

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6918931号
(P6918931)

(45) 発行日 令和3年8月11日(2021.8.11)

(24) 登録日 令和3年7月27日(2021.7.27)

(51) Int.Cl.

H01L 21/66 (2006.01)
G01N 21/956 (2006.01)

F 1

H01L 21/66
H01L 21/66
G01N 21/956J
W
A

請求項の数 21 (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2019-516495 (P2019-516495)
(86) (22) 出願日	平成29年9月26日 (2017.9.26)
(65) 公表番号	特表2019-535138 (P2019-535138A)
(43) 公表日	令和1年12月5日 (2019.12.5)
(86) 國際出願番号	PCT/US2017/053540
(87) 國際公開番号	W02018/064072
(87) 國際公開日	平成30年4月5日 (2018.4.5)
審査請求日	令和2年9月23日 (2020.9.23)
(31) 優先権主張番号	62/400,182
(32) 優先日	平成28年9月27日 (2016.9.27)
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国(US)
(31) 優先権主張番号	15/430,817
(32) 優先日	平成29年2月13日 (2017.2.13)
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国(US)

(73) 特許権者	500049141 ケーブルエー コーポレイション 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
(74) 代理人	110001210 特許業務法人 Y K I 国際特許事務所
(72) 発明者	ショート デヴィッド ダブリュ アメリカ合衆国 カリフォルニア ロス ガトス カンボス ヴェルデ 116
(72) 発明者	ランゲ スティーブン アール アメリカ合衆国 カリフォルニア アラモ インクライン グリーン レーン 51

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】半導体ウエハ検査のための欠陥マーキング

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ウエハの表面を、前記ウエハ上に製造された垂直にスタッカされた半導体構造に埋め込まれた欠陥の近くの一つ又はそれ以上の位置で物理的にマークするように構成されたマーキングツールと、

光学的検査ツールであって、

ある量の照射光を生成する様に構成された照射源と、

前記の照射光量をウエハ上に配置された垂直にスタッカされた半導体構造にフォーカスする様に構成された照射サブシステムと、

前記フォーカスされた照射光に応答して前記垂直にスタッカされた構造から光を収集する様に構成された収集サブシステムと、

前記収集された光を検出して、収集された光量を示す一つ又はそれ以上の出力信号を生成する様に構成された検出器と、

を備える光学検査ツールと、

計算システムであって、

前記一つ又はそれ以上の出力信号を受領し、

前記一つ又はそれ以上の出力信号に基づいて、前記埋め込まれた欠陥の位置を決定し、

前記一つ又はそれ以上の出力信号に基づいて、前記一つ又はそれ以上の物理的マークの位置を決定し、

前記埋め込まれた欠陥の位置と前記一つ又はそれ以上の物理的マークの位置との間の距

10

20

離を、前記ウエハの表面に平行な少なくとも 2 つの次元で決定する、
ように構成された計算システムと、
を備える欠陥位置決めシステム。

【請求項 2】

前記ウエハの表面から材料を除去する様に構成された材料除去ツールと、
計算システムであって、
前記一つ又はそれ以上の物理的マークの位置のしるしと、前記埋め込まれた欠陥の位置
と前記一つ又はそれ以上の物理的マークの位置との間の距離と、を受領し、
前記材料除去ツールに前記埋め込まれた欠陥の位置において前記ウエハから材料を除去
させるコマンド信号を、前記材料除去ツールに通信する、
10 ように構成された計算システムと、
前記材料の除去の後に前記埋め込まれた欠陥をイメージングする様に構成された欠陥検
証ツールと、
をさらに備える、
請求項 1 に記載の欠陥位置決めシステム。

【請求項 3】

前記材料除去ツールがフォーカスイオンビーム加工ツールである、
請求項 2 に記載の欠陥位置決めシステム。

【請求項 4】

前記マーキングツールと前記光学的検査ツールとが単一のウエハ処理ツールに一体化さ
れています、
請求項 1 に記載の欠陥位置決めシステム。

【請求項 5】

前記マーキングツールが、レーザ、機械的スクライプ、及び電子ビームのいずれかを含
む、
請求項 1 に記載の欠陥位置決めシステム。

【請求項 6】

前記ウエハの表面が、前記埋め込まれた欠陥の近くの 2 つ又はそれ以上の位置で物理的
にマークされる、

請求項 1 に記載の欠陥位置決めシステム。

30

【請求項 7】

前記一つ又はそれ以上の物理的マークの各々が、前記埋め込まれた欠陥の位置から 5 マ
イクロメートル以内に置かれている、
請求項 1 に記載の欠陥位置決めシステム。

【請求項 8】

前記埋め込まれた欠陥の位置と前記一つ又はそれ以上の物理的マークの位置との間の距
離が、100 ナノメートルより小さい精度で決定される、
請求項 1 に記載の欠陥位置決めシステム。

【請求項 9】

前記埋め込まれた欠陥が前記ウエハの表面の少なくとも 50 ナノメートル下方に位置し
ている、
請求項 1 に記載の欠陥位置決めシステム。

40

【請求項 10】

前記垂直にスタックされた半導体構造が 3 次元の NAND メモリデバイスである、
請求項 1 に記載の欠陥位置決めシステム。

【請求項 11】

光学的検査システムの前記照射源が広帯域レーザを保持したプラズマ光源である、
請求項 1 に記載の欠陥位置決めシステム。

【請求項 12】

ウエハの表面を、前記ウエハ上に製造された垂直にスタックされた半導体構造に埋め込

50

まれた欠陥の近くの一つ又はそれ以上の位置でマーキングツールによって物理的にマークするステップと、

光学検査ツールの照射源で生成されたある量の照射光をウエハ上に配置された垂直にスタックされた半導体構造にフォーカスするステップと、

前記フォーカスされた照射光に応答して前記垂直にスタックされた構造から前記光学検査ツールの収集サブシステムによって光を収集するステップと、

前記光学検査ツールの検出器によって前記収集された光を検出して、収集された光量を示す一つ又はそれ以上の出力信号を生成するステップと、

前記一つ又はそれ以上の出力信号に基づいて前記埋め込まれた欠陥の位置を決定するステップと、

前記一つ又はそれ以上の出力信号に基づいて前記一つ又はそれ以上の物理的マークの位置を決定するステップと、

前記埋め込まれた欠陥の位置と前記一つ又はそれ以上の物理的マークの位置との間の距離を、前記ウエハの表面に平行な少なくとも2つの次元で決定するステップと、

を包含し、前記一つ又はそれ以上の出力信号に基づいて前記埋め込まれた欠陥の位置を決定するステップと、前記一つ又はそれ以上の出力信号に基づいて前記一つ又はそれ以上の物理的マークの位置を決定するステップと、前記埋め込まれた欠陥の位置と前記一つ又はそれ以上の物理的マークの位置との間の距離を、前記ウエハの表面に平行な少なくとも2つの次元で決定するステップは、コンピュータシステムで実行される、方法。

【請求項13】

前記埋め込まれた欠陥の位置と前記一つ又はそれ以上の物理的マークの位置との間の距離に少なくとも部分的に基づいて、前記ウエハの表面から材料を除去するステップをさらに包含する、

請求項12に記載の方法。

【請求項14】

前記材料の除去の後に前記埋め込まれた欠陥をイメージングするステップをさらに包含する、

請求項13に記載の方法。

【請求項15】

前記ウエハ表面のマーキングステップが、レーザ、機械的スクライプ、及び電子ビームのいずれかを伴う、

請求項12に記載の方法。

【請求項16】

前記ウエハの表面が、前記埋め込まれた欠陥の近くの2つ又はそれ以上の位置で物理的にマークされる、

請求項12に記載の方法。

【請求項17】

前記一つ又はそれ以上の物理的マークの各々が、前記埋め込まれた欠陥の位置から5マイクロメートル以内に置かれている、

請求項12に記載の方法。

【請求項18】

前記埋め込まれた欠陥の位置と前記一つ又はそれ以上の物理的マークの位置との間の距離が、100ナノメートルより小さい精度で決定される、

請求項12に記載の方法。

【請求項19】

前記垂直にスタックされた半導体構造が少なくとも厚さ3マイクロメートルであり、前記埋め込まれた欠陥が前記ウエハの表面の少なくとも50ナノメートル下方に位置している、

請求項12に記載の方法。

【請求項20】

10

20

30

40

50

欠陥位置決めシステムであって、
ウエハの表面を、前記ウエハ上に製造された垂直にスタックされた半導体構造に埋め込まれた欠陥の近くの一つ又はそれ以上の位置で物理的にマークするように構成されたマーキングツールと、

光学的検査ツールであって、
ある量の照射光を生成する様に構成された照射源と、
前記の照射光量をウエハ上に配置された垂直にスタックされた半導体構造にフォーカスする様に構成された照射サブシステムと、
前記フォーカスされた照射光に応答して前記垂直にスタックされた構造から光を収集する様に構成された収集サブシステムと、

前記収集された光を検出して、収集された光量を示す一つ又はそれ以上の出力信号を生成する様に構成された検出器と、

を備える光学検査ツールと、

計算システムであって、
一つ又はそれ以上のプロセッサと、
非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体であって、前記一つ又はそれ以上のプロセッサによって実行されると、前記欠陥位置決めシステムに、

前記一つ又はそれ以上の出力信号を受領し、
前記一つ又はそれ以上の出力信号に基づいて前記埋め込まれた欠陥の位置を決定し、
前記一つ又はそれ以上の出力信号に基づいて前記一つ又はそれ以上の物理的マークの位置を決定し、
前記埋め込まれた欠陥の位置と前記一つ又はそれ以上の物理的マークの位置との間の距離を、前記ウエハの表面に平行な少なくとも2つの次元で決定させる、
指令を記憶している、非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体と、
を備える、欠陥位置決めシステム。

【請求項21】

前記ウエハの表面から材料を除去する様に構成された材料除去ツールをさらに備え、
前記非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体がさらに、前記一つ又はそれ以上のプロセッサによって実行されると、前記欠陥位置決めシステムに、

前記一つ又はそれ以上の物理的マークの位置のしるしと、前記埋め込まれた欠陥の位置と前記一つ又はそれ以上の物理的マークの位置との間の距離と、を受領し、
前記材料除去ツールに前記埋め込まれた欠陥の位置において前記ウエハから材料を除去させるコマンド信号を、前記材料除去ツールに通信させる、

指令をさらに記憶しており、

前記材料の除去の後に前記埋め込まれた欠陥をイメージングする様に構成された欠陥検証ツールをさらに備える、

請求項20に記載の欠陥位置決めシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

記述された実施形態は半導体検査のためのシステムについており、より具体的には、半導体ウエハ検査のモダリティに関する。

【背景技術】

【0002】

関連出願への相互参照

本特許出願は、2016年9月27日付けて出願された「半導体ウエハ検査のための欠陥マーキング」という名称の米国予備特許出願第62/400,182号に対する35U.S.C. § 119に基づく優先権を主張しており、その主題は、その全体が参照によってここに援用される。

【0003】

10

20

30

40

50

ロジック及びメモリデバイスのような半導体デバイスは、典型的には基板又はウエハに与えられる一連の処理ステップによって製造される。半導体デバイスの様々な形状及び複数の構造レベルは、これらの処理ステップによって形成される。例えば、その他のものの中でリソグラフィーは、半導体ウエハ上にパターンを生成することを伴う一つの半導体製造プロセスである。半導体製造プロセスの附加的な例は、化学機械研磨、エッティング、デポジション、及びイオン注入を含むが、これらに限られるものではない。複数の半導体デバイスが単一の半導体ウエハ上に製造され得て、それから個別の半導体デバイスに分離され得る。

【0004】

検査プロセスは、ウエハ上の欠陥を検出して高い歩留まりを促進するために、半導体製造プロセスの間の様々なステップで使用される。デザインルール及びプロセスウインドーがサイズに関して縮小し続けるにつれて、検査システムには、高いスループットを維持しながら、より広範囲の物理的欠陥を捕捉することが求められている。加えて、メモリ及びロジックのアーキテクチャは、2次元の浮遊ゲートアーキテクチャから完全に3次元の配置に移行しつつある。いくつかの例では、フィルムスタック及びエッティングされた構造が非常に深い（例えば深さ3マイクロメートル又はそれ以上）。これらの構造内に埋め込まれた欠陥の測定は、所望の性能レベル及びデバイス歩留まりを達成するために重要であるが、これらの測定は、伝統的な測定システム及び技法に対するチャレンジであることが証明されている。

【0005】

いくつかの例では、埋め込まれた欠陥を検出するために電子的テストが利用される。しかし、電子的テストが実行される前に、複数のデバイス層が製造されなければならない。このため、欠陥は、製造サイクルにおける初期に検出されることができない。その結果、電子的テストの実施は、特に、欠陥の迅速なアセスメントが重要である研究開発ならびに製造プロセスのランプフェーズの間には、極めて高価である。

【0006】

いくつかの他の例では、ウエハは、埋め込まれた欠陥を露出するために逆処理（de-process）される。ウエハ逆処理は、伝統的な光学的又は電子ビーム検査を使用して検出された対象欠陥（DOI）を露出するために層を除去することによって、ウエハを破壊する。このアプローチは非常に遅く、各層で交互のプロセスフローを必要とし、これら交互のプロセスフローはDOI検出と干渉する欠陥を作り出し得る。加えて、いくつかの層の上のいくつかのDOIは、ウエハ逆処理によって容易に露出されない。

【0007】

いくつかの他の例では、埋め込まれた欠陥は、X線ベースの測定技法に基づいて検出されることができる。例えば、X線回折測定システム又はコヒーレントX線イメージングシステムが、埋め込まれた欠陥を検出するために使用され得る。X線ベースの測定技法は非破壊であるという利点を有するが、スループットは極めて低いままである。

【0008】

いくつかの他の例では、埋め込まれた欠陥を検出するために電子ビーム検査（EBI）が直接的に利用される。しかし、EBIは、約1マイクロメータの深さを超える欠陥を検出する能力が極端に制約される。多くの例では、EBIは1マイクロメータよりもはるかに小さい（例えば50ナノメータより小さい）深さに制限される。この制限は、サンプルの歪み又は破壊が生じる前の電子注入量の実用的な制限による。これより、EBIは、厚い3次元構造に対する欠陥検出ツールとしての有効さに制限がある。

【0009】

いくつかの伝統的な光学的検査技法が、比較的厚い層に埋め込まれた欠陥の検出に対して有効であることが証明されている。ある例では、共焦点光学検査が異なる焦点深さで利用される。共焦点イメージングは、焦点平面の上方の又は下方の構造からの擬似又は妨害光学信号を除去する。共焦点光学検査技法は、米国特許出願公開第2014/0300890号にさらに詳細に記述されており、これはその全体が参照によってここに援用される

10

20

30

40

50

。他の例では、回転する照射ビームが、比較的厚い層に埋め込まれた欠陥を検出するために利用される。回転照射ビームを使用する光学的検査は、米国特許出願公開第2014/0268117号にさらに詳細に記述されており、これはその全体が参照によってここに援用される。他の例では、その全体が参照によってここに援用される米国特許第9,075,027号にさらに詳細に記述されているように、埋め込まれた欠陥を検出するために、異なる照射波長範囲が利用される。さらに他の例では、その全体が参照によってここに援用される米国特許第8,912,495号にさらに詳細に記述されているように、埋め込まれた欠陥を検出するために、複数の離散したスペクトル帯が利用される。

【0010】

伝統的な光学的検査技法は、厚い層にて可能性のある欠陥を検出するために有益であることが証明されているが、その測定結果は、欠陥を対象欠陥と識別し、欠陥を高い自信度で分類するためには、典型的には不十分である。

10

【0011】

いくつかの例では、光学的測定結果は検証無しに受け入れられる。しかし、検証されない光学的測定結果に基づく製造プロセスでの決定は、時間及び資源のロスを導くプロセス誤差を導入するリスクをもたらす。

【0012】

いくつかの例では、光学的検査ツールは、ウエハ上で検出された欠陥の位置を記録する。ウエハは引き続いて、記録された位置とともにフォーカスイオンビーム(FIB)加工ツールに送られる。FIBツールは、ウエハ材料の層を除去して、潜在的な対象欠陥(DOI)を露出する。潜在的なDOIは引き続いて、伝統的な光学的又は電子ビーム検査技法(例えば走査電子顕微鏡)によって検査される。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0013】

【特許文献1】米国特許出願公開第2014/0300890号

【特許文献2】米国特許出願公開第2014/0268117号

【特許文献3】米国特許第9,075,027号

【特許文献4】米国特許第8,912,495号

【発明の概要】

30

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

残念なことに、FIBの材料除去レートは非常に低い。加えてFIBツールは、光学的に検出された欠陥を約1マイクロメートルの精度で位置決めする能力に制約がある。この不確かさのために、実際の欠陥位置が特定される前に、材料を除去するために顕著な時間量が必要とされる。典型的には、一つの欠陥のFIB処理には、欠陥が少しでも発見されるとして、約1時間を要する。

【0015】

3Dメモリ、V NANDメモリ、又は他の垂直構造のような垂直半導体デバイスに埋め込まれた対象欠陥の検出における改良が望まれる。

40

【課題を解決するための手段】

【0016】

先に光学的又はX線検査システムによって検出された埋め込まれた欠陥を正確に位置決めするための方法及びシステムが、ここに記述される。一つの局面では、検査システムによって検出された埋め込まれた欠陥の近傍のウエハ表面上に、物理的マークが形成される。検査システムはまた、検出された欠陥と物理的マークとの間の距離を、少なくとも2次元で正確に測定するためにも利用される。

【0017】

ウエハ、マークの見かけの位置のしるし、及び検出された欠陥とマークとの間の距離のしるしは、材料除去ツール及び電子ビームベースの測定システムを含む他のウエハ処理シ

50

ステムに転送される。電子ビームベースの測定システムは、比較的厚い半導体構造に埋め込まれた欠陥を直接的に検出又は検証することはできない。しかし、このシステムは、ウエハの表面上の物理的マークを正確に位置決めすることができる。物理的マークを正確に位置決めした後に、電子ビームベースの測定システムは、検査システムから受け取った検出された欠陥と物理的マークとの間の距離に基づいて、埋め込まれた欠陥を正確に位置決めすることができる。材料除去ツール（例えばフォーカスイオンビーム（FIB）加工ツール）は、埋め込まれた欠陥が電子ビームベースの測定システムに対して見えるようになるまで、埋め込まれた欠陥の上方のウエハの表面から材料を除去する。電子ビームベースの測定システムは、欠陥をさらに分析するために引き続いて利用される。

【0018】

10

物理的マークは、検査ツールによって発見された欠陥の位置の近傍に生成される。一般的に、物理的マークは多くの異なる方法で生成され得る。いくつかの実施形態では、物理的マークはパルスレーザで生成される。レーザの波長、パワー、及びパルス継続時間が、ウエハ表面上に小さいマークを作るために選択される。いくつかの例では、レーザエネルギーはウエハの最上層によって吸収されて、表面にマークを作る。いくつかの他の例では、レーザエネルギーは下地の層又は基板によって吸収される。これらの例では、バンプ又はその他の材料の乱れが表面に生成される。

【0019】

いくつかの実施形態では、物理的マークは、機械的接触によってウエハの表面上にマークを生成する機械的プローブ（例えば、スタイルス、インデンター、原子間力顕微鏡（AFM）プローブ、など）によって生成される。

20

【0020】

いくつかの実施形態では、物理的マークは、ウエハを電子でボンバードして熱を生成するように構成された電子ビーム源によって生成される。いくつかの例では、電子ビームは電子ビームの近傍の真空チャンバ内に存在する有機材料を分離する。分離された材料は、電子ビームによってウエハ表面に運ばれて、そこで表面に吸着し、マークを離れる。他の実施形態では、ビームはウエハ表面の下方にフォーカスされて、生成された熱がウエハの表面上にバンプを形成させる。

【0021】

30

一般に、マークの物理的形状及びサイズは、イメージの獲得、ならびに埋め込まれた欠陥に対するマークのイメージベースの位置決めを高速化する助けとなる。マークは、関連付けられた埋め込まれた欠陥に十分に接近して配置されて、マーク及び埋め込まれた欠陥の両方が、材料除去ツールと共に使用される検査システム及びイメージングシステムの視野内にあるようになる。マークの形状は対称的であることが好ましい。

【0022】

単一のマークが特定の埋め込まれた欠陥に関連付けられ得るが、各々の埋め込まれた欠陥の近傍に、一つより多くのマークが生成されることが好ましい。いくつかの実施形態では、2つ又はそれ以上のマークが、一つの埋め込まれた欠陥に関連付けられる。このようにして、埋め込まれた欠陥は、マークに対して2次元的に正確に位置決めができる。いくつかの実施形態では、埋め込まれた欠陥を各マークに頂点を有する仮想の多角形が取り囲むように、3つ又はそれ以上のマークが配置される。

40

【0023】

好適な実施形態では、マーキングツールが共通のウエハ処理システム内で検査ツールに一体化されて、埋め込まれた欠陥が発見され、マークされ、同じウエハ処理システムによってマークに対して位置決めされる。

【0024】

以上は要約であり、これより必要のために、単純化、一般化、及び詳細の省略を含む。したがって当業者は、要約が描写的なだけであって、あらゆる方法で制約的ではないことを理解するであろう。ここに記述されたデバイス及び／又はプロセスの他の局面、発明的な特徴、及び利点は、ここに示される非制約的な詳細な記述で明らかになるであろう。

50

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】半導体構造に埋め込まれた対象欠陥(DOI)の検出、マーキング、及び位置決めを実行するように構成された欠陥位置決めシステム150の一つの実施形態の簡略化された模式図である。

【図2】対象欠陥(DOI)の検出、ならびにDOIと半導体ウエハの表面上における関連付けられた物理的マークとの間の距離の測定を実行するように構成された光学的検査システムの一つの実施形態の簡略化された模式図である。

【図3】パルスレーザによってウエハの表面上に生成されたマーク190Aの走査電子顕微鏡(SEM)イメージ190を描く図である。 10

【図4】マーク190Aのイメージ191を描く図であり、イメージ191は、図2に描かれた検査ツール100のような広帯域明視野イメージングシステムによって生成される。

【図5】ダイヤモンドチップを有するコーナーキューブインデンターによって生成されたマーク192AのSEMイメージ192を描く図である。

【図6】マーク192Aのイメージ193を描く図であり、イメージ193は、図2に描かれた検査ツール100のような広帯域明視野イメージングシステムによって生成される。

【図7A】4つの例示的マーク195～198のイメージ194を描く図である。

【図7B】4つの例示的マーク195～198のイメージ171を描く図である。 20

【図8】ウエハ製造プロセスの窒化シリコン除去ステップにおける3DのNAND構造160の描写を描く図である。

【図9】ここに記述されるような欠陥のマーキング及び位置決めのために有用な例示的な方法200の流れ図を描く図である。

【発明を実施するための形態】

【0026】

本発明の背景の例及びいくつかの実施形態への参照がここで詳細に行われ、その例は添付の図面に描かれている。

【0027】

先に光学的又はX線検査システムによって検出された埋め込まれた欠陥を正確に位置決めするための方法及びシステムが、ここに記述される。 30

【0028】

一つの局面では、検査システムによって検出された埋め込まれた欠陥の近傍のウエハ表面上に、物理的マークが形成される。加えて、検査システムは、検出された欠陥と物理的マークとの間の距離を、少なくとも2次元で正確に測定するために利用される。ウエハ、マークの見かけの位置のしるし、及び検出された欠陥と物理的マークとの間の距離のしるしは、欠陥検証ツールに転送される。いくつかの実施形態では、欠陥検証ツールはX線ベースの測定システムである。いくつかの実施形態では、欠陥検証ツールは電子ビームベースの測定システムである。これらの実施形態のいくつかでは、材料除去ツール(例えばフォーカスイオンビーム(FIB)加工ツール)が、埋め込まれた欠陥が見えるようになるまで、埋め込まれた欠陥の上方のウエハの表面から材料を除去する。 40

【0029】

ある実施形態では、FIBツールが埋め込まれた欠陥を露出させて、その欠陥を電子ビームベースの測定システムに対して見えるようにする。電子ビームベースの測定システムは、欠陥をさらに分析及び検証するために引き続いて利用される。電子ビームベースの測定システムは、比較的厚い半導体構造に埋め込まれた欠陥を直接的に検出又は検証することはできない。いくつかの例では、構造の表面の下方の少なくとも50ナノメートルに埋め込まれた欠陥は、電子ビームベースの測定システムには見えない。いくつかの例では、構造の表面の下方の少なくとも3マイクロメートルに埋め込まれた欠陥は、電子ビームベースの測定システムには見えない。しかし、このシステムは、ウエハの表面上に位置する

10

20

30

40

50

物理的マークを正確に位置決めすることができる。物理的マークを正確に位置決めした後に、電子ビームベースの測定システムは、検査システムから受け取った検出された欠陥と物理的マークとの間の距離に基づいて、埋め込まれた欠陥を正確に位置決めすることができる。このようにして、電子ビームベースの測定システムは、欠陥を「見る」ことができなくとも、その欠陥を正確に位置決めすることができる。このことは、材料除去及び欠陥検証のプロセスを大幅にスピードアップする。

【0030】

検査によって発見された埋め込まれた欠陥の位置を正確にマークすることによって、引き続く材料除去ならびに埋め込まれた欠陥の電子ビームベースの測定が効率化されて、顕著な量の時間が節約される。これは、層スタックが厚さ 3 μm 又はそれより厚い 3D の NAND 構造、ならびに抵抗性 RAM、クロスポイント、フィン FET、ゲート・オール・アラウンド、及びナノワイヤトランジスタ構造のような他の垂直メモリ及びロジックアーキテクチャの検査にて、特に重要である。これらの欠陥は、そうしなければ、電子ビーム検査 (EBI) ツール、電子ビームレビュー (EBR) ツール、走査電子顕微鏡 (SEM) を組み込んだツールなどの電子ビームベースの測定ツールには見えない。

10

【0031】

図 1 は、半導体構造に埋め込まれた対象欠陥 (DOI) の検出、マーキング、及び位置決めを実行するように構成された欠陥位置決めシステム 150 の一つの実施形態の簡略化された模式図である。欠陥位置決めシステム 150 は、検査ツール 100、マーキングツール 120、材料除去ツール 141、及び欠陥検証ツール 142 を含む。いくつかの実施形態では、欠陥検証ツールは電子ビームベースの分析ツールである。いくつかの他の実施形態では、欠陥検証ツールは X 線ベースの分析ツールである。これらの実施形態では、材料除去ツールは、埋め込まれた欠陥を X 線ベースの分析ツールに見えるようにするために必要ではないこともある。これより、材料除去ツールはオプションである。

20

【0032】

図 1 に描かれた実施形態では、欠陥位置決めシステム 150 はウエハ処理システム 160 を含み、これは検査ツール 100 及びマーキングツール 120 を含む。欠陥位置決めシステム 150 はまたウエハ処理システム 170 を含み、これは材料除去ツール 141 及び電子ビーム分析ツール 142 を含む。しかし、一般に、検査ツール 100、マーキングツール 120、材料除去ツール 141、及び電子ビーム分析ツール 142 は、単一のウエハ処理ツールに一体化され得るか、あるいは異なるウエハ処理システムに個別に分離され得るか、又はそれらの組み合わせであり得る。

30

【0033】

ウエハ処理システム 160 は、検査及びマーキングのために検査ツール 100 及びマーキングツール 120 に対してそれぞれウエハ 103 を正確に位置決めするために、ウエハポジショニングシステム 114 を含む。計算システム 130 は、検査及びマーキングプロセスを協調させて、分析、データの取り扱い、及び通信タスクを実行する。同様に、ウエハ処理システム 170 は、材料除去ならびに欠陥の位置決め及びレビューのために材料除去ツール 141 及び電子ビーム分析ツール 142 に対してそれぞれウエハ 103 を正確に位置決めするために、ウエハポジショニングシステム 147 を含む。計算システム 143 は、材料除去及びレビュープロセスを協調させて、分析を実行し、且つデータの取り扱い及び通信タスクを実行する。

40

【0034】

ある局面では、ウエハ 103 の検査は検査ツール 100 によって実行され、埋め込まれた欠陥を発見する。いくつかの実施形態では、検査ツール 100 は光学的検査システムである。しかし、いくつかの他の実施形態では、検査ツール 100 は X 線検査システム、又は光学的及び X 線ベースが組み合わされた検査システムである。

【0035】

図 2 は、半導体ウエハ上の対象欠陥 (DOI) の検出を実行するように構成された光学的検査システムの一つの実施形態の簡略化された模式図である。単純化のために、システ

50

ムのいくつかの光学部品は省略されている。例として、折り畳みミラー、偏光子、ビームフォーミング光学系、追加の光源、追加のコレクタ、及び検出器もまた、含まれ得る。全てのそのようなバリエーションは、ここに記述される本発明の範囲内である。ここに記述される検査システムは、パターニングされたウエハ及びレチカルの検査のために使用され得る。

【0036】

図2に描かれているように、ウエハ103は一つ又はそれ以上の照射源101によって生成される鉛直入射ビーム104によって照射される。あるいは、照射サブシステムが光ビームを試料に斜めの傾斜角度で向けるように構成され得る。いくつかの実施形態では、システム100は、斜め入射の光ビーム及び鉛直入射の光ビームのように複数の光ビームを試料に向けるように構成され得る。複数の光ビームは、実質的に同時に、あるいは引き続いて、試料に向けられ得る。

【0037】

照射源101は、例として、広帯域レーザを保持したプラズマ光源、レーザ、スーパー・コンティニュームレーザ、ダイオードレーザ、ヘリウムネオンレーザ、アルゴンレーザ、固体レーザ、ダイオードポンプ固体(DPSS)レーザ、キセノンアークランプ、ガス放電ランプ、LEDアレイ、及び白熱ランプを含み得る。光源は単色に近い光又は広帯域光を発するように構成され得る。いくつかの実施形態では、照射サブシステムは一つ又はそれ以上のスペクトルフィルタも含み得て、これが、試料に向けられる光の波長を制限し得る。一つ又はそれ以上のスペクトルフィルタは、バンドパスフィルタ及び/又はエッジフィルタ及び/又はノッチフィルタであり得る。照射は、任意の適切な波長範囲で試料に与えられ得る。いくつかの例では、照射光は260ナノメートル～900ナノメートルの範囲の波長を含む。いくつかの例では、照射光は、高アスペクト比の構造における欠陥を捕捉するために900ナノメートルより長い(例えば2500ナノメートルを超える)波長を含む。

【0038】

照射源101によって生成されたビーム104は、ビームスプリッタ105に向けられる。ビームスプリッタ105は、ビームを対物レンズ109に向ける。対物レンズ109は、ビーム111を入射点119でウエハ103上にフォーカスする。入射点119は、ウエハ103の表面上への照射源101から発せられる光の投影によって規定される(例えば形状及びサイズが決められる)。一般に、ウエハ103に入射するビーム111は、照射源101によって発せられる光からは、偏光、強度、サイズ及び形状などを含む一つ又はそれ以上の様式で、異なり得る。

【0039】

システム100は収集光学系116及び118を含み、それぞれ、ウエハ103によって散乱及び/又は反射された光を収集し且つその光を検出器アレイ115及び125上にフォーカスする。検出器115及び125の出力は、欠陥の存在及びそれらの位置を処理及び決定するために、計算システム130に通信される。

【0040】

収集光学系116及び118のいずれもが、一つのレンズ、複合レンズ、又は当該技術にて既知の適切なレンズであり得る。あるいは、収集光学系116及び118のいずれもが、ミラーのような反射性又は部分的に反射性の光学部品であり得る。加えて、図2には特定の収集角度が描かれているが、収集光学系が任意の適切な収集角度で配置され得ることが理解される。収集角度は、例えば入射角及び/又は試料のトポグラフィック特性に依存して可変し得る。

【0041】

検出器115及び125の各々は、一般的に散乱光を電気信号に変換するように機能して、そのために当該技術にて既知の実質的にあらゆる光検出器を含み得る。しかし、特定の光検出器が、検出器の所望の性能特性、検査対象の試料のタイプ、及び照射配置に基づいて、本発明の一つ又はそれ以上の実施形態の範囲内での使用のために選択され得る。例

10

20

30

40

50

えば、検査のために利用可能な光量が比較的低いならば、時間遅延積分（T D I）カメラのような効率向上型検出器が、システムの信号対雑音比及びスループットを増加し得る。しかし、電荷結合素子（C C D）カメラ、フォトダイオード、光電管、光電子増倍管（P M T）のような他の検出器が、検査のために利用可能な光量及び実行されている検査のタイプに依存して、使用され得る。各検出器は、一つのセンシングエリアのみを含んでも、あるいは可能であればいくつかのセンシングエリアを含んでいてもよい（例えば、検出器アレイ、離散 P M T 検出器のアレイ、マルチアノード P M T、など）。

【 0 0 4 2 】

システム 1 0 0 は、明視野及び暗視野モードのような様々なイメージングモードを使用することができる。例えば、一つの実施形態では検出器 1 2 5 は明視野イメージを生成する。図 2 に描かれているように、ウエハ 1 0 3 の表面から狭い角度で散乱された光のいくらかは、対物レンズ 1 0 9 によって収集される。この光は対物レンズ 1 0 9 を通って戻って、ビームスプリッタ 1 0 5 に入射する。ビームスプリッタ 1 0 5 は、その光の一部を収集光学系 1 1 8 の送り、これが今度は、その光を検出器 1 2 5 の上にフォーカスする。このようにして、明視野イメージが検出器アレイ 1 2 5 によって生成される。収集光学系 1 1 8 はイメージングレンズ 1 0 7 を含み、これが、対物レンズ 1 0 9 によって収集された反射光を検出器アレイ 1 4 0 上にイメージングする。フーリエフィルタ 1 0 6 の開口が、対物レンズ 1 0 9 の後方焦点平面に置かれている。明視野、暗視野、及びフェーズコントラストのような様々なイメージングモードが、異なる開口又はフーリエフィルタを使うことによって具現化されることができる。参照によってここに援用される米国特許第 7 , 2 9 5 , 3 0 3 号及び第 7 , 1 3 0 , 0 3 9 号は、これらのイメージングモードをさらに詳細に記述している。他の例においては、検出器 1 1 5 が、より大きい視野角で収集された散乱光をイメージングすることによって暗視野イメージを生成する。参照によってここに援用される米国特許第 6 , 2 0 8 , 4 1 1 号は、これらのイメージングモードをさらに詳細に記述している。

【 0 0 4 3 】

システム 1 0 0 はまた、検出器 1 1 5 及び 1 2 5 のいずれかによって検出された反射及び / 又は散乱信号を処理するために必要とされる様々な電子部品（図示されていない）を含む。例えば、システム 1 0 0 は、検出器 1 1 5 及び 1 2 5 のいずれかからの出力信号を受領して且つこれらの出力信号を所定の量だけ増幅する増幅器回路、及び増幅された信号をプロセッサ 1 3 1 内での使用に適したデジタルフォーマットに変換するアナログ・デジタル変換器（A D C）を含み得る。一つの実施形態では、プロセッサは、伝送媒体によって直接的に A D C に結合され得る。あるいは、プロセッサは、A D C に結合された他の電子部品からの信号を受け取り得る。このようにして、プロセッサは、伝送媒体及び任意の介在する電子部品によって間接的に A D C に結合され得る。

【 0 0 4 4 】

図 1 に描かれている実施形態では、ウエハポジショニングシステム 1 1 4 が、計算システム 1 3 0 から受領したコマンド信号 1 3 5 に基づいて、ビーム 1 1 1 の下でウエハ 1 0 3 を動かす。ウエハポジショニングシステム 1 1 4 は、ウエハチャック 1 0 8 、動きコントローラ 1 1 3 、回転ステージ 1 1 0 、並進ステージ 1 1 2 、及び z 並進ステージ 1 2 1 を含む。z 並進ステージ 1 2 1 は、ウエハ 1 0 3 を、ウエハ 1 0 3 の表面に鉛直な方向（例えば座標系 1 2 3 の z 方向）に動かすように構成されている。並進ステージ 1 1 2 及び回転ステージ 1 1 0 は、ウエハ 1 0 3 を、ウエハ 1 0 3 の表面に並行な方向（例えば座標系 1 2 3 の x 及び y 方向）に動かすように構成されている。いくつかの他の実施形態では、ウエハ 1 0 3 は、複数の並進ステージの協調された動きによって、面内方向（例えば x 及び y 方向）に動かされる。

【 0 0 4 5 】

ウエハ 1 0 3 はウエハチャック 1 0 8 上に支持されている。いくつかの実施形態では、ウエハ 1 0 3 は、その形状的な中心が回転ステージ 1 1 0 の回転軸にほぼ位置合わせされて置かれている。このようにして、回転ステージ 1 1 0 はウエハ 1 0 3 を、その形状的な

10

20

30

40

50

中心の周囲にて、許容可能な公差内の特定の角速度でスピンさせる。加えて、並進ステージ112はウエハ103を、回転ステージ110の回転軸にほぼ垂直な方向に、特定の速度 V_T で並進させる。動きコントローラ113は、回転ステージ110によるウエハ103のスピンと並進ステージ112によるウエハ103の並進とを協調させて、検査システム100内でのウエハ103の所望の面内走査動作を得る。加えて、動きコントローラ113は、並進ステージ121によるウエハ103の動きを協調させて、検査システム100内でのウエハ103の所望の面外走査動作を得る。

【0046】

ウエハ103は、数多くの異なるモードで、検査システム100の光学サブシステムに対して配置され得る。検査モードでは、ウエハ103は異なるz位置で、横方向（例えばx方向及びy方向）に繰り返し走査される。いくつかの例では、ウエハ103は、厚さが少なくとも3マイクロメートルの層構造を通して、10個又はそれ以上の異なる焦点深度で走査される。欠陥レビュー モードでは、ウエハ103は、x方向及びy方向においては固定された位置に配置されながら、z方向に走査される。このようにして、測定対象の構造内のある深さ範囲に渡って、ウエハ103の固定された横方向位置における測定データに基づいて、イメージが生成される。欠陥レビュー モードは、典型的には、欠陥のより詳細な調査（例えば、より高いイメージ解像度、より高い焦点深度解像度、又はそれらの両方）を実行するために利用される。

【0047】

いくつかの実施形態では、システム100は偏向子（図示されていない）を含み得る。ある実施形態では、偏向子は音響光学偏向子（AOD）であり得る。他の実施形態では、偏向子は、機械的走査アセンブリ、電子スキャナ、回転ミラー、ポリゴンベースのスキャナ、共鳴スキャナ、圧電スキャナ、ガルバノミラー、又はガルバノメータを含み得る。偏向子は、光ビームを試料上で走査させる。いくつかの実施形態では、偏向子は、ほぼ一定の走査スピードで、光ビームを試料上で走査させる。

【0048】

図2に描かれているように、検査システム100は照射パワー減衰器102を含み、これは、ウエハ103に送達される照射パワーを制御する。いくつかの他の実施形態では、照射パワー密度減衰器はビーム整形素子であり、これが照射スポット119のサイズを変えて、ウエハ103に送達される照射パワー密度を低減する。いくつかの他の実施形態では、照射パワーの低減とビームサイズ調整との組み合わせが使われて、ウエハ103に送達される照射パワー密度を低減する。図2に描かれているように、計算システム130が照射パワー減衰器102へ制御信号122を通信し、検出器115及び125のいずれかによって検出されたイメージに基づいて、照射パワーを制御する。一般に、照射パワー減衰器102はオプションである。

【0049】

いくつかの例では、厚い半導体構造の3次元イメージが、2つの横次元（例えばウエハ表面に平行）及び深さ次元（例えばウエハ表面に鉛直）にて測定されたボリュームから生成される。図2に描かれた実施形態では、計算システム130が一つ又はそれ以上の測定チャネルから（例えば検出器115及び125の一つ又はそれ以上から）の出力を、測定ボリュームに対応するボリュームデータセットにアレンジする。

【0050】

さらなる局面では、欠陥は、ウエハ103から検出された光の分析に基づいて特定される。いくつかの実施形態では、イメージがプロットされて、結果として得られたレンダリングが、対象の欠陥を選択するオペレータによって読まれる。一つの実施形態では、検査システム100は、オペレータからの入力を受け付けるために有用な周辺装置（例えば、キーボード、マウス、タッチスクリーン、など）及び出力をオペレータに表示するために有用な周辺装置（例えばディスプレーモニタ）を含む。オペレータからの入力コマンドは、欠陥にフラグを立てるためにプロセッサ131によって使用され得る。検査されたボリュームのイメージは、ディスプレーモニタ上でグラフィック的にオペレータに提示され得

10

20

30

40

50

る。

【0051】

いくつかの実施形態では、検出器（単数又は複数）によって生成された信号は、プロセッサ 131 によってアルゴリズム的に処理され、対象の欠陥を特定及び分類する。プロセッサは、当該技術で既知の任意の適切なプロセッサを含み得る。加えて、プロセッサは、当該技術で既知の任意の適切な欠陥検出及び分類アルゴリズム又は方法を使用するよう構成され得る。例えば、プロセッサは、ダイ対データベースの比較、3 次元フィルタ、主構成要素分析又はスペクトルクラスタリングのようなクラスタリングアルゴリズム、閾値アルゴリズム、ディープラーニングアルゴリズム、あるいは、試料上の欠陥を検出及び分類するための任意の他の適切なアルゴリズムを使用し得る。

10

【0052】

他の局面において、対象欠陥の見かけの位置は、欠陥を含む厚い半導体構造の 1 つ又はそれ以上のイメージの分析に基づいて決定される。このようにして、ウエハの一つ又はそれ以上の参照形状に対する欠陥の位置（例えば、ウエハ上に位置する基準又は他の参照形状に対する欠陥の座標）が測定される。

【0053】

いくつかの例では、見かけの欠陥の位置は、欠陥の一つ又はそれ以上のイメージ内のピーク欠陥信号に基づいて決定される。他の例では、見かけの欠陥の位置は、一つ又はそれ以上の測定イメージを、検査対象になっている半導体構造の一つ又はそれ以上の参照イメージと比較することによって、決定される。

20

【0054】

見かけの欠陥位置はその後、さらなる分析（例えば、フォーカスイオンビームシステム、E B I システム、X 線ベースのシステムなどによる分析）のために、その後に欠陥を位置決めするために使用することができる。しかし、典型的にはこれは、必要であれば、ウエハ及び見かけの位置座標を分析及び材料除去のための他のツールに転送することを必要とする。ウエハ転送によって導入されるポジショニング誤差、見かけの位置座標の並進における誤差などが、典型的にはマイクロメートルのオーダのポジショニング誤差をもたらす結果となる。これは、引き続く処理のために実際の欠陥位置を正確に位置決めすることを困難にする。

【0055】

30

他の局面では、物理的マークが、検査ツール（例えば検査ツール 100）によって発見された欠陥の位置の近くに生成される。図 1 に描かれているように、ウエハ処理システム 160 は、欠陥位置の近くにおけるウエハ表面上に、物理的にマークするように構成されたマーキングツール 120 を含む。表面上のマークは、半導体製造装置にて共通して使用されるイメージングシステムに対して可視である。このようにして、埋め込まれた欠陥に関連付けられたマークが、ウエハ処理システム 170 のような他のウエハ処理システムで位置決めができる。

【0056】

一般に、物理的マークは多くの異なる方法で生成することができる。いくつかの実施形態では、マーキングツール 120 はパルスレーザを含む。レーザの波長、パワー、及びパルス継続時間が、ウエハ表面上に小さなマークを生成するように選択される。いくつかの例では、256 ナノメートル、355 ナノメートル、又は 532 ナノメートルの波長を有するパルスレーザが、ウエハの表面に効率的にマークするために利用され得る。いくつかの例では、レーザエネルギーがウエハの最上層によって吸収され、表面にマークを形成する。いくつかの他の例では、レーザエネルギーは下地の層又は基板によって吸収される。これらの例では、表面にバンプ又は他の材料の乱れが生成される。図 3 は、パルスレーザによってウエハ表面に生成された円形マーク 190A の走査電子顕微鏡（S E M）イメージ 190 を示す。このマークは直径約 750 ナノメートルである。図 4 は、図 2 に描かれた検査ツール 100 のような広帯域明視野イメージングシステムによって生成されたマーク 190A のイメージ 191 を示す。図 3 及び図 4 に描かれているように、良好に規定

40

50

されたマークがウエハ表面に生成され、このマークは、従来の電子ビームベースのイメージングシステム及び図2に描かれた検査ツール100のような広帯域明視野イメージングシステムによって見ることができる。

【0057】

いくつかの実施形態では、マーキングツール120は機械的プローブ（例えば、スタイラス、インデンター、原子間力顕微鏡（AFM）プローブ、など）を含み、これが機械的接触によってウエハ表面にマークを生成する。図5は、ダイヤモンドチップを有するコーナーキューピンデンターによって生成されたマーク192AのSEMイメージ192である。このマークは、その最大の横方向範囲が約700ナノメートルである。イメージ192に描かれているように、良好に規定された三角形形状のマークがウエハ表面に生成される。図6は、図2に描かれた検査ツール100のような広帯域明視野イメージングシステムによって生成されたマーク192Aのイメージ193を示す。図5及び6に描かれているように、良好に規定されたマークがウエハ表面に生成され、このマークは、従来の電子ビームベースのイメージングシステム及び図2に描かれた検査ツール100のような広帯域明視野イメージングシステムによって見ることができる。いくつかの他の実施形態では、約1マイクロメートルのマークを生成するために、機械的インデンターが使用され得る。一般に、マーク位置のより反復可能な測定が行われるように、マークは「×」形状又は「+」形状のような線又は形状を含むことが好ましい。10

【0058】

いくつかの実施形態では、マーキングツール120は、ウエハの表面を電子でボンバードして熱を生成するように構成された電子ビーム源を含む。いくつかの例では、電子ビームは、電子ビームの近傍で真空チャンバ内に存在する有機材料を分離させる。分離された材料は、電子ビームによってウエハ表面に運ばれて、そこで表面に吸着し、マークを離れる。他の実施形態では、ビームはウエハ表面の下方にフォーカスされて、生成された熱がウエハ表面にバンプを形成させる。20

【0059】

好適な実施形態では、マーキングツール120は、共通のウエハ処理システム160にて検査ツール100と一体化される（ウエハポジショニングシステム及び計算システムを共有）。同じウエハ処理システムが、ウエハを他のシステムに動かすことなく、埋め込まれた欠陥を発見し、ウエハをマークし、マークと埋め込まれた欠陥との間の距離を正確に推定するために使用されるので、マーキングツールを検査ツールに一体化することは有益である。そうでなければ、ウエハは、マーキングのために他のシステムに移送されなければならない、それからウエハは、埋め込まれた欠陥及びマークを再測定してその2つの間の距離を決定するために検査システムに戻されなければならない、あるいは、マーキングシステムは、埋め込まれた欠陥及びマークの位置、ならびにそれらの間の距離を決定するために適した他の検査システムを含まなければならない。30

【0060】

しかし、一般に、マーキングツール120は、ウエハ処理システム170、スタンドアローンのウエハマーキングシステム、又はその他のシステムのような、他のウエハ処理システムと一体化され得る。マーキングツール120がウエハ処理システム170と一体化されているある実施形態では、電子ビーム分析ツール142に関連した電子ビームを利用してウエハ上にマークを生成することが好ましいかもしれない。マーキングツール120がウエハ処理システム170と一体化されている他の実施形態では、材料除去ツール141を利用してウエハ上にマークを生成することが好ましいかもしれない。一つの例では、材料除去ツール141は、フォーカスイオンビームを利用して、埋め込まれた欠陥の近くでウエハの表面に効率的にマークする。他の例では、埋め込まれた欠陥の近くでウエハの表面に効率的にマークするために、フォーカスイオンビームが利用されて、ウエハ表面に少量の金属（例えば白金）が堆積される。いくつかの実施形態では、システム170は、埋め込まれた欠陥及びマークの位置、ならびにそれらの間の距離を決定するために適したマーキングツール120および検査システムを含む。しかし、このアプローチは、望まれ4050

ない追加のコスト及び複雑さを導入し得る。

【0061】

一般に、マークの物理的な形状及びサイズは、イメージの獲得、ならびに埋め込まれた欠陥に対するマークのイメージベースの位置決めを高速化する助けとなる。例えば、マークは、関連付けられた埋め込まれた欠陥に十分に接近して配置されて、マーク及び埋め込まれた欠陥の両方が材料除去ツール141と共に使用される検査システム及びイメージングシステムの視野内にあるようになるべきである。ある実施形態では、走査電子顕微鏡(SEM)が材料除去ツール141とともに使用される。いくつかの実施形態では、特定の埋め込まれた欠陥に関連した一つ又はそれ以上のマークが、埋め込まれた欠陥から5マイクロメートルの範囲内で配置される。例えば、約1マイクロメートルのマークを生成する機械的インデンターが、欠陥をマークするために使用され得る。そのような大きなマークは、埋め込まれた欠陥への外乱を避けるために、埋め込まれた欠陥から数マイクロメートル(例えば4マイクロメートル)離れて置かれるべきである。いくつかの実施形態では、一つ又はそれ以上のマークが、埋め込まれた欠陥から2マイクロメートルの範囲内に置かれる。いくつかの実施形態では、一つ又はそれ以上のマークが、埋め込まれた欠陥から1マイクロメートルの範囲内に置かれる。例えば、約100ナノメートルのマークを生成するFIBツールが、欠陥をマークするために使用され得る。そのような小さなマークは、埋め込まれた欠陥への外乱を避けるために、埋め込まれた欠陥から約1マイクロメートル又はそれ以下だけ離れて置かれるべきである。10

【0062】

マークの形状は対称的であることが好ましい(例えば「×」形状、「+」形状など)。対称的なマーク及び欠陥信号の相対的な位置は、検査ツール100の光学的なポイント広がり関数(PSF)のサイズよりも、はるかに正確に測定されることができる。典型的な光学ベースの検査システムでは、PSFは約0.5~0.75マイクロメートルである。いくつかの他の例では、光学ベースの検査システムのPSFは、利用される波長及び開口に依存して、0.3マイクロメートルほどの小ささ、あるいは1マイクロメートルほどの大きさができる。いくつかの例では、マークが約1マイクロメートルより小さいが検査ツール100のPSFよりは小さくなければ、対称的なマーク及び欠陥信号の相対的な位置は100ナノメートルよりも小さい精度で測定されることができる。いくつかの例では、対称的なマーク及び欠陥信号の相対的な位置は20ナノメートルよりも小さい精度で測定されることができる。2030

【0063】

単一のマークが特定の埋め込まれた欠陥に関連付けられ得るが、各々の埋め込まれた欠陥の近傍に、一つより多くのマークが生成されることが好ましい。いくつかの実施形態では、2つ又はそれ以上のマークが、一つの埋め込まれた欠陥に関連付けられる。いくつかの実施形態では、埋め込まれた欠陥を各マークに頂点を有する仮想の多角形が取り囲むように、3つ又はそれ以上のマークが配置される。図7Aは、機械的インデンターによって生成された4つのマーク195~198の描写を描いている。この例では、4つのマークは埋め込まれた欠陥199の周囲に箱形状に置かれていて、欠陥199は箱形状パターンのほぼ中心に位置している。40

【0064】

他の局面では、マークされたウエハは、埋め込まれた欠陥及び関連付けられたマークの両方を検出するために、検査システム100によって再測定される。イメージは、埋め込まれた欠陥及び関連付けられたマークの位置を決定し、且つそれら2つの間の距離を少なくとも2次元で推定するために、分析される。欠陥又はマークの絶対座標を高精度で決定する必要は無い。言い換えると、ウエハ基準又はその他の参照形状に対して欠陥及び関連付けられたマークを正確に位置決めする必要は無い。ウエハ基準又はその他の参照形状に対して欠陥及び関連付けられたマークを、ウエハ処理システム170上の検査システム(例えば、材料除去ツール141、欠陥検証ツール142、又はその他の検査システム)がマークを迅速に配置できるために十分なだけの精度で位置決めことだけが必要とされる。50

必要とされる精度はマイクロメートルのオーダであって、ナノメートルのオーダではない。しかし、埋め込まれた欠陥と関連付けられたマークとの間の距離は、高精度（例えば100ナノメートル未満の測定精度）で測定されるべきである。このようにして、埋め込まれた欠陥（これは見えない）は、関連付けられたマーク（これは見える）がひとたび発見されると、高精度で位置決めができる。

【0065】

いくつかの実施形態では、材料除去ツール120はフォーカスイオンビーム（FIB）加工ツールであって、これは材料を幅20ナノメートルのスライス状に除去する。相対的な位置決め精度が悪く、例えば1マイクロメートルであると、そのときには、埋め込まれた欠陥を露出するために50個のスライスが必要とされ得る。しかし、相対的な位置決め精度が良く、例えば100ナノメートルであると、そのときには、埋め込まれた欠陥を露出するために5個のスライスしか必要とされ得ない。このように、光学的検査で発見された埋め込まれた欠陥の電子ビーム分析のスループットが非常に改善される。10

【0066】

図7Aは、機械的インデンターによって生成された4つのマーク195～198の描写とともにイメージ194を描いている。加えて図7Aは、検査システム100によって推定された埋め込まれた欠陥の位置199を描いている。各マークは、イメージ194の内部に数多くの異なる方法で置かれ得る。いくつかの実施形態では、マークは手作業で、座標フレームに基づいてイメージ内に置かれ得る。これらの実施形態では、各マークのズームされたイメージが、マークの位置に関連付けられた画素を手作業で選択するオペレータに提示される。ある例では、オペレータは、イメージ上にカーソルを置いて、マークの重心又は何らかの他の視覚的に識別可能な形状に最も近いとオペレータが感じる位置にタグ付けしてもよい。20

【0067】

いくつかの実施形態では、埋め込まれた欠陥及び関連付けられたマークは、座標フレームに基づいてイメージ内に自動的に配置される。いくつかの例では、測定されたポイント広がり関数の各々が基礎関数（例えばガウス関数）にあてはめられる。あてはめられた関数の重心又はピークが、イメージフレーム内で埋め込まれた欠陥及び関連付けられたマークの位置を正確に決定するために使用される。

【0068】

埋め込まれた欠陥及び関連付けられたマークがイメージ内で正確に配置された後に、埋め込まれた欠陥と関連付けられたマークの各々との間の距離が、少なくとも2つの次元で（すなわち、少なくともイメージ平面に平行な2次元で）計算される。例えば、図7Aに描かれているように、距離 X_1 は、マーク195の重心と埋め込まれた欠陥199の重心との間のx方向での距離を表し、距離 Y_1 は、マーク195の重心と埋め込まれた欠陥199の重心との間のy方向での距離を表す。同様に、距離 X_2 及び Y_2 は、マーク196の重心と埋め込まれた欠陥199の重心との間のx方向及びy方向での距離をそれぞれ表す。距離 X_3 及び Y_3 は、マーク197の重心と埋め込まれた欠陥199の重心との間のx方向及びy方向での距離をそれぞれ表す。距離 X_4 及び Y_4 は、マーク196の重心と埋め込まれた欠陥199の重心との間のx方向及びy方向での距離をそれぞれ表す。3040

【0069】

他の局面では、ウエハ、各々の埋め込まれた欠陥と関連付けられたマークとの間の距離、ならびにマークの見かけの位置は、材料除去ツールを含むウエハ処理システムに転送される。ウエハ処理ツールは、マークの見かけの位置を使用して、ウエハ上のマークを配置する。マークを配置した後に、ウエハ処理ツールは、埋め込まれた欠陥と関連付けられたマークとの間の距離を使って、埋め込まれた欠陥を正確に位置決めする。さらなる局面では、材料除去ツールが、埋め込まれた欠陥の上方から十分な量の材料を除去して、電子ビームベースのイメージングシステムが埋め込まれた欠陥を測定することを可能にする。

【0070】

図 1 に描かれているように、ウエハ 103 はウエハ処理システム 170 に転送される。加えて、各々の埋め込まれた欠陥と関連付けられたマークとの間の距離、ならびにマークの見かけの位置を示す信号 148 が、ウエハ処理ツール 160 からウエハ処理ツール 170 に通信される。いくつかの例では、信号 148 は KLA 結果ファイル (KLA.RF ファイル) の一部として通信される。

【0071】

計算システム 143 は、制御コマンド 146 をウエハポジショニングシステム 147 に通信して、特定の埋め込まれた欠陥に関連付けられたマークがウエハ処理システム 170 の電子ビームイメージングシステムのようなイメージングシステムの視野内にあるように、ウエハ 103 を配置する。この例では、制御コマンド 146 は、ウエハ処理システム 160 から受領されたマークの見かけの位置に、少なくとも部分的に基づいている。いくつかの例では、電子ビーム分析ツール 142 は、ウエハ 103 上にマークを配置するために使われたイメージングシステムである。いくつかの他の例では、ウエハ処理システム 170 に一体化された他のイメージングシステムが、ウエハ 103 上にマークを配置するために使われる。10

【0072】

図 7B は、図 7A に描かれたマーク 195 ~ 198 のイメージ 171 を描いている。イメージ 171 は例えば、ウエハ処理システム 170 のイメージングシステムによって収集される。イメージングシステムは物理的マークをイメージングすることはできるが、埋め込まれた欠陥をイメージングすることはできないことに留意されたい。図 7A に関連して記述されたように、各マークは、イメージ 174 の内部に数多くの異なる方法で置かれ得る。いくつかの実施形態では、マークは手作業で、座標フレームに基づいてイメージ内に置かれ得る。これらの実施形態では、各マークのズームされたイメージが、マークの位置に関連付けられた画素を手作業で選択するオペレータに提示される。ある例では、オペレータは、イメージ上にカーソルを置いて、マークの重心又は何らかの他の視覚的に識別可能な形状に最も近いとオペレータが感じる位置にタグ付けしてもよい。20

【0073】

いくつかの実施形態では、マークは座標フレームに基づいてイメージ内に自動的に配置される。いくつかの例では、測定されたポイント広がり関数の各々が基礎関数（例えばガウス関数）にあてはめられる。あてはめられた関数の重心又はピークが、イメージフレーム内でマークの位置を正確に決定するために使用される。30

【0074】

マークの配置後に、計算システム 143 が、制御コマンド 149 をウエハポジショニングシステム 147 に通信して、埋め込まれた欠陥が材料除去ツール 141 の下に配置されるように、ウエハ 143 を配置する。この例では、制御コマンド 149 は少なくとも部分的に、ウエハ処理システム 160 から受領された埋め込まれた欠陥と関連付けられたマークとの間のオフセット距離に基づいている。マークが正確にイメージ 171 内に配置された後に、埋め込まれた欠陥の位置が、先に計算された各マークと埋め込まれた欠陥との間の相対的なオフセット距離（例えば、 $\{X_1, Y_1\}$ 、 $\{X_2, Y_2\}$ 、 $\{X_3, Y_3\}$ 、 $\{X_4, Y_4\}$ ）に基づいて推定される。埋め込まれた欠陥の位置の推定された X 及び Y 座標は、式 (1) によって描かれるように、各マークの X 及び Y 座標と相対的なオフセット距離との関数として計算され得る。ここで、 i は、特定の埋め込まれた欠陥に関連付けられたマークの数である。40

$$\begin{aligned} X_{Defect_i} &= X_{Mark_i} + \Delta X_i \\ Y_{Defect_i} &= Y_{Mark_i} + \Delta Y_i \end{aligned} \quad (1)$$

【0075】

埋め込まれた欠陥の推定された位置がマークごとに変わり得ることに留意されたい。例えば、図 7B に小さい円で描かれているように、各マークに関連付けられた埋め込まれた欠陥の推定された位置はわずかに異なる。埋め込まれた欠陥の単一の推定位置に到達する50

ために、推定された欠陥座標の平均が計算され得る（例えば、全ての i に対して $\text{avg}\{X_{\text{Defect}i}, Y_{\text{Defect}i}\}$ ）。前述された座標スキームは、非制約的な例として提供される。一般に、マークと埋め込まれた欠陥との間のオフセット距離を推定し且つマークの位置と関連するオフセット距離とに基づいて埋め込まれた欠陥の位置を推定するための多くの異なるスキームが、本特許文書の範囲内にあると考えられる。

【0076】

加えて、計算システム 143 は、材料除去ツール 141 が埋め込まれた欠陥の上方から十分な量の材料を除去し、電子ビーム分析ツール 142 が埋め込まれた欠陥を測定することを可能にする制御コマンド 144 を、材料除去ツール 141 に通信する。

【0077】

さらなる局面では、埋め込まれた欠陥は、埋め込まれた欠陥の上方に位置するウエハ材料が除去された後に、欠陥検証ツールによって測定される。図 1 に描かれているように、電子ビーム分析ツール 142 は埋め込まれた欠陥（これは今では電子ビームベースのツールに見える）を検査して、測定データ 145 を、保存、さらなる分析などのために計算システム 143 に通信する。

【0078】

図 1 に描かれているように、露出された欠陥は、同じウエハ処理システム内で材料除去ツールと一体化されている電子ビームベースの分析ツールによって測定される。しかし、一般には、電子ビームベースの分析ツールはスタンドアローンのツールであってもよく、あるいは他のウエハ処理システムに一体化されていてもよい。

【0079】

図 9 は、検査システムによって先に検出された埋め込まれた欠陥を正確に位置決めするために有用な例示的な方法 200 の流れ図を描いている。いくつかの非制約的な例では、図 1 を参照して記述された欠陥位置決めシステム 150 は、方法 200 を具現化するよう構成される。しかし、一般に、方法 200 の具現化は、ここに記述された特定の実施形態に限られるものではない。

【0080】

ブロック 201 にて、ウエハの表面が、ウエハに製造された垂直にスタッカされた半導体構造に埋め込まれた欠陥の近くの一つ又はそれ以上の位置で、物理的にマークされる。

【0081】

ブロック 202 にて、ある量の照射光が、ウエハに堆積された垂直にスタッカされた半導体構造にフォーカスされる。

【0082】

ブロック 203 にて、フォーカスされた照射光に応答して、垂直にスタッカされた構造から光が収集される。

【0083】

ブロック 204 にて、収集された光が検出されて、収集された光の量を示す一つ又はそれ以上の出力信号が生成される。

【0084】

ブロック 205 にて、埋め込まれた欠陥の位置が、一つ又はそれ以上の出力信号に基づいて決定される。

【0085】

ブロック 206 にて、一つ又はそれ以上の物理的マークの位置が、一つ又はそれ以上の出力信号に基づいて決定される。

【0086】

ブロック 207 にて、埋め込まれた欠陥の位置と一つ又はそれ以上の物理的マークの位置との間の距離が、ウエハ表面に対して平行な少なくとも 2 つの次元で決定される。

【0087】

一般的に、欠陥位置決めシステム 150 は、オペレータからの入力を受け付けるために有用な周辺装置（例えば、キーボード、マウス、タッチスクリーン、など）及び出力を才

10

20

30

40

50

ペレータに表示するために有用な周辺装置（例えばディスプレーモニタ）を含む。オペレータからの入力コマンドは、欠陥を位置決めするために計算システム 130 及び 143 によって使用され得る。結果として得られた欠陥位置は、ディスプレーモニタ上でグラフィック的にオペレータに提示され得る。

【0088】

図 2 に描かれているように、検査ツール 100 は、プロセッサ 131 とある量のコンピュータ読み取り可能メモリ 132 を含む。プロセッサ 131 及びメモリ 132 は、バス 133 を通して通信し得る。メモリ 132 はある量のメモリ 134 を含み、これは、プロセッサ 131 によって実行されるところで記述された欠陥検出及び位置決め機能をプロセッサ 131 に実行させるある量のプログラムコードを記憶している。同様に、計算システム 143 は、プロセッサとある量のコンピュータ読み取り可能メモリとを含む。プロセッサ及びメモリは、バスを通して通信し得る。メモリはある量のメモリを含み、これは、プロセッサによって実行されるところで記述された欠陥検出及び位置決め機能をプロセッサに実行させるある量のプログラムコードを記憶している。10

【0089】

一般に、ここで記述されたマーキング及び位置決め技法は、半導体デバイスの製造における研究開発、製造ランプ、及び多量製造フェーズの間に適用されることが可能で、且つ任意のイメージベースの測定技法に適用可能である。具体的には、これらの技法は、光学的及び X 線検査モダリティに適用され得る。いくつかの例では、ここに記述された欠陥検出及び位置決め技法は、29xx シリーズツール、39xx シリーズツール、又は 3D1 シリーズツールのような KLA テンカーコーポレーションによって製造された広帯域プラズマベースの検査ツールの任意のものを使って、具現化される。いくつかの例では、ここに記述された欠陥検出及び位置決め技法は、Puma 9xxx シリーズツールのような KLA テンカーコーポレーションによって製造されたレーザ走査ベースの検査ツールの任意のものを使って、具現化される。ここで記述されたように、マーキングツールは、検査ツールと一体化され得るか、あるいは、別個のモジュールに具現化され得る。20

【0090】

特定のタイプの製造プロセスに関わらず、欠陥は、多層スタックの全てのレベルで且つ特定のプロセスにてできるだけ初期に、検出される必要がある。ある検査の実施形態は、好みしくは、スタッカ表面を含むスタッカ全体で且つスタッカの様々な深さ全体での欠陥の検出を含む。例えば、ある実施形態は、約 3 マイクロメートルまでの深さで欠陥が発見されることを可能にする。他の実施形態では、欠陥は、約 8 マイクロメートルであるスタッカ深さで検出されることがある。検査対象になっている垂直 ONON 又は OPOP スタックは、照射光の貫通深さによって制約される。酸化物 - 窒化物 - 酸化物 - 窒化物 (ONON) 又は酸化物 - ポリシリコン - 酸化物 - ポリシリコン (OPOP) スタックは、より長波長にて吸収によって制約される。これより、より長い照射波長が、非常に深い構造を効率的に検査するために利用され得る。30

【0091】

ここで記述されたマーキング及び位置決め技法は、複雑な垂直にスタッカされた構造に適用されることが可能で、これは 3D ネガティブ - AND (NAND) ゲートメモリデバイスを含むが、これに限られるものではない。ここで記述されたマーキング及び位置決め技法は、あるタイプの垂直 NAND (VNAND) メモリ構造に適用されているが、本発明の実施形態が、テラビットセルアレイトランジスタ (TCACT)、垂直スタッカされたアレイトランジスタ (VSAT)、ピットコストスケーラブル技術 (BiCST)、パイプ化形状の BiCS 技術 (P-BiCS) などを使って形成された NAND 又は NOR メモリデバイスのような、任意の適切な 3D 又は垂直半導体構造に適用され得ることが、理解される。加えて、そのような 3D 構造を形成するために特定の製造ステップ、プロセス、及び材料が記述されているが、検査の実施形態は、結果として基板上に多層が形成される製造フローにおける任意のポイントで適用され得て、且つそのような多層は任意の数及びタイプの材料を含み得る。4050

【 0 0 9 2 】

図8は、ウエハ製造プロセスの窒化シリコン（例えばSiN又はSi₃N₄）除去ステップにおける3DのNAND構造1690を描いている。ポリシリコン構造181及び窒化チタン構造182が垂直に（例えば基板186の表面に鉛直に）多層3DのNAND構造で延在している。酸化シリコン180の層は、引き続いてエッチングによって除去される窒化シリコン183の層により、お互いに離されている。プロセスにおける次のステップは、酸化シリコンの層の間にタングステンを成長させることである。しかし、図8に描かれているように、不完全なエッチングは、窒化シリコンの欠陥184及び185を残存させる。欠陥184及び185があると、電子デバイスは機能しない。これより、この欠陥を製造プロセスのできるだけ初期に測定して、失敗する運命のデバイスの更なる処理に関連した時間及び資源のロスを防ぐことが重要である。10

【 0 0 9 3 】

様々な実施形態が、試料を検査するために使用される検査システム又はツールに対してここで記述されている。ここでは「試料」という用語は、ウエハ、レチクル、あるいは任意の他のサンプルを指すために使われており、これらは、欠陥、形状、又はその他の当該技術で既知の情報（例えば、ヘーズ量又はフィルム特性）について検査され得る。

【 0 0 9 4 】

ここで使用されているように、「ウエハ」という用語は、一般的に半導体又は非半導体の材料で形成された基板を指す。例としては、単結晶シリコン、ガリウム砒素、及びリン化インジウムが含まれるが、これらに限られるものではない。そのような基板は、半導体製造設備で共通して見出され得て、且つ／又は処理され得る。いくつかの場合には、ウエハは基板のみを含み得る（すなわちベアウエハ）。あるいは、ウエハは、基板上に形成された一つ又はそれ以上の異なる材料の層を含み得る。ウエハ上に形成された一つ又はそれ以上の層は、「パターニングされていても」よく、あるいは「パターニングされていないでも」よい。例えば、ウエハは、繰り返し可能なパターン形状を有する複数のダイを含み得る。20

【 0 0 9 5 】

「レチクル」は、レチクル製造プロセスの任意の段階におけるレチクルであり得て、あるいは、半導体製造設備における使用のために販売されたか又はされていない完成したレチクルであってもよい。レチクル又は「マスク」は一般的に、その上に形成され且つパターンに構成された実質的に不透明な領域を有する実質的に透明な基板として定義される。基板は例えば、水晶の様なガラス基板を含み得る。レチクルは、レチクル上のパターンがレジストに転写され得るように、リソグラフィステップの間にレジストで覆われたウエハの上方に配置され得る。30

【 0 0 9 6 】

一つ又はそれ以上の実施形態において、記述された機能は、ハードウェア、ソフトウェア、又はそれらの任意の組み合わせにて具現化され得る。ソフトウェアで具現化されるならば、機能は、コンピュータ読み取り可能媒体の上の一つ又はそれ以上の指令又はコードとして、記憶又は伝送され得る。コンピュータ読み取り可能媒体は、コンピュータ記憶媒体及び通信媒体の両方を含み、これは、ある場所から他の場所へのコンピュータプログラムの転送を容易にする任意の媒体を含む。記憶媒体は、汎用又は特定用途コンピュータによってアクセスされることができる任意の利用可能な媒体を含み得る。限定ではなく例として、そのようなコンピュータ読み取り可能媒体は、RAM、ROM、EEPROM、CD-ROM、又はその他の光ディスクストレージ、磁気ディスクストレージ又はその他の磁気記憶デバイス、あるいは、指令又はデータ構造の形態で所望のプログラムコード手段を持ち運び又は記憶するために使用されることが可能で、且つ汎用又は特定用途コンピュータ、あるいは汎用又は特定用途プロセッサによってアクセスされることがある任意の他の媒体を含む。また、任意の接続は、コンピュータ読み取り媒体と適切に表現される。例えば、ソフトウェアがウェブサイト、サーバ、又はその他のリモートソースから、同軸ケーブル、光ファイバケーブル、ツイスト対、デジタル加入者線(DSL)、あるいは赤外線4050

、無線、又はマイクロ波のようなワイヤレス技術を使って転送されると、そのときには、同軸ケーブル、光ファイバケーブル、ツイスト対、D S L、あるいは赤外線、無線、又はマイクロ波のようなワイヤレス技術は、媒体の定義に含まれる。ここで使用されているディスク(disk又はdisc)は、コンパクトディスク(C D)、レーザディスク、光ディスク、デジタル・バーサタイル・ディスク(D V D)、フロッピーディスク、及びブルーレイディスクを含み、diskでは通常はデータを磁気的に再生する一方で、discはレーザを使ってデータを光学的に再生する。上記の組み合わせもまた、コンピュータ読み取り可能媒体の範囲内に含まれるべきである。

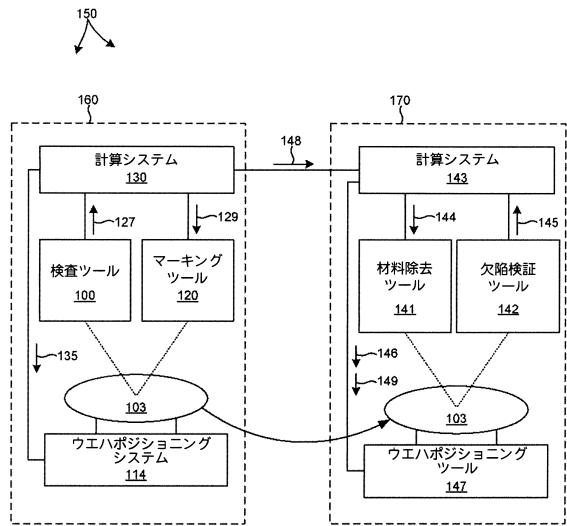
【0097】

上記では、ある特定の実施形態が説明的な目的のために記述されてきたが、本特許の技法は一般的な適用可能性を有しており、上記で記述された特定の実施形態には限定されない。一つの例では、検出器はファイバアレイを含み得る。一つの例では、検査システム100は一つより多くの光源(図示されていない)を含み得る。光源は、異なるようにも又は同じにも構成され得る。例えば、光源は、同じ又は異なる照射面積で、同じ又は異なる入射角度で、同時に又は異なるタイミングで、ウエハに向けられることができ異なる特性を有する光を生成するように、構成され得る。光源は、ここに記述された実施形態のいずれかにしたがって構成され得る。加えて、光源の一つがここに記述された実施形態のいずれかにしたがって構成され、他の光源が当該技術で既知の任意の他の光源であっても良い。いくつかの実施形態では、検査システムはウエハを、一つより多い照射エリアで同時に照射し得る。複数の照射エリアは空間的に重なり得る。複数の照射エリアは空間的に別個であり得る。いくつかの実施形態では、検査システムはウエハを、一つより多い照射エリアで異なるタイミングで照射し得る。異なる照射エリアは時間的に重なり得る(すなわち、いくらかの時間期間には同時に照射される)。複数の照射エリアは時間的に別個であり得る。一般に、照射エリアの数は任意であり得て、各照射エリアは、サイズ、方向、及び入射角度が等しくてもよく、異なっていてもよい。さらに他の例では、検査システム100は、ウエハ103の任意の動きから独立して走査する一つ又はそれ以上の照射エリアを有する走査スポットシステムであり得る。いくつかの実施形態では、照射エリアは、走査線に沿って繰り返されたパターンで走査するように形成される。走査線はウエハ103の走査モーションに沿っていても、いなくてもよい。ここではウエハ位置決めシステム114が、協調された回転及び並進運動によってウエハ103の動きを生成すると記述されているが、さらに他の例では、ウエハ位置決めシステム114は、協調された2つの並進運動によってウエハ103の動きを生成してもよい。例えば、ウエハ位置決めシステム114は、2つの直交する直線軸に沿った動き(例えばX-Yの動き)を生成し得る。そのような実施形態では、走査間隔は、いずれかの動き軸に沿った隣接する並進走査の間の距離として規定され得る。

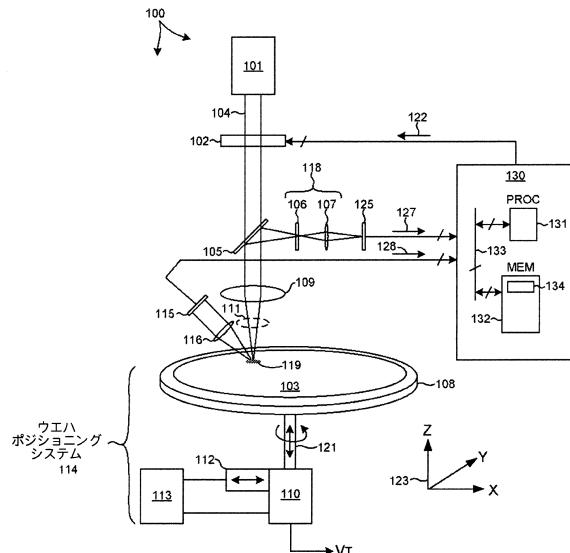
【0098】

したがって、特許請求項に規定された本発明の範囲から逸脱すること無く、記述された実施形態の様々な特徴の様々な改変、適合、及び組み合わせが実行されることができる。

【図1】



【図2】



【図3】

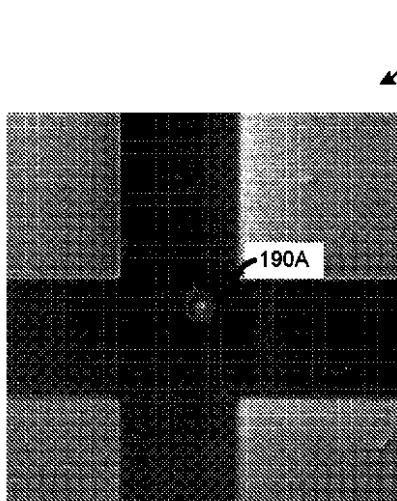


FIG. 3

【図4】

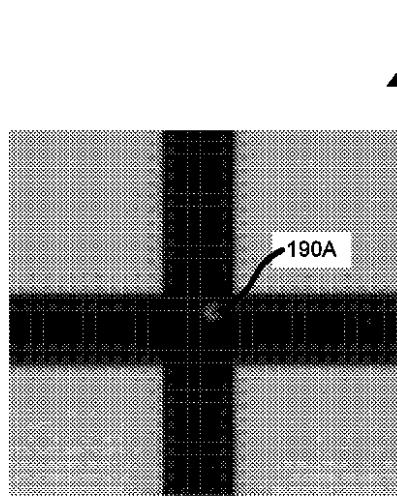


FIG. 4

【図5】

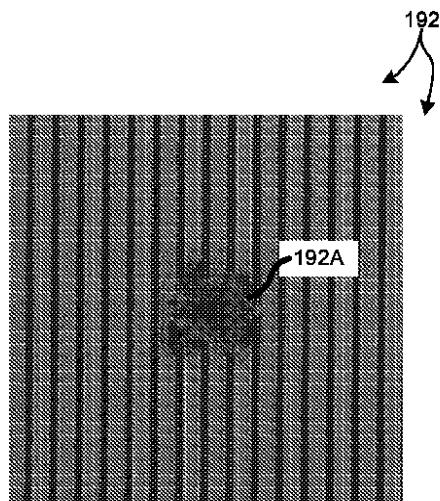


FIG. 5

【図6】

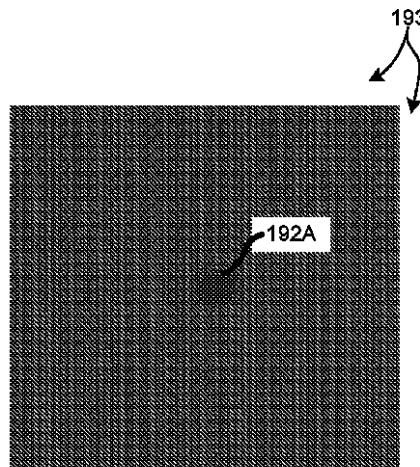


FIG. 6

【図7A】

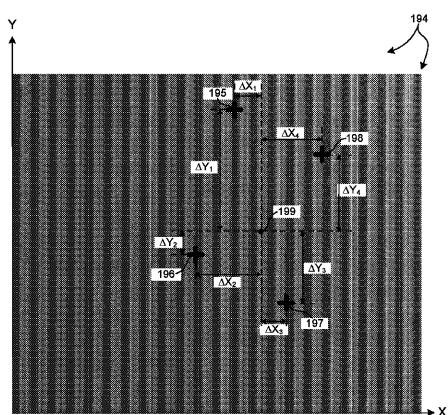


FIG. 7A

【図7B】

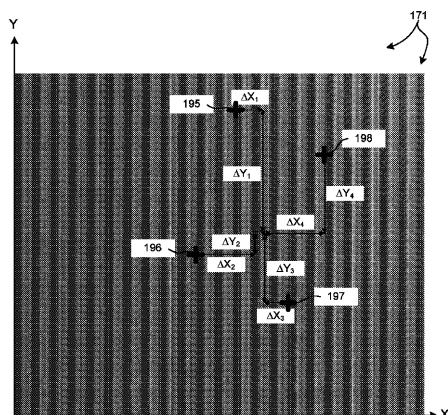


FIG. 7B

【図8】

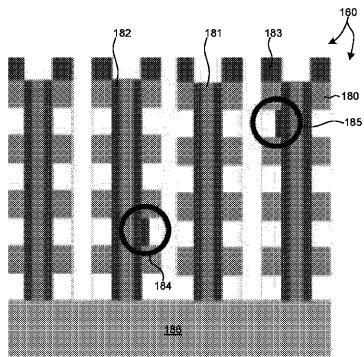
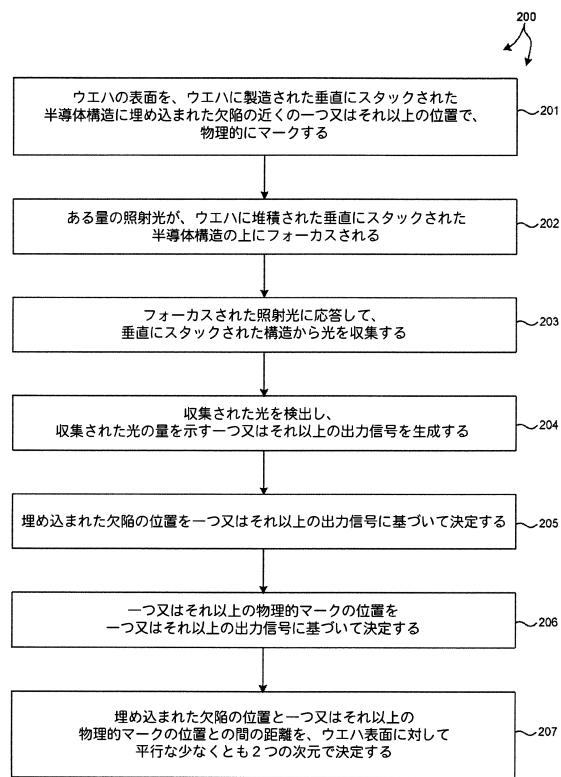


FIG. 8

【図9】



フロントページの続き

早期審査対象出願

(72)発明者 ウエイ ジュンウェイ

アメリカ合衆国 カリフォルニア ミルピタス サウス アベル ストリート 1102 ユニット
236

(72)発明者 カップ ダニエル

アメリカ合衆国 カリフォルニア プレザントン グリーンウッド ロード 1921

(72)発明者 アムスデン チャールズ

アメリカ合衆国 カリフォルニア フレモント デニング テラス 37139 アパートメント
398

審査官 堀江 義隆

(56)参考文献 特開2011-258683(JP,A)

特開平11-204384(JP,A)

特開2002-340990(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/66

G01N 21/956