス変動の存在下では特定の波長に固定されない。結果として、特定の不正確さランドスケープに基づく適切な照明波長の選択は、対称プロセス変動と非対称プロセス変動が存在する場合には不適切になり得る。対称プロセス変動および非対称プロセス変動の範囲を包含するいくつかの不正確さランドスケープに鑑みて光の照明波長を選択することによってこのリスクを軽減することを試みてもよいが、一部の例では、変動が大きすぎて、十分に正確なオーバーレイ測定をもたらす照明波長が存在しない。結果として、場合によっては、照明波長の選択に基づいてオーバーレイ測定レシピを生成することは不可能である。

20

【0018】

不正確さランドスケープの付加的な説明は、非特許文献 1 に提示されており、その主題はその全容が参照により本明細書に援用される。

【0019】

従来型 SCOL および DBO 技法は、二方向でのオーバーレイを測定するために 4 つの異なるターゲットを要する（例えば、4 つの異なるセルを有する計測ターゲット）。これは、移動 - 取得 - 測定 (MAM) 時間およびウェハ上のターゲットエリアを増加させる。

30

【0020】

その上、従来型 SCOL および DBO 技法のオーバーレイ精度は、光学システム変動および収差によって有意に影響される。これは、正確なオーバーレイ測定と、十分に正確なツールマッチングの達成を困難にする。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0021】

【文献】米国特許出願公開第 2016/0146740 号

米国特許出願公開第 2016/0109375 号

【非特許文献】

40

【0022】

【文献】Bringholz, Barak ほか著、Accuracy in optical overlay metrology、Proc. of SPIE, Vol 9778, 9778H 1 19, 2016 年 3 月 24 日

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0023】

将来のオーバーレイ計測用途は、さらに微細な分解能の要求およびウェハエリアのさらに高い数値により、計測に課題を提示する。したがって、改良されたオーバーレイ測定のための方法およびシステムが望まれる。

50

【課題を解決するための手段】

【0024】

訓練された測定モデルに基づくロバストなオーバーレイエラー測定のための方法およびシステムが本明細書に記載される。測定モデルは、実験計画(DOE)ウェハから、光学散乱計測ベースのオーバーレイ計測システムによって収集された未加工光学散乱計測データから訓練される。各測定サイトは、プログラムされたオーバーレイ変動および既知のプロセス変動で作製された1つ以上の計測ターゲットを含む。各測定サイトは、既知の計測システム変動で測定される。こうして、測定モデルが訓練されて、実オーバーレイを、オーバーレイ測定に影響するプロセス変動および計測システム変動から分離する。結果として、訓練された測定モデルによる実オーバーレイの推定は、プロセス変動および計測システム変動に対してロバストである。

10

【0025】

伝統的なモデルベースの計測方法に付随するエラーおよび近似が、未加工光学散乱計測データのみを用いて測定モデルを作成することによって低減される。さらに、測定モデルは特定の計測システムから収集された光学散乱計測データに基づいて訓練され、同じ計測システムから収集された光学散乱計測データに基づいて測定を実行するために用いられるため、測定モデルは系統的错误、非対称性等に感応しない。

【0026】

一態様では、最適化された集合のプログラムされたオーバーレイ変動が、1つ以上のDOEウェハ上の位置の関数として作製される。一部の例では、オーバーレイ測定の変動を誘起する1つ以上のプロセスパラメータのウェハ間変動および1つ以上の構造的パラメータのウェハ間変動も、DOEウェハ上の位置の関数として作製される。

20

【0027】

さらなる態様では、DOEは、訓練データを作成するためにDOE計測ターゲットを測定するために用いられる光学散乱計測測定システム(複数可)に関連する1つ以上のシステムパラメータ値のある範囲の異なる値を含む。

【0028】

別の態様では、各作製される計測ターゲットに関連する実オーバーレイの値は、ゼロエラーオーバーレイ(ZEO)推定方法を用いて、光学散乱計測オーバーレイ測定システム自体で、各作製される計測ターゲットの一連の測定に基づいて推定される。ZEO方法は、いくつかの異なる照明波長で実行されたSCOLオーバーレイ測定からより正確にオーバーレイを推定するために用いられる。

30

【0029】

別の態様では、各測定サイトは、少なくとも一方向に周期性を有するグレーティング構造のレイを有する単一セル計測ターゲットを含む。したがって、単一セル計測ターゲットの光学散乱計測測定は、少なくとも一方向におけるオーバーレイに感応する。一部の実施形態では、単一セル計測ターゲットは、少なくとも二方向に周期性を有するグレーティング構造のレイを含む。したがって、単一セル計測ターゲットの測定は、少なくとも二方向におけるオーバーレイに感応する。一般に、測定されたオーバーレイ構造は、基板上の同じレイヤ上に、または異なるレイヤ上に配置されてよい。

40

【0030】

さらなる態様では、単一セル計測ターゲットは、少なくとも一方向に2つ以上の異なる周期性を有するグレーティング構造のレイを含む。例えば、トップレイヤのグレーティングとアンダーレイヤのグレーティングは、より小さいピッチのグレーティングまたはデバイス様構造にセグメント化されてよい。

【0031】

別の態様では、未知のオーバーレイ値を有する他のターゲットの測定に、訓練された測定モデルが測定モデルとして用いられる。

【0032】

さらなる態様では、本明細書に記載の方法およびシステムは、オーバーレイエラーの測定

50

のみに限定されない。一般に、本明細書に記載の光学散乱計測ベースの測定技法は、他のプロセス、構造、分散パラメータまたはこれらのパラメータの任意の組み合わせの測定に応用され得る。非限定的な例として、プロファイルジオメトリパラメータ（例えば、クリティカルディメンション）、プロセスパラメータ（例えば、焦点および露光量）、分散パラメータ、ピッチウォークまたはパラメータの任意の組み合わせが測定され得る。各関心パラメータについてプログラムされた変動を備えた訓練ターゲットの集合が提供されなければならない。次に、測定モデルは、各関心パラメータのプログラムされた変動の範囲を含む測定サイトにわたり収集された光学散乱計測データに基づいて訓練される。

【 0 0 3 3 】

別のさらなる態様では、測定モデルを訓練する方法およびシステムは、訓練された測定モデルに到達するために必要ないずれかまたはすべての要素を自動化するための最適化アルゴリズムを含む。

10

【 0 0 3 4 】

別のさらなる態様では、複数の異なるターゲットからの光学散乱計測データが、モデル構築、訓練および測定のために収集される。異なる構造を有するが同じプロセス条件によって形成された複数のターゲットに関連する測定データと、プログラムされたオーバーレイ値の使用は、モデルに埋め込まれる情報を増加させ、プロセスまたは他のパラメータ変動に対するオーバーレイ相関を減少させる。

【 0 0 3 5 】

別のさらなる態様では、1つ以上の測定システムパラメータの複数の値で実行された測定から導出された測定データが、モデル構築、訓練および測定のために収集される。非限定的な例として、複数の照明波長、偏光等で実行された測定を用いて、測定モデルを訓練し、本明細書に記載のように訓練された測定モデルを用いて測定を実行する。

20

【 0 0 3 6 】

別のさらなる態様では、複数の異なる測定技法の組み合わせによって実行された測定から導出された測定データが、モデル構築、訓練および測定のために収集される。複数の異なる測定技法に関連する測定データの使用は、組み合わせた集合の信号情報内容を増加させ、プロセスまたは他のパラメータ変動に対するオーバーレイ相関を減少させる。

【 0 0 3 7 】

別の態様では、本明細書に記載の測定モデル結果は、プロセスツール（例えば、リソグラフィーツール、エッチングツール、堆積ツール等）にアクティブフィードバックを提供するために用いられ得る。例えば、本明細書に記載の方法を用いて決定されたオーバーレイエラーの値は、リソグラフィーツールを、所望の出力を達成するために調節するために、リソグラフィーツールに伝えられ得る。同様な方式で、それぞれエッチングツールまたは堆積ツールにアクティブフィードバックを提供するために、エッチングパラメータ（例えば、エッチング時間、拡散率等）または堆積パラメータ（例えば、時間、濃度等）が測定モデルに含まれてもよい。

30

【 0 0 3 8 】

上記は要約であり、したがって必然的に簡略化、一般化および詳細の省略を含むものであり、結果として、当業者ならば、この要約は単に例示に過ぎず、如何なる意味でも限定するものではないということを理解するであろう。本明細書に記載のデバイスおよび/またはプロセスの他の態様、発明的特徴および利点は、本明細書に記載の非限定的な詳細な説明で明らかとなる。

40

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 3 9 】

【 図 1 A 】 3つの異なる照明波長で実行された S C O L 測定に関連する 1つの測定された回折次数の瞳像の図である。

【 図 1 B 】 3つの異なる照明波長で実行された S C O L 測定に関連する 1つの測定された回折次数の瞳像の図である。

【 図 1 C 】 3つの異なる照明波長で実行された S C O L 測定に関連する 1つの測定された

50

回折次数の瞳像の図である。

【図 2】ある波長範囲にわたる S C O L システムによるオーバーレイ測定の不正確さのプロット図である。

【図 3】ラインプロファイル非対称性の異なる値にそれぞれ関連するいくつかの不正確さランドスケープのプロット図である。

【図 4】対称プロセス変動の異なる値にそれぞれ関連するいくつかの不正確さランドスケープのプロット図である。

【図 5】本明細書に提示の例示的方法によるオーバーレイエラーを測定するためのシステム 100 の図である。

【図 6】本発明の図 5 に示された計測システム 100 等の計測システムによる実装に適した方法の図である。

10

【図 7】本発明の図 5 に示された計測システム 100 等の計測システムによる実装に適した方法の図である。

【図 8】一実施形態での単一のセルオーバーレイ計測ターゲットの図である。

【図 9】別の実施形態での単一のセルオーバーレイ計測ターゲットの図である。

【図 10】波長の関数としてのいくつかのオーバーレイエラー測定を含むプロット図である。

【図 11】波長の関数としての補間された R 曲線を含むプロット図である。

【図 12】波長の関数としてのいくつかの R 曲線を含むプロット図である。

【図 13】異なる波長で S C O L 計測システムによって実行された一連の測定に関連するオーバーレイ推定曲線および R 曲線を示すプロット図である。

20

【図 14】ピーク位置からの異なる距離で評価された、測定されたオーバーレイのウェハ内変動にそれぞれ関連するポイントの集合のプロット図である。

【発明を実施するための形態】

【0040】

以下、その例が添付図面に説明されている、背景となる例および本発明のいくつかの実施形態について詳細に言及する。

【0041】

訓練された測定モデルに基づくロバストなオーバーレイエラー測定のための方法およびシステムが本明細書に記載される。測定モデルは、光学散乱計測ベースのオーバーレイ計測システムによって実験計画 (DOE) ウェハから収集された未加工光学散乱計測データから訓練される。各測定サイトは、プログラムされたオーバーレイ変動および既知のプロセス変動で作製された 1 つ以上の計測ターゲットを含む。各測定サイトは、光学散乱計測ベースのオーバーレイ計測システムが感応する既知の計測システム変動 (すなわち、測定システムパラメータ値) で測定される。こうして、測定モデルが訓練されて、オーバーレイ測定に影響するプロセス変動および計測システム変動から実オーバーレイを分離する。したがって、訓練された測定モデルによる実オーバーレイの推定は、プロセス変動および計測システム変動に対してロバストである。結果として、実オーバーレイの推定は、ターゲット設計最適化がなくても照明波長範囲にわたり一貫しており正確である。

30

【0042】

本明細書に記載のように、未加工光学散乱計測データのみを用いて測定モデルを作成することによって、伝統的なモデルベースの計測方法に付随するエラーおよび近似が低減される。さらに、測定モデルは、特定の計測システムから収集された光学散乱計測データに基づいて訓練され、同じ計測システムから収集された光学散乱計測データに基づいて測定を実行するため、測定モデルは系統的错误、非対称性等に感応しない。

40

【0043】

図 5 は、本明細書に提示の例示的方法によるオーバーレイエラー測定のためのシステム 100 を示す。図 5 に示すように、システム 100 は、検体 107 の 1 つ以上の構造の光学散乱計測オーバーレイ (S C O L) 測定を実行するために用いられ得る。この態様では、システム 100 は、イルミネータ 101 およびイメージング検出器 111 が装備されたス

50

キャトロメータを含んでよい。システム 100 のイルミネータ 101 は、選択された波長または波長範囲（例えば、100 - 2500 nm）の照明を生成して、それを検体 107 の表面に配置された構造に向けるように構成される。次に、イメージング検出器 111 は、検体 107 の表面から散乱された照明を受け取るように構成される。一部の実施形態では、イルミネータ 101 は少なくとも 1 つのレーザを含む。これらの実施形態の一部では、レーザは、コンピューティングシステム 130 から受け取ったコマンド信号に基づいて照明波長を選択することが可能である。

【0044】

図 5 に描写された実施形態では、システム 100 は照明経路内に、波長選択デバイス 102、ビーム整形デバイス 103 および偏光制御デバイス 104 を含む。波長選択デバイス 102 は、所望の照明波長または波長範囲を選択的に通し、他の照明波長を除くように構成された 1 つ以上の光学素子（例えば、光学フィルタ等）を含む。一部の実施形態では、波長選択デバイス 102 はコンピューティングシステム 130 によって制御される。これらの実施形態では、コンピューティングシステム 130 は、所望の波長または波長範囲を示す制御コマンドを波長選択デバイス 102 に通信するように構成される。それに応答して、波長選択デバイス 102 は、所望の波長または波長範囲を選択的に通す。ビーム整形デバイス 103 は、検体 107 の表面に提供される照明ビームを整形するように構成された 1 つ以上の光学素子を含む。一部の実施形態では、ビーム整形デバイス 103 は、コンピューティングシステム 130 によって制御される。これらの実施形態では、コンピューティングシステム 130 は、所望のビーム形状を示す制御コマンドをビーム整形デバイス 103 に通信するように構成される。それに応答して、ビーム整形デバイス 103 は、照明ビームを選択的に再整形して、検体 107 の表面に提供される所望の照明ビーム形状を達成する。一部の実施形態では、イルミネータ 101 から発せられた照明光は、偏光制御デバイス 104 によって偏光されて、検体 107 に提供される偏光照明ビームを生成する。一部の実施形態では、偏光制御デバイス 104 はコンピューティングシステム 130 によって制御される。これらの実施形態では、コンピューティングシステム 130 は、所望の偏光を示す制御コマンドを偏光制御デバイス 104 に通信するように構成される。それに応答して、偏光制御デバイス 104 は、照明光を選択的に偏光して所望の偏光状態を達成する。照明ビーム 112 はビームスプリッタ素子 105 に向けられ、ビームスプリッタ素子 105 は照明ビーム 112 を対物レンズ 106 の方に、また検体 107 の表面に向ける。検体 107 上に配置された、測定対象計測ターゲット 108 によって散乱された放射は、対物レンズ 106 によって収集されてビームスプリッタ素子 105 を通過する。一部の実施形態では、収集光 113 は偏光アナライザデバイス 109 によって解析されて、イメージング検出器 111 に提供される解析された収集ビームを生成する。一部の実施形態では、偏光アナライザデバイス 109 はコンピューティングシステム 130 によって制御される。収集光 113 は、集束光学素子 110 に向けられ、集束光学素子 110 は収集光 113 をイメージング検出器 111 上に結像する。イメージング検出器 111 は、検体 107 の表面に共役な瞳面内に配置されている。測定された瞳像 120 は、測定対象の計測ターゲットの解析のためにコンピューティングシステム 130 に通信される。

【0045】

別の実施形態では、システム 100 は、本明細書に記載の方法に従って開発された訓練された測定モデルに基づいてオーバーレイ測定を実行するために用いられる 1 つ以上のコンピューティングシステム 130 を含んでよい。1 つ以上のコンピューティングシステム 130 は、イメージング検出器 111 に通信可能に結合されてよい。一態様では、1 つ以上のコンピューティングシステム 130 は、検体 107 上に配置された計測ターゲットの測定に関連する測定データ 120 を受信するように構成される。

【0046】

本開示を通して説明される種々のステップは、単一のコンピューティングシステム 130 によって実行されても、または、複数のコンピューティングシステム 130 によって実行されてもよいことを認識すべきである。さらに、イメージング検出器 111 等の、システ

10

20

30

40

50

ム 100 の異なるサブシステムは、本明細書に記載のステップの少なくとも一部を実行するのに適したコンピュータシステムを含んでよい。したがって、上記の説明は本発明への限定と解釈されるべきではなく、単に図解として解釈されるべきである。さらに、1つ以上のコンピューティングシステム 130 は、本明細書に記載のいずれの方法、実施形態のいずれの他のステップ（複数可）を実行するように構成されてもよい。

【0047】

さらに、コンピューティングシステム 130 は、当技術分野で知られる任意の方式でイメージング検出器 111 に通信可能に結合されてよい。例えば、1つ以上のコンピューティングシステム 130 は、イメージング検出器 111 に関連するコンピューティングシステムに結合されてよい。別の例では、イメージング検出器 111 は、コンピューティングシステム 130 に結合された単一のコンピュータシステムによって直接制御されてよい。

10

【0048】

オーバーレイ計測システム 100 のコンピューティングシステム 130 は、ワイヤラインおよび/またはワイヤレス部分を含み得る伝送媒体によってシステム（例えば、イメージング検出器 111 等）のサブシステムからのデータまたは情報を受信および/または取得するように構成されてよい。こうして、伝送媒体は、コンピューティングシステム 130 と、システム 100 の他のサブシステムとの間のデータリンクとして働いてよい。

【0049】

オーバーレイ計測システム 100 のコンピューティングシステム 130 は、ワイヤラインおよび/またはワイヤレス部分を含み得る伝送媒体によって他のシステムからのデータまたは情報（例えば、測定結果、モデルリング入力、モデリング結果等）を受信および/または取得するように構成されてよい。こうして、伝送媒体は、コンピューティングシステム 130 と他のシステム（例えば、メモリオンボード計測システム 100、外部メモリ、基準測定源または他の外部システム）との間のデータリンクとして働いてよい。例えば、コンピューティングシステム 130 は、記憶媒体（すなわち、メモリ 132 または外部メモリ）からの測定データを、データリンクを介して受信するように構成されてよい。例えば、イメージング検出器 111 を用いて得た測定結果は、固定または半固定メモリデバイス（例えば、メモリ 132 または外部メモリ）に記憶されてよい。この関連で、測定結果はオンボードメモリから、または外部メモリシステムからインポートされてよい。さらに、コンピューティングシステム 130 は伝送媒体を介してデータを他のシステムに送信してよい。例えば、コンピューティングシステム 130 によって決定された測定モデルまたはオーバーレイパラメータ 121 は、外部メモリに通信されそこに記憶されてよい。この意味で、測定結果は他のシステムにエクスポートされてもよい。

20

30

【0050】

コンピューティングシステム 130 は、限定はしないが、パーソナルコンピュータシステム、メインフレームコンピュータシステム、ワークステーション、イメージコンピュータ、パラレルプロセッサ、または当技術分野で知られる任意の他のデバイスを含んでよい。一般に、用語「コンピューティングシステム」は、メモリ媒体からの命令を実行する1つ以上のプロセッサを有する任意のデバイスを包含するように広範に定義されてよい。

【0051】

本明細書に記載の方法などの方法を実行するプログラム命令 134 は、ワイヤ、ケーブルまたはワイヤレス伝送リンクなどの伝送媒体を介して伝送されてよい。例えば、図 5 に示すように、メモリ 132 に記憶されたプログラム命令 134 は、バス 133 を介してプロセッサ 131 に伝送される。プログラム命令 134 はコンピュータ可読媒体（例えば、メモリ 132）に記憶される。例示的コンピュータ可読媒体は、リードオンリーメモリ、ランダムアクセスメモリ、磁気もしくは光学ディスクまたは磁気テープを含む。

40

【0052】

図 6 は、本発明の図 5 に示された計測システム 100 などの計測システムによって実行されるのに適した方法 200 を示す。一態様では、方法 200 のデータ処理ブロックは、コンピューティングシステム 130 または任意の他の汎用コンピューティングシステムの 1

50

つ以上のプロセッサによって実行される予めプログラムされたアルゴリズムを介して実行されることが認識される。本明細書では、計測システム 100 の特定の構造的態様は、限定を表さず、図解として解釈されるべきであることが認識される。

【0053】

ブロック 201 で、複数のオーバーレイ計測ターゲットそれぞれが、光学散乱計測ベースのオーバーレイ計測システムの光照明源（例えば、イルミネータ 101）によって生成された照明光で照明される。複数の計測ターゲットが、異なる既知の、プログラムされたオーバーレイ値および少なくとも 1 つの作製プロセス変量の異なる既知の値で作製される。

【0054】

一般に、訓練に用いられる計測ターゲットは、1 つ以上の実験計画（DOE）ウェハに作製される。各 DOE ウェハは、既知の、プログラムされたオーバーレイで露光される。プログラムされたオーバーレイは、DOE ウェハのフィールド内で、DOE ウェハの異なるフィールド間で、または異なる DOE ウェハ間で異なる値を有してよい。典型的に、プログラムされたオーバーレイ変動の範囲は、オーバーレイの予測される変動（すなわち、オーバーレイプロセスウィンドウ）と同じまたはそれより大きく設計される。

10

【0055】

一部の実施形態では、オーバーレイの変動は、半導体ウェハ（例えば、DOE ウェハ）の表面上で実験計画（DOE）パターンに整理される。こうして、測定サイトは、異なるオーバーレイ値に対応するウェハ表面上の異なる位置を調査する。

【0056】

一部の実施形態では、プログラムされたオーバーレイ変動は、予期されるプロセス変動および構造的パラメータ変動のいずれとの相関も最小にするように設計される。さらに、プログラムされたオーバーレイ変動は、他のオーバーレイ構造（例えば、他の方向におけるオーバーレイ、より深いレイヤのオーバーレイ等）における変動との相関を最小にするように設計される。

20

【0057】

一態様では、プログラムされたオーバーレイ変動の最適化された集合および 1 つ以上の DOE ウェハ上のそれらの位置は、例えば、コンピューティングシステム 130 によって決定される。一例では、コンピューティングシステム 130 は、オーバーレイ変動の予想範囲にわたるプログラムされたオーバーレイ値の集合を定義するように構成される。例えば、プログラムされたオーバーレイ値の集合は、x 方向に -10 ナノメートルから 10 ナノメートルまでの 1 ナノメートルの分解能でのプログラムされたオーバーレイ値の範囲（すなわち、プログラムされたオーバーレイ $X = \{-10 \text{ nm}, -9 \text{ nm}, \dots, 0 \text{ nm}, \dots, 9 \text{ nm}, 10 \text{ nm}\}$ ）を含んでよく、y 方向に -10 ナノメートルから 10 ナノメートルまでの 1 ナノメートルの分解能でのプログラムされたオーバーレイ値の範囲（すなわち、プログラムされたオーバーレイ $Y = \{-10 \text{ nm}, -9 \text{ nm}, \dots, 0 \text{ nm}, \dots, 9 \text{ nm}, 10 \text{ nm}\}$ ）を含んでよい。

30

【0058】

この例では、コンピューティングシステム 130 はさらに、オーバーレイ測定の変動を誘起する 1 つ以上のプロセスパラメータのウェハ間変動と、1 つ以上の構造的パラメータのウェハ間変動を決定するように構成される。こうして、プロセス変動と構造的パラメータ変動は、DOE ウェハの位置の関数として（例えば、 $\{x, y\}$ 座標）決定される。

40

【0059】

コンピューティングシステム 130 はさらに、プログラムされたオーバーレイ値それぞれに対する位置を異なる $\{x, y\}$ ウェハ座標に割り当てる（例えば、 $\{\text{Programmed Overlay } X, \text{Programmed Overlay } Y\}$ の値をマッピングする）ように構成される。位置の割り当ては、プログラムされたオーバーレイとプロセス変動の間の相関が最小になるように最適化される。

【0060】

コンピューティングシステム 130 はさらに、プログラムされたオーバーレイ値と、それ

50

らの割り当てられたウェハ座標を、オーバーレイDOE（すなわち、スキナレシピ）としてリソグラフィーツールに通信するように構成される。リソグラフィーツールは次に、プログラムされたオーバーレイ値をDOEウェハ（複数可）上に、所望の位置に印刷する。

【0061】

一般に、DOEウェハ集合は、少なくとも1つの作製プロセス変量の既知の値で作製される。一部の実施形態では、計測ターゲットを備えたウェハの1つ以上のレイヤは、リソグラフィーフォーカスおよび露光量のプログラムされた値で作製される。しかしながら、訓練された測定モデルのロバスト性は、DOEウェハ集合を、より大きな数の作製プロセス変量の既知の値で作製することによって増加される。理想的には、DOEウェハ集合は、全てのプロセスのプロセスウィンドウおよび構造的パラメータにわたり既知の値で作製される。しかしながら、作製時間と測定時間の実用限度が、DOE集合内で考慮されるべきプロセスおよび構造的変数の数に制限を課す。

10

【0062】

一例では、DOEウェハ集合は、ボトムグレーティング構造のクリティカルディメンション（CD）の大きな範囲のプログラムされた値を含む。ボトムグレーティング構造は、ボトムグレーティングパターンを形成するために用いられるリソグラフィーステップで、異なるリソグラフィーフォーカス値で繰り返し作製される。

【0063】

別の例では、DOEウェハ集合は、x方向にフォーカス、露光量、オーバーレイのプログラムされた値範囲を含み、y方向にグレーティングオーバーレイ構造に関してオーバーレイを含み、以前のグレーティングレイヤに関してフォーカスおよび露光量のプログラムされた値範囲を含む。

20

【0064】

別の例では、DOEウェハ集合は、各プロセスステップ（例えば、堆積、エッチング、化学機械研磨等）においてプロセスパラメータ値範囲を含む。

【0065】

さらなる態様では、DOEは、訓練データを生成するためDOE計測ターゲットを測定するために用いられる光学散乱計測システムまたは複数の光学散乱計測システムに関連する1つ以上のシステムパラメータ値の異なる値範囲を含む。結果として、訓練された測定モデルは、測定システム変動（例えば、光学システム変動）に対してロバストである。一例では、各計測ターゲットの測定に関連する光学散乱計測信号は、複数の異なるシステム条件で収集された信号を含む。例えば、収集光信号は、複数の波長および複数の偏光からの信号を含み得る。

30

【0066】

ブロック202で、照明光にตอบสนองして複数のオーバーレイ計測ターゲットそれぞれから散乱されたある量の光が、例えば、図5に描写された光学散乱計測オーバーレイ測定システム100の収集光学素子によって収集される。

【0067】

ブロック203で、複数のオーバーレイターゲットそれぞれから収集されたある量の光の像が、光学散乱計測ベースの計測システムの光学検出器の複数のピクセルによって検出される。各異なる測定システム構成で測定されたDOEウェハ集合の計測ターゲットそれぞれの測定に関連する検出光信号は、ある量の訓練データを備える。

40

【0068】

図5に描写された実施形態において、イメージング検出器111の感光領域は、光学散乱計測ベースの計測システム100の瞳像面に、またはその付近に位置している。したがって、システム100は、各測定された計測ターゲットから回折された光の瞳像を収集する。一部の実施形態では、システム100は、各測定された計測ターゲットから+1/-1回折次数で回折された光の瞳像を収集する。

【0069】

ブロック204で、複数のオーバーレイ計測ターゲットそれぞれに関連する実オーバーレ

50

イの値が推定される。

【 0 0 7 0 】

一部の例では、各計測ターゲットに関連する実オーバーレイの値は、各計測ターゲットに関連する既知のプログラムされたオーバーレイ値として推定される。

【 0 0 7 1 】

一部の他の例では、各計測ターゲットに関連する実オーバーレイの値は、信頼された基準計測システムでの各計測ターゲットの測定によって推定される。例えば、クリティカルディメンション、走査電子顕微鏡 (C D - S E M)、X線強化 S E M、光学的クリティカルディメンションツール、透過電子顕微鏡 (T E M) および小角 X 線光学散乱計測 (S A X S) ツールのうちいずれが基準計測システムとして用いられてもよい。一例では、複数の方位角で S C O L または I B O 測定を実行しツール誘起シフト (T I S) エラーを差し引くことによって実オーバーレイの値が推定される。

10

【 0 0 7 2 】

別の態様では、各作製される計測ターゲットに関連する実オーバーレイの値が、本明細書に記載のゼロエラーオーバーレイ (Z E O) 推定方法を用いて、光学散乱計測オーバーレイ測定システム自体での各作製される計測ターゲットの一連の測定に基づいて推定される。

【 0 0 7 3 】

Z E O 方法は、少数の異なる照明波長で実行された S C O L オーバーレイ測定からより正確にオーバーレイを推定するために用いられる。対物レンズは、S C O L オーバーレイ測定曲線のピークに対するゼロエラーオーバーレイ位置 (すなわち、ピーク値からの特定の距離) を取得することになっている。S C O L オーバーレイ曲線のピーク値からのゼロエラーオーバーレイ位置の距離は、プロセスおよび構造的パラメータ値の有意な変化にも拘らず非常に類似している。本明細書で前述のように、S C O L オーバーレイ曲線は典型的に、プロセスおよび構造的パラメータ値に依存してスケールリング、シフトまたはそれら両方を経る。したがって、波長にわたる S C O L オーバーレイ推定曲線の形状は、プロセスおよび構造的パラメータ値の変化にも拘らず概ね保持され、ピークに対するゼロエラーオーバーレイ位置の距離はほぼ一体に保たれる。特に、非対称変動は、形状のスケールリングを引き起こし、対称変動 (例えば、プロセス変動) は波長方向 (すなわち、水平方向) における形状のシフトを引き起こし、プログラムされたオーバーレイにおける変化は、推定オーバーレイの方向 (すなわち、垂直軸) のシフトを引き起こす。しかしながら、これらの変動にも拘らず、ピークへのゼロエラーオーバーレイ位置の距離はほぼ一定に保たれる。

20

30

【 0 0 7 4 】

図 1 0 は、波長の関数としてのオーバーレイエラー測定の数を含むプロット 1 5 0 を描写している。各プロットラインは、1 つ以上のプロセス変数および非対称構造的変数の異なる値で作製された計測ターゲットの測定を表す。図 1 0 に示されるように、S C O L オーバーレイ推定曲線の形状は、曲線が互いにスケールリングされシフトされているにも拘らず影響を受けていない。

【 0 0 7 5 】

一例では、光学散乱計測オーバーレイ測定システムを用いていくつかの異なる照明波長で各計測ターゲットの光応答を測定する。この意味で、光学散乱計測オーバーレイ測定システムは、オーバーレイ計測ターゲットそれぞれをいくつかの異なる照明波長で照明し、+ 1 / - 1 回折次数での各異なる照明波長に応答して複数のオーバーレイ計測ターゲットそれぞれから散乱されたある量の光を収集し、各異なる照明波長で各オーバーレイ計測ターゲットから収集されたある量の光の像を検出する。

40

【 0 0 7 6 】

コンピューティングシステム (例えば、コンピューティングシステム 1 3 0) は、実オーバーレイの候補値を、各異なる照明波長に関する + 1 および - 1 回折次数の間の差に基づいて推定する。

【 0 0 7 7 】

一部の実施形態では、候補値は波長にわたって補間されて、より微細な波長間隔を実現す

50

る。これが、円滑な曲線、より正確なピーク値を提供して、ゼロエラーオーバーレイ位置のより正確な推定を可能にする。一部の例では、高度の円滑さと可撓性を達成するために、線形、多角形またはスプライン補間方法が用いられる。一例では、3次スプライン補間が用いられる。

【0078】

一部の実施形態では、波長の関数としてのオーバーレイ推定が、ZEO解析に用いられる。しかしながら、一部の他の実施形態では、波長の関数としてのR値が、ZEO解析に用いられる。一部の実施形態では、R曲線は、一般により円滑であるため有利である。R曲線は式(1)を用いて計算され、式中、ブラケット表記($\langle \rangle$)は、マスク内のピクセルにわたる内積を意味し、 I_0 はイメージング検出器として用いられる電荷結合素子デバイス(CCD)カメラにおけるアボダイザ機能を示し、Gは測定された非対称性を表すSCOL差信号である。

10

【数1】

$$R = \sqrt{1 - \frac{\langle I_0 G \rangle^2}{\langle I_0 \rangle^2 \langle I_0 G \rangle^2}} \quad (1)$$

【0079】

図11は、波長の関数としての補間されたR曲線を含むプロット160を示す。同様に、図12は、波長の関数としてのいくつかのR曲線を含むプロット170を示す。各プロットラインは、1つ以上のプロセス変量の異なる値で作製された計測ターゲットの測定を表す。図12に示されるように、R曲線の形状は、曲線が互いに対してシフトされているにも拘らず影響を受けていない。

20

【0080】

コンピューティングシステムはさらに、実オーバーレイのピーク値を候補値から決定するように構成される。全照明波長の中で、複数のZEOポイントがあり得る。しかしながら、それら全てが容易に検出されるわけではない。オーバーレイ推定曲線またはR曲線のピークのほうが検出し易い。ピークが検出されると、ZEO位置の探索が、選択されたピークの周囲の関心領域内で行われる。

30

【0081】

図13は、オーバーレイ推定曲線182および異なる波長でSCOL計測システムによって実行された一連の測定に関連するR曲線181を示すプロット180を描写している。図13に示すように、典型的に、1つのオーバーレイ推定曲線またはR曲線には2つまたは3つのピークが存在し、各ピークは特定の波長範囲内にある。一部の例では、照明波長範囲はいくつかの重複しない間隔に細分化され、各間隔は1つのみのピークに関連している。曲線の最高ポイントが、関連する照明波長とともに各間隔内で特定される。図13に描写されるように、オーバーレイ推定曲線182は、R曲線の間接ピーク付近でほぼ対称である。図13に示すように、オーバーレイ推定曲線182は、R曲線の間接ピーク位置からほぼ同じ距離Dで実オーバーレイ値と交差する。

40

【0082】

コンピューティングシステムはさらに、ウェハ内オーバーレイ変動を最小にするピーク値に関連する波長との波長の差を規定するように構成される。図13に示された例において、コンピューティングシステムはR曲線181のピーク値と、ZEOに関連するSCOLオーバーレイ推定との距離Dを特定する。

【0083】

特定の波長で測定された特定の測定サイトのSCOLオーバーレイ推定 S_i は式(2)によって記述され、

【数2】

50

$$S_i = O_0 + w_i + e_i \quad (2)$$

式中、 O_0 は、測定サイトに関連するプログラムされたオーバーレイ値であり、 w_i はウェハ内変動であり、 e_i は S C O L 測定エラーである。ウェハ内変動は、ゼロ平均値および変量 w^2 、すなわち $w_1 \sim N(0, w^2)$ を有するガウス分布として推定され得る。同様に、S C O L 測定エラーは、ゼロ平均値および変量 e^2 、すなわち $e_1 \sim N(0, e^2)$ を有するガウス分布として推定され得る。さらに、ウェハ内変動は S C O L 測定エラーと相関されていないことが想定される。一例では、エラーが最小である Z E O 位置は、式 (3) で記述されるように S C O L 測定エラーの平均二乗エラーを最小化することによって決定される。

10

【数 3】

$$MSE = E[e^2] = E[(S - O_0 - w)^2] = E[S^2] + O_0^2 - 2O_0 \cdot E[S] + \sigma_w^2 \quad (3)$$

$E[\]$ は期待値を示している。 O_0 が利用できない場合、エラーが最小である Z E O 位置は、式 (4) で記述されるように S C O L 測定エラーの平均二乗エラーを最小化することによって決定される。

20

【数 4】

$$MSE = Var[e^2] = E[(S - O_0 - w)^2] - [E[(S - (O_0 + w))]]^2 = Var[S^2] + \sigma_w^2 \quad (4)$$

w^2 が未知かつ一定であるため、式 (4) の最小化は、 $Var[S^2]$ の最小化へと簡略化する。そのため、コンピューティングシステムは、S C O L オーバーレイ測定のウェハ内変動が最小化される最適な照明波長（すなわち、ピークに関連する照明波長からの距離 D ）を見出すように構成される。特定されたピーク周辺の傾斜が非常に急峻であるため、これは、大きなエラーとなり得る。このリスクを軽減するために、ウェハ内分散が、ピークに対して対称な 2 つの位置（すなわち、ピークから $+/-d$ の距離）で評価され、式 (5) で示すように平均化され、

30

【数 5】

$$f(d) = \text{var}\left(\frac{S(\text{peak} - d) + S(\text{peak} + d)}{2}\right) \quad (5)$$

$f(d)$ は、ピークから距離 d に位置する対象位置の平均の変動である。式 (5) の解は図 (6) で示され、

40

【数 6】

$$d^* = \arg \min_d \text{var}\left(\frac{S(\text{peak} - d) + S(\text{peak} + d)}{2}\right) \quad (6)$$

d^* は、 $Var(S^2)$ が最小化した d の推定値である。Z E O 推定 O^* は、式 (7) によって記述される。

【数 7】

50

$$O^* = \left(\frac{S(\text{peak} - d^*) + S(\text{peak} + d^*)}{2} \right) \quad (7)$$

【 0 0 8 4 】

一部の例では、コンピューティングシステムは、ピークからの離散集合距離にわたりウェハ内変動を計算し、ウェハ内変動が最小である距離を選択し、ピークから + / - 最適距離である波長位置での平均 S C O L 測定を Z E O 値として決定するように構成される。図 1 4 は、ピーク位置からの異なる距離 d で式 (6) に従って評価された測定されたオーバーレイのウェハ内変動にそれぞれ関連するポイントの集合のプロット 1 9 0 を示す。図 4 に描写されるように、最小分散値は、ピーク位置から約 3 0 ナノメートルの距離に位置している。この例では、Z E O 値は、約 3 0 ナノメートルの距離 d^* で式 (7) に従って推定される。

10

【 0 0 8 5 】

式 (5 - 7) は Z E O 値を、ピーク位置付近に対称に位置する 2 つのポイントの平均に基づいて評価するが、Z E O 値は、ピーク位置から異なる距離に位置する 2 つのポイント (例えば、 $-d_1$ および $+d_2$) に基づいて決定されてもよい。より一般的には、ピークからの距離範囲以内の S C O L 測定の範囲 r が、Z E O 値を見出すために用いられてよい。この例では、オーバーレイ推定は、式 (8) および (9) によって記述され、式中 c_i は加重係数である。

20

【 数 8 】

$$O = \sum_{i=1}^k c_i S(d_i) \quad (8)$$

【 数 9 】

$$\text{peak} - r \leq d_i \leq \text{peak} + r \quad (9)$$

30

【 0 0 8 6 】

このシナリオでは、最適化問題は式 (1 0) で記述されてよく、 c_i の値は $S(d_i)$ の加重値の和の変動を最小化するために解かれる。Z E O 値は式 (1 1) によって表される。

【 数 1 0 】

$$c_{1,\dots,k}^* = \arg \min_{c_{1,\dots,k}} \text{var} \left(\sum_{i=1}^k c_i S(d_i) \right) \quad (10)$$

40

【 数 1 1 】

$$O^* = \sum_{i=1}^k c_i^* S(d_i) \quad (11)$$

【 0 0 8 7 】

一部の例では、S C O L ランドスケープはピーク位置付近でより平坦である。これらの例では、Z E O 位置を見出すために、ピークから単一の方向に探索するだけで十分であり得

50

る。さらに、各関心領域に関連する S C O L ランドスケープが非常に類似したパターンを提示した場合、各ピークに関連する Z E O 値を計算し、次に結果を平均して Z E O 値の最終推定値を得ることが適切であり得る。

【 0 0 8 8 】

ブロック 2 0 5 で、測定モデルは実オーバーレイの推定値とある量の訓練データに基づいて訓練される。測定モデルは、1 つ以上の測定サイトで計測システムによって生成された測定データを受け取り、各測定ターゲットに関連するオーバーレイを直接決定するように構成される。

【 0 0 8 9 】

この意味で、訓練された測定モデルは光学散乱計測信号とオーバーレイ値の間の機能的関係性を確立する。一部の実施形態では、この関係性は複素関数によって記述され、関数係数は訓練信号（すなわち、収集された光学散乱計測信号）および実オーバーレイの推定値に基づいて推定される。

10

【 0 0 9 0 】

一部の例では、測定モデルは、光学散乱計測訓練データから抽出された主特徴と、実オーバーレイの推定値に基づいて訓練される。これらの例において、ある量の訓練データの複数の主特徴が、訓練データの次元を削減するある量の訓練データの変換に基づいて決定される。光学散乱計測訓練データからいくつかの主特徴が、数学的変換に基づいて抽出される。変換は、光学散乱計測データの次元を削減し、原信号を新たな、削減された信号集合にマッピングする。変換は、光学散乱計測訓練データにおけるオーバーレイの変動に基づいて決定される。各測定された信号は、光学散乱計測訓練データの集合における異なるオーバーレイ測定のプロセス範囲内で変化する原信号として取り扱われる。変換は、測定信号全てに適用されても、または測定信号の部分集合に適用されてもよい。一部の例では、解析対象の信号はランダムに選択される。一部の他の例では、解析対象の信号は、オーバーレイにおける変化に対するそれらの比較的高い感度によって選択される。例えば、オーバーレイにおける変化に感応しない信号は無視されてよい。非限定的な例として、変換は、主成分分析（P C A）モデル、カーネル P C A モデル、非線形 P C A モデル、独立成分分析（I C A）モデル、ディクショナリを用いた他の次元削減方法、離散コサイン変換（D C T）モデル、高速フーリエ変換（F F T）モデル、ウェーブレットモデル等のうちいずれを用いて達成されてもよい。

20

30

【 0 0 9 1 】

一部の実施形態では、測定モデルはニューラルネットワークモデルとして実施される。一例では、ニューラルネットワークのノードの数は、訓練データから抽出された特徴の数に基づいて選択される。別の例では、測定モデルは、線形モデル、多項式モデル、応答局面モデル、サポートベクターマシンモデル、デシジョンツリーモデル、ランダムフォレストモデルまたは他のタイプのモデルとして実行されてよい。一部の例では、測定モデルはモデルの組み合わせとして実行されてもよい。一部の例では、選択されたモデルは、主特徴（削減された集合の信号）と、オーバーレイにおける既知の変動に基づいて訓練される。モデルは、その出力が、D O E 計測ターゲットの集合によって定義されるオーバーレイ変動空間における測定された信号すべてに関するオーバーレイにおける定義された変動に適合するように訓練される。

40

【 0 0 9 2 】

本発明の範囲内で種々の異なる計測ターゲットが想定されてよい。一部の実施形態では、計測ターゲットは従来型ライン/スペースターゲットに基づく。一部の他の実施形態では、計測ターゲットはデバイス様構造である。一部の他の実施形態では、計測ターゲットは実際のデバイス自体であり、したがって、特殊用途の計測ターゲットは用いられない。用いられる計測ターゲットのタイプに拘らず、既知の、プログラムされたオフセットを有する訓練ターゲットの集合が、測定モデルを訓練するために提供されなければならない。モデルが訓練されると、モデルは未知のオーバーレイを有する構造の測定を実行するために用いられてよい。

50

【 0 0 9 3 】

訓練ターゲットは別個の訓練ウェハに配設されても、製造ウェハに配設されてもよい。一部の例では、計測ターゲットは製造ウェハのスクライブラインに配置されている。一部の他の例では、計測ターゲットはアクティブダイ領域に配置されている。

【 0 0 9 4 】

一部の実施形態では、モデル訓練に用いられる測定はスクライブライン領域で実行され、後続の測定は実際のデバイスの周期領域で実行される。

【 0 0 9 5 】

一部の実施形態では、直交方向における複数の異なるターゲットオフセットが各ダイに用いられる。これは、測定精度へのアンダーレイヤの効果を最小化するために有益であり得る。

10

【 0 0 9 6 】

一態様では、各測定サイトは、少なくとも一方向に周期性を有するグレーティング構造のアレイを有する単一セル計測ターゲットを含む。したがって、単一セル計測ターゲットの光学散乱計測測定は、少なくとも一方向におけるオーバーレイに感応する。一部の実施形態では、単一セル計測ターゲットは少なくとも二方向に周期性を有するグレーティング構造のアレイを含む。したがって、単一セルターゲットの測定は、少なくとも二方向におけるオーバーレイに感応する。一般に、測定されたオーバーレイ構造は、基板の同じレイヤに位置しても、異なるレイヤに位置してもよい。

【 0 0 9 7 】

図 8 は、一実施形態における単一のセルオーバーレイ計測ターゲット 1 4 0 の図解を描写する。計測ターゲット 1 4 0 は、トップレイヤ 1 4 2 のグレーティングと、アンダーレイヤ 1 4 1 の少なくとも 1 つのグレーティングを含む。オーバーレイの異なる値に関して、イメージング検出器 1 1 1 によって瞳像上にキャプチャされた + 1 および - 1 回折次数は、二方向へのオーバーレイ（例えば、 X は x 方向であり Y は y 方向である）への感度を有する。一実施形態では、グレーティング 1 4 1 と 1 4 2 の間の公称オフセットは、 x および y 両方向に約 1 5 0 ナノメートルである。本明細書で以前に記載のように、典型的ターゲットは、オーバーレイ方向につき 2 つ以上のセルを有する S C O L または D B O ターゲットである。図 8 に描写されるように、計測ターゲット 1 4 0 は、2 つの直交方向に感度を有する単一セルターゲットである。4 つのセルの代わりに 1 つのセルから信号を収集することによって、移動 - 取得 - 測定 (M A M) 時間の有意な短縮が達成される。

20

30

【 0 0 9 8 】

さらなる態様では、単一セル計測ターゲットは、少なくとも一方向に 2 つ以上の異なる周期性を有するグレーティング構造のアレイを含む。例えばトップレイヤ 1 4 2 のグレーティングとアンダーレイヤ 1 4 1 のグレーティングはより小さい（例えば、設計ルール）ピッチのグレーティングまたはデバイス様構造でセグメント化されてよい。

【 0 0 9 9 】

図 9 は、一実施形態での単一のセルオーバーレイ計測ターゲット 1 4 5 の図解を描写する。計測ターゲット 1 4 5 は、トップレイヤ 1 4 2 のグレーティングと、アンダーレイヤ 1 4 1 の少なくとも 1 つのグレーティングを含む。オーバーレイの異なる値に対して、イメージング検出器 1 1 1 によって瞳像の上にキャプチャされた + 1 および - 1 回折次数は、二方向へのオーバーレイ（例えば、 X は x 方向であり Y は y 方向である）への感度を有する。さらに、計測ターゲット 1 4 5 は、両方向に複数のピッチパターンを含む。複数のピッチパターンは、瞳像上に付加的なパターンを提供して、オーバーレイ変化に感応する瞳像領域を増強する。図 9 に描写されるように、複数のピッチパターンは両方向に周期性 P_1 を、また、両方向に別の周期性 P_2 を含む。一実施形態では、 P_1 は約 6 0 0 ナノメートルであり P_2 は約 7 5 0 ナノメートルである。

40

【 0 1 0 0 】

本明細書で前述のように、本明細書に記載の測定方法およびシステムは特殊用途のターゲットに制約されない。一般に、利用可能な測定システムによって測定された場合にオーバ

50

ーレイに対する感度を提示する任意のターゲットが、本明細書に記載の方法およびシステムに従って用いられてよい。

【0101】

別の態様では、訓練されたモデルが、未知のオーバーレイ値を有する他のターゲットの測定のための測定モデルとして用いられる。図7は、本発明の図5に示された計測システム100などの計測システムによって実施されるのに適した方法210を示す。一態様では、方法210のデータ処理ブロックは、コンピューティングシステム130または任意の他の汎用コンピューティングシステムの1つ以上のプロセッサによって実行される予めプログラムされたアルゴリズムを介して実行され得ることが認識される。本明細書では、計測システム100の特定の構造的態様は、限定を表さず、例示としてのみ解釈されるべきであることが認識される。

10

【0102】

ブロック211で、少なくとも1つのオーバーレイ計測ターゲットが、測定モデルを訓練するために用いられる訓練データを生成するために、用いられる光学散乱計測ベースのオーバーレイ計測システムの光照明源（例えば、イルミネータ101）によって生成された照明光で照明される。測定された計測ターゲット（複数可）は未知のオーバーレイエラーを有する。典型的に、計測ターゲットは、訓練データを生成するために用いられるウェハ（複数可）とは異なるウェハに配置される。測定は典型的に、訓練ウェハ（複数可）と同じまたは類似したプロセスステップで実行される。さらに、関心ウェハ上に配置された計測ターゲットは典型的に、訓練ウェハ上に配置された計測ターゲットと同じまたは類似した計測ターゲットである。しかしながら、一部の実施形態では、モデル訓練の目的で測定された計測ターゲットと、オーバーレイの推定の目的で測定された計測ターゲットは同じウェハ上に配置されている。

20

【0103】

ブロック212で、照明光に応答して少なくとも1つのオーバーレイ計測ターゲットから散乱されたある量の光は、例えば、イメージング検出器111によって収集される。

【0104】

ブロック213で、少なくとも1つのオーバーレイターゲットから収集されたある量の光の像が、光学散乱計測ベースの計測システムの光学検出器の複数のピクセルによって検出される。

30

【0105】

ブロック214で、少なくとも1つのオーバーレイターゲットに関連する実オーバーレイの値が、少なくとも1つのオーバーレイターゲットの検出された像と、訓練された測定モデルに基づいて推定される。一例では、コンピューティングシステム130は、測定モデルの訓練によって確立された機能的関係を用いて実オーバーレイの値を、測定された光学散乱計測信号に基づいて推定する。

【0106】

ブロック215で、推定オーバーレイはメモリに記憶される。例えば、オーバーレイ値は、測定システム100にオンボードで記憶されても、例えば、メモリ132に記憶されても、または、外部メモリデバイスに通信されても（例えば、出力信号121を介して）よい。

40

【0107】

一部の実施形態では、コンピューティングシステム130は、少なくとも1つのオーバーレイターゲットの検出された像の複数の主特徴を、像の次元を削減する変換に基づいて決定するように構成される。これらの実施形態において、少なくとも1つのオーバーレイターゲットに関連する実オーバーレイの値の推定は、複数の主特徴および訓練された測定モデルに基づく。一部の実施形態では、変換は、方法200を参照して説明した対応する訓練データの次元削減に用いられた変換と同じである。方法200において訓練データから特徴を抽出するために用いられたのと同じ解析を用いて、光学散乱計測データから特徴を抽出することが好ましい。こうして、取得されたデータの次元削減は、訓練データの次元

50

を削減するために用いられたのと同じ変換によって実行される。

【0108】

さらなる態様では、本明細書に記載の方法およびシステムは、オーバーレイエラーの測定に限定されない。一般に、上述の光学散乱計測ベースの測定技法は、他のプロセス、構造、分散パラメータまたはこれらのパラメータの任意の組み合わせの測定に適用されてよい。非限定的な例として、プロファイルジオメトリパラメータ（例えば、クリティカルディメンション）、プロセスパラメータ（例えば、焦点および露光量）、分散パラメータ、ピッチワークまたはパラメータの任意の組み合わせが、上記の技法を用いてオーバーレイエラーとともに測定されてよい。各関心パラメータに関するプログラムされた変動を伴う訓練ターゲットの集合が提供されなければならない。次に測定モデルは、オーバーレイに関して本明細書に記載のように、各関心パラメータのプログラムされた変動範囲を含む測定サイトにわたり収集された光学散乱計測データに基づいて訓練される。非限定的な例として、関心パラメータは、プロセスパラメータ、構造的パラメータ、分散パラメータおよびレイアウトパラメータであってよい。

10

【0109】

一部の例では、モデル訓練のために測定された計測ターゲットは、少なくとも1つの付加的な関心パラメータの異なる既知の値で作製される。このように、測定モデルの訓練は、少なくとも1つの付加的な関心パラメータの異なる既知の値と、ある量の訓練データにも基づく。一部の実施形態では、各関心パラメータに関連する基準値は、CD-SEM、XSEM、OCD等の基準計測を用いて取得される。

20

【0110】

こうして、本明細書に記載の方式で訓練された測定モデルが、オーバーレイと、クリティカルディメンション、エッジ配置エラー、リソグラフィ焦点、リソグラフィ露光量および他の形状および関心フィルムパラメータなどの付加的なパラメータの値を推定するために利用可能である。一部の実施形態では、オーバーレイと関心パラメータの値の推定は、単一セルターゲット、デバイス構造、または関心パラメータへの測定感度を提示する任意の他のターゲットまたはターゲット群から収集された測定データに基づいて生成されてよい。こうして、複数の関心パラメータの推定が、1つ以上のセルの1つの測定に基づいて同時に取得される。

【0111】

さらなる別の態様では、測定モデルを訓練するための方法およびシステムは、訓練された測定モデルに到達するために必要な要素のうちいずれかまたは全部を自動化するための最適化アルゴリズムを含む。

30

【0112】

一部の例では、最適化アルゴリズムは、以下のパラメータのうちいずれかまたは全てを最適化することによって測定の性能（コスト関数によって定義される）を最大化するように構成される：特徴抽出モデル（すなわち、変換）のタイプ、選択された特徴抽出モデルのパラメータ、測定モデルのタイプ、選択された測定モデルのパラメータ。最適化アルゴリズムは、ユーザ定義済みのヒューリスティクスを含むことができ、入れ子型最適化（例えば、組み合わせ最適化および連続最適化）であり得る。

40

【0113】

さらなる態様では、複数の異なるターゲットからの光学散乱計測データが、モデル構築、訓練および測定のために収集される。異なる構造を有するが同じプロセス条件およびプログラムされたオーバーレイ値によって形成された複数のターゲットに関連する測定データの使用は、モデル内に埋め込まれる情報を増加させて、プロセスまたは他のパラメータ変動へのオーバーレイ相関を減少させる。モデルに埋め込まれた付加情報は、測定された信号に同様に影響し得る他のパラメータ（例えば、膜厚、CD等）に関連する情報からのオーバーレイに関連する情報内容の切り離しを可能にする。これらの例では、1つ以上の測定サイトでの複数の異なるターゲットの像を含む訓練データの使用が、より正確なオーバーレイ測定を可能にする。一部の例では、アンダーレイヤの効果からオーバーレイを切り

50

離すために、孤立したライン/スペースターゲットと高密度のライン/スペースターゲットが合わせて用いられる。

【0114】

別のさらなる態様では、複数のターゲットからの信号が、プロセス変動に対する感度を減少させ、関心パラメータに対する感度を増加させるために処理され得る。一部の例では、異なるターゲットからの信号は互いから差し引かれる。一部の他の例では、異なるターゲットからの信号はモデルに適合されて、残差を用いて本明細書に記載の測定モデルを構築、訓練および使用する。一例では、2つの異なるターゲットからの信号が、各測定結果におけるプロセスノイズの影響を除去、または有意に減少させるために差し引かれる。一般に、異なるターゲットからの信号間に種々の数学的演算が適用されて、プロセス変動への感度が減少し関心パラメータへの感度が増加した信号を決定してよい。

10

【0115】

別のさらなる態様では、1つ以上の測定システムパラメータの複数の値で実行された測定から導出された測定データが、モデル構築、訓練および測定のために収集される。非限定的な例として、複数の照明波長、偏光等で実行された測定が、測定モデルを訓練し、本明細書に記載のように訓練された測定モデルを用いて測定を実行するために用いられる。

【0116】

別のさらなる態様では、複数の異なる測定技法の組み合わせによって実行された測定から導出された測定データが、モデル構築、訓練および測定のために収集される。複数の異なる測定技法に関連する測定データの使用は、組み合わせられた集合の信号の情報内容を増加させて、プロセスまたは他のパラメータ変動に対するオーバーレイ相関を減少させる。測定データは、複数の異なる測定技法の任意の組み合わせによって実行された測定から導出されてよい。こうして、異なる測定サイトが、関心パラメータの推定に利用可能な測定情報を増強するために複数の異なる測定技法（例えば、光学散乱計測、イメージングおよび他の信号情報源）によって測定されてよい。

20

【0117】

一般に、任意の測定技法または2つ以上の測定技法の組み合わせが本特許明細書の範囲内で、特徴抽出モデルによって処理されるデータとして想定されてよく、訓練および測定のための測定モデルはベクトル形式である。本明細書に記載の技法はデータのベクトルに操作するため、各収集信号は個別に処理される。さらに、データが二次元データであるか、一次元データであるか、またさらにはシングルポイントデータであるかに拘らず、複数の異なる計測技法からのデータを連結することが可能である。

30

【0118】

本明細書に記載の計測技法による解析のためのデータを提供し得る例示的測定技法は、限定はしないが、イメージング反射計、イメージング分光反射計、偏光分光イメージング反射計、走査反射計システム、パラレルデータ取得が可能な2つ以上の反射計を備えたシステム、パラレルデータ取得が可能な2つ以上の分光反射計を備えたシステム、パラレルデータ取得が可能な2つ以上の偏光分光反射計を備えたシステム、ウェハステージを移動させずに、またはいずれの光学素子もしくは反射計ステージも移動させずにシリアルデータ取得が可能な2つ以上の偏光分光反射計を備えたシステム、イメージング分光計、波長フィルタを備えたイメージングシステム、ロングパス波長フィルタを備えたイメージングシステム、ショートパス波長フィルタを備えたイメージングシステム、波長フィルタがないイメージングシステム、干渉計イメージングシステム、イメージングエリプソメータ、イメージング分光エリプソメータ、走査エリプソメータシステム、パラレルデータ取得が可能な2つ以上のエリプソメータを備えたシステム、ウェハステージを移動させずに、またはいずれの光学素子もしくはエリプソメータステージも移動させずにシリアルデータ取得が可能な2つ以上のエリプソメータを備えたシステム、マイケルソン干渉計、マッハ・ツェンダー干渉計、サニャック干渉計、走査入射角システムおよび走査方位角システムを含む。さらに、一般に、異なる測定技法によって収集され、本明細書に記載の方法に従って解析された測定データは、複数の技法を統合する1つのツールというよりも、複数のツ

40

50

ルから収集されてよい。

【0119】

別のさらなる態様では、複数の計測技法によって測定された信号が、プロセス変動に対する感度を減少させ関心パラメータに対する感度を増加させるために処理され得る。一部の例では、異なる測定技法によって測定されたターゲットからの信号が互いに差し引かれる。一部の他の例では、異なる測定技法により測定されたターゲットからの信号はモデルに適合されて、残差を用いて本明細書に記載のように測定モデルを構築、訓練および使用する。一例では、2つの異なる測定技法によって測定されたターゲットからの信号が、各測定結果におけるプロセスノイズの影響を除去するため、または有意に減少させるために差し引かれる。一般に、異なる測定技法によって測定された信号間に種々の数学的演算が適用されて、プロセス変動への感度が減少し関心パラメータへの感度が増加した信号を決定してよい。

10

【0120】

一般に、複数の計測技法によってそれぞれ測定された複数のターゲットからの信号は、組み合わせられた集合の信号の情報内容を増加させて、プロセスまたは構造的パラメータ変動に対するオーバーレイ相関を減少させる。

【0121】

一部の例では、本明細書に記載のモデル構築、訓練および測定方法は、米国カリフォルニア州ミルピタスのケーエルエーテンカー (K L A - T e n c o r C o r p o r a t i o n) から入手可能な S p e c t r a S h a p e (登録商標) 光学クリティカルディメンション計測システムの要素として実装される。こうして、モデルが作成され、システムによって D O E ウェハスペクトルが収集された直後に利用可能となる。

20

【0122】

一部の他の例では、本明細書に記載のモデル構築および訓練方法は、例えば、米国カリフォルニア州ミルピタスの K L A - T e n c o r C o r p o r a t i o n から入手可能な A c u S h a p e (登録商標) ソフトウェアを実装するコンピューティングシステムによってオフラインで実施される。結果として得られる訓練されたモデルは、測定を実行する計測システムによってアクセス可能な A c u S h a p e (登録商標) ライブラリの要素として組み込まれてよい。

【0123】

別のさらなる態様では、本明細書に記載のオーバーレイ測定を実行するために用いられる計測システム (例えば、計測システム 300) は、赤外光学測定システムを含む。これらの実施形態において、計測システム 300 は、赤外光源 (例えば、アークランプ、無電極ランプ、レーザ維持プラズマ (L S P) 源またはスーパーコンティニュームレーザ源) を含む。赤外スーパーコンティニュームレーザ源は、光スペクトルの赤外域でのより高い達成可能な出力と輝度故に伝統的ランプ源よりも好まれる。一部の例では、スーパーコンティニュームレーザによって提供される出力は、不透明フィルムレイヤを備えたオーバーレイ構造の測定を可能にする。

30

【0124】

オーバーレイ測定における潜在的な問題は、ボトムグレーティングへの不十分な光浸透性である。多くの例で、トップグレーティングとボトムグレーティングの間に非透明 (すなわち不透明) なフィルムレイヤが存在する。そのような不透明フィルムレイヤの例は、アモルファスカーボン、タングステンシリサイド (W S I x)、タングステン、窒化チタン、アモルファスシリコン、ならびにその他の金属および非金属レイヤを含む。多くの場合、可視域内以下 (例えば、250 nm ~ 700 nm) に限定された照明光は、ボトムグレーティングに浸透しない。しかしながら、赤外スペクトル内およびそれ以上 (例えば、700 nm 超) の照明光は多くの場合、より有効に不透明レイヤに浸透する。

40

【0125】

有効なターゲット設計または測定構造は、第1のパターンと第2のパターンの間で、2つのパターン間の相対位置がファーフィールドで検出された出射回折ビームの強度に影響す

50

るように、非ゼロ回折次数を伝播する。

【0126】

紫外線領域および可視域における「不透明」の作動的定義は、250～700nmの波長範囲におけるSCOLの予測精度が要求精度よりもずっと低いということである。これは、相対位置情報を担持している回折次数の、第1のパターンと第2のパターンでの伝播の減衰による。700ナノメートル超の（例えば、800～1650nm）照明波長でSCOL信号を測定すると、吸収が有意に少ない場合にSCOL精度を向上させる。700ナノメートル超の波長を有する照明光が用いられる実施形態において、測定ターゲットの設計ピッチは、利用可能なSCOL信号が存在するように選択される。

【0127】

本明細書に記載の実施形態の一部において、訓練データは、SCOL計測システムによって測定された複数の計測ターゲットの瞳像のピクセルを測定することによって生成される。しかしながら、一般に、訓練データは、回折ベースのオーバーレイ（DBO）計測システムによって測定された複数の計測ターゲットのフィールド像のピクセルを測定することによって、イメージングIBO計測システムによって生成された信号、X線計測システムによって生成された信号、分光エリプソメータ（SE）システムによって生成された信号等を測定することによって生成されてもよい。

【0128】

さらに別の態様では、本明細書に記載の測定モデル結果は、プロセスツール（例えば、リソグラフィーツール、エッチングツール、堆積ツール等）にアクティブフィードバックを提供するために用いられ得る。例えば、本明細書に記載の方法を用いて決定されたオーバーレイエラーの値は、所望の出力を達成するためリソグラフィシステムを調整するためにリソグラフィーツールに通信され得る。同様な方式で、エッチングパラメータ（例えば、エッチング時間、拡散率等）または堆積パラメータ（例えば、時間、濃度等）が測定モデルに含まれて、エッチングツールまたは堆積ツールそれぞれにアクティブフィードバックを提供してもよい。

【0129】

一般に、本明細書に記載のシステムおよび方法は、オフラインまたはオンツール測定のための測定モデル作成プロセスの一環として実施され得る。さらに、測定モデルおよび任意の再パラメータ化された測定モデルの両方は、1つ以上のターゲット構造および測定サイトを記述してもよい。

【0130】

本明細書に記載の用語「クリティカルディメンション」は、構造（例えば、ボトムクリティカルディメンション、ミドルクリティカルディメンション、トップクリティカルディメンション、側壁角、グレーティング高さ等）の任意のクリティカルディメンション、2つ以上の構造間のクリティカルディメンション（例えば、2つの構造間の距離）、および2つ以上の構造の間の変位（例えば、オーバーレイグレーティング構造間のオーバーレイ変位等）を含む。構造は、三次元構造、パターン付き構造、オーバーレイ構造等を含んでよい。

【0131】

本明細書に記載の用語「クリティカルディメンション用途」または「クリティカルディメンション測定用途」は、任意のクリティカルディメンション測定を含む。

【0132】

本明細書に記載の用語「計測システム」は、クリティカルディメンション計測、オーバーレイ計測、焦点/露光量計測および組成計測などの測定用途を含む、任意の態様で検体を少なくとも部分的に特性評価するために用いられる任意のシステムを含む。しかしながら、そのような技術用語は用語「計測システム」の範囲を本明細書に記載のように限定しない。さらに、計測システム100は、パターン付きウェハおよび/またはパターンなしウェハの測定向けに構成されてよい。計測システムは、LED検査ツールとして、エッジ検査ツールとして、バックサイド検査ツールとして、マクロ検査ツールとして、またはマル

10

20

30

40

50

チモード検査ツールとして（1つ以上のプラットフォームからの同時のデータを含む）および、クリティカルディメンションデータに基づくシステムパラメータの較正から利する任意の他の計測または検査ツールとして構成されてよい。

【0133】

種々の実施形態は、検体を処理するために用いられ得る半導体処理システム（例えば、検査システムまたはリソグラフィシステム）に関して本明細書に記載されている。用語「検体」は本明細書では、ウェハ、レチクルまたは、当技術分野で知られる手段によって処理され得る（例えば、印刷される、または欠陥を検査される）任意の他のサンプルを指して用いられる。

【0134】

本明細書で用いる用語「ウェハ」は一般に、半導体または非半導体材料で形成された基板を指す。例としては、限定はしないが、単結晶シリコン、ヒ化ガリウム、リン化インジウムを含む。そのような基板は半導体作製設備内で一般に見受けられるおよび/または処理され得る。一部の 경우에는、ウェハは基板のみを含み得る（すなわち、ベアウェハ）。または、ウェハは基板上に形成された異なる材料の1つ以上のレイヤを含んでよい。ウェハ上に形成された1つ以上のレイヤは、「パターン付き」であっても「パターンなし」であってもよい。例えば、ウェハは、反復可能なパターンフィーチャを有する複数のダイを含んでよい。

【0135】

「レチクル」は、レチクル作製プロセスの任意の段階にあるレチクル、または、半導体製造設備内での使用向けにリリースされているまたはリリースされていない場合がある完成したレチクルであってよい。レチクル、または「マスク」は一般に、上に実質的に半透明な領域が形成され、パターン状に構成されている実質的に透明な基板として定義される。基板は例えば、アモルファスSiO₂などのガラス材料を含み得る。レチクルは、レチクル上のパターンがレジストに転写され得るように、リソグラフィプロセスの露光ステップ中に、レジストで被覆されたウェハの上に配置されてよい。

【0136】

ウェハ上に形成された1つ以上のレイヤは、パターン付きでもパターンなしでもよい。例えば、ウェハは反復可能なパターンフィーチャを有する複数のダイを含んでよい。そのような材料のレイヤの形成と処理が、最終的に完成したデバイスをもたらしてよい。多くの異なるタイプのデバイスがウェハ上に形成されてよく、用語ウェハは、本明細書において、当技術分野で知られる任意のタイプのデバイスがその上に作製されるウェハを包含することを意図している。

【0137】

1つ以上の例示の実施形態において、記載される機能は、ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェアまたはそれらの任意の組み合わせで実装されてよい。ソフトウェアで実装された場合、機能は、コンピュータ可読媒体上の1つ以上の命令またはコードとして記憶または伝送されてよい。コンピュータ可読媒体は、一箇所から他箇所へのコンピュータプログラムの伝送を促進する任意の媒体を含むコンピュータ記憶媒体および通信媒体両方を含む。記憶媒体は、汎用または専用コンピュータによってアクセスされ得る任意の利用可能な媒体であってよい。例として、そのようなコンピュータ可読媒体は、限定はしないが、RAM、ROM、EEPROM、CD-ROMもしくは他の光学ディスク記憶体、磁気ディスク記憶もしくは他の磁気記憶装置、または、命令もしくはデータ構造の形式で所要のプログラムコード手段を搬送または記憶するのに用いることができ、汎用もしくは専用コンピュータまたは汎用もしくは専用プロセッサによってアクセスされ得る任意の他の媒体を含み得る。さらに、あらゆる接続が、正式にコンピュータ可読媒体と呼ばれる。例えば、ソフトウェアが、同軸ケーブル、光ファイバケーブル、ツイストペア、デジタルサブスクライバライン(DSL)、または赤外、ラジオ、およびマイクロ波などの無線技術を用いてウェブサイト、サーバ、または他のリモートソースから伝送される場合、同軸ケーブル、光ファイバケーブル、ツイストペア、DSL、または赤外、ラジオおよびマイクロ

10

20

30

40

50

波などの無線技術は媒体の定義に含まれる。ディスク(disk)およびディスク(disc)は、本明細書で用いられる場合、コンパクトディスク(CD)、レーザディスク、光学ディスク、デジタル万能ディスク(DVD)、フロッピーディスクおよびブルーレイディスクを含み、ディスク(disk)は、通常、データを磁氣的に再生するが、ディスク(disc)は、レーザでデータを光学的に再生する。上記のものの組み合わせも、コンピュータ可読媒体の範囲内に含まれるものとする。

【0138】

ある特定の実施形態を、説明目的で上記で説明したが、本特許明細書の教示は一般的な適用性を有し、上記の特定の実施形態に限定されない。したがって、説明された実施形態の種々の特徴の種々の変形、適応、および組み合わせが、特許請求の範囲に記載された本発明の範囲から逸脱せずに実施され得る。

10

20

30

40

50

【図面】

【図 1 A】

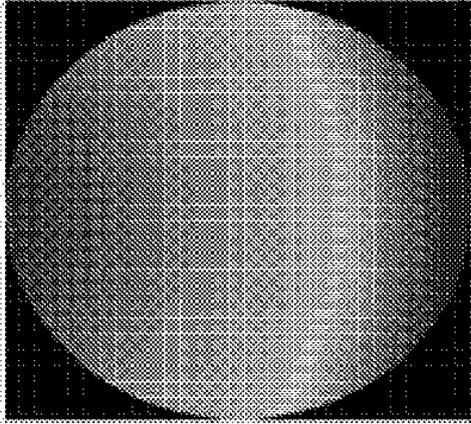


FIG. 1A

【図 1 B】

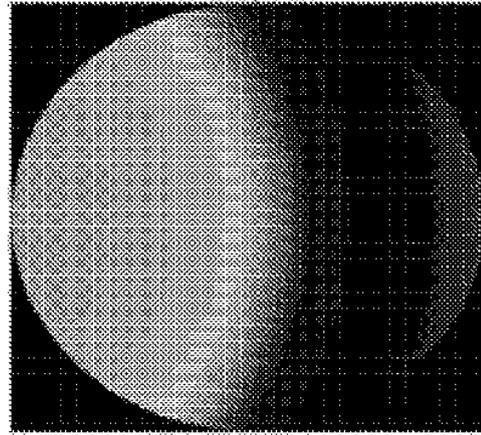


FIG. 1B

【図 1 C】

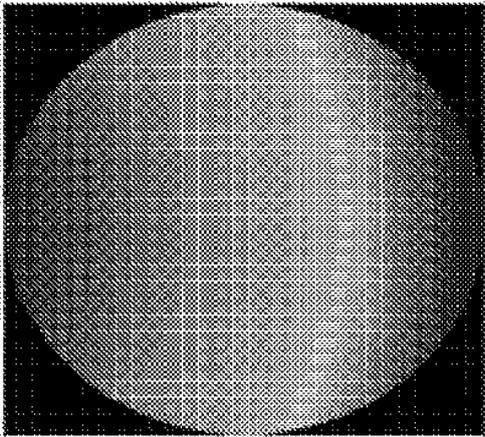
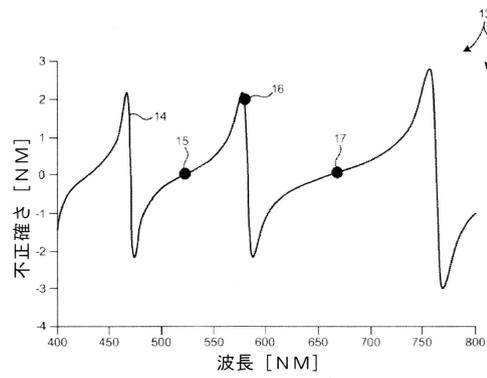


FIG. 1C

【図 2】



10

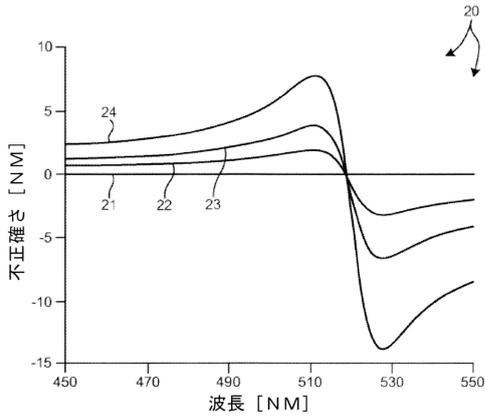
20

30

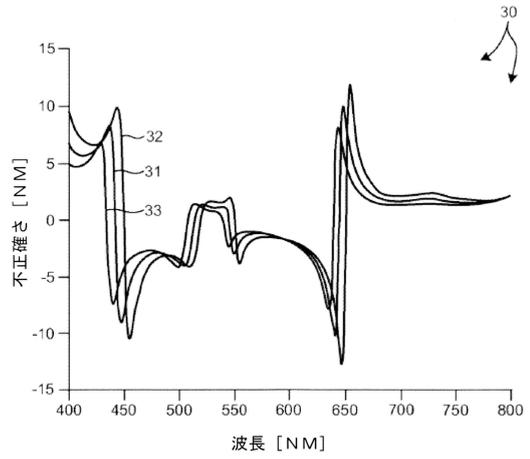
40

50

【図3】



【図4】



【図5】

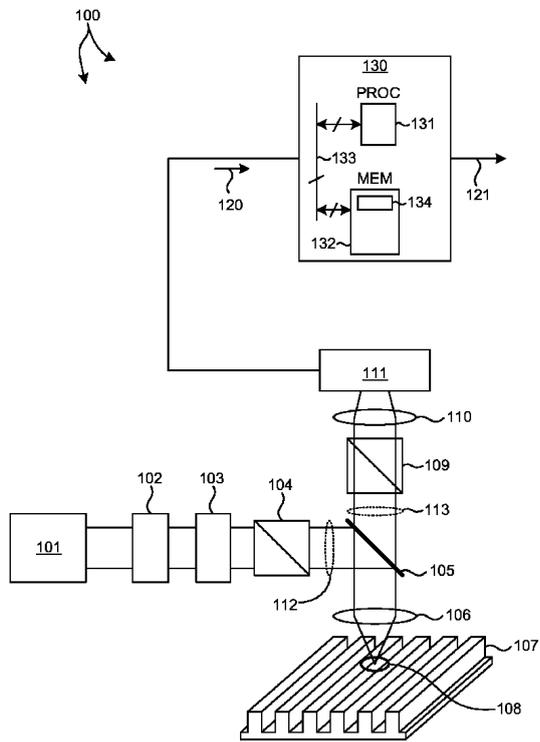
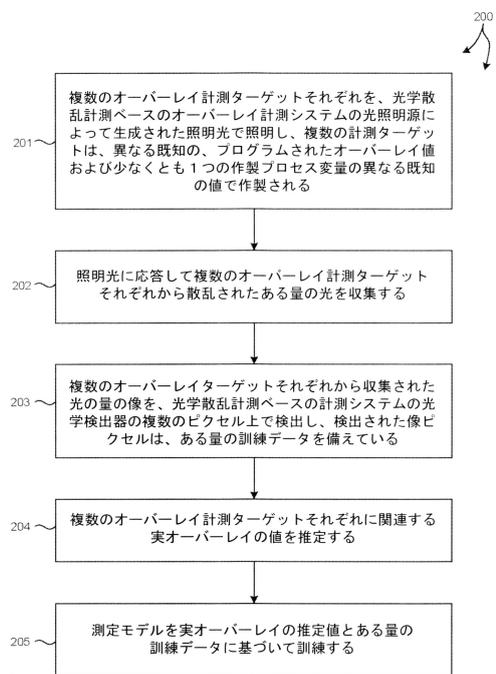


FIG. 5

【図6】



10

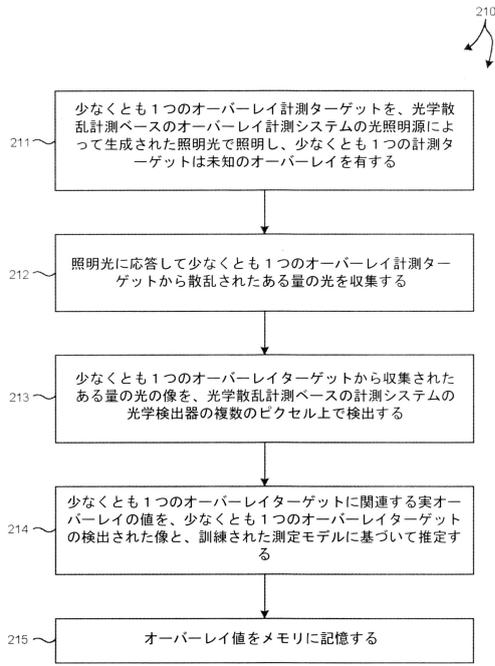
20

30

40

50

【 図 7 】



【 図 8 】

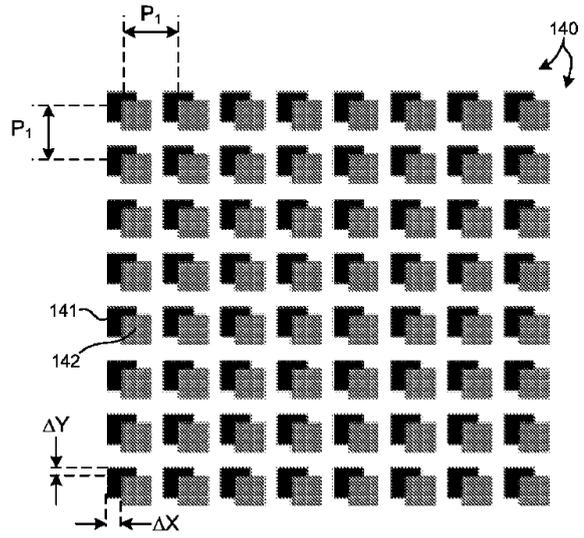


FIG. 8

【 図 9 】

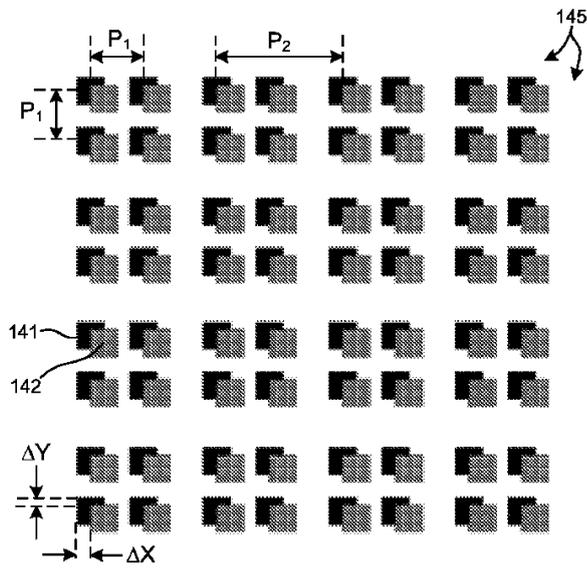
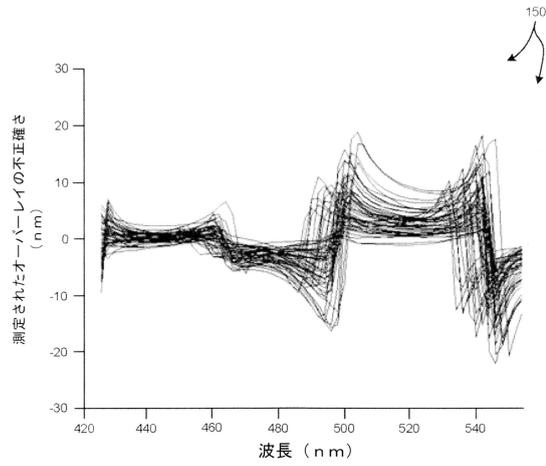


FIG. 9

【 図 10 】



10

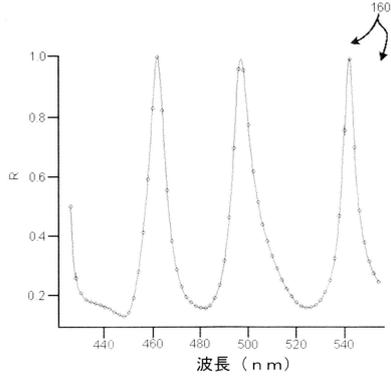
20

30

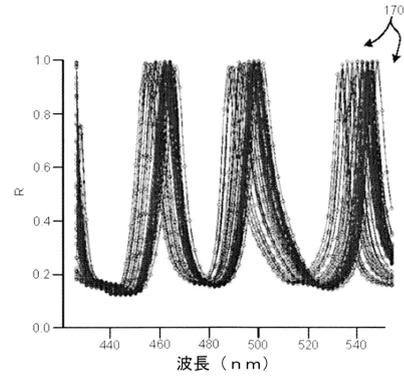
40

50

【図 1 1】

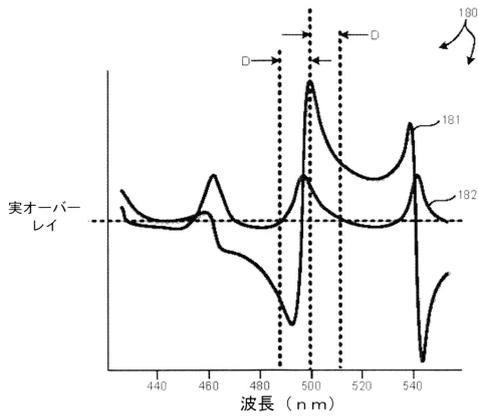


【図 1 2】

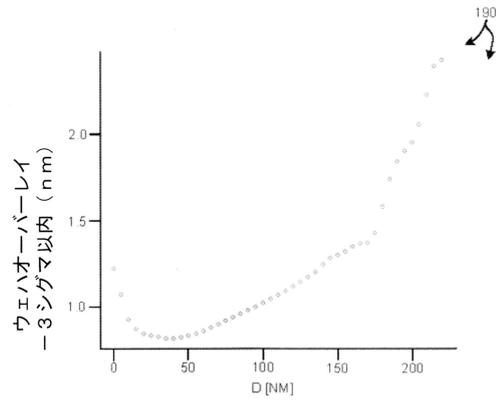


10

【図 1 3】



【図 1 4】



20

30

40

50

フロントページの続き

(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)

早期審査対象出願
パートメント 27

審査官 國田 正久

(56)参考文献 米国特許出願公開第2015/0323316(US, A1)
米国特許出願公開第2016/0003609(US, A1)
米国特許出願公開第2016/0146740(US, A1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01B 11/00
G03F 9/00
G03F 7/20
H01L 21/66