

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7703055号
(P7703055)

(45)発行日 令和7年7月4日(2025.7.4)

(24)登録日 令和7年6月26日(2025.6.26)

(51)国際特許分類		F I			
G 0 3 F	9/00 (2006.01)	G 0 3 F	9/00	H	
G 0 1 B	11/00 (2006.01)	G 0 1 B	11/00	H	

請求項の数 8 (全20頁)

(21)出願番号	特願2023-578670(P2023-578670)	(73)特許権者	500049141 ケーエルエー コーポレーション アメリカ合衆国 カリフォルニア ミルピ タス ワン テクノロジー ドライブ
(86)(22)出願日	令和3年10月21日(2021.10.21)	(74)代理人	110001210 弁理士法人Y K I 国際特許事務所
(65)公表番号	特表2024-538474(P2024-538474 A)	(72)発明者	ギノフカー マーク イスラエル ヨクネアム イリット ハッ トサヤリム ストリート 69 アパート メント 2
(43)公表日	令和6年10月23日(2024.10.23)	(72)発明者	フェラー ヨエル イスラエル ハイファ ハビバ レイチ 3 9 / 1 2
(86)国際出願番号	PCT/US2021/055930	審査官	今井 彰
(87)国際公開番号	WO2023/069095		
(87)国際公開日	令和5年4月27日(2023.4.27)		
審査請求日	令和6年9月3日(2024.9.3)		
早期審査対象出願			

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 改善されたオーバーレイ誤差計測のための誘起変位

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

半導体計測のための方法であって、

半導体基板上に第1の膜層を堆積し、前記第1の膜層の上に重ねて第2の膜層を堆積するステップと、

前記第1の膜層および前記第2の膜層をパターンングして、複数のオーバーレイターゲットを画定するステップであって、前記オーバーレイターゲットが、

それぞれの第1の位置を有する前記第1の膜層において第1の名目距離の間隔で形成された第1のターゲットフィーチャと、

それぞれの第2の位置を有する前記第2の膜層において前記第1の名目距離とは異なる第2の名目距離の間隔で形成された第2のターゲットフィーチャであって、それぞれの第2のターゲットフィーチャが、それぞれの第1のターゲットフィーチャの上に重なって、前記オーバーレイターゲットのうちのそれぞれの1つを画定する、第2のターゲットフィーチャとを備える、

画定するステップと、

撮像アセンブリを使用して、前記オーバーレイターゲットが形成されている前記半導体基板の少なくとも1つの画像を取り込むステップと、

前記少なくとも1つの画像を処理して、前記オーバーレイターゲットの各々における、それぞれの前記第1の位置と前記第2の位置との間の変位を測定するステップと、

前記測定変位および前記第1および第2の名目距離に基づいて、前記第1の膜層の前記

10

20

パターンニングと前記第 2 の膜層の前記パターンニングとの間の実際のオーバーレイ誤差と、前記撮像アセンブリの測定誤差との両方を推定するステップと

を含み、

前記第 1 の名目距離および前記第 2 の名目距離が、前記オーバーレイターゲットの各々について、前記第 1 の位置と前記第 2 の位置との間のそれぞれの変位がそれぞれの名目変位に対応するように選択され、

前記実際のオーバーレイ誤差と前記測定誤差との両方を推定するステップが、前記オーバーレイターゲットのセットについて、前記測定変位をそれぞれのモデル化された変位と比較するステップを含み、前記モデル化された変位の各々が、スキャナモデルから計算された変位と、所与のオーバーレイターゲットに関する前記それぞれの名目変位との和を含み、

10

前記スキャナモデルが、フォトリソグラフィプロセスによって前記第 1 の膜層に形成されたパターンと前記第 2 の膜層に形成されたパターンとの間の変位を定義する係数を含み、

前記測定誤差を推定するステップが、前記それぞれの名目変位と前記オーバーレイターゲットの前記セットにわたる前記測定変位との間の、1 以外の直線性係数を見出すステップを含むことを特徴とする方法。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の方法であって、前記第 1 および第 2 の膜層をパターンニングするステップが、フィールドのマトリクスをパターンニングして、前記フィールドの各々に前記複数のオーバーレイターゲットを画定するステップを含み、画像を取り込むステップが、前記フィールドのうちの少なくとも 1 つにおける前記複数のオーバーレイターゲットの前記少なくとも 1 つの画像を取り込むステップを含むことを特徴とする方法。

20

【請求項 3】

請求項 1 に記載の方法であって、前記直線性係数を見出すステップが、前記スキャナモデルの前記係数および前記直線性係数を推定するために、それぞれの前記測定変位と前記モデル化された変位との間に回帰法を適用するステップを含むことを特徴とする方法。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の方法であって、前記実際のオーバーレイ誤差を推定するステップが、前記測定変位に前記直線性係数を適用するステップを含むことを特徴とする方法。

【請求項 5】

30

光学式計測装置であって、

半導体基板であって、前記半導体基板の上に堆積した第 1 の膜層と、前記第 1 の膜層の上に重なる第 2 の膜層とを備える半導体基板において、前記第 1 の膜層および前記第 2 の膜層をパターンニングして、複数のオーバーレイターゲットを画定し、前記オーバーレイターゲットが、

それぞれの第 1 の位置を有する前記第 1 の膜層において第 1 の名目距離の間隔で形成された第 1 のターゲットフィーチャと、

それぞれの第 2 の位置を有する前記第 2 の膜層において前記第 1 の名目距離とは異なる第 2 の名目距離の間隔で形成された第 2 のターゲットフィーチャであって、それぞれの第 2 のターゲットフィーチャが、それぞれの第 1 のターゲットフィーチャの上に重なって、前記オーバーレイターゲットのうちのそれぞれの 1 つを画定する、第 2 のターゲットフィーチャとを備える、

40

半導体基板と、

上に前記オーバーレイターゲットが形成されている前記半導体基板の少なくとも 1 つの画像を取り込むように構成された撮像アセンブリと、

前記少なくとも 1 つの画像を処理して、前記オーバーレイターゲットの各々における前記それぞれの第 1 の位置と第 2 の位置との間の変位を測定し、前記測定変位および前記第 1 および第 2 の名目距離に基づいて、前記第 1 の膜層の前記パターンニングと前記第 2 の膜層の前記パターンニングとの間の実際のオーバーレイ誤差と、前記撮像アセンブリの測定誤差との両方を推定するように構成されているコントローラと

50

を備え、

前記第 1 の名目距離および前記第 2 の名目距離が、前記オーバーレイターゲットの各々について、前記第 1 の位置と前記第 2 の位置との間のそれぞれの変位がそれぞれの名目変位に対応するように選択され、

前記コントローラが、前記オーバーレイターゲットのセットについて、前記測定変位を、それぞれのモデル化された変位と比較するように構成されており、前記モデル化された変位の各々が、スキャナモデルから計算された変位と、所与のオーバーレイターゲットに関する前記それぞれの名目変位との和を含み、

前記スキャナモデルが、フォトリソグラフィプロセスによって前記第 1 の膜層に形成されたパターンと前記第 2 の膜層に形成されたパターンとの間の変位を定義する係数を含み、

前記測定誤差を推定するステップが、前記それぞれの名目変位と前記オーバーレイターゲットの前記セットにわたる前記測定変位との間の、1 以外の直線性係数を見出すステップを含むことを特徴とする光学式計測装置。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の装置であって、前記第 1 および第 2 の膜層が、フィールドのマトリクスを形成して前記フィールドの各々に前記複数のオーバーレイターゲットを画定するようにパターンニングされ、前記撮像アセンブリが、前記フィールドのうちの少なくとも 1 つにおける前記複数のオーバーレイターゲットの前記少なくとも 1 つの画像を取り込むように構成されていることを特徴とする装置。

【請求項 7】

請求項 5 に記載の装置であって、前記直線性係数を見出すステップが、前記スキャナモデルの前記係数および前記直線性係数を推定するために、それぞれの前記測定変位と前記モデル化された変位との間に回帰法を適用するステップを含むことを特徴とする装置。

【請求項 8】

請求項 5 に記載の装置であって、前記実際のオーバーレイ誤差を推定するステップが、前記測定変位に前記直線性係数を適用するステップを含むことを特徴とする装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般に半導体デバイスの製造に関し、特に半導体回路計測のための方法およびターゲットフィーチャに関する。

【背景技術】

【0002】

半導体回路は、一般にフォトリソグラフィ法を使用して製造される。フォトリソグラフィでは、半導体基板の上に感光性ポリマーの薄層（フォトレジスト）が堆積され、光放射または他の放射を使用してパターンニングされ、フォトレジストによって覆われた基板の一部が残る。フォトレジストは、スキャナが、通常は紫外線を使用してフォトレジストにレチクルの画像を投影することによってパターンニングされる。パターンニングの後に、基板は、基板の材料特性および/またはトポグラフィを変化させるためのエッチングおよびイオン衝撃などの方法によって修正され、基板の、フォトレジストによって覆われた部分は影響されない。

【0003】

半導体回路計測は、パターンニングされたフィーチャのトポグラフィおよび位置など、パターンニングされたフォトレジストの特性を測定するために使用される。フォトレジストのパターンニングされたフィーチャの、以前のプロセスの層に対する正確な位置は、フォトリソグラフィプロセスの高収率を実現するために不可欠である。下のプロセス層に対するパターンニングされたフォトレジストの位置合わせのあらゆる誤差（位置ずれ）が、「オーバーレイ誤差」と称される。一例として、最小線幅が 10 ~ 14 nm（いわゆる 10 nm の設計ルール）の一般的な半導体回路では、最大許容オーバーレイ誤差は 2 ~ 3 nm である。最先端の半導体回路では、線幅は 5 nm まで縮小しており、それに伴って最大許容オー

10

20

30

40

50

オーバーレイ誤差も減少している。

【0004】

可視光および赤外線の波長における光放射が、フォトレジスト層を貫通し得、さらにフォトレジストの下の誘電体層を貫通し得るので、オーバーレイ誤差は、一般に、光学式オーバーレイ計測装置（一般に光学式オーバーレイ計測ツールと称される）を使用して測定される。その上、赤外線波長は、シリコンなどの半導体基板に入り込むことができ、基板を通る計測を可能にする。

【0005】

KLA株式会社（米国カリフォルニア州ミルピータス）によるArcher（商標）シリーズツールなどの光学式オーバーレイ計測ツールは、半導体基板のスクライプライン（隣接したダイを分離するライン）および/またはダイの内部にあるオーバーレイターゲット（KLAによるAIM（商標）オーバーレイターゲットなど）を撮像する。プロセス層のターゲットフィーチャの対称性の中心と、パターニングされたフォトレジスト層のターゲットフィーチャの対称性の中心とを検出するために、取得画像に対して画像解析アルゴリズムが適用される。2つの層におけるターゲットフィーチャの対称性の中心の間の変位に基づいてオーバーレイ誤差が計算される。

【0006】

あるいは、スキャトロメトリモードでオーバーレイ誤差が測定されてもよい。この測定モードでは、計測ツールの対物レンズの射出ひとみから、オーバーレイターゲットの周期的なターゲットフィーチャのスキャトロメトリ画像が取り込まれる。オーバーレイ誤差を測定するために、ターゲットフィーチャから散乱される光放射の角度分布を指示するスキャトロメトリ画像が処理される。

本明細書および特許請求の範囲において使用される「光線」、「光放射」、「光」、および「放射ビーム」という用語は、一般に、可視光、赤外線、および紫外線のすべてを指す。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【文献】米国特許出願公開第2015/0204664号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

以下で説明される本発明の実施形態は、半導体回路計測のための改善された方法および目標特性を提供するものである。

【課題を解決するための手段】

【0009】

したがって、本発明の一実施形態によれば、半導体計測のための方法が提供される。この方法は、半導体基板上に第1の膜層を堆積し、第1の膜層の上に重ねて第2の膜層を堆積するステップを含む。第1の膜層および第2の膜層をパターニングして、複数のオーバーレイターゲットを画定し、オーバーレイターゲットが、それぞれの第1の位置を有する第1の膜層において第1の名目距離の間隔で形成された第1のターゲットフィーチャと、それぞれの第2の位置を有する第2の膜層において第1の名目距離とは異なる第2の名目距離の間隔で形成された第2のターゲットフィーチャとを含む。それぞれの第2のターゲットフィーチャが、それぞれの第1のターゲットフィーチャの上に重なって、オーバーレイターゲットのうちのそれぞれの1つを画定する。この方法は、撮像アセンブリを使用して、オーバーレイターゲットが形成されている半導体基板の少なくとも1つの画像を取り込むステップと、少なくとも1つの画像を処理して、オーバーレイターゲットの各々における第1のターゲット位置と第2のターゲット位置との間のそれぞれの変位を測定するステップとをさらに含む。測定変位ならびに第1および第2の名目距離に基づいて、第1の膜層のパターニングと第2の膜層のパターニングとの間の実際のオーバーレイ誤差と、撮

像アセンブリの測定誤差との両方が推定される。

【0010】

いくつかの実施形態では、第1および第2の膜層をパターンニングするステップは、フィールドのマトリクスをパターンニングして、フィールドの各々に複数のオーバーレイターゲットを画定するステップを含み、画像を取り込むステップは、フィールドのうちの少なくとも1つにおける複数のオーバーレイターゲットの少なくとも1つの画像を取り込むステップを含む。

【0011】

さらなる実施形態では、第1の名目距離および第2の名目距離は、それぞれのオーバーレイターゲットについて、第1の位置と第2の位置との間のそれぞれの変位がそれぞれの名目変位に対応するように選択される。加えて、またはその代わりに、実際のオーバーレイ誤差と測定誤差との両方を推定するステップは、オーバーレイターゲットのセットについて、測定変位をそれぞれのモデル化された変位と比較するステップを含み、それぞれのモデル化された変位は、スキャナモデルから計算された変位と、所与のオーバーレイターゲットに関するそれぞれの名目変位との和を含む。

10

【0012】

さらなる実施形態では、スキャナモデルは、フォトリソグラフィプロセスによって第1の膜層に形成されたパターンと第2の膜層に形成されたパターンとの間の変位を定義する係数を含む。

【0013】

いくつかの実施形態では、測定誤差を推定するステップは、それぞれの名目変位とオーバーレイターゲットのセットにわたる測定変位との間の直線性係数を見出すステップを含む。加えて、またはその代わりに、直線性係数を見出すステップは、スキャナモデルの係数および直線性係数を推定するために、それぞれの測定変位とモデル化された変位との間に回帰法を適用するステップを含む。

20

【0014】

さらなる実施形態では、実際のオーバーレイ誤差を推定するステップは、測定変位に直線性係数を適用するステップを含む。

【0015】

さらなる実施形態では、実際のオーバーレイ誤差および測定誤差を推定するステップは、スキャナモデルの係数を見出すステップを含み、第1および第2の膜層をパターンニングするステップは、スキャナモデルに対して少なくとも部分的に垂直なオーバーレイターゲットのそれぞれの名目変位を選択するステップを含む。加えて、またはその代わりに、それぞれの名目変位を選択するステップは、スキャナモデル上への名目変位の投影を計算するステップと、投影が定義済みの限界を超過しないように、それぞれの名目変位を選択するステップとを含む。

30

【0016】

いくつかの実施形態では、それぞれの名目変位を選択するステップは、オーバーレイターゲットのそれぞれの名目変位を選択するステップにおいて使用する、それぞれのオーバーレイターゲットの位置における垂直の名目変位を計算するステップを含む。

40

【0017】

本発明の一実施形態によれば、光学的計測装置も提供される。光学的計測装置は、半導体基板と、半導体基板の上に堆積した第1の膜層と、第1の膜層の上に重なる第2の膜層とを含む。第1の膜層および第2の膜層をパターンニングして、複数のオーバーレイターゲットを画定し、オーバーレイターゲットが、それぞれの第1の位置を有する第1の膜層において第1の名目距離の間隔で形成された第1のターゲットフィーチャと、それぞれの第2の位置を有する第2の膜層において第1の名目距離とは異なる第2の名目距離の間隔で形成された第2のターゲットフィーチャとを含む。それぞれの第2のターゲットフィーチャが、それぞれの第1のターゲットフィーチャの上に重なって、オーバーレイターゲットのうちのそれぞれの1つを画定する。この装置は、上にオーバーレイターゲットが形成さ

50

れている半導体基板の少なくとも1つの画像を取り込むように構成された撮像アセンブリをさらに含む。コントローラは、少なくとも1つの画像を処理して、オーバーレイターゲットの各々における第1のターゲット位置と第2のターゲット位置との間のそれぞれの変位を測定し、測定変位ならびに第1および第2の名目距離に基づいて、第1の膜層のパターニングと第2の膜層のパターニングとの間の実際オーバーレイ誤差と、撮像アセンブリの測定誤差との両方を推定するように構成されている。

【0018】

本発明は、実施形態の以下の詳細な説明が図面とともに解釈されると、より十分に理解されよう。

【図面の簡単な説明】

10

【0019】

【図1】本発明の一実施形態による、半導体基板上のオーバーレイ誤差を測定するための光学式計測装置の概略側面図である。

【図2】本発明の一実施形態による、基板上のオーバーレイターゲットを示す図1の半導体基板の概略上面図である。

【図3A】本発明の一実施形態による、オーバーレイターゲットを示す図1の半導体基板の単一フィールドの概略上面図である。

【図3B】本発明の一実施形態による、2つのオーバーレイターゲットの概略上面図である。

【図4】本発明の一実施形態による、スキャナモデルの補正可能項およびオーバーレイ誤差測定の直線性係数を推定する方法を概略的に示す流れ図である。

20

【図5】本発明の一実施形態による、オーバーレイターゲットを選択するための代替方法を概略的に示す流れ図である。

【図6】本発明の一実施形態による、オーバーレイターゲットを選択するための代替方法を概略的に示す流れ図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

概要

オーバーレイ計測のためのオーバーレイターゲットは、一般に、半導体基板上の連続したパターン層の間のオーバーレイ誤差の精密かつ正確な測定のために使用される。これらの層は、たとえば、処理層およびレジスト層（フォトレジスト）を含み得、エッチング後の用途では2つの処理層を含み得、またはいくつかの多数個取り用途と同様に、1つの処理層を含み得る。したがって、以下で、処理層およびレジスト層を参照しながら、いくつかの例示の実施形態を説明するが、これらの実施形態の原理は、第1の処理層および第2の処理層に、変更すべき点を変更して適用され得る。いくつかの多数個取り用途では、第1の処理層と第2の処理層とは同一の材料を含み得る。

30

【0021】

半導体回路の製造プロセスでは、測定されたオーバーレイ誤差は、一般に、フォトリソグラフィプロセスにおいて回路のフィーチャを印刷するのに使用されるスキャナに対するフィードバックを計算して提供するために使用される。以下でさらに詳述されるように、フィードバックは、所与のスキャナモデル（「補正可能項」と称される）の係数の形で与えられる。このモデルは、スキャナにおける半導体基板の位置付けおよび配向における誤差を記述する（ウェーハモデル）のに加えて、スキャナのレチクルと基板との間の光学的パターン配置誤差および機械的パターン配置誤差も記述する（フィールドモデル）。代替的または付加的に、測定されたオーバーレイ誤差は、半導体基板を「処置する」ため、すなわち、半導体基板にわたるフォトレジストパターンの変位が以前の処理層に対して所定の限界内にあって、基板の処理を次のステップへ継続することができるか、それとも、パターンニングされた基板を繰返し処理のために戻す必要があるか、を判定するために使用され得る。

40

【0022】

50

しかしながら、補正可能項の精度は、たとえば計測装置の撮像アセンブリにおける測定誤差といった、オーバーレイ誤差を測定するのに使用される計測装置の不正確さによる影響を受ける可能性がある。たとえば、計測装置によって測定され、 $Meas_Displ$ で表される、処理層におけるターゲットフィーチャの対称性の中心の間の測定変位は、 $Actual_Displ$ で表される実際の変位との線形関係を有し得るが、理想値1から逸脱した直線性係数を有する可能性がある。線形関係は、式 $Meas_Displ = k * Actual_Displ + b$ と記述され得る。この式で、 k は直線性係数であり、 b は実用的な用途では一般に無視できるオフセットである。直線性係数 k が1と異なると、オーバーレイ誤差の測定値を大幅に歪める可能性がある。これらの歪みは、結果として、スキナへ、不正確な補正可能項の形で誤ったフィードバックを送って、さらにはパターンニングされた半導体基板の処置に関する誤判定をもたらす可能性もある。以下で説明する実施形態では、計測装置によって導入される誤差を推定するために線形誤差モデルが使用されるが、代わりに、2次または他の関数モデルなどの高次誤差モデルが使用されてもよい。

【0023】

本明細書で説明される本発明の実施形態は、第1の膜層のパターンニングと第2の膜層のパターンニングとの間の実際のオーバーレイ誤差と、撮像アセンブリの測定誤差との両方を推定することによって、オーバーレイ誤差計測の前述の問題に対処する。この目的のために、たとえば、開示される実施形態は、測定されたオーバーレイ誤差と実際のオーバーレイ誤差との間の直線性係数を抽出するための方法を提供する。

【0024】

以下の説明において、半導体基板上の一对の連続した膜層におけるそれぞれのオーバーレイターゲットは、第1の位置を有する第1の膜層に形成された1つ以上の第1のターゲットフィーチャおよび第2の位置を有する第2の膜層に形成された第2のターゲットフィーチャで構成されている（「連続した」という用語は、基板上の第1の膜層および第2の膜層の堆積の順序を指すが、直接の連続を意味するわけではなく、すなわち、ここで参照された第1の層と第2の層との間に1つ以上のさらなる層があり得る）。当技術で既知の計測システムでは、第1の位置と第2の位置との間の、「オフセット」とも称される名目変位はゼロである。そのようなゼロ変位またはゼロオフセットのターゲットについては、理想的な計測システムによって測定されるオーバーレイ誤差はゼロである。この名目変位は、フォトリソグラフィプロセスで使用されるレチクルの設計において実施される。しかしながら、実際には、位置の間の実際の変位は、不整合および他の製造誤差のためにゼロではない。

【0025】

しかしながら、本発明の実施形態では、オーバーレイターゲットのうちの少なくともいくつかにおけるターゲットフィーチャのそれぞれの位置の間の名目変位は、意図的に、既知の非ゼロ値に設定される。したがって、理想的な測定条件の下でさえ、実際の変位はターゲットごとに変化するはずであり、ターゲットフィーチャの第1のセットと第2のセットとの間の実際の変位は、プロセスによってもたらされたオーバーレイ誤差に、位置間の意図的な（名目上の）変位を加算することによって与えられる。したがって、測定変位、すなわち計測装置によって測定されるオーバーレイターゲットのターゲットフィーチャの第1のセットと第2のセットとの間の変位は、これらのフィーチャの間の実際の変位と、計測装置によって導入される任意の誤差との合計に等しい。本実施形態では、測定誤差を推定して、実際のオーバーレイ誤差のより正確な測定値を導出するために、ターゲットフィーチャの位置の間の、意図的な、変化する変位が使用される。

【0026】

このように、使用され得るオーバーレイターゲットのセットを生成するために、半導体表面に、第1の膜層と、その上に重なる第2の膜層とが堆積される。「リソフリーズリソエッチ」（LFLE）などのいくつかの多数個取り用途では、第1の層と第2の層とが同一の膜材料を含む。第1および第2の膜層は、それぞれの第1および第2の位置を有する、第1および第2の膜層にそれぞれ存在する第1および第2のターゲットフィーチャを含

10

20

30

40

50

む複数のオーバーレイターゲットを画定するようにパターンニングされる。第1のターゲットフィーチャの間には第1の名目距離だけ間隔があり、第2の位置の間には第1の名目距離とは異なる第2の名目距離だけ間隔がある。それぞれの第2のターゲットフィーチャが、第1のターゲットフィーチャの上に重なって、オーバーレイターゲットのうちの1つを画定するが、位置の間の名目距離が異なるために、オーバーレイターゲットは異なる名目変位を有する。(本明細書の文脈および特許請求の範囲において使用される「上に重なる」という用語は、その明白な意味に従って使用されており、ターゲットフィーチャのうちの1つは他のフィーチャの上に配設されているが、フィーチャの正確な整列や重なりについては制限がない。)

【0027】

計測ツールにおける撮像アセンブリは、オーバーレイターゲットが形成されている半導体基板の1つ以上の画像を取り込む。1つ以上の画像が、オーバーレイターゲットの各々における第1のターゲット位置と第2のターゲット位置との間のそれぞれの変位を測定するように処理される。前述のように、これらの変位は、プロセス誤差による、膜層におけるパターン間の実際の変位と、撮像アセンブリの測定誤差との両方を反映する。これらの測定変位および(第1および第2の層における異なる名目距離の結果としての)名目変位の既知の変動に基づいて、撮像アセンブリの測定誤差と、第1の膜層のパターンニングと第2の膜層のパターンニングとの間の実際オーバーレイ誤差との、両方が推定され得る。測定誤差をモデル化することにより、たとえば直線性係数を見出すことによって、実際のオーバーレイ誤差が、改善された精度で導出され得る。

【0028】

以下で説明される実施形態では、ターゲットフィーチャの位置は、これらのフィーチャの、たとえば対称性のそれぞれの中心といった所定の幾何学的な特性によって決定される。あるいは、ターゲットフィーチャの位置を決定するためにターゲットフィーチャの他の特性が使用されてもよい。

【0029】

説明された実施形態は、オーバーレイ誤差計測を撮像することを参照しているが、本発明の原理は、さらなるオーバーレイ誤差計測方法にも同様に適用され得る。さらに、説明された実施形態はスキャナによるパターンニングを参照しているが、本発明の原理は、パターンニングの代替形態またはより複雑な方法によって生成されるパターンにも同様に適用され得る。

【0030】

システム記述

図1は、本発明の一実施形態による、半導体基板12上の2つのパターンニングされた膜層の間の変位を測定するための光学式計測装置10の概略側面図である。この装置は、具体性および明瞭さのための例として示されており、本発明の原理は、当技術で既知の他の種類の計測ツールを使用して同様に適用され得る。

【0031】

光学式計測装置10は、撮像アセンブリ14、照明アセンブリ16、コントローラ18、および基板12を載せるテーブル20を備える。撮像アセンブリ14は、対物レンズ22、立方体ビームスプリッタ24、および撮像レンズ26を備える。撮像アセンブリ14は、たとえば、画素30の2次元配列を有する相補型金属酸化膜半導体(CMOS)画像センサを備えるセンサ28をさらに備える。

【0032】

照明アセンブリ16は、光学的放射を放射する光源32およびレンズ34を備える。テーブル20は、対物レンズ22の近傍に配置されており、コントローラ18によって制御されるアクチュエータを備え、これらのアクチュエータによって、テーブルの、(直角座標36を基準とする)x方向、y方向、およびz方向の直線運動やz軸のまわりの回転運動が可能になる。図1および後続の図において、装置10に対するこれらの図の配向を明確にするために、直角座標36が示されている。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 3 】

描写された実施形態では、第 1 の膜層 3 8 および第 2 の膜層 4 0 は半導体基板 1 2 上に堆積されており、続く図に示されるように、リソグラフィプロセスでパターニングされている。現在の例では、第 1 の層 3 8 は処理層であり、第 2 の層 4 0 は処理層の上に堆積されたレジスト層である。あるいは、層 3 8 と層 4 0 との両方が、処理層でよく、同一の材料を含む層を含む。

【 0 0 3 4 】

基板 1 2 上の層 3 8 におけるパターンと、その上の層 4 0 におけるパターンとの間の変位を測定するために、フォトリソグラフィのプロセスによって、層 3 8 および 4 0 に、以下の図 2 および図 3 A ~ 図 3 B に示されるようなターゲットフィーチャを備えるオーバーレイターゲットが形成された。基板 1 2 は、テーブル 2 0 上に、レンズ 2 2 とレンズ 2 6 とを組み合わせた光学部品がセンサ 2 8 上に基板を結像するように配置され、すなわち、基板およびセンサは光学的共役面に配置される。

10

【 0 0 3 5 】

コントローラ 1 8 は、センサ 2 8 から画像を受け取り、テーブル 2 0 の位置および配向を調節する。コントローラ 1 8 が一般的に備えるプログラマブルプロセッサは、装置 1 0 の他の要素と接続するための適切なデジタルインタフェースおよび/またはアナログインタフェースとともに、本明細書で説明された機能を実行するように、ソフトウェアおよび/またはファームウェアにおいてプログラムされている。代替的または付加的に、コントローラ 1 8 は、コントローラの機能のうちの少なくともいくつかを実行する、配線接続されたハードウェア論理回路および/またはプログラマブルハードウェア論理回路を備える。図 1 において、コントローラ 1 8 は、簡単さのために 1 つの単体機能ブロックとして示されているが、実際には、図に示されてテキストで説明される信号の入出力のための適切なインターフェースを用いて相互接続された複数の制御ユニットを備え得る。本明細書で説明されたものなどの方法を実施するプログラム命令は、伝送されてよく、またはキャリア媒体に記憶されてもよい。キャリア媒体は、読み出し専用メモリ、ランダムアクセスメモリ、磁気ディスクもしくは光ディスク、不揮発性メモリ、固体メモリ、磁気テープなどの記憶媒体を含み得る。

20

【 0 0 3 6 】

半導体基板 1 2 上のオーバーレイターゲットの画像を取り込むために、光源 3 2 が、光放射のビームをレンズ 3 4 に投射し、レンズ 3 4 が、ビームを、立方体ビームスプリッタ 2 4 にさらに投射する。ビームスプリッタ 2 4 がビームを対物レンズ 2 2 へと反射し、対物レンズ 2 2 がビームを基板 1 2 に投射する。基板 1 2 に当たった放射が、散乱されて対物レンズ 2 2 に戻り、ビームスプリッタ 2 4 に通され、レンズ 2 6 に伝達されて、センサ 2 8 に合焦される。コントローラ 1 8 は、基板 1 2 上の層 3 8 およびその上の層 4 0 におけるそれぞれのオーバーレイターゲットのフィーチャの位置を識別するために、センサ 2 8 によって取り込まれた画像を読み出して処理する。コントローラ 1 8 は、ターゲットフィーチャのそれぞれの位置の間の変位に基づいて、これら 2 つのパターン層の間の変位を測定する。

30

【 0 0 3 7 】

あるいは、装置 1 0 は、スキヤトロメトリモードで変位を測定するように構成されてもよい。このモードについては、レンズ 2 6 は、対物レンズ 2 2 の射出ひとみ（図示せず）をセンサ配列 2 8 に結像するように変更および/または移動される。このスキヤトロメトリ画像は、ターゲットフィーチャから散乱された光放射の角度分布を指示し、この場合、コントローラ 1 8 は、変位を測定するために角度分布を処理するように構成される。

40

【 0 0 3 8 】

図 2 は、本発明の一実施形態による、半導体基板 1 2 上のオーバーレイターゲット 1 1 2、1 1 4 を示す（z 方向からの）概略上面図である。

【 0 0 3 9 】

フォトリソグラフィプロセスにおいて、基板 1 2 上で、M 個のフィールド 1 0 3 のマト

50

リクス100が露光された(フィールドの数Mは、表示された実施形態では32であるが、代替実施形態では32より少なくても多くてもよい)。フォトリソグラフィプロセスの連続的な露光ステップでは、スキャナは、以下でさらに詳述される複数のオーバーレイターゲット112および114とともにダイ102を露光するために、フィールド103にレチクルの画像を投影する(代替実施形態では、1つのフィールド103の内部で複数のダイ102が露光されてもよい)。図2のフィールド103とダイ102との間の相違を明確にするために、フィールド103aはクロスハッチングで示され、(フィールド103a内にない)ダイ102aは、逆のクロスハッチングで示されている。ダイ102は、スクライプライン104によって分離され、電気回路素子108を備える活性化領域106(スクライプラインによって囲まれている)を含む。

10

【0040】

例示の実施形態では、半導体基板12は、一般にウェーハまたは半導体ウェーハとも称され、通常は300mmの直径を有する。各ダイ102は、通常は、たとえば寸法が20mm×20mmの正方形であるが、代わりに他の大きさや形状も使用される。スクライプライン104は、通常は約100μmの幅を有する。

【0041】

半導体基板12上の膜層(図1に示される層38および40など)は、以下でさらに詳述されるように、各フィールド103内にN個(N=2)のオフセットしたオーバーレイターゲット112を画定するようにパターンニングされ、層38のターゲットフィーチャの対称性の中心と層40のターゲットフィーチャの対称性の中心との間に非ゼロの名目変位がある。代わりに、名目変位ならびに測定変位が、ターゲットフィーチャの他の幾何学的特徴の間に定義され得る。膜層は、各フィールド103の内部にさらなるデフォルトのオーバーレイターゲット114を、名目変位ゼロで画定するようにパターンニングされてもよい。図2では、オフセットターゲット112がダイ102内に示され、デフォルトのオーバーレイターゲット114がスクライプライン104に示されているが、代わりに、各タイプのオーバーレイターゲットがフィールド103の任意の位置に配置されてもよい。

20

【0042】

スキャナ補正可能項を定義するために、以下で詳述されるように、各フィールド103内の各ポイントは2つの2次元直交座標系を使用して定義され、すなわち、ウェーハ座標軸120およびフィールド座標軸122で、それぞれのx軸およびy軸が、直角座標36のx軸およびy軸と整列している。ウェーハ座標軸120は、ウェーハ(すなわち半導体基板12)を基準とし、その座標軸は x^W および y^W とラベルを付けられ、Wは「ウェーハ」を指す。各フィールド103は、そのそれぞれのフィールド座標軸122を有し、それぞれのフィールド内で同一の位置に配置され、座標軸は x^F および y^F とラベルを付けられ、Fは「フィールド」を指す(明瞭さのために、フィールド座標軸122の1つのセットのみが示されている)。したがって、フィールド103内の所与のポイントの位置は4つの座標(x^W , y^W , x^F , y^F)によって記述され得、(ポイントが位置する特定のフィールドについて) x^W および y^W はウェーハ座標軸120を指し、 x^F および y^F はフィールド座標軸122を指す。

30

【0043】

フィールド103にj(j=1, 2, . . . , M)のラベルを付け、オフセットターゲット112にi(i=1, 2, . . . , N)のラベルを付けると、半導体基板12内の名目変位ターゲットの座標は、($x^W_{i,j}$, $y^W_{i,j}$, $x^F_{i,j}$, $y^F_{i,j}$)と記述され得る。各フィールド103においてフィールド座標軸が繰り返すので、フィールド座標軸122に関連するフィールド座標($x^F_{i,j}$, $y^F_{i,j}$)は、1つのインデックス(i)のみを有する。

40

【0044】

図3Aは、本発明の一実施形態による、オフセットしたオーバーレイターゲット112を示す、半導体基板12の単一フィールド103の概略上面図である。

【0045】

50

それぞれのオフセットしたオーバーレイターゲット112が、第1の膜層38に形成されたターゲットフィーチャの第1のセット、および第2の膜層40に形成されたターゲットフィーチャの第2のセットを備える。これら2つのターゲットフィーチャのセットは、スキマナが、(それぞれのフォトリソグラフィプロセスステップで、)層38にターゲットフィーチャの第1のセットを形成するために第1のレチクルを通してそれぞれのフォトレジスト層を露光し、同様に、ターゲットフィーチャの第2のセットを形成するために第2のレチクルを通して層40を露光することによって、形成される。第1のレチクルは、電子ビーム書き込みなどの高度に正確な製作方法を使用して、第1の名目距離だけ間隔を置いた第1のターゲットフィーチャを形成するように設計して製作されている。同様に、第2のレチクルは、第1の所定の名目距離とは異なる第2の名目距離だけ間隔を置いた第2のターゲットフィーチャを形成するように設計して製作されている。それぞれの第2のターゲットフィーチャが、それぞれの第1のターゲットフィーチャの上に重なって、対応するオフセットターゲット112を画定する。

10

【0046】

第1および第2の名目距離は、第1および第2のターゲットフィーチャを備える、それぞれのオフセットしたオーバーレイターゲット112が、第1および第2のターゲットフィーチャのセットの対称性の中心の間に、それぞれx方向およびy方向にXおよびYの名目変位を有するように選択されている。描写された実施形態では、名目変位XおよびYは等しく、図3Aにおけるそれぞれのターゲット112内の数字のラベルによって指示されている(あるいは、異なる名目変位XおよびYが選択されることがあり、その場合、それぞれのターゲット112が2つの変位図によって特徴付けられることになる)。したがって、オフセットしたオーバーレイターゲット112aに関して、ターゲットフィーチャの第2のセットは、ターゲットフィーチャの第1のセットに対して、名目上、 $X = +8 \text{ nm}$ および $Y = +8 \text{ nm}$ だけ、すなわち両方の正の軸方向に8 nmだけ変位されており、オフセットしたターゲット112bに関して、名目変位は、 $X = -5 \text{ nm}$ および $Y = -5 \text{ nm}$ 、すなわち負の軸方向に5 nmである。

20

【0047】

現在の実施形態では、オフセットしたオーバーレイターゲット112は、x方向とy方向との両方に名目変位を有するが、同じ原理が、一方向のみのオフセットを有する一方向のオーバーレイターゲットに、変更すべき点を変更して適用され得る。

30

【0048】

一般に、それぞれの名目変位 X_i および Y_i を有するN個のオフセットしたオーバーレイターゲット i ($i = 1, 2, \dots, N$)が、フィールド103に形成される。下記の説明では $N = 15$ が採用されるが、15よりも多数のターゲットや少数のターゲットが形成されてもよい。ターゲット112の名目変位は、試験用のフォトリソグラフィプロセスで予期されるオーバーレイ誤差と同程度であるのが有利である。

【0049】

N個のオフセットしたオーバーレイターゲットは、類似でも非類似でもよい。類似のターゲットの一例にはボックスインボックスターゲットがあり、ターゲットの外ボックスは処理層に形成され、内ボックスはレジスト層に形成される。非類似のターゲットの一例にはボックスインボックスターゲットがあり、ターゲットのうちのいくつかについては、外ボックスが処理層にあって内ボックスがレジスト層にあり、他のターゲットについては、内ボックスが処理層にあって外ボックスがレジスト層にある。この種の方式は、たとえばAIMターゲットといった他のターゲット設計にも適用され得る。

40

【0050】

図3Bは、本発明の一実施形態による、2つのオーバーレイターゲット162および164の構成要素の概略上面図である。これらのターゲットは、層38における第1のターゲットフィーチャ142および144と、層40における第2のターゲットフィーチャ152および154とから構成され、半導体基板12上に2つのボックスインボックスオーバーレイターゲット162および164を形成する。ボックスインボックスオーバーレイ

50

ターゲットのターゲットフィーチャは、オーバーレイ誤差計測に使用され、本実施形態ではオーバーレイターゲットの変位を例示するために使用されており、x軸およびy軸に沿って整列した名目上同心の2つの正方形（一方が他方の中にある）を備える。外側の正方形は、通常は $20\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$ の寸法を有し、内側の正方形は $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ の寸法を有するが、代わりに他の寸法も使用され得る。x方向とy方向との両方におけるそれぞれの正方形の中心は、正方形の対称性の中心であり、ここではターゲットフィーチャの位置を定義するように使用される。明瞭さのために、描写された実施形態は、ターゲットフィーチャ（正方形）のx方向のみの変位を示しており、y方向では、ターゲットフィーチャの中心が互いに整列している。

【0051】

第1の膜層38に、2つの正方形を備える2つの第1のターゲットフィーチャ142および144が形成される。中心線146および148は、それぞれ、x方向における第1のターゲットフィーチャ142および144の中心を示す。第1のターゲットフィーチャ142と144とのx方向の間隔は、第1の名目距離 1.000010mm であり、中心線146と148との間の距離として示されている。第2の膜層40に、2つの第2のターゲットフィーチャ152および154（2つの正方形）が形成される。中心線156および158は、それぞれ、x方向における第2のターゲットフィーチャ152および154の中心を示す。第2のターゲットフィーチャ152と154とのx方向の間隔は、第2の名目距離 1.000000mm であり、中心線156と158との間の距離として示されている（明瞭さのために、2つの名目距離の差は大いに強調して示されている）。

【0052】

半導体基板12上のそれぞれの膜層にターゲットフィーチャ142、144、152、および154を形成するフォトリソグラフィプロセスに誤差がないと想定すると、ターゲットフィーチャはx方向に整列し、そのため、ターゲットフィーチャ144の中心線148とターゲットフィーチャ154の中心線158とが重なって整列して、オーバーレイターゲット164を形成する。したがって、オーバーレイターゲット164の名目変位は（たとえば図2のターゲット114と同様に）ゼロであり、半導体基板12上で2つのターゲットフィーチャの中心線148と158とが重なることによって示されている。ターゲットフィーチャ144と154とのこのゼロ整列と、対の中心線146と148との間の 1.000010mm の第1の名目距離と、対の中心線156と158との間の 1.000000mm の第2の名目距離との間の差とにより、ターゲットフィーチャ142および152によって形成されたオーバーレイターゲット162は、半導体基板12上のそれぞれの中心線146と156との分離によって示されるような、x方向における 10nm （ 0.000010mm ）の名目変位を有する。したがって、オーバーレイターゲット162は、オフセットしたオーバーレイターゲット112に類似である。

【0053】

ターゲットフィーチャは、描写された実施形態ではオーバーレイターゲット164に関して名目変位がゼロになるように整列するが、異なる整列方式が実施されることもあり、したがって、オーバーレイターゲット162と164との名目変位も変化する。オーバーレイ誤差が生じると、実際の変位は名目変位と異なるはずである。

【0054】

y方向の名目変位（またはx方向とy方向との両方の名目変位）は、ボックスアンドボックスオーバーレイターゲット、ならびにKLAが提供するAIM、AIMid（ダイ内AIM）、rAIM（ロバストAIMモアレ）、およびSCOL（スキヤトロメトリオーバーレイ）ターゲットなどの他の種類のオーバーレイターゲットでも、類似のやり方で実施され得る。

【0055】

計測および解析

1. スキャナモデル

スキャナモデルは、スキャナにおける半導体基板12の置き違いによって誘起されるオ

10

20

30

40

50

オーバーレイ誤差、ならびにレチクルの画像を基板に投影する際にスキヤナの内部に生成する誤差、および類似の系統的な挙動による他の誤差を記述するために使用される。たとえば、スキヤナモデルは、ウェーハすなわち半導体基板 1 2 上のポイント (x^W, y^W, x^F, y^F) においてスキヤナに誘起される x 方向のオーバーレイ誤差 $Model_OVLX(x^W, y^W, x^F, y^F)$ および y 方向のオーバーレイ誤差 $Model_OVL Y(x^W, y^W, x^F, y^F)$ を、

$$Model_OVLX(x^W, y^W, x^F, y^F) = OffX + ScalX * x^W + WRotX * y^W + MagX * x^F + FRotX * y^F$$

および

$$Model_OVL Y(x^W, y^W, x^F, y^F) = OffY + WRotY * x^W + ScalY * y^W + FRotY * x^F + MagY * y^F$$

10

といった 2 つの式で記述し得、OVL はオーバーレイ誤差を指す。適切な座標を掛けたスキヤナ補正可能項は、以下のように、スキヤナの内部の様々な誤差によるパターン配置誤差を示す。

$OffX$ = ウェーハ (半導体基板 1 2) の一定の置き違いによる x 方向のパターン配置誤差、

$OffY$ = ウェーハの一定の置き違いによる y 方向のパターン配置誤差、

$ScalX$ = ウェーハの動きのスケーリング誤差による x 方向のパターン配置誤差、すなわち、スキヤナの内部で、ウェーハが、一定の係数による意図された距離と異なる距離だけ移動することによる誤差、

20

$ScalY$ = ウェーハの動きのスケーリング誤差による y 方向のパターン配置誤差、

$WRotX$ = ウェーハの回転による、すなわちスキヤナの内部のウェーハの配置における角度誤差による、x 方向のパターン配置誤差、

$WRotY$ = ウェーハの回転による y 方向のパターン配置誤差、

$MagX$ = スキヤナの光学倍率誤差による x 方向のパターン配置誤差、

$MagY$ = スキヤナの光学倍率誤差による y 方向のパターン配置誤差、

$FRotX$ = スキヤナフィールドの意図しない回転による x 方向のパターン配置誤差、および

$FRotY$ = スキヤナフィールドの意図しない回転による y 方向のパターン配置誤差である。

30

【0056】

これらのスキヤナ補正可能項は、一般に、直線回帰などの当てはめプロシージャにより、測定されたオーバーレイ誤差をスキヤナモデルによるオーバーレイ誤差に当てはめることによって、測定されたオーバーレイ誤差から推定される。次いで、補正可能項は、スキヤナにフィードバックされて、次の露光のためのスキヤナ内のウェーハの直線位置決め誤差および回転位置決め誤差の補正、ならびにフィールド 1 0 3 へのスキヤナレチクルの投影の誤差の補正に使用される。

【0057】

代替実施形態では、ウェーハおよび/またはフィールド座標における高次項を備えるスキヤナモデルが使用され得る。

40

【0058】

2. オーバーレイ誤差測定における直線性誤差

上記で説明されたように、測定変位 $Meas_Displ$ と実際の変位 $Actual_Displ$ には直線関係があるが、直線性係数は理想値 1 から逸脱する可能性がある。この関係は、非ユニティ直線性係数 k を用いて、 $Meas_Displ = k * Actual_Displ + \text{オフセット}$ という式で記述され得る。オフセットは無視できると想定され、続く計算から省略されることになる。

【0059】

オーバーレイ誤差計測における直線性誤差は、特性化および補正が行われなければ、不

50

正確なスキャナ補正可能項をもたらし、結果的に不適切なスキャナ補正、または場合によりスキャナによるパターン配置誤差の増加さえもたらし得る可能性がある。その上、この直線性誤差が、パターンニングされた基板 12 の不正確な処置につながる可能性もある。

【0060】

3. 直線性誤差を解消するためのオフセットしたオーバーレイターゲットの使用

図4は、本発明の一実施形態による、スキャナモデルの補正可能項およびオーバーレイ誤差測定のための直線性係数を推定する方法を概略的に示す流れ図200である。この方法は、x方向の変位に関連して以下に提示される。同じ方法がy方向の変位にも適用され得る。

【0061】

この方法は開始ステップ202から始まる。変位選択ステップ204において、N個の名目変位 $X_i(x^F_i, y^F_i)$ が選択される(変位選択のための特定の方法及び図5および図6において詳述される)。ターゲット形成ステップ206において、半導体基板12のそれぞれのフィールド103の内部に、オフセットしたオーバーレイターゲット112が形成される(図3A)。変位計測ステップ208において、層38および40におけるターゲットフィーチャの対称性のそれぞれの中心の間の変位が、光学式計測装置10を使用して、それぞれのフィールド103のそれぞれのターゲット112について測定される。x方向において測定されたM×Nの変位は、 $Meas_DisplX(x^W_{i,j}, y^W_{i,j}, x^F_i, y^F_i)$ によって表され、 $i = 1, 2, \dots, N$ であって、 $j = 1, 2, \dots, M$ である。

【0062】

スキャナモデル選択ステップ210において、たとえば上記で説明されたモデルといった、計算のために使用されるスキャナモデルが選択される。モデル化された変位誤差ステップ212では、ターゲット112の種々の名目変位を明らかにするために、元のスキャナモデルのモデル化されたオーバーレイ誤差が修正される。モデル化された変位は、したがってスキャナによるオーバーレイ誤差とターゲット112の名目変位との合計であって、直線性係数 x も考慮に入れる。上記で導入された表記法を使用して、j番目のフィールド103におけるi番目のオフセットターゲット112のモデル化された変位は、

$$Model_DisplX(x^W_{i,j}, y^W_{i,j}, x^F_i, y^F_i) = x * [OffX + ScalX * x^W_{i,j} + WRotX * y^W_{i,j} + MagX * x^F_i + FRotX * y^F_i + X_i(x^F_i, y^F_i)]$$

と記述される。

【0063】

オフセットターゲット112の位置が、フォトリソグラフィプロセスのスキャナにおいて使用されるレチクルによって定義されるので、 X_i はフィールド座標 (x^F, y^F) のみに依拠する。

【0064】

計算ステップ214において、スキャナ補正可能項 $OffX$ 、 $ScalX$ 、 $WRotX$ 、 $MagX$ 、 $FRotX$ および直線性係数 x は、モデル化された変位 $Model_DisplX(x^W_{i,j}, y^W_{i,j}, x^F_i, y^F_i)$ のすべてのM×Nの値と、変位のそれぞれの測定値 $Meas_DisplX(x^W_{i,j}, y^W_{i,j}, x^F_i, y^F_i)$ との間に回帰法を適用することによって推定される。モデルが変数の積を含むので、直線回帰ではなく高次回帰を適用する必要がある。回帰法の目的は、推定されたスキャナ補正可能項および直線性係数に対する、可能性のあるランダムまたは高次の計測誤差の影響を最小化することである。回帰を実行すると、次式で与えられる合計 S_x を最小化する、補正可能項の値と直線性係数とのセットが見つかる。

【数1】

$$S_x = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N [Meas_DisplX(x^W_{i,j}, y^W_{i,j}, x^F_i, y^F_i) - Model_DisplX(x^W_{i,j}, y^W_{i,j}, x^F_i, y^F_i)]^2$$

10

20

30

40

50

【 0 0 6 5 】

あるいは、単一の直線性係数 x を推定するのにすべてのフィールド 1 0 3 を含める代わりに、 x の計算は、フィールド 1 0 3 の 1 つ以上の部分集合に基づいて実行されてもよく、各部分集合が、1 つ以上のフィールド（流れ図 2 0 0 には示されていない）を含む。さらに代替として、すべてのフィールドにわたって変位が平均されてよく、ウェーハモデルに関連する項は省略され得る。半導体基板 1 2 にわたってフィールド 1 0 3 の複数の部分集合に対して x を推定することにより、基板にわたって x の複数のそれぞれの値が得られ、これらは、基板にわたる潜在的な測定誤差と、オーバーレイ誤差計測の直線性係数 x の付随する変動とを反映する。フィールド 1 0 3 の部分集合にわたって x を推定するために、各部分集合について上記の合計 S_x が個別に計算され、それに応じて S_x における合計の限界が変更される。この方法は終了ステップ 2 1 6 で終了する。

10

【 0 0 6 6 】

非直線回帰に対する代案として、モデルに測定値を当てはめるために、当技術で既知の他の計算方法が使用されてもよい。これらの方法は、たとえば直線回帰の適用を可能にし得る、変数の非線形変換を含み得る。

【 0 0 6 7 】

4 . オフセットしたオーバーレイターゲットの選択

図 5 の流れ図 3 0 0 および図 6 の流れ図 4 0 0 は、本発明の一実施形態による、オフセットしたオーバーレイターゲット 1 1 2 を選択するための 2 つの代替方法を概略的に示す。

【 0 0 6 8 】

N 個のオフセットしたオーバーレイターゲット 1 1 2 の大きさおよびそれらの位置がスキャナモデルの線形空間内に存在する場合、すなわち、N 個のターゲットの名目変位とターゲット位置との組合せが、スキャナモデルによって全面的に記述され得る場合には、オフセットしたオーバーレイターゲットは、スキャナ補正可能項の推定値を修正するだけで、図 4 で説明された方法による、直線性係数 x および y に関するいかなる情報も、もたらさないであろう。したがって、スキャナ補正可能項は、名目変位による誤差と、直線性係数 x および y の未訂正の値による誤差との両方を含むことになる。したがって、ターゲット 1 1 2 の対称性の中心の変位の大きさおよびターゲットの位置は、図 4 の変位選択ステップ 2 0 4 で選択される（そして、ターゲット形成ステップ 2 0 6 で実施される）べきであり、そのため、計算において使用されるスキャナモデルに対して少なくとも部分的に直交する。ここで、「部分的に直交する」という用語は、変位のベクトルが、スキャナモデルに対して直交する成分を有することを意味するように使用される。ターゲット 1 1 2 の位置がフィールド座標 (x^F, y^F) に依拠するので、直交性を決定するために使用されるのは、スキャナモデルのフィールド座標依拠部分だけである。

20

30

【 0 0 6 9 】

前述の要件は、（線形スキャナモデルについては）N が統計的に有意な測定値をもたらすほど十分に大きければ、 $X_i(x^F_i, y^F_i)$ ($i = 1, 2, \dots, N$) の、無作為に選択されたほぼすべての変位のセットに対して満たされ得る。しかしながら、数的な検討のためには、以下の図 5 および図 6 に示されるような系統的な方法が有利である。

【 0 0 7 0 】

流れ図 3 0 0（図 5）は、スキャナモデルに対してオフセットしたオーバーレイターゲット 1 1 2 の直交性の判定および改善のための反復法を示す。この方法は開始ステップ 3 0 1 から始まる。選択ステップ 3 0 2 において、N 個の名目変位 $X_i(x^F_i, y^F_i)$ が選択される。投影ステップ 3 0 4 において、スキャナフィールドモデルへの $X_i(x^F_i, y^F_i)$ の投影 $\text{Mag } X * x^F_i + \text{F R o t } X * y^F_i$ は、 $i = 1, 2, \dots, N$ について、 $X_i(x^F_i, y^F_i)$ と $\text{Mag } X * x^F_i + \text{F R o t } X * y^F_i$ との間の直線回帰からスキャナフィールド補正可能項 $\text{Mag } X$ および $\text{F R o t } X$ を推定することによって計算される。投影の大きさを計算するステップ 3 0 6 において、投影の相対的な大きさ P r o j _x は次式で計算される。

40

【 数 2 】

50

$$Proj_x = \frac{\sqrt{MagX^2 + FRotX^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (\Delta X_i)^2}}$$

【0071】

第1の比較ステップ308において、 $Proj_x$ が所定の限界と比較される。 $Proj_x$ が所定の限界を超過する場合、調節ステップ310において、名目変位ターゲットの大きさおよび/または位置を無作為に選択するか、またはより大きな線形空間（モデルのベクトルによって張られる線形空間を部分空間として含む）の線形基底からのベクトルにわたって系統的に繰り返すことによって、別の名目変位 $X_i(x^{F_i}, y^{F_i})$ が選択される。 $Proj_x$ が所定の限界未満の値に達するまで、投影ステップ304、投影の大きさを計算するステップ306、第1の比較ステップ308、および調節ステップ310が繰り返される。

10

【0072】

$Proj_x$ が所定の限界を超過しないように名目変位 $X_i(x^{F_i}, y^{F_i})$ が決定されると、第2の比較ステップ312において、名目変位 $X_i(x^{F_i}, y^{F_i})$ の大きさが、フォトリソグラフィプロセスにおけるオーバーレイ誤差の予期される大きさと比較される。名目変位の大きさが検討中のフォトリソグラフィプロセスについて予期されるオーバーレイ誤差値の範囲と大幅に異なる場合、名目変位の大きさを予期される範囲に収めるために、スケールングステップ314において $X_i(x^{F_i}, y^{F_i})$ のすべての成分に共通の定数が乗算される。名目変位が満足できる大きさになるまでステップ312および314のループが繰り返されてから、終了ステップ316においてプロセスが終了する。この方法から得られる名目変位 $X_i(x^{F_i}, y^{F_i})$ は、ステップ206（図4）などの、ターゲット112を形成するフォトリソグラフィステップにおいて適用される。

20

【0073】

流れ図400（図6）は、スキャナフィールドモデルに対して直交する、すなわちスキャナフィールドモデル上へのゼロ投影を有する、オフセットしたオーバーレイターゲット112を選択するための直接的な方法を示す。この方法は開始ステップ402から始まる。選択ステップ404において、ステップ302および304（図5）と同様に、N個の名目変位 $X_i(x^{F_i}, y^{F_i})$ が選択される。投影ステップ406において、スキャナフィールドモデルへの $X_i(x^{F_i}, y^{F_i})$ の投影 $MagX * x^{F_i} + FRotX * y^{F_i}$ は、 $i = 1, 2, \dots, N$ について、 $X_i(x^{F_i}, y^{F_i})$ と $MagX * x^{F_i} + FRotX * y^{F_i}$ との間の直線回帰からスキャナフィールド補正可能項 $MagX$ および $FRotX$ を推定することによって計算される。垂直な名目変位成分を計算するステップ408において、 $X_i(x^{F_i}, y^{F_i})$ の成分 $X_i^{ORTHO}(x^{F_i}, y^{F_i})$ すなわちスキャナフィールドモデル $MagX * x^{F_i} + FRotX * y^{F_i}$ に対して直交する $X_i(x^{F_i}, y^{F_i})$ の成分は、 $i = 1, 2, \dots, N$ について、 $X_i^{ORTHO}(x^{F_i}, y^{F_i}) = X_i(x^{F_i}, y^{F_i}) - MagX * x^{F_i} + FRotX * y^{F_i}$ と計算される。

30

40

【0074】

比較ステップ410において、ステップ312および314（図5）と同様に、垂直な名目変位成分 $X_i^{ORTHO}(x^{F_i}, y^{F_i})$ の大きさが、検討中のフォトリソグラフィプロセスにおけるオーバーレイ誤差の予期される大きさと比較される。必要に応じて、垂直な名目変位成分 $X_i^{ORTHO}(x^{F_i}, y^{F_i})$ には、必要な大きさが実現されるまで、スケールングステップ412において共通の定数が乗算される。この方法は終了ステップ414で終了する。この方法から得られる垂直な名目変位 $X_i^{ORTHO}(x^{F_i}, y^{F_i})$ は、ステップ206（図4）などのリソグラフィステップにおいて、ターゲット112の形成に適用される。

50

【 0 0 7 5 】

同様に、高次元スキャナモデル、すなわち非直線モデルについては、選択された変位のセット $X_i (x^F_i, y^F_i)$ は、スキャナモデルによって定義された高次元平面に存在してはならない。たとえば、2次式のスキャナモデルについては、高次元平面は5つのベクトル

【数3】

$$(x_1^F, \dots, x_N^F), (y_1^F, \dots, y_N^F), ((x_1^F)^2, \dots, (x_N^F)^2), ((y_1^F)^2, \dots, (y_N^F)^2)$$

10

および

【数4】

$$(x_1^F y_1^F, \dots, x_N^F y_N^F)$$

によって張られる。この場合、 $N > 5$ については、ほぼすべてのベクトル $X_i (x^F_i, y^F_i)$ が、十分な直交性の要件を満たすことになる。

【 0 0 7 6 】

前述の実施形態は例として引用されたものであり、本発明は、特に上記で示されて説明されたものに限定されないことが理解されよう。むしろ、本発明の範囲は、上記で説明された様々な特徴の組合せと部分組合せとの両方、ならびに、前述の説明を読むことによって当業者に思い浮かぶ、従来技術には開示されていない変形形態およびその変更形態を含む。

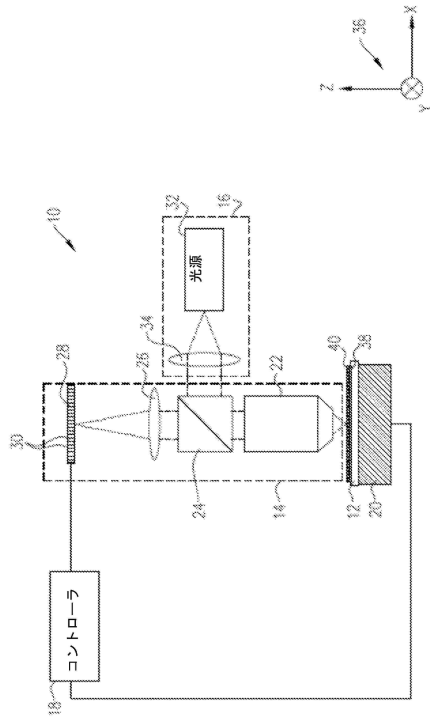
20

30

40

50

【図面】
【図 1】



【図 2】

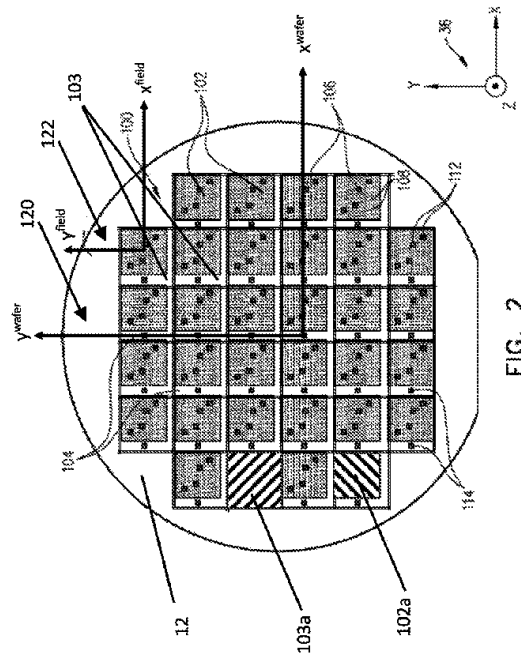


FIG. 2

10

20

【図 3 A】

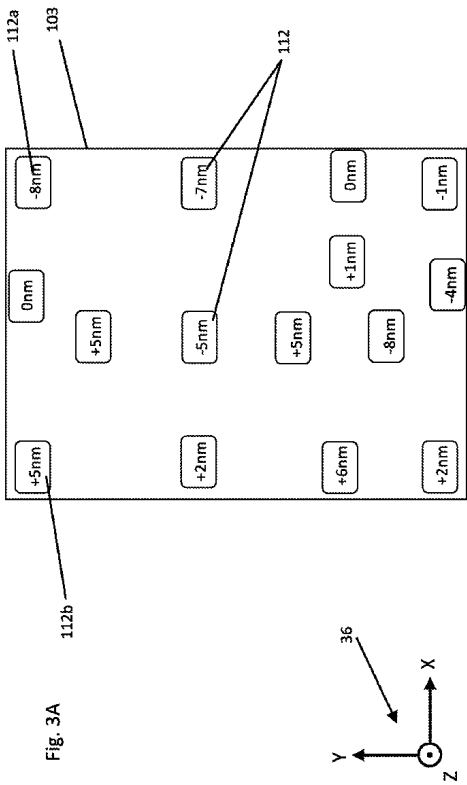


Fig. 3A

【図 3 B】

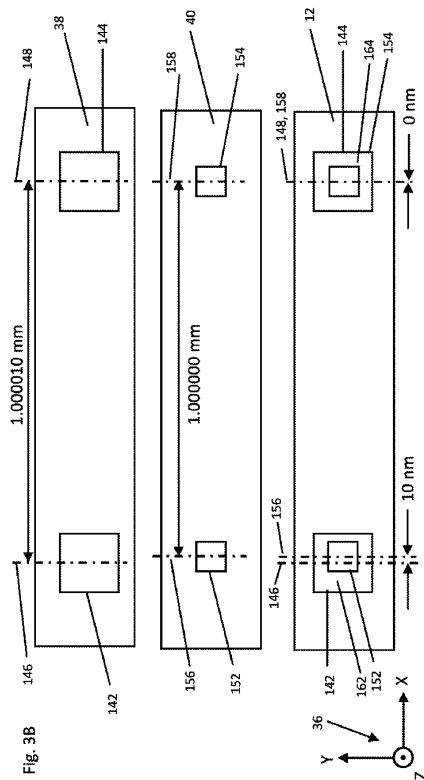


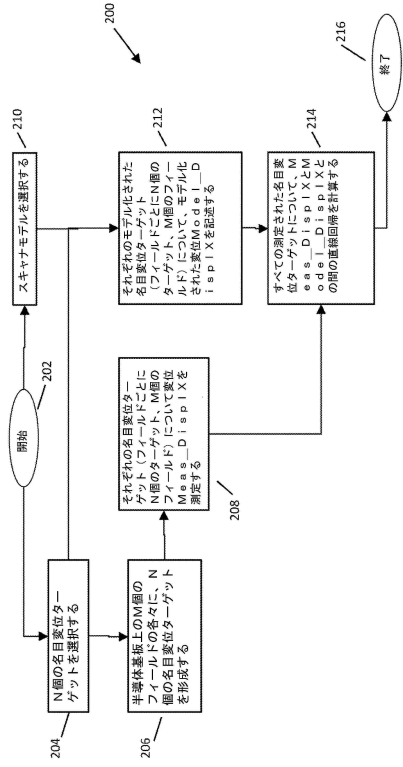
Fig. 3B

30

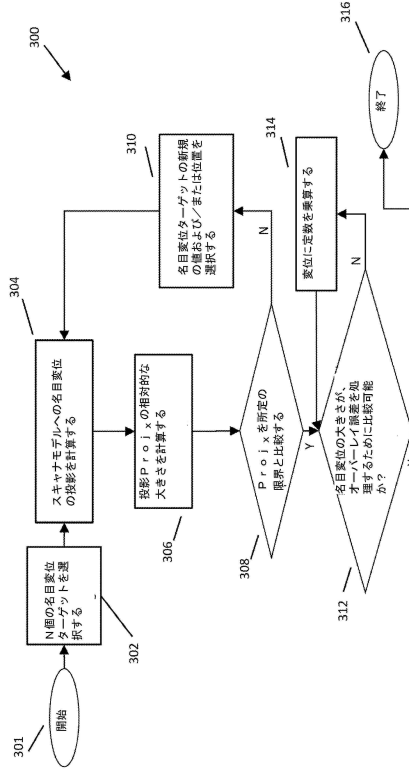
40

50

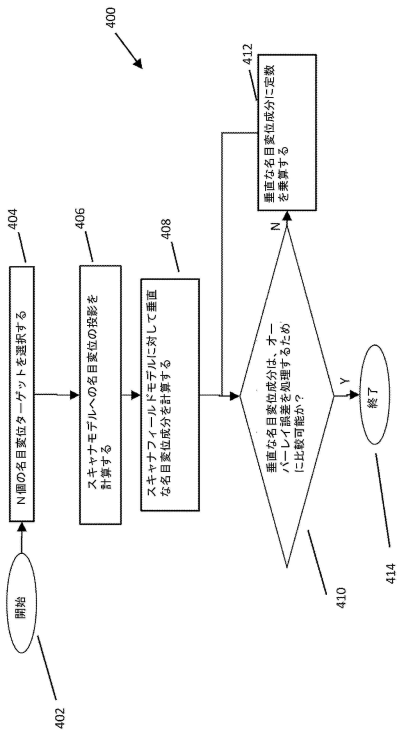
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 米国特許第06982793(US, B1)
特表2020-519928(JP, A)
特表2020-525831(JP, A)
特表2020-518848(JP, A)
特表2017-518533(JP, A)
米国特許出願公開第2019/0086824(US, A1)
米国特許出願公開第2018/0238737(US, A1)
米国特許出願公開第2018/0321597(US, A1)
米国特許出願公開第2015/0293461(US, A1)
米国特許出願公開第2005/0195398(US, A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G03F 7/20 - 7/24, 9/00 - 9/02
H01L 21/027、21/30、21/64 - 21/66