

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7642804号
(P7642804)

(45)発行日 令和7年3月10日(2025.3.10)

(24)登録日 令和7年2月28日(2025.2.28)

(51)国際特許分類

F I

H O 1 L 21/66 (2006.01)

H O 1 L 21/66 J

G O 1 B 11/00 (2006.01)

G O 1 B 11/00 C

請求項の数 21 (全21頁)

(21)出願番号	特願2023-520310(P2023-520310)	(73)特許権者	500049141
(86)(22)出願日	令和3年9月21日(2021.9.21)		ケーエルエー コーポレイション
(65)公表番号	特表2023-544388(P2023-544388 A)		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
(43)公表日	令和5年10月23日(2023.10.23)	(74)代理人	110001210
(86)国際出願番号	PCT/US2021/051163		弁理士法人Y K I 国際特許事務所
(87)国際公開番号	WO2022/072162	(72)発明者	ラバート エタイ
(87)国際公開日	令和4年4月7日(2022.4.7)		イスラエル ギバット エラ ダフナ ストリート 1
審査請求日	令和6年6月13日(2024.6.13)	(72)発明者	マナッセン アムノン
(31)優先権主張番号	17/060,372		イスラエル ハイファ ゴルダ メイア ストリート 10
(32)優先日	令和2年10月1日(2020.10.1)	(72)発明者	シモン ヨッシ
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		イスラエル ハイファ キリヤト アッタシュプリンスタック 33
早期審査対象出願			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 画像ベースのオーバーレイ計測においてターゲット特徴焦点を決定するためのシステムおよび方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

システムであって、

1つ以上のスルー焦点撮像計測サブシステムに通信可能に結合されたコントローラであって、前記コントローラは、メモリに記憶されたプログラム命令のセットを実行するように構成された1つ以上のプロセッサを含み、前記プログラム命令のセットは、前記1つ以上のプロセッサに、

1つ以上の焦点位置で捕捉された複数の訓練画像であって、訓練サンプルの1つ以上の訓練特徴を含む1つ以上の訓練画像を受信するステップと、

前記1つ以上の焦点位置で捕捉された複数の訓練画像に基づいて機械学習分類器を生成するステップと、

ターゲットサンプルの1つ以上のターゲット特徴に対応する1つ以上のターゲットオーバーレイ測定値に対する、ユーザにより選択されたターゲット特徴である1つ以上のターゲット特徴選択を受信するステップと、

前記機械学習分類器を使用して前記1つ以上のターゲット特徴選択に基づいて1つ以上のターゲット焦点位置を決定するステップと、

1つ以上のターゲット焦点位置において捕捉された1つ以上のターゲット画像を受信し、前記1つ以上のターゲット画像は、ターゲットサンプルの1つ以上のターゲット特徴を含む、ステップと、

前記1つ以上のターゲット画像に基づいて1つ以上のオーバーレイ測定値を決定するステ

ップと、

を行わせるように構成される、コントローラを備えることを特徴とするシステム。

【請求項 2】

前記 1 つ以上のスルー焦点撮像計測サブシステムは、光学ベースの計測サブシステムまたは散乱計測ベースの計測サブシステムのうちの少なくとも 1 つを備えることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 3】

前記 1 つ以上の焦点位置は、焦点訓練範囲内の複数の焦点位置を含むことを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 4】

前記複数の訓練画像は、1 つ以上の調整軸に沿って計測サブシステムの 1 つ以上の部分を平行移動させることによって、前記 1 つ以上の焦点位置で捕捉されることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 5】

前記プログラム命令のセットは、前記 1 つ以上のプロセッサに

1 つ以上の制御信号を 1 つ以上の前記計測サブシステムの 1 つ以上の部分に提供し、前記 1 つ以上の制御信号は、1 つ以上の前記計測サブシステムの 1 つ以上の部分を前記 1 つ以上の調整軸に沿って平行移動させるようにさらに構成されることを特徴とする請求項 4 に記載のシステム。

【請求項 6】

前記 1 つ以上の制御信号は、前記 1 つ以上のスルー焦点撮像計測サブシステムの 1 つ以上の部分をセンタリングさせるように構成されることを特徴とする請求項 5 に記載のシステム。

【請求項 7】

前記 1 つ以上のターゲット特徴の前記 1 つ以上のターゲット画像に基づいて前記 1 つ以上のオーバーレイ測定値を決定するステップは、

前記ターゲットサンプルの第 1 の層上に形成された前記 1 つ以上のターゲット特徴に対応する第 1 のオーバーレイ測定と、前記ターゲットサンプルの第 2 の層上に形成された前記 1 つ以上のターゲット特徴に対応する第 2 のオーバーレイ測定とに基づいて、前記ターゲットサンプルの第 1 の層と前記ターゲットサンプルの第 2 の層との間のオーバーレイを決定するステップを含むことを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 8】

前記 1 つ以上のオーバーレイ測定値に対する前記 1 つ以上のターゲット特徴選択は、ユーザーインターフェースを介してユーザによって提供されることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 9】

前記プログラム命令のセットは、前記 1 つ以上のプロセッサに、1 つ以上の制御信号を 1 つ以上のプロセッサに提供するようにさらに構成されることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 10】

前記機械学習分類器は、深層学習分類器、畳み込みニューラルネットワーク、アンサンブル学習分類器、ランダムフォレスト分類器、または人工ニューラルネットワークのうちの少なくとも 1 つを備えることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 11】

システムであって、

1 つ以上のスルー焦点撮像計測サブシステムと、

前記 1 つ以上のスルー焦点撮像計測サブシステムに通信可能に結合されたコントローラであり、メモリに記憶されたプログラム命令のセットを実行するように構成された 1 つ以上のプロセッサを含み、前記プログラム命令のセットは、前記 1 つ以上のプロセッサに、

1 つ以上の焦点位置で捕捉された複数の訓練画像であって、訓練サンプルの 1 つ以上の

10

20

30

40

50

訓練特徴を含む1つ以上の訓練画像を受信するステップと、

前記1つ以上の焦点位置で捕捉された複数の訓練画像に基づいて機械学習分類器を生成するステップと、

ターゲットサンプルの1つ以上のターゲット特徴に対応する1つ以上のターゲットオーバーレイ測定値に対する、ユーザにより選択されたターゲット特徴である1つ以上のターゲット特徴選択を受信するステップ；

機械学習分類器を使用して1つ以上のターゲット特徴選択に基づいて1つ以上のターゲット焦点位置を決定するステップと、

1つ以上のターゲット焦点位置において捕捉された1つ以上のターゲット画像を受信し、1つ以上のターゲット画像は、ターゲットサンプルの1つ以上のターゲット特徴を含む、ステップ；

1つ以上のターゲット画像に基づいて1つ以上のオーバーレイ測定値を決定するステップと、

を行わせるように構成されることを特徴とするシステム。

【請求項12】

1つ以上のスルー焦点撮像計測サブシステムを使用するオーバーレイ計測の方法であって、1つ以上の焦点位置で捕捉された複数の訓練画像を受信するステップであって、1つ以上の訓練画像は、訓練サンプルの1つ以上の訓練特徴を含む、ステップと、

前記1つ以上の焦点位置で捕捉された前記複数の訓練画像に基づいて機械学習分類器を生成するステップと、

ターゲットサンプルの1つ以上のターゲット特徴に対応する1つ以上のターゲットオーバーレイ測定値に対する、ユーザにより選択されたターゲット特徴である1つ以上のターゲット特徴選択を受信するステップと、

前記機械学習分類器を使用して前記1つ以上のターゲット特徴選択に基づいて1つ以上のターゲット焦点位置を決定するステップと、

前記1つ以上のターゲット焦点位置で捕捉された1つ以上のターゲット画像を受信するステップであって、前記1つ以上のターゲット画像は、ターゲットサンプルの1つ以上のターゲット特徴を含む、ステップと、

前記1つ以上のターゲット画像に基づいて1つ以上のオーバーレイ測定値を決定するステップと、

を含む方法。

【請求項13】

前記複数の訓練画像および前記1つ以上のターゲット画像は、光学ベースの計測サブシステムまたは散乱計測ベースの計測サブシステムのうちの少なくとも1つを含む前記1つ以上のスルー焦点撮像計測サブシステムによって捕捉されることを特徴とする請求項12に記載の方法。

【請求項14】

前記1つ以上の焦点位置は、焦点訓練範囲内の複数の焦点位置を含むことを特徴とする請求項12に記載の方法。

【請求項15】

前記複数の訓練画像は、1つ以上の調整軸に沿って前記計測サブシステムの1つ以上の部分を平行移動させることによって、前記1つ以上の焦点位置で捕捉されることを特徴とする請求項13に記載の方法。

【請求項16】

1つ以上の制御信号を前記1つ以上のスルー焦点撮像計測サブシステムの1つ以上の部分に提供し、前記1つ以上の制御信号は、前記1つ以上のスルー焦点撮像計測サブシステムの1つ以上の部分を1つ以上の調整軸に沿って平行移動させるように構成されることをさらに含む請求項15に記載の方法。

【請求項17】

前記1つ以上の制御信号は、前記1つ以上のスルー焦点撮像計測サブシステムの前記1

10

20

30

40

50

つ以上の部分をセンタリングさせるように構成されることを特徴とする請求項 16 に記載の方法。

【請求項 18】

前記 1 つ以上のターゲット特徴の 1 つ以上のターゲット画像に基づいて前記 1 つ以上のオーバーレイ測定値を決定するステップは、

前記ターゲットサンプルの第 1 の層上に形成された前記 1 つ以上のターゲット特徴に対応する第 1 のオーバーレイ測定と、前記ターゲットサンプルの第 2 の層上に形成された前記 1 つ以上のターゲット特徴に対応する第 2 のオーバーレイ測定とに基づいて、前記ターゲットサンプルの前記第 1 の層と前記ターゲットサンプルの前記第 2 の層との間のオーバーレイを決定するステップを含むことを特徴とする請求項 12 に記載の方法。

10

【請求項 19】

前記 1 つ以上のオーバーレイ測定値に対する前記 1 つ以上のターゲット特徴選択は、ユーザインターフェースを介してユーザによって提供されることを特徴とする請求項 12 に記載の方法。

【請求項 20】

1 つ以上の制御信号を 1 つ以上のプロセスツールに提供するステップをさらに含む請求項 12 に記載の方法。

【請求項 21】

前記機械学習分類器は、深層学習分類器、畳み込みニューラルネットワーク、アンサンブル学習分類器、ランダムフォレスト分類器、または人工ニューラルネットワークのうちの少なくとも 1 つを備えることを特徴とする請求項 12 に記載の方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、概してオーバーレイ計測に関し、より詳細には、ターゲット特徴焦点のための機械学習に関する。

【背景技術】

【0002】

画像ベースのオーバーレイ計測は、典型的には、異なる関心層におけるオーバーレイターゲットの特徴の相対的な撮像された位置に基づいて、サンプル上の 2 つ以上の層間の相対的なオフセットを決定することを含み得る。オーバーレイ計測の精度は、従って、各サンプル層上の結像された特徴に関連付けられた画質に敏感でありえ、それはサンプルに対する平面の被写界深度または位置（例えば焦点位置）のような因子に基づいて変化しえる。したがって、オーバーレイ計測手順は、典型的には、特定のサンプル層における画像品質とスループットとの間のトレードオフを含む。例えば、各サンプル層の別々の画像に基づくオーバーレイ測定が、オーバーレイターゲット特徴の最高品質の画像を与え得る場合であり得る。しかしながら、ターゲット毎に複数の画像を捕捉することは、スループットを低減させ得る。別の例として、複数の層上の単一の画像キャプチャ特徴に基づくオーバーレイ測定は、比較的高いスループットを提供しえるが、所望の測定精度を提供するために外部ツールまたはフルウェハ測定に基づく基準測定を必要としえる。

30

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】米国特許出願公開第 2016 / 0025650 号

【文献】米国特許出願公開第 2018 / 0191948 号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

したがって、上述のような欠陥を硬化させるためのシステムおよび方法を提供することが望ましい。

50

【課題を解決するための手段】

【0005】

本開示の1つ以上の実施形態による計測システムが開示される。一実施形態では、計測システムは、1つ以上のスルー焦点撮像計測サブシステムに通信可能に結合されたコントローラを含み、コントローラは、メモリに記憶されたプログラム命令のセットを実行するように構成された1つ以上のプロセッサを含み、プログラム命令のセットは、1つ以上のプロセッサに以下を行わせるように構成される。1つ以上の焦点位置で捕捉された複数の訓練画像であって、訓練サンプルの1つ以上の訓練特徴を含む複数の訓練画像を受信するステップと、1つ以上の焦点位置で捕捉された複数の訓練画像に基づいて機械学習分類器を生成するステップと、ターゲットサンプルの1つ以上のターゲット特徴に対応する1つ以上のターゲットオーバーレイ測定値に対する1つ以上のターゲット特徴選択を受信するステップと、機械学習分類器を使用して1つ以上のターゲット特徴選択に基づいて1つ以上のターゲット焦点位置を決定するステップと、1つ以上のターゲット焦点位置において捕捉された1つ以上のターゲット画像を受信し、1つ以上のターゲット画像は、ターゲットサンプルの1つ以上のターゲット特徴を含むステップと、1つ以上のターゲット画像に基づいて1つ以上のオーバーレイ測定値を決定するステップである。

10

【0006】

本開示の1つ以上の実施形態による計測システムが開示される。一実施形態では、計測システムは、1つ以上のスルー焦点撮像計測サブシステムを含む。別の実施形態では、計測システムは、1つ以上の計測サブシステムに通信可能に結合されたコントローラを含み、コントローラは、メモリに記憶されたプログラム命令のセットを実行するように構成された1つ以上のプロセッサを含み、プログラム命令のセットは、1つ以上のプロセッサに以下を行わせるように構成される。1つ以上の焦点位置で捕捉された複数の訓練画像であって、訓練サンプルの1つ以上の訓練特徴を含む複数の訓練画像を受信するステップと、1つ以上の焦点位置で捕捉された複数の訓練画像に基づいて機械学習分類器を生成するステップと、ターゲットサンプルの1つ以上のターゲット特徴に対応する1つ以上のターゲットオーバーレイ測定値に対する1つ以上のターゲット特徴選択を受信するステップと、機械学習分類器を使用して1つ以上のターゲット特徴選択に基づいて1つ以上のターゲット焦点位置を決定するステップと、1つ以上のターゲット焦点位置において捕捉された1つ以上のターゲット画像を受信し、1つ以上のターゲット画像は、ターゲットサンプルの1つ以上のターゲット特徴を含むステップと、1つ以上のターゲット画像に基づいて1つ以上のオーバーレイ測定値を決定するステップである。

20

30

【0007】

本開示の1つ以上の実施形態による、1つ以上のスルー焦点撮像計測サブシステムを用いてオーバーレイを測定する方法が開示される。一実施形態では、本方法は、1つ以上の焦点位置において捕捉された複数の訓練画像を受信するステップを含み、複数の訓練画像は、訓練サンプルの1つ以上の訓練特徴を含む。別の実施形態では、本方法は、1つ以上の焦点位置で捕捉された複数の訓練画像に基づいて、機械学習分類器を生成するステップを含む。他の実施形態では、この方法は、ターゲットサンプルの1つ以上のターゲット特徴に対応する1つ以上のターゲットオーバーレイ測定のための1つ以上のターゲット特徴選択を受信することを含む。別の実施形態では、方法は、機械学習分類器を使用して1つ以上のターゲット特徴選択に基づいて1つ以上のターゲット焦点位置を決定することを含む。別の実施形態では、この方法は、1つ以上のターゲット焦点位置で取り込まれた1つ以上のターゲット画像を受け取るステップを含み、1つ以上のターゲット画像はターゲットサンプルの1つ以上のターゲット特徴を含む。他の実施形態では、方法は、1つ以上のターゲット画像に基づいて1つ以上のオーバーレイ測定を決定することを含む。

40

【0008】

前述の概要および以下の詳細な説明の両方は、例示的および説明的なものにすぎず、特許請求される本発明を必ずしも限定するものではないことを理解されたい。明細書に組み込まれ、明細書の一部を構成する添付の図面は、本発明の実施形態を示し、全般的な説明

50

とともに、本発明の原理を説明するのに役立つ。

【図面の簡単な説明】

【0009】

本開示の多数の利点は、添付の図面を参照することによって当業者によってよりよく理解され得る。

【図1】本開示の1つ以上の実施形態による計測システムを示す概念図である。

【図2】本開示の1つ以上の実施形態による計測システムを示す簡略化された概略図である。

【図3】本開示の1つ以上の実施形態による、オーバーレイを測定する方法において実行されるステップを示す流れ図である。

【図4】本開示の1つ以上の実施形態による、オーバーレイを測定する方法において実行されるステップを示す流れ図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

ここで、添付の図面に示される開示された主題を詳細に参照する。本開示は、特定の実施形態およびその特定の特征に関して具体的に示され、説明されてきた。本明細書に記載される実施形態は、限定的ではなく例示的であると解釈される。本開示の精神および範囲から逸脱することなく、形態および詳細における種々の変更および修正が行われ得ることが、当業者に容易に明白となるはずである。ここで、添付の図面に示される開示された主題を詳細に参照する。

【0011】

本開示の実施形態は、サンプル上の追加のオーバーレイターゲットのための自己参照オーバーレイ測定レシピならびにウェハ間のプロセスモニタリングを提供するための、サンプル上のオーバーレイターゲットのスルー焦点撮像システムおよび方法を対象とする。

【0012】

半導体デバイスは、典型的には、基板上にパターン形成された材料の複数のパターン形成された層として形成される。各パターン化層は、限定されないが、1つ以上の材料堆積ステップ、1つ以上のリソグラフィステップ、または1つ以上のエッチングステップ等の一連のプロセスステップを通して加工されてもよい。さらに、各パターン化層内の特徴（フィーチャ）は、典型的には、最終デバイスを適切に構築するために、選択された公差内で加工されなければならない。例えば、異なるサンプル層上の特徴の相対的な位置ずれに関連するオーバーレイ誤差は、各層内で、かつ以前に作製された層に対して、良好に特徴付けられ、制御されなければならない。

【0013】

したがって、オーバーレイターゲットは、層間の特徴のオーバーレイの効率的な特徴付けを可能にするために、1つ以上のサンプル層上に製作され得る。例えば、オーバーレイターゲットは、正確なオーバーレイ測定を容易にするよう配置された複数の層上に製造された特徴を含み得る。この点に関して、サンプルにわたって分布する1つ以上のオーバーレイターゲット上のオーバーレイ測定は、製造される半導体デバイスに関連付けられる対応するデバイス特徴のオーバーレイを決定するために用いられえ。

【0014】

画像ベースのオーバーレイ計測ツールは、通常、オーバーレイターゲットの1つ以上の画像をキャプチャし、関心のある層上のオーバーレイターゲットの撮像された特徴の相対位置に基づいてサンプル層間のオーバーレイを決定する。例えば、異なるサンプル層上に位置する画像ベースのオーバーレイ（例えば、ボックスインボックスターゲット、アドバンスドイメージング計測（AIM）ターゲットなど）に適したオーバーレイターゲットの特徴は、関心のある全ての層上の特徴が同時に見えるように配置されてもよいが、必ずしもそうである必要はない。この点に関して、オーバーレイは、オーバーレイターゲットの1つ以上の画像内の関心層上の特徴の相対位置に基づいて決定され得る。さらに、オーバーレイターゲットは、単一の測定ステップまたは複数の測定ステップのいずれかにおいて任意の数のサンプル

10

20

30

40

50

層間のオーバーレイ測定を容易にするように設計されえる。例えば、任意の数のサンプル層内の特徴は、全てのサンプル層間のシングル測定オーバーレイ決定のために同時に可視であり得る。別の例では、オーバーレイターゲットは、選択された層間のオーバーレイ測定を容易にするために異なるセクション（たとえばセルなど）を有しうる。この点に関して、全ての関心層間のオーバーレイは、オーバーレイターゲットの複数の部分の測定値に基づいて決定されてもよい。

【0015】

画像ベースのオーバーレイの精度は、解像度または収差などであるがこれらに限定されない画像品質に関連する複数の要因に依存し得る。例えば、システム分解能は、特徴の位置を決定することができる精度に影響を与えることができる（例えば、エッジ位置、対称中心など）。別の例として、撮像システムにおける収差は、画像に基づく位置測定が物理的サンプルを正確に表さない場合があるように、特徴のサイズ、形状、及び間隔を歪ませる場合がある。さらに、画質は焦点位置の関数として変化し得る。例えば、撮像システムの焦点ボリユームの外的特徴は、ぼやけて見えるかもしれない、および／または焦点ボリユーム内の特徴よりもオーバーレイターゲット特徴と背景空間との間のコントラストが低いかもしれない、それは、位置測定値（例えば、エッジ測定などである）の精度に影響を及ぼすかもしれない。

【0016】

したがって、サンプルの異なる層上の特徴の別個の画像をキャプチャすること（例えば、サンプル内の異なる深さに位置する）が正確なオーバーレイ計測測定を提供しうる場合でありうる。例えば、画像ベースのオーバーレイ計測システムの焦点位置（例えば、物体平面）は、各関心層上の撮像された特徴の深さに対応するように調整されてもよい。この点に関して、各関心層上の特徴は、焦点位置依存効果を軽減するように設計された条件下で撮像され得る。

【0017】

しかしながら、異なる深さにおけるオーバーレイターゲットの複数の画像をキャプチャすることは、システムのスループットに悪影響を及ぼし得、それは複数の画像に関連付けられる精度のゲインを相殺しえることが本明細書において認識される。本開示の実施形態は、複数の焦点位置におけるオーバーレイ測定を対象とし、複数の焦点位置は、計測システムによってリアルタイムで決定され、1つ以上の計測ターゲットの1つ以上の部分が位置する1つ以上の変化する深さに対応し得る。例えば、オーバーレイ測定は、複数の焦点位置（例えば、オーバーレイターゲット特徴の位置に対応する焦点深度を含む）でキャプチャされた複数の画像に基づいてオーバーレイターゲットについて生成され得、計測システムは、リアルタイムで複数の焦点位置（例えば、機械学習分類器の使用などによる）を決定する。

【0018】

本開示の追加の実施形態は、1つ以上の調整軸に沿って計測システムの1つ以上の部分を並進させることに関する。例えば、特定のオーバーレイ測定が行われる最適な座標位置が、後続のオーバーレイ測定の最適な座標位置と異なってもよい。

【0019】

本開示のさらなる実施形態は、フィードバックおよび／またはフィードフォワードデータとして処理ツール（例えば、リソグラフィツール、計測ツールなど）に提供されるサンプルにわたるオーバーレイ測定に基づいて制御信号を生成することに関する。

【0020】

図1は、本開示の1つ以上の実施形態によるオーバーレイ計測システム100を示す概念図である。システム100は、限定はしないが、1つ以上の計測サブシステム102を含むことができる。システム100は、限定はしないが、コントローラ104をさらに含むことができ、コントローラは、1つ以上のプロセッサ106と、メモリ108と、ユーザインターフェース110とを含む。

【0021】

1つ以上の計測サブシステム102は、光学計測サブシステムを含むがこれに限定され

10

20

30

40

50

ない、当技術分野で知られている任意の計測サブシステムを含むことができる。例えば、計測サブシステム 102 は、光学ベースの計測システム、広帯域計測システム（例えば、広帯域プラズマ計測システム）、または狭帯域検査システム（例えば、レーザベースの計測システム）を含んでもよいが、それらに限定されない。別の例では、計測サブシステム 102 は、散乱計測ベースの計測システムを含みうる。別の例として、1つ以上の計測サブシステム 102 は、任意のスルー焦点撮像計測サブシステム（例えば、サンプルの1つ以上の画像を構築するように構成される、撮像計測サブシステムであって、1つ以上の画像は、所望の焦点のものであり、異なる焦点位置で捕捉されたサンプルの複数の画像を使用して構築される）を含むことができる。

【0022】

一実施形態では、コントローラ 104 は、1つ以上の計測サブシステム 102 に通信可能に結合される。この点に関して、コントローラ 104 の1つ以上のプロセッサ 106 は、1つ以上の計測サブシステム 102 の1つ以上の部分に1つ以上の調整を行うように構成された1つ以上の制御信号を生成し、提供するように構成され得る。

【0023】

別の実施形態では、コントローラ 104 は、1つ以上の焦点位置で捕捉された複数の訓練画像を受信するように構成され、複数の訓練画像は、訓練サンプルの1つ以上の訓練特徴を含む。例えば、コントローラ 104 は、1つ以上の計測サブシステム 102 から複数の訓練画像を受信するように構成されてもよい。

【0024】

別の実施形態では、コントローラ 104 は、複数の訓練画像に基づいて機械学習分類器を生成するように構成され得る。例えば、コントローラ 104 は、機械学習分類器への入力として複数の訓練画像を使用するように構成されてもよい。

【0025】

別の実施形態では、コントローラ 104 は、1つ以上のターゲットオーバーレイ測定のための1つ以上のターゲット特徴選択を受信するように構成され、1つ以上のターゲット特徴選択はターゲットサンプルの1つ以上のターゲット特徴に対応する。たとえば、コントローラ 104 は、ユーザインターフェース 110 を介してユーザから1つ以上のターゲット特徴選択を受信するように構成され得る。

【0026】

別の実施形態では、コントローラ 104 は、1つ以上のターゲット特徴選択に基づいて、1つ以上のターゲット焦点位置を決定するように構成されてもよい。たとえば、コントローラ 104 は、機械学習分類器を使用して1つ以上のターゲット焦点位置を決定するように構成され得る。

【0027】

別の実施形態では、コントローラ 104 は、1つ以上のターゲット焦点位置で捕捉された1つ以上のターゲット画像を受信するように構成されてもよい。たとえば、コントローラ 104 は、1つ以上のターゲット焦点位置で1つ以上のターゲット特徴を含む1つ以上のターゲット画像を受信するように構成され得る。

【0028】

別の実施形態では、コントローラ 104 は、1つ以上のターゲット画像に基づいて1つ以上のオーバーレイ測定値を決定するよう構成されてもよい。例えば、コントローラ 104 は、第1の層および第2の層のそれぞれに形成された1つ以上のターゲット特徴に基づいてターゲットサンプルの第1の層とターゲットサンプルの第2の層との間のオーバーレイを判別するように構成されている。

【0029】

図2は、本開示の1つ以上の実施形態によるシステム 100 の簡略化された概略図を示す。特に、図2に示されるシステム 100 は、システム 100 が光学検査システムとして動作するような光学計測サブシステム 102 を含む。

【0030】

10

20

30

40

50

光学検査サブシステム１０２は、当技術分野で知られている任意の光学ベースの検査を含むことができる。計測サブシステム１０２は、限定はしないが、照明源１１２と、照明アーム１１１と、収集アーム１１３と、検出器アセンブリ１２６とを含み得る。

【００３１】

一実施形態では、計測サブシステム１０２は、ステージアセンブリ１２２上に配置されたサンプル１２０を検査および／または測定するように構成される。照明源１１２は、真空紫外放射（ＶＵＶ）、深紫外放射（ＤＵＶ）、紫外（ＵＶ）放射、可視放射、または赤外（ＩＲ）放射を含むがこれらに限定されない光の波長を提供するように構成された照明源を含むがこれらに限定されない、照明１０１を生成するための当技術分野で公知の任意の照明源を含み得る。別の実施形態では、計測サブシステム１０２は、照明１０１をサンプル１２０に向けるように構成された照明アーム１１１を含むことができる。計測サブシステム１０２の照明源１１２は、暗視野配向、明視野配向などを含むがこれらに限定されない、当技術分野で知られている任意の配向で構成され得ることに留意されたい。例えば、１つ以上の光学要素１１４、１２４は、暗視野配向、明視野配向等に計測サブシステム１０２を構成するために、選択可能に調整されてもよい。

【００３２】

サンプル１２０は、ウェハ、レチクル、フォトマスクなどを含むがこれらに限定されない当技術分野で知られている任意のサンプルを含むことができる。サンプル１２０は、画像ベースのオーバーレイ計測に適していることが当技術分野で知られている１つ以上のオーバーレイ計測ターゲットを有する任意のサンプルを含むことができる。例えば、サンプル１２０は、１つ以上のリソグラフィ的に別個の露光で印刷された１つ以上の層のターゲット特徴を含むオーバーレイ計測ターゲットを含むことができる。ターゲットおよび／またはターゲット特徴は、２回または４回の回転対称性、反射対称性等の種々の対称性を保有してもよい。

【００３３】

一実施形態では、サンプル１２０はステージアセンブリ１２２上に配置され、ステージアセンブリ１２２はサンプル１２０の移動（例えば、ｘ方向、ｙ方向、またはｚ方向のうちの１つ以上に沿った移動）を容易にするように構成される。別の実施形態では、ステージアセンブリ１２２は、作動可能なステージである。例えば、ステージアセンブリ１２２は、限定はしないが、１つ以上の直線方向（例えば、ｘ方向、ｙ方向及び／又はｚ方向である）に沿ってサンプル１２０を選択的に平行移動させるのに適した１つ以上の平行移動ステージを含むことができる。別の例として、ステージアセンブリ１２２は、限定はしないが、回転方向に沿ってサンプル１２０を選択的に回転させるのに適した１つ以上の回転ステージを含むことができる。別の例として、ステージアセンブリ１２２は、限定はしないが、直線方向に沿ってサンプル１２０を選択的に並進させる、および／または回転方向に沿ってサンプル１２０を回転させるのに適した回転ステージおよび並進ステージを含むことができる。本明細書では、システム１００は、当技術分野で知られている任意の計測モードで動作し得ることに留意されたい。

【００３４】

照明アーム１１１は、当技術分野で知られている任意の数およびタイプの光学構成要素を含み得る。一実施形態では、照明アーム１１１は、１つ以上の光学要素１１４と、１つ以上の光学要素１１５のセットと、ビームスプリッタ１１６と、対物レンズ１１８とを含む。この点に関して、照明アーム１１１は、照明源１１２からの照明１０１をサンプル１２０の表面に集束させるように構成することができる。１つ以上の光学要素１１４は、１つ以上のミラー、１つ以上のレンズ、１つ以上の偏光子、１つ以上のビームスプリッタ、波長板等を含むが、それらに限定されない、当技術分野で公知の任意の光学要素を含んでもよい。

【００３５】

別の実施形態では、計測サブシステム１０２は、サンプル１２０から反射または散乱された照明を収集するように構成された収集アーム１１３を含む。別の実施形態では、収集

10

20

30

40

50

アーム 1 1 3 は、反射および散乱光を、1 つ以上の光学要素 1 2 4 を介して、検出器アセンブリ 1 2 6 の 1 つ以上のセンサに指向および／または集束させてもよい。1 つ以上の光学要素 1 2 4 は、1 つ以上のミラー、1 つ以上のレンズ、1 つ以上の偏光子、1 つ以上のビームスプリッタ、波長板等を含むが、それらに限定されない、当技術分野で公知の任意の光学要素を含んでもよい。検出器アセンブリ 1 2 6 は、サンプル 1 2 0 から反射または散乱された照明を検出するための、当技術分野で知られている任意のセンサおよび検出器アセンブリを含むことができることに留意されたい。

【0036】

別の実施形態では、計測サブシステム 1 0 2 の検出器アセンブリ 1 2 6 は、サンプル 1 2 0 から反射または散乱された照明に基づいて、サンプル 1 2 0 の検査データを収集するように構成される。別の実施形態では、検出器アセンブリ 1 2 6 は、収集／取得された画像および／または計測データをコントローラ 1 0 4 に送信するように構成される。

【0037】

計測システム 1 0 0 は、任意の選択された測定平面（例えば、z 方向に沿った任意の位置である）でサンプル 1 2 0 を撮像するように構成することができる。例えば、サンプル 1 2 0 に対する検出器アセンブリ 1 2 6 上に生成された画像に関連する物体平面の位置は、計測システム 1 0 0 の構成要素の任意の組み合わせを使用して調整することができる。例えば、サンプル 1 2 0 に対する検出器アセンブリ 1 2 6 上に生成された画像に関連する物体平面の位置は、対物レンズ 1 1 8 に対するステージアセンブリ 1 2 2 の位置を制御することによって調整することができる。別の例として、サンプル 1 2 0 に対する検出器アセンブリ 1 2 6 上に生成された画像に関連する物体平面の位置は、サンプル 1 2 0 に対する対物レンズ 1 1 8 の位置を制御することによって調整することができる。例えば、対物レンズ 1 1 8 は、1 つ以上の調整軸（例えば、x 方向、y 方向、又は z 方向である）に沿って対物レンズ 1 1 8 の位置を調整するように構成された並進ステージ上に取り付けられ得る。別の例として、サンプル 1 2 0 に対する検出器アセンブリ 1 2 6 上に生成された画像に関連する物体平面の位置は、検出器アセンブリ 1 2 6 の位置を制御することによって調整することができる。例えば、検出器アセンブリ 1 2 6 は、1 つ以上の調整軸に沿って検出器アセンブリ 1 2 6 の位置を調整するように構成された並進ステージ上に取り付けられてもよい。別の例として、サンプル 1 2 0 に対する検出器アセンブリ 1 2 6 上に生成された画像に関連する物体平面の位置は、1 つ以上の光学素子 1 2 4 の位置を制御することによって調整することができる。例えば、1 つ以上の光学素子 1 2 4 は、1 つ以上の調整軸に沿って 1 つ以上の光学素子 1 2 4 の位置を調整するように構成された並進ステージ上に取り付けられてもよい。本明細書では、コントローラ 1 0 4 は、計測サブシステム 1 0 2 の 1 つ以上の部分に 1 つ以上の制御信号を提供することによって、前述の調整のいずれかを行うように構成され得ることに特に留意されたい。

【0038】

本明細書で前述したように、システム 1 0 0 のコントローラ 1 0 4 は、1 つ以上のプロセッサ 1 0 6 およびメモリ 1 0 8 を含むことができる。メモリ 1 0 8 は、本開示全体にわたって説明される様々なプロセスステップを 1 つ以上のプロセッサ 1 0 6 に実行させるように構成されたプログラム命令を含み得る。例えば、プログラム命令は、本開示のプロセスステップの 1 つ以上を実行するために、1 つ以上のプロセッサ 1 0 6 に、計測サブシステム 1 0 2 の 1 つ以上の特性を調整させるように構成される。さらに、コントローラ 1 0 4 は、サンプル 1 2 0 に関連する画像データを含むがこれに限定されないデータを検出器アセンブリ 1 2 6 から受信するように構成することができる。

【0039】

コントローラ 1 0 4 の 1 つ以上のプロセッサ 1 0 6 は、当技術分野で知られている任意のプロセッサまたは処理要素を含むことができる。本開示の目的のために、「プロセッサ」または「処理要素」という用語は、1 つ以上の処理または論理要素（例えば、1 つ以上のマイクロプロセッサデバイス、1 つ以上の特定用途向け集積回路（ASIC）デバイス、1 つ以上のフィールドプログラマブルゲートアレイ（FPGA）、または 1 つ以上のデ

10

20

30

40

50

デジタル信号プロセッサ（DSP）を有する任意のデバイスを包含するように広く定義され得る。この意味で、1つ以上のプロセッサ106は、アルゴリズムおよび／または命令（たとえば、メモリに記憶されたプログラム命令）を実行するように構成された任意のデバイスを含み得る。一実施形態では、1つ以上のプロセッサ106は、デスクトップコンピュータ、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、画像コンピュータ、並列プロセッサ、ネットワーク接続されたコンピュータ、または本開示全体にわたって説明されるように、計測システム100とともに動作または動作するように構成されたプログラムを実行するように構成された任意の他のコンピュータシステムとして具現化され得る

【0040】

さらに、システム100の異なる構成要素は、本開示で説明するステップの少なくとも一部を実行するのに適したプロセッサまたは論理要素を含み得る。したがって、上記の説明は、本開示の実施形態に対する限定として解釈されるべきではなく、単なる例示として解釈されるべきである。さらに、本開示全体にわたって説明されるステップは、単一のコントローラ104によって、または代替として複数のコントローラによって実行され得る。さらに、コントローラ104は、共通のハウジングまたは複数のハウジング内に収容された1つ以上のコントローラを含むことができる。このようにして、任意のコントローラまたはコントローラの組合せを、計測システム100への統合に適したモジュールとして別々にパッケージ化することができる。さらに、コントローラ104は、検出器アセンブリ126から受信したデータを分析し、計測システム100内または計測システム100の外部の追加の構成要素にデータを供給することができる。

【0041】

メモリ108は、関連する1つ以上のプロセッサ106によって実行可能なプログラム命令を記憶するのに適した、当技術分野で知られている任意の記憶媒体を含み得る。例えば、メモリ108は、非一時的な記憶媒体を含んでもよい。別の例として、メモリ108は、読取り専用メモリ（ROM）、ランダムアクセスメモリ（RAM）、磁気または光メモリデバイス（たとえば、ディスク）、磁気テープ、ソリッドステートドライブなどを含み得るが、それらに限定されない。さらに、メモリ108は、1つ以上のプロセッサ106とともに共通のコントローラハウジング内に収容され得ることに留意されたい。一実施形態では、メモリ108は、1つ以上のプロセッサ106およびコントローラ104の物理的位置に対して遠隔に配置され得る。たとえば、コントローラ104の1つ以上のプロセッサ106は、ネットワーク（例えば、インターネット、イントラネットなど）を介してアクセス可能なりモートメモリ（たとえば、サーバ）にアクセスすることができる。

【0042】

一実施形態では、ユーザインターフェース110は、コントローラ104に通信可能に結合される。ユーザインターフェース110は、限定はしないが、1つ以上のデスクトップ、ラップトップ、タブレットなどを含むことができる。別の実施形態では、ユーザインターフェース110は、システム100のデータをユーザに表示するために使用されるディスプレイを含む。ユーザインターフェース110のディスプレイは、当技術分野で知られている任意のディスプレイを含み得る。例えば、ディスプレイは、液晶ディスプレイ（LCD）、有機発光ダイオード（OLED）ベースのディスプレイ、またはCRTディスプレイを含んでもよいが、それらに限定されない。当業者は、ユーザインターフェース110と統合可能な任意のディスプレイデバイスが、本開示における実装に好適であることを認識するはずである。別の実施形態では、ユーザは、ユーザインターフェース110のユーザ入力デバイスを介してユーザに表示されるデータにตอบสนองして、選択および／または命令を入力してもよい

【0043】

別の実施形態では、コントローラ104は、計測システム100の1つ以上の要素に通信可能に結合される。この点に関して、コントローラ104は、計測システム100の任意の構成要素からデータを送信及び／又は受信することができる。さらに、コントローラ

10

20

30

40

50

104は、関連する構成要素のための1つ以上の制御信号を生成することによって、計測システム100の任意の構成要素を指示または別様に制御することができる。例えば、コントローラ104は、検出器組立体126から1つ以上の画像を受け取るために検出器組立体126に通信可能に結合することができる。

【0044】

図3は、本開示の1つ以上の実施形態によるオーバーレイを測定する方法300を示す。

【0045】

ステップ302では、1つ以上の焦点位置で捕捉された複数の訓練画像が受信される。例えば、複数の訓練画像125が、計測サブシステム102からコントローラ104によって受信され得る。これに関して、複数の訓練画像125は、光学訓練画像を含み得る。追加および／または代替の実施形態では、コントローラ104は、1つ以上の計測サブシステム102以外のソースから1つ以上の訓練画像125を受信するように構成され得る。例えば、コントローラ104は、外部記憶装置および／またはメモリ108からサンプル120の特徴の1つ以上の訓練画像125を受信するように構成することができる。別の実施形態では、コントローラ104は、受信した訓練画像125をメモリ108に格納するようにさらに構成されてもよい。

【0046】

複数の訓練画像125は、訓練サンプルの1つ以上の訓練特徴を含んでもよい。例えば、複数の訓練画像125は、訓練サンプルの複数の深さで捕捉された画像を含んでもよい。この点に関して、訓練サンプルの1つ以上の訓練特徴は、訓練サンプルの異なる層に形成された1つ以上の訓練ターゲット特徴を含み得る。計測サブシステム102は、特定の訓練特徴の深さ（例えば、z方向に沿った位置）に対応する1つ以上の焦点位置で複数の訓練画像125をキャプチャするように構成され得る。一実施形態では、計測サブシステム102は、焦点訓練範囲内の複数の訓練画像125をキャプチャするように構成することができ、焦点訓練範囲は、1つ以上の訓練特徴の複数の深さに対応する複数の焦点位置を含む。焦点訓練範囲は、ユーザインターフェース110を介してユーザによって提供されてもよい。

【0047】

ステップ304において、機械学習分類器が、複数の訓練画像に基づいて生成される。例えば、コントローラ104は、複数の訓練画像に基づいて機械学習分類器を生成するように構成されてもよい。コントローラ104は、限定はしないが、教師あり学習、教師なし学習などを含む、当技術分野で知られている任意の1つ以上の技法を介して機械学習分類器を生成するように構成され得る。

【0048】

たとえば、教師あり学習の文脈では、複数の訓練画像125は、複数の訓練画像の各々がキャプチャされた焦点位置（例えば、複数の訓練画像は、サンプルの1つ以上の特徴の複数のスルー焦点画像を含んでもよい）に基づいて、様々な焦点の程度を含み得る。この点に関して、コントローラ104は、コントローラ104が1つ以上の最適な焦点公差内に入る複数の訓練画像のうちの1つ以上の訓練画像を決定することができるように、1つ以上の最適な焦点公差を受信することができる。したがって、複数の訓練画像125および1つ以上の最適な焦点公差は、機械学習分類器を訓練するための入力として使用され得る。コントローラ104は、複数の訓練画像125、最適な焦点許容値、及び生成された機械学習分類器をメモリ108に記憶するように更に構成することができる。

【0049】

1つ以上の最適な焦点公差は、機械学習分類器が1つ以上のターゲットオーバーレイ測定のための1つ以上のターゲット焦点位置を決定するように構成され得るように構成され得る。この点に関して、1つ以上の最適な焦点公差は、1つ以上のターゲット焦点位置で後にキャプチャされ得る1つ以上のターゲット画像が、コントローラ104によるオーバーレイ測定に十分な品質であることを確実にするように構成され得る。1つ以上の最適な焦点公差は、ユーザインターフェース110を介してユーザによって提供されてもよい。別の

実施形態では、コントローラ104は、当技術分野で知られている任意の技法を使用して1つ以上の最適な焦点公差を決定するように構成され得る。たとえば、コントローラ104は、コントラスト精度関数（例えば、複数の焦点位置でキャプチャされた複数の画像に基づいてノイズが最小である焦点を決定するように構成された機能）に基づいて1つ以上の最適な焦点公差を決定するように構成され得る。代替実施形態では、コントローラ104は、計測サブシステム102の1つ以上の部分に統合されるか、またはそれによって生成されるLinnik干渉計を使用して、1つ以上の最適焦点公差を判定するように構成されてもよい。別の例として、計測サブシステム102の1つ以上の部分（例えば、照明源112及び／又は照明アーム111の1つ以上の部分）は、サンプルを照明するように構成することができ、コントローラ104は、検出器アセンブリ126によって収集された照明に基づいてLinnik干渉計（たとえば、低コヒーレンス干渉計）を生成するように構成することができる。これに関して、コントローラ104は、干渉計のピーク（例えば、全ての収集された画像の中で最大のコントラストを有する点）を決定するように構成されてもよく、サンプルのz軸に沿ったスルー焦点位置にピークを関連付けてもよい。
【0050】

本開示の実施形態は、1つ以上の最適な焦点公差を決定するために、Linnik干渉計を生成または参照するコントローラ104に限定されないことに特に留意されたい。たとえば、コントローラ104は、様々な焦点位置および／または位置（例えば、x軸および／またはy軸上の座標位置であり、複数の訓練画像は、平行移動可能なステージなどを介して、そのような軸の一方または両方に沿った様々な座標位置でキャプチャされ得る）から発する照明（例えば、明視野および／または暗視野顕微鏡装置によって生成される照明）を示す1つ以上の信号を使用して生成された複数の訓練画像に基づいてベスト焦点および／またはベスト位置を決定するように構成された機械学習分類器を生成するように構成され得る。少なくとも前述の実施形態では、コントローラ104は、複数の訓練画像の画像コントラストおよび／またはコントラスト精度に基づいて、最良焦点および／または最良位置を決定するように構成されてもよい。この点に関して、機械学習分類器は、複数の訓練画像に基づいて1つ以上の最適な焦点公差を決定するように構成することができ、複数の訓練画像は、サンプルのz軸に沿った様々な焦点位置で生成された焦点スライス画像を構成する。コントローラ104は、焦点スライス画像の画像コントラストおよび／またはコントラスト精度に基づいて、各焦点スライス画像を対応する最良焦点で分類および／またはラベル付けするように構成されてもよい。このようにして、コントローラ104は、複数の訓練画像に基づく補間によって1つ以上の最適な焦点公差を決定するように構成され得る。

【0051】

別の実施形態では、機械学習分類器は、複数の訓練画像に基づいて1つ以上の最適な焦点公差を決定するように構成することができ、複数の訓練画像は、サンプルのz軸に沿った様々な焦点位置で捕捉された画像を含み、複数の訓練画像の焦点は、粗焦点機構を使用して変更される。具体的には、粗集束メカニズム（あるいは、本開示によって企図される目的に適切であることが当技術分野で知られている任意の他の一般的な集束機構）は、機械学習分類器が1つ以上の最適な集束公差をより正確な様式（例えば、本明細書で説明される、または当技術分野で公知の焦点調整の他の方法と比較して、より正確である）で決定することを可能にし得ることに留意されたい。例えば、ステップ308（以下で説明される）におけるように、コース集束機構は、コントローラ104が粗焦点（例えば、全体的な焦点位置は、後に微調整することができる（以下のステップ308を参照））を決定および／または設定することを可能にするように構成されてもよい。粗集束システムは、レンズ三角測量機構、バイセル検出器装置、および／または任意の測距システムを含むが、それらに限定されない、本開示によって企図される目的に好適であることが当技術分野で知られている任意の粗集束機構を含んでもよいことに留意されたい。

【0052】

ステップ304で生成される機械学習分類器は、ランダムフォレスト分類器、サポート

ベクターマシン（SVM）分類器、アンサンブル学習分類器、人工ニューラルネットワーク（ANN）などを含むがこれらに限定されない、当技術分野で知られている任意のタイプの機械学習アルゴリズム／分類器および／または深層学習技法または分類器を含み得ることに本明細書では留意されたい。別の例として、機械学習分類器は、深層畳み込みニューラルネットワーク（CNN）を含み得る。例えば、いくつかの実施形態では、機械学習分類器は、ALEXNETおよび／またはGOOGLENETを含んでもよい。この点に関して、機械学習分類器は、限定はしないが、Linnik干渉計を生成し、Linnik干渉計を使用して1つ以上のターゲットオーバーレイ測定値のための1つ以上のターゲット焦点位置を決定するように構成された任意のアルゴリズム、分類器、または予測モデルを含む、任意のアルゴリズム、分類器、または予測モデルを含み得る。いくつかの実施形態では、機械学習分類器は、複数の層および受容体を有するニューラルネットワークを備え得る。たとえば、機械学習分類器は、約5つの層および約15個のレセプタを有するニューラルネットワークを備え得る。

10

【0053】

ステップ306において、ターゲットサンプルの1つ以上のターゲット特徴に対応する1つ以上のターゲットオーバーレイ測定のための1つ以上のターゲット特徴選択が受信される。たとえば、コントローラ104は、ユーザインターフェース110を介してユーザから1つ以上のターゲットオーバーレイ測定値のための1つ以上のターゲット特徴選択を受信するように構成され得る。1つ以上のターゲット特徴選択は、ターゲットサンプルの1つ以上のターゲット特徴を含む1つ以上のターゲット画像をキャプチャするようにシステム100に指示するように構成された1つ以上の信号を含むことができる。1つ以上のターゲット特徴選択を受信すると、コントローラ104は、ターゲットサンプル内の1つ以上のターゲット特徴の1つ以上の予想深さを決定するように構成することができる。例えば、コントローラ104は、ユーザインターフェース110を介してユーザによってオーバーレイ測定のための1つ以上のターゲット特徴の1つ以上の予想深さを提供され得る。他の実施形態では、コントローラ104は、メモリ108に記憶されたターゲットサンプルに対応する1つ以上の設計ファイルまたは他のデータを参照することによって、オーバーレイ測定のための1つ以上のターゲット特徴の1つ以上の予想深さを決定することができる。他の実施形態では、コントローラ104は、Linnik干渉計に基づいてオーバーレイ計測のための1つ以上のターゲット特徴の1つ以上の予想深さを決定しえる。例えば、コントローラ104は、サンプルのz軸に沿ったスルー焦点位置に関連付けられたLinnik干渉計のピークを参照することによって、1つ以上の予期される深度を決定してもよい。

20

30

【0054】

ステップ308において、1つ以上のターゲット特徴選択に基づく1つ以上のターゲット焦点位置が、機械学習分類器を使用して決定される。たとえば、コントローラ104は、機械学習分類器を使用して、1つ以上のターゲット特徴選択に基づいて1つ以上のターゲット焦点位置を決定するように構成され得る。別の例として、コントローラ104は、ターゲットサンプルの1つ以上のターゲット特徴の1つ以上の予想深さを機械学習分類器への入力として提供することができる。この点に関して、機械学習分類器は、複数の訓練画像125および最適な焦点公差に基づいて1つ以上のターゲット焦点位置を提供するように構成され得る。機械学習分類器は、コントラスト精度関数、Linnik干渉計関数、または本明細書に記載される任意の他の方法によって提供される焦点位置の1ミクロン以内の1つ以上の焦点位置を決定することによって、1つ以上のターゲットオーバーレイ測定のための1つ以上のターゲット焦点位置を決定するように構成され得ることに留意されたい。

40

【0055】

いくつかの実施形態では、1つ以上のターゲット特徴選択に基づいて1つ以上のターゲット焦点位置を決定すると、コントローラ104は、1つ以上の制御信号を決定し、および／または1つ以上の計測サブシステム102の1つ以上の部分に提供するように構成されてもよい。1つ以上の制御信号は、1つ以上の計測サブシステム102の1つ以上の部

50

分を1つ以上の調整軸（例えば、x方向、y方向、及び／又はz方向である）に沿って平行移動させるように構成される。例えば、コントローラ104は、1つ以上の制御信号をステージアセンブリ122および／または検出器アセンブリ126に提供して、ターゲットサンプルが1つ以上の決定されたターゲット焦点位置のうちの1つに位置するように構成することができる。別の実施形態では、コントローラ104は、計測サブシステム102が1つ以上のターゲット焦点位置で1つ以上のターゲット画像を捕捉することを可能にするために、1つ以上の制御信号を光学要素114、115、ビームスプリッタ116、対物レンズ118、または光学要素124のうちの少なくとも1つに提供するように構成されてもよい。

【0056】

粗集束機構を使用して複数の訓練画像に基づいて1つ以上の最適な焦点公差を決定するように構成された機械学習分類器の場合、機械学習分類器は、粗集束システムに1つ以上の制御信号を決定するように構成され得る（およびコントローラ104は、粗集束システムに1つ以上の制御信号を提供するように構成され得る）。ここで、1つ以上の制御信号は、粗集束システムに焦点をターゲット焦点位置から±2マイクロメートル以内の焦点位置に調整させるように構成することができる。この点に関して、機械学習分類器は、粗集束システムによって決定された焦点位置を修正するための1つ以上の精密焦点調整を決定することによって、1つ以上の最適な焦点公差を決定するように構成され得る。

【0057】

ステップ310では、1つ以上のターゲット焦点位置で捕捉された1つ以上のターゲット特徴の1つ以上のターゲット画像が受信される。例えば、コントローラ104は、計測サブシステム102から1つ以上のターゲット画像135を受信するように構成されてもよい。本明細書で使用されるように、「ターゲット画像」という用語は、1つ以上のターゲット焦点位置で捕捉され、1つ以上のオーバーレイ測定値が判定される、1つ以上のターゲット特徴の画像を指してもよい。したがって、用語「ターゲット画像」は、機械学習分類器を訓練するための入力として使用され得る訓練特徴の画像と見なされ得る「訓練画像」と区別され得る。

【0058】

本明細書において、訓練画像125の取得に関するいかなる議論も、本明細書において特に断らない限り、ターゲット画像135の取得に適用されると見なされ得ることに留意されたい。追加および／または代替の実施形態では、コントローラ104は、1つ以上の計測サブシステム102以外のソースから1つ以上のターゲット画像135を受信するように構成され得る。例えば、コントローラ104は、外部記憶装置および／またはメモリ108からサンプル120の1つ以上のターゲット画像135を受け取るように構成することができる。

【0059】

ステップ312において、1つ以上のターゲット画像に基づいて1つ以上のオーバーレイ測定値が決定される。例えば、コントローラ104は、ターゲットサンプルの第1の層上に形成された1つ以上のターゲット特徴に対応する第1のオーバーレイ測定と、ターゲットサンプルの第2の層上に形成された1つ以上のターゲット特徴に対応する第2のオーバーレイ測定とに基づいて、ターゲットサンプルの第1の層とターゲットサンプルの第2の層との間のオーバーレイを判定するように構成されている。この点に関して、コントローラ104は、第1の層と第2の層との間のオフセット（たとえば、PPE）を決定するように構成され得る。1つ以上のオーバーレイ測定値は、サンプルの特定のターゲット特徴とともに使用するように構成されたオーバーレイ測定値を含む、本開示によって企図される目的に適した当技術分野で知られている任意のオーバーレイ測定値を含むことができる。この点に関して、コントローラ104は、1つ以上のオーバーレイ測定値を決定するために、メモリ108に記憶されたまたはコントローラ104に提供された1つ以上のオーバーレイアルゴリズムを利用するように構成されてもよい。

【0060】

10

20

30

40

50

いくつかの実施形態では、方法300はステップ314を含み得る。ステップ314では、1つ以上の制御信号が提供される。例えば、1つ以上のプロセスツール（例えば、リソグラフィツール）を調整するための1つ以上の制御信号が提供される。追加の例として、コントローラ104は、1つ以上のプロセスツールの1つ以上のパラメータが調整されるように、1つ以上のプロセスツールの1つ以上のパラメータ（例えば、製造設定、構成など）を調整するために、1つ以上の制御信号（または制御信号に対する補正）を1つ以上のプロセスツールの1つ以上の部分に提供することができる。コントローラ104は、サンプルの1つ以上のオーバーレイ測定に基づいて1つ以上の制御信号を決定することができる。制御信号（または制御信号に対する補正）は、フィードバックおよび／またはフィードフォワード制御ループの一部としてコントローラ104によって提供され得る。コントローラ104は、制御信号に基づいてプロセスツールの1つ以上のパラメータに対する1つ以上の調整を1つ以上のプロセスツールに実行させることができ、またはコントローラ104は、1つ以上のパラメータに対する1つ以上の調整を行うようにユーザに警告することができる。この意味で、1つ以上の制御信号は、1つ以上のプロセスツールの1つ以上の製造プロセスの誤差を補償することができ、したがって、1つ以上のプロセスツールが、同じまたは異なるロット内の後続のサンプル上の複数の露光にわたって選択された許容範囲内にオーバーレイを維持することを可能にすることができる。

10

【0061】

図4は、本開示の1つ以上の実施形態によるオーバーレイを測定する方法400を示す。

【0062】

20

ステップ402において、ターゲットサンプルの1つ以上のターゲット特徴に対応する1つ以上のターゲットオーバーレイ測定のための1つ以上のターゲット特徴選択が受け取られる。たとえば、コントローラ104は、ユーザインターフェース110を介してユーザから1つ以上のターゲットオーバーレイ測定値のための1つ以上のターゲット特徴選択を受信するように構成され得る。1つ以上のターゲット特徴選択は、ターゲットサンプルの1つ以上のターゲット特徴を含む1つ以上のターゲット画像をキャプチャするようにシステム100に指示するように構成された1つ以上の信号を含むことができる。1つ以上のターゲット特徴選択を受信すると、コントローラ104は、ターゲットサンプル内の1つ以上のターゲット特徴の1つ以上の予想位置（例えば、x方向、y方向、及び／又はz方向に沿った位置）を決定するように構成することができる。例えば、コントローラ104は、ユーザインターフェース110を介してユーザによってオーバーレイ測定のための1つ以上のターゲット特徴の1つ以上の予想位置を提供され得る。他の実施形態では、コントローラ104は、メモリ108に記憶されたターゲットサンプルに対応する1つ以上の設計ファイルまたは他のデータを参照することによって、オーバーレイ測定のための1つ以上のターゲット特徴の1つ以上の予想深さを決定することができる。

30

【0063】

ステップ404において、1つ以上のターゲット特徴選択に基づいて1つ以上のターゲット焦点位置が決定される。たとえば、コントローラ104は、1つ以上のターゲット特徴選択に基づいて機械学習分類器を使用して1つ以上のターゲット焦点位置を決定するように構成され得、1つ以上のターゲット特徴選択は、1つ以上のオーバーレイ測定のための1つ以上のターゲット特徴に対応する。別の例として、コントローラ104は、ターゲットサンプルの1つ以上のターゲット特徴の1つ以上の予想深さを機械学習分類器への入力として提供することができる。この点に関して、機械学習分類器は、複数の訓練画像125および最適な焦点公差に基づいて1つ以上のターゲット焦点位置を提供するように構成され得る。

40

【0064】

いくつかの実施形態では、ステップ406に示すように、1つ以上のターゲット特徴選択に基づいて1つ以上のターゲット焦点位置を決定すると、コントローラ104は、1つ以上の制御信号を決定し、かつ／または1つ以上の計測サブシステム102の1つ以上の部分に1つ以上の制御信号を提供するように構成することができる。1つ以上の制御信号

50

は、1つ以上の計測サブシステム102の1つ以上の部分を1つ以上の調整軸（例えば、x方向、y方向、及び／又はz方向である）に沿って平行移動させるように構成される。例えば、一実施形態において、コントローラ104は、オーバーレイ測定のための1つ以上のターゲット特徴が計測サブシステム102の1つ以上のコンポーネントの視野内で中心に置かれるように、ステージアセンブリ122および／または検出器アセンブリに1つ以上の制御信号を提供するように構成されてもよい。この点に関して、コントローラ104は、ターゲット画像135がターゲット画像135の1つ以上の中心に1つ以上のターゲット特徴を含むように、1つ以上の制御信号を計測サブシステム102の1つ以上の部分に提供するように構成され得る。別の実施形態では、コントローラ104は、ターゲットサンプルが1つ以上の決定されたターゲット焦点位置のうちの1つに位置するように、ステージアセンブリ122に1つ以上の制御信号を供給するように構成することができる。別の実施形態では、コントローラ104は、計測サブシステム102が1つ以上のターゲット焦点位置で1つ以上のターゲット画像を捕捉することを可能にするために、1つ以上の制御信号を光学要素114、115、ビームスプリッタ116、対物レンズ118、または光学要素124のうちの少なくとも1つに提供するように構成されてもよい。

【0065】

コントローラ104は、1つ以上の制御信号を1つ以上の計測サブシステム102の1つ以上の部分に同時に提供するように構成され得ることに特に留意されたい。例えば、コントローラ104は、x方向および／またはy方向に沿ったステージアセンブリ122およびz方向に沿った計測サブシステム102の1つ以上の他の部分（例えば、検出器アセンブリ126および／または対物レンズ118）に同時調整を引き起こすように構成された1つ以上の制御信号を提供するように構成され得る。

【0066】

さらに、コントローラ104は、機械学習分類器を使用して、1つ以上の計測サブシステム102の1つ以上の部分の変換を引き起こすように構成された1つ以上の制御信号を決定するように構成され得ることにさらに留意されたい。たとえば、機械学習分類器は、1つ以上の位置（例えば、x軸および／またはy軸に沿った位置）を所望の1つ以上のターゲット特徴に関連付けるように構成され得る。この点に関して、機械学習分類器は、視野内の1つ以上のターゲット特徴を自動的にセンタリングする位置（例えば、x軸および／またはy軸上の座標位置）を決定するように構成され得る。

【0067】

ステップ408では、1つ以上のターゲット焦点位置で捕捉された1つ以上のターゲット特徴の1つ以上のターゲット画像が受信される。例えば、コントローラ104は、計測サブシステム102から1つ以上のターゲット画像135を受信するように構成されてもよい。

【0068】

本明細書で説明する方法のすべては、方法の実施形態の1つ以上のステップの結果をメモリに記憶することを含み得る。結果は、本明細書で説明される結果のいずれかを含んでもよく、当技術分野で公知の任意の様式で記憶されてもよい。メモリは、本明細書で説明される任意のメモリ、または当技術分野で知られている任意の他の好適な記憶媒体を含み得る。結果が記憶された後、結果は、メモリ内にアクセスされ、本明細書に説明される方法またはシステム実施形態のうちのいずれかによって使用され、ユーザへの表示のためにフォーマットされ、別のソフトウェアモジュール、方法、またはシステムによって使用される等することができる。さらに、結果は、「永久的に」、「半永久的に」、「一時的に」、またはある期間にわたって記憶され得る。例えば、メモリは、ランダムアクセスメモリ（RAM）であってもよく、結果は、必ずしもメモリ内に無期限に持続しなくてもよい。

【0069】

上述の方法の実施形態の各々は、本明細書に記載される任意の他の方法の任意の他のステップを含み得ることがさらに企図される。加えて、上述の方法の実施形態の各々は、本明細書に記載のシステムのいずれかによって実行することができる。

【0070】

当業者は、本明細書で説明される構成要素動作、デバイス、オブジェクト、およびそれらに付随する議論が、概念的明確性のために例として使用されること、および種々の構成修正が検討されることを認識するであろう。したがって、本明細書で使用されるように、記載される特定の例および付随する議論は、それらのより一般的なクラスの代表であることが意図される。概して、任意の特定の例の使用は、そのクラスを表すことが意図され、特定の構成要素、動作、デバイス、およびオブジェクトの非包含は、限定として解釈されるべきではない。

【0071】

本明細書で使用する、「上」、「下」、「上」、「下」、「上」、「上方」、「下方」、「下方」などの方向を示す用語は、説明の目的で相対的な位置を提供することを意図しており、絶対的な基準系を示すことを意図していない。説明された実施形態に対する様々な修正は、当業者には明らかであり、本明細書で定義された一般的な原理は、他の実施形態に適用され得る

【0072】

本明細書における実質的に任意の複数形および／または単数形の使用に関して、当業者は、文脈および／または用途に適切であるように、複数形から単数形に、および／または単数形から複数形に変換することができる。様々な単数形／複数形の置き換えは、理解しやすいように、本明細書で明確に記載されない。

【0073】

本明細書で説明される主題は、場合によっては、他の構成要素内に含まれる、または他の構成要素と接続される、異なる構成要素を図示する。そのような描写されたアーキテクチャは、単なる例示であり、実際には、同じ機能性を達成する多くの他のアーキテクチャが実装され得ることを理解されたい。概念的な意味では、同じ機能性を達成するための構成要素の任意の配置は、所望の機能が達成されるように効果的に「関連付けられる」。したがって、特定の機能性を達成するために組み合わせられた本明細書の任意の2つの構成要素は、アーキテクチャまたは中間構成要素にかかわらず、所望の機能が達成されるように互いに「関連付けられる」と見なすことができる。同様に、そのように関連付けられた任意の2つの構成要素はまた、所望の機能性を達成するために、相互に「接続」または「結合」されていると見なされることができ、そのように関連付けられることが可能な任意の2つの構成要素はまた、所望の機能性を達成するために、相互に「結合可能」と見なされることができ、結合可能な特定の例は、物理的に結合可能及び／又は物理的に相互作用する構成要素及び／又は無線で相互作用可能及び／又は無線で相互作用する構成要素及び／又は論理的に相互作用可能及び／又は論理的に相互作用可能な構成要素を含むが、これらに限定されない。

【0074】

さらに、本発明は添付の特許請求の範囲によって定義されることを理解されたい。一般に、本明細書および特に添付の特許請求の範囲（例えば、添付の特許請求の範囲の本体）で使用される用語は一般に「オープン」用語（例えば、「含む（including）」という用語は、「含む（including）がこれに限定されない」と解釈されるべきであり、「有する（having）」という用語は「少なくとも有する（having）」と解釈されるべきであり、「含む（includes）」という用語は「含む（include）がこれに限定されない」と解釈されるべきである等である）として意図されることが当業者には理解されよう。導入される請求項の記載の具体的な数が意図される場合、そのような意図は、その請求項において明示的に記載されることになり、そのような記載がない場合、そのような意図は存在しないことが、当業者にはさらに理解されよう。例えば、理解の助けとして、以下の添付の特許請求の範囲は、導入句「少なくとも1つの（at least one）」および「1つ以上の（one or more）」を使用して請求項の記載を導くことを含むことができる。しかしながら、そのような語句の使用は、不定冠詞「a」または「an」による請求項の記載の導入が、そのような導入された

10

20

30

40

50

請求項の記載を含む任意の特定の請求項を、1つのそのような記載のみを含む発明に限定することを意味すると解釈されるべきではない。同じ請求項が「1つ以上」または「少なくとも1つ」という導入句および「a」または「an」（例えば、「a」および／または「an」は、典型的には、「少なくとも1つ」または「1つ以上」を意味すると解釈されるべきである）などの不定冠詞を含む場合でも、同じことが、請求項の記載を紹介するために使用される明確な記事の使用にも当てはまる。また、導入される請求項の記載の具体的な数が明示的に列挙されている場合でも、そのような記載は、典型的には少なくとも列挙された数（例えば、他の修飾因子を伴わない「2つの列挙」の裸の列挙は、典型的には、少なくとも2つの列挙、または2つ以上の列挙を意味する）を意味すると解釈されるべきであることを、当業者は認識されよう。さらに、「A、B、およびCのうちの少なくとも1つなど」に類似する慣例表現が使用される事例では、概して、そのような構成は、当業者が慣例表現（例えば、「A、B、およびCのうちの少なくとも1つを有するシステム」は、Aのみ、Bのみ、Cのみ、AおよびBを共に、AおよびCを共に、BおよびCを共に、および／またはA、B、およびCを共に有するシステムを含むが、それらに限定されない）を理解するであろう意味で意図される。「A、B、またはCのうちの少なくとも1つなど」に類似する慣例表現が使用される事例では、概して、そのような構成は、当業者が慣例表現（例えば、「A、B、またはCのうちの少なくとも1つを有するシステム」は、Aのみ、Bのみ、Cのみ、AおよびBを共に、AおよびCを共に、BおよびCを共に、および／またはA、B、およびCを共に有するシステムを含むが、それらに限定されない）を理解するであろう意味で意図される。2つ以上の代替用語を提示する事実上いかなる離接する語および／または句も、説明、特許請求の範囲、または図面のどこにあっても、その用語の一方（one of the terms）、その用語のいずれか（either of the terms）、または両方の用語（both terms）を含む可能性を企図すると理解されるべきであることが、当業者にはさらに理解されよう。例えば、「AまたはB」という語句は、「A」または「B」または「AおよびB」の可能性を含むと理解されるであろう

【0075】

本開示およびその付随する利点の多くは、前述の説明によって理解されるであろうと考えられ、開示される主題から逸脱することなく、またはその物質的利点の全てを犠牲にすることなく、構成要素の形態、構造、および配置において種々の変更が行われ得ることが明白となるであろう。説明される形態は単なる説明であり、そのような変更を包含し、含むことが以下の特許請求の範囲の意図である。さらに、本発明は添付の特許請求の範囲によって定義されることを理解されたい。

10

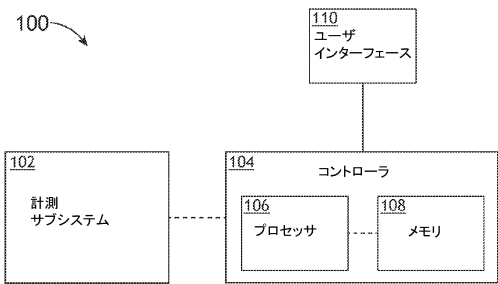
20

30

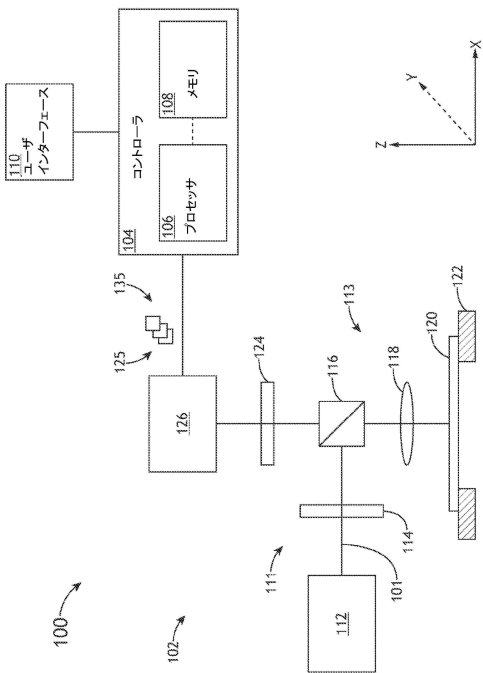
40

50

【図面】
【図 1】



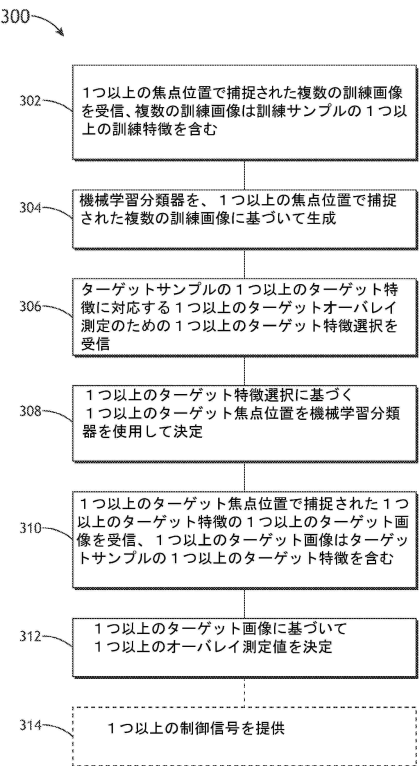
【図 2】



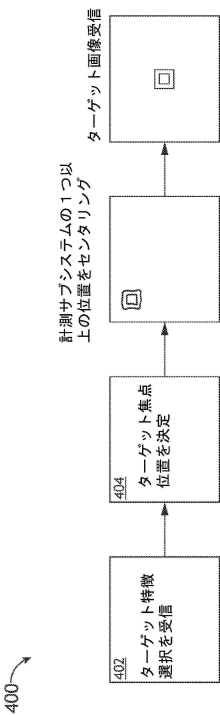
10

20

【図 3】



【図 4】



30

40

50

フロントページの続き

(72)発明者 サンコ ディミトリー

アメリカ合衆国 カリフォルニア ヴァレーホ コルト コート 118

(72)発明者 サフラニ アブナー

イスラエル ミスガフ ディー エヌ ミスガフ ミツペ アビブ ピーオービー 605

審査官 平野 崇

(56)参考文献 特表2017-529681 (JP, A)

米国特許出願公開第2016/0025650 (US, A1)

米国特許出願公開第2018/0191948 (US, A1)

米国特許出願公開第2019/0310080 (US, A1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H01L 21/66

G01B 11/00

G01N 21/956