

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7579988号
(P7579988)

(45)発行日 令和6年11月8日(2024.11.8)

(24)登録日 令和6年10月30日(2024.10.30)

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 L 21/66 (2006.01)

H 0 1 L 21/66

J

請求項の数 30 (全33頁)

(21)出願番号	特願2023-557388(P2023-557388)	(73)特許権者	500049141
(86)(22)出願日	令和3年6月29日(2021.6.29)		ケーエルエー コーポレーション
(65)公表番号	特表2024-513341(P2024-513341 A)		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
(43)公表日	令和6年3月25日(2024.3.25)	(74)代理人	110001210
(86)国際出願番号	PCT/US2021/039472		弁理士法人 Y K I 国際特許事務所
(87)国際公開番号	WO2022/211835	(72)発明者	マナセン アムノン
(87)国際公開日	令和4年10月6日(2022.10.6)		イスラエル ハイファ ゴルダ メイル 1 0
審査請求日	令和6年3月26日(2024.3.26)	(72)発明者	ヒル アンドリユー ヴイ
(31)優先権主張番号	17/219,869		アメリカ合衆国 オレゴン ポートランド
(32)優先日	令和3年3月31日(2021.3.31)		サウスイースト サーティーンズ アベニユー 8 8 3 1
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)	(72)発明者	ヴァクニン ヨナタン
早期審査対象出願			イスラエル ヨクネアム イリット ユーカリブタス 7 / 3
		最終頁に続く	

(54)【発明の名称】 オーバレイ計量の性能拡張

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

計量方法であって、

その上に少なくとも第 1 及び第 2 パターン化層が相次いで堆積されており、前記第 1 パターン化層内に第 1 ターゲットフィーチャ、前記第 2 パターン化層内に第 2 ターゲットフィーチャが備わり、その第 2 ターゲットフィーチャが前記第 1 ターゲットフィーチャ上に重なっている半導体ウェハを、少なくとも 1 本の照明ビームを差し向けて照明し、

前記第 1 ターゲットフィーチャ及び前記第 2 ターゲットフィーチャの画像のシーケンスを、そのシーケンスに亘り 1 個又は複数個のイメージングパラメタを変化させつつ捕捉し、前記画像のシーケンスの捕捉は、相互レジストレーション状態の第 1 及び第 2 カメラを用い前記第 1 ターゲットフィーチャ及び前記第 2 ターゲットフィーチャの第 1 及び第 2 画像の捕捉を含み、前記第 1 及び前記第 2 画像の捕捉は、前記第 1 及び第 2 カメラの方に格子画像を投射しその格子画像に対しそれら第 1 及び第 2 カメラを位置合わせすることを含み、

前記シーケンス内の前記画像を処理することで、それら画像内の前記第 1 ターゲットフィーチャ及び前記第 2 ターゲットフィーチャ各自の対称中心を識別し且つそれら対称中心の変動を前記変化するイメージングパラメタの関数として計測し、前記画像の処理は、前記第 1 及び第 2 画像を比較することで前記対称中心の前記変動を計測することを含み、且つ

前記第 1 ・第 2 パターン化層間のオーバレイ誤差を計測する際に前記変動を適用する方法。

【請求項 2】

請求項 1 に係る方法であって、前記第 1 パターン化層がプロセス層を含み、前記第 2 パターン化層がそのプロセス層の上方に堆積されたレジスト層を含む方法。

【請求項 3】

請求項 1 に係る方法であって、前記格子画像を投射する際に、前記第 1 ターゲットフィーチャ及び前記第 2 ターゲットフィーチャの前記画像と並べて、格子パターンを生成し前記第 1 及び第 2 カメラ各自の検出器アレイ上へと投射する方法。

【請求項 4】

請求項 1 に係る方法であって、前記第 1 及び第 2 画像を捕捉する際に、前記イメージングパラメタのうち前記 1 個又は複数個を前記第 1 画像では第 1 セットアップに設定し前記第 2 画像では第 2 セットアップに設定する方法。

10

【請求項 5】

請求項 1 に係る方法であって、前記イメージングパラメタのうち前記 1 個又は複数個を設定する際に、前記第 1 及び第 2 カメラを個々別々な第 1 及び第 2 焦点位置に設定すること、並びに、前記第 1 及び第 2 焦点位置各自の第 1 及び第 2 シーケンス内を経てそれら第 1 及び第 2 カメラをステップングすることで、前記対称中心の変動をそれら第 1 及び第 2 焦点位置の関数として計測する方法。

【請求項 6】

請求項 5 に係る方法であって、前記第 1 及び第 2 焦点位置が一定の焦点距離 Δz で以て分離されていて、前記第 1 及び第 2 シーケンスの各段階にてそれら第 1 及び第 2 焦点位置双方が Δz 分だけインクリメントされる方法。

20

【請求項 7】

請求項 1 に係る方法であって、前記少なくとも 1 本の照明ビームが、個々別々な第 1 及び第 2 偏光状態にある第 1 及び第 2 照明ビームを含み、且つ、前記第 1 及び第 2 画像を捕捉する際に、偏光ビームスプリッタを適用することで、前記第 1 偏光状態にて前記半導体ウェハから反射されてきた光を前記第 1 カメラの方に差し向け且つ前記第 2 偏光状態にて前記半導体ウェハから反射されてきた光を前記第 2 カメラの方に差し向ける方法。

【請求項 8】

請求項 1 に係る方法であって、前記画像の前記シーケンスを捕捉する際に、相異なるイメージングパラメタにて前記第 1 ターゲットフィーチャ及び前記第 2 ターゲットフィーチャの前記画像を捕捉し、前記画像を処理する際に、前記対称中心の前記変動をそのイメージングパラメタの関数として計測する方法であり、そのイメージングパラメタが焦点セッティング、波長又は偏光状態である方法。

30

【請求項 9】

請求項 1 に係る方法であって、前記画像の前記シーケンスを捕捉する際に、前記少なくとも 1 本の照明ビームの少なくとも 1 個のアーチャを複数通りの別々なオフセットにして前記第 1 ターゲットフィーチャ及び前記第 2 ターゲットフィーチャの前記画像を捕捉し、且つ、前記画像を処理する際に、前記対称中心の前記変動をそのアーチャのそれらオフセットの関数として計測する方法。

【請求項 10】

請求項 1 に係る方法であって、前記画像の前記シーケンスを捕捉する際に、カメラを用い、またそのカメラに対し前記半導体ウェハを様々な角度方位にして、前記第 1 ターゲットフィーチャ及び前記第 2 ターゲットフィーチャの前記画像を捕捉し、且つ、前記画像を処理する際に、前記対称中心のツール誘起シフトをそれら角度方位の関数として計測する方法。

40

【請求項 11】

請求項 1 に係る方法であって、前記計測された変動を適用する際に、その計測された変動に応じ前記 1 個又は複数個のイメージングパラメタの最適範囲を探索し、且つ、その最適範囲内の値にその 1 個又は複数個のイメージングパラメタを設定することにより前記オーバーレイ誤差を計測するためのレシピを生成する方法。

【請求項 12】

50

請求項 1 1 に係る方法であって、前記画像の前記シーケンスを捕捉する際に、前記半導体ウェハ上にある複数個の別々な個所にて複数個のターゲットフィーチャの前記画像を捕捉し、且つ、前記最適範囲を探索する際に、それら別々な個所にて計測された前記変動を適用することで前記半導体ウェハのあるエリアに亘り最適となる範囲を選択する方法。

【請求項 1 3】

請求項 1 に係る方法であって、前記画像を処理する際に、前記第 1 ターゲットフィーチャ及び前記第 2 ターゲットフィーチャのうち少なくとも 1 個の非対称性を計測する方法。

【請求項 1 4】

計量方法であって、

その上に少なくとも 1 個のパターン化層が堆積されており、所定の軸に対し平行に方位決めされた複数本のバーを有する格子がそれに備わる半導体ウェハを、少なくとも 1 本の照明ビームを差し向けて照明し、

前記格子の 1 枚又は複数枚の画像を捕捉し、前記 1 枚又は複数枚の画像の捕捉は、相互レジストレーション状態の第 1 及び第 2 カメラを用い前記格子の第 1 及び第 2 画像の捕捉を含み、前記第 1 及び前記第 2 画像の捕捉は、前記第 1 及び第 2 カメラの方に格子画像を投射しその格子画像に対しそれら第 1 及び第 2 カメラを位置合わせすることを含み、

前記 1 枚又は複数枚の画像を処理することで、前記所定の軸周りで前記バーのうち 1 本又は複数本の非対称性を解明し、前記画像の処理は、前記第 1 及び第 2 画像を比較することで対称中心の変動を計測することを含み、且つ

前記パターン化層の計量的評価を行う際に前記解明された非対称性を適用する方法。

【請求項 1 5】

請求項 1 4 に係る方法であって、前記 1 枚又は複数枚の画像を捕捉する際に、様々な焦点セッティングにて前記格子の前記画像のシーケンスを捕捉し、且つ、前記 1 枚又は複数枚の画像を処理する際に、さらに前記画像における前記格子の対称中心の前記変動をそれら焦点セッティングの関数として計測し且つその計測された変動に基づき前記非対称性を解明する方法。

【請求項 1 6】

請求項 1 4 に係る方法であって、前記 1 枚又は複数枚の画像を処理する際に、前記バーのうち前記 1 本又は複数本の画像とその画像の反射バージョンとの間の相関を計算し且つその相関をもとに前記非対称性の度合いを導出する方法。

【請求項 1 7】

光学検査装置であって、

その上に少なくとも第 1 及び第 2 パターン化層が相次いで堆積されており、前記第 1 パターン化層内に第 1 ターゲットフィーチャ、前記第 2 パターン化層内に第 2 ターゲットフィーチャが備わり、その第 2 ターゲットフィーチャが前記第 1 ターゲットフィーチャ上に重なる半導体ウェハを、少なくとも 1 本の照明ビームを差し向けて照明するよう構成された照明アセンブリと、

前記第 1 ターゲットフィーチャ及び前記第 2 ターゲットフィーチャの画像のシーケンスを捕捉するよう構成されたイメージングアセンブリであり、前記イメージングアセンブリは、相互レジストレーション状態にあり前記第 1 ターゲットフィーチャ及び前記第 2 ターゲットフィーチャの第 1 及び第 2 画像を捕捉するように構成された第 1 及び第 2 カメラを含み、前記イメージングアセンブリは、さらに前記第 1 及び第 2 カメラの方に格子画像を投射するように構成されたプロジェクタを含み、

前記シーケンスに亘り本装置の 1 個又は複数個のイメージングパラメタを変化させるよう、前記シーケンス内の前記画像を処理することで前記画像内の前記第 1 ターゲットフィーチャ及び前記第 2 ターゲットフィーチャ各自の対称中心を識別してそれら対称中心の変動を前記変化するイメージングパラメタの関数として計測するよう、且つ前記第 1 ・第 2 パターン化層間のオーバーレイ誤差を計測する際に前記変動を適用するよう、構成されたコントローラであり、前記コントローラは、前記第 1 及び第 2 画像を比較することで前記対称中心の前記変動を計測し、前記格子画像に対し前記第 1 及び第 2 カメラを位置合わせす

10

20

30

40

50

るよう構成されている装置。

【請求項 18】

請求項 17 に係る装置であって、前記プロジェクタが、前記第 1 ターゲットフィーチャ及び前記第 2 ターゲットフィーチャの前記画像と並べ、格子パターンを生成して前記第 1 及び第 2 カメラ各自の検出器アレイ上へと投射するよう、構成されている装置。

【請求項 19】

請求項 17 に係る装置であって、前記コントローラが、前記イメージングパラメタのうち前記 1 個又は複数個を前記第 1 画像では第 1 セットに設定し前記第 2 画像では第 2 セットに設定するよう、構成されている装置。

【請求項 20】

請求項 17 に係る装置であって、前記コントローラが、前記第 1 及び第 2 カメラを個々別々な第 1 及び第 2 焦点位置に設定するよう、且つ、前記第 1 及び第 2 焦点位置各自の第 1 及び第 2 シーケンス内を経て前記第 1 及び第 2 カメラをステップングすることで前記対称中心の変動をそれら焦点位置の関数として計測するよう、構成されており、且つ、それら第 1 及び第 2 焦点位置が一定の焦点距離 Δz で以て分離されており且つ前記第 1 及び第 2 シーケンスの各段階にてそれら第 1 及び第 2 焦点位置双方が Δz 分だけインクリメントされる装置。

【請求項 21】

請求項 17 に係る装置であって、前記少なくとも 1 本の照明ビームが、個々別々な第 1 及び第 2 偏光状態の第 1 及び第 2 照明ビームを含み、且つ、前記イメージングアセンブリが、前記第 1 偏光状態にて前記半導体ウェハから反射されてきた光を前記第 1 カメラの方に差し向け且つ前記第 2 偏光状態にて前記半導体ウェハから反射されてきた光を前記第 2 カメラの方に差し向けるよう構成された、偏光ビームスプリッタを備える装置。

【請求項 22】

請求項 17 に係る装置であって、前記イメージングアセンブリが、相異なるイメージングパラメタにて前記第 1 ターゲットフィーチャ及び前記第 2 ターゲットフィーチャの前記画像を捕捉するよう構成されており、前記コントローラが、前記対称中心の前記変動をそのイメージングパラメタの関数として計測するよう構成されており、且つ、そのイメージングパラメタが焦点セッティング、波長又は偏光状態である装置。

【請求項 23】

請求項 17 に係る装置であって、前記照明アセンブリが、前記少なくとも 1 本の照明ビームの少なくとも 1 個のアパーチャを備え、且つ、前記イメージングアセンブリが、その少なくとも 1 個のアパーチャを複数通りの別々なオフセットにして前記第 1 ターゲットフィーチャ及び前記第 2 ターゲットフィーチャの前記画像を捕捉するよう構成されており、且つ、前記コントローラが、前記対称中心の前記変動をそのアパーチャのそれらオフセットの関数として計測するよう構成されている装置。

【請求項 24】

請求項 17 に係る装置であって、前記イメージングアセンブリが、前記半導体ウェハを様々な角度方位にして前記第 1 ターゲットフィーチャ及び前記第 2 ターゲットフィーチャの前記画像を捕捉するよう、構成されており、且つ、前記コントローラが、前記対称中心のツール誘起シフトをそれら角度方位の関数として計測するよう構成されている装置。

【請求項 25】

請求項 17 に係る装置であって、前記コントローラが、前記計測された変動に応じ前記 1 個又は複数個のイメージングパラメタの最適範囲を探索するよう、且つその最適範囲内の値にその 1 個又は複数個のイメージングパラメタを設定することにより前記オーバーレイ誤差を計測するためのレシピを生成するよう、構成されている装置。

【請求項 26】

請求項 25 に係る装置であって、前記イメージングアセンブリが、前記半導体ウェハ上の複数個の別々な個所にて複数個のターゲットフィーチャの前記画像を捕捉するよう構成されており、且つ、前記コントローラが、前記複数通りの別々な個所にて計測された前記

10

20

30

40

50

変動を適用することで前記半導体ウェハのあるエリアに亘り最適となる範囲を選択することにより前記最適範囲を探索するよう、構成されている装置。

【請求項 27】

請求項 17 に係る装置であって、前記コントローラが、前記第 1 ターゲットフィーチャ及び前記第 2 ターゲットフィーチャのうち少なくとも 1 個の非対称性を計測するよう構成されている装置。

【請求項 28】

光学検査装置であって、

その上に少なくとも 1 個のパターン化層が堆積されており、所定の軸に対し平行に方位決めされた複数本のバーを有する格子がそれに備わる半導体ウェハを、少なくとも 1 本の照明ビームを差し向けて照明するよう、構成された照明アセンブリと、

10

前記格子の 1 枚又は複数枚の画像を捕捉するよう構成されたイメージングアセンブリであり、前記イメージングアセンブリは、相互レジストレーション状態にあり前記格子の第 1 及び第 2 画像を捕捉するように構成された第 1 及び第 2 カメラを含み、前記イメージングアセンブリは、さらに前記第 1 及び第 2 カメラの方に格子画像を投射するように構成されたプロジェクタを含み、

前記 1 枚又は複数枚の画像を処理することにより前記所定の軸周りで前記バーのうち 1 本又は複数本の非対称性を解明するよう、且つ、前記パターン化層の計量的評価を行う際にその解明された非対称性を適用するよう、構成されたコントローラであり、前記コントローラは、前記第 1 及び第 2 画像を比較することで対称中心の変動を計測し、前記格子画像に対し前記第 1 及び第 2 カメラを位置合わせするよう構成されている装置。

20

【請求項 29】

請求項 28 に係る装置であって、前記イメージングアセンブリが、様々な焦点セッティングにて前記格子の前記画像のシーケンスを捕捉するよう構成されており、且つ、前記コントローラが、さらに前記画像における前記格子の対称中心の前記変動をそれら焦点セッティングの関数として計測するよう且つその計測された変動に基づき前記非対称性を解明するよう構成されている装置。

【請求項 30】

請求項 28 に係る装置であって、前記コントローラが、前記バーのうち前記 1 本又は複数本の画像とその画像の反射バージョンとの間の相関を計算するよう、且つ、その相関をもとに前記非対称性の度合いを導出するよう、構成されている装置。

30

【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、とりわけ半導体回路計量（メトロロジ）用の装置及び方法に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体回路は、一般にフォトリソグラフィ的な方法を用い製造される。フォトリソグラフィでは、感光性ポリマ（フォトレジスト）の薄層が半導体ウェハの上方に堆積され、その層が光学輻射その他の輻射（ラディエーション、放射、照射）を用いパターン化され、ウェハのうちそのフォトレジストにより覆われた部分が存置される。パターン化後は、エッチング、イオン爆射等の方法によりそのウェハを修正することでそのウェハの素材特性やトポグラフィが改変される一方、そのウェハのうちフォトレジストにより覆われた部分には影響が及ばない。

40

【0003】

半導体回路計量は、パターン化されたフォトレジストの特性、例えばパターン化フィーチャのトポグラフィ及び所在個所の計測に、広く用いられている。先行プロセス層に対するフォトレジストのパターン化フィーチャ（特徴）の正確な位置特定は、フォトリソグラフィのプロセスにて高い歩留まりを確保する上で重要である。何であれ、下地をな

50

すプロセス層に対するパターン化フォトレジストの位置合わせ（レジストレーション）の誤差（ミスレジストレーション）は、「オーバーレイ誤差」と呼ばれる。一例としては、最小線幅が10～14nmである（いわゆる10nmデザインルールの）典型的な半導体回路では、最大許容オーバーレイ誤差が2～3nmとなる。最先端の半導体回路では線幅が5nmへと縮小されつつあり、それに伴い最大許容オーバーレイ誤差が減らされてきている。

【0004】

可視及び近赤外波長の光学輻射であればフォトレジスト層内やフォトレジスト下の誘電体層を通り抜けうるため、オーバーレイ誤差は一般に光学式オーバーレイ計量ツールを用い計測されている。光学式オーバーレイ計量ツール、例えばKLA Corporation（米国カリフォルニア州ミルピタス）によるArcher（商標）シリーズツールでは、半導体ウェハのスクライブライン（隣り合う半導体チップを分ける線）内に所在するプロキシターゲット（例えばKLAによるAIM（商標）オーバーレイターゲット）がイメージングされる。獲得された画像に画像分析アルゴリズムを適用することで、プロセス層内の一組のターゲットフィーチャの対称中心（Cos）と、パターン化フォトレジスト層内の対応するターゲットフィーチャのCosとが、位置特定される。オーバーレイ誤差が、それら2個の層のターゲットフィーチャの対称中心間の距離として計算される。

10

【0005】

語「光線（オプティカル レイ）」、「光学輻射（オプティカル ラディエーション）」、「光（ライト）」及び「輻射のビーム（ビーム オブ ラディエーション）」は、本明細書及び特許請求の範囲での用法によれば、一般に、可視、赤外及び紫外輻射全般のことを指している。

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

後述される本発明の諸実施形態では、半導体回路計量用の改善された装置及び方法が提供される。

【課題を解決するための手段】

【0007】

すなわち、本発明のある実施形態により提供される計量方法では、その上に少なくとも第1及び第2パターン化層が相次いで堆積されており、第1パターン化層内に第1ターゲットフィーチャ、第2パターン化層内に第2ターゲットフィーチャが備わり、その第2ターゲットフィーチャが第1ターゲットフィーチャ上に重なっている半導体ウェハが、少なくとも1本の照明ビームを差し向けることで照明される。第1及び第2ターゲットフィーチャの画像のシーケンスが、そのシーケンスに亘り1個又は複数個のイメージングパラメータを変化させつつ捕捉される。そのシーケンス内の画像群を処理することで、それら画像内の第1及び第2ターゲットフィーチャ各自の対称中心が識別され、それら対称中心の変動がその変化するイメージングパラメータの関数として計測される。計測された変動が、第1・第2パターン化層間オーバーレイ誤差を計測する際に適用される。

30

【0008】

ある開示実施形態では、第1パターン化層にプロセス層が含まれ、第2パターン化層に、そのプロセス層の上方に堆積されたレジスト層が含まれる。

40

【0009】

ある種の実施形態では、画像のシーケンスを捕捉する際に、相互レジストレーション状態の第1及び第2カメラを用いターゲットフィーチャの第1及び第2画像が捕捉され、画像を処理する際に、第1及び第2画像を比較することで対称中心の変動が計測される。ある実施形態では、第1及び第2画像を捕捉する際に、第1及び第2カメラの方にレジストレーション画像が投射され、そのレジストレーション画像に対し第1及び第2カメラが位置合わせされる。ある例示的实施形態では、レジストレーション画像を投射する際に、ターゲットフィーチャの画像と並べ格子パターンが生成され第1及び第2カメラ各自の検出器アレイ上へと投射される。

50

【 0 0 1 0 】

これに加え又は代え、第 1 及び第 2 画像を捕捉する際に、イメージングパラメタのうち前記 1 個又は複数個が、第 1 画像では第 1 セットアップに設定され第 2 画像では第 2 セットアップに設定される。ある開示実施形態では、イメージングパラメタのうち 1 個又は複数個を設定する際に、第 1 及び第 2 カメラが個々別々な第 1 及び第 2 焦点位置に設定され、且つ、第 1 及び第 2 焦点位置各自の第 1 及び第 2 シーケンス内を経る態で第 1 及び第 2 カメラをステップングすることで対称中心の変動が焦点位置の関数として計測される。ある例示的实施形態では、第 1 及び第 2 焦点位置が一定の焦点距離 Δz で以て分離され、第 1 及び第 2 シーケンスの各段階にて第 1 及び第 2 焦点位置双方が Δz だけインクリメントされる。

10

【 0 0 1 1 】

更にこれに加え又は代え、前記少なくとも 1 本の照明ビームが、個々別々な第 1 及び第 2 偏光状態の第 1 及び第 2 照明ビームを含むものとされ、第 1 及び第 2 画像を捕捉する際に、偏光ビームスプリッタを適用することで、第 1 偏光状態にてウェハから反射されてきた光が第 1 カメラの方に差し向けられ、且つ、第 2 偏光状態にてウェハから反射されてきた光が第 2 カメラの方に差し向けられる。

【 0 0 1 2 】

ある実施形態では、画像のシーケンスを捕捉する際に、様々な焦点セットアップにてターゲットフィーチャの画像が捕捉され、画像を処理する際に、対称中心の変動が焦点セットアップの関数として計測される。

20

【 0 0 1 3 】

これに加え又は代え、画像のシーケンスを捕捉する際に、複数通りの別々な波長にてターゲットフィーチャの画像が捕捉され、画像を処理する際に、対称中心の変動が波長の関数として計測される。

【 0 0 1 4 】

更にこれに加え又は代え、画像のシーケンスを捕捉する際に、複数通りの別々な偏光状態にてターゲットフィーチャの画像が捕捉され、画像を処理する際に、対称中心の変動が偏光状態の関数として計測される。

【 0 0 1 5 】

なおも更にこれに加え又は代え、画像のシーケンスを捕捉する際に、少なくとも 1 本の照明ビームの少なくとも 1 個のアーチャを複数通りの別々なオフセットにしてターゲットフィーチャの画像が捕捉され、画像を処理する際に、対称中心の変動がそのアーチャのオフセットの関数として計測される。

30

【 0 0 1 6 】

また、ある実施形態では、画像のシーケンスを捕捉する際に、カメラを用い、またそのカメラに対し半導体ウェハを様々な角度方位にして、ターゲットフィーチャの画像が捕捉され、画像を処理する際に、対称中心のツール誘起シフトが角度方位の関数として計測される。

【 0 0 1 7 】

ある種の実施形態では、計測された変動を適用する際に、その計測された変動に応じ 1 個又は複数個のイメージングパラメタの最適範囲が探索され、その最適範囲内の値にその 1 個又は複数個のイメージングパラメタを設定することでオーバーレイ誤差計測用のレシピが生成される。ある開示実施形態では、画像のシーケンスを捕捉する際に、半導体ウェハ上の複数個の別々な個所にて複数個のターゲットフィーチャの画像が捕捉され、最適範囲を探索する際に、それら複数通りの別々な個所にて計測された変動を適用することで半導体ウェハのあるエリアに亘り最適となる範囲が選択される。

40

【 0 0 1 8 】

これに加え又は代え、画像を処理する際に、ターゲットフィーチャのうち少なくとも 1 個の非対称性が計測される。

【 0 0 1 9 】

50

また、本発明のある実施形態により提供される計量方法では、その上に少なくとも１個のパターン化層が堆積されており、所定の軸に対し平行に方位決めされた複数本のバーを有する格子がそれに備わる半導体ウェハが、少なくとも１本の照明ビームを差し向けることで照明される。その格子の１枚又は複数枚の画像を捕捉し処理することで、その軸周りで、バーのうち１本又は複数本の非対称性が解明される。解明された非対称性が、パターン化層の計量的評価を行う際に適用される。

【００２０】

ある開示実施形態では、１枚又は複数枚の画像を捕捉する際に、様々な焦点セッティングにて格子の画像のシーケンスが捕捉され、その１枚又は複数枚の画像を処理する際に、画像における格子の対称中心の変動が焦点セッティングの関数として計測され、計測された変動に基づき非対称性が解明される。これに加え又は代え、その１枚又は複数枚の画像を処理する際に、バーのうち前記１本又は複数本の画像とその画像の反射バージョンとの間の相関が計算され、計算された相関をもとに非対称性の度合いが導出される。

10

【００２１】

加えて、本発明のある実施形態により提供される光学検査装置では、照明アセンブリが、その上に少なくとも第１及び第２パターン化層が相次いで堆積されており、第１パターン化層内に第１ターゲットフィーチャ、第２パターン化層内に第２ターゲットフィーチャが備わり、その第２ターゲットフィーチャが第１ターゲットフィーチャ上に重なる半導体ウェハを、少なくとも１本の照明ビームを差し向けて照明するよう構成される。イメージングアセンブリが、第１及び第２ターゲットフィーチャの画像のシーケンスを捕捉するよう構成される。コントローラが、そのシーケンスに亘り本装置の１個又は複数個のイメージングパラメタを変化させるよう、そのシーケンス内の画像を処理することでそれら画像内の第１及び第２ターゲットフィーチャ各自の対称中心を識別しそれら対称中心の変動をその変化するイメージングパラメタの関数として計測するよう、且つその計測された変動を第１・第２パターン化層間オーバーレイ誤差を計測する際に適用するよう、構成される。

20

【００２２】

更に、本発明のある実施形態により提供される光学検査装置では、照明アセンブリが、その上に少なくとも１個のパターン化層が堆積されており、所定の軸に対し平行に方位決めされた複数本のバーを有する格子がそれに備わる半導体ウェハを、少なくとも１本の照明ビームを差し向けて照明するよう、構成される。イメージングアセンブリが、その格子の１枚又は複数枚の画像を捕捉するよう構成される。コントローラが、その１枚又は複数枚の画像を処理することによりその軸周りでバーのうち１本又は複数本の非対称性を解明するよう、且つ、パターン化層の計量的評価を行う際にその解明された非対称性を適用するよう、構成される。

30

【００２３】

本発明は、その諸実施形態についての後掲の詳細記述と併せ以下の図面から、より全面的に理解頂けよう。

【図面の簡単な説明】

【００２４】

【図１】本発明の一実施形態に係り半導体ウェハ上のパターン化薄膜層の光学特性を計測する光学検査装置の模式的側面図である。

40

【図２】本発明の一実施形態に係る光学検査装置にて用いられる格子プロジェクタの模式的側面図である。

【図３】本発明の一実施形態に係る光学検査装置内のカメラにより獲得される画像の模式的表現図である。

【図４】本発明の一実施形態に係り、オーバーレイ計量プロキシターゲットのプロセス層及びレジスト層フィーチャのＣｏＳ変動を計測するプロセスが模式的に描かれているフローチャートである。

【図５】本発明の一実施形態に係り、図４のプロセスにおける２個のカメラ間の焦点分離を模式的に示すプロット図である。

50

【図 6 A】本発明の一実施形態に係り、照明波長と関連付けオーバーレイ計量プロキシターゲットのフィーチャの C o S 変動を計測するプロセスが模式的に描かれているフローチャートである。

【図 6 B】本発明の一実施形態に係り、照明波長と関連付けオーバーレイ計量プロキシターゲットのフィーチャの C o S 変動を計測するプロセスが模式的に描かれているフローチャートである。

【図 7 A】本発明の一実施形態に係り、諸焦点セッティング及び諸波長に亘り C o S のランドスケープを生成し感度を評価するプロセスが模式的に描かれているフローチャートである。

【図 7 B】本発明の一実施形態に係り、諸焦点セッティング及び諸波長に亘り C o S のランドスケープを生成し感度を評価するプロセスが模式的に描かれているフローチャートである。

10

【図 8 A】本発明の一実施形態に係り、レジスト層での C o S のツール誘起シフト (C o S _ _ T I S) のランドスケープの模式的表現図である。

【図 8 B】本発明の一実施形態に係り、レジスト層での補正後 C o S (C o S _ _ C O R) のランドスケープの模式的表現図である。

【図 8 C】本発明の一実施形態に係り、プロセス層での C o S _ _ T I S のランドスケープの模式的表現図である。

【図 8 D】本発明の一実施形態に係り、プロセス層での C o S _ _ C O R のランドスケープの模式的表現図である。

20

【図 9 A】本発明の一実施形態に係り、レジスト層での精度ランドスケープの模式的表現図である。

【図 9 B】本発明の一実施形態に係り、プロセス層での精度ランドスケープの模式的表現図である。

【図 1 0】本発明の一実施形態に係り、C o S _ _ T I S の変動がアパーチャオフセットの関数として模式的に描かれているプロット図である。

【図 1 1 A】本発明の一実施形態に係る光学検査装置内のカメラにより獲得されるプロキシターゲット画像の模式的表現図である。

【図 1 1 B】本発明の一実施形態に係り、図 9 A のプロキシターゲットにおける格子バーの模式的断面図である。

30

【図 1 2】本発明の一実施形態に係り、オーバーレイプロキシターゲット内フィーチャの非対称性を監視するための画像信号相関の使用が模式的に描かれている一連のプロット図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 5 】

[概観]

オーバーレイ計量用プロキシターゲットは、半導体ウェハ上にあり相連続（互いに連続）しているパターン化層間のオーバーレイの精密計測に、広く用いられている。これらの層には、例えばプロセス層及びレジスト層が含まれうるし、エッチング後アプリケーションでは 2 個のプロセス層間でも用いられうる（即ち、プロセス層及びレジスト層との関わりで例示的諸実施形態を後述するけれども、それら実施形態の諸原理を、必要な変更を加えつつ第 1 プロセス層及び第 2 プロセス層に適用することができる）。

40

【 0 0 2 6 】

しかしながら、プロキシターゲット内フィーチャ（レジスト層ターゲットフィーチャ及びプロセス層ターゲットフィーチャの双方）は、デバイスエリア内の対応するフィーチャとは異なっている：プロキシターゲットのフィーチャは、通常はデバイス内のそれらより幅広な線を有しているので、可視又は近赤外スペクトルの光で動作する計量ツールにより分解・解像することができ、またそれらターゲットがその設計上対称的であるので、パワフルな対称性ベース画像処理アルゴリズムの実行によりオーバーレイ値を計算することが可能である。更に、プロキシターゲットは、通常、そのデバイスエリアの価値ある「不動産

50

：リアルエステート」が奪われないよう半導体ウェハのスクライプライン内に配置される。フォトリソグラフィ的露出システム（スキャナ）の光学歪は、スクライプライン内ではデバイスエリア内でのそれらと異なっており、それが、プロキシターゲット内のパターンとデバイス内の対応するパターンとの間の空間変動性差動性（空間的に変動する差分としての）シフトにつながっている。

【 0 0 2 7 】

こうした設計的及び計量的配慮（検討）により、プロキシターゲットのフィーチャが、リソグラフィ的効果及びプロセス効果に対し、チップエリア内のデバイスフィーチャとは別様に反応することとなり、プロキシターゲットをもとに計測されたオーバーレイ誤差が、実デバイスフィーチャにおけるオーバーレイ誤差についてのオフセットを有することとなりうる。校正機能を適用することで、プロキシターゲットをもとに計測されたオーバーレイ誤差から、デバイスエリアにおけるオーバーレイ誤差の正確な度合いを、導出してもよい。しかしながら、正確な校正には、プロキシターゲットをもとにした安定で再現性のあるオーバーレイ計測が必要となる。それらがひいてはプロセス誘起効果、例えばフィーチャ非対称性を被ることとなる。

【 0 0 2 8 】

更に、各プロキシターゲットにはフォトレジスト内ターゲットフィーチャ及び先行プロセス層内ターゲットフィーチャの双方が備わっているため、それら二組のターゲットフィーチャを、その半導体ウェハに対し垂直な方向に沿い数 μm に上る距離を以て分離させることができる。それら二組のターゲットフィーチャは、そうした場合、その計量ツールをレジスト層とプロセス層とに別々に合焦させ各自の焦点セッティングにて画像を獲得することによって、イメージングされる。しかしながら、プロセス変動効果とトポグラフィとの結合により、最適な計量「レシピ」、即ちプロキシターゲットから安定で再現性のあるオーバーレイ計測結果がもたらされる一組の計量条件（例えば焦点、照明の数値開口及び波長）を、見出すことが難しくなる。

【 0 0 2 9 】

本願に記載されている本発明の諸実施形態では、光学オーバーレイプロキシターゲットに備わる二組のターゲットフィーチャの独立解明が可能な光学式計量ツール及び方法を提供することによって、これらの問題に対処している。ある種の実施形態では、その計量ツールに備わる２個のイメージングカメラが、相互に位置合わせされつつも、そのプロキシターゲット上である固定された高さ差にて合焦される。それら２個のカメラにより捕捉された画像を比較することで、そのプロキシターゲット層の光学特性の変動、例えば焦点変動、スペクトル応答及び偏光等のイメージングパラメタに因る対称中心（ C o S ）の変動が、校正及び補正される。

【 0 0 3 0 】

ある種の実施形態では、プロジェクタによりレジストレーション画像、例えば二次元格子の画像がそれら２個のカメラの方へと投射される。その計量ツールの焦点を、それぞれその固定高さ差に等しく相連続している諸段階を経る態でステップングすることで、一方のカメラ（ C A M 1 と呼ぶ）を、先行段階中に他方のカメラ（ C A M 2 ）があった焦点セッティングに常に到来させる。 C A M 1 が自身の新たな焦点位置に到来したら、 C A M 2 がその焦点位置にあったとき C A M 2 により獲得された画像に対し、 C A M 1 が位置合わせされる。各焦点位置では、各カメラによりそのプロキシターゲットの画像が獲得される。そのプロキシターゲットに備わる二組のターゲットフィーチャ各々の獲得画像の系列が、諸焦点セッティングを経る態で互いに位置合わせされる。それら２個の画像系列をもとに、焦点による C o S の変動を、二組のターゲットフィーチャ各々に関し計算することができる。焦点に対する C o S の安定性から、安定なオーバーレイ計測のためそれら二組のターゲットフィーチャの画像が獲得されるべき焦点セッティングがわかる。安定なオーバーレイ計測により、ひいては、その半導体回路におけるオーバーレイ誤差の安定で再現性のある校正が可能となる。

【 0 0 3 1 】

これに加え又は代え、各組ターゲットフィーチャのC o Sの変動性を照明波長及び／又は偏光と関連付けてマッピングし、そのマッピングを用いることでも、安定なオーバーレイ計測を達成することができる。即ち、現下の諸実施形態では、波長及び焦点による二次元空間内で最適な計測範囲が識別される。

【 0 0 3 2 】

[光学検査装置の説明]

図 1 は、本発明の一実施形態に係り半導体ウェハ 1 2 上のパターン化薄膜層の光学特性を計測する光学検査装置 1 0 の模式的絵画的描写図である。

【 0 0 3 3 】

光学検査装置 1 0 はイメージングアセンブリ 1 4、照明アセンブリ 1 6 及び光学リレーアセンブリ 1 8 を備えている。光学検査装置は更に、格子プロジェクタ 2 0、カメラアセンブリ 2 2、コントローラ 2 4、メモリ 2 5、並びにその上に半導体ウェハ 1 2 が載置されるテーブル 2 6 を備えている。装置 1 0 及びその構成諸部材の向きはデカルト座標 2 8 に従い定義される。後掲の諸図には、それと同じデカルト座標 2 8 が相応な向きにて示されている。以下、小文字 x、y 及び z を用い 3 本のデカルト座標軸を表記し、大文字 X、Y 及び Z を用いそれら軸上の座標を表記する。

10

【 0 0 3 4 】

イメージングアセンブリ 1 4 は、単一の対物レンズ 3 0 として模式的に示されている。これに代え、アセンブリ 1 4 を、干渉対物系（例えばリニック干渉計）、暗視野対物系、位相差対物系、或いは他の好適な種類の対物レンズ又はレンズ及び／又は鏡の組合せが、

20

【 0 0 3 5 】

対物レンズ 3 0 は、通常は、非常に高い光学品質を有する複合レンズであり、高い数値開口（N A）、例えば 0 . 7 以上の N A を有している。ある代替的实施形態によれば、対物レンズ 3 0 を、可変な N A を有するものとし、それをコントローラ 2 4 により制御することができる。

【 0 0 3 6 】

図示実施形態では、照明アセンブリ 1 6 がコントローラ 2 4 により制御されており、2 個のイルミネータ 1 5 及び 1 7 を備えており、それらが各自の光源 3 2 及び 3 3 を備えており、それらによって、1 個又は複数個の離散可調波長にて、或いは連続波（C W）又はパルス形態にて一通り又は複数通りの連続スペクトルに亘り、各自のビーム 3 4 及び 3 5 をなす光学輻射が独立に放射される。光源 3 2 及び 3 3 にて、様々な偏光状態の光学輻射、例えば無偏光、直線偏光又は円偏光の輻射を放射させることもできる。

30

【 0 0 3 7 】

イルミネータ 1 5 及び 1 7 は更に、各自の光源 3 2 及び 3 3 に連結された 2 個の個別的なアパーチャアセンブリ 3 6 及び 3 7 を備えている。アパーチャアセンブリ 3 6 及び 3 7 は各自のアクチュエータ 3 8 及び 3 9 により駆動され、それによりアセンブリ 3 6 に備わる様々なアパーチャがビーム 3 4 内へ、またアセンブリ 3 7 に備わる様々なアパーチャがビーム 3 5 内へと持ち込まれる。アクチュエータ 3 8 及び 3 9 により更に、個々のアパーチャの平面内で、各アセンブリの個々別々なアパーチャに対する精細調整を行うこともできる。イルミネータ 1 5 及び 1 7 からそれぞれ放射されるビーム 4 0 及び 4 1 は、ビームスプリッタ 4 2 により共線的（コリニアリー：collinearly）に結合されてビーム 4 3 となる。この種のデュアル照明アセンブリでは、2 個のイルミネータが備わることで装置 1 0 の柔軟性が増強されており、ウェハ 1 2 上のプロセス層及びレジスト層に対し相独立な照明条件（例えば波長、偏光及び／又は N A）を提供することができる。

40

【 0 0 3 8 】

これに代え、照明アセンブリ 1 6 を単一のイルミネータ、例えばイルミネータ 1 5 が備わるものとし、プロセス層及びレジスト層向けの照明条件が光源 3 2 及びアパーチャアセンブリ 3 6 の相応な調整により選択されるようにしてもよい。更にそれに代え、照明アセンブリを 2 個超のイルミネータ、例えば 3 個又は 4 個のイルミネータが備わるものとし、

50

個々のイルミネータから出てくるビームが相応な光学装置、例えばビームスプリッタを用い結合されるようにしてもよい。

【 0 0 3 9 】

光学リレーアセンブリ 1 8 は、ビームスプリッタ 4 4 及び 4 5、ビームスプリッタアセンブリ 4 6、並びにレンズ 5 0 及び 5 2 を備えている。ビームスプリッタアセンブリ 4 6 に備わるビームスプリッタ 4 7 及び 4 8 は、後に詳述する通り、アクチュエータ 4 9 を用い装置 1 0 の光路内外へと動かすことができる。カメラアセンブリ 2 2 に備わる 2 個の検出器アレイ 5 4 及び 5 6 は「カメラ」とも呼べるものであり、それぞれ C A M 1 及び C A M 2 と表記されている。カメラアセンブリ 2 2 は更に、C A M 1 及び C A M 2 をそれぞれ z 軸に沿い動かす 2 個のアクチュエータ 5 8 及び 6 0 を備えている。この図ではレンズ 5 0 及び 5 2 が単一のレンズとして示されているが、それに代えこれらを複数個のレンズ及び / 又は鏡が備わるものとしてもよい。

10

【 0 0 4 0 】

格子プロジェクタ 2 0 は、図 2 に従い更に詳述される通り、格子画像を C A M 1 及び C A M 2 内へと投射するよう構成されている。コントローラ 2 4 は、格子プロジェクタ 2 0、メモリ 2 5、テーブル 2 6、光源 3 2 及び 3 3 と、アクチュエータ 3 8、3 9、4 9、5 8 及び 6 0 とに結合されている。コントローラ 2 4 は、通常、本願記載の諸機能を実行するようソフトウェア及び / 又はファームウェア内にプログラミングされているプログラマブルプロセッサ、並びに装置 1 0 の他の諸要素との接続用の相応なデジタル及び / 又はアナログインタフェースを、備えている。これに代え又は加え、コントローラ 2 4 は、自コントローラの諸機能のうち少なくとも一部分を実行するハードワイヤド及び / 又はプログラマブルハードウェア論理回路を備える。図 1 では単純性に鑑みコントローラ 2 4 が単一単板な機能ブロックとして示されているが、実際には、コントローラを、複数個の相互接続された制御ユニット、並びに図中に描かれ文中に記載されている信号を受け取り出力する相応なインタフェースが、備わるものとすることができる。

20

【 0 0 4 1 】

光学検査装置 1 0 を動作させる前に、半導体ウェハ 1 2 がテーブル 2 6 上に載置される。動作中には、コントローラ 2 4 の制御下で、テーブル 2 6 によりウェハ 1 2 を x、y 及び z 軸に沿い動かすことや、z 軸周りで回転させることができる。z 軸沿いの動きのことを「合焦」と呼ぶ。

30

【 0 0 4 2 】

ウェハ 1 2 を照明すべく、照明アセンブリ 1 6 により光学輻射のビーム 4 3 がビームスプリッタ 4 4 の方へと放射され、そこでそのビームが対物レンズ 3 0 内へと反射される。次いで、対物レンズ 3 0 によりビーム 4 3 がウェハ 1 2 上へと合焦される。その伝搬に対し垂直な平面 (y z 平面) 内で、照明アセンブリ 1 6 からの出口にてビーム 4 3 が呈する断面は、アパーチャアセンブリ 3 6 及び 3 7 に備わり好適に配置及び整列されているアパーチャにより修正される。それらのアパーチャにより、ビーム 4 3 の断面の形状が、例えば円形、正方形又はアナモルフィックなものに定まり、それと併せその断面の寸法が定まる。後に詳述する通り、ビーム 4 3 を、相異なる波長及び / 又は偏光状態を有する 2 本のビームを含むものとし、それら 2 本のビームそれぞれの断面をアパーチャアセンブリ 3 6 及び 3 7 により相独立に制御することができる。

40

【 0 0 4 3 】

アセンブリ 3 6 及び 3 7 に備わるアパーチャは、通常、対物系 3 0 の入射瞳に対し共役であり (単純性に鑑み図面から省かれている付加的な光学系によりその入射瞳上へとイメージングされ)、従って、イルミネータアセンブリ 1 6 から出射されるビーム 4 3 の断面により、ウェハ 1 2 を照らす光学輻射の数値開口 (開口数 : numerical aperture : NA) が定まる。即ち、その照明の形状を、角度空間内で、例えば円形、正方形又はアナモルフィックなものとすることができ、且つ、対物系 3 0 のフル NA とそのフル NA の小部分との間で変化させることができる。ある種の構成によれば、その照明を、対物レンズ 3 0 の集光 NA を上回る NA 値のものに制限し、ウェハ 1 2 上のフィーチャの暗視野イメージ

50

ングを実行可能とすることができる。

【 0 0 4 4 】

ウェハ 1 2 を照らす光学輻射はそのウェハにより対物レンズ 3 0 の方へ、即ちそのウェハ上のフィーチャをカメラアセンブリ 2 2 の方へとイメージングする対物系の方へと進行反射される。その反射輻射は対物レンズ 3 0 により受光され、更にビームスプリッタ 4 4 及び 4 5 を介しビームスプリッタアセンブリ 4 6 内へと投射され、そこでその反射輻射がビームスプリッタ 4 7 及びビームスプリッタ 4 8 のうち何れかに射突する；何れになるかは、アクチュエータ 4 9 によりその経路内にそれら 2 個のビームスプリッタのうち何れが配置されているかによる。本例におけるビームスプリッタ 4 7 は波長ニュートラルビームスプリッタ、即ちその反射係数及び透過係数が同じスペクトル挙動を呈するものである。ビームスプリッタ 4 8 はダイクロイックビームスプリッタであり、あるスペクトル帯 $\Delta \lambda_1$ 、例えば 3 8 0 ~ 5 5 0 nm を透過させ、別の（重なっていない）スペクトル帯 $\Delta \lambda_2$ 、例えば 5 6 0 ~ 8 0 0 nm を反射するよう、構成されている。即ち、ビームスプリッタ 4 7 が光路内にあるときには、カメラ C A M 1 及び C A M 2 各々により、その反射輻射のうち一部分がそのスペクトル全体に亘り受光される一方、ビームスプリッタ 4 8 がその光路内にあるときにはその輻射のスペクトルが分割され、C A M 1 ではスペクトル帯 $\Delta \lambda_1$ 内の輻射が、また C A M 2 ではスペクトル帯 $\Delta \lambda_2$ 内の輻射が受光されることとなる。光源 3 2 にてスペクトル帯 $\Delta \lambda_1$ 内の光学輻射を放射させ光源 3 3 にてスペクトル帯 $\Delta \lambda_2$ 内の光学輻射を放射させることで、それら 2 個の層各々に関して（照明 N A を含め）照明の独立制御が可能となる。

10

20

【 0 0 4 5 】

これに代え又は加え、ビームスプリッタ 4 7 及び 4 8 のうち一方を、ある偏光状態を透過させそれと直交する偏光状態を反射する偏光ビームスプリッタとしてもよい。即ち、例えば光源 3 2 及び 3 3 にて相直交する偏光状態の光学輻射を放射させると、光源 3 2 からの輻射が C A M 1 に向かい光源 3 3 からの輻射が C A M 2 に向かうこととなる。前述した照明のスペクトル分割と同様に、照明の偏光を制御することで、それら 2 個の層各々に関して照明の独立制御が可能となる。ある実施形態では、ビームスプリッタ 4 8 が、ダイクロイック及び偏光ビームスプリッタの組合せである。

【 0 0 4 6 】

選択されたアセンブリ 4 6 内ビームスプリッタにより透過及び反射された光学輻射は、レンズ 5 0 により C A M 1 上、またレンズ 5 2 により C A M 2 上へと、それぞれ合焦される。ウェハ 1 2 の画像はこうして C A M 1 及び C A M 2 により捕捉され、コントローラ 2 4 により読み出されて処理される。

30

【 0 0 4 7 】

図 2 は、本発明の一実施形態に係る格子プロジェクタ 2 0 の模式的絵画的描写図である。格子プロジェクタ 2 0 は、カメラ C A M 1 及び C A M 2 の方へと、それら 2 個のカメラ間で位置基準として利用される格子画像を投射する。格子プロジェクタ 2 0 は光源アセンブリ 8 0、単一モード光ファイバ 8 2、回折アセンブリ 8 4 及び空間フィルタ 8 6 を備えている。

【 0 0 4 8 】

本例における光源アセンブリ 8 0 は 2 個の高輝度（スーパーluminescent）発光ダイオード（s L E D）8 8 及び 9 0 を備えており、そのうち s L E D 8 8 により波長 $\lambda_1 = 4 5 0$ nm の光学輻射が放射され、s L E D 9 0 により波長 $\lambda_2 = 7 5 0$ nm の光学輻射が放射される。光源 8 0 は更に、レンズ 9 2、9 4 及び 9 6 と、ダイクロイックビームスプリッタ 9 8 とを備えている。これに代え、他の種類及び波長の光源を用いてもよい。

40

【 0 0 4 9 】

回折アセンブリ 8 4 は、2 個のレンズ 1 0 2 及び 1 0 4 間に配置された高コントラスト透過回折格子アセンブリ 1 0 0、例えばクロムオンガラス格子のアセンブリを備えている。回折格子アセンブリ 1 0 0 は相直交する格子を備えており、それらにより光が y 及び z 方向の双方に回折される。それらの格子の協働で、プロジェクタ 2 0 により投射される格

50

子パターンの諸部分が作り出される。

【 0 0 5 0 】

s L E D 8 8 及び 9 0 により放射された光学輻射は、個別のレンズ 9 2 及び 9 4 によりダイクロイックビームスプリッタ 9 8 の方へと投射される。ビームスプリッタ 9 8 は、s L E D 8 8 により放射された光学輻射を通すよう、且つ s L E D 9 0 により放射された光学輻射を反射するよう構成されているので、それら 2 個の s L E D により放射された輻射は結合され単一のビーム 1 0 6 になる。ビーム 1 0 6 は、レンズ 9 6 により単一モード光ファイバ 8 2 の入射端 1 0 8 内へと合焦される。ファイバ 8 2 内を通り伝達された光学輻射が、その出射端 1 1 0 を介しそのファイバから出て回折アセンブリ 8 4 内に入り、レンズ 1 0 2 によりビーム 1 1 2 として回折格子 1 0 0 の方へと投射される。出射端 1 1 0 がレンズ 1 0 2 の焦平面に配置されているので、ビーム 1 1 2 は平行光となっている。ビーム 1 1 2 は格子アセンブリ 1 0 0 により回折されて平行な諸次回折光 1 1 4 となり、レンズ 1 0 4 により焦平面 1 1 6 へと合焦される。

10

【 0 0 5 1 】

空間フィルタ 8 6 は焦平面 1 1 6 内に配置されており、格子アセンブリ 1 0 0 による回折により生じた ± 1 次回折光（諸次元回折光 1 1 4 の中の ± 1 次回折光）のみを通すよう構成されている。この機能が差込図 1 1 8 内に詳示されており、そこには y z ビューでの、即ち x 軸の方向から見た、空間フィルタ 8 6 が示されている。空間フィルタ 8 6 は、透明な環 1 2 0 を不透明なベース 1 2 2 上に備えており、例えばクロムオンガラスベースからクロムを除去することでその環が形成されている。 ± 1 次回折光は、環 1 2 0 内に、s L E D 8 8 により放射された輻射に係るものが正方形 1 2 4 として、また s L E D 9 0 により放射された輻射に係るものが正方形 1 2 6 として示されている。0 次回折光は空間フィルタの中央部 1 2 8 により阻止され、 ± 1 次超の回折光は空間フィルタ 8 6 の周辺部 1 3 0 により阻止される。

20

【 0 0 5 2 】

空間フィルタ 8 6 通過後の ± 1 次回折光により、拡大していくビーム 1 3 2 が形成される。それらのビームの相互干渉により、伝搬する正弦格子が（それら ± 1 次回折光間の干渉パターンとして）もたらされ、それらがビームスプリッタ 4 5（図 1）により反射されてビーム 1 3 4 になる。正弦格子については、図 3 との関連で後に詳述する。ビーム 1 3 4 は、カメラ C A M 1 及び C A M 2 の方へと、ウェハ 1 2（図 1）から反射されてきた光学輻射に対し共線的に伝搬するので、後に詳述する通りそれら 2 個のカメラの相互レジストレーションが可能である。

30

【 0 0 5 3 】

ビーム 1 3 4 として伝搬する正弦格子のスペクトルコンテンツは、s L E D 8 8 及び 9 0 のうち何れの 1 個又は双方が励振され光学輻射を放射するかに依存する。放射波長 λ_1 及び λ_2 とダイクロイックビームスプリッタ 4 8 のスペクトル特性とをマッチさせることで、それら波長のうち一方がそのビームスプリッタにより反射され他方が透過されるようにすることができる。

【 0 0 5 4 】

図 3 は、本発明の一実施形態に係りカメラ C A M 1 及び C A M 2 のうち一方により獲得される画像 1 5 0 の模式的表現図である。本例の画像 1 5 0 には、A I M（商標）プロキシターゲット 1 5 2 と、そのプロキシターゲットの画像沿いにあり格子プロジェクタ 2 0 により投射された 4 個の格子 1 5 4、1 5 6、1 5 8 及び 1 6 0 とが、含まれている。A I M（商標）プロキシターゲット 1 5 2 内のターゲットフィーチャには、x 及び y 軸沿いにあり対をなし方位決めされている 4 個のレジスト格子 1 6 2 と、同じく x 及び y 軸沿いにあり対をなし方位決めされている 4 個のプロセス層格子 1 6 4 とが、含まれている。明瞭性に鑑み、レジスト格子 1 6 2 のうち 2 個とプロセス層格子 1 6 4 のうち 2 個のみを枠囲いし、各々のうち 1 個を x 軸沿いに方位決めされたもの、他の 1 個を y 軸沿いに方位決めされたものとしてある。

40

【 0 0 5 5 】

50

他種のプロキシターゲットでは、これに代え他形態のターゲットフィーチャが用いられることがある。例えば、いわゆるフレームインフレームプロキシターゲット内のターゲットフィーチャには、バーで構成された正方形フレームが備わる。

【0056】

レジスト層・プロセス層間オーバーレイ誤差を計算する目的で、コントローラ24により、ターゲット152の画像をもとにレジスト格子162のC o SのX及びY座標($C o S_{X,R}$, $C o S_{Y,R}$)が計算され、同様にプロセス層格子164のC o SのX及びY座標($C o S_{X,P}$, $C o S_{Y,P}$)が計算される。(ウェハ12上に逆投射された)対称中心のX座標間、Y座標間の差により、X、Yそれぞれのオーバーレイ誤差 $OVL_X = (C o S_{X,R} - C o S_{X,P})$, $OVL_Y = (C o S_{Y,R} - C o S_{Y,P})$ がもたらされる。簡略性に鑑み、以下、C o Sを用い二次元ベクトル($C o S_X$, $C o S_Y$)を表記する。

10

【0057】

格子154、156、158及び160は、前述の通り格子プロジェクタ20により投射される(図2)。それら格子の空間分割及び配列は、例えば、回折格子アセンブリ100内の格子を2対の直交格子に分けることで達成される。カメラCAM1及びCAM2の双方により格子154、156、158及び160を「見て」コントローラ24(図1)によりそれら格子を用いることで、x及びy方向の双方でそれら格子に対しそれら2個のカメラの位置を合せることができる。後に詳述される通り、この位置合わせ(レジストレーション)は、ターゲット152の連続画像の正確なレジストレーションのプロセスに、不可欠な部分である。

20

【0058】

[オーバーレイ計量プロキシターゲット内のレジスト及びプロセスターゲットフィーチャの解明]

後掲の諸図には、オーバーレイプロキシターゲットのターゲットフィーチャのC o S変動を、例えば焦点及び照明波長等、様々なイメージングパラメタの関数として計測する多種多様な方法が示されている。そうした方法が、簡便性及び明瞭性に鑑み、上述されており先行図面に示されているシステム構造及び部材との関連で且つある特定種類のプロキシターゲット及びそれに備わるターゲットフィーチャとの関連で記述されている。とはいえ、本件技術分野に習熟した者(いわゆる当業者)であり本明細書を一読したものには明らかな通り、それらの方法の諸原理を、必要な変更を加えつつ他のオーバーレイ計量システムにて同様に応用することもでき、また他種のプロキシターゲットを用いてそうすることもできる。更に、これら様々な方法の諸要素を組み合わせ、マルチファクタC o S計測及び校正を行えるようにしてもよい。そうした代替的実現形態は皆、本発明の技術的範囲内にあるものと考えられる。

30

【0059】

図4は、本発明の一実施形態に係り、オーバーレイ計量プロキシターゲットのプロセス層及びレジスト層ターゲットフィーチャのC o S変動を焦点の関数として計測するプロセスが、模式的に描かれているフローチャート200である。本プロセスでは、図1記載の光学検査装置10を参照すると共に、図2及び図3を付加的に参照する。図4に描かれているプロセスの目的は、装置10におけるウェハ12の焦点セッティングと関連付けて、オーバーレイプロキシターゲット例えばAIM(商標)ターゲット152の各層のターゲットフィーチャのC o Sの位置を、個別に解明することにある。

40

【0060】

本プロセスは開始ステップ202にて開始される。合焦ステップ204では、z方向に沿ってテーブル26を動かすこと及び/又はアクチュエータ58及び60によりカメラを動かすことで、コントローラ24により、ウェハ12上に合焦するようカメラCAM1及びCAM2が設定される。それらカメラが、アクチュエータ58及び60の差動的運動により、 ΔZ なる焦点差に設定される(本明細書における焦点セッティングは、ウェハ空間におけるZ座標のことである。例えば焦点差 ΔZ は、カメラCAM1及びCAM2が合焦されるx y平面各々が、ウェハ12上で又はその付近で ΔZ を以て分離されていることを指

50

している)。カメラCAM 1及びCAM 2の焦点分離及び合焦の更なる詳細については図5との関連で後述する。

【0061】

第1格子レジストレーションステップ206では、カメラCAM 1及びCAM 2双方が、格子プロジェクタ20により投射された格子154、156、158及び160に対し位置合わせされる。このレジストレーションを実行するため、コントローラ24によりそれら格子の獲得済画像が処理され、それによりそれら格子に対する各カメラのx及びy方向沿い相対位置が探索される。カメラを互いに位置合わせするには、それらカメラを格子154、156、158及び160に対し物理的に動かすか、カメラ・格子間オフセットを計算して後続処理で利用すればよい。格子が周期的形態であり且つCAM 1及びCAM 2内で諸画素が反復的構造をなしているため、コントローラ24により、(ウェハ空間内xy座標に関し)0.1nmより良好な正確度で、それら格子に対し各カメラを位置合わせすることができる。更に、同じ格子が各カメラCAM 1及びCAM 2の方に投射されるため、投射された格子のあらゆる空間的シフト又は振動が、それらカメラの双方でコモンモードにて発生する。各カメラがそれら同じコモンモード格子に対し位置合わせされるため、それらカメラが、0.1nmより良好な正確度で互いに位置合わせされることとなる。第1獲得ステップ208では、プロキシターゲット152の画像、具体的には格子162及び164のそれが、コントローラ24によりカメラCAM 1及びCAM 2から読み出されメモリ25内に格納される。

【0062】

再合焦ステップ210では、テーブル26によりz方向に沿い距離ΔZ分だけウェハ12を動かすことで、CAM 1が、ステップ210より前にCAM 2があったZ座標へと持ち込まれる。第2格子レジストレーションステップ212では、コントローラ24により再び、第1格子レジストレーションステップ206のように、格子154、156、158及び160に対し各カメラCAM 1及びCAM 2が位置合わせされる。このステップの目的は、それら2個のカメラ間の持続的なレジストレーションを確実化することにある。CAM 1レジストレーションステップ214では、CAM 1が、前回の焦点位置にてCAM 2により獲得された画像に対し位置合わせされるので、第2格子レジストレーションステップ212と相俟ち、前回の焦点位置との関連でxy平面におけるそれら2個のカメラの位置が確立されることとなる。第2獲得ステップ216では、第1獲得ステップ208と同様、プロキシターゲット152の画像がカメラCAM 1及びCAM 2を通じコントローラ24により読み出され、メモリ25内に格納される。

【0063】

判別ステップ218では、コントローラ24により、焦点段階の予設定系列を踏まえ、別の焦点段階が必要か否かが判別される。その答えが肯定であれば、本プロセスは再合焦ステップ210に戻りそこから継続される。全ての予設定焦点段階が採られ終わったら、計算ステップ220にて、コントローラ24により、メモリ25内に格納されている諸画像を処理することで、各格子162及び164各々のCOSが、ΔZの諸焦点段階を経る焦点セッティングの関数として計算される。本プロセスは終了ステップ222にて終了される。

【0064】

ある種の実施形態では、照明がウェハ12上に射突する方向(突き当たる方向:照明の進行方向)を調整することで、その計量ツールのイメージング光学系における残留光学誤差が補償される。例えば光学検査装置10では、コントローラ24により、yz平面におけるアパーチャアセンブリ36の位置をアクチュエータ38の動きで調整することで、対物レンズ30における残留光学誤差を補償することができる。格子162及び164各々のCOSがアパーチャアセンブリ36の位置に依存しているため、アパーチャアセンブリ36の複数位置に関し焦点の関数としてCOSを計測することで、より包括的なデータを収集することができる。ある実施形態では、フローチャート200記載のプロセスが、アパーチャアセンブリの一連のY及びZ座標、例えば($Y_0 \pm n * \Delta Y$, $Z_0 \pm n * \Delta Z$)

に関し実行される；但し、 Y_0 及び Z_0 はアパーチャアセンブリ 36 の名目中心位置、 ΔY 及び ΔZ はそのアパーチャアセンブリのインクリメント増分を表しており、 n は 0 から最大値たる N までの値が想定されている整数指数である。「計測条件の選択」と題する欄にて後述される通り、得られたデータを用い、オーバーレイ計測の質を更に改善することができる。

【0065】

図 5 は、本発明の一実施形態に係り、CAM 1・CAM 2 間焦点間隔並びに図 4 のプロセスにて採られる諸焦点段階を模式的に示すプロット図である。

【0066】

ウェハ空間内 Z 座標による 2 個のカメラ CAM 1 及び CAM 2 の位置、即ちウェハ 12 を基準とした Z 座標が、 N 個の焦点段階を経る態でシフトされている。 Z 座標軸 251 上に付記されている通り、第 1 段階 250 では CAM 1 が平面 $Z = Z_0$ に合焦され、CAM 2 が平面 $Z = Z_0 + \Delta Z$ に合焦される。第 2 段階 252 では、そのウェハ焦点が ΔZ 分だけインクリメントされ、それにより CAM 1 が $Z = Z_0 + \Delta Z$ 、CAM 2 が $Z = Z_0 + 2\Delta Z$ に持ち込まれるため、CAM 1 の在処がここで、第 1 段階 250 にて CAM 2 があったのと同じ焦点位置となる。第 3 段階 254 では、そのウェハ焦点が再び ΔZ 分だけインクリメントされ、CAM 1 が $Z = Z_0 + 2\Delta Z$ 、CAM 2 が $Z = Z_0 + 3\Delta Z$ に持ち込まれる。このプロセスは第 N 段階 256 まで継続され、CAM 1 の在処が $Z = Z_0 + (N - 1)\Delta Z$ 、CAM 2 の在処が $Z = Z_0 + N\Delta Z$ となる。

【0067】

言い換えれば、各焦点段階にて、前段階にて CAM 2 が所在していた焦点に CAM 1 が位置決めされるので、相連続する段階間でのレジストレーションが可能となる。この連続する諸段階と、格子レジストレーションステップ 206 及び 212 (図 4) との組合せにより、コントローラ 24 にて、焦点縦貫的 (スルー焦点的) に x 及び y 方向沿いで各カメラを精密に整列させること、並びに焦点縦貫的に格子 162 及び 164 各々の真正な COS を計算することが可能となる。

【0068】

図 6A - 6B は、本発明の一実施形態に係り、照明波長と関連付けてオーバーレイ計量プロキシターゲットのターゲットフィーチャの COS 変動を計測するプロセスが、模式的に描かれているフローチャート 300 である。本プロセスでは、図 1 に示されている光学検査装置 10 を用いると共に、図 2 及び図 3 を付加的に参照する。図 6A - 6B に描かれているプロセスの目的は、装置 10 により用いられる波長と関連付けて、オーバーレイプロキシターゲット例えば AIM (商標) ターゲット 152 のターゲットフィーチャ各々の COS の位置を、個別説明することにある。フローチャート 300 は、それぞれ格子 164、格子 162 の COS が照明波長の関数として計算される第 1 部分 301、第 2 部分 302 を有している。

【0069】

本プロセスは開始ステップ 303 にて開始される。ビームスプリッタ配置ステップ 304 では、コントローラ 24 によりアクチュエータ 49 を励振することでダイクロイックビームスプリッタ 48 が装置 10 の光路内へと持ち込まれるため、装置 10 の光路内の光学輻射が、その輻射のうちスペクトル帯 $\Delta\lambda_1$ 内部分が CAM 1 により受光され且つその輻射のうちスペクトル帯 $\Delta\lambda_2$ 内部分が CAM 2 により受光されるよう、分割されることとなる。

【0070】

その後、本プロセスは第 1 部分 301 に入る。第 1 照明ステップ 306 では、半導体ウェハ 12 が波長 λ_1 及び λ_2 で以て照明される；但し、波長 λ_1 はスペクトル帯 $\Delta\lambda_1$ 内、波長 λ_2 はスペクトル帯 $\Delta\lambda_2$ 内にあり、光源 32 により波長 λ_1 にて光学輻射が放射され、光源 33 により波長 λ_2 にて光学輻射が放射される。第 1 合焦ステップ 308 では、コントローラ 24 により、テーブル 26 並びにアクチュエータ 58 及び 60 を用い、カメラ CAM 1 が格子 162 上のコントラスト焦点、CAM 2 が格子 164 上のコントラスト焦

10

20

30

40

50

点に合焦される。語「コントラスト焦点」は、個々のカメラ上の格子画像が最大コントラスト C を呈する焦点位置を指している。また、コントラスト C は、所与カメラ上の格子画像の最大及び最小強度 I_{max} 及び I_{min} に基づき、 $C = (I_{max} - I_{min}) / (I_{max} + I_{min})$ として定義される。第1格子レジストレーションステップ310では、第1格子レジストレーションステップ206(図4)と同様に、投射された格子154、156、158及び160に対しカメラCAM1及びCAM2が位置合わせされる。その後、第1獲得ステップ312では、格子162及び164の画像がカメラCAM1及びCAM2により獲得され、コントローラ24によりそれらカメラから読み出され、メモリ25内に格納される。

【0071】

第1波長変更ステップ314では、コントローラ24にて、光源33によりスペクトル帯 $\Delta\lambda_2$ 内で放射される光学輻射の波長を $\Delta\lambda$ 分だけインクリメントすることで、CAM2に達する照明の波長が λ_2 から $\lambda_2 + \Delta\lambda$ へと変更される。第1再合焦ステップ316では、CAM2が、そのインクリメント後波長にてコントラスト焦点へと再合焦される。第2格子レジストレーションステップ318では、第1格子レジストレーションステップ310のように、格子154、156、158及び160に対しカメラCAM1及びCAM2が位置合わせされる。再レジストレーションステップ320では、CAM1が、獲得ステップ312にてCAM1を通じ獲得されたのと同じ、格子162の画像に対し、再合焦及び再位置合わせされる。即ち、同じ波長及び同じ焦点で同じ物理格子162に対し継続的に位置合わせされるのであり、これによりCAM1が部分301用の「アンカー」として確立される。第2獲得ステップ322では、格子164の画像がCAM2により獲得され、コントローラ24によりそのカメラから読み出され、メモリ25内に格納される。

【0072】

第1判別ステップ324では、コントローラ24により、波長段階の予設定系列を踏まえ、スペクトル帯 $\Delta\lambda_2$ 内で別の波長段階が必要か否かが判別される。その答えが肯定であれば、本プロセスは第1波長変更ステップ314に戻り、CAM2に達する照明の波長を再び $\Delta\lambda$ 分だけインクリメントさせた上で、本プロセスが継続される。全ての予設定焦点段階が使い尽くされたら、コントローラ24により、第1計算ステップ326にて、メモリ25内に格納されている諸画像に基づき、格子164の $\cos$ が、スペクトル帯 $\Delta\lambda_2$ 内の諸波長段階 $\Delta\lambda$ を経る波長の関数として計算される。

【0073】

本プロセスは第2部分302に続いており、これは第1・第2部分間の差異を明瞭化するため詳述されている。第2部分302内のステップ328、330、332、334、340及び346は、第1部分301内の対応するステップ306、308、310、312、318及び324とそっくりである。しかしながら、第2部分302内のステップ336、338、342及び344は第1部分301内の対応ステップ314、316、320及び326と異なっており、第2部分のそれらステップでは、スペクトル走査が、第1部分でのようにスペクトル範囲 $\Delta\lambda_2$ を縦貫する態で行われるのではなく、スペクトル範囲 $\Delta\lambda_1$ を縦貫する態で行われている。

【0074】

第2照明ステップ328では、半導体ウェハ12波長 λ_1 及び λ_2 で以て照明される。第2合焦ステップ330では、コントローラ24により、カメラCAM1が格子162上のコントラスト焦点、CAM2が格子164上のコントラスト焦点に合焦される。第3格子レジストレーションステップ332では、カメラCAM1及びCAM2が格子154、156、158及び160に対し位置合わせされる。第3獲得ステップ334では、格子162及び164の画像がカメラCAM1及びCAM2により獲得され、コントローラ24によりそれらカメラから読み出され、メモリ25内に格納される。

【0075】

第2波長変更ステップ336では、コントローラ24によって、光源32によりスペクトル帯 $\Delta\lambda_1$ 内で放射される光学輻射の波長が $\Delta\lambda$ 分だけインクリメントされる。第2再

合焦ステップ 338 では、CAM 1 が、そのインクリメント後波長 $\Delta\lambda_1 + \Delta\lambda$ にてコントラスト焦点に再合焦される。第 4 格子レジストレーションステップ 340 では、カメラ CAM 1 及び CAM 2 が格子 154、156、158 及び 160 に対し位置合わせされる。第 2 再レジストレーションステップ 342 では、CAM 2 が、第 3 獲得ステップ 334 にて CAM 2 から読み出されたものと同じ、格子 164 の画像に対し再合焦及び再位置合わせされ、それにより CAM 2 が第 2 部分 302 用のアンカーとして確立される。第 4 獲得ステップ 344 では、格子 162 の画像がカメラ CAM 1 により獲得され、コントローラ 24 によりそのカメラから読み出され、メモリ 25 内に格納される。

【0076】

第 2 判別ステップ 346 では、コントローラ 24 により、波長段階の予設定系列を踏まえ、スペクトル帯 $\Delta\lambda_1$ 内で別の波長段階が必要か否かが判別される。その答えが肯定であれば、本プロセスは第 2 波長変更ステップ 336 に戻り、CAM 1 に達する照明の波長を再び $\Delta\lambda$ 分だけインクリメントさせた上で、本プロセスが継続される。全ての予設定波長段階が採られ終えたら、コントローラ 24 により、第 2 計算ステップ 348 にて、格子 162 の COS が、スペクトル帯 $\Delta\lambda_1$ 内の諸波長段階 $\Delta\lambda$ を経る波長の関数として計算される。本プロセスは終了ステップ 350 にて終了される。

【0077】

焦点による COS の変動の計測と同じく、波長による COS の変動に関し得られたエータも、「計測条件の選択」と題する欄にて後述される通り、オーバーレイ計測の質を更に改善するのに用いることができる。

【0078】

照明波長による COS の変動の計測を、その光学輻射の偏光状態を付加的なパラメタとして実行してもよい。ある実施形態では、波長による COS の変動が、ウェハ 12 上に射突する照明の様々な偏光状態に関し計測される。即ち、コントローラ 24 による指令を受け、光源 32 及び 33 により相直交する二通りの偏光状態にて光学輻射が放射され、照明波長による COS の変動が偏光状態毎に個別計測される。これに代わる実施形態には、ウェハ 12 が無偏光光学輻射で以て照明されある特定状態の偏光が 2 個のカメラ CAM 1 及び CAM 2 各々に到達するものであって、その特定状態が、ポラライザとしても機能するダイクロイックビームスプリッタ 48 により、或いはそのダイクロイックビームスプリッタと 2 個のカメラとの間に適宜配置されたポラライザにより決まるものがある。

【0079】

図 7A - 7B は、本発明の一実施形態に係り、諸焦点セッティング及び諸波長に亘り COS のランドスケープを生成し感度を評価するプロセスが、模式的に描かれているフローチャート 500 である。

【0080】

スキャナ誘起オーバーレイ誤差、例えばそのスキャナにおけるウェハ 12 の誤配置及び回動、並びにスキャナ視野歪を捕捉するため、オーバーレイ誤差が、一般にそのウェハ上の数個の計測サイトにて計測される。フローチャート 500 に示されているプロセスはウェハ 12 上の N 個のサイトを対象とした計測に関するものであり、ここではそれらサイトに n ($n = 1, 2, \dots, N$) と付番されている。更に、本プロセスはレジスト層及びプロセス層双方に関し実行される。

【0081】

COS が二通りのウェハ 12 方位にて焦点と関連付けて計測され、またそのうち第 2 方位に関してはそのウェハが Z 軸周りで 180° 回動される。焦点と関連付けられた COS のうち第 1 方位 (0° 方位に任意設定) でのものを $COS_0(Z)$ 、第 2 方位でのものを $COS_{180}(Z)$ と表記すると、コントローラ 24 により計算される COS のツール誘起シフト (TIS) 即ち COS_TIS は、 $COS_TIS(Z) = (COS_0(Z) + COS_{180}(Z)) / 2$ となる。 COS_TIS により記述される COS 誤差は、装置 10 のイメージング経路内光学部材の非対称性、例えば対物レンズ 30 の非対称性に因るものである。補正後 COS、即ち計測 COS から COS_TIS を減じたものを、コントロー

10

20

30

40

50

ラ 2 4 により、 $COS_COR(Z)$ として計算することができる；但し、 $COS_COR(Z) = [COS_0(Z) - COS_{180}(Z)] / 2$ であり、「COR」は「補正後」を表している。前述の通り、COS は二次元ベクトル (COS_X, COS_Y) を表しており、「COS」なる表記にはその X 及び Y 座標の双方が包含される。

【0082】

装置 10 の機械的振動を原因とする COS 計測の不正確性は、プロキシターゲット 152 の画像を複数回獲得しそれら計測結果を平均することで、低減させることができる。

【0083】

本プロセスは開始ステップ 502 にて開始される。偏光選択ステップ 504 では、照明アセンブリ 16 により放射された照明の（一通り又は複数通りの）偏光状態が選択される。サイト選択ステップ 506 ではウェハ 12 上のサイト n が選択される。波長選択ステップ 507 では波長 λ が選択される。0 度 COS スルー焦点ステップ 508 では、図 4 及び図 5 との関連で記述された通り、COS が焦点 Z 縦貫的に計測される。180 度 COS スルー焦点ステップ 510 では上掲の計測が反復されるが、ウェハ 12 の方位はステップ 508 でのそれに対し 180° 回転させる。第 1 COS_TIS ステップ 512 では、COS_TIS が、コントローラ 24 により、焦点セッティング Z 毎に 0° 方位及び 180° 方位での個々の COS 値をもとに、 $COS_TIS = (COS_0 + COS_{180}) / 2$ として計算される。単純性に鑑み、焦点 Z、波長 λ 、偏光 P 及びサイト n に対する明白な依存性が、これらの式では省略されている。第 1 COS_COR ステップ 514 では、COS_COR が、コントローラ 24 により、焦点セッティング Z 毎に 0° 及び 180° での個々の COS 値をもとに、 $COS_COR = (COS_0 - COS_{180}) / 2$ として計算される（ここでも諸変数に対する明示的参照が省略されている）。波長判別ステップ 516 では、コントローラ 24 により、波長の予設定リストを踏まえ、ステップ 507 ~ 514 を再実行すべきか否かが判別される。肯定的回答の場合、波長インクリメントステップ 517 にて波長 λ がインクリメントされ、本プロセスがステップ 507 から継続される。

【0084】

全ての予設定波長が使い尽くされたら、本プロセスでは、続いて、図 6A - 6B との関連で記述された通り、最良コントラスト焦点にて波長と関連付けて COS が計測される。先行ステップにおいて、全ての所要波長にて焦点と関連付けて COS が計測済であるけれども、装置 10 のドリフトによって、焦点との関連での COS の計測結果の一部が、焦点座標 Z 沿いにドリフトすることがある。以下詳述される通り、波長との関連での COS 計測を使用し、その種のドリフトを補正することができる。

【0085】

0 度 COS スルー波長ステップ 518 では、COS が、最良コントラスト焦点にて波長の予設定スペクトルを縦貫する態で計測される。180 度 COS スルー波長ステップ 520 では上述の計測が反復されるが、ウェハ 12 の方位はステップ 516 でのそれに対し 180° 回転させる。第 2 COS_TIS ステップ 522 及び第 2 COS_COR ステップ 524 では、COS_TIS 及び COS_COR が、コントローラ 24 により、ステップ 518 及び 520 にて獲得されたデータをもとに、前掲のステップ 512 及び 514 各々との関連で記述された通り計算される。

【0086】

COS_TIS 縫合ステップ 526 では、コントローラ 24 により、波長 λ 毎に、焦点 Z を最良コントラスト焦点としてステップ 507 ~ 516 から焦点縦貫的な COS_TIS に関してもたらされた結果が、ステップ 522 から COS_TIS に関してもたらされた結果と比較される。それら二通りの結果間に食い違いがある場合、波長 λ での焦点縦貫的 COS_TIS に係る結果を焦点座標 Z に沿いシフトさせることで、その食い違いが除去される。これにより、後掲の図 8A との関連で更に詳述される通り、隣り合う波長での焦点縦貫的 COS_TIS の結果が「縫合」され、二次元 Z- λ 空間における COS_TIS の一貫表現となる。COS_TIS ランドスケープステップ 528 では、コントローラ 24 によりこの表現が収集され、2 個の変数 Z 及び λ に対する COS_TIS 値の集合体とな

る。この集合体のことをC o S __ T I S ランドスケープと呼ぶ。

【 0 0 8 7 】

C o S __ T I S 導関数ステップ530では、コントローラ24により、変数Z及びλの変動に対するC o S __ T I Sの感度を示す二次導関数 $\partial^2 \text{C o S __ T I S} / \partial Z \partial \lambda$ の値が計算される。最小C o S __ T I Sステップ532では、コントローラ24により、そのC o S __ T I S ランドスケープ内で、(Z, λ)平面内にありC o S __ T I Sの絶対値が所定限度未満となる(1個又は複数個の)二次元エリアが識別され、それによりC o Sに係るツール誘起シフトが最小なエリア即ちC o S誤差が最小なエリアが指し示される(C o S __ T I SのX及びY成分に別々な限度を割り当ててもよい)。最小C o S __ T I S 導関数ステップ533では、コントローラ24により、そのC o S __ T I S ランドスケープ

10

【 0 0 8 8 】

C o S __ T I S 縫合ステップ526と同様、C o S __ C O R 縫合ステップ534では、コントローラ24により、波長λ毎に、焦点Zを最良コントラスト焦点としステップ507~516から焦点縦貫的C o S __ C O Rに関してもたらされた結果が、ステップ524からC o S __ C O Rに関してもたらされた結果と比較される。それら二通りの結果間に食い違いがある場合、波長λに係る焦点縦貫的C o S __ T I Sの結果を焦点座標Zに沿いシフトさせることで、その食い違いが除去される。これにより、隣り合う波長に係る焦点縦貫的C o S __ C O Rの結果が「縫合」され、Zλ空間におけるC o S __ C O Rの一貫表現となる。

20

【 0 0 8 9 】

C o S __ T I S ランドスケープステップ528と同様、C o S __ C O R ランドスケープステップ536では、コントローラ24によりこの表現が収集され、2個の変数Z及びλに対するC o S __ C O R値の集合体、即ち本願でC o S __ C O R ランドスケープと呼ばれるものとなる。C o S __ C O R 導関数ステップ538では、コントローラ24により、変数Z及びλの変化に対するC o S __ C O Rの感度を示す二次導関数 $\partial^2 \text{C o S __ C O R} / \partial Z \partial \lambda$ の値が計算される。

【 0 0 9 0 】

最小C o S __ C O R 導関数ステップ540では、コントローラ24により、そのC o S __ C O R ランドスケープ内で、 $\partial^2 \text{C o S __ C O R} / \partial Z \partial \lambda$ の絶対値が更に別の所定限度未満となる(1個又は複数個の)二次元エリアが識別され、それによりC o S __ C O Rの安定性が最高なエリアが指し示される(C o S __ C O Rは0に対し任意なオフセットを有するものとされうるので、C o S __ C O Rが所定限度未満であるエリアを識別することに理論的根拠はない)。

30

【 0 0 9 1 】

サイト判別ステップ542では、コントローラ24により、ウェハ12上の別のサイトnを計測する必要があるか否かが確認される。その結果が肯定であれば、本プロセスはステップ506に戻り、次のサイトが選択される。(現在の偏光に関し)全てのサイトが計測され終わったら、コントローラ24により、偏光判別ステップ544にて、付加的な偏光状態の照明にて計測を実行する必要があるか否かが確認される。その結果が肯定であれば、本プロセスはステップ506に戻り、新たな偏光状態の照明を用いてN個のサイト全てが再び計測される。全ての必要な偏光状態が使い尽くされたら、終了ステップ546にて本プロセスが終了される。

40

【 0 0 9 2 】

図8A~図8Dは、本発明の一実施形態に係り、レジスト及びプロセス層に係るC o S __ T I S及びC o S __ C O R ランドスケープの模式的表現図である。図8Aに示されているのはレジスト層に係るC o S __ T I S ランドスケープ600、図8Bに示されているのはレジスト層に係るC o S __ C O R ランドスケープ602、図8Cに示されているのはプ

50

ロセス層に係る COS_TIS ランドスケープ 604、図 8 D に示されているのはプロセス層に係る COS_COR ランドスケープ 606 である。各ランドスケープ 600、602、604 及び 606 は所与サイト n 及び所与偏光 P に係るものである。同様のランドスケープが、 N 個のサイト全てに関し且つ全ての偏光状態の照明に関し生成される。各ランドスケープにより、ある波長範囲 ($\lambda_{\min}, \lambda_{\max}$) 及びある焦点範囲 ($Z_{\min}, Z_{\max}$) における COS_TIS 又は COS_COR の個別値が表されている。曲線 608、610、612 及び 614 により、個々のランドスケープ 600、602、604 及び 606 に関し、波長との関連で最良コントラスト焦点の焦点位置が示されている。

【0093】

図 7 A のステップ 532、533 及び 540 にて識別されたエリアがランドスケープ 600 ~ 606 内に示されている。即ち、エリア 616 内では $\partial^2 \text{COS_TIS} / \partial Z \partial \lambda$ が所定限度 L_1 未満であり、エリア 618 内では COS_TIS が所定限度 L_2 未満である。エリア 620 内では $\partial^2 \text{COS_COR} / \partial Z \partial \lambda$ が所定限度 L_3 未満である。エリア 622 内では $\partial^2 \text{COS_TIS} / \partial Z \partial \lambda$ が所定限度 L_4 未満であり、エリア 624 内では COS_TIS が所定限度 L_5 未満である。エリア 626 内では $\partial^2 \text{COS_COR} / \partial Z \partial \lambda$ が所定限度 L_6 未満である。このように、エリア 616、622 は、それぞれレジスト、プロセス層に関し、 COS_TIS の安定性が高いエリアを示しており、エリア 618 及び 624 は、それらの層に関し COS_TIS の値が小さいところ、即ち計測ツール誤差が少ないところを示している。エリア 620、626 は、それぞれレジスト層、プロセス層に関し、 COS_COR の安定性が高いところを示している。

【0094】

図 7 A のステップ 526 及び 534 にて導入された「縫合」の概念が、図 8 A にて模式的に描かれている。3 本の線 628、630 及び 632 は、焦点 Z の関数たる COS_TIS が個々の波長 λ_{i-1} 、 λ_i 及び λ_{i+1} にて図 7 A のステップ 507 ~ 516 に従い計測された 3 本の経路を、表している。曲線 608 上の 3 個の点 634、636 及び 638 は、波長 λ の関数たる COS_TIS が図 7 B のステップ 518 ~ 522 にて計測されたところを指し示している。線 628 上にありその線が曲線 608 と交わるところでの COS_TIS 値が、点 634 での COS_TIS 値と比較される。それら 2 個の値が同じであれば、線 628 はシフトされない。逆に、それらの値が一致していなければ、線 628 (及びその COS_TIS 値) が、曲線 608 と交わるところでの線 628 上の値が点 634 での値と一致するまで、 Z 方向に沿いシフトされる。同様のプロセスが、点 636 との関連で線 630 に関し、また点 638 との関連で線 632 に関し、反復される。

【0095】

それら 3 本の線 628、630 及び 632 が必要に応じシフトされ、各線と曲線 608 とが交わるところでの値が個々の点 634、636 及び 638 での値と一致したとき、それらの線は、いわば一体に「縫合」された状態にある。本プロセスは、全ての同様な線に関し $\lambda_{\min}$ から $\lambda_{\max}$ まで反復され、それにより焦点縦貫的な COS_TIS 値の計測中に装置 10 に生じうるドリフトが補正される。同様の縫合演算がランドスケープ 602、604 及び 606 にも適用される。

【0096】

図 9 A 及び図 9 B は、本発明の一実施形態に係り、レジスト及びプロセス層に係る精度ランドスケープの模式的表現図である。本実施形態では COS 計測の精度が評価される。精度計測に際しては COS の数回連続計測、例えば 5 回、10 回又は 15 回の計測が行われ、その精度の指標が計算される。一般的な指標にはそれら計測の 3σ 値 (標準偏差の 3 倍) がある。ある実施形態では、前述した計測 (図 5 ~ 図 7) 中に COS の精度 (COS_Prec と付号する) を計測しておき、焦点 Z 及び波長 λ なる 2 個の変数と関連付けて精度ランドスケープが生成される。

【0097】

図 9 A 中のランドスケープ 700 はレジスト層の COS の精度を表しており、図 9 B 中のランドスケープ 702 はプロセス層の COS の精度を表している。各ランドスケープは

、図 8 A、図 8 B、図 8 C 及び図 8 D 各々のランドスケープ 6 0 0、6 0 2、6 0 4 及び 6 0 6 と同様、ある波長範囲 (λ_{min} , λ_{max}) 及びある焦点範囲 (Z_{min} , Z_{max}) における CoS_Prec の個別値を表している。ランドスケープ 7 0 0 及び 7 0 2 は各自の曲線 7 0 4 及び 7 0 6 を有しており、それにより波長との関連で最良コントラスト焦点の焦点位置が示されている。ランドスケープ 7 0 0 内にありレジスト層に係る CoS_Prec 値をもとに、コントローラ 2 4 により、 CoS_Prec が予設定限度 L_7 未満の値を有しているエリア 7 0 8 及び 7 1 0 が識別されている。同様に、ランドスケープ 7 0 2 内にありプロセス層に係る CoS_Prec 値をもとに、コントローラ 2 4 により、 CoS_Prec が予設定限度 L_8 未満の値を有しているエリア 7 1 2、7 1 4 及び 7 1 6 が識別されている。

10

【 0 0 9 8 】

[計測条件の選択]

計量レシピ、即ちオーバーレイ計量中における装置 1 0 の様々なパラメタ (例えば焦点、波長、偏光) のセッティングは、計量結果の質に多大な影響を及ぼしうる。以下詳述する通り、装置 1 0 のユーザは、例えば安定性及び正確性等、諸要因間が所望バランスに到達するように、変更する計測条件を選ぶことができる。図 4 ~ 図 9 に描かれた層別の計量結果解明は洗練された一組のツールをユーザに与えるものであり、それでいて、そのユーザの具体的目標を念頭に置きつつ計測条件を選択することができる。以下、それらのツールの用法が例証される 2 個の例示的实施形態を提示する。

20

【 0 0 9 9 】

実施形態 1 - 本実施形態では、指標 M_1 が、コントローラ 2 4 により、全ての計測サイト及び全ての偏光に関し、ランドスケープ 6 0 0、6 0 2、6 0 4 及び 6 0 6 (図 8 A ~ 図 8 D) 並びにランドスケープ 7 0 0 及び 7 0 2 (図 9 A 及び図 9 B) をもとにして、層毎に計算される。

【 数 1 】

$$M_1(\lambda, Z, P, L)$$

$$= AVG_N \left(\sqrt{Prec^2(\lambda, Z, P, L) + CoS_TIS^2(\lambda, Z, P, L)} \right)$$

$$+ 3\sigma_N \left(\sqrt{Prec^2(\lambda, Z, P, L) + CoS_TIS^2(\lambda, Z, P, L) + CoS_COR^2(\lambda, Z, P, L)} \right)$$

30

【 0 1 0 0 】

本指標及びその成分内の変数には、照明の波長 λ 、焦点座標 Z 、偏光状態 P 、並びに層 L (レジスト層かそれともプロセス層か) がある。 AVG_N は N 個の計測サイトに亘る平均のこと、 $3\sigma_N$ はそれら N 個のサイトに亘る標準偏差の 3 倍のことであり、 AVG_N 及び $3\sigma_N$ には諸サイト及び諸偏光に亘るランドスケープ上でのプロセス変動の影響が算入されている。簡略性に鑑み、精度が「 $Prec$ 」と表記されている。

【 0 1 0 1 】

指標 M_1 はその寄与因子として CoS_TIS を含んでおり、従って計測の正確性 (ツール誘起誤差) の評価に重きを置いている。 $LIMIT(M_1)$ を M_1 向けの所定限度とし、

40

$$M_1(\lambda, Z, P, L) < LIMIT(M_1)$$

となる計測条件を見つけることで、計測されるオーバーレイ誤差が、最小のツール誘起誤差を呈することとなる。

【 0 1 0 2 】

2 個のイルミネータ 1 5 及び 1 7 を有する装置 1 0 (図 1) の場合、計測条件を、層別指標 M_1 の使用を通じ、層毎に独立に最適化することができる。仮に装置 1 0 がイルミネータを 1 個しか備えていないのであれば、2 個の層の計測条件間の妥協点が探されることとなる。例えば、単一イルミネータ装置向けの潜在的必要条件は、

50

$M_1(\lambda, Z, P, L_{resist}) + M_1(\lambda, Z, P, L_{process}) < LIMIT'(M)$

となる；但し、 L_{resist} 、 $L_{process}$ はそれぞれレジスト、プロセス層のことであり、 $LIMIT'(M)$ は(別の)所定限度である。

【0103】

仮に COS_TIS がツールに係る一定の補正因数であるのなら、1回型校正手順によりそれを校正できるかもしれない。しかしながら、プロキシターゲットのターゲットフィーチャの局所幾何と計量ツール光学系の光学応答との間につながりがあるため、ウェハ上の複数個所が計測される場合、 COS_TIS がターゲット毎に変わりかねない。この種の COS_TIS 変動は、そのウェハに亘るプロセス変動の結果として生じうる。

10

【0104】

指標 M_1 に対する COS_TIS の寄与分は、各アパーチャアセンブリ36及び37のアパーチャの横シフトにより、層毎に低減することができる。

【0105】

実施形態2 - 本実施形態では、指標 M_2 が、コントローラ24により、指標 M_1 でのそれらと同じランドスケープを用い層毎に計算される。但し、指標 M_2 の式は指標 M_1 のそれと異なっている。

【数2】

$M_2(\lambda, Z, P, L)$

$$= AVG_N \left(\sqrt{\left(\frac{\partial^2 COS_COR(\lambda, Z, P, L)}{\partial Z \partial \lambda} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 COS_TIS(\lambda, Z, P, L)}{\partial Z \partial \lambda} \right)^2 + Prec^2(\lambda, Z, P, L)} \right) \\ + 3\sigma_N \left(\sqrt{\left(\frac{\partial^2 COS_COR(\lambda, Z, P, L)}{\partial Z \partial \lambda} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 COS_TIS(\lambda, Z, P, L)}{\partial Z \partial \lambda} \right)^2 + Prec^2(\lambda, Z, P, L)} \right)$$

20

【0106】

指標 M_2 に COS_COR 及び COS_TIS 双方の(二次)導関数が入っているので、これによりオーバーレイ誤差計測中における COS の安定性が表される。即ち、 $LIMIT(M_2)$ を M_2 向けの所定限度とし、

30

$M_2(\lambda, Z, P, L) < LIMIT(M_2)$

であることを要求することによって、計測されるオーバーレイ誤差が高度な安定性を呈することとなり、ひいては計測オーバーレイ誤差の正確な校正とロバストなオーバーレイ計量をサポートすることができる。

【0107】

指標 M_2 に関しても M_1 でのそれと同じ変数が用いられており、 AVG_N 及び $3\sigma_N$ は指標 M_1 でのそれと同様に N 個のサイトに適用される。照明アセンブリ16がイルミネータを1個有する構成か2個有する構成かを踏まえつつ、 M_1 でのそれと同様の考察が指標 M_2 にも適用される。

40

【0108】

これに代え又は加え、ランドスケープ600、602、604及び606由来やランドスケープ700及び702由来のデータを用い他の指標を生成し、様々なユーザ別要請を反映させてもよい。

【0109】

図10は、本発明の一実施形態に係り、 COS_TIS の変動がアパーチャオフセットの関数として模式的に描かれているプロット800である。

【0110】

プロット800には、4個の計測サイト($n = 1, \dots, 4$)に関し装置10により計測された COS_TIS の変動が、アパーチャアセンブリ36に備わるアパーチャのうち1

50

個の横オフセット AO と関連付けて示されている。様々なサイトに係る個々の COS_TIS 値が線 802 として示されている。それら 4 個のサイトに亘る変動、例えば層コントラスト、フィーチャボロジ、焦点変動、サイト傾斜及びプロセス変動があるため、線 802 は別々なオフセット及び傾斜を呈している。それら 4 個のサイトに亘る COS_TIS の平均、即ち AO の関数たる $AVG(COS_TIS)$ が、線 804 として示されている。

【0111】

4 個の計測サイトに亘る最適（最小）な COS_TIS 変動、即ち $3\sigma(COS_TIS)_1$ が、あるアパーチャオフセット AO_1 にて見出されており、そこでは $COS_TIS = COS_TIS_1$ となっている。非ゼロ値の AO_1 は、ウェハ 12・イメージングアセンブリ 14 間に大域的な角度アライメント誤差があることを示している。

10

AO_1 より大きなアパーチャオフセットを選ぶことで、 $3\sigma(COS_TIS)$ が大きくなるものの $AVG(COS_TIS)$ が小さくなることは、 $AVG(COS_TIS)$ と $3\sigma(COS_TIS)$ との間の最適化機会があることを示している。図 1 の装置 10 のように、独立な光源及びアパーチャアセンブリを用いることで、各層に関し、 $AVG(COS_TIS)$ と $3\sigma(COS_TIS)$ との間での独立な最適化が可能となる。

【0112】

図 11 A 及び図 11 B には、本発明の一実施形態に係り、焦点の関数たる COS の適用による、AIM（商標）プロキシターゲット 152 内ターゲットフィーチャの側壁非対称性の説明が、模式的に描かれている。

20

【0113】

図 11 A は AIM（商標）プロキシターゲット 152 の画像（図 3 にて示されたもの）であり、 x 軸に沿い方位決めされたレジスト格子 162 及びプロセス層格子 164 の周りに輪郭線が付されている。格子 162 及び 164 の個々の格子バー 902 及び 904 が y 軸に沿い決められている。

【0114】

図 11 B は、図 11 A 中の線 908 a 及び 908 b に沿いプロセス層格子 164 から採取された、格子バー 904 a 及び 904 b の模式的断面図である。2 個の断面図を一緒に示すため、格子バーとそれらの x 軸沿い相互間隔とが同スケールで示されていない。

【0115】

30

半導体製造プロセスの非対称プロセス効果、例えば非対称エッチングが原因で、図 11 B に示されている通り、格子バー 904 は非対称トポグラフィカル構造を有するものとなる：即ち、格子バー 904 a の左側壁 910 a が xy 平面に対し垂直である反面、右側壁 912 a はある斜め角にて xy 平面と会合している。同様に、格子バー 904 b の左側壁 910 b が xy 平面に対し垂直である反面、その格子バーの右側壁 912 b はある斜め角にて xy 平面と会合している。通常、プロキシターゲット 152 が占めるエリアは小さく、その直線寸法が数十 μm 以下であるので、格子 164 内の全てのバー 904 が、図 11 B に示されているのと同じ非対称性を呈する。格子バーの非対称性があることで、焦点により格子 164 の COS がシフトすることとなるので、以下更に詳述される通り、焦点の関数たる COS 変動を利用しその非対称性を説明することができる。

40

【0116】

格子バー 904 a 及び 904 b の非対称性（ひいては全ての格子バー 902 及び 904 の非対称性）を説明するため、コントローラ 24 により、 Z 軸 926 上に付記されている焦点個所にて 3 個の焦点段階 920、922 及び 924 でカメラ CAM1 及び CAM2 により獲得された、格子 164 の 3 枚の画像が読み出される。コントローラ 24 によって、テーブル 26 の z 方向沿い運動により及び / 又はアクチュエータ 58 及び 60 によるカメラの運動により、コントラスト焦点（図 6 A - 6 B）を用いウェハ 12 上にカメラ CAM1 及び CAM2 が合焦される。3 個の焦点段階 920、922 及び 924 全てで、CAM1 が、格子 162 上のある固定な xy 平面内個所 $Z = Z_0$ に合焦され、その固定焦点にて格子 162 に対し位置合わせされる。即ち、その Z 座標 Z_0 により計測向けの「アンカー

50

焦点」が形成される。

【0117】

それら3個の焦点段階920、922及び924では、CAM2が、それぞれZ座標Z₁、Z₂及びZ₃を有するxy平面に合焦される。画像獲得中には、カメラCAM1及びCAM2の双方が、第1格子レジストレーションステップ206(図4)にある通り、投射格子154、156、158及び160に対し位置合わせされるので、それらカメラ間で、既知な横レジストレーション(xy平面内レジストレーション)が確保される。CAM1から読み出された画像をもとに、コントローラ24により、格子164のCOSであり図11Bにて点928として模式的に付記されているものが計算され、それがメモリ25内に格納される。CAM2から読み出された、3個の焦点位置での3枚の画像をもとに、コントローラ24により、3個の個別なCOS値であり点930、932及び934として模式的に付記されているものが計算され、それらがメモリ25内に格納される。曲線936がコントローラ24により点928、930、932及び934に当て嵌められており、これは焦点によるCOSのシフトを示すもの、即ち格子バー902及び904の断面非対称性の物差しとなっている。曲線936を直線とすることもより高次の曲線とすることもできる。

10

【0118】

上述の方法を、y方向に沿い方位決めされたプロセス層格子164や、x及びy方向の両者に沿い方位決めされたレジスト格子162に同様に適用して、それらの断面非対称性を解明することもできる。その上で、生産ウェハを対象になされた実オーバーレイ計測を補正することで、それら非対称性の結果として起こりうる明白なCOSに対処することができる。

20

【0119】

これに代わる実施形態には、単一のカメラ例えばCAM1のみを用い、焦点と関連付けてCOSが計測されるものがある。この種の計測では、CAM1が4個の焦点位置Z₀、Z₁、Z₂及びZ₃を縦貫する態で合焦されていき、格子164の画像がコントローラ24により各焦点位置にてCAM1から読み出され、メモリ25内に格納される。その上で、コントローラ24により、メモリ25内に格納されている画像をもとに個々のCOS値が計算され、二カメラ計測に関し前述した通り、焦点と関連付けてCOSが計算される。この一カメラ計測法は、固定フィーチャへのアンカー付け及びカメラの相互レジストレーションを行えないため、先に述べた二カメラ法よりも、装置10の機械的安定性に対し敏感である。

30

【0120】

上述の諸方法は4個の焦点位置(「アンカー」位置Z₀と3個の焦点位置Z₁、Z₂及びZ₃)を用い実行されているが、これに代えより少数又は多数の焦点位置を用いてもよい。

【0121】

図12は、本発明の一実施形態に係り、オーバーレイプロキシターゲット内ターゲットフィーチャの非対称性を監視するための画像信号相関の使用が、模式的に描かれている一連のプロット図である。先に説明した通り、半導体製造プロセスの非対称プロセス効果、例えば非対称エッチングにより、オーバーレイプロキシターゲットのターゲットフィーチャが非対称断面を有するものとなることがある。本実施形態では、それらの非対称性の監視を(それらを評価することさえなく)半導体製造プロセスの監視に利用している。

40

【0122】

図12には、図11Bと同じく格子バー904aの断面外観が示されている。コントローラ24により、例えばCAM1からバー904aの獲得画像が読み出され、その画像が画像信号に変換されメモリ25内に格納される。その画像信号のうち曲線608(図8A)沿いの部分が、図12中に曲線1002として示されている。曲線1002の画像信号をもとに、コントローラ24により、それをz軸周りで反射させた反射画像信号、即ち曲線1004として示されている反射画像信号が生成される。

【0123】

50

コントローラ 24 により 2 本の相関曲線 1006 及び 1008、即ち曲線 1002 の自己相関（それ自体との相関）たる相関曲線 1006 と曲線 1002・1004 間の相互相関たる相関曲線 1008 とが計算される。曲線 1006 は C^{auto}_{max} なる最大値を有しており、曲線 1008 は C^{cross}_{max} なる最大値を有している。曲線 1002 には非対称性があるので $C^{cross}_{max} < C^{auto}_{max}$ となる。自己相関曲線 1006 の最大値 C^{auto}_{max} に対する相互相関曲線 1008 の最大値 C^{cross}_{max} の比較結果を、画像信号 1002 の非対称性の物差しとして、ひいてはオーバレイプロキシターゲット内ターゲットフィーチャの非対称断面プロファイルを発生させるプロセス効果の物差しとして、用いることができる。

【0124】

10

オーバレイプロキシターゲットのターゲットフィーチャの画像、例えばバー 904a の画像を、装置 10 の様々な動作条件下で、例えばウェハ 12 の照明の波長及び／又は偏光を変えつつ及び／又は様々な焦点セッティングで以て、獲得することができる。それら動作条件のうち 1 個又は複数個の関数たる比 $C^{cross}_{max} / C^{auto}_{max}$ の変動により「相関ランドスケープ」がもたらされることとなり、それを更に、本プロセスの実行中に半導体製造プロセスを監視するのに利用することができる。例えば、2 個の相関最大値の比 $C^{cross}_{max} / C^{auto}_{max}$ が予設定限度、例えば 0.8 未満に落ちている場合、そのことを用い、許容不能なプロセス変動であることを指し示すことができる。

【0125】

20

上述の方法は、y 方向沿いに方向決めされたプロセス層格子 164 にも、x 及び方向の両者に沿い方向決めされたレジスト格子 162 にも、同様に適用することができ、それによりそれらの断面非対称性を解明することができる。

【0126】

上述の諸実施形態を個別に又は組み合わせて利用することで、最適なオーバレイ計量レシピ、即ちオーバレイ誤差の計測の実行時にロバストなオーバレイ計測条件をもたらしレシピを、決定することができる。そうしたレシピでは、最適な焦点セッティング、波長、偏光、照明条件及び対物レンズ瞳制御が指定される。別々な条件をプロセス層及びレジスト層に対し個別適用することもできる。

【0127】

30

これに加え又は代え、上述の計測技術によりもたらされる情報、例えば焦点による COS の変動に関するものをコントローラ 24 にて利用し、オーバレイ計量アルゴリズムを増強してもよい。上述の諸方法を更に、複数対の層間のオーバレイ誤差の同時計測を行うべく、付加的な照明及び集光チャネル向けに一般化することもできる。

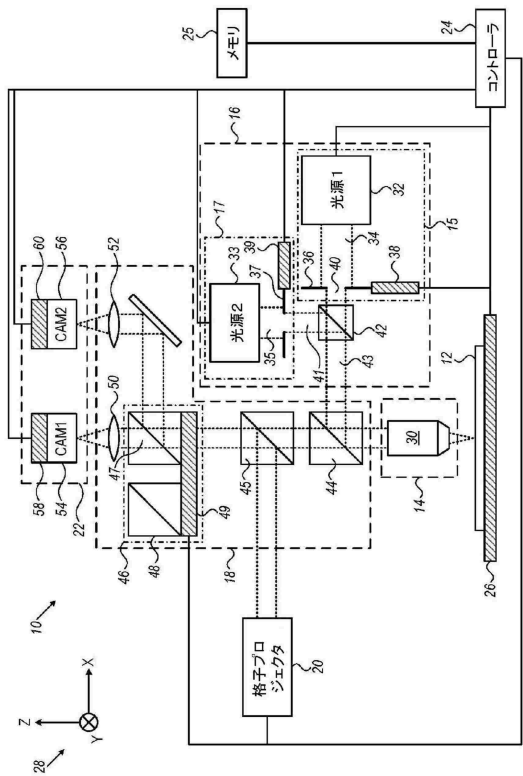
【0128】

察せられる通り、上述の諸実施形態は一例として引用されており、本発明は、具体的に示されまた上述されたものに限定されない。寧ろ、本発明の技術的範囲には、上述した様々な特徴のコンビネーション及びサブコンビネーションの双方が包含されるし、それらの変形物及び修正物のうち、いわゆる当業者が前掲の記述を読んで想到しそうであり且つ従来技術にて開示されていないものも包含される。

40

【図面】

【図 1】



【図 2】

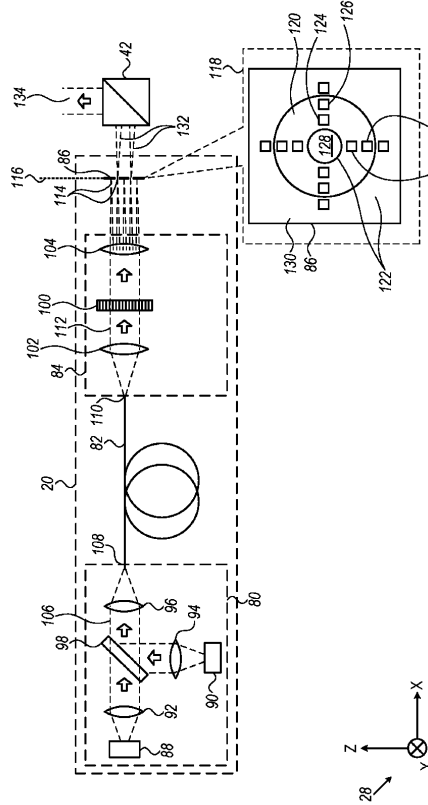


FIG.2

【図 3】

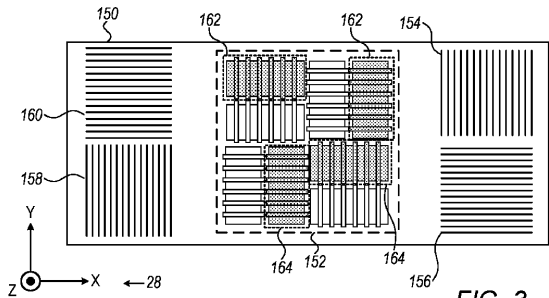
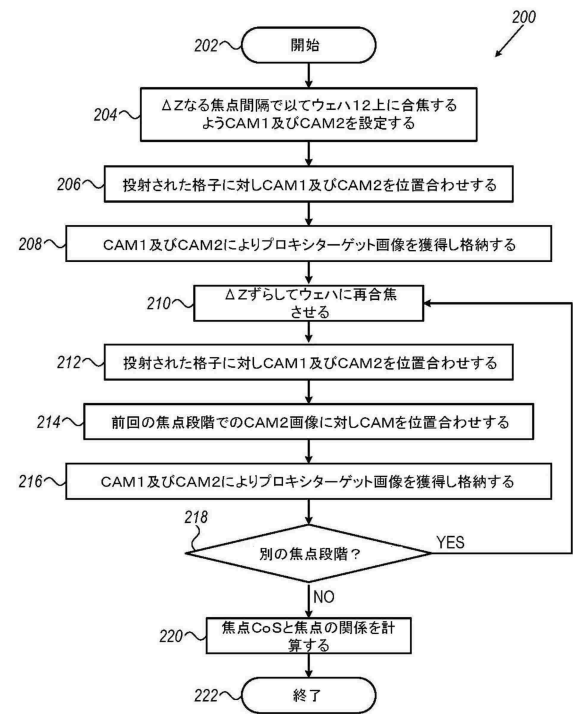


FIG. 3

【図 4】



10

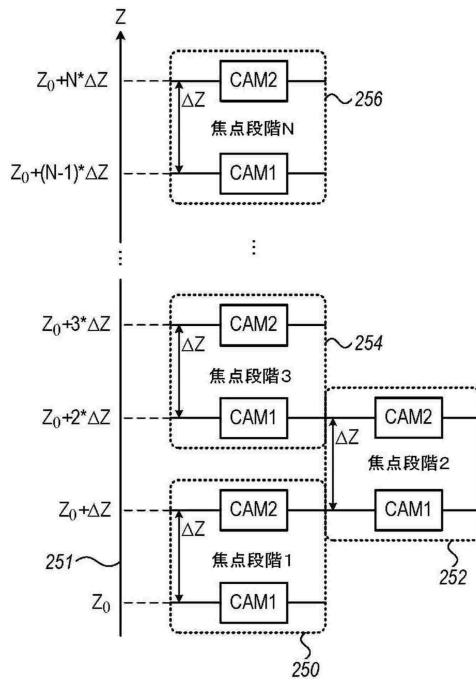
20

30

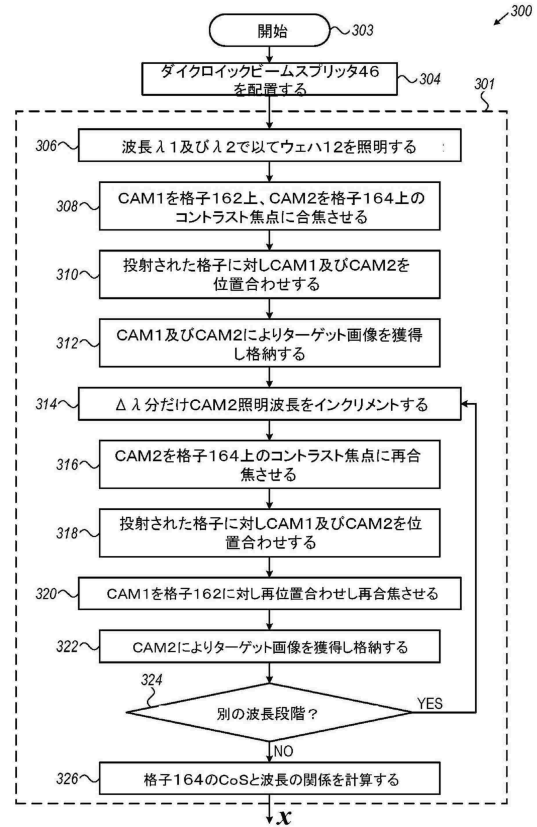
40

50

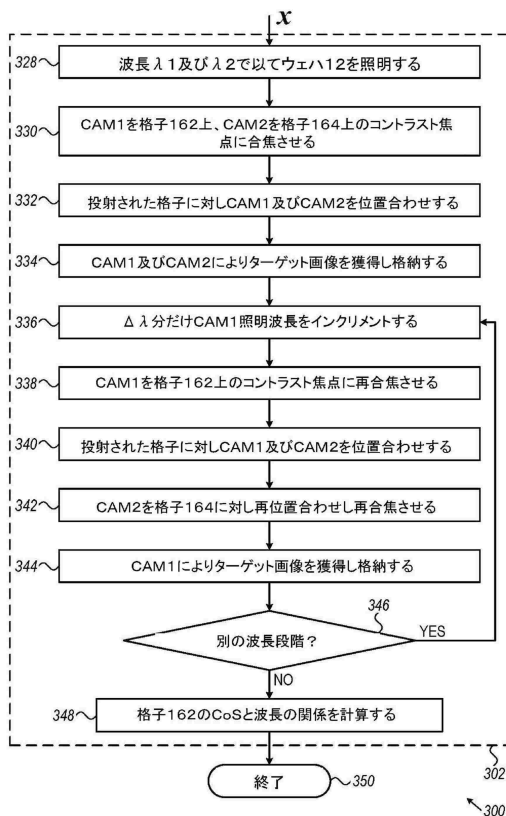
【図 5】



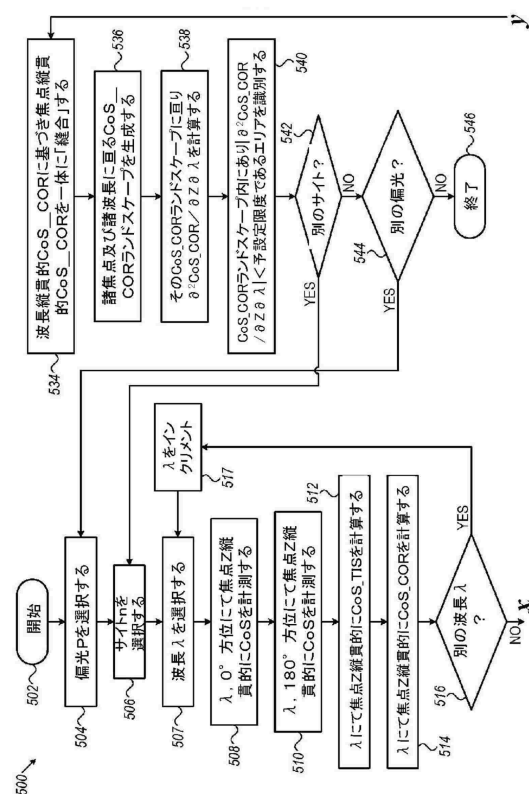
【図 6 A】



【図 6 B】



【図 7 A】



10

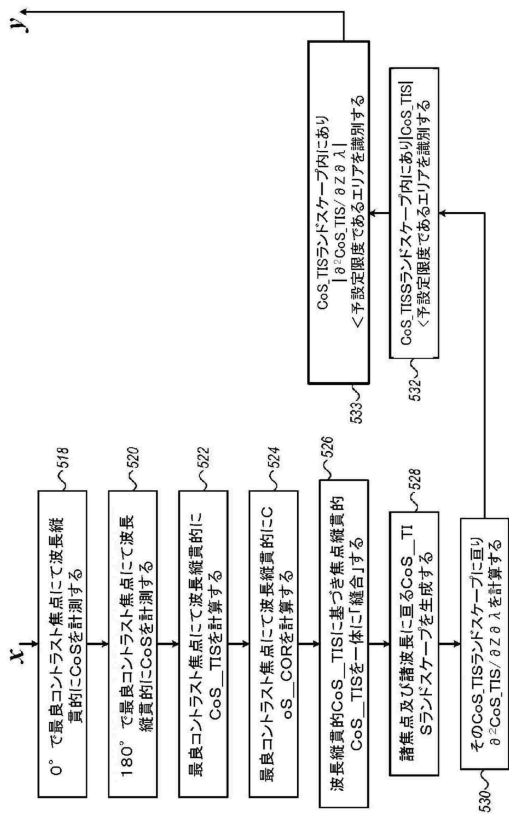
20

30

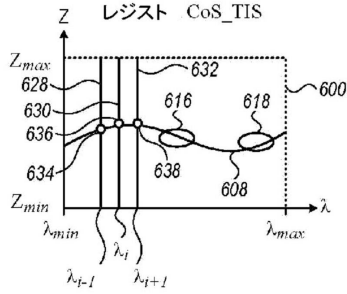
40

50

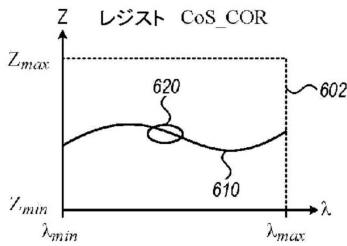
【図 7 B】



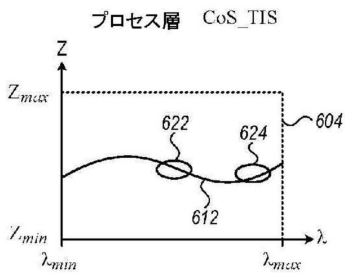
【図 8 A】



【図 8 B】



【図 8 C】



10

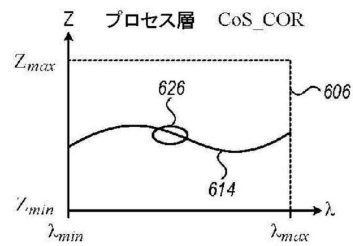
20

30

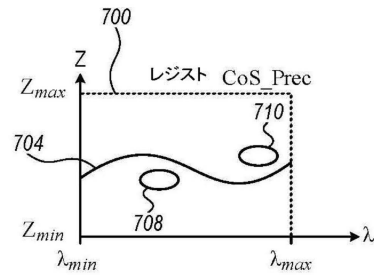
40

50

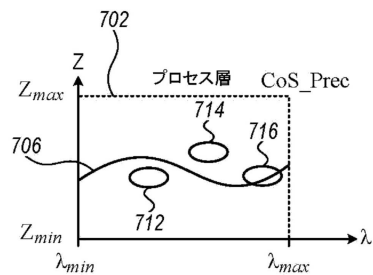
【図 8 D】



【図 9 A】



【図 9 B】



【図 1 0】

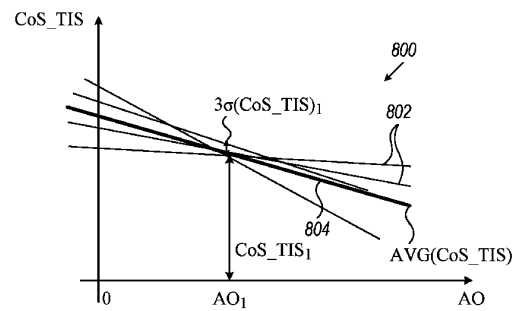
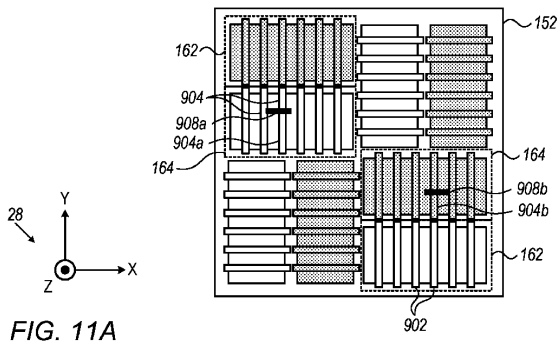
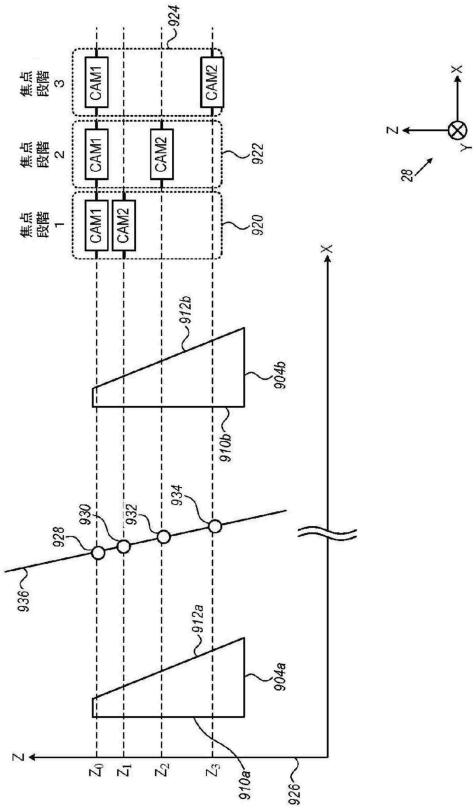


FIG. 10

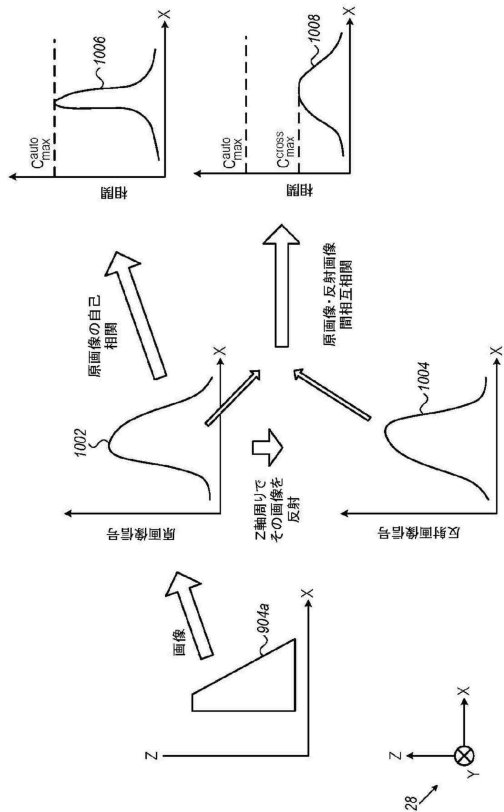
【図 1 1 A】



【図 1 1 B】



【図 1 2】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (72)発明者 シモン ヨッシ
イスラエル ハイファ キリヤット アッタ シュプリンツァク 33
- (72)発明者 ネグリ ダリア
イスラエル ネシェル ハアロンストリート 38 / 1
- (72)発明者 レヴィンスキー ウラジミール
イスラエル ミグダル ハエメク ヘルモン 9
- (72)発明者 パスコバー ユーリ
イスラエル ビニャミナ セオラ ストリート 32エー
- (72)発明者 ゴロツパン アンナ
イスラエル キリヤット ティボン シットバニット 11
- (72)発明者 ロートマン ナション
イスラエル ディーエヌ オシュラット キブツ アイン ハミフラッツ
- (72)発明者 レディ ニレクシャン ケー
イスラエル テルアビブ ハヤルコン 296 / 4
- (72)発明者 ベン ダビッド ニル
イスラエル ホド ハシャロン アシレイ シオン 19 ストリート
- (72)発明者 アブラモフ アヴィ
イスラエル ハイファ ヤイル カッツ ストリート 2 / 4
- (72)発明者 ヤアコフ ドロール
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
- (72)発明者 ウジエル ヨーラム
イスラエル ヨドファト ハマアガル ストリート 17
- (72)発明者 グットマン ナダヴ
イスラエル ジクロン ヤアコフ 11 ドロール ユニット 12
- 審査官 小池 英敏
- (56)参考文献 特表2020-519928(JP, A)
特開2015-038474(JP, A)
米国特許出願公開第2019/0310080(US, A1)
米国特許出願公開第2015/0204664(US, A1)
米国特許出願公開第2016/0033398(US, A1)
米国特許出願公開第2018/0173112(US, A1)
米国特許出願公開第2019/0204755(US, A1)
特表2017-526973(JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H01L 21 / 66
H01L 21 / 027
G01B 11 / 00
G03F 7 / 20