

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2009-135425

(P2009-135425A)

(43) 公開日 平成21年6月18日(2009.6.18)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/027 (2006.01)	HO 1 L 21/30 5 2 5 W	5 F O 4 6
GO 3 F 9/00 (2006.01)	HO 1 L 21/30 5 2 6 B	
	GO 3 F 9/00 H	

審査請求 有 請求項の数 9 O L 外国語出願 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2008-238306 (P2008-238306)	(71) 出願人	504151804 エーエスエムエル ネザーランズ ビー. ブイ. オランダ国 ヴェルトホーフエン 550 4 ディー アール, デ ラン 6501
(22) 出願日	平成20年9月17日 (2008.9.17)	(74) 代理人	100079108 弁理士 稲葉 良幸
(31) 優先権主張番号	11/902, 186	(74) 代理人	100109346 弁理士 大貫 敏史
(32) 優先日	平成19年9月19日 (2007.9.19)	(72) 発明者	デ モル, クリシアヌス, ジェラルドウ ス, マリア オランダ国, ソン エン ブルーゲル エ ヌエル-6591 エスエヌ, ストックル ーストラート 4
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 エンティティの測定値間の類似性を特徴付ける方法、コンピュータプログラムおよびデータキャリア

(57) 【要約】

【課題】複数のエンティティの測定値間で類似性を効率的に特徴付ける方法を提供する。  
 【解決手段】第1のエンティティおよび第2のエンティティを含む複数のエンティティで測定値間の類似性を特徴付ける方法。この方法は、エンティティ毎に複数の測定ポイントで取得した測定値を受信するステップを含む。確率プロセスと、パラメータのセットおよび測定ポイントに依存する値を有するモデル関数とを備えるモデルが画定される。次に、モデル関数を測定値に適合することによって、パラメータのセット( )を推定する。次のステップは、適合した関数を測定値から引くことによって、第1のエンティティおよび第2のエンティティに対して、複数の測定ポイントのうち少なくとも一部で剰余データを判定することである。次に、判定された剰余データに基づいて、第1のエンティティ(i')および第2のエンティティ(i'')の相関係数を推定し、推定した相関係数を使用して、測定値間の類似性を特徴付ける。この方法では、剰余データが、測定ポイントに依存して、相関係数の推定値を支配する決定性コンポーネントを有するものと予想されるようにモデルが画定される。相関係数は、第1のエンティティの測定ポイントで平均したエンティティ平均剰余の推定値、および第2のエンティティの測定ポイントで平均したエンティティ平均剰余の推定値を使用して推定される。

【選択図】なし

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

第 1 のエンティティ (  $i'$  ) および第 2 のエンティティ (  $i''$  ) を含む複数のエンティティ (  $i$  ) の測定値間の類似性を特徴付ける方法であって、

エンティティ (  $i$  ) 毎に複数の測定ポイント (  $j$  ) で取得した測定値 (  $w_{i,j}$  ) を受信するステップと、

確率プロセスとモデル関数 (  $h$  ) とを備えるモデルを画定するステップであって、前記モデル関数 (  $h$  ) が 1 セットのパラメータ ( ) および測定ポイント (  $j$  ) に依存する値を有するステップと、

前記モデル関数を前記測定値 (  $w_{i,j}$  ) に適合することによって、前記パラメータ ( ) のセットを推定するステップと、

前記適合したモデル関数を前記測定値から引くことによって、前記第 1 のエンティティ (  $i'$  ) および前記第 2 のエンティティ (  $i''$  ) に対して前記複数の測定ポイント (  $j$  ) で剰余データ (  $Z_{i,j}$  ) を判定するステップと、

前記判定された剰余データ (  $Z_{i,j}$  ) に基づいて、前記第 1 のエンティティ (  $i'$  ) および前記第 2 のエンティティ (  $i''$  ) の相関係数 (  $r_{i',i''}$  ) を推定するステップと、

前記推定相関係数 (  $r_{i',i''}$  ) を使用して前記測定値間の前記類似性を特徴付けるステップと、

を含み、

前記剰余データが、前記測定ポイントに依存し、前記相関係数の前記推定値を支配する決定性コンポーネントを有するものと予想されるように前記モデルを画定することと、前記第 1 のエンティティ (  $i'$  ) の前記測定ポイントで平均した前記エンティティ平均剰余の推定値を使用し、且つ前記第 2 のエンティティ (  $i''$  ) の前記測定ポイントで平均した前記エンティティ平均剰余の推定値を使用して前記相関係数 (  $r_{i',i''}$  ) を推定することとを特徴とする方法。

## 【請求項 2】

前記パラメータ ( ) のセットが、前記エンティティに依存するパラメータを含む、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 3】

前記エンティティが、基板、基板層または基板フィールドである、前記請求項のいずれかに記載の方法。

## 【請求項 4】

前記測定値が、前記複数のエンティティのうち 1 つのエンティティのフィーチャの位置測定値に対応する、前記請求項のいずれかに記載の方法。

## 【請求項 5】

前記エンティティ間の類似性の程度を判定するために、前記推定相関係数と閾値とを比較するステップ

を含む、前記請求項のいずれかに記載の方法。

## 【請求項 6】

前記剰余データ (  $Z_{i,j}$  ) に基づいて、前記第 1 のエンティティ (  $i'$  ) と第 3 のエンティティ (  $i'''$  ) との間で少なくとも 1 つの他の相関係数を推定するステップと、

前記推定相関係数および前記推定された他の相関係数に基づいて、平均セット相関係数を推定するステップと、

前記推定平均相関係数を使用して前記類似性を特徴付けるステップと

を含む、前記請求項のいずれかに記載の方法。

## 【請求項 7】

前記複数のエンティティのうち前記第 1 のエンティティ (  $i$  ) と相互のエンティティとの間で前記相関係数を推定するステップと、

前記第 1 のエンティティ (  $i$  ) の平均エンティティ相関係数を推定するステップと、

10

20

30

40

50

前記複数のエンティティのうち他のエンティティ ( i ' ' ' ' ) と相互のエンティティとの間で前記相関係数を推定するステップと、

前記他のエンティティ ( i ' ' ' ' ) に対して他の平均エンティティ相関係数を推定するステップと、

前記推定された平均エンティティ相関係数と、前記推定された他の平均エンティティ相関係数とを比較して、前記類似性を特徴付けるステップと

を含む、請求項 1 から 5 のいずれかに記載の方法。

【請求項 8】

請求項 1 から 7 に記載の方法のいずれか 1 つにより、処理装置が所定のプログラムを実行できるようにする命令およびデータを備えるコンピュータプログラム。

【請求項 9】

請求項 8 に記載のコンピュータプログラムを備えるデータキャリア。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、エンティティの測定値間の類似性を特徴付ける方法に関する。本発明は、また、コンピュータプログラムおよびこのようなコンピュータプログラムを備えるデータキャリアにも関する。

【背景技術】

【0002】

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 ) の製造に使用することができる。このような場合、代替的にマスクまたはレチクルとも呼ばれるパターン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 つまたはいくつかのダイの一部を有する) 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ターゲット部分のネットワークを含んでいる。既知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、いわゆるステップと、基板を所与の方向 (「スキヤン」方向) と平行あるいは逆平行にスキヤンしながら、パターンを所与の方向 (「スキヤン」方向) に放射ビームでスキヤンすることにより、各ターゲット部分が照射される、いわゆるスキヤナとを含んでいる。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。

【0003】

リソグラフィプロセスによる典型的なデバイスの製造は、通常、様々なステップの複数のサイクルを含む。これらのステップは、感光性材料で基板をコーティングすること (または他の方法で感光性材料を基板の 1 つまたは複数の表面に塗布すること) と、像を感光性材料に投影することと、感光性材料を現像することと、基板を処理することとを含むことができる。基板の処理は、基板を新しい材料層で覆うことを含むことができる。リソグラフィプロセスで遭遇することがある問題の 1 つは、連続する層が相互の層の上部に正確に結像されず、したがっていわゆるオーバーレイエラーがあることである。コンポーネントの性能に有害なオーバーレイエラーが既に存在する場合に、その後のステップへと進むのを回避するために、各サイクルの後にオーバーレイエラーを測定することができる。オーバーレイエラーが大きすぎる場合、最も新しい層を除去し、次のステップへと進む前にそのステップを繰り返すことができる。

【0004】

オーバーレイエラーを低減させるために、基板には、通常、複数の基準マークを設け、したがって投影装置内の基板テーブル上の基板の位置を、露光操作の前に非常に精密に測定することができる。この方法で、露光操作の精度を改善することが可能である。何故なら

10

20

30

40

50

、基板と以前に付与したパターン付き層とリソグラフィ装置内のパターンニングデバイスとの相対位置を決定することができるからである。

【0005】

マルチサイクルのリソグラフィプロセスに伴う別の問題は、特定の層及び/又は特定のパターンの付与で生じることがある基板の変形である。変形は、例えば、トポグラフィの3次元変形、基準マーク(形状または深さ)の変形または基板に付着させた層の特性または厚さの変動を含む。化学機械的研磨(CMP)は、基板の変形を引き起こすことでよく知られている。直径が300mm以上の基板を使用する場合、基板の変形がさらに重要な要素になり得ることが予想される。変形を低減するために、基板の全域にわたってプロセスを可能な限り均一に維持することが望ましい。基板の変形は、基板の結像のエラーにつながり、その結果、特定の操作を繰り返すことが必要なことがある。また、リソグラフィによって製造される特定コンポーネントのプロセスの開発中に、プロセスは、基板の変形量を最小限に抑えるか、または少なくとも制限内に維持するように最適化することができる。オーバーレイエラーまたは基板変形の結果としてのエラーを低減させるか、または少なくとも1つまたは複数のこのようなエラーを早期に検出すると、歩留まりの改善につながる。

10

【0006】

基板の表面に存在する小さい粒子は、リソグラフィプロセスを阻害することがある。何故なら、粒子の位置で基板の適切な照明が達成できないからである。一般に、粒子のサイズは、リソグラフィ装置内に存在するレベルセンサでは検出できないが、例えば、基板メーカーの専用測定機器で使われるようなより正確なレベルセンサを使用すると検出できるようなサイズである。

20

【0007】

小さい粒子は、基板キャリア、すなわち支持テーブルまたはチャックと基板との間に存在する場合もある。これらの粒子は、リソグラフィプロセスを実行する前に層を変形する場合がある。

【0008】

粒子は、基板の表面に配置されるその後の層にアーチファクト、いわゆる焦点スポットを引き起こす。アーチファクトがアラインメントマークの下に位置する場合、これはオーバーレイエラーも生じさせることがある。アーチファクトを適時に検出する、すなわち基板に次の層を付与する前に検出すると、歩留まりの改善につながる。

30

【0009】

1つの選択肢は、パターンを基板に付与する直前に、別個の(オフライン)測定計器(計測ツール)またはオンラインでリソグラフィ装置自体で、基板のグリッドの少なくとも一部及び/又はいくつかの基板の基板形状を測定し、測定結果をグラフ表現で表示することである。このようなグラフ表現は、通常、膨大な量のデータを含む。したがって、グラフ表現は、実際には、人間のオペレータでは分析し、解釈することができない。測定された基板のグリッドおよび形状のグラフ表現に基づく解釈は、かなり主観的で時間がかかり、測定データの量が膨大であるので、基板形状、基板グリッドおよび基板フィールド形状の一貫性を規定するために作業可能な状況を提供しない。これは、プロセスの特徴付け、生産への移行基準、および生産品質の監視を阻害する。

40

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

複数のエンティティの測定値間で類似性を効率的に特徴付ける方法を提供することが望ましい。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明のある態様によれば、請求項1による方法が提供される。

【0012】

50

本発明のある態様によれば、請求項 8 に記載のコンピュータプログラムが提供される。

【0013】

本発明のある態様によれば、請求項 9 に記載のデータキャリアが提供される。

【0014】

次に本発明の実施形態を、添付の略図を参照しながら説明するが、これは単に例示としてのものに過ぎない。図面では対応する参照符号は対応する部品を示している。

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

本発明のある実施形態では、基板上で測定を実行するためにリソグラフィ装置が使用される。リソグラフィ装置は、図 1 に概略的に図示されている。この装置は、

- 放射ビーム B (例えば、UV 放射または EUV 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 のポジション PM に接続された支持構造体 (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 のポジション 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 つまたは複数のダイを含む) 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) PS と、

を備える。

【0016】

照明システムは、放射を誘導、整形、または制御するための、屈折、反射、磁気、電磁気、静電気または他のタイプの光学コンポーネント、また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むことができる。

【0017】

支持構造体は、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。これは、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、および例えば、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などの他の条件に依存した方法で、パターニングデバイスを保持する。支持構造体は、パターニングデバイスを保持するために、機械的、真空、静電気、または他のクランプ技術を使用することができる。支持構造体は、例えば、フレームまたはテーブルでよく、必要に応じて固定式または可動式であってもよい。支持構造体は、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「レチクル」または「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。

【0018】

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することができる任意のデバイスを指すものとして広義に解釈されたい。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。

【0019】

パターニングデバイスは透過性または反射性であってもよい。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、およびプログラマブル 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

10

20

30

40

50

クのようなマスクタイプ、さらには種々の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、そのミラーは各々、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。

#### 【0020】

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、また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、反射、反射屈折、磁気、電磁気および静電光学系、また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包含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

10

#### 【0021】

ここに示している本装置は、反射タイプである（例えば、反射マスクを使用する）。代替的に、装置は、透過タイプであってもよい（例えば、透過マスクを使用する）。

#### 【0022】

リソグラフィ装置は、2つ（デュアルステージ）また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）を有するタイプであってもよい。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つまたは複数の他のテーブルを露光に使用している間に1つまたは複数のテーブルで予備ステップを実行することができる。

20

#### 【0023】

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あってもよい。液浸液は、例えば、マスクと投影システムの間などのリソグラフィ装置の他の空間にも適用することができる。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、基板などの構造体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。

#### 【0024】

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、それぞれ別々のエンティティであってもよい。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/又はビームエキスパンダなどを備えるビームデリバリシステムBDにより、放射源SOからイルミネータILへと渡される。他の場合では、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およびイルミネータ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。

30

#### 【0025】

イルミネータILは、放射ビームの角度強度分布を調節するアジャスタADを備えていてもよい。通常、少なくともイルミネータの瞳孔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および-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、インテグレートINおよびコンデンサCOなどの他の種々のコンポーネントを備えていてもよい。また、イルミネータ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もよい。

40

#### 【0026】

放射ビームBは、支持構造体（例えば、マスクテーブルMT）上に保持されたパターンングデバイス（例えば、マスクMA）に入射し、パターンングデバイスによってパターンが与えられる。放射ビームBはマスクMAを通り抜けて、基板Wのターゲット部分C上にビームを集束する投影システムPSを通過する。第2のポジションPWおよび位置センサ

50

IF2 (例えば、干渉計デバイス、リニアエンコーダまたは容量センサ)を用いて、基板テーブルWTを、例えば、放射ビームBの経路において様々なターゲット部分Cに位置決めするように正確に移動できる。同様に、第1のポジシヨナPMおよび別の位置センサIF1を使用して、例えば、マスクライブラリから機械的に検索した後に、またはスキャン中に、放射ビームBの経路に対してマスクMAを正確に位置決めすることができる。一般的に、マスクテーブルMTの移動は、第1のポジシヨナ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)を用いて実現することができる。同様に、基板テーブルWTの移動は、第2のポジシヨナ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により実現することができる。ステップの場合(スキャナとは対照的に)、マスクテーブル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、または固定してもよい。マスクMAおよび基板Wは、マスクアラインメントマークM1、M2および基板アラインメントマークP1、P2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ンメントマークは、専用のターゲット位置を占有するが、ターゲット部分の間の空間に配置してもよい(スクライブレーンアラインメントマークと呼ばれる)。同様に、マスクMA上に複数のダイを設ける状況では、マスクアラインメントマークをダイ間に配置してもよい。

10

## 【0027】

典型的なデュアルステージのリソグラフィ投影装置では、基板基準マークまたはアラインメントマークの数は、基板W当たり約25でよい。見やすくするために、図1にはこれより少数のマスクが図示されている。

20

## 【0028】

図示の装置は、以下のモードのうち少なくとも1つで使用可能である。

1. ステップモードにおいては、マスクテーブルMTおよび基板テーブルWT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1回の静止露光)。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WT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、1回の静止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。

2. スキャンモードにおいては、マスクテーブルMTおよび基板テーブルWTは同期的にスキャンされる一方、放射ビームに与えられたパターンはターゲット部分Cに投影される(すなわち、1回の動的露光)。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の拡大(縮小)および像反転特性によって決定することができる。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、1回の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。

30

3. 別のモードでは、マスクテーブルMTはプログラマブルパターン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WTを移動また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WTを移動させる毎に、また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ン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ン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することができる。

40

## 【0029】

上述した使用モードの組合せ及び/又は変形、または全く異なる使用モードも利用することができる。

## 【0030】

図2には、図1のリソグラフィ装置の測定ステーション領域の他の図が与えられている。図1に示した位置センサIF2は、いくつかの測定ポイントにて、例えば、図1に示す

50

アラインメントマーク ( P 1、 P 2 ) のところで、基板テーブル W T に配置された基板 W の横方向位置 ( x , y 座標 ) および高さ位置 ( z 座標 ) を測定する。基板テーブル W T はアクチュエータ A に接続され、これは第 2 のポジション P W ( 図 2 には図示せず ) の一部であってもよい。これらのアクチュエータは、処理装置 C P U およびメモリ M がある制御デバイス C O N に接続される。処理装置 C P U は、さらに、電気 ( 容量、誘導 ) または光学、例えば、 ( 図 1 に示すような ) 干渉計デバイスによって基板テーブル W T または基板テーブルホルダの位置を測定する横方向位置センサ L P S ( 位置センサ I F 2 の一部 ) から情報を受信する。処理装置は、高さを測定するレベルセンサ L S からの入力及び / 又は投影ビーム P B が基板表面に当たる基板 W のターゲット区域 C からの傾斜情報も受信する。レベルセンサ L S は、例えば、本明細書で説明するような光センサであってもよく、代替的に、 ( 例えば ) 空気圧または容量センサが考えられる。

10

**【 0 0 3 1 】**

本明細書で使用する高さという用語は、基板 W の表面に対して実質的に垂直、すなわち露光される基板 W の表面に対して実質的に垂直の方向を指す。レベルセンサ L S は、1つまたは複数の非常に小さい区域の垂直位置を測定し、高さデータを生成する。レベルセンサ L S は、光ビーム B を生成する光源 L S、光ビーム B を基板 W に投影する投影光学系 ( 図示せず )、検出光学系 ( 図示せず ) およびセンサまたは検出器 D を備えることができる。検出器 D は、高さに依存する信号を生成し、これが処理装置に供給される。処理装置は、高さ情報を処理して、メモリ M に保存できる測定高さマップを構築するように配置される。

20

**【 0 0 3 2 】**

投影装置で高さデータを測定する手順の例が、米国特許第 5 , 1 9 1 , 2 0 0 号に記載されている。この手順は、露光されている、または次に露光される基板 W の一部を測定することによって露光中に ( オンザフライで ) 実行することができるが、基板 W の表面は前もって測定してもよい。後者のアプローチは遠方の位置で、例えば、別個の測定計器で実行してもよい。後者の場合、レベルセンサの測定結果は、いわゆる高さマップまたは高さプロファイルの形態で格納し、露光中に光学要素の焦点面に対して基板 W を位置決めするために使用することができる。

**【 0 0 3 3 】**

レベルセンサ D の測定の結果、高さデータは、基板 W の特定位置の相対的高さに関する情報を含む。これを高さマップと呼ぶこともできる。この高さデータに基づき、例えば、基板の様々な部分からの対応する高さデータ ( 例えば、様々なターゲット部分 C 内の類いの相対的位置に対応する高さデータ ) を平均することによって、高さプロファイルを計算することができる。このような対応する高さデータが使用可能でない場合、高さプロファイルは高さデータに等しい。高さデータまたは高さプロファイルに基づき、レベリングプロファイルを判定することができ、これは投影システム P S に対する基板 W の最適位置決めを示す。このようなレベリングプロファイルは、高さデータまたは高さプロファイル ( の一部 ) を通して直線適合を適用することによって、例えば、測定区域の内側にあるポイントを通した最小二乗適合 ( 3 次元 ) を実行することによって判定することができる。

30

**【 0 0 3 4 】**

以上で説明したように、正確なレベリングには、例えば、レベルセンサを使用して、基板の形状 ( z 位置 ) およびトポグラフィ ( x , y 位置 ) を測定する必要があることがあり、その結果、基板 W の ( 少なくとも一部の ) 高さデータになり、これに基づいてレベリングプロファイルを判定することができる。このようなレベリングプロファイルは、基板 W の局所的な形状および高さを考慮に入れて、投影システム P S に対する基板 W の最適位置を表すことができる。

40

**【 0 0 3 5 】**

方法の第 1 の作業は測定作業である。測定作業は、基板 W 上のアラインメントマークまたは基準マーク ( P 1 , P 2 ) の各々またはいくつかの横方向位置を測定することを含む。代替的または追加的に、測定作業は、基板表面の高さ位置を測定することを含む。一般

50



的に、高さ位置は、基本的に基板の表面全体にわたって分布する測定ポイントで測定される。測定ポイントは、一部または全部がアラインメントマークまたは基準マークと一致することがある。しかし一般的に、測定ポイントはアラインメントマークまたは基準マークとは異なる。特に、後者のマークが基板のグリッド線に配置された場合は異なる。

【0036】

測定作業は、基板テーブルWTに対する基板Wのアラインメントおよびレベリングを測定するために、いかなる場合でも基準マークの位置を測定することができるリソグラフィ投影装置で実行するか、または別個の機械で実行することができる。

【0037】

測定作業中に、測定システムは、測定されるエンティティの相対的高さ位置（z方向、パターンが与えられる基板の表面に対してほぼ垂直）及び/又は横方向位置（x, y方向、z方向および相互に対してほぼ垂直）を測定する。エンティティは、基板自体、または基板の1つまたは複数の特定の基板フィールドのように基板の一部であってもよい。位置の測定は、複数の測定ポイントで、この例では基板Wの基準マークで実行される。

10

【0038】

基準マークの相対的位置の上述した測定作業は、ロット中の基板の類似性または品質を特徴付けるように意図された場合、所与のロットの全基板で、すなわち投影デバイス内で同じ作業を経験する基板で繰り返される。他方で、所与の支持テーブルの基板、すなわち投影デバイスの同じ支持テーブル（ウェーハテーブルまたはチャックとも呼ばれる）で処理されているか、それで処理される基板を特徴付けるように意図された場合は、測定ポイントにおける位置（x, y, z）を測定する作業は、特定の支持テーブルに割り当てられた全基板で繰り返される。

20

【0039】

より一般的には、1セットの基板が測定され、これによって基板セットまたはそのサブセットにある基板を特徴付けることができる。実際には、ロットで測定を実行することが多く、したがってロット（セット）の基板の品質またはロットのサブセットの品質、例えば、リソグラフィデバイスのチャックの1つによって処理された基板の品質を判定することが可能である。

【0040】

同じ基板上の種々のフィールドで特徴付けを実行することも可能である。この場合、測定ポイントで位置を測定する作業を、基板の複数のフィールドで繰り返す。

30

【0041】

上述した測定作業では、基板の（相対的）位置情報を測定するが、作業は、全体的な基板及び/又は関連する特定の層に関する任意の種類データの測定、さらに統計的測定を含んでもよい。例えば、情報は、生の位置データ、基板マーカを示す生のセンサデータ及び/又はデータからの計算値、例えば、パラメータによって示される基準グリッドに対する個々の測定値の拡大、並進、回転または差を含むことができる。

【0042】

実施形態によれば、位置は下式のようにモデル化される。

【数1】

$$p_{i,j} = f_{i,j}$$

ここで、下付き文字は、基板（i）または測定ポイント（j）またはその両方の従属性を示し、pは位置であり、fは測定された基板を生成するプロセスの関数である。本文書を通して、この下付き文字を使用し続ける。

40

【0043】

測定は下式のようにモデル化される。

【数2】

$$w_{i,j} = p_{i,j} + \varepsilon_{i,j}$$

ここで、

wは、測定値であり、

50

は、様々な基板で同一に分布し、静止している、すなわち様々な測定ポイント（ $j$ ）にわたって安定しているランダムプロセスである。ランダムプロセスは、測定ノイズと呼ぶことができ、例えば、測定デバイスに関連するノイズを含む。

【0044】

基板を生成する生産関数  $f$  は、下式のようにモデル化される。

【数3】

$$f_{i,j} = h_j + g_{i,j}$$

ここで、

$h$  は、測定ポイント（ $j$ ）にのみ依存する選択されたモデル関数であり、

$g$  は、以降で明らかにするように、選択する必要がない残余項である。関数  $h$  は、選択されるモデル関数ではなく、拡大を使用するように、基板に付与される将来のプロセスステップのために制御可能な都合のよいパラメータを含む関数を代替的に表す。

10

【0045】

残余項（ $g$ ）は、モデル関数（ $h$ ）で示されない限り、プロセスをモデル化すると理解されたい。生産関数（ $f$ ）が誤ってモデル化され、実際に生産関数（ $f$ ）をモデル関数（ $h$ ）（基板（ $i$ ）に依存しない）の重ね合わせと、基板および測定ポイントの両方に依存する残余項とに分割することができない場合、残余項は上記のモデルをした下式のように書き直すことによるのみ規定される。

【数4】

$$g_{i,j} = f_{i,j} - h_j$$

20

【0046】

実施形態では、仮定をする。残余項（ $g$ ）が基板にも依存せず、したがって  $g_{i,j}$  がさらに  $g_j$  と表されるように、全基板でプロセスが同一であったと仮定する。

【0047】

これで、測定のモデルが、基板に依存する決定性コンポーネントにもはや対応しないことが、当業者には明白になる。何故なら、モデル関数（ $h$ ）と残余項（ $g$ ）の両方も、基板（ $i$ ）に依存せず、これで測定が下式のようにモデル化されるからである。

【数5】

$$w_{i,j} = h_j + g_j + \varepsilon_{i,j}$$

30

【0048】

これは、当業者にとって直観に反している。何故なら、基板（ $i$ ）間の不整合を検出するために、この方法が使用されるからである。

【0049】

次に、測定値に関数を適合することによって、例えば、最小二乗基準が最尤推定量であるので、これを適用することによって、選択されたモデル関数（ $h$ ）のパラメータが推定される。当業者にとって明白であるように、他の基準を使用してもよい。残余項（ $g$ ）を示すための既知の関数がないので、残余項（ $g$ ）のパラメータは適合せず、したがってこのような関数のパラメータも分からない。これは、モデル関数（ $h$ ）を適合する間に残余項（ $g$ ）を無視することに相当する。したがって、この適合では、測定値が下式のように示される。

40

【数6】

$$w_{i,j} = h_{j,\beta} + Z_{i,j}$$

ここで、

【数7】

$$Z_{i,j} = g_j + \varepsilon_{i,j}$$

であり、 $h_{j,\beta}$  は、モデル関数（ $h$ ）のパラメータセットを表す。パラメータセット（ $\beta$ ）は、複数の基板（ $i$ ）および測定ポイント（ $j$ ）を通じて一定であるようにモデル化される。

【0050】

したがって、 $Z_{i,j}$  は測定ポイント（ $j$ ）に依存する決定性コンポーネント、さらに

50

基板および測定ポイントに依存し、決定性コンポーネントに重ね合わされるランダムで安定したプロセスを含む残余である。

【0051】

残余項 (g) は無視されたが、残余  $Z_{i,j}$  の期待値は、測定ポイント (j) に依存する決定性コンポーネントに重ね合わせたランダムで安定したプロセスの期待値であることが、当業者には明白である。

【0052】

したがって、実施形態では第1のエンティティ (すなわち、この実施形態では基板) について、基板の平均残余が下式で推定される。

【数8】

$$\bar{Z}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Z_{i,j}$$

ここで、本文書の以前の部分と同じ記号が使用され、nは測定ポイントの数を示す。残余の記号の上にあるバーは、これが平均に関することを示す。

【0053】

第2のエンティティ (すなわち、この実施形態では基板) について、残余の平均値は、第1のエンティティの対応する平均値と等しいと予想される。何故なら、残余項 (g) がエンティティ (i) に依存しないように、エンティティが同じ方法で生成され、測定されると仮定したからである。したがって、第2のエンティティについて、以前に無視した残余項 (g) の平均値は、第1のエンティティの対応する平均値と等しいことが予想される。

【0054】

さらに、平均値が等しいと予想されることを知るために、平均値の式を下式に従って書き換える。

【数9】

$$\bar{Z}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Z_{i,j} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (g_j + \varepsilon_{i,j}) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n g_j + \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \varepsilon_{i,j}$$

【0055】

また、 $Z_{i,j}$  は、静止して同一に分布したプロセスであり、したがって測定ポイント (n) が増加すると、第1および第2の基板について、様々なエンティティ (i) および測定ポイント (j) の合計の予想値が等しくなることも理解されたい。

【0056】

いずれにしても、残余の平均値が第2のエンティティについても推定される。

【0057】

実施形態の次のステップでは、第1の基板 ( $i' = 1$ ) と第2の基板 ( $i'' = 2$ ) の間の相関係数が、下式に従って推定される。

【数10】

$$r_{1,2} = \frac{\sum_{j=1}^n [(Z_{1,j} - \bar{Z}_1)(Z_{2,j} - \bar{Z}_2)]}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (Z_{1,j} - \bar{Z}_1)^2 \sum_{j=1}^n (Z_{2,j} - \bar{Z}_2)^2}}$$

ここで、 $r_{1,2}$  は相関係数の推定量である。

【0058】

モデル化した状態で、残余 ( $Z_{i,j}$ ) の決定性部分の予想は、測定ポイント (j) に依存し、基板 (i) には依存しないことに留意されたい。何故なら、プロセスが全基板 (i) で同一であったと仮定したからである。しかし、相関係数 ( $r_{1,2}$ ) の推定量につ

10

20

30

40

50

いて、基板の剰余の平均は、基板毎に推定され、測定ポイント毎には推定されない。

【0059】

当業者であれば、確率コンポーネントの予想値は、相関係数の推定量の式の( )内にある全項でゼロであることを理解することができるだろう。

【0060】

したがって、剰余( $Z_{i,j}$ )の予想は、剰余の推定基板平均とは異なり、したがって相関係数( $r_{i,i'}$ )の推定量の分子の予想値は決定性コンポーネントを含むと予想される。例えば、 $g_1 = 1$ および $g_2 = 2$ であり、したがって相関係数の推定量の分子は、 $2 * (1 - 1, 5) (2 - 1, 5) = -0, 5$ になると予想される。

【0061】

しかし、エンティティ間の決定性コンポーネントの変動が比較的大きい、または言い換えると剰余項( $g_j$ )の値の差が剰余( $Z$ )の確率コンポーネント( )に対して比較的大きい、または再び言い換えると、モデルが比較的不良であった場合に、このアプローチは有利である。

【0062】

その結果、モデルが不良でも仮定が有効である(すなわち、プロセスが一貫していた)場合、推定された相関係数が高くなる。何故なら、分子の決定性部分が分子の確率的部分よりはるかに大きく、これらの決定性部分がエンティティ $i'$ と $i''$ で等しいからである。

【0063】

第1の基板( $i'$ )と第2の基板( $i''$ )の間でプロセスが変化した場合、適合したモデルは、測定値( $w_{i,j}$ )にそれほど良好に適合せず、( $Z_{i'}$ )と( $Z_{i''}$ )の決定性部分が異なる。したがって、推定された相関係数の決定性部分は低くなる。その場合、推定された相関係数の確率的部分が、さらに重要になる。しかし、高度に相関していないノイズでは、推定された相関係数ではまだ決定性部分が有意であることを想像することができる。

【0064】

確率的部分間、すなわちランダムプロセス( $i, j$ )の実現間の相関が低い場合、剰余間の推定された相関の確率的部分が低くなる。確率的部分間の相関が低いほど、仮定の有効性に対する感度が高くなる。また、不適合が大きいくほど、剰余の決定性部分が大きくなり、有効な仮定がある場合は、相関が高くなる。言い換えると、モデル関数( $h$ )の適合時に推定されるパラメータの数を低減させる、すなわちモデルの品質を低下させることによって、よりよい相関係数の推定量を使用して、基板(または基板の測定値)を特徴付けることができる。

【0065】

このことが有利であるのは、推定されるパラメータの数が少ないほど、これを監視し、評価することが容易になるからである。また、モデル関数( $h$ )は、基板の他の処理ステップ中に変化することがあるパラメータを有するが、基板の以前の生産プロセスまたは測定プロセスとは関係ない用途に都合がよいモデルを表すことができることは当業者には明らかであろう。何故なら、モデリングの誤りの影響がノイズレベルに対してより優勢になった場合に、この方法がよりよく働くからである。

【0066】

相関係数が低すぎる、例えば、全基板で0.95または0.9または0.85未満である場合、モデルは、剰余の決定性コンポーネントを増加させるために、適合させるパラメータをさらに減少させることによって調節することができる。

【0067】

推定された相関係数に及ぼす影響を使用して、全基板でプロセスが同一であるという仮定が正しかったかを検証するが、これについては以下でさらに明らかにする。

【0068】

このようにさらに明らかにしなくても、類似の方法で、第2の基板と基板の支持に使用

10

20

30

40

50

される基板テーブルとの間に存在し、第2の基板を変形するが、第1の基板と基板テーブルの間には存在しない粒子などのエラーも、推定された相関係数に影響を及ぼすことが、当業者には既に明白である。同様に、両方の基板が、リソグラフィ装置内に両方とも存在する異なる基板テーブルによって支持されているか、支持されてきた場合、この仮定が不正確であることが判明することがある。再び同様に、基板間で層毎の相互作用が異なるので、この仮定が不正確であることが判明することがある。

【0069】

実施形態では、測定値 ( $w_{i,j}$ ) は、測定された位置データとそれに対応する予想位置データとの間の差の測定値である。それ故、各測定値は、複数の基板の基板フィーチャの位置測定値に対応する。測定値 ( $w_{i,j}$ ) は下式のようにモデル化される。

10

【数11】

$$w_{i,j} = \beta_0 + \beta_1 x_j + \beta_2 y_j + Z_{i,j}$$

ここで、 $\beta_0$ 、 $\beta_1 x_j$ 、 $\beta_2 y_j$  は、モデル関数 ( $h$ ) のパラメータセット ( ) のメンバであり、線形係数である。この実施形態は、測定位置データが、基板の種々の測定ポイントで取得したウェーハ微細位置合わせ (F I W A) データ (すなわち、横方向位置を表す) と、基板フィールド毎に1つの平均高さ位置を含む、すなわち個々の基板フィールドで入手可能な全測定高さの平均を含む  $z$  マップデータ (高さ位置を表す) で構成される状況に対応する。

【0070】

相関係数が低すぎると判明した場合、相関係数の感度は、 $\beta_1 x_j$  などの1つのモデル項を破棄し、モデル関数 ( $h$ ) を再適合することによって上げることができる。こうすると、剰余の決定性部分が増加すると予想されるので、相関係数の感度が上がる。

20

【0071】

別の実施形態では、測定位置データは、基板フィールド毎にいくつかの測定ポイントで取得した  $z$  マップデータ (高さ位置を表す) で構成され、別の回帰モデルを使用することができる。

【数12】

$$w_{i,j} = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 y + \beta_3 x^2 + \beta_4 y^2 + \beta_5 xy + Z_{i,j}$$

ここで、類似のモデル項には類似の記号が使用され、それ故  $\beta_0$ 、 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$ 、 $\beta_4$ 、 $\beta_5$  は、モデル関数 ( $h$ ) のパラメータセット ( ) のメンバであり、線形係数である。

30

【0072】

より一般的には、本文書で説明するような方法は、バッチまたはロットの全基板のような複数のエンティティに、例えば、いくつかの位置測定に対応する各エンティティに適用される。

【0073】

剰余間の相関係数 ( $r_1, r_2$ ) が推定されると、推定した相関係数を閾値量と比較して、プロセスが全基板で同一であるという仮定が正しかったかを判定する。仮定が正しくない場合は、エンティティ間に相違がある。2セットを超える剰余がある場合は、データセットが他の各データセットとどの程度類似しているかを判定するために、2つ以上の相関係数を推定し、閾値量と比較することができる。

40

【0074】

本発明の他の実施形態では、複数のエンティティのエンティティ毎に、複数のエンティティのうち1つおきのエンティティに関して相関係数を推定する。エンティティセットのこれらの相関係数を平均すると、複数のエンティティ内の全エンティティでプロセスが同一であるという仮定の有効性の尺度が与えられる。複数のエンティティの平均相関係数を推定する式の例が、下式によって与えられる。

【数 1 3】

$$\bar{r} = \frac{2}{m(m-1)} \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m r_{i,j}$$

r の場合、r は平均相関係数である。エンティティセットの推定した平均相関係数を閾値と比較する。推定した相関係数が閾値より大きい場合は、仮定が有効であり、エンティティセットの種々のエンティティが大きい整合性を有すると判定され、平均相関係数が閾値より低いままである場合は、仮定が有効ではなく、エンティティに十分な整合性がないと判定される。後者の場合、エンティティは棄却される。代替的に、例えば、エンティティが十分に類似しているか評価するために、さらなる分析を実行してもよい。

10

【0075】

前述したように、エンティティが投影デバイスによって処理される基板であり、エンティティセットが、投影デバイスの同じ作業にかけられるロットからの基板を備えている場合、以上の手順は、ロットの整合性の尺度を提供する。ロットの整合性は、異なる支持テーブルを使用することによって低下することがある。エンティティが投影デバイスによって処理される基板であり、エンティティセットが、投影デバイスの同じ支持テーブルによって担持される基板を備えている場合、この手順は、支持テーブルの整合性（ウェーハテーブルの整合性またはチャックの整合性とも呼ぶ）の尺度を提供する。エンティティが、投影デバイスによって処理される基板のフィールドであり、エンティティセットが前記少なくとも1つの基板のフィールドを備えている場合、この手順は、特定基板のフィールドの整合性の尺度を提供する。エンティティは、基板の様々な層で形成することもできる。この場合、この手順は、層間の整合性の尺度を提供する。

20

【0076】

他の実施形態では、エンティティ毎に平均相関係数が推定される。例えば、複数のエンティティが同じ製品ロットの複数の基板（通常は、25のウェーハ）を備えている場合は、基板（ウェーハ）毎に、ロットの他の各基板（ウェーハ）に対する相関係数を推定する。ウェーハ（i）の平均相関係数  $\bar{r}_i$  の推定量は下式によって与えられる。

【数 1 4】

$$\bar{r}_i = \frac{1}{(m-1)} \sum_{j=1, j \neq i}^m r_{i,j}$$

30

ここで、指数は本文書全体で使用される表記に従う。次に、個々のエンティティの推定された平均相関係数を1つまたは複数の閾値と比較する。1つまたは複数の推定相関係数の値が閾値より小さい場合は、仮定が有効ではなく、複数のエンティティに整合性がないと判定される。

【0077】

別の実施形態では、1つまたは複数の閾値と比較する代わりに、相互に比較する。この場合、以上の計算を実行した後、複数のエンティティ内の整合性の程度を判定するために、平均相関係数  $\bar{r}_i$  を相互に比較する。例えば、エンティティセットの全エンティティの推定平均相関係数をグラフ表現で視覚化すると、この例ではロットの各ウェーハの推定平均相関係数をプロットすると、オペレータが、不良ロットの整合性の原因であるエンティティまたはエンティティのグループ（例えば、偏ったウェーハグリッド（x, y）、フィールド形状（z）及び/又はウェーハ形状（z）を有するウェーハまたはウェーハグループ）を視覚的に正確に位置決めするのが容易になる。この場合には、閾値との追加の比較も実行することができる。エンティティ毎に、好ましくはエンティティ毎の平均相関係数の全体的平均値に由来する閾値から、個々の推定平均相関係数が偏ることを、仮定の有効性と複数のエンティティの整合性との指標として使用することができる。

40

【0078】

本発明のある実施形態では、測定値が下式のようにモデル化される。

## 【数 15】

$$w_{ij} = p'_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

ここで、 $p'$  はエンティティ ( $i$ ) 上のフィーチャの位置 ( $p$ )、さらにドリフトなどの測定デバイスの影響の両方をモデル化する。この場合も、モデルは安定したランダムプロセス ( ) を含む。本発明の方法の残りの部分も、類似の方法で適用される。実施形態では、相関係数の推定を使用して、測定プロセスが変化したかを確認する。例えば、測定値が、測定デバイスの不安定性のためにドリフトすることがあるか、またはエンティティが、基板テーブル上に支持された基板であることもあり、基板によっては、基板と基板テーブルの間に汚染が存在していた。代替的に、一部の基板が測定中に第 1 の基板テーブル上に支持され、複数の基板のうち残りの基板が、測定中に異なる方法で基板を支持する第 2

10

## 【0079】

他の実施形態では、モデル関数 ( $h$ ) のパラメータセット ( ) が、エンティティに依存するようにモデル化される。それ故、異なる測定ポイントを備える各基板に、それ自身のパラメータ (  $i$  ) を適合させる。さらに、残余項 ( $g_j$ )、すなわち剰余 ( $Z$ ) の決定性部分が、複数のエンティティで同じになるようにモデル化される。これは、様々なエンティティに一定したフィンガプリントを予想することに相当する。フィンガプリントでは、残余項 ( $g_j$ ) が少なくとも 1 つの測定ポイントでゼロとは異なる (そして全エンティティで同じになる) ようにモデル化される。通常、全測定ポイントで、残余項 ( $g_j$ ) は異なる値を有する。他のプロセスステップは、前述したものと同様である。この場合も、適合したモデルを測定値から引いて、相関係数の推定に使用される剰余を与える。この実施形態でも、剰余 ( $Z$ ) の決定性部分の予想は、通常、異なる測定ポイント ( $j$ ) では異なる。

20

## 【0080】

以前の実施形態のように、相関係数の推定量では、基板の剰余の平均を測定ポイント毎ではなく基板毎に推定する。この場合も、以前の実施形態のように、確率コンポーネントの予想は、相関係数の推定量の式において ( ) 内の全項でゼロである。したがって、この場合も推定相関係数は、剰余の決定性部分に支配され、推定相関係数を使用して、測定値間の類似性を特徴付けることができる。

## 【0081】

以下では、複数のエンティティ、この場合はウェーハ 25 枚のロットにある複数のウェーハの整合性を特徴付ける 2 つの例が与えられる。ロットのウェーハの第 1 の部分は、第 1 の支持テーブル (チャック) に据え付けられている間に測定され、残りのウェーハは、本明細書で説明するようリソグラフィデバイスの第 2 の支持テーブルに据え付けられている時に測定される。図 3 A は、ウェーハの数 ( $i$ ) (横軸) の関数とする推定平均相関係数  $r_i$  (ここで、 $i = 1 \sim 25$ ) (縦軸) のグラフ表現を示す。第 1 のセットのウェーハは、第 1 の支持テーブル (チャック 1) によって処理される。この第 1 のセットは、ダイヤモンド形のラベルで示される。第 2 のセットのウェーハは、第 2 の支持テーブル (チャック 2) によって処理される。第 2 のセットは、三角形のラベルで示される。すぐ分かれると思うが、第 2 の支持テーブル (チャック 2 ; ダイヤモンド) によって処理されるウェーハ、すなわちウェーハ 1、3、5、7、. . .、25 は、0.95 より大きい推定平均相関係数という良好な相関を示す。しかし、第 1 の支持テーブル (チャック 1 ; 三角形) によって処理されるウェーハ、すなわちウェーハ 2、4、6、. . .、24 の推定平均相関係数は、欠陥ウェーハ 8 で一時的減少を示す。推定平均相関係数が約 0.95 の値から約 0.6 へと低下する。ここでは点 (ロット) で示される全ウェーハ (すなわち、ロットのウェーハ) の推定平均相関係数に関連する曲線にも、同じ効果が現れる。例えば、閾値が 0.90 のレベルで選択された場合は、測定結果から、ウェーハ 8 のみがウェーハの残り

30

40

## 【0082】

相関係数の推定および相関係数と閾値の比較は、それ自体でセットの整合性を特徴付け

50

るのに十分である。しかし、この情報のみでは、整合性がない場合にその原因を決定することが困難であり、不可能になることさえある。

【0083】

ある実施形態では、ウェーハ8の不整合の原因を決定するのに役立つために、標準偏差（フィールドの繰り返し性）が推定される。この例では、欠陥があるウェーハ8の欠陥は、ウェーハと支持テーブルの間に小さい粒子が存在する結果、大きい焦点スポットによって引き起こされる。小さい粒子は、ウェーハの1つのフィールドのみにアーチファクトを引き起こす。図3Bは、ウェーハ毎に測定した位置データの推定標準偏差を示す。アーチファクトは、図3Bに示すように、欠陥があるウェーハ8の推定標準偏差の上昇に直接反映される。図3Bは、ウェーハ数（横軸）に対してプロットしたナノメートル単位の標準偏差（縦軸）を示す。

10

【0084】

標準偏差は、下式のように推定される。

【数16】

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-k-1} \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m \left( z_{i,j} - \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m z_{i,k} \right)^2 \right)$$

【0085】

図4Aおよび図4Bでは、ウェーハ毎の推定平均相関係数、および別の例についてウェーハ毎の推定標準偏差の類似のグラフ表現が与えられている。図4Aでは、ウェーハ数（横軸）に対して推定平均相関係数（縦軸）がプロットされている。この場合も、第2の基板テーブル（チャック2；ダイヤモンド）によって処理されるウェーハは、0.99より大きい推定平均相関係数という値で、良好な相関を示す。しかし、第1のチャック（三角形）、および言うまでもなくロット（点）のウェーハの推定平均相関係数は、第4のウェーハで一時的な減少を示す。第4のウェーハの推定平均相関係数は、明らかに0.90という閾値より低く、したがって第4のウェーハはロットの他のウェーハと整合しない。しかし、ウェーハ数（横軸）に対してプロットした標準偏差（縦軸）を示す図4Bに示された推定標準偏差の曲線は、多少平坦なままであり、第4のウェーハの不整合が、図3A

20

30

【0086】

この例では、ウェーハの欠陥は、欠陥がある層構造（層の重なり）によって引き起こされていた。欠陥は小さい区域に限定されず、少なくともウェーハ表面の大きい部分に存在していたので、第4のウェーハの測定位置データの推定標準偏差は、ロットの他のウェーハに属する推定標準偏差と同じ桁であることが判明した。したがって、この例では位置データ（図4B）の推定標準偏差に、第1の例（図3B）の場合と類似した上昇がない。

【0087】

他の実施形態では、安定したランダムプロセスおよび決定性プロセスを含むように、測定値がモデル化される。決定性プロセスは、数式を知る必要がない測定ポイント（位置座標）およびエンティティへの導関数を有するテイラー展開で展開される。測定ポイント（位置座標）の導関数は、3つの直交方向のうち2つの導関数を含む。あるいは、導関数は3つの直交方向全部の導関数を含む。エンティティが同一の方法で生成され、測定されたと仮定する（エンティティ（i）の導関数項をゼロに設定する）。次に、測定ポイント（j）に関連する限られた数の線形係数を、線形係数に対応するテイラー展開項を測定値（ $w_{i,j}$ ）に適合することによって、変数として推定する。特に、変数として位置座標でテイラー展開を実行する。これは、限られた数の線形係数について線形係数を推定する場合に、対応する線形係数が限られた数の線形係数に含まれない限り、測定ポイント（j）に関連するテイラー展開項を無視することに相当する。

40

50



## 【 0 0 8 8 】

線形係数の数を制限することは有利である。何故なら、場合によっては固定量のデータの特徴付けるパラメータが少ない方が、大量のデータを監視し、格納して処理するより容易だからである。

## 【 0 0 8 9 】

限られた数の線形係数は、最小二乗基準に由来する推定量などの最尤推定量で推定される。次に、複数のエンティティのうち第1のエンティティおよび第2のエンティティに対して、剰余 ( $Z_{i,j}$ ) (無視され適合されなかった、測定ポイント ( $j$ ) に関連するテイラー展開項、すなわち位置変数、および安定したランダムプロセス ( $i, j$ ) が決定される。

10

## 【 0 0 9 0 】

次に、第1のエンティティに対して、第1および第2のエンティティに関する剰余の平均値が下式によって推定される。

## 【 数 1 7 】

$$\bar{Z}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Z_{i,j}$$

ここで、本文書の以前の部分と同じ表記が使用されている。エンティティが同一の方法で生成され、測定されると仮定されたように、エンティティ ( $i$ ) の導関数項はゼロに設定された。したがって、第2のエンティティでは、測定ポイント ( $j$ ) に関連して以前に無視されたテイラー展開項の平均値が、第1のエンティティの対応する平均値と等しい。また、ランダム変数の予想値は、両方のエンティティで等しい。いずれにしても、剰余の平均値が第2のエンティティに対しても推定される。

20

## 【 0 0 9 1 】

剰余と、第1および第2のエンティティの両方の推定平均値を使用して、下式に従って第1のエンティティと第2のエンティティとの相関係数 ( $r_{1,2}$ ) を推定する。

## 【 数 1 8 】

$$r_{1,2} = \frac{\sum_{j=1}^n [(Z_{1,j} - \bar{Z}_1)(Z_{2,j} - \bar{Z}_2)]}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (Z_{1,j} - \bar{Z}_1)^2 \sum_{j=1}^n (Z_{2,j} - \bar{Z}_2)^2}}$$

30

ここでも、本文書で以前に使用したものと同一表記が使用されている。

## 【 0 0 9 2 】

推定相関係数は、エンティティの測定値間の類似性を判定するために使用される。この類似性は、例えば、エンティティの生成中のプロセス変更、または測定プロセスの変更のために、満足できるか、または満足できないものであると判明する。

## 【 0 0 9 3 】

いくつかのエンティティ、例えば、多数のエンティティのうち第1および第2のエンティティのみの剰余を計算することによって、計算量を低減することができることが、当業者には明白である。追加的または代替的に、第1および第2のエンティティの剰余を、測定ポイントの一部のみについて計算することができる。

40

## 【 0 0 9 4 】

本文ではICの製造におけるリソグラフィ装置の使用に特に言及しているが、本明細書で説明するリソグラフィ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、集積光学装置、磁気ドメインメモリ用誘導および検出パターン、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」または「ダイ」という用語を使用している場合、それぞれ、「基板」または「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

50

よいことが、当業者には明らかである。本明細書に述べている基板は、露光前または露光後に、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）、メトロロジーツール及び/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、以上および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ICを生成するために複数回処理することができる。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。

【0095】

以上では光学リソグラフィとの関連で本発明の実施形態の使用に特に言及しているが、本発明は、インプリントリソグラフィなどの他の用途においても使用可能であり、状況が許せば、光学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のトポグラフィによって、基板上に生成されるパターンが画定される。パターニングデバイスのトポグラフィを基板に供給されたレジストの層に押しつけ、その後に電磁放射、熱、圧力またはその組合せにより、レジストを硬化する。パターニングデバイスをレジストから離し、レジストを硬化した後にパターンを残す。

10

【0096】

本明細書で使用する「放射」および「ビーム」という用語は、紫外線（UV）放射（例えば、365、355、248、193、157または126nm、あるいはその辺りの波長を有する）および極端紫外線光（EUV）放射（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または電子ビームのような粒子ビームを含むあらゆるタイプの電磁放射を包含する。

20

【0097】

「レンズ」という用語は、状況が許せば、屈折、反射、磁気、電磁気および静電型光学部品を含む種々のタイプの光学部品のいずれか、またはその組合せを指す。

【0098】

本明細書で使用する「投影システム」という用語は、例えば、使用される露光放射、または液浸流体の使用または真空の使用などの他の要素に合わせて適宜、屈折光学システム、反射光学システム、および反射屈折光学システムなどの種々のタイプの投影システムを含むものと広義に解釈されたい。本明細書で「レンズ」という用語を使用した場合、これはより一般的な「投影システム」という用語と同義であると見なすことができる。

30

【0099】

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實踐することができることを理解されたい。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可能命令の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、また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、磁気または光ディスク）の形態をとることができる。

【0100】

上記説明は例示的なものであり、制限するものではない。それ故、特許請求の範囲から逸脱することなしに、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らかである。

40

【図面の簡単な説明】

【0101】

【図1】本発明のある実施形態によるリソグラフィ装置の略図である。

【図2】図1のリソグラフィ装置の測定ステーション領域の略図である。

【図3A】ロットのウェーハ数、第1の支持テーブルおよび第2の支持テーブルの関数としての平均相関のグラフ表現の例である。

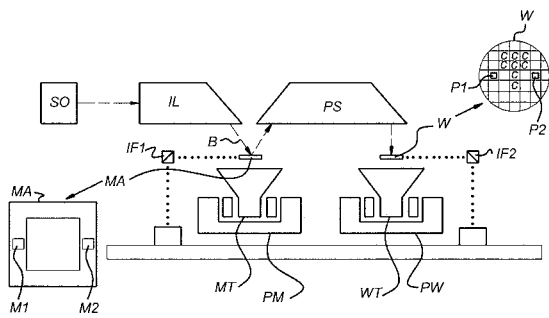
【図3B】図3Aに示した例のウェーハ数の関数としての標準偏差（ ）のグラフ表示である。

【図4A】ロットのウェーハ数、第1の支持テーブルおよび第2の支持テーブルの関数としての平均相関のグラフ表現の例である。

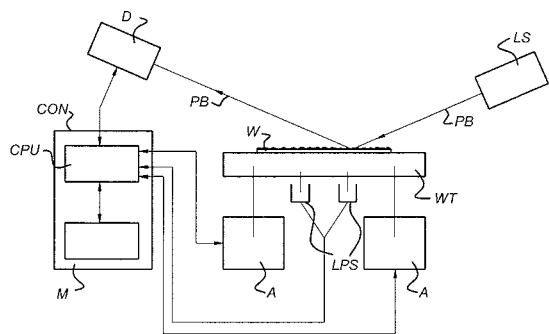
50

【図4B】ウェーハ数の関数としての標準偏差 ( ) のグラフ表示である。

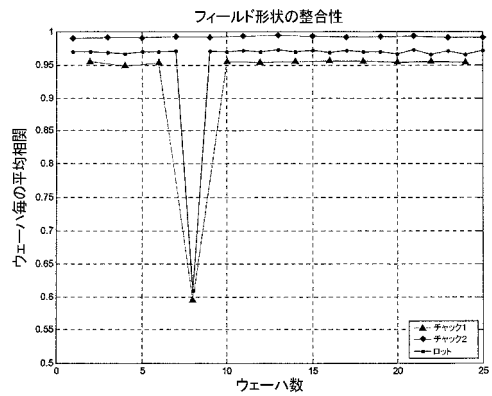
【図1】



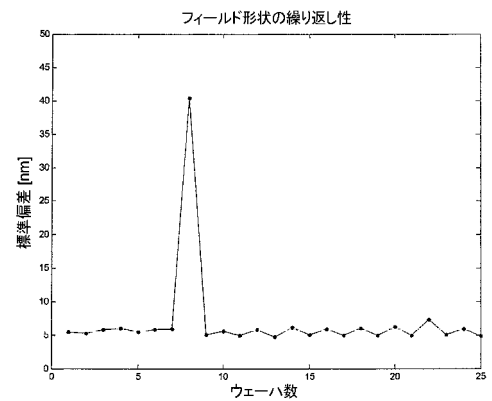
【図2】



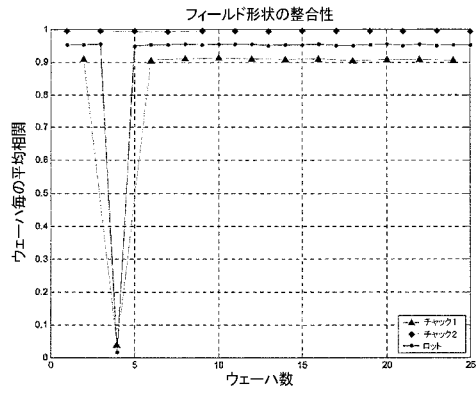
【図3A】



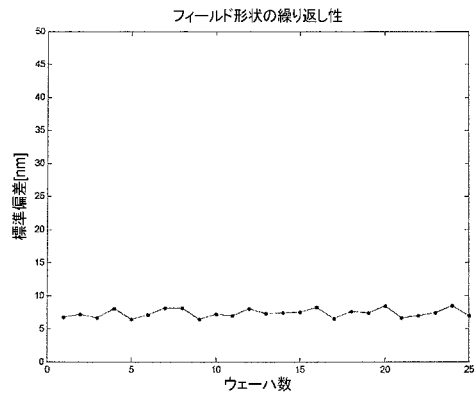
【図3B】



【 図 4 A 】



【 図 4 B 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 リューマン - ヒュースケン, マリア, エリザベス

オランダ国, ワールレ エヌエル - 5 5 8 1 イージー, エゲルラーン 1 7

Fターム(参考) 5F046 AA20 DA14 FC04 FC06

【外国語明細書】

2009135425000001.pdf