

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号

特開2023-41623

(P2023-41623A)

(43)公開日 令和5年3月24日(2023.3.24)

| | | |
|--------------------------|----------------|-------------|
| (51)国際特許分類 | F I | テーマコード(参考) |
| H 0 1 L 21/66 (2006.01) | H 0 1 L 21/66 | J 2 G 0 5 1 |
| G 0 1 N 21/956 (2006.01) | G 0 1 N 21/956 | A 4 M 1 0 6 |

審査請求 未請求 請求項の数 20 O L 外国語出願 (全30頁)

| | | | |
|-------------------|-----------------------------|---------|--|
| (21)出願番号 | 特願2022-129475(P2022-129475) | (71)出願人 | 504144253 アプライド マテリアルズ イスラエル リミテッド |
| (22)出願日 | 令和4年8月16日(2022.8.16) | (74)代理人 | 100094569 弁理士 田中 伸一郎 |
| (31)優先権主張番号 | 17/473,342 | (74)代理人 | 100103610 弁理士 吉 田 和彦 |
| (32)優先日 | 令和3年9月13日(2021.9.13) | (74)代理人 | 100109070 弁理士 須田 洋之 |
| (33)優先権主張国・地域又は機関 | 米国(US) | (74)代理人 | 100067013 弁理士 大塚 文昭 |
| | | (74)代理人 | 100086771 |

最終頁に続く

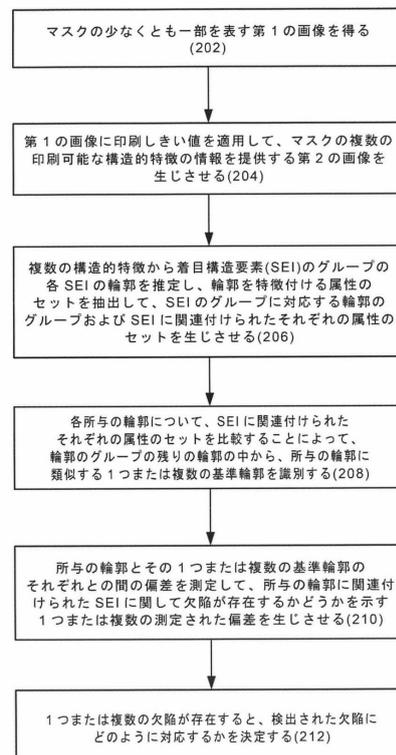
(54)【発明の名称】 半導体試料製造のためのマスク検査

(57)【要約】

【課題】マスク検査のシステムおよび方法を提供すること。

【解決手段】マスクの少なくとも一部を表す第1の画像を得るステップと、第1の画像に印刷しきい値を適用して第2の画像を得るステップと、着目構造要素(S E I)のグループの各 S E I に対する輪郭を推定し、輪郭を特徴付ける属性のセットを抽出して、 S E I のグループに対応する輪郭のグループおよび S E I に関連付けられたそれぞれの属性のセットを生じさせるステップと、各所与の輪郭について、輪郭に関連付けられたそれぞれの属性のセットを比較することによって、輪郭のグループの残りの輪郭の中から、所与の輪郭に類似する1つまたは複数の基準輪郭を識別するステップと、所与の輪郭とその各基準輪郭との間の偏差を測定して、欠陥が存在するかどうかを示す1つまたは複数の測定された偏差を生じさせるステップと、を含むシステムおよび方法が提供される。

【選択図】図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

半導体試料の製造に使用可能なマスクを検査するコンピュータ化されたシステムであって、

前記マスクの少なくとも一部を表す第 1 の画像を得て、前記第 1 の画像が前記半導体試料の製造に使用可能なリソグラフィツールの光学構成をエミュレートすることによって取得され、

前記第 1 の画像に印刷しきい値を適用して、前記半導体試料に印刷可能な前記マスクの複数の構造要素の情報を提供する第 2 の画像を生じさせ、

前記複数の構造要素から着目構造要素 (S E I) のグループの各 S E I に対する輪郭を推定し、前記輪郭を特徴付ける属性のセットを抽出して、前記 S E I のグループに対応する輪郭のグループおよび前記 S E I に関連付けられたそれぞれの属性のセットを生じさせ

10

、
前記輪郭のグループの各所与の輪郭について、前記輪郭に関連付けられた前記それぞれの属性のセットを比較することによって、前記輪郭のグループの残りの輪郭の中から、前記所与の輪郭に類似する 1 つまたは複数の基準輪郭を識別し、

前記所与の輪郭とその前記 1 つまたは複数の基準輪郭のそれぞれとの間の偏差を測定し、前記所与の輪郭に関連付けられた S E I に関して欠陥が存在するかどうかを示す 1 つまたは複数の測定された偏差を生じさせる、

ように構成された処理およびメモリ回路 (P M C) を備える、
コンピュータ化されたシステム。

20

【請求項 2】

前記マスクが単一ダイのマスクフィールドおよびスクライプ領域を含み、前記マスクの前記少なくとも一部が前記単一ダイの少なくとも一部および / または前記スクライプ領域の少なくとも一部を含む、請求項 1 に記載のコンピュータ化されたシステム。

【請求項 3】

前記マスクが複数ダイのマスクフィールドおよびスクライプ領域を含み、前記マスクの前記少なくとも一部が前記スクライプ領域の少なくとも一部を含む、請求項 1 に記載のコンピュータ化されたシステム。

【請求項 4】

前記第 1 の画像が前記リソグラフィツールの前記光学構成をエミュレートするように構成された化学線検査ツールによって取得される、請求項 1 に記載のコンピュータ化されたシステム。

30

【請求項 5】

前記第 1 の画像が、非化学線検査ツールを使用して画像を取得し、前記リソグラフィツールの前記光学構成をシミュレートするために、前記画像に対してシミュレーションを行って、前記第 1 の画像を生じさせることによって得られる、請求項 1 に記載のコンピュータ化されたシステム。

【請求項 6】

前記欠陥が、前記所与の輪郭の予想される位置からの前記所与の輪郭の相対的に実質的な偏差を示すエッジ変位である、請求項 1 に記載のコンピュータ化されたシステム。

40

【請求項 7】

前記輪郭がエッジ検出法を使用して推定される、請求項 1 に記載のコンピュータ化されたシステム。

【請求項 8】

前記属性のセットが、前記輪郭によって形成される領域、前記領域の幅、前記領域の高さ、前記輪郭に沿ったピクセル数、チェーンコード、および重心を含むグループから選択される、請求項 1 に記載のコンピュータ化されたシステム。

【請求項 9】

前記 P M C が、

50

前記所与の輪郭を前記1つまたは複数の基準輪郭とそれぞれ位置合わせして、1つまたは複数の位置合わせされた輪郭のペアを生じさせるステップと、

各位置合わせされた輪郭のペアの対応する点間の距離を測定するステップと、

前記測定された距離の中から最大距離を、前記所与の輪郭と前記1つまたは複数の基準輪郭のそれぞれの基準輪郭との間の前記測定された偏差として選択するステップと、

によって偏差を測定するように構成されている、

請求項1に記載のコンピュータ化されたシステム。

【請求項10】

前記PMCが、前記1つまたは複数の測定された偏差に基づいて合成偏差を導出し、前記合成偏差に偏差しきい値を適用し、前記合成偏差が前記偏差しきい値を超えると欠陥の存在を報告するようにさらに構成されている、請求項1に記載のコンピュータ化されたシステム。

10

【請求項11】

前記PMCが、前記第1の画像に対応した、前記マスクの少なくとも一部の上の1つまたは複数の欠陥の存在およびその位置を示す欠陥マップを提供するようにさらに構成されている、請求項10に記載のコンピュータ化されたシステム。

【請求項12】

前記PMCが、それぞれが前記マスクのそれぞれの部分を表す複数の第1の画像を得るように構成され、前記複数の第1の画像が、前記複数の第1の画像の複数の視野(FOV)が重複しないように所定のステップサイズで連続的に取得され、

20

前記PMCが、前記複数の第1の画像のそれぞれについて前記適用、推定、識別、および測定を行い、前記複数の第1の画像のそれぞれに対応した、前記マスクのそれぞれの部分上の1つまたは複数の欠陥の存在を示す欠陥マップを提供し、それによって前記複数の第1の画像に対応する複数の欠陥マップを生じさせるように構成されている、

請求項1に記載のコンピュータ化されたシステム。

【請求項13】

前記PMCが、前記複数の欠陥マップのそれぞれにおいて提示された欠陥に関連付けられた1つまたは複数のSEIを識別し、前記複数の第1の画像間で前記1つまたは複数のSEIの1つもしくは複数の輪郭を比較し、少なくとも1つの欠陥が前記第1の画像の少なくとも1つにおける固有の構造要素の存在を示す誤警報であるかどうかを判定するようにさらに構成されている、請求項12に記載のコンピュータ化されたシステム。

30

【請求項14】

前記PMCが、前記マスクの所与の部分について、それぞれが少なくとも前記所与の部分を表す複数の第1の画像を得るように構成され、前記複数の第1の画像が、前記複数の第1の画像の複数の視野(FOV)が少なくとも前記所与の部分だけ重複するように所定のステップサイズで連続的に取得され、

前記PMCが、前記複数の第1の画像のそれぞれに対して前記適用、推定、識別、および測定を行い、前記複数の第1の画像のそれぞれに対応した、前記少なくとも所与の部分上の1つまたは複数の欠陥の存在を示す欠陥マップを提供し、それによって前記複数の第1の画像に対応する複数の欠陥マップを生じさせ、前記複数の欠陥マップにおいて提示された欠陥を比較して、欠陥が着目欠陥であるか誤警報であるかを判定するように構成されている、

40

請求項1に記載のコンピュータ化されたシステム。

【請求項15】

半導体試料の製造に使用可能なマスクを検査するコンピュータ化された方法であって、前記方法が処理およびメモリ回路(PMC)によって実行され、

前記マスクの少なくとも一部を表す第1の画像を得るステップであり、前記第1の画像が前記半導体試料の製造に使用可能なリソグラフィツールの光学構成をエミュレートすることによって取得される、ステップと、

前記第1の画像に印刷しきい値を適用して第2の画像を生じさせるステップであり、前

50

記第 2 の画像が前記半導体試料に印刷可能な前記マスクの複数の構造要素の情報を提供する、ステップと、

前記複数の構造要素から着目構造要素 (S E I) のグループの各 S E I に対する輪郭を推定し、前記輪郭を特徴付ける属性のセットを抽出して、前記 S E I のグループに対応する輪郭のグループおよび前記 S E I に関連付けられたそれぞれの属性のセットを生じさせるステップと、

前記輪郭のグループの各所与の輪郭について、前記輪郭に関連付けられた前記それぞれの属性のセットを比較することによって、前記輪郭のグループの残りの輪郭の中から、前記所与の輪郭に類似する 1 つまたは複数の基準輪郭を識別するステップと、

前記所与の輪郭とその前記 1 つまたは複数の基準輪郭のそれぞれとの間の偏差を測定し、前記所与の輪郭に関連付けられた S E I に関して欠陥が存在するかどうかを示す 1 つまたは複数の測定された偏差を生じさせるステップと、
を含む、コンピュータ化された方法。

10

【請求項 16】

前記マスクが、単一ダイのマスクフィールドおよびスクライプ領域を含み、前記マスクの前記少なくとも一部が前記単一ダイの少なくとも一部および/または前記スクライプ領域の少なくとも一部を含む、請求項 15 に記載のコンピュータ化された方法。

【請求項 17】

前記測定するステップが、

前記所与の輪郭を前記 1 つまたは複数の基準輪郭とそれぞれ位置合わせして、1 つまたは複数の位置合わせされた輪郭のペアを生じさせるステップと、

20

各位置合わせされた輪郭のペアの対応する点間の距離を測定するステップと、

前記測定された距離の中から最大距離を、前記所与の輪郭と前記 1 つまたは複数の基準輪郭のそれぞれの基準輪郭との間の前記測定された偏差として選択するステップと、
を含む、

請求項 15 に記載のコンピュータ化された方法。

【請求項 18】

前記 1 つまたは複数の測定された偏差に基づいて合成偏差を導出するステップと、前記合成偏差に偏差しきい値を適用するステップと、前記合成偏差が前記偏差しきい値を超えると欠陥の存在を報告するステップと、をさらに含む、請求項 15 に記載のコンピュータ

30

【請求項 19】

前記得るステップが、前記マスクの所与の部分について、それぞれが少なくとも前記所与の部分を表す複数の第 1 の画像を得るステップを含み、前記複数の第 1 の画像が、前記複数の第 1 の画像の複数の視野 (F O V) が少なくとも前記所与の部分だけ重複するように所定のステップサイズで連続して取得され、

前記複数の第 1 の画像のそれぞれに対して、前記適用、推定、識別、および測定を行うステップと、前記複数の第 1 の画像のそれぞれに対応した、前記少なくとも所与の部分上の 1 つまたは複数の欠陥の存在を示す欠陥マップを提供し、それによって前記複数の第 1 の画像に対応する複数の欠陥マップを生じさせるステップと、前記複数の欠陥マップにおいて提示された欠陥を比較して、欠陥が着目欠陥であるか誤警報であるかを判定するステップと、を含む、

40

請求項 15 に記載のコンピュータ化された方法。

【請求項 20】

コンピュータによって実行されると、半導体試料の製造に使用可能なマスクを検査する方法を前記コンピュータに実行させる命令のプログラムを明白に具現化する非一過性コンピュータ可読ストレージ媒体であって、前記方法が、

前記マスクの少なくとも一部を表す第 1 の画像を得るステップであり、前記第 1 の画像が前記半導体試料の製造に使用可能なリソグラフィツールの光学構成をエミュレートすることによって取得される、ステップと、

50

前記第 1 の画像に印刷しきい値を適用して第 2 の画像を生じさせるステップであり、前記第 2 の画像が前記半導体試料に印刷可能な前記マスクの複数の構造要素の情報を提供する、ステップと、

前記複数の構造要素から着目構造要素 (S E I) のグループの各 S E I に対する輪郭を推定し、前記輪郭を特徴付ける属性のセットを抽出して、前記 S E I のグループに対応する輪郭のグループおよび前記 S E I に関連付けられたそれぞれの属性のセットを生じさせるステップと、

前記輪郭のグループの各所与の輪郭について、前記輪郭に関連付けられた前記それぞれの属性のセットを比較することによって、前記輪郭のグループの残りの輪郭の中から、前記所与の輪郭に類似する 1 つまたは複数の基準輪郭を識別するステップと、

前記所与の輪郭とその前記 1 つまたは複数の基準輪郭のそれぞれとの間の偏差を測定し、前記所与の輪郭に関連付けられた S E I に関して欠陥が存在するかどうかを示す 1 つまたは複数の測定された偏差を生じさせるステップと、
を含む、非一過性コンピュータ可読ストレージ媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【 0 0 0 1 】

本開示の主題は、一般に、マスク検査の分野に関し、より詳細には、フォトマスクに関する欠陥検出に関する。

【背景技術】

【 0 0 0 2 】

製造されたマイクロ電子デバイスの超大規模集積に関連付けられた高密度および高性能に対する現在の要求は、サブミクロン特徴、トランジスタおよび回路速度の向上、ならびに信頼性の改善を必要としている。半導体プロセスが進むにつれ、線幅などのパターン寸法、および他のタイプの限界寸法は、絶えず縮小されている。このような要求は、高精度かつ均一性を有するデバイス特徴の形成を必要としており、これには、デバイスがまだ半導体ウエハの形態である間にデバイスを自動検査することを含む製造プロセスの注意深いモニタリングが必要である。

【 0 0 0 3 】

半導体デバイスは、多くの場合、フォトリソグラフィプロセスにおいてフォトリソグラフィマスク (フォトマスクまたはマスクまたはレチクルとも呼ばれる) を使用して製造される。フォトリソグラフィプロセスは、半導体デバイスの製造における主要なプロセスの 1 つであり、製造される半導体デバイスの回路設計に従ってウエハの表面をパターンニングすることを含む。このような回路設計は、最初にマスク上にパターンニングされる。したがって、動作する半導体デバイスを得るためには、マスクは、欠陥がないものでなければならない。マスクは、複雑なプロセスによって製造され、様々な欠陥およびばらつきを被る可能性がある。

【 0 0 0 4 】

加えて、マスクは、多くの場合、繰り返して使用され、ウエハ上に多くのダイを作成する。したがって、マスク上のいかなる欠陥も、ウエハ上で複数回繰り返され、複数のデバイスに欠陥が生じることになる。製造に適したプロセスを確立するには、リソグラフィプロセス全体を厳密に制御する必要がある。このプロセス内で、限界寸法 (C D) 制御は、デバイス性能および歩留まりに対する決定要因である。

【 0 0 0 5 】

様々なマスク検査方法が開発され、市販されている。マスクを設計し評価する特定の従来技術によると、マスクが、マスクを通してウエハを露光するために作成および使用され、次いで、検査が行われ、マスクの特徴 / パターンが設計に従ってウエハに転写されたかどうかを判定する。意図された設計からの最終的な印刷された特徴のいかなるばらつきも、設計を修正すること、マスクを修復すること、新しいマスクを作成すること、および / または新しいウエハを露光することを必要とする場合がある。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 6 】

この点に関して、印刷された特徴の精度および品質の検証は、マスクを検証する間接的な方法を可能にする。しかしながら、ウエハまたはダイ上の最終的な印刷パターンは、印刷プロセス、例えばレジスト現像、基板処理（材料エッチングまたは堆積など）などの後に形成されるため、最終的な印刷パターンにおけるエラーを、マスクおよび/またはレジストの堆積および/または現像プロセスに関連付けられた問題に帰着させ、区別し、または分離することは困難な場合がある。さらに、ウエハまたはダイ上に最終的に印刷されたパターンを検査することは、任意の処理問題を検出し、判定し、解決するために提供される使用可能なサンプル数が限られる傾向がある。このプロセスは、労働集約的であり、膨大な検査および分析時間をもたらすこともある。

10

【 0 0 0 7 】

あるいは、様々なマスク検査ツールを使用してマスクを直接検査することができる。

【 発明の概要 】

【 0 0 0 8 】

本開示の主題の特定の態様によると、半導体試料の製造に使用可能なマスクを検査するコンピュータ化されたシステムが提供され、本システムは、マスクの少なくとも一部を表す第1の画像を得て、第1の画像が半導体試料の製造に使用可能なリソグラフィツールの光学構成をエミュレートすることによって取得され、第1の画像に印刷しきい値を適用して、半導体試料に印刷可能なマスクの複数の構造要素の情報を提供する第2の画像を生じさせ、複数の構造要素から着目構造要素（SEI）のグループの各SEIに対する輪郭を推定し、輪郭を特徴付ける属性のセットを抽出して、SEIのグループに対応する輪郭のグループおよびSEIに関連付けられたそれぞれの属性のセットを生じさせ、輪郭のグループの各所与の輪郭について、輪郭に関連付けられたそれぞれの属性のセットを比較することによって、輪郭のグループの残りの輪郭の中から、所与の輪郭に類似する1つまたは複数の基準輪郭を識別し、所与の輪郭とその1つまたは複数の基準輪郭のそれぞれとの間の偏差を測定し、所与の輪郭に関連付けられたSEIに関して欠陥が存在するかどうかを示す1つまたは複数の測定された偏差を生じさせるように構成された処理およびメモリ回路（PMC）を備える。

20

【 0 0 0 9 】

上記の特徴に加えて、本開示の主題の本態様によるシステムは、技術的に可能な任意の所望の組合せまたは順列で、以下に列挙する特徴（i）～（xiiii）のうちの1つまたは複数を含むことができる。

30

（i）マスクは、単一ダイのマスクフィールドおよびスクライプ領域を含み、マスクの少なくとも一部は、単一ダイの少なくとも一部および/またはスクライプ領域の少なくとも一部を含む。

（ii）マスクは、複数ダイのマスクフィールドおよびスクライプ領域を含み、マスクの少なくとも一部は、スクライプ領域の少なくとも一部を含む。

（iii）第1の画像は、リソグラフィツールの光学構成をエミュレートするように構成された化学線検査ツールによって取得される。

（iv）第1の画像は、非化学線検査ツールを使用して画像を取得し、リソグラフィツールの光学構成をシミュレートするために、この画像に対してシミュレーションを行って、第1の画像を生じさせることによって得られる。

40

（v）欠陥は、所与の輪郭がその予想される位置からの相対的に実質的な偏差を示すエッジ変位である。

（vi）輪郭は、エッジ検出法を使用して推定される。

（vii）属性のセットは、輪郭によって形成される領域、領域の幅、領域の高さ、輪郭に沿ったピクセル数、チェーンコード、および重心を含むグループから選択される。

（viii）PMCは、所与の輪郭を1つまたは複数の基準輪郭とそれぞれ位置合わせして、1つまたは複数の位置合わせされた輪郭のペアを生じさせ、各位置合わせされた輪郭のペアの対応する点間の距離を測定し、測定された距離の中から最大距離を、所与の輪郭

50

と1つまたは複数の基準輪郭のそれぞれの基準輪郭との間の測定された偏差として選択することによって、偏差を測定するように構成されている。

(ix) PMCは、1つまたは複数の測定された偏差に基づいて合成偏差を導出し、合成偏差に偏差しきい値を適用し、合成偏差が偏差しきい値を超えると欠陥の存在を報告するようにさらに構成されている。

(x) PMCは、第1の画像に対応した、マスクの少なくとも一部の上の欠陥の存在およびその位置を示す欠陥マップを提供するようにさらに構成されている。

(xi) PMCは、それぞれがマスクのそれぞれの部分を表す複数の第1の画像を得るように構成され、複数の第1の画像は、複数の第1の画像の複数の視野(FOV)が重複しないように、所定のステップサイズで連続的に取得される。

PMCは、複数の第1の画像のそれぞれに対して独立して適用、推定、識別、および測定を行い、複数の第1の画像のそれぞれに対応した、マスクのそれぞれの部分上の欠陥の存在を示す欠陥マップを提供し、それによって複数の第1の画像に対応する複数の欠陥マップを生じさせるように構成されている。

(xii) PMCは、複数の欠陥マップのそれぞれにおいて提示された欠陥に関連付けられた1つまたは複数のSEIを識別し、複数の第1の画像間で1つまたは複数のSEIの1つもしくは複数の輪郭を比較し、少なくとも1つの欠陥が第1の画像の少なくとも1つにおける固有の構造要素の存在を示す誤警報であるかどうかを判定するようにさらに構成されている。

(xiii) PMCは、マスクの所与の部分について、それぞれが少なくとも所与の部分を表す複数の第1の画像を得るように構成され、複数の第1の画像は、複数の第1の画像の複数の視野(FOV)が少なくとも所与の部分だけ重複するように所定のステップサイズで連続的に取得される。

PMCは、複数の第1の画像のそれぞれに対して適用、推定、識別、および測定を行い、複数の第1の画像のそれぞれに対応した、少なくとも所与の部分上の欠陥の存在を示す欠陥マップを提供し、それによって複数の第1の画像に対応する複数の欠陥マップを生じさせ、複数の欠陥マップにおいて提示された欠陥を比較して、欠陥が着目欠陥であるか誤警報であるかを判定するように構成されている。

【0010】

本開示の主題の他の態様によると、半導体試料の製造に使用可能なマスクを検査する方法が提供され、本方法は、処理およびメモリ回路(PMC)によって実行され、マスクの少なくとも一部を表す第1の画像を得るステップであって、第1の画像が半導体試料の製造に使用可能なリソグラフィツールの光学構成をエミュレートすることによって取得される、ステップと、第1の画像に印刷しきい値を適用して第2の画像を生じさせるステップであって、第2の画像が半導体試料に印刷可能なマスクの複数の構造要素の情報を提供する、ステップと、複数の構造要素から着目構造要素(SEI)のグループの各SEIに対する輪郭を推定し、輪郭を特徴付ける属性のセットを抽出して、SEIのグループに対応する輪郭のグループおよびSEIに関連付けられたそれぞれの属性のセットを生じさせるステップと、輪郭のグループの各所与の輪郭について、輪郭に関連付けられたそれぞれの属性のセットを比較することによって、輪郭のグループの残りの輪郭の中から、所与の輪郭に類似する1つまたは複数の基準輪郭を識別するステップと、所与の輪郭とその1つまたは複数の基準輪郭のそれぞれとの間の偏差を測定し、所与の輪郭に関連付けられたSEIに関して欠陥が存在するかどうかを示す1つまたは複数の測定された偏差を生じさせるステップと、を含む。

【0011】

開示された主題の本態様は、技術的に可能な任意の所望の組合せまたは順列において、必要な変更を加えて、本システムに関して上で列挙された特徴(i)~(xiii)のうちの1つまたは複数を含むことができる。

【0012】

本開示の主題の他の態様によると、コンピュータによって実行されると、半導体試料の

製造に使用可能なマスクを検査する方法をコンピュータに実行させる命令を含む非一過性コンピュータ可読媒体が提供され、本方法は、マスクの少なくとも一部を表す第1の画像を得るステップであって、第1の画像が半導体試料の製造に使用可能なリソグラフィツールの光学構成をエミュレートすることによって取得される、ステップと、第1の画像に印刷しきい値を適用して第2の画像を生じさせるステップであって、第2の画像が半導体試料に印刷可能なマスクの複数の構造要素の情報を提供する、ステップと、複数の構造要素から着目構造要素（SEI）のグループの各SEIに対する輪郭を推定し、輪郭を特徴付ける属性のセットを抽出して、SEIのグループに対応する輪郭のグループおよびSEIに関連付けられたそれぞれの属性のセットを生じさせるステップと、輪郭のグループの各所与の輪郭について、輪郭に関連付けられたそれぞれの属性のセットを比較することによって、輪郭のグループの残りの輪郭の中から、所与の輪郭に類似する1つまたは複数の基準輪郭を識別するステップと、所与の輪郭とその1つまたは複数の基準輪郭のそれぞれとの間の偏差を測定し、所与の輪郭に関連付けられたSEIに関して欠陥が存在するかどうかを示す1つまたは複数の測定された偏差を生じさせるステップと、を含む。

10

【0013】

開示された主題の本態様は、技術的に可能な任意の所望の組合せまたは順列において、必要な変更を加えて、本システムに関して上で列挙された特徴(i)~(xiii)のうちの1つまたは複数を含むことができる。

【0014】

本開示を理解し、本開示が実際にどのように実行され得るかを理解するために、ここで添付の図面を参照して、非限定的な例としてのみ実施形態を説明する。

20

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】本開示の主題の特定の実施形態によるマスク検査システムの機能ブロック図である。

【図2】本開示の主題の特定の実施形態によるマスク検査の一般化された流れ図である。

【図3】本開示の主題の特定の実施形態による、所与の輪郭とその基準輪郭との間の偏差を測定する一般化された流れ図である。

【図4】本開示の主題の特定の実施形態による、誤警報除去のために重複画像を取得および利用する一般化された流れ図である。

30

【図5】本開示の主題の特定の実施形態による化学線検査ツールおよびリソグラフィツールの概略図である。

【図6】本開示の主題の特定の実施形態による、シングルダイマスクの例示的なレイアウトおよびマルチダイマスクの例示的なレイアウトを概略的に示す図である。

【図7】本開示の主題の特定の実施形態による、印刷しきい値を適用するプロセスの概略図、ならびに第1の画像および第2の画像の例である。

【図8A】本開示の主題の特定の実施形態による、異なる形状を有するいくつかの構造要素について抽出された輪郭（破線によって示される）のいくつかの例である。

【図8B】本開示の主題の特定の実施形態による、所与の輪郭に対する基準輪郭の例である。

40

【図9】本開示の主題の特定の実施形態による、欠陥の存在を示す測定された偏差の2つの例である。

【図10A】本開示の主題の特定の実施形態による、マスクの一部について捕捉された一連の非重複画像の例を概略的に示す図である。

【図10B】本開示の主題の特定の実施形態による、マスクの一部について捕捉された一連の重複画像の例を概略的に示す図である。

【図11】本開示の主題の特定の実施形態による、重複画像を使用して判定される着目欠陥および誤警報の例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

50

以下の詳細な説明では、本開示の完全な理解を提供するために、多数の具体的な詳細が記載される。しかしながら、本発明がこれらの具体的な詳細なしに実行され得ることを当業者は理解されるであろう。他の事例では、本開示の主題を不明瞭にしないように、よく知られている方法、手順、構成要素、および回路は、詳細に説明されていない。

【0017】

特に断らない限り、以下の記述から明らかなように、本明細書を通じて、「検査する」、「得る」、「エミュレートする」、「適用する」、「推定する」、「抽出する」、「識別する」、「比較する」、「測定する」、「取得する」、「実行する」、「位置合わせする」、「選択する」、「導出する」、「報告する」、「提供する」、「決定する」などの用語を利用する記述は、データを操作および/または他のデータに変換するコンピュータの動作および/またはプロセスを指し、前記データは、電子量などの物理量として表され、ならびに/または前記データは、物理的物体を表すことが理解される。「コンピュータ」という用語は、非限定的な例として、本出願において開示されるマスク検査システム、マスク欠陥検出システム、およびそれらのそれぞれの部分を含む、データ処理能力を有する任意の種類のハードウェアベースの電子デバイスを包含するように拡張的に解釈されるべきである。

10

【0018】

本明細書で使用される「マスク」という用語は、「フォトリソグラフィマスク」または「フォトマスク」または「レチクル」とも呼ばれる。このような用語は、フォトリソグラフィプロセスにおいて半導体ウエハ上にパターンニングされる回路設計（例えば、集積回路の特定の層のレイアウトを画定する）を保持するテンプレートを包含するように、等価的かつ拡張的に解釈されるべきである。例として、マスクは、リソグラフィプロセスにおいてウエハ上に投影される不透明領域、透明領域、および位相シフト領域のパターンで覆われた石英ガラス板として実装することができる。例として、マスクは、極端紫外線（EUV）マスクまたはフッ化アルゴン（ArF）マスクとすることができる。別の例として、マスクは、メモリマスク（メモリデバイスを製造するために使用可能）またはロジックマスク（ロジックデバイスを製造するために使用可能）であってもよい。

20

【0019】

本明細書で使用される「検査」または「マスク検査」という用語は、回路設計に関して製造されたフォトマスクの精度および完全性、ならびに回路設計の正確な表現をウエハ上に生成する能力を評価するためのあらゆる操作を包含するように拡張的に解釈されるべきである。検査は、欠陥検出、欠陥レビューおよび/または様々なタイプの欠陥分類に関連する任意の種類の操作、ならびに/あるいは、マスク製造プロセス中および/もしくは後の、ならびに/または半導体試料製造のためのマスクの使用中の計測学操作を含むことができる。検査は、マスクの製造後に非破壊検査ツールを使用することによって行うことができる。非限定的な例として、検査プロセスは、以下の操作、すなわち、検査ツールを使用して、マスクまたはその一部に関して提供される走査（単一または複数の走査）、画像化、サンプリング、検出、測定、分類、および/または他の操作のうちの1つまたは複数を含むことができる。同様に、マスク検査は、例えば、マスクの実際の検査の前に、検査方策および/または他の設定動作を生成することを含むと解釈することもできる。特に断らない限り、本明細書で使用される「検査」という用語またはその派生語は、検査領域の分解能またはサイズに関して限定されないことに留意されたい。様々な非破壊検査ツールは、非限定的な例として、光学検査ツール、走査型電子顕微鏡、原子間力顕微鏡などを含む。

30

40

【0020】

本明細書で使用される「計測学操作」という用語は、マスク上の1つまたは複数の構造要素に関する計測学情報を抽出するために使用される任意の計測学操作手順を包含するように拡張的に解釈されるべきである。一部の実施形態では、計測学操作は、例えば、試料上の特定の構造要素に対して行われる限界寸法（CD）測定などの測定操作を含むことができ、これには、寸法（例えば、線幅、線間隔、接点直径、要素のサイズ、エッジ粗さ、

50

グレーレベル統計値など)、要素の形状、要素内または要素間の距離、関連する角度、異なる設計レベルに対応する要素に関連付けられたオーバーレイ情報などが含まれるが、これらに限定されない。測定画像などの測定結果は、例えば、画像処理技術を用いることによって解析される。特に断らない限り、本明細書で使用される用語「計測学」またはその派生語は、測定技術、測定分解能、または検査領域のサイズに関して限定されないことに留意されたい。

【0021】

本明細書で使用される「試料」という用語は、半導体集積回路、磁気ヘッド、フラットパネルディスプレイ、および他の半導体製造物品を製造するために使用される任意の種類

10

【0022】

本明細書で使用される用語「欠陥」は、マスク上に形成された任意の種類の異常または望ましくない特徴を包含するように拡張的に解釈されるべきである。欠陥は、場合によっては、ウエハに印刷されたときに、製造されたデバイスの機能に特定の影響を及ぼす真の欠陥または着目欠陥(DOI)を指すことがある。一部の他の場合には、欠陥は、完成したデバイスの機能に影響を及ぼさないため無視することができる、欠陥の疑いがある厄介なまたは「誤警報」欠陥を指すことがある。

【0023】

本明細書で使用される「非一過性メモリ」および「非一過性ストレージ媒体」という用語は、本開示の主題に適したあらゆる揮発性または不揮発性コンピュータメモリを包含するように拡張的に解釈されるべきである。これらの用語は、1つまたは複数の命令セットを記憶する単一の媒体または複数の媒体(例えば、集中型もしくは分散型データベース、および/または関連付けられたキャッシュおよびサーバ)を含むと解釈されるべきである。これらの用語はまた、コンピュータによる実行のための命令セットを記憶または符号化することができる、コンピュータに本開示の方法論のいずれか1つまたは複数を実行させる任意の媒体を含むと解釈されるものとする。したがって、これらの用語は、限定はされないが、読み取り専用メモリ(「ROM」)、ランダムアクセスメモリ(「RAM」)、磁気ディスクストレージ媒体、光ストレージ媒体、フラッシュメモリデバイスなどを含むように解釈されるものとする。

20

30

【0024】

特に断らない限り、別個の実施形態の文脈で説明される本開示の主題の特定の特徴は、単一の実施形態において組み合わせ提供することもできることが理解される。逆に、単一の実施形態の文脈で説明される本開示の主題の様々な特徴は、別個に、または任意の適切なサブコンビネーションで提供することもできる。以下の詳細な説明では、方法および装置の完全な理解を提供するために、多数の具体的な詳細が記載される。

【0025】

このことを念頭において、本開示の主題の特定の実施形態によるマスク検査システムの機能ブロック図を示す図1に注目する。

【0026】

図1に示す検査システム100は、マスク製造プロセス中または製造プロセス後のマスクの検査に使用することができる。上述したように、本明細書で言及される検査は、マスクまたはその一部に関する欠陥検出、および/または様々なタイプの欠陥分類、および/または例えば限界寸法(CD)測定などの計測学操作に関連する任意の種類の操作を包含すると解釈することができる。本開示の主題の特定の実施形態によると、図示される検査システム100は、マスク上の構造要素に関する欠陥を自動的に検出することができるコンピュータベースのシステム101を備える。具体的には、一部の実施形態では、本開示において検出される欠陥は、マスク上の構造要素のエッジ変位に関する。したがって、システム101は、マスク欠陥検出システムとも呼ばれ、検査システム100のサブシステムである。

40

50

【 0 0 2 7 】

システム 1 0 1 は、マスク検査ツール 1 2 0 に動作可能に接続することができ、このツールは、マスクを走査し、マスクの検査のためにマスクの 1 つまたは複数の画像を捕捉するように構成されている。本明細書で使用される「マスク検査ツール」という用語は、非限定的な例として、走査（単一または複数の走査）、画像化、サンプリング、検出、測定、分類、および/またはマスクもしくはその一部に関して提供される他のプロセスを含む、マスク検査関連プロセスで使用することができる任意のタイプの検査ツールを包含するように拡張的に解釈されるべきである。

【 0 0 2 8 】

本開示の範囲を決して限定することなく、マスク検査ツール 1 2 0 は、光学検査ツール、電子ビームツールなどの様々なタイプの検査機として実装され得ることに留意されたい。場合によっては、マスク検査ツール 1 2 0 は、比較的 low 分解能の検査ツール（例えば、光学検査ツール、低分解能走査型電子顕微鏡（SEM）など）とすることができる。場合によっては、マスク検査ツール 1 2 0 は、比較的高分解能の検査ツール（例えば、高分解能 SEM、原子間力顕微鏡（AFM）、透過型電子顕微鏡（TEM）など）とすることができる。場合によっては、検査ツールは、低解像度画像データと高解像度画像データの両方を提供することができる。一部の実施形態では、マスク検査ツール 1 2 0 は、計測学能力を有し、捕捉された画像に対して計測学操作を実行するように構成することができる。得られた画像データ（低解像度画像データおよび/または高解像度画像データ）は、直接、または 1 つまたは複数の中間システムを介して、システム 1 0 1 に送信することができる。

【 0 0 2 9 】

特定の実施形態によると、マスク検査ツールは、例えば、マスクに形成されたパターンをウエハ上に投影することによって、半導体試料の製造に使用可能なリソグラフィツール（例えば、スキャナまたはステップなど）の光学構成をエミュレート/模倣するように構成された化学線検査ツールとして実装することができる。

【 0 0 3 0 】

ここで図 5 に目を向けると、本開示の主題の特定の実施形態による化学線検査ツールおよびリソグラフィツールの概略図が示されている。

【 0 0 3 1 】

リソグラフィツール 5 2 0 と同様に、化学線検査ツール 5 0 0 は、露光波長の光（例えば、レーザー）を生成するように構成された照明源 5 0 2 と、照明光学系 5 0 4 と、マスクホルダ 5 0 6 と、投影光学系 5 0 8 と、を含むことができる。照明光学系 5 0 4 および投影光学系 5 0 8 は、1 つまたは複数の光学素子（例えば、レンズ、絞り、空間フィルタなど）を含むことができる。

【 0 0 3 2 】

リソグラフィツール 5 2 0 において、マスクは、マスクホルダ 5 0 6 に配置され、ウエハホルダ 5 1 2 上に置かれたウエハ上に複製される回路パターンの像を投影するように光学的に位置合わせされる（例えば、ウエハ上にパターンを生成または複製するために様々なステップング、スキャンおよび/または結像技術を用いることによって）。リソグラフィツール 5 2 0 とは異なり、化学線検査ツール 5 0 0 は、ウエハホルダ 5 1 2 を配置する代わりに、検出器 5 1 0（例えば、電荷結合素子（CCD）など）をウエハホルダの位置に配置し、検出器 5 1 0 がマスクを通して投影される光を検出し、マスクの画像を生成するように構成されている。

【 0 0 3 3 】

図から分かるように、化学線検査ツール 5 0 0 は、例えば、波長、瞳形状、開口数（NA）などの照明/露光条件を含むがこれらに限定されないリソグラフィツール 5 2 0 の光学構成をエミュレートするように構成されている。したがって、検出器 5 1 0 によって取得されるマスク画像 5 1 4 は、リソグラフィツールを介してマスクを使用して製造されるウエハの画像 5 1 6 に類似していることが予想される。このような化学線検査ツールを使

10

20

30

40

50

用して取得されたマスク画像は、本開示に記載されるように、空間像または第1の画像とも呼ばれる。第1の画像は、以下で説明するように、さらなる処理のためにシステム101に提供される。

【0034】

特定の実施形態によると、場合によっては、マスク検査ツール120は、例えば、通常の光学検査ツール、電子ビームツールなどの非化学線検査ツールとして実装することができる。このような場合、非化学線検査ツールは、マスクの画像を取得するように構成することができる。リソグラフィツールの光学構成をシミュレートするために、取得された像に対してシミュレーションを行うことができ、それによって空間像（すなわち、第1の画像）を生成する。場合によっては、シミュレーションは、システム101によって実行することができ（例えば、シミュレーションの機能をシステム101のPMC102に統合することができる）、いくつかの他の場合には、シミュレーションは、マスク検査ツール120の処理モジュールによって、またはマスク検査ツール120およびシステム101に動作可能に接続された別個のシミュレーションユニットによって実行することができる。

10

【0035】

システム101は、ハードウェアベースのI/Oインターフェース126に動作可能に接続されたプロセッサおよびメモリ回路（PMC）102を含む。PMC102は、図2、図3および図4を参照してさらに詳述されるように、システムを動作させるために必要な処理を提供するように構成され、プロセッサ（別個に図示せず）およびメモリ（別個に図示せず）を備える。PMC102のプロセッサは、PMCに含まれる非一過性コンピュータ可読メモリ上に実装されたコンピュータ可読命令に従っていくつかの機能モジュールを実行するように構成することができる。このような機能モジュールは、以下、PMCに含まれるものとして言及される。

20

【0036】

本明細書で言及されるプロセッサは、マイクロプロセッサ、中央処理装置などの1つまたは複数の汎用処理デバイスを表すことができる。より具体的には、プロセッサは、複合命令セットコンピューティング（CISC）マイクロプロセッサ、縮小命令セットコンピューティング（RISC）マイクロプロセッサ、超長命令語（VLIW）マイクロプロセッサ、他の命令セットを実装するプロセッサ、または命令セットの組合せを実装するプロセッサであってもよい。プロセッサはまた、特定用途向け集積回路（ASIC）、フィールドプログラマブルゲートアレイ（FPGA）、デジタル信号プロセッサ（DSP）、ネットワークプロセッサなどの1つまたは複数の専用処理デバイスであってもよい。プロセッサは、本明細書で論じる動作およびステップを実行するための命令を実行するように構成される。

30

【0037】

本明細書で言及されるメモリは、メインメモリ（例えば、読み取り専用メモリ（ROM）、フラッシュメモリ、シンクロナスDRAM（SDRAM）またはラムバスDRAM（RDRAM）などのダイナミックランダムアクセスメモリ（DRAM）など）、およびスタティックメモリ（例えば、フラッシュメモリ、スタティックランダムアクセスメモリ（SRAM）など）を含むことができる。

40

【0038】

上述したように、一部の実施形態では、システム101は、マスク上の1つまたは複数の構造要素のエッジ変位に関連する欠陥を検出するように構成することができる。本明細書で使用される「エッジ変位」という用語は、構造要素のエッジ/輪郭の、その予想される位置からの相対的に実質的な偏差を指す。

【0039】

本明細書で使用される構造要素または構造的特徴は、場合によっては他の物体と組み合わせられる/重ね合わされる（したがってパターンを形成する）、輪郭を有する幾何学的形状または幾何学的構造を有するマスク上の任意の元の物体を指すことができる。構造要素

50

の例は、例えば、接点、線などの一般的な形状特徴、および/または複雑な構造/形状を有する特徴、および/または1つまたは複数の他の特徴によって組み合わされた特徴を含むことができる。構造要素は、2Dまたは3D特徴とすることができ、構造要素を捕捉する画像は、構造要素の2D表現を反映することができる。

【0040】

本明細書で言及されるエッジ変位の欠陥は、マスクの製造プロセス中の物理的影響および/または他の要因など、例えば、酸化（マスクの使用中に徐々に起こることがある）、粒子、スクラッチ、結晶成長、静電気放電（ESD）などの様々な要因によって引き起こされることがある。このようなマスク欠陥は、ウエハの大量生産の前に検出されない場合は、ウエハ上で複数回繰り返され、複数の半導体デバイスを不良にし（例えば、デバイスの機能に影響を及ぼし）、したがって、歩留まりを著しく低下させる。

10

【0041】

マスクは、ウエハに変換されるマスクフィールドを含む。場合によっては、マスクフィールドは、同じ設計パターンを有する複数のダイを含むことができる（このようなマスクはマルチダイマスクと呼ばれる）。一部の他の場合には、マスクフィールドは、単一のダイを含むことができる（このようなマスクはシングルダイマスクと呼ばれる）。ダイの構造要素に関連付けられた欠陥が存在するかどうかを検出するために、別のダイからの基準構造要素が、通常、ダイ間検査における比較のために必要とされる。しかしながら、シングルダイマスクの場合、マスク上には比較のために使用することができる基準ダイが存在しない。したがって、単一ダイの構造要素に対して、欠陥検出のための基準を得る必要がある。

20

【0042】

ここで図6に目を向けると、本開示の主題の特定の実施形態によるシングルダイマスクの例示的なレイアウトおよびマルチダイマスクの例示的なレイアウトが概略的に示されている。

【0043】

図示するように、マルチダイマスク604は、同じ設計パターンを有する9つのダイのマスクフィールドを含む。マスクフィールドの任意のダイの構造要素に対して、隣接するダイの1つまたは複数において、1つまたは複数の基準構造要素を常に見つけることができる。しかしながら、単一ダイ606のマスクフィールドを含むシングルダイマスク602の場合は、単一ダイの構造要素に関する欠陥検出に使用することができる基準ダイがマスク上にない。

30

【0044】

加えて、シングルダイマスク602は、ダイ領域606とマスクの周辺領域610との間にスクライブ領域608をさらに備える。スクライブ領域608は、例えば、アライメント特徴、較正特徴などの補助特徴を含む。このような補助特徴/構造は、ダイ領域のパターンとともにリソグラフィプロセスにおいてウエハ上に印刷されることがある。したがって、ダイの構造要素に関する欠陥検出に加えて、またはその代わりに、これらの補助特徴（もしあれば）に関する欠陥を検出することも望ましい。これは、ダイ領域と周辺領域との間、ならびにダイ間にあるマルチダイマスク604のスクライブ領域612の補助特徴にも当てはまる。しかしながら、検査に使用するマスク上には、このような補助特徴に対する基準特徴は存在しない。

40

【0045】

化学線検査ツールに関する特定の従来技術は、ツールの透過モダリティおよび反射モダリティからそれぞれ2つの画像を取得し、2つの画像間の差を解析して任意の欠陥の存在を推定することができる。しかしながら、2つの画像化モダリティを利用することは、画像取得プロセスおよび画像処理プロセスの両方において時間がかかり、したがって検査のスループット（TPY）に影響を及ぼす可能性がある。

【0046】

あるいは、特定の検査ツールは、マスクの設計データに基づいてシミュレートされた画

50

像を生成し、シミュレートされた画像をマスク画像上の欠陥検出のための基準画像として使用しようとする場合がある。しかしながら、このような方法は、多くの場合、入手不可能なマスクの設計データの取得を必要とする。加えてシミュレーションされた画像は、マスク製造プロセス中のプロセスのばらつきの不確実性に起因して不正確である場合があり、これは、検査結果の精度に不可避的に影響を及ぼす可能性がある。

【 0 0 4 7 】

したがって、特に、フォトマスクに関する高度なプロセスおよび複雑な特徴の開発に起因して、現在の検査方法は、マスク特徴/要素の所望のプロセス制御を提供するのに十分ではない。したがって、検査スループットに影響を及ぼすことなく、マスク上の構造要素（例えば、シングルダイマスクのダイ領域、ならびにシングルダイマスクおよびマルチダイマスク両方のスクライブ領域の構造要素）に関して欠陥をより高い感度で正確に検出することができるように、上記の問題に対処する改善された欠陥検出方法が必要とされている。

10

【 0 0 4 8 】

本開示の主題の特定の実施形態によると、マスク上の構造要素のエッジ変位に関連する欠陥を検出するための新しいマスク検査システムおよび方法が提案される。提案された方法は、マスク特徴の高度なプロセス制御のための改善された精度および検出感度を有することが証明されている。

【 0 0 4 9 】

特定の実施形態によると、システム 1 0 1 の P M C 1 0 2 に含まれる機能モジュールは、画像処理モジュール 1 0 4、測定モジュール 1 0 6、および任意で欠陥処理モジュール 1 0 8 を含むことができる。P M C 1 0 2 は、I / O インターフェース 1 2 6 を介して、マスクの少なくとも一部（例えば、一部分）を表す第 1 の画像を得るように構成することができる。第 1 の画像は、半導体試料の製造に使用可能な光学構成リソグラフィツールをエミュレートすることによって取得することができる。例として、画像は、例えば化学線検査ツールなどのマスク検査ツール 1 2 0 によって取得することができる。

20

【 0 0 5 0 】

画像処理モジュール 1 0 4 は、第 1 の画像に印刷しきい値を適用して、第 2 の画像を生じさせるように構成することができる。第 2 の画像は、半導体試料に印刷可能なマスクの複数の構造要素の情報を提供する。画像処理モジュール 1 0 4 は、複数の構造要素から着目構造要素（S E I）のグループの各 S E I に対する輪郭を推定し、輪郭を特徴付ける属性のセットを抽出して、S E I のグループに対応する輪郭のグループおよび S E I に関連付けられたそれぞれの属性のセットを生じさせるようにさらに構成することができる。

30

【 0 0 5 1 】

画像処理モジュール 1 0 4 は、各所与の輪郭について、輪郭に関連付けられたそれぞれの属性のセットを比較することによって、輪郭のグループの残りの輪郭の中から、所与の輪郭に類似する 1 つまたは複数の基準輪郭を識別するようにさらに構成することができる。測定モジュール 1 0 6 は、所与の輪郭とその 1 つまたは複数の基準輪郭のそれぞれとの間の偏差を測定し、所与の輪郭に関連付けられた S E I に関して欠陥が存在するかどうかを示す 1 つまたは複数の測定された偏差を生じさせるように構成することができる。任意で、欠陥処理モジュール 1 0 8 は、偏差が偏差しきい値を超えると欠陥の存在を報告し、および/または検出された欠陥にどのように対応するかを決定するように構成することができる。

40

【 0 0 5 2 】

システム 1 0 0、1 0 1、P M C 1 0 2 およびその中の機能モジュールの動作は、図 2、図 3 および図 4 を参照してさらに詳述される。

【 0 0 5 3 】

特定の実施形態によると、システム 1 0 0 は、ストレージユニット 1 2 2 を備えることができる。ストレージユニット 1 2 2 は、動作システム 1 0 0 および 1 0 1 に必要な任意のデータ、例えば、システム 1 0 0 および 1 0 1 の入力および出力に関連するデータだけ

50

でなくシステム 101 によって生成された中間処理結果も記憶するように構成することができる。例として、ストレージユニット 122 は、マスク検査ツール 120 によって生成された画像および/またはその派生物（例えば、前処理後の画像）を記憶するように構成することができる。したがって、画像をストレージユニット 122 から検索して、さらなる処理のために PMC 102 に提供することができる。

【0054】

一部の実施形態では、システム 100 は、任意で、システム 101 に関連するユーザ指定入力を可能にするように構成されたコンピュータベースのグラフィカルユーザインターフェース（GUI）124 を備えることができる。例えば、試料の画像および/または構造要素の画像表現を含む、試料の視覚表現を（例えば、GUI 124 の一部を形成するディスプレイによって）ユーザに提示することができる。ユーザは、GUI を介して、例えば印刷しきい値、偏差しきい値などの特定の動作パラメータを定義する選択肢を提供されてもよい。場合によっては、ユーザは、測定された偏差、検出された欠陥、および/またはさらなる検査結果などの操作結果を GUI 上で見ることもできる。

【0055】

上述したように、システム 101 は、I/O インターフェース 126 を介して、マスクの 1 つまたは複数の画像（例えば、第 1 の画像）を受信するように構成されている。画像は、マスク検査ツール 120 によって生成された画像データ（および/またはその派生物）、ならびに/あるいはストレージユニット 122 または 1 つもしくは複数のデータ保管場所に記憶された画像データを含むことができる。場合によっては、画像データは、マスク製造プロセス中もしくは製造プロセス後にマスク検査ツールによって捕捉された画像、および/または様々な前処理段階によって得られる捕捉された画像から導出された前処理画像などを指すことができる。場合によっては、画像は、関連付けられた数値データ（例えば、メタデータ、手作りの属性など）を含むことができることに留意されたい。画像データは、ウエハに印刷される半導体デバイスのターゲット層に関連することにさらに留意されたい。

【0056】

システム 101 は、受信した画像を処理し、I/O インターフェース 126 を介して結果（例えば、測定された偏差、検出された欠陥）をストレージユニット 122、および/またはレンダリングのための GUI 124、および/またはマスク検査ツール 120 に送信するようにさらに構成されている。

【0057】

一部の実施形態では、システム 101 に加えて、マスク検査システム 100 は、例えば、追加の欠陥検出モジュールおよび/または自動欠陥レビューモジュール（ADR）および/または自動欠陥分類モジュール（ADC）および/または計測学関連モジュールおよび/またはマスクの追加検査を行うために使用可能な他の検査モジュールなど、1 つまたは複数の検査モジュールをさらに備えることができる。1 つまたは複数の検査モジュールは、スタンドアロンコンピュータとして実装することができ、または検査モジュールの機能（または少なくともその一部）をマスク検査ツール 120 と統合することができる。一部の実施形態では、システム 101 から得られる出力は、マスク検査ツール 120 および/あるいは 1 つもしくは複数の検査モジュール（またはその一部）によって、マスクのさらなる検査のために使用することができる。

【0058】

当業者は、本開示の主題の教示が図 1 に示されているシステムによって拘束されず、等価なおよび/または修正された機能を別のやり方で統合もしくは分割することができ、ソフトウェアと、ファームウェアおよび/またはハードウェアとの任意の適切な組合せで実装することができることを容易に理解するであろう。

【0059】

図 1 に示される検査システムは、PMC 102 に含まれる上述の機能モジュールがいくつかのローカルデバイスおよび/またはリモートデバイスにわたって分散され得て、通信

10

20

30

40

50

ネットワークを介してリンクされ得る分散コンピューティング環境において実装され得ることに留意されたい。さらに、他の実施形態では、試験ツール120、ストレージユニット122、および/またはGUI124のうち少なくとも一部は、検査システム100の外部にあり、I/Oインターフェース126を介してシステム101とデータ通信して動作することができることに留意されたい。システム101は、試験ツールと連携して使用されるスタンドアロンコンピュータとして実装することができる。あるいは、システム101のそれぞれの機能は、少なくとも部分的に、マスク検査ツール120と統合することができ、それによって、検査関連プロセスにおけるマスク検査ツール120の機能を容易にし、強化することができる。

【0060】

必ずしもそうではないが、システム101および100の動作のプロセスは、図2～図4に関して説明される方法の段階の一部または全部に対応することができる。同様に、図2～図4に関して説明される方法およびそれらの可能な実施態様は、システム101および100によって実装され得る。したがって、図2～図4に関して説明される方法に関連して論じる実施形態は、必要な変更を加えて、システム101および100の様々な実施形態として実装することもでき、その逆も可能であることに留意されたい。

【0061】

ここで図2を参照すると、本開示の主題の特定の実施形態によるマスク検査の一般化された流れ図が示されている。

【0062】

マスク（検査されるマスク）の少なくとも一部を表す第1の画像を（例えば、I/Oインターフェース126を介してPMC102によって、マスク検査ツール120からまたはストレージユニット122から）得ることができる（202）。第1の画像は、半導体試料の製造に使用可能なリソグラフィツールの光学構成をエミュレートすることによって取得することができる。

【0063】

一部の実施形態では、検査されるマスクは、シングルダイマスクである。図6の602に例示されるように、シングルダイのダイ領域およびスクライプ領域（例えば、アライメント特徴、較正特徴などの補助特徴を含む）を含むシングルダイマスクのマスクフィールドは、リソグラフィプロセス中にウエハ上に転写される印刷可能な特徴/構造を含む。したがって、現在提案されている検査方法は、これらの領域/エリアのいずれかに関して欠陥を検出するために適用可能である。例として、得られた第1の画像は、単一ダイ領域の少なくとも一部および/またはスクライプ領域の少なくとも一部を表すことができる。

【0064】

一部の他の実施形態では、検査されるマスクは、図6の604に例示されるようなマルチダイマスクとすることができる。このような場合、現在提案されている検査方法は、マルチダイマスクのスクライプ領域の少なくとも一部に関して欠陥を検出するために適用可能である。

【0065】

一部の実施形態では、第1の画像は、例えばApplied Materials Inc.のAera Mask Inspectionツールなどの化学線マスク検査ツールによって取得される。図5を参照して上述したように、化学線マスク検査ツールは、特に、マスクに従って半導体ウエハの製造に使用されるリソグラフィツール（例えば、スキヤナまたはステップ）の光学構成をエミュレートするように構成されている。エミュレートされる光学構成は、例えば、波長、瞳形状、開口数（NA）などの照明/露光条件のうちの一つまたは複数を含むことができる。

【0066】

このような化学線検査ツールによって取得されるマスク画像（例えば、第1の画像）は、リソグラフィツールを介してマスクを使用して製造されるウエハの画像に類似していることが予想され、したがって、空間像とも呼ばれる。言い換えれば、化学線マスク検査ツ

10

20

30

40

50

ールは、マスクの設計パターンが製造プロセス後に物理的ウエハに実際にどのように現れるかを模倣することができるマスク画像を捕捉するように構成されている。

【0067】

場合によっては、マスクを検査するために化学線検査ツールが利用可能でない場合がある。このような場合、例えば、通常の光学検査ツール、電子ビームツールなどの非化学線検査ツールを使用して、マスクの画像（非空間像）を取得することができる。リソグラフィツールの光学構成をシミュレートするために、取得された非空間像に対してシミュレーションを行うことができ、それによってマスクの空間像/第1の画像が生成される。したがって、一部の実施形態では、図2を参照して説明されるマスク検査方法は、非化学線検査ツールによって取得された画像を得る予備ステップと、リソグラフィツールの光学構成をシミュレートするために画像に対してシミュレーションを行って（例えば、PMC102の画像処理モジュール104によって、またはマスク検査ツール120の処理モジュールなどによって）、第1の画像を生じさせる予備ステップと、をさらに含むことができる。

10

【0068】

一部の実施形態では、得られた第1の画像は、図2を参照して説明されるように、さらなる処理の前に前処理されてもよい。前処理は、補間（例えば、第1の画像が比較的低い解像度を有する場合）、ノイズフィルタリング、焦点補正、収差補償、画像フォーマット変換などの操作のうちの一つまたは複数を含んでもよい。

【0069】

本開示は、マスク検査ツールの特定のモダリティ、および/またはそれによって取得された画像のタイプ、および/または画像を処理するために必要とされる前処理操作に限定されないことに留意されたい。

20

【0070】

（例えば、PMC102の画像処理モジュール104によって）第1の画像に印刷しきい値を適用して（204）、第2の画像を生じさせることができる。第2の画像は、半導体試料に印刷可能なマスクの複数の構造要素の情報を提供する。

【0071】

ここで図7を参照すると、印刷しきい値を適用するプロセスの概略図、ならびに本開示の主題の特定の実施形態による第1の画像および第2の画像の例が示されている。

30

【0072】

図示するように、図700は、照明されると光を透過する透明領域702（例えば、石英で作られている）と、光を遮断する不透明領域704（例えば、クロムで作られている）と、を備える例示的な（および簡略化された）マスクを示す。上述のようにして得られた第1の画像（空間像）は、画像710に例示されるように、マスクを透過した光を集光する検出器によって捕捉された画像を指す。

【0073】

実際、製造ツール（例えば、スキャナまたはステッパ）による実際のウエハ製造プロセスは、リソグラフィプロセスに続くレジストプロセスおよびエッチングプロセスを含む。ウエハは、感光性材料であるフォトレジストでコーティングされる。光への露光は、プロセスに依存して、レジストの一部を硬化または軟化させる。露光後、ウエハが現像され、露光中に領域が受けとった透過光の量（すなわち、光強度）に応じて、フォトレジストを特定の領域で溶解させる。

40

【0074】

例として、透過光の強度を表す波形705が示されている。所与の領域のフォトレジストが透過光の特定の強度未満で露光される場合、パターンがウエハに印刷される。フォトレジストのこれらの領域およびフォトレジストのない領域は、マスク上に設計パターンを再現する。したがって、特定の強度は、図7に例示されるように、印刷しきい値706として知られている。次いで、現像されたウエハは、フォトレジストコーティングによってもはや保護されていないウエハの部分のシリコンをエッチング除去する溶媒にさらされ、

50

(所与の層について)印刷されたウエハ708を生じさせる。

【0075】

したがって、ウエハ製造ツールの光学構成を模倣する化学線検査ツールでは、波形705は、第1の画像を形成するために化学線検査ツールの検出器によって捕捉される透過光を表す。化学線検査ツールでは、検出器がウエハに取って代わり、実際のレジストおよびエッチングプロセスがないため、印刷されたウエハに類似した画像を得るためには、印刷しきい値706を第1の画像に適用してレジストおよびエッチングプロセスの効果を模倣し、ウエハに印刷可能な特徴を含む第2の画像を生じさせる必要がある。具体的には、第2の画像は、ウエハに印刷可能なマスクの複数の構造要素の情報を提供する2値画像である。

10

【0076】

図7は、第1の画像710と、印刷しきい値を第1の画像に適用した後に生成された対応する第2の画像720との例を示す。図示するように、第2の画像720は、ウエハ708上の印刷パターンに類似した2値画像である。本例では、印刷しきい値未満のパターンがウエハに印刷可能(すなわちポジ型レジスト)として示されているが、これは必ずしもそうではないことに留意されたい。一部の他の場合には、その逆であってもよく、すなわち、印刷しきい値を超えるパターンがウエハに印刷可能である(すなわち、ネガ型レジスト)。本開示は、印刷可能な特徴をレンダリングするための特定のレジストプロセスにも、印刷しきい値の特定の適用にも限定されない。

【0077】

図2の説明を続けると、複数の構造要素から着目構造要素(SEI)のグループの各SEIの輪郭を推定することができ、輪郭を特徴付ける属性のセットを抽出することができ(206)(例えば、PMC102の画像処理モジュール104によって)、SEIのグループに対応する輪郭のグループおよびSEIに関連付けられたそれぞれの属性のセットを生じさせる。

20

【0078】

特定の実施形態によると、着目構造要素(SEI)のグループは、複数の構造要素から選択することができ、輪郭推定は、グループ内の各SEIについて実行することができる。例として、SEIのグループは、以下の要因、すなわち、第2の画像上の構造要素の位置、構造要素のタイプおよび/または形状、欠陥候補として以前の検査で検出された構造要素、検査される特定の構造要素の重要性に関する顧客入力/フィードバックなどのうちの1つまたは複数に基づいて選択することができる。場合によっては、選択をスキップすることができ、SEIのグループは、実際には、第2の画像上の複数の構造要素の母集団全体を含むことができる。

30

【0079】

輪郭という用語は、物体または要素の外形または境界を指すことができる。輪郭推定は、一般に、画像中の様々な物体/要素を検出するために使用することができる。本開示の一部の実施形態では、構造要素の輪郭は、エッジ検出法を使用することによって推定することができる。例として、エッジ検出法は、キャニー(Canny)またはソーベル(Sobel)エッジ検出アルゴリズムを使用して実装することができる。本主題に適用可能なエッジ検出アルゴリズムの別の例は、本特許出願の譲受人に譲渡された、「System, method and computer readable medium for detecting edges of a pattern」と題する米国特許第9,165,376号に記載されており、参照によりその全体が本明細書に組み込まれる。図8Aは、本開示の主題の特定の実施形態による、異なる形状を有するいくつかの構造要素について抽出された輪郭(破線によって示される)のいくつかの例を示す。

40

【0080】

各輪郭について、輪郭を特徴付ける属性のセットを抽出することができる。例として、属性のセットは、輪郭によって形成される領域、領域の幅、領域の高さ、輪郭に沿ったピクセル数、チェーンコード、および重心などを含むグループから選択することができる。

50

例えば、チェーンコードは、一連の特定の長さおよび方向の直線の線分を接続することによって輪郭を表すために使用される。典型的には、この表現は、線分の4つまたは8つの接続性に基づく。各線分の方法は、番号付け方式を使用することによって符号化される。一連のこのような方向の番号として形成される輪郭コードは、チェーンコードと呼ばれ、輪郭の形状を示す。

【0081】

例として、輪郭のグループの各輪郭に対する属性のセットは、例えば、テーブル、ベクトル、リストなどの異なるデータフォーマットで表現することができる。例えば、テーブル表現は、それぞれがN個の輪郭のグループの特定の輪郭を表すN個の行と、それぞれが輪郭に関連付けられたK個の特徴のセットを表すK個の列と、を含むことができる。

10

【0082】

輪郭のグループの各所与の輪郭について、輪郭のグループの残りの輪郭（すなわち、候補輪郭）の中から、所与の輪郭に類似する1つまたは複数の基準輪郭を（例えば、PMC102の画像処理モジュール104によって）識別することができる（208）。一部の実施形態では、1つまたは複数の基準輪郭は、所与の輪郭に関連付けられた属性のセットを、残りの輪郭のうち少なくとも一部に関連付けられたそれぞれの属性のセットと比較することによって識別することができる。比較は類似性尺度に基づくことができ、類似性基準を満たす1つまたは複数の輪郭は、所与の輪郭に類似する基準輪郭として識別することができる。

【0083】

例として、類似性尺度は、例えば、ユークリッド（Euclidean）距離、マンハッタン（Manhattan）距離、コサイン（Cosine）距離、ピアソン（Pearson）相関距離、スピアマン（Spearman）相関距離などの距離ベースのメトリックとすることができる。類似性基準は、所定の距離とすることができる。場合によっては、識別される基準輪郭の数も予め決めておくことができる。

20

【0084】

例えば、比較は、例えば、テーブル内の第1の候補輪郭から開始して、所与の輪郭の属性セットと残りの輪郭からの候補輪郭との各ペアの間の距離を計算することによって行うことができ、距離が類似性基準を満たす基準輪郭の数が満たされると、プロセスは終了し、識別された基準輪郭が提供される。

30

【0085】

あるいは、別の例では、比較は、残りの輪郭における各候補輪郭について所与の輪郭に対する距離を計算し、計算された距離をランク付けすることによって所定の数の基準輪郭を選択することによって行うことができる。場合によっては、識別される基準輪郭の数は予め決められていない。距離が類似性基準を満たすすべての候補輪郭を基準輪郭として識別することができる。

【0086】

図8Bを参照すると、本開示の主題の特定の実施形態による所与の輪郭について基準輪郭の例が示されている。

【0087】

各所与の輪郭について識別される基準輪郭の数が1であると仮定する。例として、輪郭804について、類似性基準を満たすと識別された基準輪郭は、輪郭802である。輪郭806については、類似性基準を満たすと識別された基準輪郭は、輪郭804または802である。基準輪郭の数が2であると予め決められている場合、輪郭802および804の両方を輪郭806の基準輪郭として使用することができる。輪郭810については、その基準輪郭は、輪郭808である。

40

【0088】

図2の説明を続けると、所与の輪郭とその1つまたは複数の基準輪郭のそれぞれとの間の偏差を（例えば、PMC102の測定モジュール106によって）測定して（210）、所与の輪郭に関連付けられたSEIに関して欠陥が存在するかどうかを示す1つまたは

50

複数の測定された偏差を生じさせることができる。

【0089】

ここで検出される欠陥とは、所与の輪郭の予想される位置（例えば、元の設計データに従って、または識別された基準輪郭に従って予想される輪郭の位置）からの相対的に実質的な偏差を示すエッジ変位を指す。エッジ変位は、少なくとも、i) エッジ変位が局所的である（輪郭の局所位置に存在する）のに対して、エッジ粗さはエッジに沿ってすべて存在し、ii) エッジ変位の偏差の振幅が、エッジに沿った微細な粗さの振幅と比較して相対的により実質的である（すなわち、より強い/より大きい）という点で、エッジ粗さ（製造プロセスにおける様々なばらつきによって引き起こされ得る）とは異なる。

【0090】

このようなエッジ変位は、場合によっては、マスクの製造プロセス中の特定の物理的影響および/または他の要因、例えば、酸化、粒子、スクラッチ、結晶成長、静電気放電（ESD）などによって引き起こされることがあり、これらは、ウエハに印刷されると、製造されたデバイスの電氣的測定に影響を及ぼすことがあり、したがって、歩留まり低下およびデバイス性能不良を引き起こす可能性がある。したがって、このような変位欠陥を検出し、その振幅を測定する必要がある。

【0091】

ここで図3に目を向けると、本開示の主題の特定の実施形態による、所与の輪郭とその基準輪郭との間の偏差を測定する一般化された流れ図が示されている。

【0092】

具体的には、所与の輪郭は、1つまたは複数の基準輪郭とそれぞれ位置合わせされ（302）、1つまたは複数の位置合わせされた輪郭のペアを生じさせることができる。例として、位置合わせは、所与の輪郭と基準輪郭の重心および/または特定のアンカーポイントを位置合わせすることによって行うことができる。各位置合わせされた輪郭のペアの対応する点間の距離を測定することができる（304）。例として、距離は、ハウスドルフ（Hausdorff）距離メトリックを使用して測定することができる。測定された距離の中から最大距離を選択することができ（306）、この最大距離が、所与の輪郭と（1つまたは複数の基準輪郭のうちの）それぞれの基準輪郭との間の測定された偏差として使用される。

【0093】

一部の実施形態では、所与の輪郭と1つまたは複数の基準輪郭との間の1つまたは複数の測定された偏差に基づいて、合成偏差を導出することができ、偏差しきい値を合成偏差に適用することができる。合成偏差が偏差しきい値を超えると、（例えば、PMC102の欠陥処理モジュール108によって）欠陥の存在を報告することができる。例として、合成偏差は、例えば、偏差の平均値もしくは中央値または任意の他の種類の平均化計算（重みを伴うまたは伴わない）などの1つまたは複数の測定された偏差を平均（または加重平均）することによって導出することができる。

【0094】

例として、所与の輪郭の3つの基準輪郭を識別することができ、所与の輪郭と3つの基準輪郭との間の3つの偏差がそれぞれ測定される。3つの偏差を平均して、偏差しきい値と比較される合成偏差を生成することができる。場合によっては、偏差しきい値は、例えば、特定の検査用途、構造要素のタイプ、顧客によって使用される技術ノードおよび/または仕様などに従って予め決めておくことができる。

【0095】

ここで図9を参照すると、本開示の主題の特定の実施形態による、欠陥の存在を示す測定された偏差の2つの例が示されている。

【0096】

グラフ900は、楕円形状を有する構造要素の推定輪郭904と、輪郭904に対して識別され、欠陥のない構造要素の輪郭の予想位置を表す基準輪郭902と、を示す。図示するように、2つの輪郭が位置合わせされ、最大距離906が、所与の輪郭904と基準

10

20

30

40

50

輪郭 9 0 2 との間の偏差として測定される。この偏差は、所定の偏差しきい値よりも大きいため、エッジ変位の欠陥が測定位置で識別される。

【 0 0 9 7 】

グラフ 9 1 0 は、エッジ変位の欠陥が 9 1 2 の位置で識別される別の例を示し、これは、図示されるようなエッジ粗さ 9 1 4 と比較して、相対的により実質的であり、したがって偏差しきい値を超えている。

【 0 0 9 8 】

特定の実施形態によると、S E I のグループの各 S E I について欠陥検出が実行されると、第 1 の画像に対応した、マスクの少なくとも一部およびその位置に欠陥が存在することを示す欠陥マップを提供することができる。

10

【 0 0 9 9 】

一部の実施形態では、任意で、1 つまたは複数の欠陥が存在すると、例えば、これらの欠陥の印刷可能性を評価することによって、またはこれらの欠陥が、印刷されると、マスクを使用して製造された半導体試料の機能に影響を及ぼすかどうかを評価することによって、検出された欠陥にどのように対応するかを（例えば、P M C 1 0 2 の欠陥処理モジュール 1 0 8 によって）決定することができる（2 1 2）。例として、評価は、半導体試料に印刷される際の欠陥に関連付けられた印刷可能な構造要素 / 特徴のばらつきを推定することを含むことができる。例として、欠陥の存在に回答して可能な処理操作は、マスクを修復すること、マスクを欠陥マスクとして定義すること、マスクを機能するものとして定義すること、マスクの修復指示を生成することなどを含むことができる。例えば、これらの推定されたばらつきが許容可能でない場合、マスクをマスク工場に送って修復するかまたは不合格にすることができる。

20

【 0 1 0 0 】

さらに、一部の実施形態では、以下の出力 / 指示の少なくとも 1 つ、またはそれらの任意の組合せを（例えば、P M C 1 0 2 の欠陥処理モジュール 1 0 8 によって）提供することができる。すなわち、(i) マスク工場から出荷されるマスクの適格基準を提供すること、(i i) マスク生成プロセスへの入力を提供すること、(i i i) 半導体試料製造プロセスへの入力を提供すること、(i v) リソグラフィプロセスで使用されるシミュレーションモデルへの入力を提供すること、(v) リソグラフィツールのための補正マップを提供すること、および (v i) 予想よりも大きい特徴パラメータのばらつきによって特徴付けられるマスク上の領域を識別することである。

30

【 0 1 0 1 】

特定の実施形態によると、検査中、マスク検査ツールのマスクホルダと検出器は、露光中に互いに反対方向に移動させることができ、マスクは、一度にマスクの一部分のみを画像化するマスク検査ツールによってステップバイステップで走査することができる。したがって、それぞれがマスクのそれぞれの部分を表す、マスクの複数の第 1 の画像を順次得ることができる。特定の実施形態によると、複数の第 1 の画像は、複数の第 1 の画像の複数の視野 (F O V) が重複しないように予め定められたステップサイズで連続的に取得することができる。

【 0 1 0 2 】

40

図 1 0 A は、本開示の主題の特定の実施形態による、マスクの一部について捕捉された一連の非重複画像の例を概略的に示す。図示するように、一連の 4 つの第 1 の画像 1 0 0 2 が、マスク 1 0 0 0 の部分 1 0 0 4 について取得されている。4 つの第 1 の画像は、これらの F O V が重複せず、むしろ一緒になって部分 1 0 0 4 全体の F O V を構成するようなステップサイズで捕捉されている。

【 0 1 0 3 】

このような場合、図 2 のブロック 2 0 4 ~ 2 1 0 に関して説明した一連の操作を複数の第 1 の画像のそれぞれに対して繰り返し実行することができ、複数の第 1 の画像のそれぞれに対応した、マスクのそれぞれの部分上の欠陥の存在を示す欠陥マップを生じさせることができる。複数の第 1 の画像に対応して複数の欠陥マップを得ることができる。

50

【 0 1 0 4 】

場合によっては、第 1 の画像に固有の構造要素が存在するために、検出された欠陥に誤警報が存在する場合がある。例として、第 1 の画像に、固有の形状の輪郭を有する 1 つの構造要素が存在し、この構造要素には類似した形状を有する基準輪郭がないことがある。このような場合、検査プロセスは、この構造要素に対する基準を見つけることができないため、これを欠陥として報告するか、あるいは、実際にはこの要素に類似していない基準輪郭を比較のために使用し、したがってこれも欠陥として報告することがある。このような場合、これらの報告された欠陥は、真の欠陥ではなく、実際には固有の構造要素の存在を表しているため、誤警報である。場合によっては、このような固有の構造要素の別のインスタンスが後続の画像に現れることがある。したがって、検出された欠陥を複数の第 1 の画像間で比較することによって、このような誤警報を識別し、検出された欠陥から除去することができる。

10

【 0 1 0 5 】

具体的には、特定の実施形態によると、複数の欠陥マップのそれぞれにおいて提示された欠陥に関連付けられた 1 つまたは複数の S E I を識別することができ、1 つまたは複数の S E I の 1 つもしくは複数の輪郭を複数の第 1 の画像間で比較することができる。この比較は、ブロック 2 0 8 を参照して上述したのと同様に、例えば、S E I に関連付けられた属性のセットを比較することによって行うことができる。次いで、比較結果に基づいて、少なくとも 1 つの欠陥が、第 1 の画像のうち少なくとも 1 つにおける固有の構造要素の存在を示す誤警報であるかどうかを判定することができる。例として、比較によって、欠陥に関連付けられていると報告された構造要素が後続の画像において同様のインスタンスを有する場合、この欠陥は、実際には固有の構造要素の存在を示す誤警報である可能性が最も高い。

20

【 0 1 0 6 】

さらに場合によっては、ツールのノイズ（例えば、検査ツールからのショットノイズなど）によって引き起こされる検出された欠陥に誤警報が存在することがある。欠陥からこのような誤警報を除去し、したがって検出感度を向上させるために、本開示の主題の特定の実施形態に従って、図 4 を参照して説明されるように、誤警報除去のために重複画像を取得および利用する仕方が提案される。

【 0 1 0 7 】

具体的には、一部の実施形態では、マスクの所与の部分について複数の第 1 の画像を得ることができ（4 0 2）、各第 1 の画像は少なくとも所与の部分を表す。複数の第 1 の画像は、複数の第 1 の画像の複数の視野（F O V）が少なくとも所与の部分だけ重複するように予め定められたステップサイズで連続的に取得することができる。

30

【 0 1 0 8 】

図 1 0 B は、本開示の主題の特定の実施形態による、マスクの一部について捕捉された一連の重複画像の例を概略的に示す。図示するように、一連の第 1 の画像 1 0 1 0 は、マスク 1 0 0 0 の同じ部分 1 0 0 4 について取得されている。一連の第 1 の画像は、それらの F O V が、例えば、画像の F O V の 3 分の 1 だけ重複するように、特定のステップサイズで捕捉されている。例えば、マスクの所与の部分 1 0 1 2 は、連続する 3 つの画像において 3 回取得されている。したがって、マスクの所与の部分 1 0 1 2 に存在する実際の欠陥 1 0 1 4（すなわち、着目欠陥）は、当然ながら 3 つの画像に 3 回現れるが、ランダムノイズから生じる誤警報は、連続した画像では繰り返されない。

40

【 0 1 0 9 】

したがって、図 2 のブロック 2 0 4 ~ 2 1 0 に関して説明した一連の操作を複数の第 1 の画像のそれぞれに対して行うことができ、複数の第 1 の画像のそれぞれに対応した、少なくとも所与の部分上の欠陥の存在を示す欠陥マップを提供することができ（4 0 4）、それによって複数の第 1 の画像に対応する複数の欠陥マップを生じさせることができる。複数の欠陥マップにおいて提示された欠陥を比較して（4 0 6）、欠陥が着目欠陥であるか誤警報であるかを判定することができる。

50

【0110】

ここで図11に目を向けると、本開示の主題の特定の実施形態に従って、重複画像を使用して判定された着目欠陥および誤警報の例が示されている。

【0111】

同じ構造要素を捕捉した上側の一連の3つの連続画像に示されるように、検出された欠陥の比較ごとに、欠陥1102は、3つの画像すべてに存在し、構造要素に関して同じ位置で各画像に現れている。したがって、欠陥1101は着目欠陥であると判定することができる。反対に、構造要素を捕捉した下側の一連の3つの連続画像に示されるように、欠陥1104は、第2の画像にのみ存在するが、第1および第3の画像には存在しない。したがって、欠陥1104は、ランダムノイズ（例えば、ショットノイズ）によって引き起こされることがある誤警報である可能性が最も高い。このような誤警報は、欠陥マップから除去されるべきである。

10

【0112】

本開示の検査方法に適用可能なマスクは、メモリマスクおよび/またはロジックマスク、ならびに/あるいはArFマスクおよび/またはEUVマスクなどを含むがこれらに限定されない、本明細書に記載されるエッジ変位のタイプの欠陥を被る可能性のある任意の種類マスクとすることができることに留意されたい。本開示は、検査されるマスクの特定のタイプまたは機能に限定されない。

【0113】

例示および説明のために、本明細書に開示される主題の特定の実施形態および/または実施例は、特定のタイプ/形状、および/または特定のエッジ変位を有する構造要素に関して説明されている。これは、決して本開示を限定することを意図していない。提案された方法およびシステムは、様々な種類のエッジ変位を有する他のタイプ/形状の構造要素に適用できることが理解される。

20

【0114】

特定の実施形態によると、図2、図3、および図4を参照して上述したマスク検査プロセスは、実行時にオンラインマスク検査のためにシステム101および/または検査ツール120によって使用可能な検査方策の一部として含めることができる。したがって、本開示の主題はまた、方策設定段階中に検査方策を生成するためのシステムおよび方法を含み、方策は、図2、図3、および図4（ならびにその様々な実施形態）を参照して説明したステップを含む。「検査方策」という用語は、上述の実施形態を含む任意の種類マスク検査に関連する操作を実行するための検査ツールによって使用することができる任意の方策を包含するように拡張的に解釈されるべきであることに留意されたい。

30

【0115】

例えば、マスク検査ツールアーキテクチャおよび構成、マスクレイアウト、例示された構造要素、ならびに上述のような偏差の比較および測定 of 特定の仕方など、本開示に示された例は、例示の目的で示されており、決して本開示を限定するものと見なされるべきではないことに留意されたい。上記に加えて、または上記の代わりに、他の適切な実施例/実施態様を使用することができる。

【0116】

本明細書に記載されるマスク検査プロセスの特定の実施形態の利点の中には、マスク上の構造要素に関する特定のタイプの欠陥（すなわち、エッジ変位）を検出する能力がある。提案されたプロセスは、特に、ダイ間比較のために使用可能な基準ダイがないシングルダイマスクのために設計されている。さらに、提案されたプロセスは、シングルダイマスクおよびマルチダイマスクの両方においてスクライプ領域を検査するためにも適用可能である。

40

【0117】

本明細書に記載されるマスク検査プロセスの特定の実施形態の利点の中には、提案された検査プロセスが、時間がかかる可能性がある、基準画像を提供するための異なるモダリティからの画像取得を必要としないことがある。マスクの設計データ（多くの場合、入手

50

不可能)の取得または不正確になりがちな設計データに基づくシミュレーションも必要としない。提案されたプロセスは、空間像の特定の処理を利用して、画像自体の中に基準を提供しており、これは、スループット(TpT)に影響を及ぼすことなく、マスク特徴の高度なプロセス制御における欠陥検出のための改善された精度および感度を有することが証明されている。

【0118】

本明細書に記載されるマスク検査プロセスの特定の実施形態の利点の中には、マスクの重複画像を取得および利用することによって、ランダムノイズによって引き起こされる誤警報を効果的に除去することができ、したがって、偏差しきい値を調整する必要なく検出感度をさらに向上させることができることがある。

10

【0119】

本開示は、その適用において、本明細書に含まれる、または図面に示される説明に記載された詳細に限定されないことを理解されたい。

【0120】

本開示によるシステムは、少なくとも部分的に、適切にプログラムされたコンピュータ上で実装されてもよいことも理解されよう。同様に、本開示は、本開示の方法を実行するためにコンピュータによって読み取り可能なコンピュータプログラムを企図している。本開示は、本開示の方法を実行するためのコンピュータによって実行可能な命令のプログラムを明白に具現化する非一過性のコンピュータ可読メモリをさらに企図している。

20

【0121】

本開示は、他の実施形態が可能であり、様々な仕方で実施および実行することができる。したがって、本明細書で用いられる語句および術語は、説明を目的としたものであり、限定的なものとなさるべきでないことを理解されたい。そのため、当業者は、本開示の基礎となる概念が、本開示の主題のいくつかの目的を実行するための他の構造、方法、およびシステムを設計するための基礎として容易に利用され得ることを理解するであろう。

【0122】

当業者は、添付の特許請求の範囲において、および添付の特許請求の範囲によって定義される本発明の範囲から逸脱することなく、前述したように、様々な修正および変更を本開示の実施形態に適用することができることを容易に理解するであろう。

30

【符号の説明】

【0123】

- 100 マスク検査システム
- 101 システム
- 102 プロセッサおよびメモリ回路
- 104 画像処理モジュール
- 106 測定モジュール
- 108 欠陥処理モジュール
- 120 マスク検査ツール
- 122 ストレージユニット
- 124 グラフィカルユーザインターフェース
- 126 I/Oインターフェース
- 500 化学線検査ツール
- 502 照明源
- 504 照明光学系
- 506 マスクホルダ
- 508 投影光学系
- 510 検出器
- 512 ウエハホルダ
- 514 マスク画像

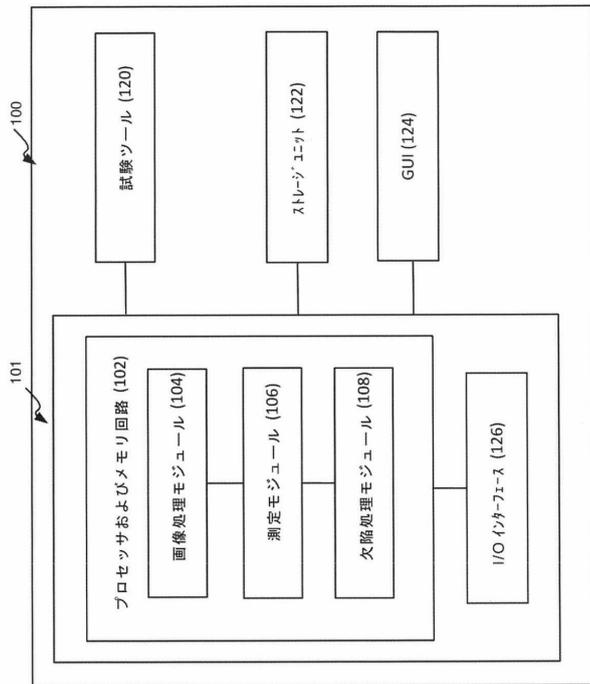
40

50

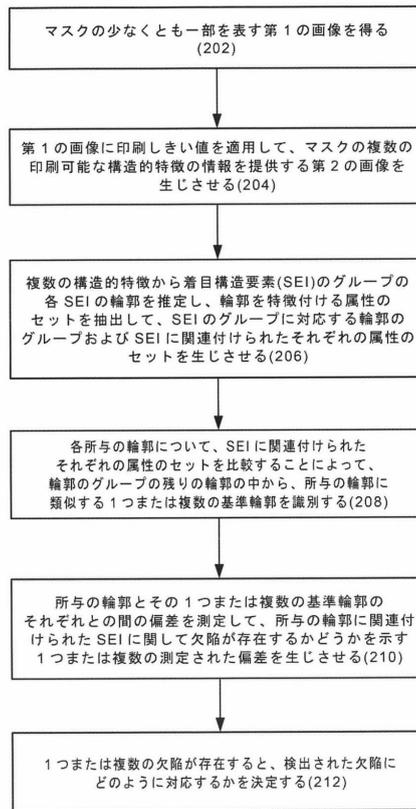
| | | |
|---------|-----------|----|
| 5 1 6 | ウエハの画像 | |
| 5 2 0 | リソグラフィツール | |
| 6 0 2 | シングルダイマスク | |
| 6 0 4 | マルチダイマスク | |
| 6 0 6 | ダイ領域 | |
| 6 0 8 | スクライプ領域 | |
| 6 1 0 | 周辺領域 | |
| 6 1 2 | スクライプ領域 | |
| 7 0 2 | 透明領域 | |
| 7 0 4 | 不透明領域 | 10 |
| 7 0 5 | 波形 | |
| 7 0 6 | 印刷しきい値 | |
| 7 0 8 | ウエハ | |
| 7 1 0 | 第 1 の画像 | |
| 7 2 0 | 第 2 の画像 | |
| 8 0 2 | 輪郭 | |
| 8 0 4 | 輪郭 | |
| 8 0 6 | 輪郭 | |
| 8 0 8 | 輪郭 | |
| 8 1 0 | 輪郭 | 20 |
| 9 0 0 | グラフ | |
| 9 0 2 | 基準輪郭 | |
| 9 0 4 | 推定輪郭 | |
| 9 0 6 | 最大距離 | |
| 9 1 0 | グラフ | |
| 9 1 4 | エッジ粗さ | |
| 1 0 0 0 | マスク | |
| 1 0 0 2 | 第 1 の画像 | |
| 1 0 0 4 | 部分 | |
| 1 0 1 0 | 第 1 の画像 | 30 |
| 1 0 1 2 | 部分 | |
| 1 0 1 4 | 欠陥 | |
| 1 1 0 1 | 欠陥 | |
| 1 1 0 2 | 欠陥 | |
| 1 1 0 4 | 欠陥 | |

【 図 面 】

【 図 1 】



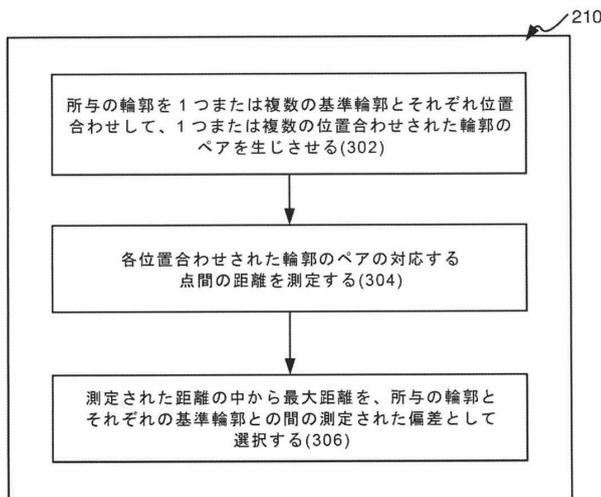
【 図 2 】



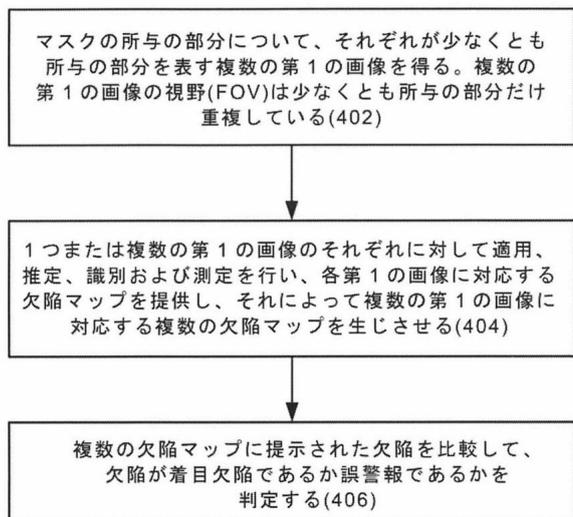
10

20

【 図 3 】



【 図 4 】

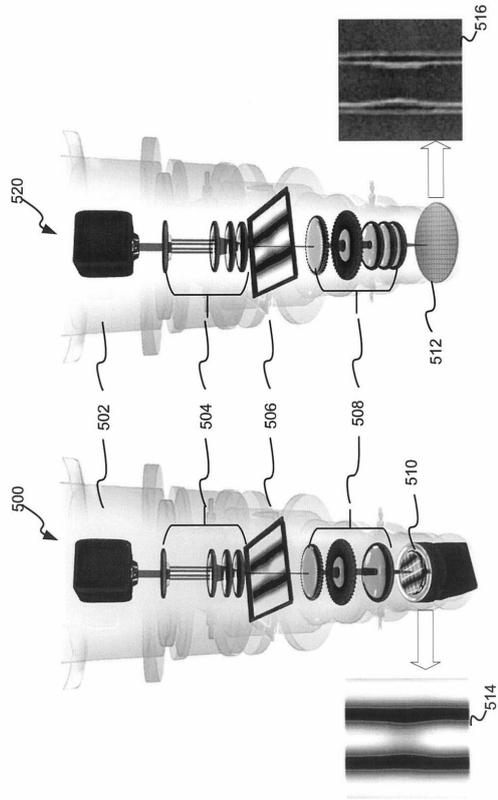


30

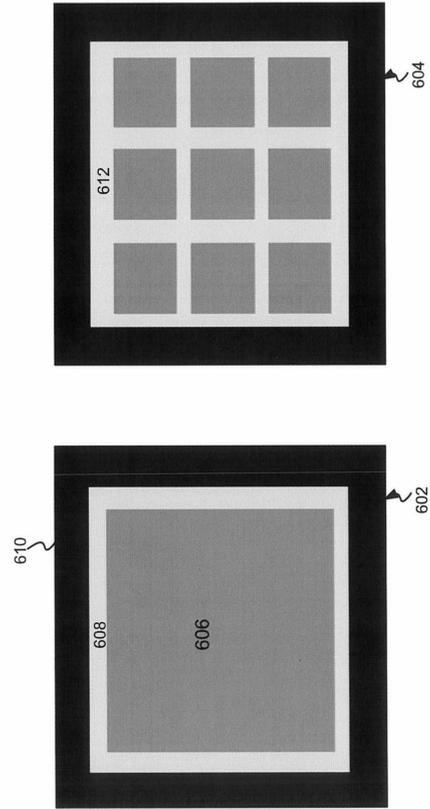
40

50

【 図 5 】



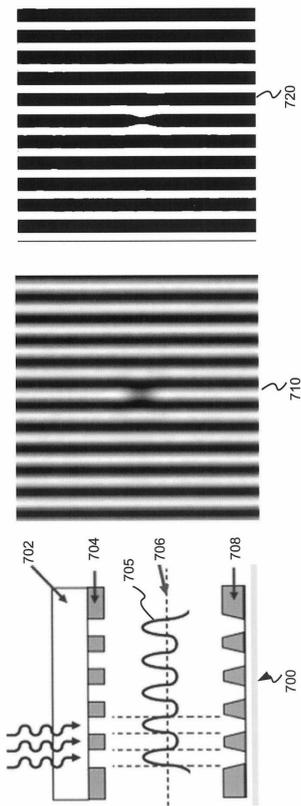
【 図 6 】



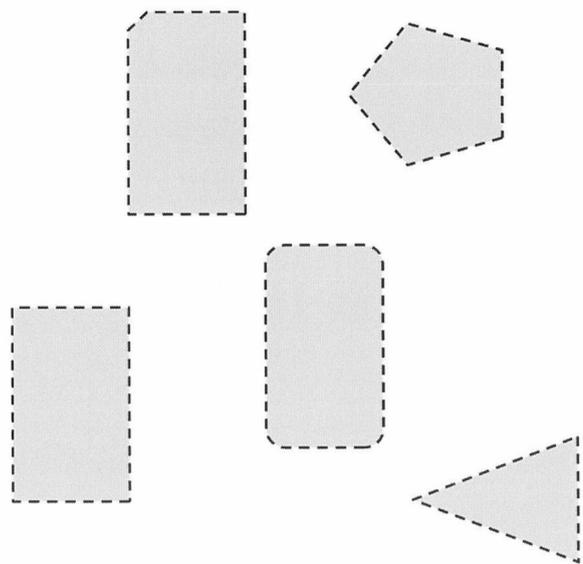
10

20

【 図 7 】



【 図 8 A 】

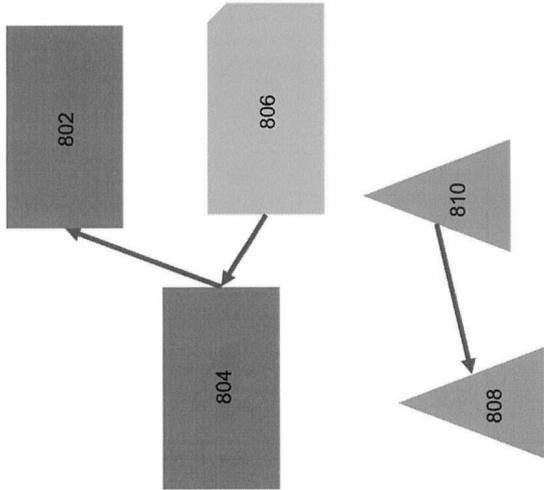


30

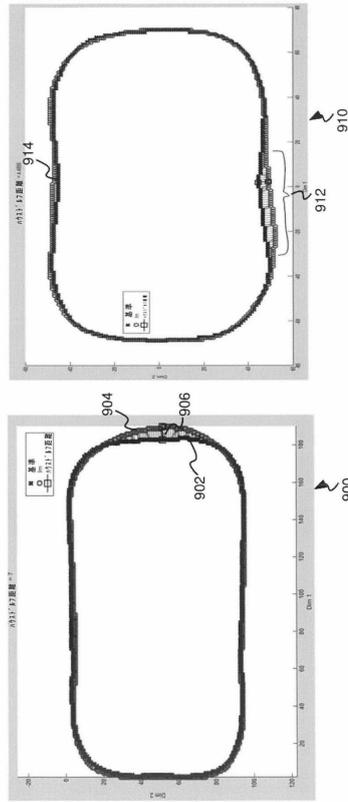
40

50

【図 8 B】



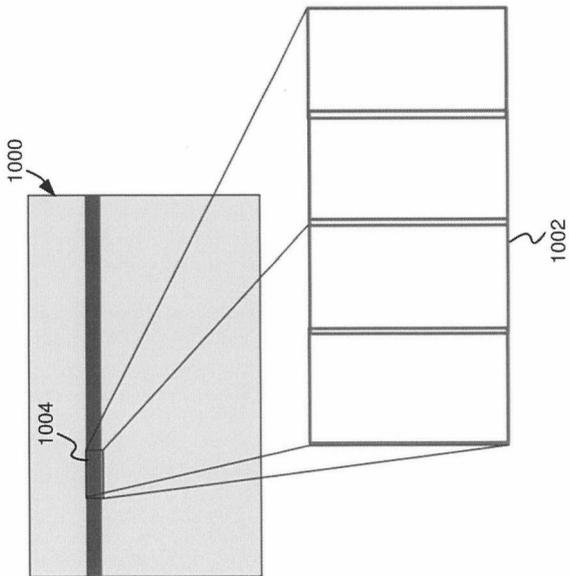
【図 9】



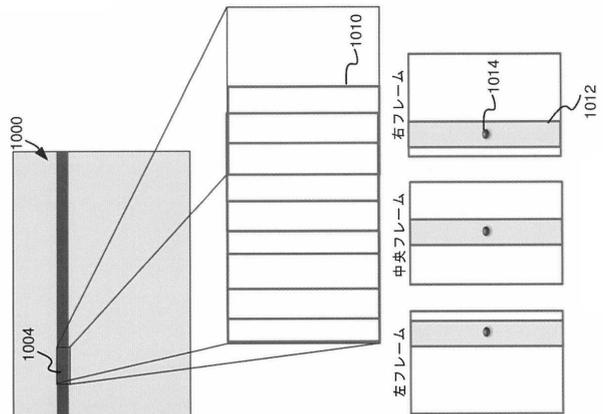
10

20

【図 10 A】



【図 10 B】

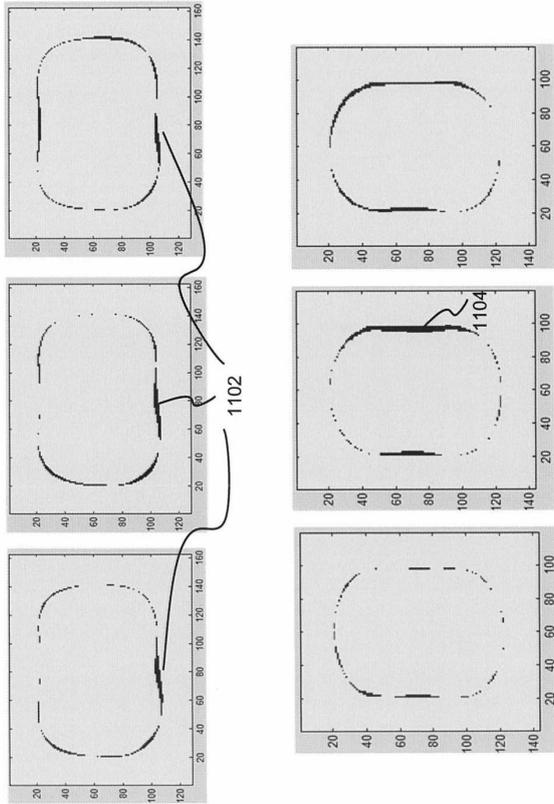


30

40

50

【 1 1】



10

20

【外国語明細書】

2023041623000015.pdf

30

40

50

フロントページの続き

弁理士 西島 孝喜
(74)代理人 100109335
弁理士 上杉 浩
(74)代理人 100120525
弁理士 近藤 直樹
(74)代理人 100139712
弁理士 那須 威夫
(74)代理人 100176418
弁理士 工藤 嘉晃
(72)発明者 アリエル シュカリム
イスラエル 7 6 7 0 1 0 9 レホヴォト パーク ラビン オッペンハイマー ストリート 9 アブ
ライド マテリアルズ イスラエル リミテッド内
(72)発明者 エフゲニー バル
イスラエル 7 6 7 0 1 0 9 レホヴォト パーク ラビン オッペンハイマー ストリート 9 アブ
ライド マテリアルズ イスラエル リミテッド内
F ターム (参考) 2G051 AA56 AB02 AC21 BA10
4M106 AA09 BA02 BA05 CA39 DB04 DB08 DJ14 DJ18 DJ27 DJ28