

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6577086号  
(P6577086)

(45) 発行日 令和1年9月18日(2019.9.18)

(24) 登録日 令和1年8月30日(2019.8.30)

(51) Int. Cl.	F I
GO3F 7/20 (2006.01)	GO3F 7/20 521
GO1B 11/00 (2006.01)	GO3F 7/20 501
	GO1B 11/00 G

請求項の数 30 外国語出願 (全 28 頁)

(21) 出願番号	特願2018-88388 (P2018-88388)	(73) 特許権者	504151804
(22) 出願日	平成30年5月1日(2018.5.1)		エーエスエムエル ネザーランズ ビー.
(62) 分割の表示	特願2016-532295 (P2016-532295)		ブイ.
原出願日	平成26年7月18日(2014.7.18)		オランダ国 ヴェルトホーフエン 550
(65) 公開番号	特開2018-142006 (P2018-142006A)		0 エーエイチ, ビー. オー. ボックス
(43) 公開日	平成30年9月13日(2018.9.13)	(74) 代理人	324
審査請求日	平成30年5月29日(2018.5.29)		100079108
(31) 優先権主張番号	61/863, 150		弁理士 稲葉 良幸
(32) 優先日	平成25年8月7日(2013.8.7)	(74) 代理人	100109346
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)		弁理士 大貫 敏史
(31) 優先権主張番号	61/975, 312	(74) 代理人	100117189
(32) 優先日	平成26年4月4日(2014.4.4)		弁理士 江口 昭彦
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)	(74) 代理人	100134120
			弁理士 内藤 和彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 メトロロジ方法および装置、リソグラフィシステムならびにデバイス製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

リソグラフィプロセスのパラメータを測定する方法であって、

(a) 基板上的ターゲット構造を照明することであって、前記ターゲット構造は、第1の意図的なオーバーレイバイアスを有する重ねあわされた周期構造を備える第1のターゲット構造と、第2の意図的なオーバーレイバイアスを有する重ねあわされた周期構造を備える第2のターゲット構造と、を少なくとも備えること、および、各ターゲット構造により分散された放射を検出し、各ターゲット構造に対して、(i) 前記ターゲット構造における前記意図的なオーバーレイバイアスと、(ii) 前記ターゲット構造の形成中のリソグラフィプロセスにおけるオーバーレイエラーと、(iii) 前記周期構造の1つまたは複数におけるフィーチャ非対称性と、による寄与を含む全体的な非対称性を表す非対称性測定データを取得すること、のステップと、

(b) 複数の異なる照明条件に対してステップ(a)を繰り返し、前記非対称性測定データを取得するステップと、

(c) 前記第2のターゲット構造の非対称性測定に対する前記第1のターゲット構造の非対称性測定の平面図に、必ずしも前記平面図の原点を通過してフィットされない線形回帰モデルをフィットすることにより前記非対称性測定データ上で回帰分析を実施するステップと、

(d) 前記線形回帰モデルにより記述された勾配から前記オーバーレイエラーを決定するステップと、

を含み、

前記第 1 の意図的なオーバーレイバイアスは、正のオーバーレイバイアスであり、前記第 2 の意図的なオーバーレイバイアスは、負のオーバーレイバイアスであり、

前記異なる照明条件は、波長及びノ又は偏光の異なる組み合わせを含む、方法。

【請求項 2】

前記線形回帰モデルの切片項からフィーチャ非対称性による前記全体的な非対称性の前記寄与を決定することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

フィーチャ非対称性による前記全体的な非対称性の前記決定された寄与の関数であるオーバーレイ修正を決定するステップと、

前記オーバーレイ修正を使用して前記オーバーレイエラーを修正するステップと、を含む、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記基板上の複数の異なる位置に関するオーバーレイ測定を決定するようにステップ ( a ) からステップ ( d ) を実施することによって、TE 偏光放射および TM 偏光放射を使用して各位置に関するオーバーレイエラーが取得されることと、

TE 偏光放射を使用して測定された場合の測定されたオーバーレイエラーと TM 偏光放射を使用して測定された場合の測定されたオーバーレイエラーとの間の差の最小化を実施することにより前記オーバーレイ修正を計算することと、

を含む、請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

前記非対称性測定にフィットされた前記線形回帰モデルは、前記原点の領域に位置する非対称性測定データにのみフィットされる、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 6】

前記複数の照明条件から、フィーチャ非対称性が前記測定された全体的な非対称性に対して最小限に寄与する1つまたは複数の最適な照明条件を特定することによって、前記最適な照明条件は、前記測定された非対称性が前記線形回帰モデルにより記述されるが、原点を通るように切片項がないオフセット線上に位置するまたは前記オフセット線の近くに位置するための照明条件から選択されることを含む、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

前記最適な照明条件は、前記測定された非対称性測定データが前記オフセット線上に位置しない又は前記オフセット線の近くに位置しないあらゆる測定された非対称性測定データから最遠である照明条件から選択される、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

前記最適な照明条件の1つまたは複数を使用して前記基板上の構造についてその次の測定を行うことを含む、請求項 6 または 7 に記載の方法。

【請求項 9】

前記第 1 の意図的なオーバーレイバイアスおよび前記第 2 の意図的なオーバーレイバイアスの大きさは同等である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

ステップ ( d ) は、フィーチャ非対称性による前記寄与は全てのオーバーレイの値に対して一定であるという前記推測のもとに実施される、請求項 1 ~ 9 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 11】

前記ターゲット構造は、一切の意図的なオーバーレイバイアスを有さない第 3 のターゲット構造を備え、

前記方法は、前記第 1 ターゲット構造および前記第 3 のターゲット構造についてステップ ( b ) において取得された非対称性測定間の差と、前記第 2 のターゲット構造および前記第 3 のターゲット構造についてステップ ( b ) において取得された非対称性測定間の差と、から相対的な非対称性測定を決定することを含む、請求項 1 ~ 10 の何れか一項に記

10

20

30

40

50

載の方法。

【請求項 1 2】

ステップ ( c ) は、前記第 2 のターゲット構造の前記非対称性測定と前記第 3 のターゲット構造の前記非対称性測定との前記差に対する前記第 1 のターゲット構造の前記非対称性測定と前記第 3 のターゲット構造の前記非対称性測定との前記差の平面図に線形回帰モデルをフィットすることを含む、請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 3】

ステップ ( d ) は、フィーチャ非対称性による前記寄与はオーバーレイの全ての値に対して一定であるという前記推測なしで実施される、請求項 1 1 または 1 2 に記載の方法。

【請求項 1 4】

基板上に前記ターゲット構造を形成するためのリソグラフィプロセスを使用する最初のステップを含む、請求項 1 ~ 1 3 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 1 5】

リソグラフィプロセスのパラメータを測定する検査装置であって、  
 その上に複数のターゲット構造を有する基板のためのサポートであって、前記ターゲット構造は、第 1 の意図的なオーバーレイバイアスを有する重ねあわされた周期構造を備える第 1 のターゲット構造と、第 2 の意図的なオーバーレイバイアスを有する重ねあわされた周期構造を備える第 2 のターゲット構造と、を少なくとも備える、サポートと、  
 前記ターゲットを照明するように動作可能でありかつ各ターゲットにより分散された放射を検出し、各ターゲット構造および複数の異なる照明条件に対して、( i ) 前記ターゲット構造における前記意図的なオーバーレイバイアスと、( i i ) 前記ターゲット構造の形成中のリソグラフィプロセスにおけるオーバーレイエラーと、( i i i ) 前記周期構造の 1 つまたは複数におけるフィーチャ非対称性と、による寄与を含む全体的な非対称性を表す非対称性測定データを取得する光学系と、

前記第 2 のターゲット構造の非対称性測定に対する前記第 1 のターゲットの非対称性測定の平面図に、必ずしも前記平面図の原点を通過してフィットされない線形回帰モデルをフィットすることにより前記非対称性測定データ上で回帰分析を実施し、かつ、前記線形回帰モデルによって記述された勾配から前記オーバーレイエラーを決定するプロセスと、  
 を含み、

前記第 1 の意図的なオーバーレイバイアスは、正のオーバーレイバイアスであり、前記第 2 の意図的なオーバーレイバイアスは、負のオーバーレイバイアスであり、

前記異なる照明条件は、波長及び / 又は偏光の異なる組み合わせを含む、検査装置。

【請求項 1 6】

前記プロセスは、前記線形回帰モデルの切片項からフィーチャ非対称性による前記全体的な非対称性の前記寄与を決定するように動作可能である、請求項 1 5 に記載の検査装置。

【請求項 1 7】

フィーチャ非対称性による前記全体的な非対称性の前記決定された寄与の関数であるオーバーレイ修正を決定し、かつ、

前記オーバーレイ修正を使用して前記オーバーレイエラーを修正するように動作可能である、請求項 1 6 に記載の検査装置。

【請求項 1 8】

T E 偏光放射および T M 偏光放射を使用して各位置に関するオーバーレイエラーが取得されるように、前記基板上的複数の異なる位置に関するオーバーレイ測定を決定するようにステップ ( a ) からステップ ( d ) を実施するように動作可能であり、かつ、

T E 偏光放射を使用して測定された場合の測定されたオーバーレイエラーと T M 偏光放射を使用して測定された場合の測定されたオーバーレイエラーとの間の差の最小化を実施することにより前記オーバーレイ修正を計算するように動作可能である、請求項 1 7 に記載の検査装置。

【請求項 1 9】

10

20

30

40

50

前記プロセッサは、前記線形回帰モデルを前記原点の領域に位置する前記非対称性測定データにのみフィットするように動作可能である、請求項 1 5 ~ 1 8 の何れか一項に記載の検査装置。

【請求項 2 0】

前記プロセッサは、前記複数の照明条件から、フィーチャ非対称性が前記測定された全体的な非対称性に対して最小限に寄与する1つまたは複数の最適な照明条件を特定するように動作可能であって、前記最適な照明条件は、前記測定された非対称性が、前記線形回帰モデルにより記述されるが前記原点を通るように切片項がないオフセット線上に位置するまたは前記オフセット線の近くに位置するための照明条件から選択された最適な照明条件である、請求項 1 9 に記載の検査装置。

10

【請求項 2 1】

前記プロセッサは、前記最適な照明条件を、前記測定された非対称性測定データが前記オフセット線上に位置しないまたは前記オフセット線の近くに位置しないあらゆる測定された非対称性測定データから最遠であるための照明条件から選択するように動作可能である、請求項 2 0 に記載の検査装置。

【請求項 2 2】

前記最適な照明条件の1つまたは複数を使用して前記基板上の構造の次の測定を行うように動作可能である、請求項 2 0 または 2 1 に記載の検査装置。

【請求項 2 3】

前記第1の意図的なオーバーレイバイアスおよび前記第2の意図的なオーバーレイバイアスの大きさは同等である、請求項 1 5 に記載の検査装置。

20

【請求項 2 4】

前記プロセッサは、フィーチャ非対称性による前記寄与は全てのオーバーレイの値に対して一定であるという推測のもとに前記線形回帰モデルによって記述された勾配から前記オーバーレイエラーを決定するように動作可能である、請求項 1 5 ~ 2 3 の何れか一項に記載の検査装置。

【請求項 2 5】

前記ターゲット構造は、一切の意図的なオーバーレイバイアスを有さない第3のターゲット構造を備え、

前記プロセッサは、前記第1ターゲット構造および前記第3のターゲット構造の非対称性測定間の前記差と、前記第2のターゲット構造および前記第3のターゲット構造の非対称性測定間の前記差と、から相対的な非対称性測定を決定するように動作可能である、請求項 1 5 ~ 2 3 の何れか一項に記載の検査装置。

30

【請求項 2 6】

前記プロセッサは、前記第2のターゲット構造の前記非対称性測定と前記第3のターゲット構造の前記非対称性測定との前記差に対する前記第1のターゲット構造の前記非対称性測定と前記第3のターゲット構造の前記非対称性測定との前記差の平面図に線形回帰モデルをフィットするように動作可能である、請求項 2 5 に記載の検査装置。

【請求項 2 7】

前記プロセッサは、フィーチャ非対称性による前記寄与は全てのオーバーレイの値に対して一定であるという推測なしで前記線形回帰モデルによって記述された勾配から前記オーバーレイエラーを決定するように動作可能である、請求項 2 5 または 2 6 に記載の検査装置。

40

【請求項 2 8】

請求項 1 5 ~ 2 7 の何れか一項に記載の前記検査装置を備えるリソグラフィ装置であって、

リソグラフィプロセスを使用して一連の基板にデバイスパターンを付与し、

前記一連の基板の1つまたは複数にターゲット構造を付与し、

請求項 1 ~ 1 4 の何れか一項に記載のパラメータを測定する方法を使用して前記ターゲット構造のオーバーレイパラメータを測定し、かつ、

50

前記パラメータを測定する方法の前記結果に従って後続の基板のために前記リソグラフィプロセスを制御する、  
ように動作可能である、リソグラフィ装置。

【請求項 29】

リソグラフィプロセスを使用して一連の基板にデバイスパターンが付与されるデバイス製造方法であって、

請求項 1 ~ 14 の何れか一項に記載の方法を使用して前記基板の少なくとも 1 つの上の前記デバイスパターンの一部としてまたは前記デバイスパターンの横に形成された少なくとも 1 つの周期構造を検査することと、

前記検査方法の前記結果に従って後続の基板のために前記リソグラフィプロセスを制御することと、  
を含む、方法。

10

【請求項 30】

プロセッサに、非対称性測定データ上で請求項 1 ~ 14 の何れか一項に記載の方法の処理ステップ (c) および (d) を実施させるための機械可読命令を含むコンピュータプログラムであって、

前記非対称性測定データは、

複数の異なる照明条件下で基板上のターゲット構造を照明することであって、前記ターゲット構造は、第 1 の意図的なオーバーレイバイアスを有する重ねあわされた周期構造を備える第 1 のターゲット構造と、第 2 の意図的なオーバーレイバイアスを有する重ねあわされた周期構造を備える第 2 のターゲット構造と、を少なくとも備えることと、

20

各ターゲット構造により分散された放射を検出し、各ターゲット構造に対して、(i) 前記ターゲット構造における前記意図的なオーバーレイバイアスと、(ii) 前記ターゲット構造の形成中のリソグラフィプロセスにおけるオーバーレイエラーと、(iii) 前記周期構造の 1 つまたは複数におけるフィーチャ非対称性と、による寄与を含む全体的な非対称性を表す非対称性測定データを取得することと、

により取得される非対称性測定データであり、

前記第 1 の意図的なオーバーレイバイアスは、正のオーバーレイバイアスであり、前記第 2 の意図的なオーバーレイバイアスは、負のオーバーレイバイアスであり、

前記異なる照明条件は、波長及び/又は偏光の異なる組み合わせを含む、コンピュータ

30

プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

[関連出願の相互参照]

[0001] 本出願は、その全体が参照により本明細書に組み込まれる 2013 年 8 月 7 日に出願された米国特許仮出願第 61/863,150 号および 2014 年 4 月 4 日に出願された米国特許仮出願第 61/975,312 号の利益を主張する。

【背景技術】

【0002】

40

[発明の分野]

[0002] 本発明は、例えばリソグラフィ技術によるデバイスの製造において使用可能なメトロロジ方法および装置、ならびにリソグラフィ技術を用いたデバイスの製造方法に関する。

【0003】

[背景技術]

[0003] リソグラフィ装置は、所望のパターンを基板上、通常、基板のターゲット部分上に付与する機械である。リソグラフィ装置は、例えば、集積回路 (IC) の製造に用いることができる。その場合、IC の個々の層上に形成される回路パターンを生成するために、マスクまたはレチクルとも呼ばれるパターンニングデバイスを用いることができる。こ

50

のパターンは、基板（例えば、シリコンウェーハ）上のターゲット部分（例えば、ダイの一部、または1つまたは複数のダイを含む）に転写することができる。通常、パターンの転写は、基板上に設けられた放射感応性材料（レジスト）層上への結像によって行われる。一般には、単一の基板が、連続的にパターンングされる隣接したターゲット部分のネットワークを含んでいる。公知のリソグラフィ装置としては、ターゲット部分上にパターン全体を一度に露光することにより各ターゲット部分を照射するいわゆるステッパ、および放射ビームによってある特定の方向（「スキャン」方向）にパターンをスキャンすると同時に、この方向に平行または逆平行に基板をスキャンすることにより各ターゲット部分を照射する、いわゆるスキャナが含まれる。パターンを基板上にインプリントすることにより、パターンングデバイスから基板にパターンを転写することも可能である。

10

#### 【0004】

[0004] リソグラフィプロセスでは、例えばプロセス制御および検証のために作られた構造の測定を高い頻度で行うことが望ましい。そのような測定を行うためのツールとして、クリティカルディメンション（CD）を測定するためにしばしば使用される走査電子顕微鏡およびデバイスにおける2つの層のアライメントの精度であるオーバーレイを測定するための専用ツールを含む種々のツールが知られている。昨今では、リソグラフィ分野における使用のために、種々の形態のスカトロメータが開発されてきた。これらのデバイスは、放射ビームをターゲット上に誘導し、分散された放射の1つまたは複数の特性（例えば、波長の関数としての反射の単一角度における強度；反射角の関数としての1つまたは複数の波長における強度；または反射角の関数としての偏光）を測定し、ターゲットに

20

#### 【0005】

[0005] いくつかのスカトロメータで使用されたターゲットは、比較的大きい格子、例えば $40\ \mu\text{m} \times 40\ \mu\text{m}$ であり、測定ビームは格子よりも小さいスポットを生成する（すなわち、格子は充填されていない（underfilled））。これは無限大としてみなすことができるため、ターゲットの数学的再構成は簡略化される。しかしながら、スクライプラインではなく製品フィーチャの中に位置決めされるようにターゲットのサイズを例えば $10\ \mu\text{m} \times 10\ \mu\text{m}$ 以下に縮小するために、格子が測定スポットよりも小さいメトロロジが提案されている（すなわち、格子は充填されている（overfilled））。典型的には、そのようなターゲットはゼロ次回折（鏡面反射に相当）が遮断され、高次のみが処理される暗視野スカトロメトリを用いて測定される。回折次数の暗視野検出を用いた回折ベースのオーバーレイは、小さい格子におけるオーバーレイ測定を可能にする。これらのターゲットは、照明スポットよりも小さくてよく、またウェーハ上の製品構造により囲まれていてもよい。1つのイメージで複数のターゲットが測定可能である。

30

#### 【0006】

[0006] 公知のメトロロジ技術では、オーバーレイ測定結果は、特定の条件下でターゲットを2回測定する間に、ターゲットを回転または、 $-1$ 次および $+1$ 次回折次数強度を個別に取得するために照明モードまたは結像モードを変更することによって、取得することができる。所与の格子に対するこれらの強度を比較することは、格子内の非対称性の測定を提供し、またオーバーレイ格子における非対称性はオーバーレイエラーの指標として使用可能である。

40

#### 【0007】

[0007] 既知の暗視野イメージベースのオーバーレイ測定は、高速かつ計算上極めて単純（較正された後は）であるが、オーバーレイがターゲット構造における非対称性の唯一の原因であるという推測に依存するものである。スタックにおけるその他のいかなる非対称性、例えば重なり合う格子の1つまたは双方におけるフィーチャの非対称性も、1次における非対称性を引き起こす。このオーバーレイに関連しないフィーチャ非対称性は、明

50

らかにオーバーレイ測定を混乱させ、不正確なオーバーレイ結果に繋がるものである。オーバーレイ格子の底部格子におけるフィーチャ非対称性は、一般的なフィーチャ非対称性の形態である。それは、底部格子が最初に形成された後に実施された、例えば、化学機械研磨(CMP)などのウェーハ処理のステップに起因し得る。

【0008】

[0008] そのため当業者は、一方のオーバーレイ測定を提供するが非対称性のその他の要因が存在する場合には誤差が生じやすい単純で速い測定処理、あるいは他方の計算集約的であり、かつ瞳イメージの再構築を妨害するオーバーレイ格子環境からの信号寄与により瞳イメージが汚染されることを避けるために大きい充填されていない格子の測定を概して複数回必要とする従来からの技術から選択をする必要がある。

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

[0009] そのため、ターゲット構造非対称性に対するフィーチャ非対称性寄与に対してオーバーレイ測定をよりロバストなものにし、かつ/またはオーバーレイ(バイアスを含む)により引き起こされたフィーチャ非対称性に起因するターゲット構造非対称性に対する寄与を識別することが望まれる。

【課題を解決するための手段】

【0010】

[0010] 第1の態様は、リソグラフィプロセスのパラメータを測定する方法であって、  
 (a) 基板上のターゲット構造を照明することであって、ターゲット構造は、第1の意図的なオーバーレイバイアスを有する重ねあわされた周期構造を備える第1のターゲット構造と、第2の意図的なオーバーレイバイアスを有する重ねあわされた周期構造を備える第2のターゲット構造と、を少なくとも備えること、および、各ターゲット構造により分散された放射を検出し、各ターゲット構造に対して、(i) ターゲット構造における意図的なオーバーレイバイアスと、(ii) ターゲット構造の形成中のリソグラフィプロセスにおけるオーバーレイエラーと、(iii) 周期構造の1つまたは複数におけるフィーチャ非対称性と、による寄与を含む全体的な非対称性を表す非対称性測定を取得すること、のステップと、(b) 複数の異なる照明条件に対してステップ(a)を繰り返すステップと、(c) 第2のターゲット構造の非対称性測定に対する第1のターゲット構造の非対称性測定の平面図に、必ずしも前記平面図の原点を通過してフィットされない線形回帰モデルをフィットすることによりステップ(b)で取得した非対称性測定データ上で回帰分析を実施するステップと、(d) 線形回帰モデルにより記述された勾配から前記オーバーレイエラーを決定するステップと、を含む、方法を提供する。

20

30

【0011】

[0011] 別の態様は、リソグラフィプロセスのパラメータを測定するための検査装置であって、その上に複数のターゲット構造を有する基板のためのサポートであって、ターゲット構造は、第1の意図的なオーバーレイバイアスを有する重ねあわされた周期構造を備える第1のターゲット構造と、第2の意図的なオーバーレイバイアスを有する重ねあわされた周期構造を備える第2のターゲット構造と、を少なくとも備える、サポートと、ターゲットを照明するように動作可能でありかつ各ターゲットにより分散された放射を検出し、各ターゲット構造および複数の異なる照明条件に対して、(i) ターゲット構造における意図的なオーバーレイバイアスと、(ii) ターゲット構造の形成中のリソグラフィプロセスにおけるオーバーレイエラーと、(iii) 周期構造の1つまたは複数におけるフィーチャ非対称性と、による寄与を含む全体的な非対称性を表す非対称性測定を取得する光学系と、第2のターゲット構造の非対称性測定に対する第1のターゲット構造の非対称性測定の平面図に、必ずしも平面図の原点を通過してフィットされない線形回帰モデルをフィットすることにより非対称性測定データ上で回帰分析を実施し、かつ、線形回帰モデルによって記述された勾配からオーバーレイエラーを決定するプロセッサと、を含む、検査装置を提供する。

40

50

## 【 0 0 1 2 】

[0012] さらに別の態様は、プロセッサに、非対称性データ上で上述の第1の態様に記載の方法の処理ステップ(c)および(d)を実施させるための機械可読命令を含むコンピュータプログラム製品であって、非対称性データは、基板上のターゲット構造を照明することであって、ターゲット構造は、第1の意図的なオーバーレイバイアスを有する重ねあわされた周期構造を備える第1のターゲット構造と、第2の意図的なオーバーレイバイアスを有する重ねあわされた周期構造を備える第2のターゲット構造と、を備えることと、各ターゲット構造により分散された放射を検出し、各ターゲット構造に対して、(i)ターゲット構造における前記意図的なオーバーレイバイアスと、(ii)ターゲット構造の形成中のリソグラフィプロセスにおけるオーバーレイエラーと、(iii)周期構造の1つまたは複数におけるフィーチャ非対称性と、による寄与を含む全体的な非対称性を表す非対称性測定を取得することと、により取得される、コンピュータプログラム製品をさらに提供する。

10

## 【 0 0 1 3 】

[0013] さらに別の態様は、上述の検査装置を備えるリソグラフィ装置であって、リソグラフィプロセスを使用して一連の基板にデバイスパターンを付与し、一連の基板の1つまたは複数にターゲット構造を付与し、上述の第1の態様に記載の方法を使用してターゲット構造のオーバーレイパラメータを測定し、かつ、パラメータを測定する方法の結果に従って後続の基板のためにリソグラフィプロセスを制御するように動作可能である、リソグラフィ装置をさらに提供する。

20

## 【 0 0 1 4 】

[0014] さらに別の態様は、リソグラフィプロセスを使用して一連の基板にデバイスパターンが付与されるデバイス製造方法であって、上述の第1の態様に記載の方法を使用して基板の少なくとも1つの上のデバイスパターンの一部としてまたはデバイスパターンの横に形成された少なくとも1つの周期構造を検査することと、検査方法の結果に従って後続の基板のためにリソグラフィプロセスを制御することと、を含む、方法をさらに提供する。

## 【 0 0 1 5 】

[0015] 本発明のさらなる特徴および利点は、本発明の種々の実施形態の構造および運用と共に、添付の図を参照して以下に詳細に記される。本発明は、本明細書に記載された特定の実施形態に限定されないことに留意されたい。これらの実施形態は、単純に説明を目的として本明細書に提示されている。当業者にとって、さらなる実施形態は、本明細書に含まれた教示から明らかである。

30

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 1 6 】

[0016] 本発明のいくつかの実施形態を、単なる例として、添付の概略図を参照して以下に説明する。

【 図 1 】 [0017] 本発明の一実施形態によるリソグラフィ装置を示す。

【 図 2 】 [0018] 本発明の一実施形態によるリソグラフィセルまたはクラスタを示す。

【 図 3 a 】 [0019] 本発明の実施形態によるターゲットを第1の照明アパーチャ対を用いて測定する際に使用される暗視野スカトロメータの概略図である。

40

【 図 3 b 】 [0019] 既定の方向の照明に対するターゲット格子の回折スペクトルの詳細図である。

【 図 3 c 】 [0019] 回折に基づくオーバーレイ測定にスカトロメータを使用する際に別の照明モードを提供する第2の照明アパーチャ対を示す。

【 図 3 d 】 [0019] 第1及び第2のアパーチャ対を組み合わせた第3の照明アパーチャ対を示す。

【 図 4 】 [0020] 複数格子ターゲットの公知の形態及び基板上の測定スポットの輪郭を示す。

【 図 5 】 [0021] 図3のスカトロメータで得られる、図4のターゲットのイメージを示

50

す。

【図6】[0022] 図3のスカトロメータを用いたオーバーレイ測定方法のステップを表し、本発明の一実施形態を形成するよう適応可能なフローチャートである。

【図7】[0023] 本発明の一実施形態による図6のフローチャートのS6をさらに詳しく述べたフローチャートである。

【図8】[0024] 一切のフィーチャ非対称性を有さないオーバーレイ格子のA+対A-のプロット図である。

【図9】[0025] フィーチャ非対称性を有するオーバーレイ格子のA+対A-のプロット図であり、本発明の第1の実施形態を図示する。

【図10a】[0026] フィーチャ非対称性を有さないオーバーレイ格子とフィーチャ非対称性を有するオーバーレイ格子のA+対A-のプロット図であり、本発明の第2の実施形態を図示する。

10

【図10b】[0026] フィーチャ非対称性を有さないオーバーレイ格子とフィーチャ非対称性を有するオーバーレイ格子のA+対A-のプロット図であり、本発明の第2の実施形態を図示する。

【図11】[0027] フィーチャ非対称性を有するオーバーレイ格子の非対称性対オーバーレイのプロット図である。

【図12a】[0028] 大きいフィーチャ非対称性を有するオーバーレイ格子のA+対A-のプロット図である。

【図12b】[0029] 第3のバイアスおよび大きいフィーチャ非対称性を有するオーバーレイ格子のA+-A0対A--A0のプロット図であり、本発明の第3の実施形態を図示する。

20

【図13】[0030] 本発明の第3の実施形態において使用可能なバイアスキームを有する複合格子構造を図示する。

【図14a】[0031] [0032] 図14は、ウェーハ上のオーバーレイのグラフ図であり、処理の非対称性を修正することはTEおよびTM放射により推定されたオーバーレイ間の差を最小化することを図示し、(a)は、TE放射およびTM放射のそれぞれを使用してウェーハ上で実施された未修整のオーバーレイ測定の図を示す。

【図14b】[0032] TE放射およびTM放射のそれぞれを使用してウェーハ上で実施された未修整のオーバーレイ測定の図を示す。

30

【図14c】[0033] 図14(a)の測定と図14(b)の測定との間の差を示す。

【図14d】[0034] TE放射およびTM放射のそれぞれを使用してウェーハ上で実施されたオーバーレイ測定であり、本発明の一実施形態に従って修正されたオーバーレイ測定の図を示す。

【図14e】[0034] TE放射およびTM放射のそれぞれを使用してウェーハ上で実施されたオーバーレイ測定であり、本発明の一実施形態に従って修正されたオーバーレイ測定の図を示す。

【図14f】[0035] 図14(d)の測定と図14(e)の測定との間の差を示す。

【0017】

[0036] 本発明の特徴及び利点は、これらの図面と併せて以下に記載される詳細な説明からより明らかになるであろう。図面において、同じ参照記号は、全体を通じて対応する要素を特定する。図面において、同じ参照番号は、基本的に、同一の、機能的に同様な、および/または構造的に同様な要素を示す。ある要素が初めて登場する図面は、対応する参照番号における左端の数字によって示される。

40

【発明を実施するための形態】

【0018】

[0037] 本明細書は、本発明の特徴を組み込む1つまたは複数の実施形態を開示する。開示された実施形態は、発明の例示にすぎない。発明の範囲は、開示された実施形態に限定されない。発明は、本明細書に添付の請求項により規定される。

【0019】

50

[0038] 記載された実施形態および本明細書における「一実施形態」「1つの実施形態」「例示的实施形態」等への言及は、記載された実施形態は特定の特徴、構造または特質を含み得ることを示すが、全ての実施形態がその特定の特徴、構造または特質を有するとは限らない。さらには、それらの文言は必ずしも同一の実施形態について言及しているとは限らない。また、特定の特徴、構造または特質が一実施形態に関連づけて記載されている場合には、そのような特徴、構造または特質を、明示されていようとなかろうと、他の実施形態に関連づけて実行することは当業者の知識の範囲内のことであると理解される。

【0020】

[0039] 本発明の実施形態は、ハードウェア、ファームウェア、ソフトウェアまたはこれらのその他の組み合わせにおいて実施され得る。本発明の実施形態は、1つまたは複数のプロセッサによって読み出されかつ実行され得る機械可読媒体上に保存された命令としても実行され得る。機械可読媒体は、機械（例えば、コンピュータ機器）により読み取り可能な形態で情報を保存または伝達するためのいかなる機構をも含み得る。例えば、機械可読媒体は、読み出し専用メモリ（ROM）；ランダムアクセスメモリ（RAM）；磁気ディスク記憶媒体；光記憶媒体；フラッシュメモリデバイス；電気、光、音響またはその他の形態の伝搬信号などを含み得る。さらには、本明細書においてはファームウェア、ソフトウェア、ルーチン、命令は、特定の動作を行うとして記載され得る。しかしながら、そのような記載は単に便宜的なものであり、実際にはそれらの動作はファームウェア、ソフトウェア、ルーチン、命令等を実行しているコンピュータ機器、プロセッサ、コントローラまたはその他のデバイスにより実行されることを理解されたい。

【0021】

[0040] そのような実施形態を詳細に説明する前に、本発明の実施形態が実行され得る例示的な環境を提示することが有益である。

【0022】

[0041] 図1は、リソグラフィ装置LAを概略的に示している。このリソグラフィ装置は、放射ビームB（例えば紫外線またはDUV放射）を調整するように構成された照明システム（イルミネータ）ILと、パターンングデバイス（例えば、マスク）MAを支持するように構築され、かつ特定のパラメータに従ってパターンングデバイスを正確に位置決めするように構成された第1ポジションPMに連結されたパターンングデバイスサポートまたはサポート構造（例えば、マスクテーブル）MTと、基板（例えば、レジストコートウェーハ）Wを保持するように構築され、かつ特定のパラメータに従って基板を正確に位置決めするように構成された第2ポジションPWに連結されている基板テーブル（例えば、ウェーハテーブル）WTと、パターンングデバイスMAによって放射ビームBに付けられたパターンを基板Wのターゲット部分C（例えば、1つまたは複数のダイを含む）上に投影するように構成された投影システム（例えば、反射型投影システム）PSと、を含む。

【0023】

[0042] 照明システムとしては、放射を誘導し、整形し、または制御するために、屈折型、反射型、磁気型、電磁型、静電型、またはその他のタイプの光コンポーネント、あるいはそれらのあらゆる組合せなどのさまざまなタイプの光コンポーネントを含むことができる。

【0024】

[0043] パターンングデバイスサポートは、パターンングデバイスの向き、リソグラフィ装置の設計、および、パターンングデバイスが真空環境内で保持されているか否かなどの他の条件に応じた態様で、パターンングデバイスを保持する。パターンングデバイスサポートは、機械式、真空式、静電式またはその他のクランプ技術を使って、パターンングデバイスを保持することができる。パターンングデバイスサポートは、例えば、必要に応じて固定または可動式にすることができるフレームまたはテーブルであってもよい。パターンングデバイスサポートは、パターンングデバイスを、例えば、投影システムに対して所望の位置に確実に置くことができる。本明細書において使用される「レチクル」または

「マスク」という用語はすべて、より一般的な「パターンングデバイス」という用語と同義であると考えるとよい。

【0025】

[0044] 本明細書において使用される「パターンングデバイス」という用語は、基板のターゲット部分内にパターンを作り出すように、放射ビームの断面にパターンを与えるために使用できるあらゆるデバイスを指していると、広く解釈されるべきである。なお、留意すべき点として、放射ビームに付与されたパターンは、例えば、そのパターンが位相シフトフィーチャまたはいわゆるアシストフィーチャを含む場合、基板のターゲット部分内の所望のパターンに正確に一致しない場合もある。通常、放射ビームに付けたパターンは、集積回路などのターゲット部分内に作り出されるデバイス内の特定の機能層に対応することになる。

10

【0026】

[0045] パターンングデバイスは、透過型であっても、反射型であってもよい。パターンングデバイスの例としては、マスク、プログラマブルミラーアレイ、およびプログラマブルLCDパネルが含まれる。マスクは、リソグラフィでは公知であり、バイナリ、レベンソン型(alternating)位相シフト、およびハーフトーン型(attenuated)位相シフトなどのマスク型、ならびに種々のハイブリッドマスク型を含む。プログラマブルミラーアレイの一例では、小型ミラーのマトリクス配列が用いられており、各小型ミラーは、入射する放射ビームを様々な方向に反射させるように、個別に傾斜させることができる。傾斜されたミラーは、ミラーマトリクスによって反射される放射ビームにパターンを付ける。

20

【0027】

[0046] 本明細書において使用される「投影システム」という用語は、使われている露光放射にとって、あるいは液浸液の使用または真空の使用といった他の要因にとって適切な、屈折型、反射型、反射屈折型、磁気型、電磁型、および静電型光学系、またはそれらのあらゆる組合せを含むあらゆる型の投影システムを包含していると広く解釈されるべきである。本明細書において使用される「投影レンズ」という用語はすべて、より一般的な「投影システム」という用語と同義であると考えるとよい。

【0028】

[0047] 本明細書に示されているとおり、リソグラフィ装置は、透過型のもの(例えば、透過型マスクを採用しているもの)である。また、リソグラフィ装置は、反射型のもの(例えば、上述のプログラマブルミラーアレイを採用しているもの、または反射型マスクを採用しているもの)であってもよい。

30

【0029】

[0048] リソグラフィ装置は、2つ(デュアルステージ)以上の基板テーブル(および/または2つ以上のマスクテーブル)を有する型のものであってもよい。そのような「マルチステージ」機械においては、追加のテーブルは並行して使うことができ、または予備工程を1つ以上のテーブル上で実行しつつ、別の1つ以上のテーブルを露光用に使うこともできる。

【0030】

[0049] また、リソグラフィ装置は、投影システムと基板との間の空間を満たすように、比較的高屈折率を有する液体(例えば水)によって基板の少なくとも一部を覆うことができるタイプのものでもあってもよい。また、リソグラフィ装置内の別の空間(例えば、マスクと投影システムとの間)に液浸液を加えてもよい。液浸技術は、投影システムの開口数を増加させることで当技術分野において周知である。本明細書において使用される「液浸」という用語は、基板のような構造物を液体内に沈めなければならないという意味ではなく、単に、露光中、投影システムと基板との間に液体があるということの意味するものである。

40

【0031】

[0050] 図1を参照すると、イルミネータILは、放射源SOから放射ビームを受ける。例えば、放射源がエキシマレーザである場合、放射源とリソグラフィ装置は、別個の構

50

成要素であってもよい。そのような場合には、放射源は、リソグラフィ装置の一部を形成しているとはみなされず、また放射は、放射源SOからイルミネータILへ、例えば、適切な誘導ミラーおよび/またはビームエキスパンダを含むビームデリバリシステムBDを使って送られる。その他の場合においては、例えば、放射源が水銀ランプである場合、放射源は、リソグラフィ装置の一体部分とすることもできる。放射源SOおよびイルミネータILは、必要ならばビームデリバリシステムBDとともに、放射システムと呼んでもよい。

#### 【0032】

[0051] イルミネータILは、放射ビームの角強度分布を調節するアジャスタADを含むことができる。一般に、イルミネータの瞳面内の強度分布の少なくとも外側および/または内側半径範囲（通常、それぞれ -outerおよび -innerと呼ばれる）を調節することができる。さらに、イルミネータILは、インテグレータINおよびコンデンサCOといったさまざまな他のコンポーネントを含むことができる。イルミネータを使って放射ビームを調整すれば、放射ビームの断面に所望の均一性および強度分布をもたせることができる。

10

#### 【0033】

[0052] 放射ビームBは、パターンングデバイスサポート（例えば、マスクテーブルMT）上に保持されているパターンングデバイス（例えば、マスク）MA上に入射して、パターンングデバイスによってパターン形成される。パターンングデバイス（例えば、マスク）MAを通り抜けた後、放射ビームBは投影システムPSを通過し、投影システムPSは、基板Wのターゲット部分C上にビームの焦点をあわせる。第2ポジションPWおよび位置センサIF（例えば、干渉計デバイス、リニアエンコーダ、2-Dエンコーダまたは静電容量センサ）を使って、例えば、さまざまなターゲット部分Cを放射ビームBの経路内に位置決めするように、基板テーブルWTを正確に動かすことができる。同様に、第1ポジションPMおよび別の位置センサ（図1には明示的に示されていない）を使い、例えば、マスクライブラリから機械的に取り出した後またはスキャン中に、パターンングデバイス（例えば、マスク）MAを放射ビームBの経路に対して正確に位置決めすることもできる。通常、パターンングデバイスサポート（例えば、マスクテーブル）MTの移動は、第1ポジションPMの一部を形成するロングストロークモジュール（粗動位置決め）およびショートストロークモジュール（微動位置決め）を使って達成することができる。同様に、基板テーブルWTの移動も、第2ポジションPWの一部を形成するロングストロークモジュールおよびショートストロークモジュールを使って達成することができる。ステップの場合には（スキャナとは対照的に）、パターンングデバイスサポート（例えば、マスクテーブル）MTは、ショートストロークアクチュエータのみに連結されてもよく、または固定されてもよい。

20

30

#### 【0034】

[0053] パターンングデバイス（例えば、マスク）MAおよび基板Wは、マスクアライメントマークM1およびM2と、基板アライメントマークP1およびP2と、を使って位置合わせされてもよい。例示では基板アライメントマークが専用ターゲット部分を占めているが、基板アライメントマークをターゲット部分とターゲット部分との間の空間内に置くこともできる（これらは、スクライプラインアライメントマークとして公知である）。同様に、複数のダイがパターンングデバイス（例えば、マスク）MA上に設けられている場合、マスクアライメントマークは、ダイとダイの間に置かれてもよい。マーカをできる限り小さくして隣接するフィーチャと異なる結像又は処理条件を必要としないことが望ましい場合、ダイの内部であって、デバイスフィーチャの間に小型のアライメントマーカが含まれていてもよい。アライメントマーカを検出するアライメントシステムについては、以下にさらに説明する。

40

#### 【0035】

[0054] 例示の装置は、以下に説明するモードのうち少なくとも1つのモードで使用できる。

50

## 【 0 0 3 6 】

【0055】 1. ステップモードにおいては、パターンングデバイスサポート（例えば、マスクテーブル）MTおよび基板テーブルWTを基本的に静止状態に保ちつつ、放射ビームに付けられたパターン全体を一度にターゲット部分C上に投影する（すなわち、単一静的露光）。その後、基板テーブルWTは、Xおよび/またはY方向に移動され、それによって別のターゲット部分Cを露光することができる。ステップモードにおいては、露光フィールドの最大サイズによって、単一静的露光時に結像されるターゲット部分Cのサイズが限定される。

## 【 0 0 3 7 】

【0056】 2. スキャンモードにおいては、パターンングデバイスサポート（例えば、マスクテーブル）MTおよび基板テーブルWTを同期的にスキャンする一方で、放射ビームに付けられたパターンをターゲット部分C上に投影する（すなわち、単一動的露光）。パターンングデバイスサポート（例えば、マスクテーブル）MTに対する基板テーブルWTの速度および方向は、投影システムPSの（縮小）拡大率および像反転特性によって決めることができる。スキャンモードにおいては、露光フィールドの最大サイズによって、単一動的露光時のターゲット部分の幅（非スキャン方向）が限定される一方、スキャン動作の長さによって、ターゲット部分の高さ（スキャン方向）が決まる。

## 【 0 0 3 8 】

【0057】 3. 別のモードにおいては、プログラマブルパターンングデバイスを保持した状態で、パターンングデバイスサポート（例えば、マスクテーブル）MTを基本的に静止状態に保ち、また基板テーブルWTを動かす、またはスキャンする一方で、放射ビームに付けられているパターンをターゲット部分C上に投影する。このモードにおいては、通常、パルス放射源が採用されており、さらにプログラマブルパターンングデバイスは、基板テーブルWTの移動後ごとに、またはスキャン中の連続する放射パルスと放射パルスとの間に、必要に応じて更新される。この動作モードは、前述の型のプログラマブルミラーアレイといったプログラマブルパターンングデバイスを利用するマスクレスリソグラフィに容易に適用することができる。

## 【 0 0 3 9 】

【0058】 上述の使用モードの組合せおよび/またはバリエーション、あるいは完全に異なる使用モードもまた採用可能である。

## 【 0 0 4 0 】

【0059】 リソグラフィ装置LAは、2つの基板テーブルWTa、WTbと、相互に基板テーブルを交換可能な露光ステーションと測定ステーションという2つのステーションとを有する、いわゆるデュアルステージ型の装置である。一方の基板テーブル上の1つの基板が露光ステーションで露光されている間、測定ステーションで他方の基板テーブル上に別の基板を装填して種々の予備工程を行うことができる。予備工程は、レベルセンサLSを使って基板の表面制御をマッピングすること、および、アライメントセンサASを使って基板上のアライメントマーカの位置を測定することを含んでよい。これにより、装置のスループットの大幅な上昇が可能になる。位置センサIFが、測定ステーションにいる間だけでなく露光ステーションにある間も基板テーブルの位置を測定することができるものでない場合、両方のステーションにおいて基板テーブルの位置を追跡できるように第2の位置センサを設けてもよい。

## 【 0 0 4 1 】

【0060】 図2に示されるように、リソグラフィ装置LAはリソグラフィセルLC（リソセルまたはクラスタとも呼ばれることがある）の一部を形成し、リソグラフィセルLCは基板上に露光前および露光後の処理を実施する装置をも含む。これらは、レジスト層を堆積するためのスピニングコートSCと、露光されたレジストを現像するためのデベロッパDEと、冷却プレートCHとベークプレートBKと、を含む。基板ハンドラ（またはロボット）ROは、入力/出力ポートI/O1、I/O2から基板を獲得し、それらの基板を異なる処理装置間において移動させ次にリソグラフィ装置のローディングベイLBまで運ぶ。

10

20

30

40

50

多くの場合まとめてトラックと呼ばれるこれらのデバイスは、トラック制御ユニットTCUの制御下にあり、トラック制御ユニットTCUはそれ自体がリソグラフィ制御ユニットLACUを介してリソグラフィ装置も制御する監視制御システムSCSによって制御される。そのため、スループットおよび処理効率を最大化するために異なる装置を作動させることが可能である。

#### 【0042】

[0061] 図3(a)は、本発明の実施形態における使用に最適なマイクロ回折ベースオーバーレイ( $\mu$ DBO)メトロロジ装置を示す。図3(b)では、ターゲット格子Tおよび回折光がより詳細に図示されている。 $\mu$ DBOメトロロジ装置は、独立した装置であるか、あるいは例えば、測定ステーションにおいてリソグラフィ装置LA内に組み込まれるかまたはリソグラフィセルLC内に組み込まれてよい。装置にわたり複数の分岐を有する光軸は、点線Oで表される。本装置では、光源11(例えば、キセノンランプ)から発した光は、レンズ12、14および対物レンズ16を含む光学系によりビームスプリッタ15を介して基板W上に誘導される。これらのレンズは、4F配置の2重シーケンスで配置されてよい。変わらずに、ディテクタ上に基板イメージを提供すると同時に空間周波数フィルタリングのために中間瞳面へのアクセスを可能にするのであれば、異なるレンズ配置も使用可能である。そのため放射が基板に入射する角度範囲は、基板面の空間スペクトルを表す面(ここでは、(共役)瞳面と呼ばれる)における空間強度分布を規定することにより選択可能である。特にこれは、対物レンズ瞳面の逆投影像である面において、レンズ12および14の間に適切な形態のアパーチャプレート13を挿入することにより達成可能である。図示された例ではアパーチャプレート13は、13Nおよび13Sと表示が付けられた異なる形態を有し、異なる照明モードが選択されることを可能にする。本例における照明システムは、オフアクシス照明モードを形成する。第1の照明モードでは、アパーチャプレート13Nは、説明のためにのみ「北」と表された方向からのオフアクシスを提供する。第2の照明モードでは、「南」と表された反対の方向からではあるが、同様の照明を提供するためにアパーチャプレート13Sが使用される。異なるアパーチャを用いることにより、その他の照明モードが可能となる。所望の照明モード外からの不要の光の一切は、所望の測定信号に干渉することから、残りの瞳面は暗くあるのが望ましい。

#### 【0043】

[0062] 図3(b)に示されるように、ターゲット格子Tは、基板Wが対物レンズ16の光軸Oに垂直な状態で配置される。軸O外の角度から格子T上に衝突する照明光線Iは、1つのゼロ次光線(実線0)および2つの第1次光線(点鎖線+1および二重点鎖線-1)を生じさせる。過充填された小さいターゲット格子では、これらの光線は、メトロロジターゲット格子Tおよびその他のフィーチャを含む基板の領域を覆う複数の平行光線の1つでしかないことを記憶されたい。プレート13におけるアパーチャは(有用な量の光を取り込むために必要な)有限の幅を有しているため、入射光Iは実際、ある範囲の角度を占め、回折光0および+1/-1は拡散する。小さいターゲットの点像分布関数によれば、各次数+1および-1は図示の理想的な光線ではなく、ある範囲の角度にわたってさらに拡散する。対物レンズに入射する1次光が中央の光軸に近接して位置合わせされるように、格子ピッチおよび照明角は設計および調整できる。図3(a)および3(b)に示される光線は、図においてより簡単に識別可能となることのみを目的として、軸外に示される。

#### 【0044】

[0063] 少なくとも、基板W上のターゲットにより回折された0および+1次は、対物レンズ16によって集光されビームスプリッタ15を通して戻るように誘導される。図3(a)を再び参照するに、北(N)および南(S)と表示が付けられた直径方向に対向するアパーチャを指定することにより、第1および第2の照明モードの両方が示される。入射光線Iが光軸の北側から入射する場合に、アパーチャプレート13Nを使用して第1照明モードが適用され、+1(N)と表示がつけられた+1回折光線が対物レンズ16に入射する。対して、アパーチャプレート13Sを使用して第2の照明モードが提供される場

合には、-1次回折光線(-1(S)と表示が付けられる)がレンズ16に入射する光線である。

【0045】

[0064] 第2のビームスプリッタ17は、回折されたビームを2つの測定分岐に分割する。第1測定分岐では、光学系18は、ゼロ次および1次回折ビームを用いて、第1のセンサ19(例えば、CCDまたはCMOSセンサ)上のターゲットの回折スペクトル(瞳面イメージ)を形成する。各回折次数は、センサの異なる点に当たることにより、イメージ処理によって次数を比較対照することを可能にする。瞳面イメージは、センサ19によって捕捉され、メトロロジ装置の焦点合わせおよび/または1次ビームの強度測定の正規化に使用可能である。瞳面イメージは、再構築などの数多くの測定目的に用いることもできるが、それは本開示の主題ではない。

10

【0046】

[0065] 第2の測定分岐では、光学系20、22は、基板W上のターゲットのイメージをセンサ23(例えば、CCDまたはCMOSセンサ)上に形成する。第2の測定分岐では、アパーチャ絞り21は瞳面に共役な面に提供される。アパーチャ絞り21は、ゼロ次回折ビームを遮断するように機能し、それによりセンサ23上に形成されるターゲットのイメージは、-1次または+1次回折ビームからのみ形成される。センサ19および23によって捕捉されたイメージは、イメージプロセッサおよびコントローラPUに出力され、

イメージプロセッサおよびコントローラPUの機能は実行中の測定の具体的な種類に依存する。本明細書で使用される「イメージ」という用語は、広範な意味で使用されていることに留意されたい。-1次および+1次のうちの一つのみが存在する場合には、そのような格子線のイメージは形成されない。

20

【0047】

[0066] 図3に示される特定の形態のアパーチャプレート13および視野絞り21は、単なる例である。本発明の別の実施形態では、ターゲットのオン軸照明が使用され、オフ軸スミアアパーチャを有するアパーチャ絞りが、実質的に回折された光の1次のみをセンサに送るよう使用される。さらに別に実施形態では、2次、3次およびそれ以上の次数のビーム(図3には示されず)が、測定において1次ビームの代わりにまたは1次に加えて使用可能である。

30

【0048】

[0067] 照明を、これらの異なるタイプの測定に適用可能にするために、アパーチャプレート13は、所定の位置に所望のパターンを運ぶように回転するディスクの周りに形成されるいくつかのアパーチャパターンを含み得る。代替的にまたは付加的には、同じ効果を達成するために、プレート13のセットが提供および交換可能である。変形可能なミラーアレイまたは透過型空間視野モジュレータなどのプログラム可能な照明デバイスもまた使用可能である。可動ミラーまたはプリズムは、照明モードを調整するための別の方法として使用可能である。

【0049】

[0068] アパーチャプレート13に関連して説明されたように、結像のための回折次数の選択は、瞳絞り21を変更すること、または、異なるパターンを有する瞳絞りで置き換えること、または、固定視野しぼりをプログラム可能な空間光モジュレータで代用すること、により代替的に達成可能である。その場合には、測定光学系の照明側は、一定であってよいが、その一方で、結像面が第1および第2のモードを有することとなる。つまり本開示では、事実上3種類の測定法があり、それぞれ各自の利点および欠点がある。1つの方法では、照明モードは異なる次数を測定するように変更される。別の方法では、結像モードが変更される。3つ目の方法では、照明および結像モードは変更されずにいるが、ターゲットが180°回転される。いずれの場合においても所望の効果、つまりターゲットの回折スペクトルにおいて互いに対称の非ゼロ次回折放射の第1および第2部分を選択することは、同じである。原理上、望ましい次数の選択は、照明モードおよび結像モードの

40

50

同時変更の組み合わせにより取得可能であるが、これは不都合をもたらしても利点をもたらすものではない可能性があるため、これ以上説明はしない。

【 0 0 5 0 】

【0069】 本例示において結像に使用される光学系は、視野絞り 2 1 によって制限される広い入射瞳を有するが、別の実施形態または用途では、結像系自体の入射瞳のサイズは、所望の次数に制限するほど小さくあってよく、そのため視野絞りとしても機能し得る。図 3 ( c ) および ( d ) では、以下に説明するように使用可能である異なるアパーチャプレートが示される。

【 0 0 5 1 】

【0070】 典型的には、ターゲット格子は南北または東西に走る格子線と位置合わせされる。つまり格子は、基板 W の X 方向または Y 方向に位置合わせされる。アパーチャプレート 1 3 N または 1 3 S は、1 つの方向 ( 設定によっては X または Y ) に向けられた格子の測定にのみ使用可能であることに留意されたい。直交格子の測定については、90° および 270° のターゲットの回転を実施してもよい。しかしながら、便宜上、図 3 ( c ) に示されるアパーチャプレート 1 3 E または 1 3 W を使用して、東または西からの照明が照明光学系に提供される。アパーチャプレート 1 3 N から 1 3 W は、個別に形成されかつ相互に交換可能であるか、または 90、180 または 270° 回転可能な単一のアパーチャプレートであってもよい。既に述べたように、図 3 ( c ) に示されるオフアクシスアパーチャは、照明アパーチャプレート 1 3 の代わりに視野絞り 2 1 に設けられてよい。その場合には、照明はオンアクシスである。

【 0 0 5 2 】

【0071】 図 3 ( d ) は、第 1 および第 2 対の照明モードを組み合わせるために使用可能であるアパーチャプレートの第 3 対を示す。アパーチャプレート 1 3 N W は北および東にアパーチャを有する一方、アパーチャプレート 1 3 S E は南および西にアパーチャを有する。これらの異なる回折信号間のクロストークはあまり大きくないという条件で、X および Y 格子両方の測定を、照明モードを変更することなく実施可能である。

【 0 0 5 3 】

【0072】 図 4 は、既知の手法により基板上に形成された複合ターゲットを示す。複合ターゲットは、メトロロジ装置の照明ビームにより形成された測定スポット 3 1 内に全て入るように密接に位置決めされた 4 つの格子 3 2 ~ 3 5 を含む。したがって、4 つのターゲットは、全て同時に照明されかつ同時にセンサ 1 9 および 2 3 上に結像される。オーバーレイ測定に特化した一例では、格子 3 2 ~ 3 5 自体が基板 W 上に形成された半導体デバイスの異なる層にパターン付されたオーバーレイ格子により形成された複合格子である。複合格子の異なる部分が形成された層と層の間のオーバーレイの測定を容易にするため、格子 3 2 ~ 3 5 は異なるバイアスをかけられたオーバーレイオフセットを有し得る。また、入射する放射を X および Y 方向に回折するように、格子 3 2 ~ 3 5 は、図示のごとくその向きが異なってもよい。一実施例では、格子 3 2 および 3 4 のそれぞれは、+ d、- d のバイアスを持つ X 方向格子である。これは、格子 3 2 は、その重なりあう成分として、両成分がその公称位置に正確に印刷された場合、一方の成分が他方の成分に対して距離 d だけオフセットされるように配置された成分を有することを意味する。格子 3 4 は、その成分として、完全に印刷された場合に、第 1 の格子などに対して反対方向に d のオフセットが生じるように配置された成分を有する。格子 3 3 および 3 5 は、それぞれ + d および - d のオフセットを有する Y 方向格子である。4 つの格子が図示されているが、別の実施形態では所望の精度を得るためにより大きなマトリクスが必要となる可能性がある。例えば、9 つの複合格子からなる 3 x 3 アレイは、- 4 d、- 3 d、- 2 d、- d、0、+ d、+ 2 d、+ 3 d、+ 4 d のバイアスを有し得る。これらの格子の個別のイメージは、センサ 2 3 により捕捉されるイメージにおいて特定することができる。

【 0 0 5 4 】

【0073】 図 5 は、図 3 の装置において図 4 のターゲットを使用し、図 3 ( d ) のアパーチャプレート 1 3 N W または 1 3 S E を使用することにより、センサ 2 3 上に形成され

ンサ23によって検知され得るイメージの一例を示す。瞳面イメージセンサ19は異なる個々の格子32~35を分解することはできないが、イメージセンサ23はそのようにすることができる。暗い四角形は、センサ上のイメージの視野を表し、そこには基板上の照明されたスポット31が対応する円形エリア41に結像される。このうち、四角形のエリア42~45は、小さいターゲット格子32~35のイメージを表している。格子が製品エリア内に位置している場合、製品フィーチャもこのイメージフィールドの周辺部で視認できる場合がある。イメージプロセッサ・コントローラPUは、パターン認識を使用してこれらのイメージを処理し、格子32~35の個別のイメージ42~45を特定する。このようにして、センサフレーム内の特定の位置に極めて精密にイメージを位置合わせする必要がなくなり、測定装置全体のスループットが大きく向上する。しかしながら、結像プロセスがイメージフィールド全体における不均一性の影響を受ける場合、正確なアライメントの必要性は残る。本発明の一実施形態では、4つの位置P1~P4が特定され、格子はこの判明した位置と可能な限り位置合わせされる。

10

**【0055】**

[0074] 一度格子の個別のイメージが特定されると、これらの個別のイメージの強度が、例えば特定された領域内の選択されたピクセル強度値の平均または和を求めるなどして、測定可能となる。イメージの強度および/またはその他の特性は、互いに比較可能である。これらの結果は、リソグラフィプロセスの異なるパラメータを測定するために組み合わせることができる。オーバーレイ精度は、そのようなパラメータの重要な例であり、2つのリソグラフィ層の横方向の位置合わせの基準である。オーバーレイは、例えば、底部格子の上部の中心部と底部格子に対応する上部格子の底部の中心部との間の横方向の位置の差としてより具体的に規定することができる。

20

**【0056】**

[0075] 暗視野メトロロジの例は、その全体が参照により本明細書に組み込まれる文書である国際公開第2009/078708号および国際公開第2009/106279号において見つけることができる。本技術のさらなる発展は、米国特許出願公開第2011/0027704号明細書、米国特許出願公開第2011/0043791号明細書および米国特許出願公開第2012/0123581号明細書に記載されている。これらのすべての出願の内容もまた、参照により本明細書に組み込まれている。

**【0057】**

[0076] 図6は、例えばWO2011/012624の出願に記載された方法を使用して、+1次および-1次暗視野イメージにおける成分格子32~35の強度を比較することで判明するこれらの格子の非対称性から、どのようにしてこれらの格子を含む2つの層の間のオーバーレイエラーを測定するかを示す。ステップS1では、基板、例えば、半導体ウェーハが図2のリソグラフィックセルにより1回または複数回処理され、オーバーレイターゲット32~35を含む構造が作り出される。S2では、図3のメトロロジ装置を使用して、1次回折ビームのうち的一方のみ(例えば-1)を使って格子32~35のイメージを得る。次に、照明モードを変更する、または結像モードを変更する、またはメトロロジ装置の視野内で基板Wを180°回転させることにより、他方の第1回折ビーム(+1)を使用して格子の第2のイメージが取得できる(ステップS3)。結果として、+1回折放射が第2のイメージにおいて捕捉される。

30

40

**【0058】**

[0077] 各イメージにおいて、第1次回折放射の半分のみを含ませることにより、本明細書に記載される「イメージ」が従来の暗視野顕微鏡イメージではないことに留意されたい。個別の格子線は分解されず、各格子は、単に一定の強度レベルのエリアとして表される。ステップS4では、関心領域(Region of Interest=ROI)は、強度レベルが測定される各成分格子のイメージ内で慎重に特定される。これは、特に個別の格子イメージのエッジ周辺では、強度値は全体的なエッジ効果に加えて、レジスト厚み、組成、ライン形状といったプロセス変数に強く依存する可能性があるためである。

**【0059】**

50

[0078] 各個別の格子についてROIが特定され、その強度が測定された後に、格子構造の非対称性、したがってオーバーレイエラーが特定できる。これは、ステップS5でイメージプロセッサ・コントローラPUが各格子32~35の+1次及び1次で得られる強度値を比較してその強度差を特定し、(S6)で格子のオーバーレイバイアスについての知識からターゲットT近傍でのオーバーレイエラーを決定することによりなされる。

【0060】

[0079] 上述の先行出願では、上述の基本方法を使用したオーバーレイ測定の質を高めるための種々の技術が開示されている。例えば、イメージ間の強度の差は、ターゲットにおける非対称性に純粋に起因するのではなく、異なる測定において使用された光路における差に起因し得る。照明源11は、照明スポット31の強度および/または位相が均一ではないものである場合がある。例えば、センサ23のイメージフィールドにおけるターゲットイメージの位置を参照することにより、そのようなエラーを最小化するように補正が決定され、かつ適用されることができる。これらの技術は先行出願において説明されているため、本明細書ではさらに詳細な説明を行わないこととする。これらの技術は、以下に記述される、本出願に新しく開示された技術と組み合わせて使用することができる。

【0061】

[0080] 本方法によるオーバーレイ測定は、測定された非対称性は格子層間の実際のオーバーレイシフトにのみ比例すると仮定する。しかしながら、測定された非対称性は、格子の製造において生じるフィーチャ非対称性の効果の影響も受けるため、必ずしもそうであるとは限らない。これらのフィーチャ非対称性の効果は、側壁角の非対称性および床面傾斜を含み、1次非対称性ベースのオーバーレイ測定を乱す。これは結果として、測定にバイアスをかけることにつながり、そのため不正確なオーバーレイ測定が生じる。

【0062】

[0081] 図7は、図6のフローチャートのステップS6を適応させたフローチャートであり、負にバイアスをかけた格子A-の非対称性の関数として正にバイアスをかけた格子A+の非対称性を決定することで、A+対A-回帰を使用して回折ベースのオーバーレイ測定(DBOおよび $\mu$ DBO)を分析するためのフローチャートである。ステップS6-1ではA+およびA-は、複数のまたは異なる測定された瞳ピクセルおよび/または複数のまたは異なる波長-偏光組み合わせに対して(すなわち、複数の異なる照明条件または照明「レシピ」(recipe)に対して)決定される。それに続いて、ステップS6-2ではA+の決定された値は、A-の決定された値に対してプロットされ、オーバーレイが引き起こされる。

【0063】

[0082] 図8は、存在する非対称性はバイアスおよびオーバーレイによる非対称性のみであるようにした、一切のフィーチャ非対称性を有さないオーバーレイ格子に対するA+対A-のプロット図である。この場合、A+およびA-間の関係は、原点を通る直線上に位置する。驚くべきことに、全ての測定された波長-偏光組み合わせはこの線上に位置する。この線の傾きは、オーバーレイに関連する。図は、以下の4つの線を示す。

【0064】

[0083]  $OV = 0$ と表示が付けられた点線は、-1の傾きを有するゼロオーバーレイを示す線であり；

【0065】

[0084]  $OV$ と表示が付けられた点線は、無限に近づくオーバーレイを示す+1の傾きを有する線であり；

【0066】

[0085]  $OV < 0$ と表示が付けられた実線は、ゼロより少ないオーバーレイを示す-1より少ない傾きを有する線であり；

【0067】

[0086]  $OV > 0$ と表示が付けられた実線は、ゼロより大きいオーバーレイを示す-1より大きい傾きを有する線である。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 6 8 】

[0087] さらには、 $d$ が格子バイアスである場合に、 $+d$ と同等のオーバーレイは、 $y$ 軸沿いのプロットされた線に繋がり、 $-d$ と同等のオーバーレイは $x$ 軸沿いのプロットされた線に繋がることわかる。

## 【 0 0 6 9 】

[0088]  $A+$ 対 $A-$ 回帰を以下のために使用することが提案されている。

## 【 0 0 7 0 】

[0089] データセットを通してフィットする線の傾き（線は必ずしも原点を通してフィットしない）を特定することにより、フィーチャ非対称性に起因する寄与がない場合の正しいオーバーレイを測定することと；

10

## 【 0 0 7 1 】

[0090] 原点から（すなわち、切片項から）の線のオフセットを介してウェーハにわたるフィーチャ非対称性の分析を可能にすることと；

## 【 0 0 7 2 】

[0091] フィーチャ非対称性に対して最も感応性が低い波長-偏光組み合わせの選択により照明レシピの最適化を実行すること。

## 【 0 0 7 3 】

[0092] 図9は、ステップS6-2でプロットされ得るような、 $A+$ 対 $A-$ のプロットであり、これらの態様の最初の2つを示す。上述の既知の方法によると、データポイント930は原点を通る線900がフィットされる。しかしながらこの実施形態では、データポイントは、必ずしも原点を通らない線910により最適のフィット方法（例えば、最小二乗）に従ってフィットされる（ステップS6-3）。このようにして、オーバーレイは依然として線910の傾きから計算可能であり（ステップS6-4）；線910は一切のフィーチャ非対称性を有さない同じ測定構造であると認められることを表示する線920に平行であることがわかる。線920（線910と同じ傾きを有するが、原点を通じてプロットされた線）から線910のオフセットである、線910の軸切片は、フィーチャ非対称性の効果を定量的に示す（ステップS6-5）。

20

## 【 0 0 7 4 】

[0093]  $d$ （ターゲットの2つの対称的にバイアスがかけられた格子のオーバーレイバイアス）と傾き（線910の傾き）を用いて、図9から以下のようにオーバーレイは計算可能である（非対称性とオーバーレイと間の線形関係を用いる）。

30

## 【 数 1 】

$$\text{overlay} = d \cdot \frac{\text{slope} + 1}{\text{slope} - 1} \quad (\text{数式1})$$

## 【 0 0 7 5 】

[0094] ピッチ同期的サイン関係式については、オーバーレイは同様に、以下のように理解される。

## 【 数 2 】

$$\text{overlay} = \frac{\text{pitch}}{2\pi} \text{atan} \left\{ \frac{\text{slope} + 1}{\text{slope} - 1} \cdot \tan \left( \frac{2\pi \cdot d}{\text{pitch}} \right) \right\} \quad (\text{数式2})$$

40

ここでは、ピッチは格子ピッチである。

## 【 0 0 7 6 】

[0095] 図10aは、一切のフィーチャ非対称性を有さない格子に対する異なる偏光-波長組み合わせの（シミュレートされた）データについての $A+$ 対 $A-$ のプロットである。既に説明されたように、全てのデータが同じ線上にフィットすることがわかる。図10bは、図10aのプロット図と似たようなプロット図を示すが、特に0.5nmの床面傾斜においてフィーチャ非対称性が存在する。いずれの場合においても、丸で印付けられたデータはTE放射を示し、十字で印付けられたデータはTM放射を示す。ここでは示されていないが、線沿いの位置の大部分は波長（特定の偏光について）により決定され、その

50

ため短い（紫色の）波長は線の上端において見られる傾向にあり（ $A + = 6 \sim 8$ ）、長い（赤い）波長は線の下端において見られる傾向にある。

【0077】

【0096】 図10bからは、直線相関からの波長依存偏差および偏光依存偏差が、原点付近の領域1000において観察されることがわかる。オーバーレイ感度は、本例示における0.5nmの床面傾斜では、TE偏光に対しては最小である。さらには、最大K値（オーバーレイおよび非対称性の間の比例定数）、すなわちオーバーレイに対して最大の感度、を有するデータも容易に特定可能であり、このデータ1010は原点から最遠の直線相関を依然として示すデータ1010である。この例におけるデータ1010は、短い波長（紫色の）領域における放射のデータである。結果としてこのようなプロット図は、格子の測定に使用された際には、オーバーレイに対して最も感度が高くフィーチャ非対称性に対して最も依存性の低いデータ1010が生成される、最適な照明レシピ（任意ステップ56-6）の選択を可能にする。

10

【0078】

【0097】 実際のオーバーレイレシピの最適化においては、ウェーハ上のすべてのあり得るフィーチャ非対称性（例えば、縁における）が考慮されるように、異なる色および偏光に対してウェーハにわたり複数の測定が実施されるべきである。一度最適のレシピが選択されると、この単一の波長-偏光-アパーチャの組み合わせを用いて測定を実施することができる。

【0079】

20

【0098】 いずれの単一の波長-偏光-アパーチャの組み合わせも十分なフィーチャ非対称性ロバスト性を提供していないのであれば、この方法を上述された $A +$ 対 $A -$ 回帰分析と組み合わせて使用することで、2つまたは3つの設定の組み合わせを特定することが可能である。これは、各個別の設定がデータ入力のクラウドを作り出す際の事例であり、2~3の設定を通る線は非ゼロ軸カットオフを示し、そのような線の傾きはなおも比較的非対称のロバストオーバーレイデータを生成する。そのためには、実際のオーバーレイ測定のために2つまたは3つの設定が必要とされる。

【0080】

【0099】 図11は、結果としてフィーチャ非対称性は、非対称性 $A$ 対オーバーレイOVのグラフ上にプロットされたデータにおける垂直オフセット $K_0$ に繋がることを示す。線1100は、非対称性を有さない格子構造のデータをフィットし、線1110はいくらかの非対称性を有する格子構造のデータをフィットする。 $A = K_1 \sin(OV)$ であることが示される。

30

【0081】

【0100】 極めて大きいフィーチャ非対称性に関して、本明細書に記載された方法は、線からの著しい偏差を示す。これは、図12aにおいて示され、図12aは大きいフィーチャ非対称性を有する格子の $A +$ 対 $A -$ プロット図上のシミュレーションデータを示す（注： $K_0$ は本モデルにおいては瞳にわたり一定である）。示されるように、データポイントは線上に位置せずまたは線の近くに全て位置しないことから、データのフィッティングを極めて困難にしている。

40

【0082】

【0100】 これに対処するために、上記方法に加えて、第3の格子（または格子対）が使用可能であり、それにより格子構造は3つの異なるバイアスを有する格子を備える。特定の実施形態では、 $+d$ および $-d$ 格子に加えて、一切のバイアスのかかっていない格子が提供される。これにより、相対的非対称性の抽出が可能となり、相対的非対称性は、 $A_0$ がゼロベースの格子の非対称性である、 $A + - A_0$ 対 $A - - A_0$ （図11b）のグラフ上にプロットすることができる。結果として生じるデータは、フィーチャ非対称性に対する感度が一層低い（全てのデータポイントは原則的に同じ線上に位置する）、大きなフィーチャ非対称性が存在する場合においてもオーバーレイの抽出を可能にすることができる。本実施形態では、 $K_0$ は瞳にわたり変化することができることに留意されたい。その

50

ような測定は、スタックにフィーチャ非対称性が存在するかどうか決定するために使用可能である。この方法を用いて、非対称性 A は以下として計算することができる。

$$A = K_0 + K_1 \sin(\theta)$$

【0083】

[0101] これは、以下のバイアスが2つである例と比較して、エラーの減少をもたらすものである。

【数3】

$$\frac{2K_0d}{A_{-d} - A_{+d}}$$

【0084】

[0102] この方法のための適切な格子構造は、図13に図示される。それは、負のバイアス - d がかった相互に垂直な2つの格子と、バイアスのかからない相互に垂直な2つの格子と、正のバイアス + d がかった相互に垂直な2つの格子と、を含む。そのような格子構造は、 $\mu$ DBOターゲットに使用される小さなターゲットの設計に直接適用可能である。

【0085】

[0103] 本方法は、本明細書に記載されたその他のものとも組み合わせ可能である。例えば、最も感知しにくい波長および偏光を実験的に選択することで、レシピを最適化することにより、プロセス - 非対称性感度は低減可能である。

【0086】

[0104] 要するに、第1バイアス非対称性対第2バイアス非対称性回帰を使用したオーバーレイ分析およびレシピ選択方法は以下を含み得る。

【0087】

[0105] 最小「瞳 - シグマ」の分析（線上に最適にフィットするレシピ設定、例えば最小二乗という意味において）と；

【0088】

[0106] 処理 - 非対称性感度の分析（原点に対するこの線のオフセット、あるいは線形依存性がない場所）と；

「線形」および「ATAN」モデルの瞳にわたるモデル - 一貫性のテストと；

ウェーハにわたる処理非対称性(process asymmetry)の分析。

【0089】

[0107] 加えて、提案されたレシピの選択肢およびオーバーレイ分析方法は、実行にあたってはスタック情報を必要としないことに留意されたい。

【0090】

[0108] 瞳ベースの分析については、本明細書に開示された方法はK値（オーバーレイと非対称性との間の比例因子）が符号を変えるデータポイントを正確に含む。これにより、良好な測定のための使用可能なレシピ設定範囲が潜在的に拡張され、（例えば）直線性範囲などのその他のパラメータに基づく選択を可能とする。

【0091】

[0109] オーバーレイは、図9に示されるような回帰した線910の傾きから推定可能であることが上記説明で開示されている。スタックにおけるフィーチャ非対称性は、回帰ラインが原点から離れてシフトすることをもたらす。この回帰線におけるシフトは、フィーチャ非対称性を効果的に観察する。

【0092】

[0110] この測定された非対称性シフトを使用して、ウェーハにわたる推定されたオーバーレイを補正することがさらに提案される。ウェーハの測定結果が与えられると、推定されたオーバーレイと測定された非対称性シフト間の共分散は、ウェーハにわたるこれらの2つの測定の間に関連があることを明確に示す。そのため、測定された非対称性シフトの関数としてウェーハにわたる推定されたオーバーレイを補正することが提案される。最適な補正を導き出すために、TE偏光放射により推定されたオーバーレイとTM偏光放射

10

20

30

40

50

により推定されたオーバーレイとの間の差を最小化する最小化（例えば、最小二乗などの線形最小化）がセットアップ可能である。

【0093】

[0111] そのような方法は、以下のステップを含み得る。

【0094】

[0112] TE偏光放射とTM偏光放射の両方を（個別に）用いてウェーハ上の複数の位置に方法のステップS6-1からステップS6-5を実施すること。これらの測定の結果、TE偏光放射とTM偏光放射の両方について各ウェーハ位置におけるオーバーレイ（線傾き）および処理非対称性（線のオフセット）の推定値が取得される。

【0095】

[0113] 従前のステップにおいて測定された処理非対称性の関数としてウェーハにわたる推定されたオーバーレイについての修正箇所を見つけるために、TE偏光放射により推定されたオーバーレイとTM偏光放射により推定されたオーバーレイとの間の差を最小化すること。

【0096】

[0114] 図14は、記載されたように処理非対称性の修正を行うことは、TEおよびTM放射により推定されたオーバーレイ間の差を最小化することを示す。図14(a)および14(b)は、TE放射およびTM放射をそれぞれ使用してウェーハにわたって実施された未修整のオーバーレイ測定の画像を示す。図14(c)は、図14(a)および14(b)の測定間の差である。図14(d)および14(e)は、TE放射およびTM放射をそれぞれ使用してウェーハにわたって実施されたオーバーレイ測定の画像であって、本実施形態により修正された画像を示す。図14(f)は、図14(d)および14(e)の測定間の差である。TEオーバーレイ測定およびTMオーバーレイ測定間の差は、未修整のオーバーレイ測定よりも修正されたオーバーレイ測定においての方が小さいということが明らかである。

【0097】

[0115] 本方法の有効性のさらなる根拠として、3つの個別の波長TE/TM測定対に相当する3つの個別のデータセットにわたってオーバーレイが独立して計算された。これら3つのセット間の推定されたオーバーレイの差が考慮された。個別の波長および偏光を用いて測定されたオーバーレイの差のRMSは、xおよびy方向の両方において0.2nmの改善が見られ、結果として精度が70%向上した。

【0098】

[0116] さらに、本明細書で開示された技術は、標準ターゲットとも呼ばれる、大きなスカトロメータターゲットにも適用可能であることが言及されている。図3の装置を使用して、例えば、これらの大きなターゲットにおけるオーバーレイは、暗視野結像分岐およびセンサ23において行われた測定の代わりにあるいは測定に加えて、瞳イメージセンサ19を使用して角度分解スカトロメトリによって測定可能である。

【0099】

[0117] この提案におけるターゲットは、底部格子非対称性(BGA)を考慮に入れない標準オーバーレイ計算法（「非線形」および「ATAN」法）が、測定から適用されること許容する。

【0100】

[0118] 上述のターゲット構造は、測定を目的として特に設計および形成されたメトロロジターゲットである一方で、別の実施形態では、基板上に形成されたデバイスの機能部分であるターゲット上で特性が測定され得る。多くのデバイスは、規則的な格子様の構造を有する。本明細書で使用される「ターゲット格子」および「ターゲット構造」という用語は、構造が実施されている測定に対してその測定専用に提供されていることを必要としない。

【0101】

[0119] 基板およびパターンングデバイス上に実現されたターゲットの物理的格子構造

10

20

30

40

50

に関連して、一実施形態は基板上のターゲットを測定する方法および/またはリソグラフィプロセスについての情報を取得するために測定を分析する方法が記載された機械可読命令の1つまたは複数のシーケンスを含むコンピュータプログラムを含み得る。このコンピュータプログラムは、例えば、図3の装置におけるユニットPUおよび/または図2の制御ユニットLACU内において実行され得る。また、そのようなコンピュータプログラムがその内部に保存されたデータ記録媒体(例えば、半導体メモリ、磁気または光学ディスク)が提供され得る。例えば、図3に示される種類の既存のメトロロジ装置が既に製造中であるかつ/または使用中である場合には、発明は、更新されたコンピュータプログラム製品の提供によりプロセッサが変更されたステップS6(ステップS6-1からS6-6を含む)を実施し、それによりフィーチャ非対称性に対して低減した感度でオーバーレイエラーを計算することが実行可能である。プログラムは、適切な複数のターゲット構造上の非対称性の測定のためにステップS2~S5を実施するように、光学系および基板サポートなどを制御するよう任意に配置されてよい。

10

#### 【0102】

[0120] 光リソグラフィの関連での本発明の実施形態の使用について上述のとおり具体的な言及がなされたが、当然のことながら、本発明は、他の用途、例えば、インプリントリソグラフィに使われてもよく、さらに状況が許すのであれば、光リソグラフィに限定されることはない。インプリントリソグラフィにおいては、パターンングデバイス内のトポグラフィによって、基板上に創出されるパターンが定義される。パターンングデバイスのトポグラフィは、基板に供給されたレジスト層の中にプレス加工され、基板上では、電磁放射、熱、圧力、またはそれらの組合せを適用することによってレジストは硬化される。パターンングデバイスは、レジストが硬化した後、レジスト内にパターンを残してレジストの外へ移動される。

20

#### 【0103】

[0121] 本明細書で使用される「放射」および「ビーム」という用語は、紫外線(UV)(例えば、365nm、355nm、248nm、193nm、157nm、または126nmの波長、またはおよそこれらの値の波長を有する)、および極端紫外線(EUV)(例えば、5~20nmの範囲の波長を有する)、ならびにイオンビームや電子ビームなどの微粒子ビームを含むあらゆる種類の電磁放射を包含している。

#### 【0104】

[0122] 「レンズ」という用語は、文脈によっては、屈折、反射、磁気、電磁気、および静電型光コンポーネントを含む様々な種類の光コンポーネントのいずれか1つまたはこれらの組合せを指すことができる。

30

#### 【0105】

[0123] 特定の実施形態の以上の説明は、本発明の全般的性質を完全に明らかにしているため、当該分野の技術の範囲内の知識を適用することにより、他の者が、本発明の基本概念を逸脱することなく、過度の実験の必要なく容易に、かかる特定の実施形態をさまざまな用途に合わせて変形および/または適合させることができるだろう。したがって、そのような適合及び変形は、本明細書に提示された教示及び手引きに基づき、開示された実施形態の均等物の意味及び範囲内であることが意図される。本明細書中の表現又は用語は、限定ではなく例示による説明を目的とするものであり、本明細書の用語又は表現は、当業者により上記教示及び手引きに照らして解釈されるべきことを理解すべきである。

40

#### 【0106】

[0124] 本発明の広さ及び範囲は、上述の例示的な実施形態のいずれによっても限定されるべきでなく、以下の請求の範囲及びその均等物に基づいてのみ画定されるべきである。

#### 【0107】

[0125] 当然のことながら、請求の範囲の解釈には、概要及び要約部分ではなく、詳細な説明部分が用いられることが意図されている。概要及び要約部分は、本発明者(ら)が考える本発明の1つまたは複数の例示的な実施形態を記載し得るが、それがすべてではな

50

く、したがって、いかなる意味においても本発明及び添付の請求の範囲を限定することを意図していない。

【0108】

[0126] これまで、特定の機能の実施及びそれらの関係を示す機能的構成単位を用いて本発明を説明してきた。これらの機能的構成単位の境界は、説明の便宜上、本明細書において任意に定められたものである。かかる特定の機能及びそれらの関係が適切に実行される限り、別の境界を定めることが可能である。

【0109】

[0127] 特定の実施形態の以上の説明は、本発明の全般的性質を完全に明らかにしているため、当該分野の技術の範囲内の知識を適用することにより、他の者が、本発明の基本概念を逸脱することなく、過度の実験の必要なく容易に、かかる特定の実施形態をさまざまな用途に合わせて変形および/または適合させることができるだろう。したがって、そのような適合及び変形は、本明細書に提示された教示及び手引きに基づき、開示された実施形態の均等物の意味及び範囲内であることが意図される。本明細書中の表現又は用語は、限定ではなく説明を目的とするものであり、本明細書の用語又は表現は、当業者により上記教示及び手引きに照らして解釈されるべきことを理解すべきである。

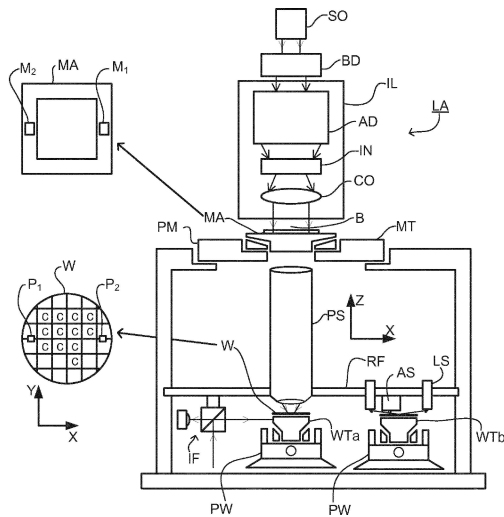
10

【0110】

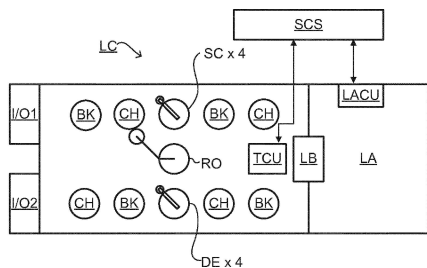
[0128] 本発明の広さ及び範囲は、上述の例示的な実施形態のいずれによっても限定されるべきでなく、以下の請求の範囲及びその均等物に基づいてのみ画定されるべきである。

20

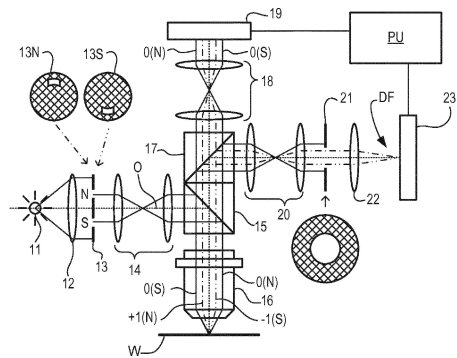
【図1】



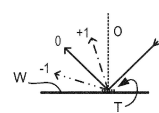
【図2】



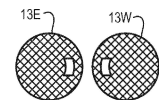
【図3a】



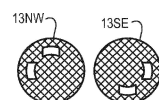
【図3b】



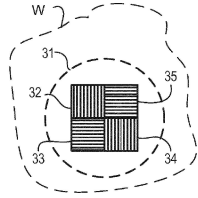
【図3c】



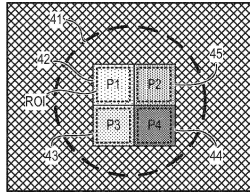
【図3d】



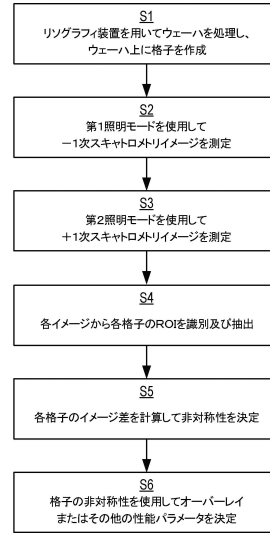
【図4】



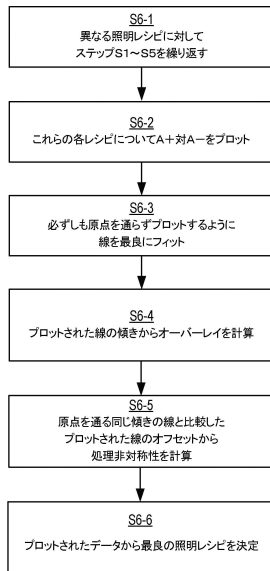
【図5】



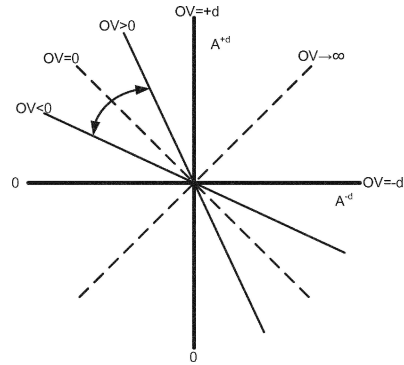
【図6】



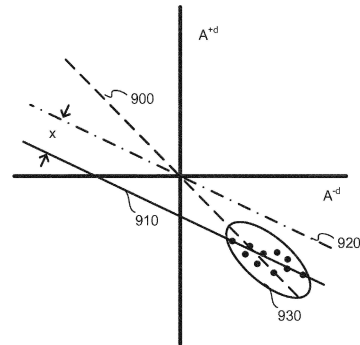
【図7】



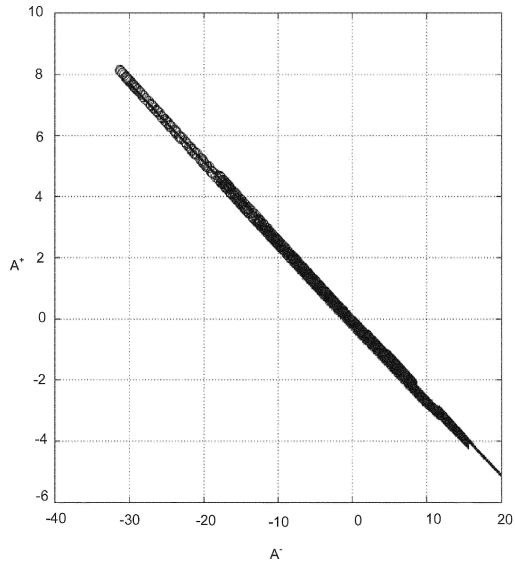
【図8】



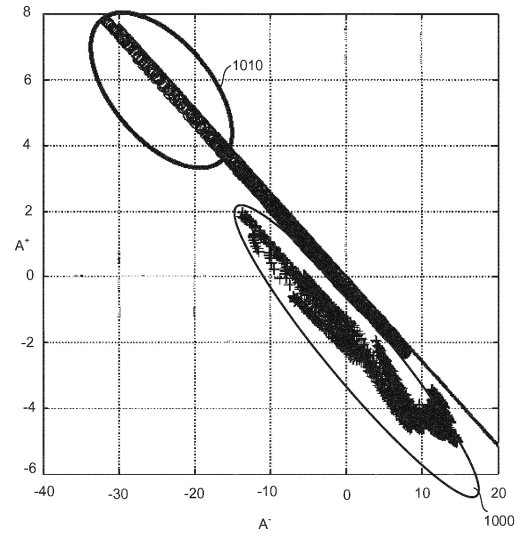
【図9】



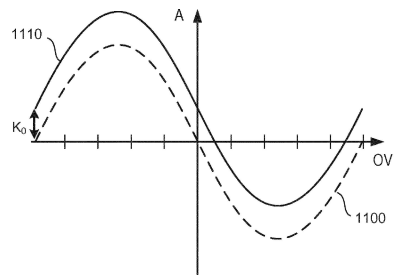
【 10 a 】



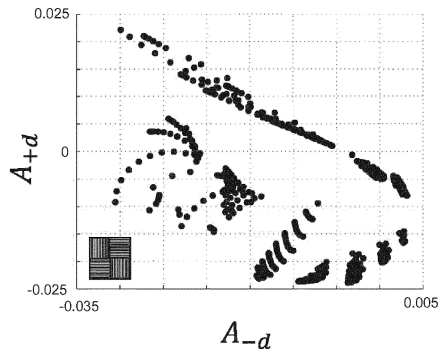
【 10 b 】



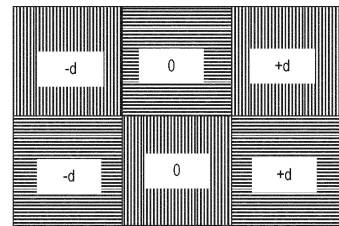
【 11 】



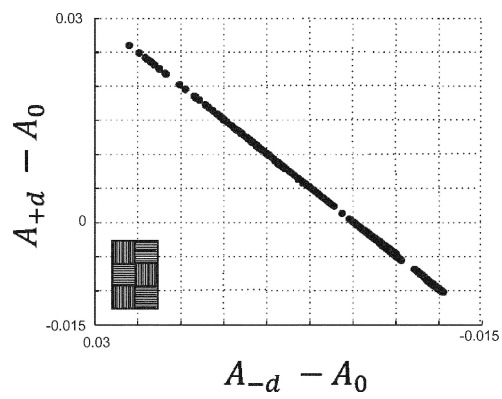
【 12 a 】



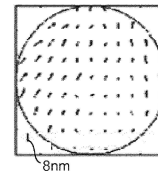
【 13 】



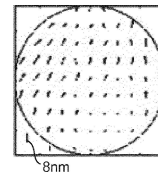
【 12 b 】



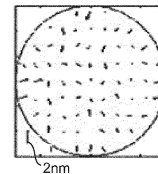
【 14 a 】



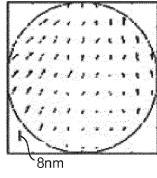
【 14 b 】



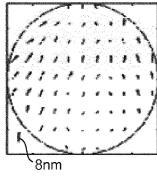
【 14 c 】



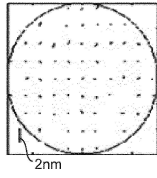
【 1 4 d】



【 1 4 e】



【 1 4 f】



## フロントページの続き

- (72)発明者 ミドルブルックス, スコット, アンダーソン  
オランダ国, ヴェルトホーフエン エヌエル - 5 5 0 0 エーエイチ, ピー . オー . ボックス 3  
2 4
- (72)発明者 ゲイペン, ニールズ  
オランダ国, ヴェルトホーフエン エヌエル - 5 5 0 0 エーエイチ, ピー . オー . ボックス 3  
2 4
- (72)発明者 スミルデ, ヘンドリク, ヤン, ヒデ  
オランダ国, ヴェルトホーフエン エヌエル - 5 5 0 0 エーエイチ, ピー . オー . ボックス 3  
2 4
- (72)発明者 ストラーイェル, アレクサンダー  
オランダ国, ヴェルトホーフエン エヌエル - 5 5 0 0 エーエイチ, ピー . オー . ボックス 3  
2 4
- (72)発明者 ヴァン デル シャール, マウリッツ  
オランダ国, ヴェルトホーフエン エヌエル - 5 5 0 0 エーエイチ, ピー . オー . ボックス 3  
2 4
- (72)発明者 ヴァン クラーイ, マルクス, ヘラルデュス, マルチヌス, マリア  
オランダ国, ヴェルトホーフエン エヌエル - 5 5 0 0 エーエイチ, ピー . オー . ボックス 3  
2 4

審査官 田口 孝明

- (56)参考文献 米国特許出願公開第 2 0 1 1 / 0 0 3 2 5 3 5 ( US , A 1 )  
特開 2 0 1 2 - 1 6 9 6 1 7 ( JP , A )  
特開 2 0 1 3 - 0 5 1 4 1 2 ( JP , A )  
米国特許出願公開第 2 0 1 1 / 0 2 5 5 0 6 6 ( US , A 1 )  
国際公開第 2 0 1 1 / 0 1 2 6 2 4 ( WO , A 1 )  
米国特許第 0 9 1 5 8 1 9 4 ( US , B 2 )  
国際公開第 2 0 1 2 / 0 6 2 8 5 8 ( WO , A 1 )  
国際公開第 2 0 1 4 / 0 0 5 8 2 8 ( WO , A 1 )

## (58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

IPC H 0 1 L 2 1 / 3 0、  
2 1 / 0 2 7、  
2 1 / 4 6、  
G 0 3 F 7 / 2 0 - 7 / 2 4、  
9 / 0 0 - 9 / 0 2