

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6008851号  
(P6008851)

(45) 発行日 平成28年10月19日(2016.10.19)

(24) 登録日 平成28年9月23日(2016.9.23)

(51) Int.Cl.	F 1
GO3F 9/00 (2006.01)	GO3F 9/00 A
GO3F 7/20 (2006.01)	GO3F 7/20 521
GO1B 11/24 (2006.01)	GO1B 11/24 K

請求項の数 14 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2013-520058 (P2013-520058)
(86) (22) 出願日	平成23年7月12日 (2011.7.12)
(65) 公表番号	特表2013-535819 (P2013-535819A)
(43) 公表日	平成25年9月12日 (2013.9.12)
(86) 国際出願番号	PCT/EP2011/061822
(87) 国際公開番号	W02012/010458
(87) 国際公開日	平成24年1月26日 (2012.1.26)
審査請求日	平成26年7月11日 (2014.7.11)
(31) 優先権主張番号	61/365,538
(32) 優先日	平成22年7月19日 (2010.7.19)
(33) 優先権主張国	米国(US)

(73) 特許権者	504151804 エーエスエムエル ネザーランズ ピー. ブイ.
	オランダ国 ヴェルトホーフェン 550 O エーエイチ, ピー. オー. ボックス 324
(74) 代理人	100079108 弁理士 稲葉 良幸
(74) 代理人	100109346 弁理士 大貫 敏史
(72) 発明者	ヴァン デル シャール, マウリッツ オランダ国, アイントホーフェン, エヌエル-5658 エーケイ, ザンディランド 6

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】オーバレイ誤差を決定する方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

オーバレイ誤差を決定する方法であって、  
第1の構造を含む第1のターゲットの散乱特性を測定するステップと、  
前記測定された散乱特性を用いて前記第1の構造に対応する第1のモデル構造を含む前記第1の構造のモデルを構築するステップと、  
前記第1のモデル構造の非対称性を補償するための前記第1のモデル構造の位置パラメータを定義するステップと、  
前記定義された位置パラメータを用いて、第2のモデル構造を前記第1のモデル構造に対して位置決めするステップと、

前記第1のモデル構造内に前記第2のモデル構造を挿入することにより前記第1及び第2のモデル構造を修正するステップと、

前記修正モデル内で互いに重なり合う前記第1のモデル構造と前記第2のモデル構造との間の非対称性誘導オーバレイ誤差を計算するステップと、

前記計算された非対称性誘導オーバレイ誤差を用いて第2のターゲット内のオーバレイ誤差を決定するステップと、  
を含む、方法。

## 【請求項 2】

前記位置決めステップは、前記モデル内における少なくとも1つの前記モデル構造の前記位置を調整するステップを含む、請求項1に記載の方法。

**【請求項 3】**

前記修正するステップは、前記第1のモデル構造と前記第2のモデル構造との間のオーバレイ誤差をモデル化するために使用するオーバレイパラメータを調整するステップを含む、請求項1に記載の方法。

**【請求項 4】**

前記第2のターゲット内のオーバレイ誤差を決定するステップは、前記第2のターゲットの非対称性誘導オーバレイ誤差と測定オーバレイ誤差との差を計算するステップを含む、請求項1乃至請求項3のうち何れか1項に記載の方法。

**【請求項 5】**

前記モデルを修正するステップは、モデル構造パラメータ値を調整して非対称性誘導オーバレイ誤差を変化させるステップを含み、10

前記非対称性誘導オーバレイ誤差の計算ステップは、複数の散乱特性測定レシピの複数のモデル構造パラメータ値について繰り返され、前記第2のターゲット内のオーバレイ誤差を決定する前記ステップは、前記計算された非対称性誘導オーバレイ誤差を用いて前記第2のターゲットを測定するために使用する最適な散乱特性測定レシピを選択するステップを含む、請求項1に記載の方法。

**【請求項 6】**

前記パラメータは、幾何学的パラメータを含む、請求項5に記載の方法。

**【請求項 7】**

前記パラメータは、材料パラメータを含む、請求項5に記載の方法。20

**【請求項 8】**

前記モデル構造パラメータは、前記第1のモデル構造の非対称性をモデル化する、請求項5乃至請求項7のうち何れか1項に記載の方法。

**【請求項 9】**

前記第1のターゲットは、第2の構造を含み、前記第1及び第2の構造は、互いに重なり合い、前記第2のモデル構造は、前記第2の構造に対応する、請求項1乃至請求項8のうち何れか1項に記載の方法。

**【請求項 10】**

非対称性誘導オーバレイ誤差の前記計算ステップは、前記第1のモデル構造の前記非対称性に応答して最大のオーバレイ誤差を有するピクセルを除外しつつ、角度分解スキャトロメータの瞳面内の複数のピクセルでのオーバレイ誤差を計算するステップを含む、請求項1乃至請求項9のうち何れか1項に記載の方法。30

**【請求項 11】**

第1の構造を含む第1のターゲットの散乱特性を測定し、オーバレイ誤差を決定する検査装置であって、

前記測定された散乱特性を用いて前記第1の構造に対応する第1のモデル構造を含む前記第1の構造のモデルを構築し、

前記第1のモデル構造の非対称性を補償するための前記第1のモデル構造の位置パラメータを定義し、

前記定義された位置パラメータを用いて、第2のモデル構造を前記第1のモデル構造に對して位置決めし、40

前記第1のモデル構造内に前記第2のモデル構造を挿入することにより前記第1及び第2のモデル構造を修正し、

前記修正モデル内で互いに重なり合う前記第1のモデル構造と前記第2のモデル構造との間の非対称性誘導オーバレイ誤差を計算し、

前記計算された非対称性誘導オーバレイ誤差を用いて第2のターゲット内のオーバレイ誤差を決定する、

少なくとも1つのプロセッサを備える、検査装置。

**【請求項 12】**

パターンを照明する照明光学システムと、50

基板上に前記パターンの像を投影する投影光学システムと、  
請求項 1 1 に記載の検査装置と、  
を備える、リソグラフィ装置。

【請求項 1 3】

基板に放射感受性層を塗布するコーティング装置と、  
前記コーティング装置によって塗布された基板の放射感受性層上に像を露光するリソグラフィ装置と、  
前記リソグラフィ装置によって露光された像を現像する現像装置と、  
請求項 1 1 に記載の検査装置と、  
を備える、リソグラフィセル。

【請求項 1 4】

オーバレイ誤差を決定するマシン可読命令の 1 つ以上のシーケンスを含むコンピュータプログラムであって、前記命令は、1 つ以上のプロセッサにオーバレイ誤差を決定する方法を実行させ、

前記方法は、

第 1 の構造を含む第 1 のターゲットの散乱特性を測定するステップと、

前記測定された散乱特性を用いて前記第 1 の構造に対応する第 1 のモデル構造を含む前記第 1 の構造のモデルを構築するステップと、

前記第 1 のモデル構造の非対称性を補償するための前記第 1 のモデル構造の位置パラメータを定義するステップと、

前記定義された位置パラメータを用いて、第 2 のモデル構造を前記第 1 のモデル構造に対して位置決めするステップと、

前記第 1 のモデル構造内に前記第 2 のモデル構造を挿入することにより前記第 1 及び第 2 のモデル構造を修正するステップと、

前記修正モデル内で互いに重なり合う前記第 1 のモデル構造と前記第 2 のモデル構造との間の非対称性誘導オーバレイ誤差を計算するステップと、

前記計算された非対称性誘導オーバレイ誤差を用いて第 2 のターゲット内のオーバレイ誤差を決定するステップと、

を含む、コンピュータプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

(関連出願への相互参照)

[0001] 本出願は、参照によりその全体を本明細書に組み込むものとする、2010年7月19日出願の米国仮出願第 61/365,538 号の利益を主張する。

【0002】

[0002] 本発明は、例えば、リソグラフィ装置を用いたリソグラフィ技術によるデバイスの製造におけるオーバレイ誤差を決定する方法及び検査装置に関する。

【背景技術】

【0003】

[0003] リソグラフィ装置は、所望のパターンを基板に、通常は基板のターゲット部分に適用する機械である。リソグラフィ装置は、例えば、集積回路 (IC) の製造に使用可能である。このような場合、代替的にマスク又はレチカルとも呼ばれるパターニングデバイスを使用して、IC の個々の層上に形成すべき回路パターンを生成することができる。このパターンを、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 1 つ又は幾つかのダイの一部を含む) に転写することができる。パターンの転写は通常、基板に設けた放射感応性材料 (レジスト) の層への結像により行われる。一般的に、1 枚の基板は、順次パターンが与えら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。従来のリソグラフィ装置は、パターン全体をターゲット部分に 1 回で露光することによって各ターゲット部分が照射される、いわゆるステッパと、基板を所与の方向 (「スキャン」方向

10

20

30

40

50

)と平行あるいは逆平行に同期的にスキャンしながら、パターンを所与の方向(「スキャン」方向)に放射ビームでスキャンすることにより、各ターゲット部分が照射される、いわゆるスキャナと、を含む。パターンを基板にインプリントすることによっても、パターンングデバイスから基板へとパターンを転写することが可能である。

#### 【0004】

[0004] リソグラフィプロセスを監視するために、パターン形成された基板のパラメータが測定される。パラメータは、例えば、パターン形成された基板内又は基板上に形成された2つの層間のオーバレイ誤差と、現像された感光性レジストの限界線幅と、を含んでもよい。この測定は、製品基板及び/又は専用のメトロロジーターゲット上で実行できる。走査型電子顕微鏡及び様々な専用ツールの使用を含め、リソグラフィプロセスで形成された微細構造を測定するための様々な技術がある。専用のインスペクションツールの高速で非破壊的な一形態が、放射ビームを基板表面上のターゲットに誘導し、散乱又は反射したビームの特性を測定するスキャトロメータである。基板によって反射又は散乱する前と後のビームの特性を比較することで基板の特性を決定できる。これは、例えば反射ビームを既知の基板特性に関連付けられた既知の測定値のライブラリに記憶されたデータと比較することによって実行できる。2つの主要なタイプのスキャトロメータが知られている。分光スキャトロメータは、広帯域放射ビームを基板上に誘導し、特定の狭い角度範囲に散乱した放射のスペクトル(波長の関数としての強度)を測定する。角度分解スキャトロメータは、単色放射ビームを使用して散乱した放射の強度を角度の関数として測定する。

10

#### 【発明の概要】

20

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0005】

[0005] 半導体デバイス製造業者は、ウェーハ上に存在する格子を用いてウェーハを整列させる。アライメントセンサは、サブnmの繰り返し精度で格子の場所を測定する。また、製造業者は、重なり合う格子を用いて製品上のオーバレイを測定する。ここで、サブnmの総測定不確実性(TMU)数も容易に達成できる。しかし、オーバレイメトロロジー及びアライメントセンサには、エッチング、化学的機械的研磨(CMP)及び蒸着などの処理ステップによって引き起こされるマーカの非対称性の問題がある。これらの非対称性は、数nm程度のオーバレイ及びアライメント誤差を引き起こす。この影響はオーバレイの予算を支配し始めており、したがって、解決策が必要である。

30

#### 【0006】

[0006] (例えば、各レシピが様々な照明波長と偏光とを有する)スキャトロメータ測定レシピ選択は、現在、平均装置要因誤差(TIS)及び/又はTIS変動性(TIS3シグマとも呼ばれる)などのパラメータを用いて実行されている。参照層が非対称プロファイルをいつ示すかという問題がある。

#### 【0007】

[0007] ターゲット格子の形状の非対称性は、一般に測定されたオーバレイに影響する。この影響は、測定に使用される照明設定によって変化することがある。

#### 【0008】

[0008] 処理及び結像後の格子の形状の実際の情報なしにターゲットレシピ選択が実行される。さらに、現行プロセスの状況は、レシピ選択の決定に使用されない。TIS及び/又はTMUに基づく修飾子を用いても、ターゲットの非対称性に最も耐性がある測定レシピが得られるとは限らない。

40

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0009】

[0009] 本発明の第1の態様によれば、オーバレイ誤差を決定する方法であって、第1の構造を含む第1のターゲットの散乱特性を測定するステップと、測定された散乱特性を用いて第1の構造に対応する第1のモデル構造を含む第1の構造のモデルを構築するステップと、第1のモデル構造の非対称性に基づいてモデルを修正するステップと、修正モデル内で互いに重なり合う第1のモデル構造と第2のモデル構造との間の非対称性誘導オーバ

50

レイ誤差を計算するステップと、計算された非対称性誘導オーバレイ誤差を用いて第2のターゲット内のオーバレイ誤差を決定するステップと、を含む方法が提供される。

#### 【0010】

[0010] 本発明の第2の態様によれば、オーバレイ誤差を決定する検査装置であって、検査装置は、第1の構造を含む第1のターゲットの散乱特性を測定するように構成され、検査装置は、測定された散乱特性を用いて第1の構造に対応する第1のモデル構造を含む第1の構造のモデルを構築し、第1のモデル構造の非対称性に基づいてモデルを修正し、修正モデル内で互いに重なり合う第1のモデル構造と第2のモデル構造との間の非対称性誘導オーバレイ誤差を計算し、計算された非対称性誘導オーバレイ誤差を用いて第2のターゲット内のオーバレイ誤差を決定するように構成された少なくとも1つのプロセッサを備える検査装置が提供される。 10

#### 【0011】

[0011] 本発明の第3の態様によれば、パターンを照明するように配置された照明光学システムと、基板上にパターンの像を投影するように配置された投影光学システムと、第2の態様による検査装置と、を備えるリソグラフィ装置が提供される。

#### 【0012】

[0012] 本発明の第4の態様によれば、基板に放射感受性層を塗布するように配置されたコーティング装置と、コーティングによって塗布された基板の放射感受性層上に像を露光するように配置されたリソグラフィ装置と、リソグラフィ装置によって露光された像を現像するように配置された現像装置と、第2の態様による検査装置と、を備えるリソグラフィセルが提供される。 20

#### 【0013】

[0013] 本発明の第5の態様によれば、オーバレイ誤差を決定するマシン可読命令の1つ以上のシーケンスを含むコンピュータプログラムプロダクトであって、前記命令は、1つ以上のプロセッサにオーバレイ誤差を決定する方法を実行させるように構成され、上記方法は、第1の構造を含む第1のターゲットの散乱特性を測定するステップと、測定された散乱特性を用いて第1の構造に対応する第1のモデル構造を含む第1の構造のモデルを構築するステップと、第1のモデル構造の非対称性に基づいてモデルを修正するステップと、修正モデル内で互いに重なり合う第1のモデル構造と第2のモデル構造との間の非対称性誘導オーバレイ誤差を計算するステップと、計算された非対称性誘導オーバレイ誤差を用いて第2のターゲット内のオーバレイ誤差を決定するステップと、を含むコンピュータプログラムプロダクトが提供される。 30

#### 【0014】

[0014] 本発明の別の特徴及び利点と本発明の様々な実施形態の構造及び作用を、添付の図面を用いて以下に詳述する。本発明は、本明細書に記載する特定の実施形態に限定されないことに留意されたい。このような実施形態は、例示のみを目的として本明細書に記載されている。本明細書に含まれる教示に基づいて当業者はさらなる実施形態を容易に思い付くであろう。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0015】

[0015] 本明細書に組み込まれ、その一部を形成する添付の図面は本発明を図示し、説明とともに、さらに本発明の原理を説明し、当業者が本発明を作成し、使用できるような働きをする。

【図1】[0016]リソグラフィ装置を示す。

【図2】[0017]リソグラフィセル又はクラスタを示す。

【図3】[0018]第1のスキャトロメータを示す。

【図4】[0019]第2のスキャトロメータを示す。

【図5】[0020]スキャトロメータ測定値からの構造の再構築のための第1の例示的なプロセスを示す。

【図6】[0021]スキャトロメータ測定値からの構造の再構築のための第2の例示的なプロ

40

50

セスを示す。

【図7】[0022]モデル内の中間にある上部格子の位置決めを示す本発明のある実施形態によるオーバレイ誤差を決定する方法を示す。

【図8】[0023]モデル内のオフセットされた上部格子の位置決めを示す本発明のある実施形態によるオーバレイ誤差を決定する方法を示す。

【図9】[0024]底部及び上部格子の両方の測定及び再構築を示す本発明のある実施形態によるオーバレイ誤差を決定する方法を示す。

【図10】[0025]最適なレシピを決定するための変化するモデル化された非対称性を示す本発明のある実施形態によるオーバレイ誤差を決定する方法を示す。

【図11】[0026]大きなオーバレイ誤差に最適なレシピを決定するための変化するモデル化された非対称性を示す本発明のある実施形態によるオーバレイ誤差を決定する方法を示す。 10

#### 【0016】

[0027] 本発明の特徴および利点は、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。

#### 【発明を実施するための形態】

#### 【0017】

[0028] 本明細書は、本発明の特徴を組み込んだ1つ以上の実施形態を開示する。開示される実施形態は本発明を例示するに過ぎない。本発明の範囲は開示される実施形態に限定されない。 20

#### 【0018】

[0029] 説明される(1つ以上の)実施形態、および明細書中の「一実施形態」、「ある実施形態」、「例示的な実施形態」等への言及は、説明される実施形態が特定の特徴、構造、または特性を含み得ることを示すが、必ずしもすべての実施形態がその特定の特徴、構造、または特性を含んでいなくてもよい。また、かかる表現は、必ずしも同じ実施形態を指すものではない。また、特定の特徴、構造、または特性がある実施形態に関連して説明される場合、かかる特徴、構造、または特性を他の実施形態との関連においてもたらすことは、それが明示的に説明されているか否かにかかわらず、当業者の知識内のことであると理解される。 30

#### 【0019】

[0030] 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、またはそれらのあらゆる組合せにおいて実施され得る。本発明の実施形態はまた、機械可読媒体に記憶され、1つまたは複数のプロセッサにより読み出され実行され得る命令として実施されてもよい。機械可読媒体は、機械(例えばコンピュータデバイス)によって読み取りが可能な形態で情報を記憶または送信するためのあらゆるメカニズムを含み得る。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、または電気、光、音、もしくはその他の形態の伝搬信号(例えば、搬送波、赤外線信号、デジタル信号等)、などを含み得る。また、本明細書において、ファームウェア、ソフトウェア、ルーチン、命令が何らかの動作を行うと説明されることがある。しかし、そのような説明は単に便宜上のものであり、かかる動作は実際には、コンピュータデバイス、プロセッサ、コントローラ、またはファームウェア、ソフトウェア、ルーチン、命令等を実行する他のデバイスによるものであることが理解されるべきである。 40

#### 【0020】

[0031] このような実施形態をより詳細に説明する前に、本発明の実施形態が実施され得る例示的な環境を提示することが有益である。

#### 【0021】

50

[0032] 図1は、リソグラフィ装置を概略的に示したものである。この装置は、放射ビームB（例えばUV放射又はDUV放射）を調節するように構成された照明システム（イルミネータ）ILと、パターニングデバイス（例えばマスク）MAを支持するように構築され、特定のパラメータに従ってパターニ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のポジショナPMに接続された支持構造（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、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のポジショナPWに接続された基板テーブル（例えばウェーハテーブル）WTと、パターニングデバイスMAによって放射ビームBに与えられたパターンを基板Wのターゲット部分C（例えば1つ以上のダイを含む）に投影するように構成された投影システム（例えば屈折投影レンズシステム）PLと、を備える。

【0022】

[0033] 照明システムは、放射の誘導、整形、又は制御を行うための、屈折、反射、磁気、電磁、静電型等の光学コンポーネント、又はその任意の組合せなどの種々のタイプの光学コンポーネントを含んでいてもよい。

【0023】

[0034] 支持構造は、パターニングデバイスを支持、すなわちその重量を支えている。支持構造は、パターニングデバイスの方向、リソグラフィ装置の設計等の条件、例えばパターニングデバイスが真空環境で保持されているか否かに応じた方法で、パターニングデバイスを保持する。この支持構造は、機械式クランプ、真空、又は他のクランプ技術、例えば真空条件下での静電クランプを使用することができる。支持構造は、例えばフレーム又はテーブルでよく、必要に応じて固定式又は可動式でよい。支持構造は、パターニングデバイスが例えば投影システムなどに対して確実に所望の位置にくるようにできる。本明細書において「マスク」という用語を使用した場合、その用語は、より一般的な用語である「パターニングデバイス」と同義と見なすことができる。

【0024】

[0035] 本明細書において使用する「パターニングデバイス」という用語は、基板のターゲット部分にパターンを生成するように、放射ビームの断面にパターンを与えるために使用し得る任意のデバイスを指すものとして広義に解釈されるべきである。ここで、放射ビームに与えられるパターンは、例えばパターンが位相シフトフィーチャ又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における所望のパターンに正確には対応しないことがある点に留意されたい。一般的に、放射ビームに与えられるパターンは、集積回路などのターゲット部分に生成されるデバイスの特定の機能層に相当する。

【0025】

[0036] パターニングデバイスは透過性又は反射性でよい。パターニングデバイスの例には、マスク、プログラマブルミラーアレイ、及びプログラマブルLCDパネルがある。マスクはリソグラフィにおいて周知のものであり、これには、バイナリマスク、レベンソン型(alternating)位相シフトマスク、ハーフトーン型(attenuated)位相シフトマスクのようなマスクタイプ、さらには様々なハイブリッドマスクタイプも含まれる。プログラマブルミラーアレイの一例として、小さなミラーのマトリクス配列を使用し、そのミラーは各自、入射する放射ビームを異なる方向に反射するよう個々に傾斜することができる。傾斜したミラーは、ミラーマトリクスによって反射する放射ビームにパターンを与える。

【0026】

[0037] 本明細書において使用する「投影システム」という用語は、例えば使用する露光放射、又は液浸液の使用や真空の使用などの他の要因に合わせて適宜、例えば屈折光学システム、反射光学システム、反射屈折光学システム、磁気光学システム、電磁光学システム及び静電型光学システム、又はその任意の組合せを含む任意のタイプの投影システムを網羅するものとして広義に解釈されるべきである。本明細書において「投影レンズ」という用語を使用した場合、これはさらに一般的な「投影システム」という用語と同義と見なすことができる。

10

20

30

40

50

## 【0027】

[0038] 本明細書で示すように、本装置は（例えば透過マスクを使用する）透過タイプである。あるいは、装置は、（例えば上記で言及したようなタイプのプログラマブルミラーアレイを使用する、又は反射マスクを使用する）反射タイプでもよい。

## 【0028】

[0039] リソグラフィ装置は、2つ（デュアルステージ）又はそれ以上の基板テーブル（及び／又は2つ以上のマスクテーブル）を有するタイプでよい。このような「マルチステージ」機械においては、追加のテーブルを並行して使用するか、1つ以上の他のテーブルを露光に使用している間に1つ以上のテーブルで予備工程を実行することができる。

## 【0029】

[0040] 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充填するように、基板の少なくとも一部を水などの比較的高い屈折率を有する液体で覆えるタイプでもよい。液浸液は、例えばマスクと投影システムの間など、リソグラフィ装置の他の空間に適用することもできる。液浸技術は、投影システムの開口数を増加させるために当技術分野で周知である。本明細書で使用する「液浸」という用語は、基板などの構造を液体に沈めなければならないという意味ではなく、露光中に投影システムと基板の間に液体が存在するというほどの意味である。

10

## 【0030】

[0041] 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。放射源とリソグラフィ装置とは、例えば放射源がエキシマレーザである場合に、別々の構成要素であってもよい。このような場合、放射源はリソグラフィ装置の一部を形成すると見なされず、放射ビームは、例えば適切な誘導ミラー及び／又はビームエクスパンダなどを備えるビームデリバリシステムBDを用いて、放射源SOからイルミネータILへと渡される。他の事例では、例えば放射源が水銀ランプの場合は、放射源がリソグラフィ装置の一体部分であってもよい。放射源SO及びイルミネータILは、必要に応じてビームデリバリシステムBDとともに放射システムと呼ぶことができる。

20

## 【0031】

[0042] イルミネータILは、放射ビームの角度強度分布を調整するアジャスタADを備えていてもよい。通常、イルミネータILの瞳面における強度分布の外側及び／又は内側半径範囲（一般にそれぞれ、-outer及び-innerと呼ばれる）を調節することができる。また、イルミネータILは、インテグレータIN及びコンデンサCOなどの他の種々のコンポーネントを備えてよい。イルミネータILを用いて放射ビームを調節し、その断面にわたって所望の均一性と強度分布とが得られるようにしてよい。

30

## 【0032】

[0043] 放射ビームBは、支持構造（例えば、マスクテーブル）MT上に保持されたパターニングデバイス（例えば、マスク）MAに入射し、パターニングデバイスマAによってパターニングされる。パターニングデバイスマAを横断した放射ビームBは、投影システムPLを通過し、投影システムPLは、ビームを基板Wのターゲット部分C上に合焦させる。第2のポジショナPWと位置センサIF（例えば、干渉計デバイス、リニアエンコーダ、2次元エンコーダ又は容量センサ）を用いて、基板テーブルWTは、例えば、様々なターゲット部分Cを放射ビームBの経路に位置決めできるように正確に移動できる。同様に、第1のポジショナPMと（図1には明示されていない）別の位置センサとを用いて、マスクライブラリからの機械的な取り出し後又はスキャン中などに放射ビームBの経路に対してパターニングデバイスマAを正確に位置決めできる。一般に、支持構造MTの移動は、第1のポジショナPMの部分を形成するロングストロークモジュール（粗動位置決め）及びショートストロークモジュール（微動位置決め）を用いて実現できる。同様に、基板テーブルWTの移動は、第2のポジショナPWの部分を形成するロングストロークモジュール及びショートストロークモジュールを用いて実現できる。（スキャナとは対照的に）ステッパの場合、支持構造MTをショートストロークアクチュエータのみに接続するか、又は固定してもよい。パターニングデバイスマA及び基板Wは、パターニングデバイス

40

50

アライメントマーク M 1、M 2 及び基板アライメントマーク P 1、P 2 を使用して位置合わせすることができる。図示のような基板アライメントマークは、専用のターゲット部分を占有するが、ターゲット部分 C の間に位置してもよい（スクリップレーンアライメントマークとして知られている）。同様に、パターニングデバイス M A 上に複数のダイを設ける状況では、パターニングデバイスアライメントマークをダイ間に配置してもよい。

### 【 0 0 3 3 】

[0044] 図示のリソグラフィ装置は、以下のモードのうち少なくとも 1 つにて使用可能である。

### 【 0 0 3 4 】

[0045] 1. ステップモードにおいては、マスクテーブル M T 及び基板テーブル W T は、基本的に静止状態に維持される一方、放射ビームに与えたパターン全体が 1 回でターゲット部分 C に投影される（すなわち単一静的露光）。次に、別のターゲット部分 C を露光できるように、基板テーブル W T が X 方向及び / 又は Y 方向に移動される。ステップモードでは、露光フィールドの最大サイズによって、単一静的露光で結像されるターゲット部分 C のサイズが制限される。

10

[0046] 2. スキャンモードにおいては、マスクテーブル M T 及び基板テーブル W T は同期的にスキャンされる一方、放射ビームに与えられるパターンがターゲット部分 C に投影される（すなわち単一動的露光）。マスクテーブル M T に対する基板テーブル W T の速度及び方向は、投影システム P L の拡大（縮小）及び像反転特性によって求めることができる。スキャンモードでは、露光フィールドの最大サイズによって、単一動的露光におけるターゲット部分の（非スキャン方向における）幅が制限され、スキャン動作の長さによってターゲット部分の（スキャン方向における）高さが決まる。

20

[0047] 3. 別のモードでは、マスクテーブル M T はプログラマブルパターニングデバイスを保持して基本的に静止状態に維持され、基板テーブル W T を移動又はスキャンさせながら、放射ビームに与えられたパターンをターゲット部分 C に投影する。このモードでは、一般にパルス状放射源を使用して、基板テーブル W T を移動させるごとに、又はスキャン中に連続する放射パルスの間で、プログラマブルパターニングデバイスを必要に応じて更新する。この動作モードは、以上で言及したようなタイプのプログラマブルミラーアレイなどのプログラマブルパターニングデバイスを使用するマスクレスリソグラフィに容易に利用できる。

30

### 【 0 0 3 5 】

[0048] 上述した使用モードの組合せ及び / 又は変形、又は全く異なる使用モードも利用できる。

### 【 0 0 3 6 】

[0049] 図 2 に示すように、リソグラフィ装置 L A は、リソセル又はクラスタとも呼ばれることがあるリソグラフィセル L C の一部を形成し、それは基板上で露光前及び露光後プロセスを実行する装置も含む。従来、これらはレジスト層を堆積させるスピンドル S C 、露光されたレジストを現像する現像器 D E 、チルプレート C H 及びベークプレート B K を含む。基板ハンドラ、すなわちロボット R O は入力 / 出力ポート I / O 1、I / O 2 から基板を取り上げ、それを様々なプロセス装置間で移動させ、次にそれらをリソグラフィ装置のローディングベイ L B に送出する。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 T C U の制御下にあり、それ自体は監視制御システム S C S によって制御され、それはリソグラフィ制御ユニット L A C U を介してリソグラフィ装置も制御する。したがってスループット及び処理の効率を最大化するために様々な装置を動作させることができる。

40

### 【 0 0 3 7 】

[0050] リソグラフィ装置によって露光される基板が正確かつ一貫して露光されるように、露光した基板を検査し、2 つの層間のオーバレイ誤差、ラインの太さ、クリティカルディメンション（C D ）などの特性を測定することが望ましい。誤差が検出された場

50

合は、特に同じバッチの他の基板がまだ露光されないほど十分即座にかつ高速で検査を実行できる場合は、後続基板の露光を調整することができる。また、既に露光した基板を(歩留まりを改善するために)取り外して再加工するか、又は廃棄し、それにより欠陥があることが分かっている基板で露光を実行するのを回避することができる。基板の幾つかのターゲット部分のみに欠陥がある場合、良好であるそれらのターゲット部分のみでさらなる露光を実行することができる。

【0038】

[0051] 基板の特性を、特に異なる基板又は同じ基板の異なる層の特性が層ごとにいかに変化するかを決定するために、検査装置が使用される。検査装置をリソグラフィ装置LAに組み込むことができる、又はリソセルLCは独立型デバイスとすることができる。最も迅速な測定を可能にするために、検査装置は露光直後に露光したレジスト層の特性を測定することができる。しかし、レジストの潜像はコントラストが非常に低く、例えば放射に露光してあるレジストの部分と露光していない部分との間には屈折率の非常に小さい差しかない場合のように、すべての検査装置が、潜像を有用に測定するほど十分な感度を有しているわけではない。したがって、露光後ペークステップ(PEB)の後に測定を実行することができ、これは通常は露光した基板で実行する最初のステップであり、レジストの露光部分と非露光部分との間のコントラストを増大させる。この段階で、レジストの像を半潜像と呼ぶことができる。現像したレジスト像で、その時点でレジストの露光部分又は非露光部分は除去されているか、又はエッチングなどのパターン転写ステップの後で測定することも可能である。後者の見込みは、欠陥がある基板を再加工する見込みを制限するが、それでも有用な情報を提供することができる。

10

【0039】

[0052] 図3は、本発明に使用できるスキャトロメータを示す。このスキャトロメータは、放射を基板W上に投影する広帯域(白色光)放射プロジェクタ2を備える。反射した放射はスペクトロメータ検出器4へ渡され、スペクトロメータ検出器4は鏡面反射した放射のスペクトル10(波長の関数としての強度)を測定する。このデータから、検出されるスペクトルを生む構造又はプロファイルを処理ユニットPUによって、例えば厳密結合波解析及び非線形回帰によって、又は図3の下部に示されるようなシミュレートしたスペクトルのライブラリとの比較によって再構築することができる。一般的に、再構築するために構造の全体的形状は知られており、幾つかのパラメータは、構造を形成したプロセスの情報から仮定され、スキャトロメトリデータから決定すべき構造のパラメータはわずかしか残らない。そのようなスキャトロメータは、垂直入射スキャトロメータ又は斜め入射スキャトロメータとして構成することができる。しかし、垂直入射の場合、このスキャトロメータはパターンの非対称性に影響されない。0次回折次数でのパターンの非対称性を検出するには、斜め入射が必要である。

20

【0040】

[0053] 本発明にとってより好適な他のスキャトロメータを図4に示す。このデバイスにおいては、放射源2が放出した放射は、干渉フィルタ13及び偏光子17を通してレンズシステム12を使用してコリメートされ、部分反射面16によって反射し、好適には、少なくとも0.9、より好適には少なくとも0.95という高開口数(NA)を有する顕微鏡対物レンズ15を介して基板W上に合焦する。液浸スキャトロメータは、1を超える開口数を有するレンズも有してよい。反射した放射は、次に、散乱スペクトルを検出させるために部分反射面16を透過して検出器18内に達する。検出器は、レンズシステム15の焦点距離にある逆投影された瞳面11に位置してもよいが、瞳面は、その代わりに補助光学装置(図示せず)で検出器に再結像してもよい。瞳面は、放射の半径方向位置が入射角度を画定し、角度位置が放射の方位角を画定する面である。検出器は、基板ターゲット30の2次元角度散乱スペクトルが測定できるように、2次元検出器であることが好ましい。検出器18は、例えば、CCD又はCMOSセンサのアレイであってもよく、例えば、フレーム当たり40ミリ秒の積分時間を使用することができる。

30

【0041】

40

50

[0054] 例えば、入射放射の強度を測定するために、多くの場合、参照ビームが使用される。このために、放射ビームがビームスプリッタ 1 6 に入射すると、その一部が参照ビームとしてビームスプリッタを透過して参照ミラー 1 4 に向かう。次に、参照ビームは、同じ検出器 1 8 の異なる部分上、あるいは別の検出器（図示せず）上に投影される。

【 0 0 4 2 】

[0055] 例えば 4 0 5 ~ 7 9 0 nm 又はさらに低い、 2 0 0 ~ 3 0 0 nm などの範囲の対象となる波長を選択するために、干渉フィルタ 1 3 のセットが使用可能である。干渉フィルタは、様々なフィルタのセットを備える代わりに調整可能であってもよい。干渉フィルタの代わりに格子を使用することもできる。

【 0 0 4 3 】

[0056] 検出器 1 8 は、単一の波長（又は狭い波長範囲）で散乱光の強度を複数の波長で別々に、又はある波長範囲にわたって積分された強度を測定してもよい。さらに、検出器は、TM 偏光及び TE 偏光の強度及び / 又は TM 偏光と TE 偏光の位相差を別々に測定してもよい。

【 0 0 4 4 】

[0057] 広帯域光源（すなわち光の周波数又は波長、したがって色の範囲が広い光源）を使用することができ、これによって大きなエタンデュを生じさせて、複数の波長を混合できるようにする。広帯域の複数の波長は、好みしくはそれぞれ の帯域幅及び少なくとも 2 （すなわち、帯域幅の 2 倍）の間隔を有する。幾つかの放射「源」は、ファイバ束を使用して分割された拡張した放射源の異なる部分でもよい。こうして、角度分解散乱スペクトルを複数の波長において並列に測定することができる。3 次元スペクトル（波長と 2 つの異なる角度）を測定することができ、これは、2 次元スペクトルより多くの情報を含む。これによって、より多くの情報を測定することができ、メトロロジープロセスの堅牢性が向上する。これは、参照によりその全体を本明細書に組み込むものとする E P 1 , 6 2 8 , 1 6 4 A 号に詳述されている。

【 0 0 4 5 】

[0058] 基板 W 上のターゲット 3 0 は、現像後にバーが固体レジスト線で形成されるように印刷された 1 次元周期格子であってもよい。ターゲット 3 0 は 2 次元周期格子であってもよく、この 2 次元周期格子は、現像後に格子が固体レジストピラー又はレジストのビアで形成されるように印刷される。あるいは、バー、ピラー、又はビアを基板内にエッチングしてもよい。このパターンは、リソグラフィ投影装置、特に投影システム P L 内の色収差に影響されやすく、照明の対称性及びそのような収差の存在は、印刷された格子内の変動にはっきりと現れる。したがって、印刷された格子のスキャトロメトリデータを使用して格子が再構築される。線幅及び形状などの 1 次元格子のパラメータ、又はピラー若しくはビアの幅、長さ、若しくは形状などの 2 次元格子のパラメータを、印刷ステップ及び / 又は他のスキャトロメトリプロセスの情報から、処理ユニット P U によって行われる再構築プロセスに入力することができる。

【 0 0 4 6 】

[0059] 上記のように、ターゲットは基板の表面上にある。このターゲットは、多くの場合、格子内の一連の線又は 2 次元アレイ内の略矩形構造の形をとる。メトロロジーにおける厳密光回折理論の目的は、ターゲットから反射された回折スペクトルを効果的に計算することである。言い換えれば、ターゲット形状の情報は、CD（クリティカルディメンション）の均一性及びオーバレイメトロロジーのために得られる。オーバレイメトロロジーは、基板上の 2 つの層が整合されているか否かを判断するために 2 つのターゲットのオーバレイを測定する測定システムである。CD の均一性は、リソグラフィ装置の露光システムがどのように機能しているかを判定するためのスペクトル上の格子の均一性の単なる測定値である。特に、CD、すなわちクリティカルディメンションは、基板上に「書き込まれた」オブジェクトの幅であり、リソグラフィ装置が基板上に書き込むことが物理的に可能である限界である。

【 0 0 4 7 】

10

20

30

40

50

[0060] 上記のスキャトロメータの1つをターゲット30などのターゲット構造のモデル化及びその回折特性と組み合わせて使用して、構造の形状及びその他のパラメータの測定を幾つかの方法で実行できる。図5が示す第1のタイプのプロセスでは、ターゲット形状の第1の推定値（第1の候補構造）に基づく回折パターンを計算し、観察された回折パターンと比較する。次に、モデルのパラメータを体系的に変化させ、回折を一連の反復で再計算し、新しい候補構造を生成して最良適合に到達する。図6が示す第2のタイプのプロセスでは、多くの異なる候補構造の回折スペクトルを事前に計算して回折スペクトルの「ライブラリ」を生成する。次に、測定ターゲットから観察された回折パターンを、計算されたスペクトルのライブラリと比較して最良適合を見つける。両方の方法を併用することができる。すなわち、粗い適合をライブラリから得て、その後、反復プロセスで最良適合を見つけてもよい。

10

#### 【0048】

[0061] 以下に、図5をより詳細に参照して、ターゲット形状及び/又は材料特性の測定を実行する方法を要約する。この説明では、ターゲットは1方向のみにおいて周期的であることを前提とする（1次元構造）。実際には、2方向において周期的であってよく（2次元構造）、処理はそれに応じて適合される。

#### 【0049】

[0062] ステップ502では：基板上の実際のターゲットの回折パターンが、上述したようなスキャトロメータを用いて測定される。この測定された回折パターンが、コンピュータなどの計算システムへ送られる。計算システムは、上記の処理ユニットPUであってもよく、又は別の装置であってもよい。

20

#### 【0050】

[0063] ステップ503では：幾つかのパラメータ $p_i$ （ $p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$ など）について、ターゲット構造のパラメータ化されたモデルを定義する「モデルレシピ」が確立される。これらのパラメータは、例えば、1次元周期構造において、側壁の角度、フィーチャの高さ又は深さ、フィーチャの幅を表すことができる。ターゲット材料及びその下にある層の特性も、（スキャトロメトリ放射ビームに存在する特定の波長における）屈折率などのパラメータによって表される。具体例を以下に示す。重要なことには、ターゲット構造は、その形状及び物質特性を示す数十のパラメータによって定義できるが、モデルレシピはこれらのうちの多数を定義して固定値を持たせる一方、他のパラメータは以降のプロセスステップのために可変又は「流動的な」パラメータである。さらに以下に、固定パラメータと流動パラメータとの間の選択を行うプロセスを説明する。さらに、完全に独立した流動パラメータなしにパラメータが変化することを可能にする方法を紹介する。図5を説明するために、可変パラメータのみをパラメータ $p_i$ と見なす。

30

#### 【0051】

ステップ504では：モデルターゲットの形状が、流動パラメータに対する初期値 $p_i(0)$ （すなわち、 $p_1(0)$ 、 $p_2(0)$ 、 $p_3(0)$ など）を設定することによって推定される。各流動パラメータは、レシピに定義されるようなある所定の範囲内で生成される。

40

#### 【0052】

[0064] ステップ506では：推定形状を表すパラメータは、モデルの別々の要素の光学特性と共に使用されて、例えば、RCWAなどの厳密光学回折法又はマクスウェル方程式の他任意の解法を用いて散乱特性を計算する。これによって、推定ターゲット形状の推定又はモデル回折パターンが与えられる。

#### 【0053】

[0065] ステップ508、510では：次に、測定回折パターンとモデル回折パターンとが比較され、類似点及び相違点を用いてモデルターゲット形状の「メリット関数」が計算される。

#### 【0054】

[0066] ステップ512では：実際のターゲット形状を正確に表す前にモデルを改良する

50

必要があることをメリット関数が示すということを前提にして、新しいパラメータ  $p_1$  ( <sup>1</sup> ) 、  $p_2$  ( <sup>1</sup> ) 、  $p_3$  ( <sup>1</sup> ) などが推定され、ステップ 506 に反復的に戻される。ステップ 506 ~ 512 が繰り返される。

#### 【 0055 】

[0067] この検索を支援するために、ステップ 506 の計算は、メリット関数の偏導関数をさらに生成することができる。これは、パラメータ空間のこの特定の領域において、パラメータを増加又は減少させることによってメリット関数が増加又は減少する感度を示す。メリット関数の計算及び導関数の使用は、一般に当業者に知られており、本明細書では詳述しない。

#### 【 0056 】

[0068] ステップ 514 では：この反復プロセスが所望の精度で解に収束したことをメリット関数が示す場合、現在の推定パラメータが実際のターゲット構造の測定値として報告される。

#### 【 0057 】

[0069] この反復プロセスの計算時間は、主に、使用される順方向回折モデル、すなわち、推定ターゲット構造から厳密光回折理論を用いて推定モデル回折パターンを計算することで決定される。より多くのパラメータが必要な場合、自由度の数は増加する。原則として、計算時間は、自由度の数の累乗に比例して増加する。ステップ 506 で計算された推定又はモデル回折パターンは、様々な形で表すことができる。計算されたパターンがステップ 510 で生成される測定パターンと同一の形で表される場合、比較が簡単化される。例えば、モデル化スペクトルを、図 3 の装置によって測定されたスペクトルと容易に比較することができる。すなわち、モデル化された瞳パターンを図 4 の装置によって測定された瞳パターンと容易に比較することができる。

10

20

#### 【 0058 】

[0070] 図 5 以降の説明を通じて、「回折パターン」という用語は、図 4 のスキャトロメータが使用されるという前提のもとに使用される。当業者は、この教示を別のタイプのスキャトロメータ、又は他のタイプの測定機器に対しても容易に適合させることができる。

#### 【 0059 】

[0071] 図 6 は、異なる推定ターゲット形状（候補構造）に対する複数のモデル回折パターンを事前に計算し、実測値との比較のためにライブラリ内に記憶する代替の例示的なプロセスを示している。基本的な原則及び用語は、図 5 のプロセスに関するものと同じである。図 6 のプロセスのステップは以下の通りである。

30

#### 【 0060 】

[0072] ステップ 602 では：ライブラリを生成するプロセスを開始する。ターゲット構造のタイプごとに別々のライブラリを生成することができる。ライブラリは、必要に応じて測定装置のユーザによって生成されてもよく、又は装置の供給業者によって事前に生成されてもよい。

#### 【 0061 】

[0073] ステップ 603 では：幾つかのパラメータ  $p_i$  (  $p_1$  、  $p_2$  、  $p_3$  など) について、ターゲット構造のパラメータ化されたモデルを定義する「モデルレシピ」が確立される。考慮すべきことは、反復プロセスのステップ 503 と同様である。

40

#### 【 0062 】

[0074] ステップ 604 では：パラメータの第 1 のセット  $p_1$  ( <sup>0</sup> ) 、  $p_2$  ( <sup>0</sup> ) 、  $p_3$  ( <sup>0</sup> ) などが、例えば、各々が期待値範囲内にあるすべてのパラメータのランダム値を生成することで生成される。

#### 【 0063 】

[0075] ステップ 606 では：モデル回折パターンが計算され、ライブラリ内に記憶される。このモデル回折パターンは、パラメータが表すターゲット形状から推定された回折パターンを表す。

#### 【 0064 】

50

[0076] ステップ 608 では：形状パラメータの新しいセット  $p_1^{(1)}$ 、 $p_2^{(1)}$ 、 $p_3^{(1)}$  などが生成される。すべての記憶されたモデル化回折パターンを含むライブラリが十分に完成していると判断されるまで、ステップ 606～608 が数十回、数百回、又は数千回繰り返される。各々の記憶されたパターンは、多次元パラメータ空間のサンプル点を表す。ライブラリ内のサンプルは、任意の現実の回折パターンが十分に近接して表されるのに十分な密度でサンプル空間を埋める。

【0065】

[0077] ステップ 610 では：ライブラリが生成されると（その前であってもよいが）、現実のターゲット 30 がスキャトロメータ内に配置され、その回折パターンが測定される。

10

【0066】

[0078] ステップ 612 では：測定されたパターンがライブラリ内に記憶されたモデル化パターンと比較され、最良の一一致パターンを見つけられる。比較はライブラリ内のサンプルごとに行うことができるか、又は演算の負荷を低減するためにより系統的な検索法を採用することができる。

【0067】

[0079] ステップ 614 では：次に、一致が見つかった場合、一致するライブラリパターンを生成するために使用される推定ターゲット形状を概略のオブジェクト構造として決定することができる。一致サンプルに対応する形状パラメータが、測定形状パラメータとして出力される。一致プロセスはモデル回折信号に対して直接行うことができるか、又は高速評価のために最適化された代替モデルに対して行うことができる。

20

【0068】

[0080] ステップ 616 では：オプションとして、最も近い一致サンプルを開始点として用い、改良プロセスを用いて報告用の最終パラメータが得られる。この改良プロセスは、例えば、図 5 に示すプロセスと非常に類似した反復プロセスを含んでもよい。

【0069】

[0081] 改良ステップ 616 が必要であるか否かは、実施者の選択事項である。ライブラリが非常に稠密にサンプリングされている場合、良好な一致が常に見つかるので反復改良は必要とされない場合がある。一方、そのようなライブラリが実用には大きすぎる場合がある。したがって、実際的な解決法は、パラメータの粗いセットを求めるライブラリ検索を使用し、その後、1回以上の反復でメリット関数を用いてより正確なパラメータのセットを決定して所望の精度でターゲット基板のパラメータを報告するという方法である。追加の反復を行う場合、計算された回折パターン及び関連付けられた改良パラメータのセットをライブラリの新しいエントリとして追加するオプションが可能である。このようにして、比較的少ない演算作業量に基づくものの、改良ステップ 616 の演算作業を用いてより大きなライブラリに構築されるライブラリを、最初に使用することができる。どの方式を用いても、複数の候補構造の一致という長所に基づいて、報告される可変パラメータの1つ以上の値のさらなる改良を達成できる。例えば、両方の又はすべての候補構造が高一致スコアを有することを前提にすると、最終的に報告されるパラメータ値は、複数の候補構造のパラメータ値の間で補間を行うことによって生成できる。

30

【0070】

[0082] この反復プロセスの演算時間は、主に、ステップ 506 及び 606 での順方向回折モデル、すなわち、推定ターゲット形状から厳密光回折理論を用いて推定モデル回折パターンを計算することで決定される。

40

【0071】

[0083] 本発明は、オーバレイ誤差を決定する実施形態に関する。

【0072】

[0084] 図 7 は、モデル内の中央にある上部格子の位置決めを示す本発明のある実施形態によるオーバレイ誤差を決定する方法を示す。

【0073】

50

[0085] ステップ 702 では：ウェーハ上のターゲットの散乱特性が測定される。測定されたターゲットは、層 708 及び 710 内に形成された処理済格子などの第 1 の構造 706 を含む。構造 706 は、この例では、右側の側壁よりも浅い勾配を有する左側の側壁を有するプロセス誘導非対称歪を有する。図 4 に関連して説明した SM2 などのスキヤトロメータを使用して、ターゲットは、放射 712 の（例えばアパー・チャを用いるなど）照明プロファイル 711 で照明される。散乱放射 714 は瞳面内で検出され、角度分解スペクトル 716 が得られる。照明プロファイル 711 によって、ターゲットの少なくとも 1 つの特性が別々に検出された 0 次回折次数とより高次の回折次数とを用いて再構築できる。分解スペクトル 716 内で示すように、1 次回折パターンが照明プロファイル内の暗い象限に対応する 2 つの象限（右上と左下）に示され、0 次（反射）回折パターンが他の 2 つの象限に示されている。したがって、回折次数は分離され、1 次回折次数の一部が瞳面内で 0 次と混合する従来の環状プロファイルの欠点が回避される。環状照明は回折光内の情報が少ないため、環状照明プロファイルは測定されたターゲットの非対称性の誤差を引き起こすことがある。例えば、環状照明では、ターゲットの非対称性を測定するのに有用な情報を含む光ビームの垂直に近い入射は存在しない。10

#### 【0074】

[0086] ステップ 718 では：図 5 及び図 6 に関連して述べたように、モデル化プロセスを用いてターゲットのモデルが構築される。モデル構造 722～726 は、それぞれターゲット構造 706～710 に対応する。したがって、処理されたオーバレイターゲットはその非対称歪を含んで再構築される。20

#### 【0075】

[0087] ステップ 728 では：第 1 のモデル構造 722 の非対称性に基づいてモデルが修正される。このステップはその非対称性を補償するために、第 1 のモデル構造 722 の位置パラメータ、この例では中央点を定義するステップを含む。処理された再構築格子の「0」位置（すなわち、「中央」）732 が定義される。半導体デバイス製造業者（すなわち、エンドユーザー）はプロセスモデルの物理的な説明又は電気的オーバレイ測定又はデバイス歩留まりとの相関関係などのその他の方法に基づいてこの中央位置 732 を定義する入力を与えることができる。中央 732 は、例えば、所期の構造形状の情報を用いて（いかなるプロセス誘導非対称性も用いずに）定義できる。30

#### 【0076】

[0088] この実施形態では、この例のレジスト格子を表す第 2 のモデル構造 730 がこの段階でモデルに導入される。第 1 のモデル構造 722 及び第 2 のモデル構造 730 は、位置パラメータを用いて互いに対しても位置決めする。これは、図 7 で、モデル構造 722 及び 730 の一方又は両方のモデル内に位置を挿入する（しかし、図 9 に示すように、移動しても実行できる）ことで達成される。この位置決めは、それらが互いに対しても中央にあるようにモデル構造を重ねてもよい（図 7、図 9 及び図 10）。あるいは、モデル構造 722 及び 730 を意図的なオフセット X で互いに対しても位置決めしてもよい（図 8 及び図 11）。

#### 【0077】

[0089] 分析ソフトウェアでは、レジスト格子 730 が処理済格子 722 の中央 732 の上部の中央にある（すなわち、オーバレイ誤差がゼロである）ような方法でレジスト格子 730 が再構築されたプロセススタック上に挿入され配置される。これは完全にソフトウェア内で実行でき、したがって、現実の実験は不要である。図 7 に示すように、この位置は、矢印 b の間の上部構造 730 の中央が矢印 a の間の基礎構造 722 の中央 732 と同じ位置にあるように調整されている。図 7 で、上部モデル構造 720 及び 730 の幅、すなわち、b + b は、下部モデル構造の幅 a + a と同じである（プロセス誘導非対称性なしに）。しかし、各々の幅は異なっていてもよいことを理解されたい。すなわち、a - b であってもよい。

#### 【0078】

[0090] ステップ 734 では：第 1 のモデル構造 722 と第 2 のモデル構造 730 との間40

50

の非対称性誘導オーバレイ誤差  $OV_r$  が修正モデルを用いて決定される。非対称性誘導オーバレイ誤差は、瞳面内の検出器全体のピクセルで決定される + 1 次及び - 1 次回折次数の間の瞳面内の強度デルタとして計算できる。少量の非対称性についても比較的大きい非対称性誘導オーバレイ誤差を有するピクセルが瞳面内に識別される。これらのピクセルは、以下のステップ 736 で全体の瞳面の非対称性誘導オーバレイ誤差数  $OV_r$  の計算から除外される。

#### 【0079】

[0091] 非対称性誘導オーバレイ誤差は、修正モデル上でのスキャトロメータオーバレイ測定をシミュレートする数値計算によって計算できる。そのような測定は、参照によりその全体を本明細書に組み込むものとする米国特許公開第 2006/0033921A1 号に開示されている。通常、これは幾つかのスキャトロメータ測定レシピにわたって繰り返されるので、異なるレシピ、例えば、照明波長と偏光の異なる組合せを有する補正のセット  $OV_r$  が後続の使用のために準備される。非対称性誘導オーバレイ誤差  $OV_r$  は、次のステップ 736 で説明するように、半導体デバイス製造中のオーバレイ測定にその後適用される補正である。

#### 【0080】

[0092] ステップ 736 では：図 4 に関連して説明する SM2 などのスキャトロメータ内のレシピ  $r$  を用いて測定された（未補正の）オーバレイ誤差  $OV'_{r,r}$  が得られ、生産半導体ウェーハ上などの第 2 のターゲットの角度分解スペクトル 748 が測定される。測定された第 2 のターゲットは、層 740 及び 742 内に形成される処理済格子などの第 1 の構造 738 を含む。構造 738 は、構造 706 と同様のプロセス誘導非対称歪を有する。図 4 に関連して説明する SM2 などのスキャトロメータを用いて、ターゲットは放射 744 の照明プロファイル 743 で照明される。散乱放射 746 が検出され、角度分解スペクトル 748 が得られる。環状照明プロファイル 743 は、米国特許公開第 2006/0033921A1 号に開示されるような、使用する回折ベースのオーバレイ測定方法に好適である。この方法はいかなる再構築も含まず、したがって、生産ウェーハに関しては十分高速であるが基礎の処理済格子の非対称性によって劣化しており、この非対称性を補正することが望ましい。

#### 【0081】

[0093] 第 2 のターゲットの非対称性誘導オーバレイ誤差  $OV_r$  と測定オーバレイ誤差  $OV'_{r,r}$  との差を計算することで補正オーバレイ誤差  $OV'$  が決定される。したがって、この補正オーバレイ誤差  $OV' = OV'_{r,r} - OV_r$  である。

#### 【0082】

[0094] 測定瞳面内の座標  $x$  及び  $y$  の全ピクセルを考慮に入れて、計算されたオーバレイ数  $OV'_{r,r}$  を用いて、オーバレイ補正が計算できる。すなわち、

#### 【数 1】

$$OV' = \sum_{x,y} OV'_{r,x,y} - \sum_{x,y} \Delta OV_{r,x,y}$$

である。

#### 【0083】

[0095] あるいは、各ピクセルのオーバレイ補正を最初は個別に計算し、次に、全ピクセルについてオーバレイを平均することで正味オーバレイ誤差を計算できる。すなわち、

#### 【数 2】

$$OV' = \sum_{x,y} (OV'_{r,x,y} - \Delta OV_{r,x,y})$$

である。

10

20

30

40

50

## 【0084】

[0096] 第2のターゲット内のオーバレイ誤差  $OV'$  の測定で、図10及び図11に関連して以下に説明する実施形態に従ってこのステップのために最適なレシピ  $r'$  を決定し選択できる。

## 【0085】

[0097] ターゲット形状はウェーハにわたって変化するため、ステップ702、718、728、734及び736はウェーハ上のターゲットごとに、又はターゲットの代表的なサブセット上で実行してもよい。

## 【0086】

[0098] この実施形態は、半導体製造における処理の変動を低減する効果があり、究極的にオーバレイ改善を助ける。さらに、半導体製造の歩留まりが向上する。 10

## 【0087】

[0099] 様々な測定レシピ  $r$  についての非対称性誘導オーバレイ誤差  $OV_r$  の上記計算を、 $OV_{r'} = 0$  であるゼロに近いオーバレイ誤差の測定値を補正するのに有用な図7に関連して説明する中央にある格子について実行できる。しかし、大きなオーバレイ誤差

## 【数3】

$$OV_r \approx X$$

の測定では、測定オーバレイ誤差  $X$  の付近、すなわち、

## 【数4】

$$\Delta OV_{r,X \approx OV_r}$$

でこの非対称性誘導オーバレイ誤差を計算することが有用である。したがって、補正オーバレイ誤差は、

## 【数5】

$$OV = OV_r - \Delta OV_{r,X \approx OV_r}$$

である。これは、回折ベースのオーバレイの非線形挙動のためである。大きなオーバレイ誤差と比較してゼロに近いオーバレイ誤差について、同量のターゲットの非対称性からわずかに異なる非対称性誘導オーバレイ誤差が発生する。この方法を図8及び図11に関連して説明する。 30

## 【0088】

[00100] 図8は、モデル内のオフセットされた上部格子の位置決めを示す本発明のある実施形態によるオーバレイ誤差を決定する方法を示す。図8で、図7と同じ数字は、同じステップ及びオブジェクトに対応する。しかし、図8では、ステップ828で、レジスト格子830が処理済格子722の中央732から距離  $X$  だけオフセットされる（すなわち、オーバレイ誤差が  $X$  である）ような方法で、上部レジスト格子を表す第2のモデル構造830を再構築されたプロセススタック上に挿入することでモデルが修正される。

## 【0089】

[0100] これを  $X$  の幾つかの値について繰り返してオフセット  $X$  のある範囲について非対称性誘導オーバレイ誤差のライブラリ又はルックアップテーブルを構築できる。  $X$  は、図7に示すケースと同等である0に等しくてもよい。ステップ834で、 $X$  の値の各々について修正モデルを用いて第1のモデル構造722と第2のモデル構造830との間の非対称性誘導オーバレイ誤差  $OV_{r,X}$  が決定される。 40

## 【0090】

[0101] 図8に、基礎の製品格子738からほぼ  $X$  のオフセットを有する上部製品格子構造840が示されている。ステップ836は、測定オーバレイ誤差  $X$  に一致する非対称性誘導オーバレイ誤差の値、すなわち、

## 【数6】

$$\Delta OV_{r,X \approx OV'r}$$

が選択され、次に、上記のように、補正オーバレイ誤差は、

## 【数7】

$$OV' = OV'_{r'} - \Delta OV_{r,X \approx OV'r}$$

になる。

## 【0091】

[0102] 図9は、底部及び上部格子の両方の測定及び再構築を示す本発明のある実施形態によるオーバレイ誤差を決定する方法を示す。図9で、図7と同じ数字は、同じステップ及びオブジェクトに対応する。しかし、図9では、第1のターゲットの単位セルは、処理済構造706上に重ねられたレジスト格子などのレジスト構造904を有する断面で示されている。

10

## 【0092】

[0103] ステップ918で、図5及び図6に関連して説明したモデル化プロセスを用いて、ターゲットのモデルが構築される。モデル構造920は、ターゲット構造904に対応する。ステップ928で、第1のモデル構造722と第2のモデル構造730が位置パラメータを用いて互いに対し位置決めするようにモデルが修正される。これは、図9で、モデル構造920のモデル内の位置を位置730へ移動することで達成される。この移動はモデル構造に重なるため、モデル構造は互いに対し中央に位置する。あるいは、図8に関連して説明したように、モデル構造722及び730を意図的なオフセットXで互いに対し位置決めしてもよい

20

## 【0093】

[0104] あるいは、モデル構造を移動させずに、モデル構造722と920との間のオーバレイ誤差をモデル化するためのオーバレイパラメータを調整することで、モデルを修正できる。したがって、モデル内でのモデル構造の位置は変化しない。

30

## 【0094】

[0105] 図10は、最適なレシピを決定するための変化するモデル化された非対称性を示す本発明のある実施形態によるオーバレイ誤差を決定する方法を示す。

## 【0095】

[0106] ステップ1002では：ウェーハ（図示せず）上のターゲットの散乱特性が測定される。図7に関連して説明したように、スキャトロメータを用いて角度分解スペクトル716が得られる。

30

## 【0096】

[0107] ステップ1004では：図7に関連して説明したように、ターゲットのモデルが構築される。幾何学的パラメータ $p^{(n)}$ は、図7の下部ターゲット構造706の形状に対応するモデル構造722のパラメータである。特に、 $p^{(n)}$ は、下部モデル構造722の非対称性を記載する形状パラメータである。この例では、 $p^{(n)}$ は、特定の側壁勾配角を示す。別のタイプの幾何学的パラメータが層厚さパラメータである。幾何学的パラメータの代わりに、又は追加的に、モデル構造パラメータは放射散乱に影響する材料パラメータを含んでもよい。

40

## 【0097】

[0108] 以下のステップ1006及び1008で、再構築された形状のモデルとその（推定）変動が前方計算機へ供給されて、非対称性誘導オーバレイ誤差が計算される。

## 【0098】

[0109] ステップ1006では：基礎モデル構造722の非対称性に基づいてモデルが修正される。この実施形態では、この修正プロセスは、パラメータ $p^{(n)}$ を異なる値 $p^{(n')}$ 及び $p^{(n'')}$ に調整してモデル構造内の非対称性を変化させ、それによって、下部モデル構造722と挿入された上部モデル構造1030との間の非対称性誘導オーバレ

50

イ誤差を変化させるステップを含む。この例では、 $p^{(n')}$  及び  $p^{(n'')}$  は、異なる特定の側壁勾配角に対応する。

【0099】

[0110] ステップ 1008 では：修正モデルごとに、パラメータ  $p^{(n')}$  及び  $p^{(n'')}$  を用いて、また元のモデルについて、パラメータ  $p^{(n)}$  を用いて、幾つかのスキャトロメータ測定レシピ  $r$  について非対称性誘導オーバレイ誤差  $OV_{r,p}$  の計算が繰り返される。数値計算内で各修正モデル上でのスキャトロメータオーバレイ測定をシミュレートする修正モデルを用いて計算が実行される。

【0100】

[0111] ステップ 1010 では：計算された非対称性誘導オーバレイ誤差  $OV_{r,p}$  を最初に用いて生産ターゲット内のオーバレイ誤差  $OV$  が決定され、例えば、最適な波長と偏光とを有する生産ターゲットを測定するために使用する最適なスキャトロメータ測定レシピ  $r'$  が選択される。上記のモデル変動に対する最も安定した挙動を示すレシピが最適レシピ「 $r'$ 」として選択される。モデル形状パラメータの変動への低い感受性として安定した挙動を決定できる。変動の分析で文脈情報を決定できる。例えば、接点の上に線を配置する場合、プロファイルの最上部によって散乱の測定に集中して最適な結果を与えるレシピを選択することが重要である。

10

【0101】

[0112] ステップ 1012 では：ステップ 1010 で決定したように、最適なレシピ  $r'$  を用いて、図 4 に関連して説明した SM2 などのスキャトロメータを使用して、測定オーバレイ誤差  $OV'_{r'}$  が得られ、角度分解スペクトル 1014 が測定される。

20

【0102】

[0113] 図 10 及び図 11 に関連して説明する実施形態を図 7 ~ 図 9 に関連して説明した実施形態と組み合わせてもよい。例えば、図 10 に関連して説明したように、決定した最適なレシピ  $r'$  を用いて製品オーバレイを測定でき、次に、図 7 に関連して説明したように、測定された製品オーバレイ誤差から非対称性誘導オーバレイ誤差を減算することができる。

【0103】

[0114] 図 11 は、大きなオーバレイ誤差に最適なレシピを決定するための変化するモデル化された非対称性を示す本発明のある実施形態によるオーバレイ誤差を決定する方法を示す。図 11 で、図 10 と同じ数字は、同じステップ及びオブジェクトに対応する。しかし、図 8 に関連して説明したのと同じ目的のために、ステップ 1106 では、上部モデル構造 1130 がオフセット X を付けて挿入される。さらに、ステップ 1108 では、非対称性誘導オーバレイ誤差の計算はレシピ  $r$  ごとに、各オフセット X について実行される。その結果、ステップ 1110 で、各オフセット X について最適なレシピを決定できる。最後にステップ 1112 で、最適でないレシピを用いて製品ウェーハ上の測定でオーバレイ誤差の粗い値を提供できる。次に、粗い測定製品オーバレイ誤差に一致するオフセット X を有する最適なレシピを選択して同じターゲット又は同じ製品オーバレイ誤差を有すると推定される後続のターゲット上での測定を実行できる。

30

【0104】

40

[0115] 図 10 及び図 11 に関連して説明した本発明の実施形態は、スキャトロメータ測定レシピを選択する堅牢な方法を提供する。本発明のこれらの実施形態を使用することで、非対称プロファイルを有する参照層のオーバレイターゲットを使用する際の生産のプロセスの複雑さ、コスト及び時間の増加を回避できる。

【0105】

[0116] 本発明の実施形態による方法は、1つ以上のプロセッサに本明細書に記載する方法を実行させるマシン可読命令の1つ以上のシーケンスを含むコンピュータプログラムプロダクトを実行することで実施できる。

【0106】

[0117] スキャトロメータは自立型検査装置であってもよく、それぞれ図 1 及び図 2 のリ

50

ソグラフィ装置 L A 又はリソグラフィセル L C 内に組み込まれてもよい。

【 0 1 0 7 】

[0118] 本文では I C の製造における方法及び装置の使用に特に言及しているが、本明細書で説明する検査方法及び装置には他の用途もあることを理解されたい。例えば、これは、集積光学システム、磁気ドメインメモリ用誘導及び検出パターン、フラットパネルディスプレイ、液晶ディスプレイ (LCD) 、薄膜磁気ヘッドなどの製造である。こうした代替的な用途に照らして、本明細書で「ウェーハ」又は「ダイ」という用語を使用している場合、それぞれ、「基板」又は「ターゲット部分」という、より一般的な用語と同義と見なしてよいことが、当業者には認識される。本明細書に述べている基板は、露光前又は露光後に、例えばトラック（通常はレジストの層を基板に塗布し、露光したレジストを現像するツール）、メトロロジツール及び／又はインスペクションツールで処理することができる。適宜、本明細書の開示は、以上及びその他の基板処理ツールに適用することができる。さらに基板は、例えば多層 I C を生成するために、複数回処理することができ、したがって本明細書で使用する基板という用語は、既に複数の処理済み層を含む基板も指すことができる。10

【 0 1 0 8 】

[0119] 光リソグラフィの分野での本発明の実施形態の使用に特に言及してきたが、本発明は文脈によってはその他の分野、例えばインプリントリソグラフィでも使用することができ、光リソグラフィに限定されないことを理解されたい。インプリントリソグラフィでは、パターニングデバイス内のトポグラフィが基板上に作成されたパターンを画定する。パターニ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内に刻印され、電磁放射、熱、圧力又はそれらの組合せを印加することでレジストは硬化する。パターニングデバイスはレジストから取り除かれ、レジストが硬化すると、内部にパターンが残される。20

【 0 1 0 9 】

[0120] 本明細書で使用する「放射」及び「ビーム」という用語は、イオンビーム又は電子ビームなどの粒子ビームのみならず、紫外線 (UV) 放射（例えば、365 nm、355 nm、248 nm、193 nm、157 nm 若しくは 126 nm、又はこれら辺りの波長を有する）及び極端紫外線 (EUV) 放射（例えば、5 nm ~ 20 nm の範囲の波長を有する）を含むあらゆるタイプの電磁放射を網羅する。30

【 0 1 1 0 】

[0121] 「レンズ」という用語は、状況が許せば、屈折、反射、磁気、電磁及び静電型光学コンポーネントを含む様々なタイプの光学コンポーネントのいずれか一つ、又はその組合せを指すことができる。

【 0 1 1 1 】

[0122] 以上、本発明の特定の実施形態を説明したが、説明とは異なる方法でも本発明を実践できることが理解される。例えば、本発明は、上記で開示したような方法を述べる機械読み取り式命令の 1 つ以上のシーケンスを含むコンピュータプログラム、又はこのようなコンピュータプログラムを内部に記憶したデータ記憶媒体（例えば半導体メモリ、磁気又は光ディスク）の形態をとることができる。40

【 0 1 1 2 】

[0123] 特許請求の範囲を解釈するには、「発明の概要」及び「要約書」の項ではなく、「発明を実施するための形態」の項を使用するよう意図されていることを理解されたい。「発明の概要」及び「要約書」の項は、本発明者が想定するような本発明の 1 つ以上の例示的実施形態について述べることができるが、全部の例示的実施形態を述べることはできず、したがって本発明及び添付の特許請求の範囲をいかなる意味でも限定しないものとする。

【 0 1 1 3 】

[0124] 以上では、特定の機能の実施態様を例示する機能的構成記憶要素及びその関係を用いて本発明について説明してきた。これらの機能的構成要素の境界は、本明細書では説50

明の便宜を図って任意に画定されている。特定の機能及びその関係が適切に実行される限り、代替的な境界を画定することができる。

【0114】

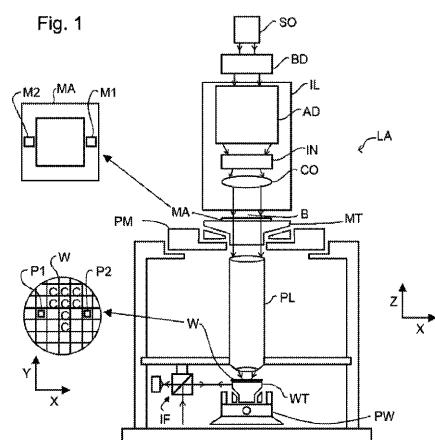
[0125] 特定の実施形態に関する以上の説明は、本発明の全体的性質を十分に明らかにしているので、当技術分野の知識を適用することにより、過度の実験をせず、本発明の全体的概念から逸脱することなく、このような特定の実施形態を容易に修正する、及び／又はこれを様々な用途に適応させることができる。したがって、このような適応及び修正は、本明細書に提示された教示及び案内に基づき、開示された実施形態の同等物の意味及び範囲に入るものとする。本明細書の言葉遣い又は用語は説明のためのもので、限定するものではなく、したがって本明細書の用語又は言葉遣いは、当業者には教示及び案内の観点から解釈されるべきことを理解されたい。

10

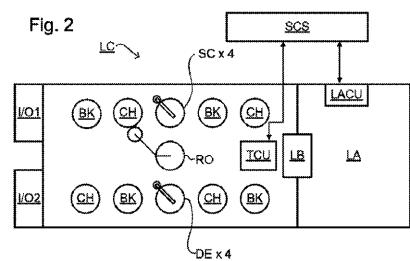
【0115】

[0126] 本発明の幅及び範囲は、上述した例示的実施形態のいずれによっても限定されず、特許請求の範囲及びその同等物によってのみ規定されるものである。上記の説明は例示的であり、限定的ではない。それ故、下記に示す特許請求の範囲から逸脱することなく、記載されたような本発明を変更できることが当業者には明白である。

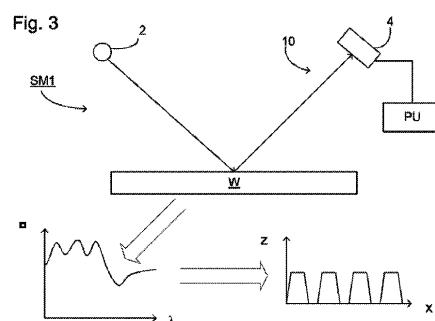
【図1】



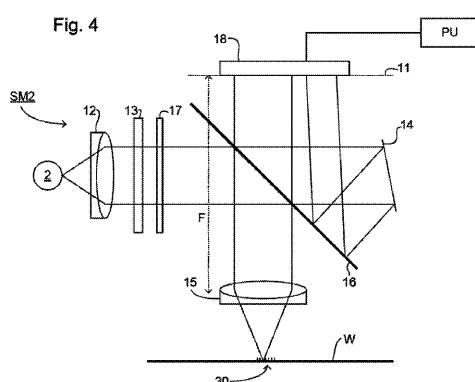
【図2】



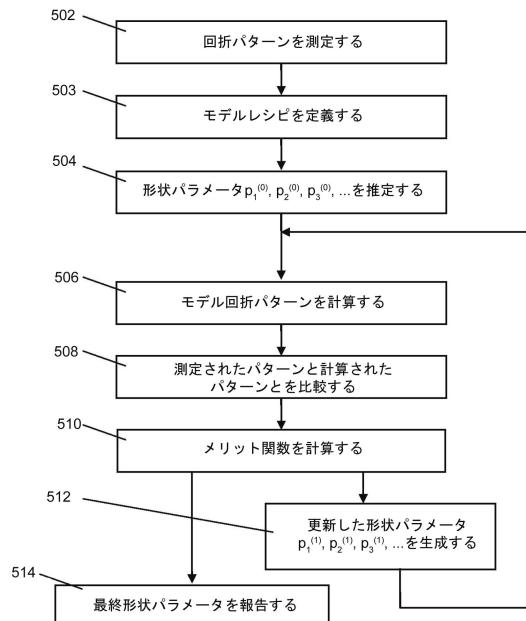
【図3】



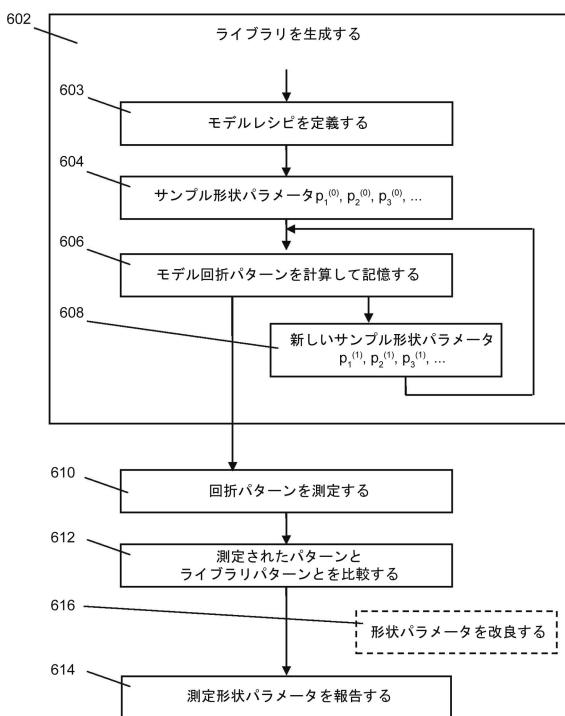
【図4】



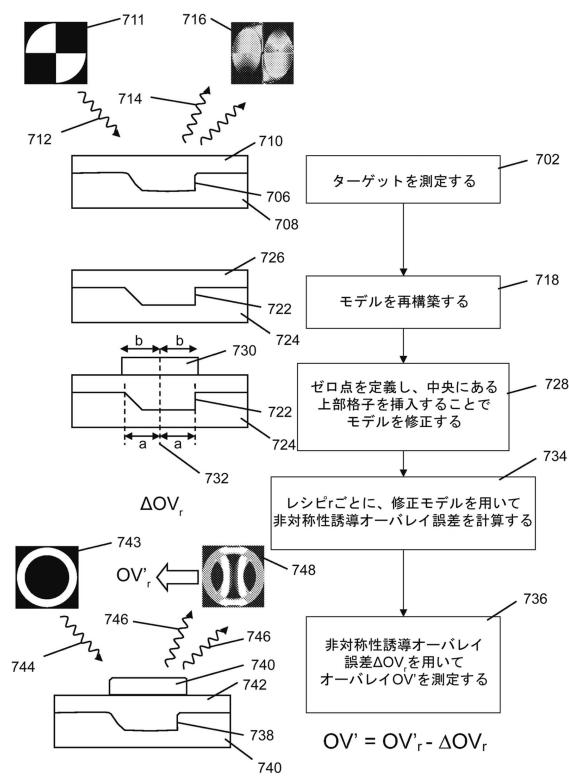
【図5】



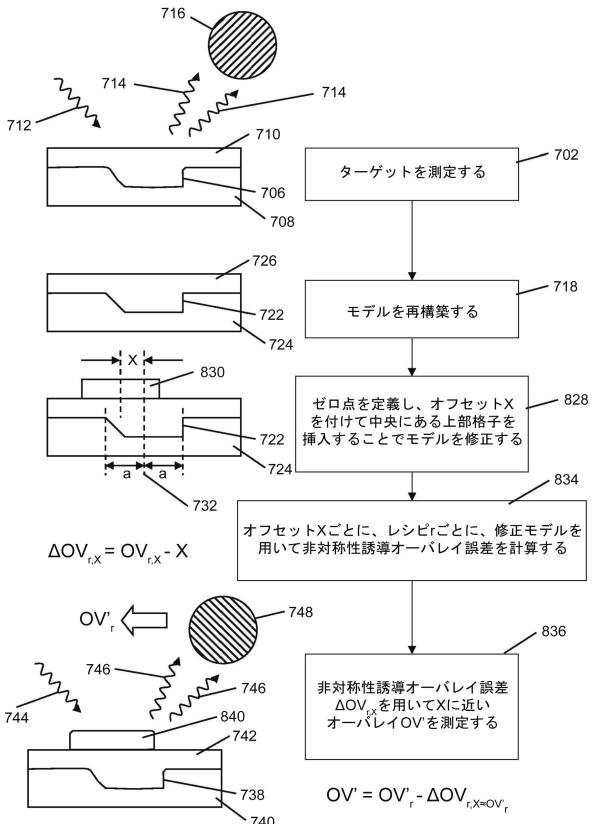
【図6】



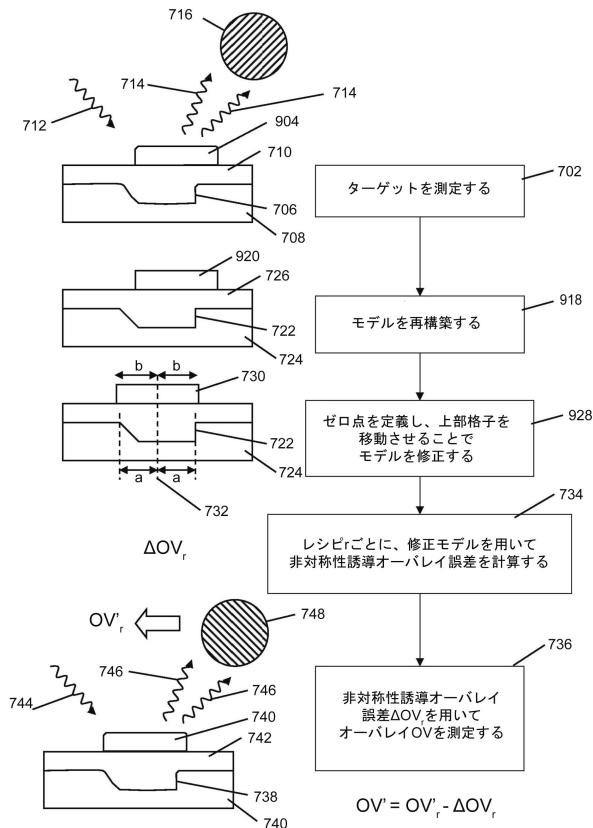
【図7】



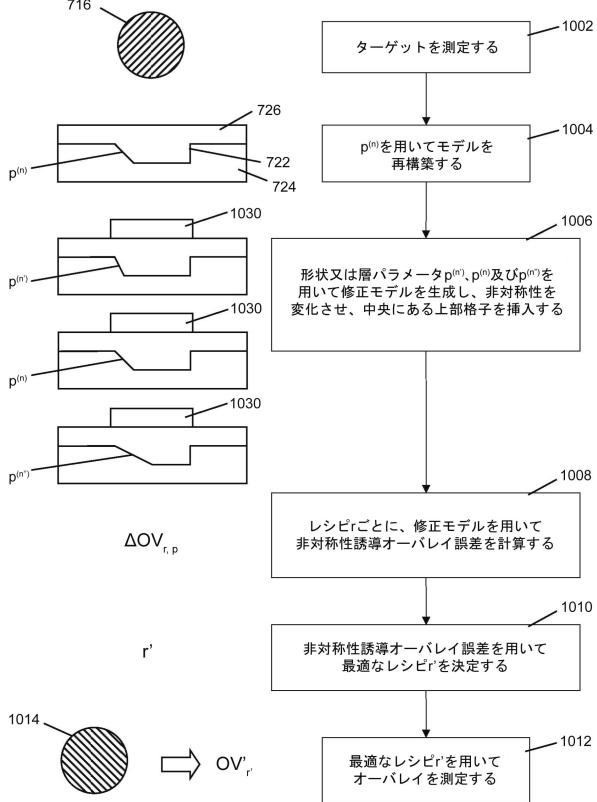
【図8】



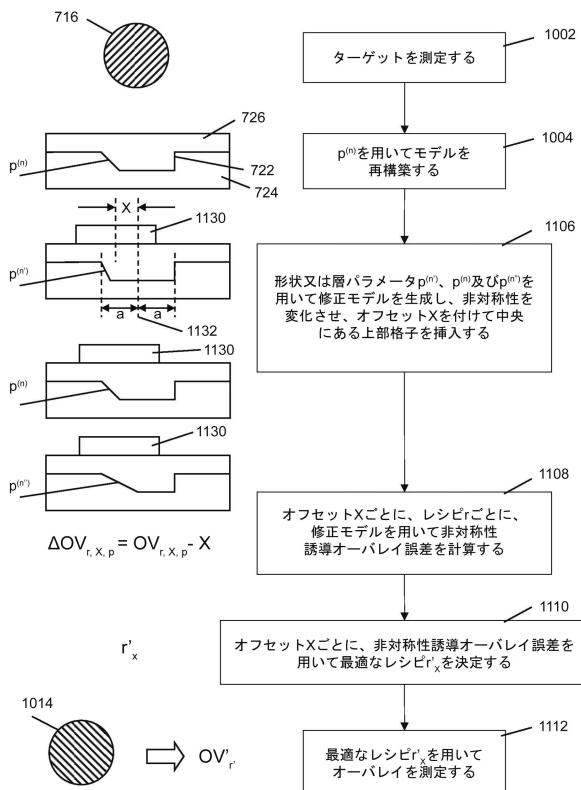
【図9】



【図10】



【図 1 1 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 デン ボーフ , アリー  
オランダ国 , ヴァールレ エヌエル - 5581 エヌエー , エイケンラーン 18

(72)発明者 フックス , アンドレアス  
ドイツ国 , メーアブッシュ 40667 , アム フローンホーフ 22

(72)発明者 クーガンス , マルティン  
オランダ国 , アイントホーフェン エヌエル - 5611シーゼット , フェストディク 218

(72)発明者 バッタチャリヤ , カウスチューブ  
オランダ国 , アイントホーフェン エヌエル - 5653 ピージェイ , アルデンドリール 18

(72)発明者 クービス , ミヒヤエル  
ドイツ国 , ドレスデン ディー - 01097 , テレジエンストラッセ 11エー

(72)発明者 モルガン , ステフェン  
オランダ国 , ソン アン ブリューゲル エヌエル - 5691 エイチジー , ルーアーラーン 1  
3

審査官 藤原 伸二

(56)参考文献 特開2008-042202 (JP, A)  
特表2007-527531 (JP, A)  
米国特許出願公開第2006/0033921 (US, A1)  
国際公開第2010/130600 (WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

H01L 21/027  
G03F 7/00 - 7/24  
G03F 9/00 - 9/02  
G01B 11/00 - 11/30