

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7254217号

(P7254217)

(45)発行日 令和5年4月7日(2023.4.7)

(24)登録日 令和5年3月30日(2023.3.30)

(51)国際特許分類

G 0 1 B 11/14 (2006.01)

F I

G 0 1 B 11/14

H

請求項の数 20 (全20頁)

(21)出願番号	特願2021-573602(P2021-573602)	(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2年2月14日(2020.2.14)	(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2022-529077(P2022-529077 A)	(72)発明者	ネグリ ダリア イスラエル ネシャー ハアロン ストリ ート 3 8 / 1
(43)公表日	令和4年6月16日(2022.6.16)	(72)発明者	マナッセン アムノン イスラエル ハイファ ゴルダ メイア ス トリート 1 0
(86)国際出願番号	PCT/US2020/018202	(72)発明者	ラレド ジラド イスラエル ネシャー ハタマー ストリ ート 6
(87)国際公開番号	WO2020/168142		
(87)国際公開日	令和2年8月20日(2020.8.20)		
審査請求日	令和5年2月10日(2023.2.10)		
(31)優先権主張番号	62/805,737		
(32)優先日	平成31年2月14日(2019.2.14)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		
(31)優先権主張番号	62/864,323		
(32)優先日	令和1年6月20日(2019.6.20)		
	最終頁に続く		最終頁に続く

(54)【発明の名称】 誘導されたトポグラフィを利用した半導体デバイスウェハの位置ずれを測定するためのシステムと方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

半導体デバイスウェハの製造の位置ずれを測定する方法であって、

少なくとも第1の層及び第2の層を含む多層半導体デバイスウェハであって、前記ウェハがその上に形成された少なくとも1つの位置ずれ測定ターゲットを含み、前記ターゲットが前記第1の層と一緒に形成されて第1のピッチを有する第1の周期構造及び、前記第2の層と一緒に形成されて第2のピッチを有する第2の周期構造を含んでいる、多層半導体デバイスウェハを供給することと、

前記第1の層と前記第2の層を、少なくとも1つの第1の波長を有する光を使用する位置ずれ計測ツールを用いて第1の方向で撮像し、前記第1の周期構造の画像及び前記第2の周期構造の画像を、0.2 μmを超える垂直距離によって相互に分離された少なくとも2つの平面に出現させることと、

前記第1の周期構造及び前記第2の周期構造の、前記第1の方向における前記撮像の結果を分析し、それによって第1の分析結果を生成することと、

前記第1の層と前記第2の層を、前記少なくとも1つの第1の波長を有する光を使用する前記位置ずれ計測ツールを用いて第2の方向で撮像し、前記第1の周期構造及び前記第2の周期構造の両方の画像を、前記少なくとも2つの平面に出現させることと、

前記第1の周期構造及び前記第2の周期構造の、前記第2の方向における前記撮像の結果を分析し、それによって第2の分析結果を生成することと、

その後、前記位置ずれ計測ツールの少なくとも1つのパラメータを、前記第1及び前記

第2の分析結果に基づきパラメータ調整器を用いて調整することであり、前記少なくとも1つのパラメータはツールに起因するシフトノブの設定を含み、

その後、前記第1の層と前記第2の層との間の位置ずれを測定することと、を含む、方法。

【請求項2】

前記少なくとも1つのパラメータは、前記位置ずれ測定の不十分なテレセントリック性に起因する位置ずれ測定の誤差を相殺するように動作する、請求項1に記載の位置ずれを測定する方法。

【請求項3】

前記第1の分析結果と前記第2の分析結果との間の差を計算することを更に含む、請求項1に記載の位置ずれを測定する方法。

【請求項4】

前記少なくとも1つのパラメータは、第1の軸に沿って測定された位置ずれと、第2の軸に沿って測定された位置ずれに対して、別々に調整される、請求項1に記載の位置ずれを測定する方法。

【請求項5】

前記第1の方向と前記第2の方向は、180°異なる、請求項1に記載の位置ずれを測定する方法。

【請求項6】

前記第1の周期構造の前記画像はタルボ画像である、請求項1に記載の位置ずれを測定する方法。

【請求項7】

前記第1の周期構造の前記画像はタルボ画像であり、前記第2の周期構造の前記画像はタルボ画像である、請求項1に記載の位置ずれを測定する方法。

【請求項8】

前記第1の層及び前記第2の層の前記撮像は、単一の撮像装置によって実行される、請求項1に記載の位置ずれを測定する方法。

【請求項9】

前記第1の層の前記撮像は、第1の撮像装置によって実行され、前記第2の層の前記撮像は、第2の撮像装置によって実行される、請求項1に記載の位置ずれを測定する方法。

【請求項10】

前記多層半導体デバイスウェハは、少なくとも第3の層を含み、前記少なくとも1つの位置ずれ測定ターゲットは、前記少なくとも第3の層と一緒に形成されて第3のピッチを有する少なくとも第3の周期構造を含み、前記方法は、

前記第1の層と前記第3の層を、少なくとも1つの第3の波長を有する光を使用する前記位置ずれ計測ツールを用いて前記第1の方向で撮像し、前記第1の層及び前記第3の層の両方の画像を、0.2 μmを超える垂直距離によって相互に分離された前記少なくとも2つの平面に出現させることと、

前記第1の層及び前記第3の層の、前記第1の方向における前記撮像の結果を分析し、それによって第3の分析結果を生成することと、

前記第1の層と前記第3の層を、前記少なくとも1つの第3の波長を有する光を使用する前記位置ずれ計測ツールを用いて前記第2の方向で撮像し、前記第1の層及び前記第3の層の両方の画像を、前記少なくとも2つの平面に出現させることと、

前記第1の層及び前記第3の層の、前記第2の方向における前記撮像の結果を分析し、それによって第4の分析結果を生成することと、を更に含む、請求項1に記載の位置ずれを測定する方法。

【請求項11】

半導体デバイスウェハの製造位置ずれを測定するためのシステムであって、

少なくとも1つの撮像装置であって、第1及び第2の方向の両方で多層半導体デバイスウェハの少なくとも第1の層及び第2の層を撮像するように構成され、前記ウェハはその

10

20

30

40

50

上に形成された少なくとも1つの位置ずれ測定ターゲットを含み、前記ターゲットは前記第1の層と一緒に形成されて第1のピッチを有する第1の周期構造及び前記第2の層と一緒に形成されて第2のピッチを有する第2の周期構造を含み、少なくとも1つの第1の波長を有する光を使用して、前記第1の周期構造の画像及び前記第2の周期構造の画像を、 $0.2\text{ }\mu\text{m}$ を超える垂直距離によって相互に分離された少なくとも2つの平面に出現させる、少なくとも1つの撮像装置と、

パラメータ調整器であって、

前記第1の層と前記第2の層の前記第1の方向における撮像の結果を分析し、それによって第1の分析結果を生成し、

前記第1の層と前記第2の層の前記第2の方向における撮像の結果を分析し、それによって第2の分析結果を生成し、

前記第1の方向と前記第2の方向の前記分析結果に基づいて前記システムの少なくとも1つのパラメータを調整するように構成され、前記少なくとも1つのパラメータはツールに起因するシフトノブの設定を含む、パラメータ調整器と、を含む、システム。

【請求項12】

前記少なくとも1つのパラメータは、位置ずれ測定の間の前記システムの不十分なテレセントリック性に起因する位置ずれ測定の誤差を相殺するように動作する、請求項11に記載の位置ずれを測定するシステム。

【請求項13】

前記パラメータ調整器は、前記第1の分析結果と前記第2の分析結果との間の差を計算するように更に動作する、請求項11に記載の位置ずれを測定するシステム。

【請求項14】

前記パラメータ調整器は、前記少なくとも1つのパラメータを、第1の軸に沿って測定された位置ずれと第2の軸に沿って測定された位置ずれに対して、別々に調整する、請求項11に記載の位置ずれを測定するシステム。

【請求項15】

前記第1の方向と前記第2の方向は、 180° 異なる、請求項11に記載の位置ずれを測定するシステム。

【請求項16】

前記第1の周期構造の前記画像はタルボ画像である、請求項11に記載の位置ずれを測定するシステム。

【請求項17】

前記第1の周期構造の前記画像はタルボ画像であり、前記第2の周期構造の前記画像はタルボ画像である、請求項11に記載の位置ずれを測定するシステム。

【請求項18】

前記少なくとも1つの撮像装置は、単一の撮像装置を含む、請求項11に記載の位置ずれを測定するシステム。

【請求項19】

前記少なくとも1つの撮像装置は、前記第1の層を撮像するように構成される第1の撮像装置と、前記第2の層を撮像するように構成される第2の撮像装置とを含む、請求項11に記載の位置ずれを測定するシステム。

【請求項20】

前記多層半導体デバイスウェハは、少なくとも第3の層を含み、前記少なくとも1つの位置ずれ測定ターゲットは、前記少なくとも第3の層と一緒に形成されて第3のピッチを有する少なくとも第3の周期構造を含み、ここで、

前記撮像装置は、前記多層半導体デバイスウェハの少なくとも前記第1の層と前記第3の層を、第1及び第2の方向の両方で撮像するように構成され、前記撮像装置は、少なくとも1つの第3の波長を有する光を使用して、前記第1の周期構造及び前記第3の周期構造の両方の画像を、 $0.2\text{ }\mu\text{m}$ を超える垂直距離によって相互に分離された少なくとも2

10

20

30

40

50

つの平面に出現させ、

前記パラメータ調整器は、前記第1の周期構造及び前記第3の周期構造の前記撮像の結果を分析し、それにより、分析結果を生成し、前記第1の周期構造と前記第3の周期構造の前記分析結果に基づいて前記システムの少なくとも1つのパラメータを調整する、請求項11に記載の位置ずれを測定するシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般的に、半導体デバイスの製造における位置ずれの測定に関する。

【背景技術】

【0002】

(関連出願の相互参照)

2019年7月3日に出願され、「METHOD OF MEASURING MISREGISTRATION IN THE MANUFACTURE OF TOPOGRAPHIC SEMICONDUCTOR DEVICE WAFERS」と題された米国仮特許出願第62/870,264号、2019年2月14日に出願され、「TARGET DESIGN FOR TOPOGRAPHIC OVERLAY TARGETS」と題された米国仮特許出願第62/805,737号、及び、2019年6月20日に出願され、「METHOD FOR MEASURING MISREGISTRATION IN THE MANUFACTURE OF TOPOGRAPHIC SEMICONDUCTOR DEVICE WAFERS」と題された米国仮特許出願第62/864,323号を参照し、それらの開示の全体は参照により本明細書に組み込まれる。

【0003】

出願人の以下の特許及び特許出願もまた参照され、それらは本出願の主題に関連し、それらの開示は、参照により本明細書に組み込まれる。

「TOPOGRAPHIC PHASE CONTROL FOR OVERLAY MEASUREMENT」と題された国際公開第2016/187468号パンフレット、

「SYSTEM AND METHOD FOR GENERATING MULTI-CHANNEL TUNABLE ILLUMINATION FROM A BROAD-BAND SOURCE」と題された国際公開第2018/034908号パンフレット、及び、

「SYSTEMS AND METHODS FOR METROLOGY WITH LAYER-SPECIFIC ILLUMINATION SPECTRA」と題された国際公開第2018/187108号パンフレット。

【0004】

様々な方法及びシステムが、半導体デバイスの製造における位置ずれの測定に対して周知である。オーバーレイ測定では、前のプロセス層と現在のレジスト層との間の位置ずれが測定される。3DNAND及びDRAMなどの多くのターゲットでは、これらの層間の垂直距離は数ミクロンであり得る。

【0005】

二重グラブ(grab)は、オーバーレイ測定のために以前に実行された。第1の層は、第1のグラブにおいて適切な焦点で撮像され、第2の層は、第2のグラブにおいて適切な焦点で撮像される。しかし、二重グラブで全測定不確かさ(TMU)要件をサポートするために、集束機構は完全にテレセントリックである必要があり、XYZステージはノイズレスであり、ドリフトがないことを要する。これらの仕様を満たすのは難しい場合があるため、仕様は通常、緩和される。

【0006】

別の以前の例では、集光開口数(NA)は減少されて、オーバーレイ測定中の焦点深度を増加させた。しかし、集光NAを減らして焦点深度を増やすと、システムの解像度が低下し、より大きなピッチとターゲットサイズの増加が必要になる場合がある。加えて、光学

10

20

30

40

50

システムを通過する光の透過率が低下する可能性があり、スループットを低下させる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【文献】国際公開第2016/187468号

国際公開第2018/034908号

国際公開第2018/187108号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

位置ずれ測定の改善されたシステム及び方法が必要とされる。

【0009】

本発明は、半導体デバイスの製造における位置ずれを測定するための改善された方法及びシステムを提供しようとする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

したがって、本発明の一実施形態によれば、半導体デバイスウェハの製造における位置ずれを測定する方法が提供され、方法は、少なくとも第1の層及び第2の層を含む多層半導体デバイスウェハであって、ウェハがその上に形成され、第1の層と一緒に形成されて第1のピッチを有する第1の周期構造及び、第2の層と一緒に形成されて第2のピッチを有する第2の周期構造を含んでいる少なくとも1つの位置ずれ測定ターゲットを含んでいる、多層半導体デバイスウェハを供給することと、第1の層と第2の層を、少なくとも1つの第1の波長を有する光を使用する位置ずれ計測ツールを用いて、第1の方向で撮像し、第1の周期構造及び第2の周期構造の両方の画像を、 $0.2\mu\text{m}$ を超える垂直距離によって相互に分離された少なくとも2つの平面に出現させることと、第1の周期構造及び第2の周期構造の、第1の方向における撮像の結果を分析し、それによって第1の分析結果を生成することと、第1の層と第2の層を、少なくとも1つの第1の波長を有する光を使用する位置ずれ計測ツールを用いて第2の方向で撮像し、第1の周期構造及び第2の周期構造の両方の画像を、少なくとも2つの平面に出現させることと、第1の周期構造及び第2の周期構造の、第2の方向における撮像の結果を分析し、それによって第2の分析結果を生成することと、その後、位置ずれ計測ツールの少なくとも1つのパラメータを、第1及び第2の分析結果に基づいて調整することと、その後、第1の層と第2の層との間の位置ずれを測定することを含む。

【0011】

本発明の実施形態によれば、少なくとも1つのパラメータは、位置ずれ測定の不十分なテレセントリック性に起因する位置ずれ測定の誤差を相殺するように動作する。少なくとも1つのパラメータは、ツールに起因するシフトノブの設定を含む。

【0012】

本発明の一実施形態によれば、方法はまた、第1の分析結果と第2の分析結果との間の差を計算することを含む。

【0013】

少なくとも1つのパラメータは、第1の軸に沿って測定された位置ずれと、第2の軸に沿って測定された位置ずれに対して、別々に調整される。本発明の一実施形態によれば、第1の方向と第2の方向は、 180° 異なる。

【0014】

本発明の一実施形態によれば、第1の周期構造の画像はタルボ画像である。代替的に、本発明の一実施形態によれば、第1の周期構造の画像はタルボ画像であり、第2の周期構造の画像はタルボ画像である。

【0015】

本発明の一実施形態によれば、第1の層及び第2の層の撮像は、単一の撮像装置によっ

10

20

30

40

50

て実行される。代替的に、本発明の一実施形態によれば、第1の層の撮像は、第1の撮像装置によって実行され、第2の層の撮像は、第2の撮像装置によって実行される。

【0016】

本発明の一実施形態によれば、多層半導体デバイスウェハは、少なくとも第3の層を含み、少なくとも1つの位置ずれ測定ターゲットは、少なくとも第3の層と一緒に形成されて第3のピッチを有する少なくとも第3の周期構造を含み、ここで、方法は、第1の層と第3の層を、少なくとも1つの第3の波長を有する光を使用する位置ずれ計測ツールを用いて第1の方向で撮像し、第1の層及び第3の層の両方の画像を、 $0.2\mu\text{m}$ を超える垂直距離によって相互に分離された少なくとも2つの平面に出現させることと、第1の層及び第3の層の、第1の方向における撮像の結果を分析し、それによって第3の分析結果を生成することと、第1の層と第3の層を、少なくとも1つの第3の波長を有する光を使用する位置ずれ計測ツールを用いて第2の方向で撮像し、第1の層及び第3の層の両方の画像を、少なくとも2つの平面に出現させることと、第1の層及び第3の層の、第2の方向における撮像の結果を分析し、それによって第4の分析結果を生成することとを更に含む。

【0017】

本発明の別の実施形態によれば、半導体デバイスウェハの製造における位置ずれを測定するためのシステムが更に提供され、システムは、少なくとも1つの撮像装置であって、第1及び第2の方向の両方で多層半導体デバイスウェハの少なくとも第1の層及び第2の層を撮像し、ウェハはその上に形成された少なくとも1つの位置ずれ測定ターゲットを含み、ターゲットは第1の層と一緒に形成されて第1のピッチを有する第1の周期構造及び第2の層と一緒に形成されて第2のピッチを有する第2の周期構造を含み、少なくとも1つの第1の波長を有する光を使用して、第1の周期構造及び第2の周期構造の両方の画像を、 $0.2\mu\text{m}$ を超える垂直距離によって相互に分離された少なくとも2つの平面に出現させる、少なくとも1つの撮像装置と、第1の層と第2の層の第1の方向における撮像の結果を分析し、それによって第1の分析結果を生成し、第1の層と第2の層の第2の方向における撮像の結果を分析し、それにより、第2の分析結果を生成し、分析結果に基づいてシステムの少なくとも1つのパラメータを調整するパラメータ調整器とを含む。

【図面の簡単な説明】

【0018】

本発明は、図面と併せて、以下の詳細な説明からより完全に理解及び評価されるであろう。

【図1】半導体デバイスウェハの製造における位置ずれを測定するためのシステムの一実施形態の簡略化された概略図である。

【図2】半導体デバイスウェハの製造における位置ずれを測定するためのシステムの更なる実施形態の簡略化された概略図である。

【図3】半導体デバイスウェハの製造における位置ずれを、図1又は図2の半導体デバイスウェハの製造における位置ずれを測定するためのシステムのいずれかを利用して測定する方法を示す簡略化されたフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0019】

本明細書に記載するシステム及び方法は、半導体デバイスの製造プロセスの一部を形成する図1～図3を参照して理解され、図1～図3を参照して本明細書に記載するシステム及び方法によって測定された位置ずれを使用して、半導体デバイスの製造プロセスを調整し、製造されている半導体デバイスの様々な層をより厳密に位置合わせする。

【0020】

ここで、図1及び図2を参照すると、これらは半導体デバイスウェハの製造における位置ずれを測定するためのシステムの実施形態の簡略化された概略図である。図1は、x軸、y軸、及びz軸によって示される3つの異なる次元の図を含み、3つの次元は、以後、それぞれ、x-y平面、x-z平面、及びy-z平面と呼ばれる。図1は一般的にx-y平面を示し、図1の拡大図A、B及びCはx-z平面に平行な平面を示していることに留

意する。

【0021】

図1に見られるように、第1の実施形態では、システム100は、撮像装置110、x方向のオフセットを定量化するための第1のオフセット量子化器118、及びy方向のオフセットを定量化するための第2のオフセット量子化器120を含む。本明細書で 사용되는場合、撮像装置110は照明システムの一部であることに留意する。典型的な撮像装置110、オフセット量子化器118、及びオフセット量子化器120は、位置ずれ計測ツールに含まれる撮像装置及びオフセット量子化器であり、例えば、PCT公開国際公開第2016/187468号パンフレット、国際公開第2018/034908号パンフレット、及び国際公開第2018/187108号パンフレットに記載されているものであり、これらの開示は参照により本明細書に組み込まれる。撮像装置110は、低照度の開口数、例えば0.3未満又は0.2未満を有することに留意する。

10

【0022】

図1に示される例示された実施形態では、第1のオフセット量子化器118及び第2のオフセット量子化器120はハードウェア構成要素として示され、そのように実装され得るが、それらはソフトウェア構成要素として実装される場合があることが理解される。更に、システム100は、ツールに起因するシフト(TIS)ノブ121を含み、それは位置ずれ測定におけるTIS誤差、特にシステム100による位置ずれ測定の不十分なテレセントリック性に起因するTIS誤差を相殺するように調整され得ることに更に留意する。TISノブ121は、x方向とy方向のTIS誤差を無関係に相殺するように動作され得る。図1に示される例示された実施形態では、TISノブ121は、ハードウェア構成要素として示され、そのように実装され得るが、ソフトウェア構成要素として実装される場合があることが理解される。

20

【0023】

撮像装置110は、少なくとも1つの位置ずれ測定ターゲット130を含む多層半導体デバイスウェハ上に形成された、少なくとも第1の層122及び第2の層124を撮像するように動作する。

【0024】

一例では、撮像装置110は、照明源を含んで照明ビームを生成し得る。照明ビームは、1つ以上の選択された波長の光を含み得て、限定するものではないが、真空紫外線(VUV)、深紫外線(DUV)、紫外線(UV)放射、可視光線、又は赤外線(IR)放射を含む。照明源は、選択された波長の任意の範囲を含む照明ビームを更に生成し得る。別の実施形態では、照明源は、スペクトル的に同調可能な照明源を含み得て、同調可能なスペクトルを有する照明ビームを生成する。

30

【0025】

撮像装置110はまた、照明経路を含むか、又はそれらと結合され得て、例えば、照明ビームを変更及び／又は調整するのに適した1つ以上のレンズ又は追加の光学部品を備える照明経路である。例えば、1つ以上の光学部品は、限定するものではないが、1つ以上の偏光子、1つ以上のフィルタ、1つ以上のビームスプリッタ、1つ以上の拡散器、1つ以上のホモジナイザ、1つ以上のアポダイザ、又は1つ以上のビームシェイパを含んでもよい。別の例として、1つ以上の光学部品は、サンプル上の照明の角度を制御するための開口絞り、及び／又はサンプル上の照明の空間的範囲を制御するための視野絞りを含み得る。多層半導体デバイスウェハは、サンプルステージ上に配置され得る。サンプルステージは、多層半導体デバイスウェハを配置するのに適した任意のデバイスを含み得る。例えば、サンプルステージは、線形並進ステージ、回転ステージ、傾き／傾斜ステージなどの任意の組み合わせを含み得る。

40

【0026】

別の実施形態では、撮像装置110は、多層半導体デバイスウェハから発する放射線を、集光経路を介してキャプチャするように構成された検出器を含むか、又は検出器と結合される。例えば、集光経路は、限定するものではないが、集光レンズ(例えば、対物レン

50

ズ)又は1つ以上の追加の集光経路レンズを含み得る。集光経路は、任意の数の光学要素を更に含み得て、対物レンズによって集められた照明を方向付け、及び／又は変更し、対物レンズは限定するものではないが、1つ以上の集光経路レンズ、1つ以上のフィルタ、1つ以上の偏光子、又は1つ以上のビームブロックを含む。加えて、集光経路は、検出器上に撮像されたサンプルの空間的範囲を制御するための視野絞り、又は検出器上で画像を生成するために使用されるサンプルからの照明の角度範囲を制御するための開口絞りを含み得る。別の例として、検出器は、多層半導体デバイスウェハから反射又は散乱された(例えば、鏡面反射、拡散反射などを介して)放射線を受け取ることができる。別の例として、検出器は、多層半導体デバイスウェハによって生成された放射線(例えば、照明ビームの吸収に関連する発光など)を受け取ることができる。

10

【0027】

検出器は、多層半導体デバイスウェハから受け取った照明を測定するのに適した当技術分野で既知の任意のタイプの光学検出器を含んでもよい。例えば、検出器は、限定するものではないが、CCD検出器、TDI検出器、光電子増倍管(PMT)、アバランシェフォトダイオード(APD)などを含み得る。別の実施形態では、検出器は、サンプルから発する放射線の波長を識別するのに適した分光検出装置を含み得る。別の実施形態では、撮像装置110は、複数の検出器(例えば、1つ以上のビームスプリッタによって生成される複数のビーム経路に関連付けられ、撮像装置110による複数の計測測定を容易にする)を含み得る。

【0028】

20

第1の層122及び第2の層124は、一例では、それらがz方向に $0\mu\text{m}\sim 0.2\mu\text{m}$ の垂直距離によって相互に分離されるように形成され得ることが理解される。第1の層122と第2の層124との間の材料は、nで示される屈折率を有し得て、少なくとも部分的に光子に対して透明である。

【0029】

図1の拡大図A、B及びCは、x-z平面に平行な平面におけるターゲット130の断面拡大を示す。ターゲット130が形成される半導体デバイスウェハの他の特徴は示されていないことに留意する。

【0030】

位置ずれ測定ターゲット130は、第1の周期構造140を含み得て、それは第1の層122と一緒に形成され、Nと示される第1のピッチによって特徴付けられ、平面141にある。位置ずれ測定ターゲット130は、第2の周期構造142を更に含み、それは第2の層124と一緒に形成され、Pと示される第2のピッチによって特徴付けられ、平面144にある。

30

【0031】

明確にするために、図1では、平面141及び144が、それぞれ、第1及び第2の層122及び124の上面に示されるが、平面141及び144は、それぞれの層122及び124内にある任意の平面であり得て、それらはそれぞれ、第1及び第2の層122及び124の上面に平行であることが理解される。

【0032】

40

ターゲット130は、2つの周期構造セット146及び2つの周期構造セット148を含み得て、周期構造セット146及び148のそれぞれは、周期構造140及び142の両方を含むことに留意する。周期構造セット146及び148は、異なる相互に直交する方向でターゲット130に出現し、ターゲット130に回転対称性を与える。本発明の一実施形態では、それらの方向に関して以外は、周期構造セット146及び148のそれぞれは、互いに同一であり得る。本発明の別の実施形態では、周期構造セット146に含まれる周期構造140及び142は、周期構造セット148に含まれる周期構造140及び142とは異なるピッチを有する。

【0033】

撮像装置110は、少なくとも1つの波長 λ_1 を有する光を使用することができ、それ

50

は特に図1の拡大図A及びBに見られるように、第1の周期構造140の少なくとも1つのタルボ画像150を、第1の周期構造140の直ぐ下で平面152に出現させる。平面152はx-y平面に平行であり、タルボ画像150は第1の周期構造140の直ぐ下で平面152にあるため、タルボ画像150は、図1の中央領域では見られず、図1はターゲット130のx-y平面図を示すことが理解される。

【0034】

本発明の一実施形態では、タルボ画像150を含む平面152は、タルボ効果のために、Dで示される垂直距離で、平面141からz方向に出現する。図1の拡大図A及びBでは、タルボ画像150は厚みがあるものとして示されているが、タルボ画像150はz方向に厚みがないことが理解される。タルボ画像150は、第1の周期構造140の直ぐ下

10

【0035】

第1の周期構造140の平面141とタルボ画像150の平面152との間の垂直距離Dは、撮像装置110によって使用される光の波長 λ_1 によって、ならびに第1の周期構造140のピッチNによって、及び第1の周期構造140とタルボ画像150との間の材料の屈折率nによって部分的に決定される。垂直距離D、波長 λ_1 、ピッチN、及び屈折率nの間の関係は、方程式1で定義される。

20

【数1】

$$D = \frac{n}{2} \times \frac{\lambda_1}{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_1}{N}\right)^2}} \quad (\text{方程式 1})$$

【0036】

本発明の一実施形態では、ピッチN及び波長 λ_1 は、平面152及び144が、z方向において、0.2 μm を超える垂直距離156によって相互に分離されるように選択され、それにより、システム100によって行われる位置ずれ測定のTIS誤差に対する感度を高める。本発明の一実施形態では、撮像装置110は、2つ以上の波長の光を使用してターゲット130を撮像する。

30

【0037】

例えば、第1の層122と第2の層124が0.1 μm の垂直距離によって相互に分離され、タルボ画像150と第2の周期構造142との間の材料の屈折率nが1.46である場合、第1の周期構造140のピッチNは1.0 μm であるように選択され、撮像装置110は、800 nmの少なくとも1つの波長を有する光でターゲット130を撮像し、その結果、平面152は平面144の1.56 μm 下のx-y平面に出現する。

【0038】

別の例として、第1の層122及び第2の層124が0.05 μm の垂直距離によって相互に分離され、タルボ画像150と第2の周期構造142との間の材料の屈折率nが2.0である場合、第1の周期構造140のピッチNは、1.6 μm であるように選択され、撮像装置110は、800 nmの少なくとも1つの波長を有する光でターゲット130を撮像し、その結果、平面152は平面144の6.05 μm 下のx-y平面に出現する。

40

【0039】

本明細書に記載の2つの例では、オフセット量子化器118及び120は、タルボ画像150の画像と第2の周期構造142の画像間の、それぞれx方向及びy方向のオフセットを測定する。したがって、システム100は、第1の層122と第2の層124との間の、TIS誤差に敏感である位置ずれデータをキャプチャするように動作し、TISノブ

50

1 2 1の調整に有用なデータを提供する。

【0040】

パラメータ調整器は、T I S ノブ 1 2 1を調整するモジュールを含み得て、T I S ノブ 1 2 1は位置ずれ測定におけるT I S 誤差を相殺するように調整する。

【0041】

オフセット量子化器 1 1 8と1 2 0、及び／又はパラメータ調整器は、メモリ媒体上に維持されたプログラム命令を実行するように構成された1つ以上のプロセッサ上で実行されるソフトウェア構成要素であり得る。これに関して、1つ以上のプロセッサは、本開示全体を通して説明される様々なプロセスステップのいずれかを実行してもよい。更に、プロセッサは、データを受信するように構成され得て、データは、限定するものではないが、計測データ（例えば、アライメント測定結果、ターゲットの画像、瞳像など）又は計測メトリック（例えば、精度、ツールに起因するシフト、感度、回折効率など）を含む。例えば、プロセッサは、撮像装置 1 1 0からデータを受信し得る。1つ以上のプロセッサは、当技術分野で周知の任意の処理要素を含んでもよい。この意味で、1つ以上のプロセッサは、アルゴリズム及び／又は命令を実行するように構成された任意のマイクロプロセッサタイプのデバイスを含み得る。一実施形態では、1つ以上のプロセッサは、デスクトップコンピュータ、メインフレームコンピュータシステム、ワークステーション、画像コンピュータ、並列プロセッサ、又は撮像装置 1 1 0を作動するように構成されたプログラムを実行するように構成される任意の他のコンピュータシステム（例えば、ネットワークコンピュータ）の一部であり得る。「プロセッサ」という用語は、1つ以上の処理要素を有する任意のデバイスを包含するように広く定義され得て、それは非一時的なメモリ媒体からプログラム命令を実行することが更に認識される。

【0042】

代替的に、撮像装置 1 1 0は、特に図 1 の拡大図 A 及び C に見られるように、少なくとも1つの波長 λ_2 を有する光を使用して、第2の周期構造 1 4 2の少なくとも1つのタルボ画像 1 6 0を第2の周期構造 1 4 2の直ぐ上に、平面 1 6 2において出現させ得る。平面 1 6 2はx-y平面に平行であり、タルボ画像 1 6 0は第2の周期構造 1 4 2に、平面 1 6 2において直接重なるため、第2の周期構造 1 4 2は、図 1 の中央領域では見ることができず、図 1 はターゲット 1 3 0のx-y平面図を示すことが理解される。

【0043】

本発明の一実施形態では、タルボ画像 1 6 0を含む平面 1 6 2は、タルボ効果のために、Eで示される垂直距離で、平面 1 4 4からz方向に出現する。図 1 の拡大図 A 及び C では、タルボ画像 1 6 0は厚みを有するものとして示されているが、タルボ画像 1 6 0は、z方向に厚みがないことが理解される。タルボ画像 1 6 0は、第2の周期構造 1 4 2の上に直接出現するため、1つ以上のx-y平面で撮像された場合の、第1の周期構造 1 4 0と第2の周期構造 1 4 2との間のオフセットは、1つ以上のx-y平面で撮像された場合の、第1の周期構造 1 4 0とタルボ画像 1 6 0との間のオフセットと同一であることが更に理解される。

【0044】

第2の周期構造 1 4 2の平面 1 4 4とタルボ画像 1 6 0の平面 1 6 2との間の垂直距離 E は、撮像装置 1 1 0によって使用される光の波長 λ_2 によって、ならびに第2の周期構造 1 4 2のピッチ P によって、及び第2の周期構造 1 4 2とタルボ画像 1 6 0との間の材料の屈折率 n によって決定される。垂直距離 E、波長 λ_2 、ピッチ P、及び屈折率 n の間の関係は、方程式 2 で定義される。

【数 2】

$$E = \frac{n}{2} \times \frac{\lambda_2}{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_2}{P}\right)^2}} \quad (\text{方程式 2})$$

10

20

30

40

50

【0045】

本発明の一実施形態では、ピッチP及び波長 λ_2 は、平面162及び141が、z方向において、0.2 μm を超える垂直距離166によって相互に分離されるように選択され、それにより、システム100によって行われる位置ずれ測定のTIS誤差に対する感度を高める。本発明の一実施形態では、撮像装置110は、2つ以上の波長の光を使用してターゲット130を撮像する。

【0046】

例えば、第1の層122と第2の層124が0.15 μm の垂直距離によって相互に分離され、第1の周期構造140とタルボ画像160との間の材料の屈折率nが1.46である場合、第2の周期構造142のピッチPは1.24 μm であるように選択され、撮像装置110は、700nmの少なくとも1つの波長を有する光でターゲット130を撮像し、その結果、平面162は平面141の3.07 μm 上のx-y平面に出現する。

10

【0047】

別の例として、第1の層122及び第2の層124が0.1 μm の垂直距離によって相互に分離され、第1の周期構造140とタルボ画像160との間の材料の屈折率nが2.0である場合、第2の周期構造142のピッチPは、1.0 μm であるように選択され、撮像装置110は、800nmの少なくとも1つの波長を有する光でターゲット130を撮像し、その結果、平面162は平面144の2.1 μm 上のx-y平面に出現する。

【0048】

本明細書に記載の2つの例では、オフセット量子化器118及び120は、第1の周期構造140の画像とタルボ画像160の画像間の、それぞれx方向及びy方向のオフセットを測定する。したがって、システム100は、第1の層122と第2の層124との間の、TIS誤差に敏感である位置ずれデータをキャプチャするように動作し、TISノブ121の調整に有用なデータを提供する。

20

【0049】

本発明の追加の実施形態では、ピッチN及びピッチPは、撮像装置110が少なくとも1つの波長 λ_3 を使用する場合、タルボ画像150及び160が、それぞれ平面152及び162に出現するように選択され、これら平面は、それぞれ、第1及び第2の層122及び124からのそれぞれの垂直距離D及びEにある。そのような場合、垂直距離D及びEは、平面152及び162が、z方向において、0.2 μm を超える垂直距離168によって相互に分離されるように選択され、それにより、システム100によって行われた位置ずれ測定のTIS誤差に対する感度を高める。

30

【0050】

垂直距離D、波長 λ_3 、ピッチN、及び屈折率nの関係は、方程式3で定義される。

【数3】

$$D = \frac{n}{2} \times \frac{\lambda_3}{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_3}{N}\right)^2}} \quad (\text{方程式 3})$$

40

【0051】

垂直距離E、波長 λ_3 、ピッチP、及び屈折率nの関係は、方程式4で定義される。

【数4】

$$E = \frac{n}{2} \times \frac{\lambda_3}{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_3}{P}\right)^2}} \quad (\text{方程式 4})$$

50

【0052】

本発明の1つの実施形態では、撮像装置110は、2つ以上の波長の光を使用してターゲット130を撮像する。

【0053】

例えば、第1の層122及び第2の層124が0.1 μm の垂直距離によって相互に分離され、タルボ画像150とタルボ画像160との間の材料の屈折率 n が1.46である場合、第1の周期構造140のピッチ N は、1.0 μm であるように選択され、第2の周期構造142のピッチ P は、1.6 μm であるように選択され、撮像装置110は、800 nmの波長を有する光でターゲット130を撮像する。したがって、平面152は、1.46 μm の垂直距離 D で第1の層122の下に出現し、平面162は、4.38 μm の垂直距離 E で第2の層124の上に出現する。したがって、タルボ画像150及びタルボ画像160は5.94 μm 離れている。

10

【0054】

追加の例として、第1の層122及び第2の層124が0.02 μm の垂直距離によって相互に分離され、タルボ画像150とタルボ画像160との間の材料の屈折率 n が2.0である場合、第1の周期構造140のピッチ N は、1.0 μm であるように選択され、第2の周期構造142のピッチ P は、1.6 μm であるように選択され、撮像装置110は、800 nmの波長を有する光でターゲット130を撮像する。したがって、平面152は、2.0 μm の垂直距離 D で第1の層122の下に出現し、平面162は、6.0 μm の垂直距離 E で第2の層124の上に出現する。

20

【0055】

本明細書に記載の2つの例では、オフセット量子化器118及び120は、タルボ画像150の画像とタルボ画像160の画像間の、それぞれ x 方向及び y 方向のオフセットを測定する。したがって、システム100は、第1の層122と第2の層124との間の、TIS誤差に敏感である位置ずれデータをキャプチャするように動作し、TISノブ121の調整に有用なデータを提供する。

【0056】

図1を参照して本明細書に記載されるシステム100は、3つ以上の層を有するターゲットを形成することを含む製造プロセスにおいても使用され得ることを理解する。システム100が3つ以上の層を有するターゲットを含む場合、ターゲットの各層は、位置ずれが測定される半導体デバイスウェハの対応する層と一緒に形成された1つの周期構造を含む。そのようなターゲットは、2つの周期構造セットを含み得て、各周期構造セットは、ターゲット内のすべての周期構造を含むことに留意する。ターゲットを形成する、2つの周期構造セットのそれぞれは、異なる相互に直交する方向に形成され得て、ターゲットに回転対称性を付与する。それらの方向に関する以外に、周期構造セットのそれぞれは互いに同一であり得ることが理解される。そのような多層半導体デバイスウェハの任意の2つの層の位置ずれは、本明細書に記載されるように、それらの2つの層上の周期構造の位置ずれを比較することによってシステム100によって測定され得ることが理解される。

30

【0057】

ここで図2に目を向けると、図2は、 x 軸、 y 軸、及び z 軸によって示される3つの異なる次元の図を含むことが分かり、これらの3つの次元は、以下、それぞれ、 $x-y$ 平面、 $x-z$ 平面、及び $y-z$ 平面と呼ばれる。図2は一般的に $x-y$ 平面を示し、図2の拡大図A、B及びCは $x-z$ 平面に平行な平面を示すことに留意する。

40

【0058】

図2に見られるように、第1の実施形態では、システム200は、第1の撮像装置210、第2の撮像装置212、 x 方向のオフセットを定量化するための第1のオフセット量子化器218、及び y 方向のオフセットを定量化するための第2のオフセット量子化器220を含む。本明細書で使用される場合、撮像装置210は照明システムの一部であることに留意する。典型的な第1の撮像装置210、第2の撮像装置212、オフセット量子化器218、及びオフセット量子化器220は、位置ずれ計測ツールに含まれる撮像装置

50

及びオフセット量子化器であり、例えば、PCT公開国際公開第2016/187468号パンフレット、国際公開第2018/034908号パンフレット、及び国際公開第2018/187108号パンフレットに記載されているものであり、これらの開示は参照により本明細書に組み込まれる。第1の撮像装置210及び第2の撮像装置212は両方とも、低照度の開口数、例えば0.3未満又は0.2未満を有することに留意する。第1の撮像装置210及び第2の撮像装置212は、撮像装置110に類似し得る。第1のオフセット量子化器218及び第2のオフセット量子化器220は、第1のオフセット量子化器118及び第2のオフセット量子化器120に類似し得る。

【0059】

図2に示される例示された実施形態では、第1のオフセット量子化器218及び第2のオフセット量子化器220はハードウェア構成要素として示され、そのように実装され得るが、それらはソフトウェア構成要素として実装される場合があることが理解される。更に、システム200は、ツールに起因するシフト(TIS)ノブ221を含み、それは位置ずれ測定におけるTIS誤差、特にシステム200による位置ずれ測定の不十分なテレセントリック性に起因するTIS誤差を相殺するように調整され得ることに更に留意する。TISノブ221は、x方向とy方向のTIS誤差を無関係に相殺するように動作され得る。図2に示される例示された実施形態では、TISノブ221は、ハードウェア構成要素として示され、そのように実装され得るが、ソフトウェア構成要素として実装される場合があることが理解される。

【0060】

第1の撮像装置210は、少なくとも1つの位置ずれ測定ターゲット230を含む多層半導体デバイスウェハ上に形成された、少なくとも第1の層222を撮像するように動作する。第2の撮像装置212は、少なくとも1つの位置ずれ測定ターゲット230を含む多層半導体デバイスウェハ上に形成された、少なくとも第2の層224を撮像するように動作する。

【0061】

第1の層222及び第2の層224は、それらがz方向に0 μ m~0.2 μ mの垂直距離によって相互に分離されるように形成され得ることが理解される。第1の層222と第2の層224との間の材料は、nで示される屈折率を有し得て、少なくとも部分的に光子に対して透明である。

【0062】

図2の拡大図A、B及びCは、x-z平面に平行な平面におけるターゲット230の断面拡大を示す。ターゲット230が形成される半導体デバイスウェハの別の特徴は示されていないことに留意する。

【0063】

位置ずれ測定ターゲット230は、第1の周期構造240を含み得て、それは第1の層222と一緒に形成され、Qと示される第1のピッチによって特徴付けられ、平面241にある。位置ずれ測定ターゲット230は、第2の周期構造242を更に含み、それは第2の層224と一緒に形成され、Rと示される第2のピッチによって特徴付けられ、平面244にある。

【0064】

明確にするために、図2では、平面241及び244が、それぞれ、第1及び第2の層222及び224の上面に示されるが、平面241及び244は、それぞれの層222及び224内にある任意の平面であり得て、それらはそれぞれ、第1及び第2の層222及び224の上面に平行であることを理解する。

【0065】

ターゲット230は、2つの周期構造セット246及び2つの周期構造セット248を含み得て、周期構造セット246及び248のそれぞれは、周期構造240及び242の両方を含むことに留意する。周期構造セット246及び248は、異なる相互に直交する方向でターゲット230に出現し、ターゲット230に回転対称性を与える。本発明の一

実施形態では、それらの方向に関して以外は、周期構造セット 2 4 6 及び 2 4 8 のそれぞれは、互いに同一であり得る。本発明の別の実施形態では、周期構造セット 2 4 6 に含まれる周期構造 2 4 0 及び 2 4 2 は、周期構造セット 2 4 8 に含まれる周期構造 2 4 0 及び 2 4 2 とは異なるピッチを有する。

【0066】

第 1 の撮像装置 2 1 0 は、少なくとも 1 つの波長 λ_4 を有する光を使用することができ、それは特に図 2 の拡大図 A 及び B に見られるように、第 1 の周期構造 2 4 0 の少なくとも 1 つのタルボ画像 2 5 0 を、第 1 の周期構造 2 4 0 の直ぐ下に平面 2 5 2 において出現させる。平面 2 5 2 は $x-y$ 平面に平行であり、タルボ画像 2 5 0 は第 1 の周期構造 2 4 0 の直ぐ下で平面 2 5 2 にあるため、タルボ画像 2 5 0 は、図 2 の中央領域では見られず、図 2 はターゲット 2 3 0 の $x-y$ 平面図を示すことが理解される。

10

【0067】

本発明の一実施形態では、タルボ画像 2 5 0 を含む平面 2 5 2 は、タルボ効果のために、F で示される垂直距離で、平面 2 4 1 から z 方向に出現する。図 2 の拡大図 A 及び B では、タルボ画像 2 5 0 は厚みがあるものとして示されているが、タルボ画像 2 5 0 は z 方向に厚みがないことが理解される。タルボ画像 2 5 0 は、第 1 の周期構造 2 4 0 の直ぐ下に出現するため、1 つ以上の $x-y$ 平面で撮像された場合の、第 2 の周期構造 2 4 2 と第 1 の周期構造 2 4 0 との間のオフセットは、1 つ以上の $x-y$ 平面で撮像された場合の、第 2 の周期構造 2 4 2 とタルボ画像 2 5 0 との間のオフセットと同一であることが更に理解される。

20

【0068】

第 1 の周期構造 2 4 0 の平面 2 4 1 とタルボ画像 2 5 0 の平面 2 5 2 との間の垂直距離 F は、第 1 の撮像装置 2 1 0 によって使用される光の波長 λ_4 によって、ならびに第 1 の周期構造 2 4 0 のピッチ Q によって、及び第 1 の周期構造 2 4 0 とタルボ画像 2 5 0 との間の材料の屈折率 n によって決定される。垂直距離 F、波長 λ_4 、ピッチ Q、及び屈折率 n の間の関係は、方程式 5 で定義される。

【数 5】

$$F = \frac{n}{2} \times \frac{\lambda_4}{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_4}{Q}\right)^2}} \quad (\text{方程式 5})$$

30

【0069】

本発明の一実施形態では、ピッチ Q 及び波長 λ_4 は、平面 2 5 2 及び 2 4 4 が、 z 方向において、0.2 μm を超える垂直距離 2 5 6 によって相互に分離されるように選択され、それにより、システム 2 0 0 によって行われる位置ずれ測定の TIS 誤差に対する感度を高める。

【0070】

例えば、第 1 の層 2 2 2 と第 2 の層 2 2 4 が 0.1 μm の垂直距離によって相互に分離され、タルボ画像 2 5 0 と第 2 の層 2 2 4 との間の材料の屈折率 n が 1.46 である場合、第 1 の周期構造 2 4 0 のピッチ Q は 0.58 μm であるように選択され、第 1 の撮像装置 2 1 0 は、500 nm の少なくとも 1 つの波長を有する光で第 1 の層 2 2 2 を撮像し、第 2 の撮像装置 2 1 2 は、任意の適切な波長を有する光で第 2 の層 2 2 4 を撮像し、その結果、平面 2 5 2 は平面 2 4 4 の 1.1 μm 下の $x-y$ 平面に出現する。

40

【0071】

別の例として、第 1 の層 2 2 2 と第 2 の層 2 2 4 が 0.07 μm の垂直距離によって相互に分離され、タルボ画像 2 5 0 と第 2 の層 2 2 4 との間の材料の屈折率 n が 2.0 である場合、第 1 の周期構造 2 4 0 のピッチ Q は 1.0 μm であるように選択され、第 1 の撮像装置 2 1 0 は、600 nm の少なくとも 1 つの波長を有する光で第 1 の層 2 2 2 を撮像

50

し、第2の撮像装置212は、任意の適切な波長を有する光で第2の層224を撮像し、その結果、平面252は平面244の2.26 μm下のx-y平面に出現する。

【0072】

本明細書に記載の2つの例では、オフセット量子化器218及び220は、第1の撮像装置210によって撮影されたタルボ画像250の画像と、第2の撮像装置212によって撮影された第2の周期構造242の画像との間の、それぞれx方向及びy方向のオフセットを測定する。したがって、システム200は、第1の層222と第2の層224との間の、TIS誤差に敏感である位置ずれデータをキャプチャするように動作し、TISノブ221の調整に有用なデータを提供する。

【0073】

代替的に、第2の撮像装置212は、特に図2の拡大図A及びCに見られるように、少なくとも1つの波長 λ_5 を有する光を使用して、第2の周期構造242の少なくとも1つのタルボ画像260を第2の周期構造242の直ぐ上で、平面262において出現させ得る。平面262はx-y平面に平行であり、タルボ画像260は第2の周期構造242に平面262において直接重なるため、第2の周期構造242は、図2の中央領域では見ることができず、図2はターゲット230のx-y平面図を示すことが理解される。

【0074】

本発明の一実施形態では、タルボ画像260を含む平面262は、タルボ効果のために、Gで示される垂直距離で、平面244からz方向に出現する。図2の拡大図A及びCでは、タルボ画像260は厚みを有するものとして示されているが、タルボ画像260は、z方向に厚みがないことが理解される。タルボ画像260は、第2の周期構造242の上に直接出現するため、1つ以上のx-y平面で撮像された場合の、第1の周期構造240と第2の周期構造242との間のオフセットは、1つ以上のx-y平面で撮像された場合の、第1の周期構造240とタルボ画像260との間のオフセットと同一であることが更に理解される。

【0075】

第2の周期構造242の平面244とタルボ画像260の平面262との間の垂直距離Gは、第2の撮像装置212によって使用される光の波長 λ_5 によって、ならびに第2の周期構造242のピッチRによって、及び第2の周期構造242とタルボ画像260との間の材料の屈折率nによって決定される。垂直距離G、波長 λ_5 、ピッチR、及び屈折率nの関係は、方程式6で定義される。

【数6】

$$G = \frac{n}{2} \times \frac{\lambda_5}{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_5}{R}\right)^2}} \quad (\text{方程式 6})$$

【0076】

本発明の一実施形態では、ピッチR及び波長 λ_5 は、平面262及び241が、z方向において、0.2 μmを超える垂直距離266によって相互に分離されるように選択され、それにより、システム200によって行われる位置ずれ測定のTIS誤差に対する感度を高める。

【0077】

例えば、第1の層222と第2の層224が0.05 μmの垂直距離によって相互に分離され、第1の層222とタルボ画像260との間の材料の屈折率nが1.46である場合、第2の周期構造242のピッチRは1.2 μmであるように選択され、第2の撮像装置212は、550 nmの少なくとも1つの波長を有する光で第2の層224を撮像し、第1の撮像装置210は、任意の適切な波長を有する光で第1の層222を撮像し、その結果、平面262は平面241の3.7 μm上のx-y平面に出現する。

【0078】

別の例として、第1の層222と第2の層224が $0.1\mu\text{m}$ の垂直距離によって相互に分離され、第1の層222とタルボ画像260との間の材料の屈折率 n が 2.0 である場合、第2の周期構造242のピッチ R は $1.0\mu\text{m}$ であるように選択され、第2の撮像装置212は、 600nm の少なくとも1つの波長を有する光で第2の層224を撮像し、第1の撮像装置210は、任意の適切な波長を有する光で第1の層222を撮像し、その結果、平面262は平面241の $3.1\mu\text{m}$ 上の $x-y$ 平面に出現する。

【0079】

本明細書に記載の2つの例では、オフセット量子化器218及び220は、第2の撮像装置212によって撮影されたタルボ画像260の画像と、第1の撮像装置210によって撮影された第1の周期構造240の画像との間の、それぞれ x 方向及び y 方向のオフセットを測定する。したがって、システム200は、第1の層222と第2の層224との間の、TIS誤差に敏感である位置ずれデータをキャプチャするように動作し、TISノブ221の調整に有用なデータを提供する。

【0080】

本発明の追加の実施形態では、ピッチ Q 及びピッチ R は、第1の撮像装置210が波長 λ_4 を使用し、第2の撮像装置212が波長 λ_5 を使用する場合、タルボ画像250及び260が、それぞれ平面252及び262に出現するように選択され、これらの平面は、それぞれ、第1及び第2の層222及び224から、それぞれ垂直距離 F 及び G にある。そのような場合、垂直距離 F 及び G は、平面252及び262が、 z 方向において、 $0.2\mu\text{m}$ を超える垂直距離268によって相互に分離されるように選択され、それにより、システム200によって行われた位置ずれ測定のTIS誤差に対する感度を高める。

【0081】

例えば、第1の層222と第2の層224が $1.0\mu\text{m}$ の垂直距離によって相互に分離され、タルボ画像250とタルボ画像260との間の材料の屈折率 n が 1.46 である場合、第1の周期構造240のピッチ Q は $0.58\mu\text{m}$ であるように選択され、第2の周期構造242のピッチ R は $1.24\mu\text{m}$ であるように選択され、第1の撮像装置210は、 500nm の波長を有する光で第1の層222を撮像し、第2の撮像装置212は、 700nm の波長を有する光で第2の層224を撮像する。これにより、平面252は $0.73\mu\text{m}$ の垂直距離 F で第1の層222の下に出現し、平面262は $2.92\mu\text{m}$ の垂直距離 G で第2の層224の上に出現する。

【0082】

更なる例のように、第1の層222と第2の層224が $1.5\mu\text{m}$ の垂直距離によって相互に分離され、タルボ画像250とタルボ画像260との間の材料の屈折率 n が 2.0 である場合、第1の周期構造240のピッチ Q は $1.24\mu\text{m}$ であるように選択され、第2の周期構造242のピッチ R は $1.2\mu\text{m}$ であるように選択され、第1の撮像装置210は、 700nm の波長を有する光で第1の層222を撮像し、第2の撮像装置212は、 550nm の波長を有する光で第2の層224を撮像する。これにより、平面252は $4.0\mu\text{m}$ の垂直距離 F で第1の層222の下に出現し、平面262は $5.0\mu\text{m}$ の垂直距離 G で第2の層224の上に出現する。

【0083】

本明細書に記載の2つの例では、オフセット量子化器218及び220は、第1の撮像装置210によって撮影されたタルボ画像250の画像と、第2の撮像装置212によって撮影されたタルボ画像260の画像との間の、それぞれ x 方向及び y 方向のオフセットを測定する。したがって、システム200は、第1の層222と第2の層224との間の、TIS誤差に敏感である位置ずれデータをキャプチャするように動作し、TISノブ221の調整に有用なデータを提供する。

【0084】

図2を参照して本明細書に記載されるシステム200は、3つ以上の層を有するターゲットを形成することを含む製造プロセスにおいても使用され得ることを理解する。システ

10

20

30

40

50

ム 2 0 0 が 3 つ以上の層を有するターゲットを含む場合、ターゲットの各層は、位置ずれが測定される半導体デバイスウェハの対応する層と一緒に形成された 1 つの周期構造を含む。そのようなターゲットは、2 つの周期構造セットを含み得て、各周期構造セットは、ターゲット内のすべての周期構造を含むことに留意する。ターゲットを形成する 2 つの周期構造セットのそれぞれは、異なる相互に直交する方向に形成され得て、ターゲットに回転対称性を付与する。それらの向きに関する以外に、周期構造セットのそれぞれは互いに同一であり得ることが理解される。そのような多層半導体デバイスウェハの任意の 2 つの層の位置ずれは、本明細書に記載されるように、それらの 2 つの層上の周期構造の位置ずれを比較することにより、システム 2 0 0 によって測定され得ることが理解される。

【 0 0 8 5 】

ここで、図 3 を参照すると、半導体デバイスウェハの製造における位置ずれを測定する方法 3 0 0 を示す簡略化されたフローチャートであり、図 1 及び図 2 を参照して本明細書に記載されるように、システム 1 0 0 又は 2 0 0 のいずれかを利用して、半導体デバイスウェハの製造における位置ずれを測定する。

【 0 0 8 6 】

第 1 のステップ 3 0 2 に見られるように、少なくとも 1 つの適切なターゲット、例えばターゲット 1 3 0 又は 2 3 0 を有する多層半導体デバイスウェハが供給される。適切なターゲットは、多層半導体デバイスウェハの第 1 の層と一緒に形成される、第 1 のピッチを有している少なくとも第 1 の周期構造、及び多層半導体デバイスウェハの第 2 の層と一緒に形成される、第 2 のピッチを有している第 2 の周期構造を含み得る。同様に、図 1 及び図 2 の代替の実施形態を参照して本明細書に記載されるように、3 つ以上の層を有するターゲットが供給されてもよい。

【 0 0 8 7 】

次のステップ 3 0 4 に見られるように、ステップ 3 0 2 で供給されるターゲットは、第 1 の方向で撮像される。図 1 及び図 2 を参照して本明細書に記載されるように、本発明の一実施形態では、ターゲット及びターゲットを撮像するために使用される光の特性は、ターゲットの少なくとも 1 つの層の少なくとも 1 つのタルボ画像が、ターゲットの別の層の画像から 0 . 2 μm を超える垂直距離で離れた平面に出現するように選択される。

【 0 0 8 8 】

また、ステップ 3 0 4 では、ステップ 3 0 4 で実行された撮像の結果が分析され、これは、第 1 の分析結果を生じ得て、第 1 の分析結果は半導体デバイスウェハの第 1 の層と第 2 の層との間の第 1 の位置ずれ値を含む。

【 0 0 8 9 】

ステップ 3 0 4 に続いて、次のステップ 3 0 6 で、ステップ 3 0 2 において供給されたターゲットが、第 2 の方向で撮像される。第 2 の方向は、ステップ 3 0 4 の第 1 の方向から、 $x-y$ 平面において 180° 回転で異なってもよい。図 1 及び図 2 を参照して本明細書に記載されるように、本発明の一実施形態では、ターゲット及びターゲットを撮像するために使用される光の特性は、ターゲットの少なくとも 1 つの層の少なくとも 1 つのタルボ画像が、ターゲットの別の層の画像から 0 . 2 μm を超える垂直距離で離れた平面に出現するように選択される。

【 0 0 9 0 】

また、ステップ 3 0 6 では、ステップ 3 0 6 で実行された撮像の結果が分析され、これは、半導体デバイスウェハの第 1 の層と第 2 の層との間の第 2 の位置ずれ値を含む第 2 の分析結果を生じる。

【 0 0 9 1 】

次のステップ 3 0 8 において、それぞれ、ステップ 3 0 4 及び 3 0 6 で生成された第 1 及び第 2 の位置ずれ値が比較される。第 1 の位置ずれ値と第 2 の位置ずれ値との間の差が所定の閾値を超えない場合、方法 3 0 0 は次のステップ 3 1 0 で終了する。

【 0 0 9 2 】

第 3 及び第 4 の分析結果は、それぞれ、第 1 の方向又は第 2 の方向での第 1 の層及び第

10

20

30

40

50

3の層の分析から生成され得る。第3と第4の分析結果は、第1と第2の分析結果と類似し得る。

【0093】

第1の位置ずれ値と第2の位置ずれ値との間の差が所定の閾値を超える場合、方法300は、次のステップ312に進み、ここで、TISノブ121又は221は、第1と第2の位置ずれ値の差によって示されるように、位置ずれ測定におけるTIS誤差を、例えばパラメータ調整器を使用して相殺するように調整される。具体的には、ステップ312でのTISノブ121又は221の調整は、システム100又は200による位置ずれ測定の不十分なテレセントリック性に起因するTIS誤差を相殺する。TISノブ121は、x方向とy方向のTIS誤差を個別に相殺するように調整され得る。TISノブ121又は221を調整することによって、システム100又は200の少なくとも1つのパラメータが調整されることが理解される。

10

【0094】

ステップ312に続いて、次のステップ314で、システム100又は200は、ステップ302で供給される多層半導体デバイスウェハの位置ずれを測定し得る。本発明の別の実施形態では、次のステップ314で、システム100又は200は、ステップ302で供給された多層半導体デバイスウェハと同一であることを意図した多層半導体デバイスウェハの位置ずれを測定する。ステップ314に続いて、方法300はステップ310で終了してもよい。

【0095】

本発明が本明細書で特に示され、説明されたものに限定されないことは、当業者によって理解されるであろう。本発明の範囲は、本明細書に記載の様々な特徴の組み合わせ及びサブ組み合わせの両方、ならびにそれらの変更を含み、これらはすべて先行技術にはない。

20

30

40

50

【図面】

【図 1】

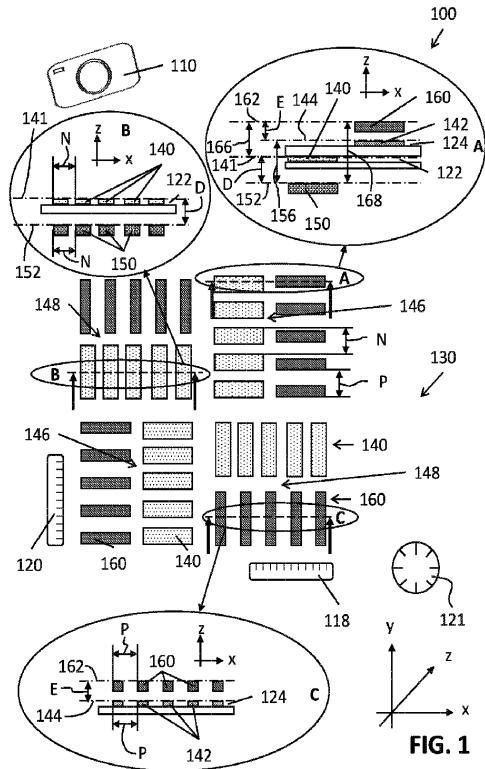


FIG. 1

【図 2】

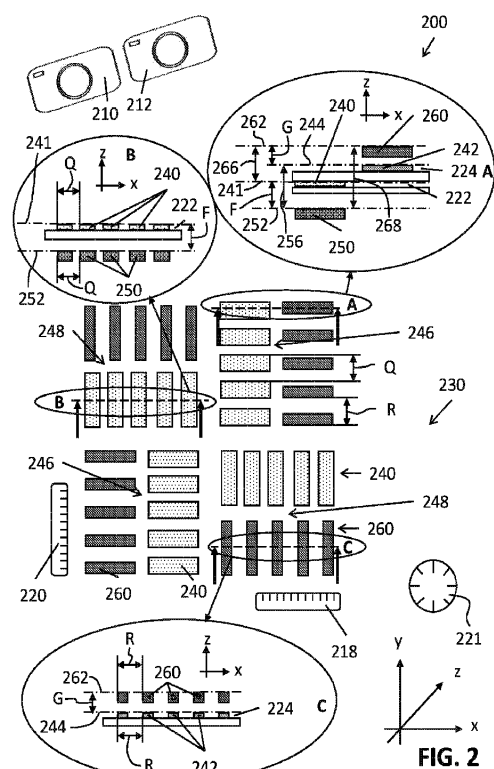
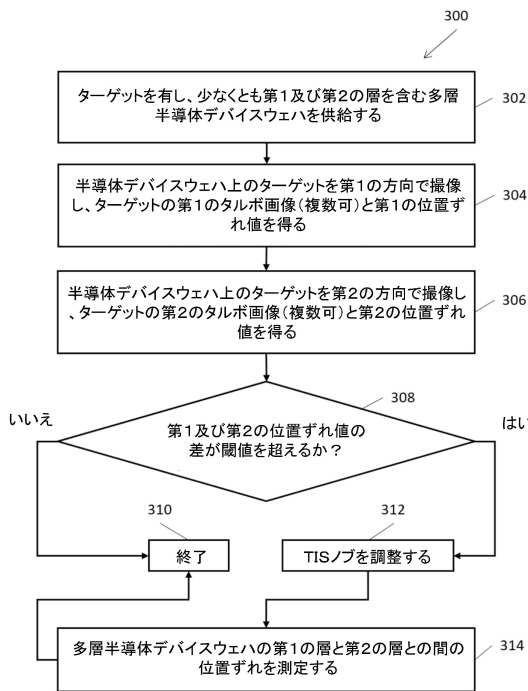


FIG. 2

【図 3】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(33)優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

(31)優先権主張番号 62/870,264

(32)優先日 令和1年7月3日(2019.7.3)

(33)優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

早期審査対象出願

審査官 續山 浩二

(56)参考文献 米国特許出願公開第2008/0023855 (US, A1)

韓国登録特許第10-1714616 (KR, B1)

特開2002-050560 (JP, A)

米国特許出願公開第2013/0286395 (US, A1)

米国特許出願公開第2007/0222088 (US, A1)

米国特許第6992764 (US, B1)

国際公開第2009/126910 (WO, A2)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

G01B 11/00

G01B 11/02

G01B 11/14

G01L 21/66