

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6652511号
(P6652511)

(45) 発行日 令和2年2月26日 (2020.2.26)

(24) 登録日 令和2年1月27日 (2020.1.27)

(51) Int. Cl.

F I

GO 1 N 21/956 (2006.01)

GO 1 N 21/956 A

HO 1 L 21/66 (2006.01)

HO 1 L 21/66 J

GO 1 B 11/30 (2006.01)

GO 1 B 11/30 A

請求項の数 40 (全 28 頁)

(21) 出願番号 特願2016-575210 (P2016-575210)
 (86) (22) 出願日 平成27年6月26日 (2015.6.26)
 (65) 公表番号 特表2017-527780 (P2017-527780A)
 (43) 公表日 平成29年9月21日 (2017.9.21)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2015/038115
 (87) 国際公開番号 W02015/200856
 (87) 国際公開日 平成27年12月30日 (2015.12.30)
 審査請求日 平成30年6月18日 (2018.6.18)
 (31) 優先権主張番号 62/017,264
 (32) 優先日 平成26年6月26日 (2014.6.26)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関
 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 62/111,402
 (32) 優先日 平成27年2月3日 (2015.2.3)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関
 米国 (US)

(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
 (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 コルチン パヴェル
 アメリカ合衆国 カリフォルニア フリー
 モント チェリー グレン 38882
 (72) 発明者 ハウリラウ ミハイル
 アメリカ合衆国 カリフォルニア サン
 ノゼ デルマズ アヴェニュー 931

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ウェハ検査中に集光アパーチャ内に位置付けられる光学要素の構成の決定

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ウェハ検査中に集光アパーチャ内に位置付けられる光学要素の構成を決定するように構成されるシステムにおいて、

ウェハへと誘導される光を発生するように構成された光源と、

集光瞳面に位置付けられた光学要素であって、集光アパーチャの集合を含み、光学要素は異なる構成を有し、異なる構成の少なくとも1つは集合内の1つの集光アパーチャだけを含み、異なる構成の少なくとも別の1つは集合内の集光アパーチャの2つを含んでいる光学要素と、

ウェハから光学要素を通過した光を検出し、それによって異なる構成に関する異なる画像を生成するように構成された検出器と、

コンピュータサブシステムであって、

異なる画像の2つ又はそれ以上から1つ又は複数の追加の画像を構成し、1つ又は複数の追加の画像の何れか1つを生成するために使用される2つ又はそれ以上の異なる画像は、集合内の1つの集光アパーチャに関して生成された異なる画像と、集合内の2つの集光アパーチャに関して生成された異なる画像との両方を含み、

異なる画像と1つ又は複数の追加の画像の1つ又は複数の特性を測定し、

異なる画像と1つ又は複数の追加の画像の1つ又は複数の特性を比較し、

比較ステップの結果に基づいて、ウェハの検査のための光学要素の異なる、又は追加の構成の1つを選択する

10

20

ように構成されたコンピュータサブシステムと、
を含むことを特徴とするシステム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のシステムにおいて、

集光アパーチャは 3 つ又はそれ以上のスロットを含み、3 つ又はそれ以上のスロットの各々は、第一の次元において集光瞳面の全体にわたって延び、集光アパーチャの集合は、第一の次元に垂直な第二の次元において集光瞳面の全体にわたって延びることを特徴とするシステム。

【請求項 3】

請求項 1 に記載のシステムにおいて、

集光アパーチャは、スロットの 2 つ又はそれ以上の集合を含み、2 つ又はそれ以上の集合の各々の中のスロットは、第一の次元において集光瞳面の一部のみにわたって延び、スロットの 2 つ又はそれ以上の集合の各々は、第一の次元に垂直な第二の次元において集光瞳面の全体にわたって延びることを特徴とするシステム。

【請求項 4】

請求項 1 に記載のシステムにおいて、

光源により発生された光はインコヒーレント光であることを特徴とするシステム。

【請求項 5】

請求項 1 に記載のシステムにおいて、

光源により発生された光はコヒーレント光であることを特徴とするシステム。

【請求項 6】

請求項 1 に記載のシステムにおいて、

前記選択するステップは、異なる、又は追加の構成のうち、ウェハ上での関心対象の欠陥の検出を最大化するための 1 つ又は複数の特性の最善の数値を得た 1 つを選択するステップを含むことを特徴とするシステム。

【請求項 7】

請求項 1 に記載のシステムにおいて、

前記選択するステップは、異なる、又は追加の構成のうち、ウェハ上のニュイサンス欠陥の検出を最小化するための 1 つ又は複数の特性の最善の数値を得た 1 つを選択するステップを含むことを特徴とするシステム。

【請求項 8】

請求項 1 に記載のシステムにおいて、

集光アパーチャは、光学要素の 1 つ又は複数の部分を集光瞳面の外に移動させることによって、光学要素内に作ることのできる開口であることを特徴とするシステム。

【請求項 9】

請求項 1 に記載のシステムにおいて、

集光アパーチャは、光学要素の 1 つ又は複数の部分を集光瞳面の中へと移動させることによって、光学要素内に作ることのできる光遮断領域であることを特徴とするシステム。

【請求項 10】

請求項 1 に記載のシステムにおいて、

集光アパーチャの集合は、集光アパーチャの規則的アレイを含むことを特徴とするシステム。

【請求項 11】

請求項 1 に記載のシステムにおいて、

ウェハ上の欠陥の所定の位置に関して異なる画像がさらに生成されることを特徴とするシステム。

【請求項 12】

請求項 1 に記載のシステムにおいて、

システムの光源、検出器、及び他の何れかの光学要素に関する所定のパラメータで異なる画像がさらに生成されることを特徴とするシステム。

10

20

30

40

50

【請求項 13】

請求項 1 に記載のシステムにおいて、

システムの光源、検出、及び他の何れかの光学要素のうちの少なくとも 1 つの異なるパラメータで異なる画像がさらに生成され、それによって異なる構成と異なるパラメータに関する異なる画像が生成され、前記選択するステップは、前記比較するステップの結果に基づいて、光学要素の異なる、又は追加の構成のうちの 1 つと、ウェハの検査のための異なるパラメータの 1 つ又は複数との 1 つの組合せを選択するステップを含むことを特徴とするシステム。

【請求項 14】

請求項 1 に記載のシステムにおいて、

異なる構成は、集合内の集光アパーチャの考え得る組合せをさらに含むことを特徴とするシステム。

【請求項 15】

請求項 1 に記載のシステムにおいて、

コンピュータサブシステムはさらに、異なる画像に基づいてウェハから異なる方向に散乱した光間の位相シフトを測定し、測定された位相シフトに基づいて、ウェハの検査中にシステムで使用するための位相コントラストフィルタの 1 つ又は複数のパラメータを決定するように構成されることを特徴とするシステム。

【請求項 16】

請求項 1 に記載のシステムにおいて、

システムはさらに、正方形のアパーチャを集光瞳面でステップ式に移動させることによって、光学要素に異なる構成を持たせるように構成されることを特徴とするシステム。

【請求項 17】

請求項 1 に記載のシステムにおいて、

発生され、ウェハへと誘導される光の経路内に位置付けられた照明アパーチャをさらに含み、照明アパーチャに関する異なるパラメータで異なる画像がさらに生成されることを特徴とするシステム。

【請求項 18】

請求項 17 に記載のシステムにおいて、

光学要素の異なる構成が、照明アパーチャの異なるパラメータに基づいて決定され、それによって照明アパーチャの異なるパラメータでのウェハの照明によるウェハからの鏡面反射光が遮断されるようにすることを特徴とするシステム。

【請求項 19】

請求項 18 に記載のシステムにおいて、

光学要素の異なる構成が、照明アパーチャの異なるパラメータに基づいて決定され、それによって照明アパーチャの異なるパラメータでのウェハの照明によるウェハからの回折光が遮断されるようにすることを特徴とするシステム。

【請求項 20】

請求項 18 に記載のシステムにおいて、

照明アパーチャが照明アパーチャの異なるパラメータの 1 つの集合を有し、異なる画像が光学要素の異なる構成でさらに生成されることを特徴とするシステム。

【請求項 21】

請求項 1 に記載のシステムにおいて、

生成され、ウェハへと誘導される光の経路内に位置付けられた照明アパーチャをさらに含み、正方形のアパーチャの開口を照明瞳面でステップ式に移動させることによって、照明アパーチャの異なるパラメータで異なる画像がさらに生成されることを特徴とするシステム。

【請求項 22】

請求項 21 に記載のシステムにおいて、

光学要素の異なる構成は、正方形のアパーチャの開口を照明瞳面でステップ式に移動さ

10

20

30

40

50

せることに基づいて、１つの光遮断要素を集光瞳面でステップ式に移動させ、それにより照明アパーチャの異なるパラメータでのウェハの照明によるウェハからの鏡面反射を遮断することによって作られることを特徴とするシステム。

【請求項 2 3】

請求項 2 2 に記載のシステムにおいて、

光学要素の異なる構成は、正方形のアパーチャの開口を照明瞳面でステップ式に移動させることに基づいて、１つ又は複数の追加の光遮断要素を集光瞳面に設置し、それにより照明アパーチャの異なるパラメータでのウェハの照明によるウェハからの回折光を遮断することによって作られることを特徴とするシステム。

【請求項 2 4】

請求項 2 2 に記載のシステムにおいて、

照明アパーチャは、照明アパーチャの異なるパラメータの１つの集合を有し、１つ又は複数の追加の光遮断要素を集光瞳面でステップ式に移動させることによって、光学要素の異なる構成で異なる画像がさらに生成されることを特徴とするシステム。

【請求項 2 5】

請求項 1 に記載のシステムにおいて、

集光アパーチャの集合は、個別のアパーチャの標準的集合を含むことを特徴とするシステム。

【請求項 2 6】

請求項 1 に記載のシステムにおいて、

光学要素の異なる構成は、光学要素がウェハ検査中にフーリエフィルタ処理を行う場合に、デカルト座標系で決定されることを特徴とするシステム。

【請求項 2 7】

請求項 1 に記載のシステムにおいて、

光学要素の異なる構成は、コンピュータサブシステムがさらに、異なる画像内で欠陥散乱をマッピングするように構成されている場合に、極座標系で決定されることを特徴とするシステム。

【請求項 2 8】

請求項 1 に記載のシステムにおいて、

光学要素の異なる構成は、集光瞳面内の開口の異なる位置に対応することを特徴とするシステム。

【請求項 2 9】

請求項 1 に記載のシステムにおいて、

光学要素の異なる構成は、集光瞳面内の開口の異なる大きさに対応することを特徴とするシステム。

【請求項 3 0】

請求項 1 に記載のシステムにおいて、

光学要素の異なる構成は、集光瞳面内の光遮断要素の異なる位置に対応することを特徴とするシステム。

【請求項 3 1】

請求項 1 に記載のシステムにおいて、

光学要素の異なる構成は、集光瞳面内の光遮断要素の異なる大きさに対応することを特徴とするシステム。

【請求項 3 2】

ウェハ検査中に集光アパーチャ内に位置付けられる光学要素の構成を決定するコンピュータ実装方法を実行するための、コンピュータシステム上で実行可能なプログラム命令を記憶する非一時的コンピュータ読取可能媒体において、コンピュータ実装方法は、

あるウェハに関する異なる画像を取得するステップであって、異なる画像は、

光源から発生された光をウェハへと誘導し、

光学要素が異なる構成を有し、ウェハから光学要素を通過した光を検出し、それによ

10

20

30

40

50

って異なる構成に関する異なる画像を生成し、光学要素は集光瞳面内に位置付けられ、光学要素が集光アパーチャの集合を含み、異なる構成の少なくとも1つが集合内の1つのみの集光アパーチャを含み、異なる構成の少なくとも別の1つが集合内の集光アパーチャの2つを含むようにする

ことによって生成される、ステップと、

異なる画像の2つ又はそれ以上から1つ又は複数の追加の画像を構成するステップであって、2つ又は複数の追加の画像の何れか1つを生成するために使用された2つ又は複数の画像は、集合内の1つの集光アパーチャに関して生成された異なる画像と、集合内の2つの集光アパーチャに関して生成された異なる画像との両方を含む、ステップと、

異なる画像と1つ又は複数の追加の画像の1つ又は複数の特性を測定するステップと、
異なる画像と1つ又は複数の追加の画像の1つ又は複数の特性を比較するステップと、
ウェハの検査のための光学要素の異なる又は追加の構成のうちの1つを、前記比較するステップの結果に基づいて選択するステップと、
を含むことを特徴とする非一時的コンピュータ読取可能媒体。

【請求項33】

ウェハ検査中に集光アパーチャ内に位置付けられる光学要素の構成を決定する方法において、

光源から発生された光をウェハへと誘導し、

光学要素が異なる構成を有し、ウェハから光学要素を通過した光を検出し、それによって異なる構成に関する異なる画像を生成し、光学要素は集光瞳面内に位置付けられ、光学要素が集光アパーチャの集合を含み、異なる構成の少なくとも1つが集合内の1つのみの集光アパーチャを含み、異なる構成の少なくとも別の1つが集合内の集光アパーチャの2つを含むようにするステップと、

異なる画像の2つ又はそれ以上から1つ又は複数の追加の画像を構成するステップであって、2つ又は複数の追加の画像の何れか1つを生成するために使用された2つ又は複数の画像は、集合内の1つの集光アパーチャに関して生成された異なる画像と、集合内の2つの集光アパーチャに関して生成された異なる画像との両方を含む、ステップと、

異なる画像と1つ又は複数の追加の画像の1つ又は複数の特性を測定するステップと、
異なる画像と1つ又は複数の追加の画像の1つ又は複数の特性を比較するステップと、
ウェハの検査のための光学要素の異なる又は追加の構成のうちの1つを、前記比較するステップの結果に基づいて選択するステップと、
を含む、前記構成するステップ、前記測定するステップ、前記比較するステップ、及び前記選択するステップがコンピュータシステムによって実行される
ことを特徴とする方法。

【請求項34】

請求項1に記載のシステムにおいて、

光源は、広帯域光源を含むことを特徴とするシステム。

【請求項35】

請求項1に記載のシステムにおいて、

光源は、レーザを含むことを特徴とするシステム。

【請求項36】

請求項1に記載のシステムにおいて、

検出される光は、散乱光を含むことを特徴とするシステム。

【請求項37】

請求項1に記載のシステムにおいて、

検出される光は、反射光を含むことを特徴とするシステム。

【請求項38】

請求項1に記載のシステムにおいて、

検出器はさらに、暗視野モードで光を検出するように構成されることを特徴とするシステム。

10

20

30

40

50

【請求項 39】

請求項 1 に記載のシステムにおいて、
異なる画像は、暗視野画像を含むことを特徴とするシステム。

【請求項 40】

請求項 1 に記載のシステムにおいて、
異なる画像は、明視野画像を含むことを特徴とするシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は一般に、ウェハ検査中に集光アパーチャ内に位置付けられる光学要素の構成を決定するための方法とシステムに関する。本発明はまた、ウェハ検査中に照明アパーチャ内に位置付けられる相補的光学要素の構成を決定することも含んでいてよい。

10

【背景技術】

【0002】

以下の説明と例は、この項に含められているからといって、先行技術であると認められるわけではない。

【0003】

検査工程は半導体製造工程中の様々な段階で、ウェハの欠陥を検出し、製造工程の歩留まり向上及び利益増大を促進するために使用される。検査はこれまでも、常に半導体装置製造の重要な部分を占めてきた。しかしながら、半導体装置の寸法の縮小に伴い、受け入れられる半導体装置の製造を成功させるために、検査はさらにその重要性を増しており、これはより微細な欠陥が装置の故障の原因となり得るからである。

20

【0004】

多くの検査ツールが、ツールの光学要素の多くに関する調整可能なパラメータを有する。このように、1つ又は複数の光学要素（例えば、光源、偏光板、レンズ、検出器、及びその他）のパラメータを、検査対象のウェハの種類とウェハ上の関心対象の欠陥（*defects of interest*）（DOI）の特性に応じて変化させることができる。例えば、種類の異なるウェハは、その特性も大きく異なることがあり、その結果、同じパラメータを有する同じツールでも、得られるウェハの画像は全く違っている可能性がある。これに加えて、種類の異なるDOIも、その特性は大きく異なるため、1つの種類のDOIの検出に適した検査システムのパラメータは、他の種類のDOIの検出には適していないかもしれない。さらに、種類の異なるウェハには異なるノイズ源があり得、それがウェハ上のDOIの検出を異なる方法で妨害する可能性がある。

30

【0005】

ウェハ検査ツールに多数の調整可能なパラメータがあることは、ウェハ検査ツールを様々な種類のウェハとDOIの検査に使用できる点では有利であるが、ウェハ検査レシピの設定時に、様々なパラメータ値の実質的な数の種類の組合せ（「モード」とも呼ばれる）を検討する必要がある（又は考慮するべきである）ことを意味する。例えば、検査レシピ用として、検査システム上で利用可能な最良のモードが確実に選択されるようにするには、かなりの数のモードを検討するべきである。そうでないと、最善のモードが評価され、その後選択される可能性が比較的低くなるかもしれない。

40

【0006】

したがって、ウェハ検査に適した検査工程レシピの設定は重要な工程であり、これは、検査対象のウェハの種類ごとに繰り返さなければならないことが多い。そのため、ウェハ検査レシピを設定するための様々な方法とシステムが、レシピ設定を容易にし、効率化するために開発されてきた。しかしながら、ウェハ検査レシピ設定のためのすべての方法とシステムを、あらゆる種類の照明及び/又はあらゆる種類の検査システムに使用できるわけではない。例えば、コヒーレント光を利用するウェハ検査レシピの設定のために考案されたシステムと方法は、必ずしもインコヒーレント光を利用するウェハ検査レシピの設定に適しているとは限らない。それに加えて、1つの種類の照明（例えば、インコヒーレン

50

ト光)での照明を最適化するためのウェハ検査レシピが、必ずしも同じ種類の光での集光/検出を最適化するのに適しているとは限らない。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】米国特許第7345754号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

上述の欠点の1つ又は複数を持たない、ウェハ検査中に集光アパーチャ内に位置付けられる光学要素の構成を決定する方法とシステムを開発することが有利であろう。

10

【課題を解決するための手段】

【0009】

各種の実施形態の以下の説明は、付属の特許請求の範囲の主旨を一切限定しないと解釈するものとする。

【0010】

1つの実施形態は、ウェハ検査中に集光アパーチャ内に位置付けられる光学要素の構成を決定するように構成されるシステムに関する。このシステムは、ウェハへと誘導される光を発生するように構成された光源を含む。システムはまた、集光瞳面に位置付けられる光学要素も含む。光学要素は、集光アパーチャの集合を含む。これに加えて、システムは、光学要素が異なる構成を有する時に、ウェハから光学要素を通過した光を検出し、それによって異なる構成に関する異なる画像を生成するように構成された検出器を含む。異なる構成の少なくとも1つは、集合内の1つの集光アパーチャだけを含み、異なる構成の少なくとも別の1つは、集合内の集光アパーチャの2つを含む。

20

【0011】

システムは、異なる画像の2つ又はそれ以上から1つ又は複数の追加の画像を構成するように構成されたコンピュータサブシステムをさらに含む。1つ又は複数の追加の画像の何れか1つを生成するために使用される2つ又はそれ以上の異なる画像は、集合内の1つの集光アパーチャに関して生成された異なる画像だけを含んでいるわけではない。コンピュータサブシステムは、異なる画像と1つ又は複数の追加の画像の1つ又は複数の特性を測定し、異なる画像と1つ又は複数の追加の画像の1つ又は複数の特性を比較し、比較ステップの結果に基づいて、ウェハの検査のための光学要素の異なる、又は追加の構成の1つを選択するように構成される。システムはさらに、本明細書に記載されているように構成されてもよい。

30

【0012】

他の実施形態は、ウェハ検査中に集光アパーチャ内に位置付けられる光学要素の構成を決定するコンピュータ実装方法を実行するための、コンピュータシステム上で実行可能なプログラム命令を記憶する非一時的コンピュータ読取可能媒体に関する。コンピュータ実装方法は、あるウェハに関する異なる画像を取得するステップを含む。異なる画像は、光源から発生された光をウェハへと誘導し、光学要素が異なる構成を有する時に、ウェハから光学要素を通過した光を検出し、それによって異なる構成に関する異なる画像を生成することによって生成される。光学要素と異なる構成は、上述のように構成される。コンピュータ実装方法はまた、上述のシステムのコンピュータサブシステムによって実行される構成するステップ、決定するステップ、比較するステップ、及び選択するステップも含む。コンピュータ読取可能媒体はさらに、本明細書に記載されているように構成されてもよい。コンピュータ実装方法のステップは、本明細書にさらに記載されているように実行されてもよい。これに加えて、そのためにプログラム命令が実行可能なコンピュータ実装方法は、本明細書に記載されている他の何れの方法の他の何れのステップを含んでもよい。

40

【0013】

50

他の実施形態は、ウェハ検査中に集光アパーチャ内に位置付けられる光学要素の構成を決定する方法に関する。方法は、異なる画像を生成するために上述のように実行される誘導するステップ及び検出するステップを含む。方法はまた、上述のシステムのコンピュータサブシステムにより実行される、構成するステップ、決定するステップ、比較するステップ、及び選択するステップも含み、これらは方法の中でコンピュータシステムによって実行される。

【0014】

上述の方法のステップの各々は、本明細書にさらに記載されるように実行されてもよい。上述の方法は、本明細書に記載されている他の何れの方法の他の何れのステップを含んでいてもよい。上述の方法は、本明細書に記載されているシステムの何れを使って実行されてもよい。

10

【0015】

本発明の他の目的と利点は、以下の詳細な説明を読み、下記のような添付の図面を参照すれば明らかとなるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】本明細書に記載されているように構成されたシステムの1つの実施形態の側面図を示す概略図である。

【図2】集光アパーチャの集合を含む光学要素の実施形態の平面図を示す概略図である。

【図3】集光アパーチャの集合を含む光学要素の実施形態の平面図を示す概略図である。

20

【図4】図2に示される光学要素の異なる構成の実施形態の平面図と、異なる構成を使って生成可能な異なる画像の例を示す概略図である。

【図5】図4に示される異なる構成の1つの実施形態の側面図と、このような光学要素の構成を通過する光がどのように像面での干渉の原因となりうるかを示す概略図である。

【図6】図2に示される光学要素の異なる構成の実施形態の平面図を示す概略図である。

【図7】図2に示される光学要素の異なる構成の実施形態の平面図を示す概略図である。

【図8】照明アパーチャの実施形態と、その照明アパーチャの実施形態に関する集光瞳面に位置付けることのできる光学要素の平面図を示す概略図である。

【図9】照明アパーチャの実施形態と、その照明アパーチャの実施形態に関する集光瞳面に位置付けることのできる光学要素の平面図を示す概略図である。

30

【図10】光学要素ための設定に含めることのできる個別のアパーチャの標準的集合の実施形態の平面図を示す概略図である。

【図11】本明細書に記載されているコンピュータ実装方法の実施形態の1つ又は複数を実行するための、コンピュータシステム上で実行可能なプログラム命令を含む非一時的コンピュータ読取可能媒体の1つの実施形態を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

本発明には、様々な改良と代替的形態があり得るが、その具体的な実施形態を図中に例として示し、本明細書中で詳しく説明する。しかしながら、理解すべき点として、図面とそれに関する詳細な説明は、本発明を開示されている特定の形態に限定しようとするものではなく、その反対に、付属の特許請求の範囲により定義される本発明の主題と範囲に含まれるすべての改良、均等物、及び代替案を含むことが意図される。

40

【0018】

ここで、図を参照すると、図面は正確な縮尺で描かれていないことがわかる。特に、図の要素のいくつかの縮尺は、その要素の特徴を強調するために大きく誇張されている。また、図は同じ縮尺で描かれていないこともわかる。複数の図面に示されている、同様に構成されうる要素は、同じ参照番号で示されている。明細書中で別段のことわりがない限り、説明され、示されている要素の何れも、何れの適当な市販の要素も含んでいてよい。

【0019】

1つの実施形態は、ウェハ検査中に集光アパーチャ内に位置付けられる光学素子の構成

50

を決定するように構成されるシステムに関する。本明細書でさらに詳しく説明するように、実施形態は、集光アパーチャとモードを最適化し、それによって欠陥検出を向上させるための画像再構成に使用できる。例えば、本明細書でさらに説明するように、実施形態は、検査システムの集光瞳面内に設置される集光ブロッキング又は位相コントラストアパーチャの最適な構成を見つけることにより、欠陥検出を向上させ、最適化するシステムと方法を提供する。より高感度化できるアパーチャの構成（例えば、形状）が本明細書に記載されている実施形態によって得られる成果であってもよく、これは、本明細書でさらに説明するように実行されてもよい画像再編成を含んでいてもよい。実施形態はまた、関心対象の欠陥（defects of interest）（DOI）の検出率を向上させ、及び／又は同時にニュイサンスイベントの検出率を低下させるためにも使用できる。これに加えて、ウェハ検出のための欠陥及びノイズの散乱パターンを測定するシステムと方法を提供する。

10

【0020】

システムは、ウェハへと誘導される光を発生するように構成された光源を含む。例えば、図1に示されるシステムの実施形態において、システムは光源100を含む。1つの実施形態において、光源により発生された光はインコヒーレント光である。光源100はインコヒーレント光源であってもよく、これは当業界で知られている何れのそのような適当な光源を含んでいてもよい。1つの例において、光源は、1つ又は複数の波長の光を発生するように構成された広帯域プラズマ（broadband plasma）（BBP）光源であってもよい。

20

【0021】

図1に示されるように、光源からの光は、光源からシステムの1つ又は複数のその他の要素に光を誘導するように構成されたレンズ102へと誘導されてもよい。レンズ102は、図1では1枚の屈折光学要素として示されているが、レンズ102は実際には、1つ又は複数の屈折光学要素及び／又は1つ又は複数の反射光学要素であってもよい。レンズは、当業界で知られている何れの適当なレンズ（複数の場合もある）を含んでいてもよい。

【0022】

1つの実施形態において、システムは、発生されてウェハへと誘導される光の経路内に位置付けられた照明アパーチャを含む。例えば、図1に示されているように、システムは照明アパーチャ104を含んでいてもよく、これは、例えば開口又は光遮断要素であってもよい多数の要素106を含んでいてもよい。照明アパーチャは、照明フーリエ面108内に位置付けられてもよい。

30

【0023】

広帯域インコヒーレント光源のための照明アパーチャを最適化するための方法とシステムは、2014年12月4日に公開されたKolchinらの米国特許出願公開第2014/0354983号に記載されており、同出願を全文が本明細書に記載されているかのように援用する。本明細書に記載の実施形態は、同公報に記載されているようにさらに構成されてもよい。このように、本明細書に記載されている実施形態で使用される照明アパーチャの構成は、同公報に記載されているように決定されてもよい。上述の公開公報は、照明アパーチャを最適化する方法とシステムを説明しているが、集光光路のアパーチャ形状を最適化するための体系的な方法はこれまでにまったく確立されていない。そのため、本明細書中でさらに記載されている集光アパーチャの最適化を当該の公開公報に記載されている照明アパーチャの最適化方法と組み合わせて、集光アパーチャと照明アパーチャの両方を同時に最適化する厳密な方法を構成できる。

40

【0024】

照明アパーチャからの光は、システムの1つ又は複数の追加の光学要素によってウェハへと誘導されてもよい。例えば、図1に示されるように、システムはビームスプリッタ108を含んでいてもよく、これは、照明アパーチャ104からの光を対物レンズ110へと誘導するように構成される。ビームスプリッタ108は、例えば50/50ビームスプリ

50

リッタ等、当業界で知られている何れの適当なビームスプリッタを含んでいてもよい。対物レンズ110は、当業界で知られている何れの適当な屈折及び/又は反射光学要素を含んでいてもよい。対物レンズ110は、照明アパーチャ及び対物レンズの1つ又は複数のパラメータによって決定されてもよい何れの適当な入射角でウェハ112に光を誘導するように構成されてもよい。いくつかの例において、照明アパーチャ及び対物レンズは、ウェハのうちの比較的大きい面積が特定の方向から照明される、ウェハの方向性投光照明のために構成されてもよい。対物レンズ110はまた、ウェハから散乱し、及び/又は反射された光を集光し、集光した光を、再びビームスプリッタ108を通して誘導するように構成される。このようにして、対物レンズはコモンモード対物レンズとして構成されてもよい。

10

【0025】

他の実施形態において、光源から発生された光は、レーザからの場合のように、コヒーレント光である。このような実施形態では、レンズ102は、コリメートされたレーザ光を瞳面108上の特定の位置へと、又は特定の方向からウェハに直接誘導する光学要素を含んでいてもよい。このような実施形態はしたがって、本明細書に記載されている照明アパーチャを含んでいなくてもよい。

【0026】

システムはまた、ステージ114を含んでいてもよく、検査中にその上にウェハ112が載せられる。ステージは、機械的及び/又はロボットアセンブリ(図示せず)に連結されていてもよく、これは、ステージ(及びしたがって、ウェハ)を移動させて、本明細書にさらに説明されるように、ウェハからの光が集光され、検出される時に光でウェハを走査できるように構成される。

20

【0027】

システムはまた、集光瞳面内に位置付けられる光学要素を含んでいてもよい。例えば、図1に示されるように、システムは集光瞳面118内に位置付けられた光学要素116を含んでいてもよく、それによって対物レンズ110により集光され、ビームスプリッタ108により透過された光が光学要素116へと誘導される。光学要素は、集光アパーチャの集合を含む。例えば、光学要素はアパーチャ120を含んでいてもよく、これは本明細書でさらに説明するように構成されてもよい。

【0028】

様々な光学要素の構成が本明細書に記載されており、ウェハ検査システムで使用するさらに多くの光学要素の構成が考えられる。しかしながら、特定の光学要素の構成に関係なく、光学要素の実施形態の各々に共通しているのは、これらが光学要素を通過して検出器に到達できる光を散乱させる方向において柔軟であるという点である。本明細書にさらに記載されているように、いくつかの光学要素の実施形態は、光学要素の異なる構成要素を移動させて、集光瞳面に入り、又はそこから出る、したがって検出器により検出されるウェハからの光の経路から出るようにしてもよいという点で柔軟であってもよい。しかしながら、本明細書に記載されている光学要素は、それに加えて、又はその代わりに、開口又は光学要素の大きさ、向き、その他を変更できるようにすることによって柔軟であってもよく、又は光学要素の異なるコンポーネントを集光瞳面への出入りを切り換えるようになっていてもよい。システムは、1つ又は複数の機械的及び/又はロボットアセンブリ等の何れかの適当な要素(図示せず)を使って、何れかの方法で光学要素の構成を変更するように構成されてもよい。

30

40

【0029】

光学要素は本明細書において、選択された散乱角度でのみ散乱する光を検出器へと透過させるために機械的手段(例えば、開口又は光遮断要素)のみを使用するように記載されているが、光学要素は、集光瞳面内の異なる位置において光を選択的に透過させるために、他の何れの適当な方法で構成されてもよい。例えば、光学要素は、屈折、吸収、回折、反射、その他によって光を選択的に透過させるように構成されてもよい。これに加えて、本明細書には比較的単純な機械的光学要素が記載されているが、光学要素はまた、必ずし

50

も機械のみに基づいているとは限らない、その他の光学要素を含んでいてもよく、例えば電気光学的モジュレータ、液晶ディスプレイ、マイクロミラーアレイ、その他であり、これらは、光を集光瞳面の特定の部分でのみ光を透過させるために使用できる。

【0030】

1つの実施形態において、集光アパーチャは3つ又はそれ以上のスロットを含む。3つ又はそれ以上のスロットの各々は、第一の次元においては集光瞳面全体にわたって延び、集光アパーチャの集合は、第一の次元に垂直な第二の次元において集光瞳面全体にわたって延びる。光学要素の1つのこのような実施形態が図2に示されている。この図に示されているように、光学要素200は5つのスロット1、2、3、4、及び5を含む。光学要素はこの図において、5つのスロットを含むように示されているが、光学要素はまた、他の何れの適当な数のスロットを有していてもよい。スロットは各々、次元204において集光瞳面202の全体にわたって延びる。換言すれば、スロットの各々は、集光瞳面の全体にわたる長さを有していてもよい。これに加えて、この図に示されるように、5つのスロットの組合せは集光瞳面の次元206の全体にわたって延び、次元204及び206は相互に垂直である。このようにして、スロットの各々の合計幅は、1つの次元において集光瞳面の全体を覆っていてもよい。

10

【0031】

他の実施形態において、集光アパーチャは、スロットの2つ又はそれ以上の集合を含む。2つ又はそれ以上の集合の各々の中のスロットは、第一の次元において集光瞳面の一部のみにわたって延び、2つ又は複数のスロット集合の各々は、第一の次元に垂直な第二の次元において集光瞳面の全体にわたって延びる。2つのスロット集合を持つ光学要素のこのような1つの実施形態が図3に示されている。この図に示されるように、光学要素300は10個のスロット1、2、3、4、5、6、7、8、9、及び10を含む。スロット1～5はスロットの1つの集合に含まれ、スロット6～10はスロットの別の集合に含まれる。両方の集合の中のスロットは、第一の次元304において集光瞳面302の一部のみにわたって延びる。例えば、図3に示されるように、スロット集合の各々は、次元304において集光瞳面の半分のみにわたって延び、スロット集合の組合せは、次元304において集光瞳面全体にわたって延びる。これに加えて、スロット集合の各々は、図3では次元304において集光瞳面の半分にわたって延びているように示されているが、スロット集合は、この次元において集光瞳面の何れの他の部分にわたって延びてもよい。さらに図3に示されるように、スロット集合の各々は次元304に垂直な次元306において集光瞳面全体にわたって延びる。このようにして、1つの集合の中のスロットの各々の合計幅は、第二の次元において集光瞳面全体を覆っていてもよい。スロット集合の各々は、図3では5つのスロットを含むように示されているが、スロット集合の各々は、何れの適当な数のスロットを含んでいてもよい。これに加えて、スロット集合は図3では、同じ数のスロットを含むように示されているが、スロット集合ごとに含まれるスロットの数が異なっているように示されているが、異なる集合のスロットの長さや幅が異なる方向（例えば、垂直方向）を向いていてもよい。

20

30

【0032】

1つの実施形態において、集光アパーチャは、光学要素の1つ又は複数の部分を集光瞳面の外へと移動させることによって、光学要素の中に作ることでできる開口である。例えば、本明細書に記載されているいくつかの実施形態において、集光アパーチャは、1つ又は複数のスロットを集光瞳面から出るように移動させることによって作られる開口であってもよい。別の実施形態において、集光アパーチャは、光学要素の1つ又は複数の部分を集光瞳面の中へと移動させることによって光学要素の中に作ることでできる光遮断領域である。例えば、本明細書に記載されているいくつかの実施形態において、集光アパーチャは、1つ又は複数のスロットを集光光面の中へと移動させることによって作られる光遮断領域であってもよい。光学要素の1つ又は複数の部分は、システム又はシステムの要素（図示せず）によって何れの適当な方法で集光瞳面の中及び外へと移動されてもよい。

40

50

【 0 0 3 3 】

いくつかの実施形態において、集光アパーチャの集合は、集光アパーチャの規則的なアレイを含む。集光アパーチャの規則的なアレイは、図 2 に示されるような 1 次元 (1 D) であっても、図 3 に示されるような 2 次元 (2 D) であってもよい。このようにして、集光アパーチャは、集光瞳面内で格子状に向けられていてもよい。集光アパーチャのこのような構成は、システムの半球形の散乱範囲全体の中で異なる個別の散乱方向に散乱する光を体系的に画像化し、分析するのに有利でありえ、これは本明細書中にさらに記載されるように実行されてもよい。

【 0 0 3 4 】

システムは、光学要素が異なる構成を有する時に、ウェハから光学要素を透過した光を検出し、それによって異なる構成に関する異なる画像を生成するように構成される検出器をさらに含む。例えば、図 1 に示されるように、システムは、光学要素 1 1 6 からの光を検出器 1 2 4 で結像するように構成されたレンズ 1 2 2 を含んでいてもよい。レンズ 1 2 2 は図 1 では、1 つの回折光学要素として示されているが、これは、1 つ又は複数の回折光学要素及び / 又は 1 つ又は複数の反射光学要素として構成されてもよい。検出器 1 2 4 は、電荷結合素子 (C C D) 又は T D I (t i m e d e l a y i n t e g r a t i o n) カメラ等、何れの適当な画像化検出器を含んでいてもよい。好ましくは、ウェハステージの位置を固定し、カメラ画像振動を比較的小さくすることにより、異なるアパーチャ間の画像ミスアラインメントを無視できる程度にした状態で、異なる画像と何れかの実験的なデータが収集される。

【 0 0 3 5 】

それに関する異なる画像が生成される光学要素の異なる構成のうちの少なくとも 1 つは、集合内の 1 つの集光アパーチャだけを含み、異なる構成のうちの少なくとも別の 1 つは、集合内の集光アパーチャの 2 つを含む。例えば、本明細書でさらに詳しく説明するように、本明細書に記載される実施形態は、ウェハ検査システムの集光瞳面に位置付けられる光学要素に最も適した構成を決定するように構成され、このような決定を下すための十分なデータを実験的に収集するために、集光瞳面内に 1 つの開口又は光遮断要素がある状態で生成される画像のほかに、集光瞳面内に複数の開口又は光遮断要素がある状態で生成される画像を実験的に収集して、異なる散乱角度で散乱する光同士の間有位相関係を正確に測定する。

【 0 0 3 6 】

1 つの実施形態において、異なる構成は、集合の集光アパーチャのあらゆる考えうる組合せ又はペアを含む。例えば、本明細書に記載されているように生成される画像の集合は、あらゆる考えうる散乱方向のペアに関する位相関係を含んでいてもよい。本明細書に記載されている各種の光学要素の構成のための集光アパーチャのすべての考えうるペアと、そのような集光アパーチャに関して生成される画像を本明細書でさらに説明する。

【 0 0 3 7 】

システムは、コンピュータサブシステムをさらに含む。例えば、図 1 に示されるように、システムは、コンピュータサブシステム 1 2 6 を含む。コンピュータサブシステム 1 2 6 は、システムの検出器により生成される異なる画像を取得するように構成される。例えば、検出器によって異なる構成に関して生成される異なる画像は、コンピュータサブシステム 1 2 6 に供給されてもよい。特に、コンピュータサブシステムは検出器に (例えば、当業界で知られている何れの適当な伝送媒体を含んでいてもよい、図 1 において破線で示される 1 つ又は複数の伝送媒体によって) 連結されていてもよく、それによってコンピュータサブシステムは、検出器により生成された異なる画像を受け取ってもよい。コンピュータサブシステムは、他の何れの適当な方法で検出器に連結されてもよい。コンピュータサブシステムは、本明細書に記載されているようにさらに構成されてもよい (例えば、コンピュータサブシステム又はシステムの中に含まれるプロセッサとして) 。

【 0 0 3 8 】

コンピュータサブシステムは、異なる画像の 2 つ又はそれ以上から 1 つ又は複数の追加

の画像を構成するように構成される。1つ又は複数の追加の画像のうちの何れかの1つを生成するために使用される2つ又それ以上の異なる画像は、集合の中の1つの集光アパーチャに関して生成される異なる画像しか含んでいないわけではない。例えば、本明細書に記載されているように生成される画像の集合は、散乱角度のすべての考えうるペアに関する位相関係を含んでいてもよく、その後、これらを使って、他のすべての考えうるマルチホール（又はマルチブロック）集光アパーチャの組合せに関して足りない画像を再構成してもよい。このようにして、本明細書に記載される実施形態は、実験的データに基づいて関心対象の集光アパーチャに関する画像を再構成するために使用されてもよい。

【0039】

ウェハ検査では、DOIをウェハノイズから分離することが重要である。鏡面反射が遮断される暗視野（DF）モードの場合、重要な要素は、欠陥とノイズの散乱方向、すなわちプロファイルの違いである。欠陥及びウェハノイズの散乱パターンを測定するためにはいくつかの方法がある。1つの方法は、画像化システムの集光瞳を結像することによって、散乱強度を直接測定するものである。明らかな利点は、測定が瞬間的であり、その結果、フーリエドメインにおいて比較的高い解像度が得られることである。したがって、瞳結像を使って、比較的大きく、均一な構造から散乱するノイズの回折次数又は瞳シグネチャ（signatures）を測定することができる。この技術の欠点は、像面における解像度が比較的低いことであり、そのため、これはパターンとノイズの散乱の測定に限定される。これに加えて、この技術は、ゴーストやフレアなどのシステムアーチファクトによる影響を非常に受けやすい。

【0040】

比較的小さい欠陥から散乱する光は、照明光源がインコヒーレントであったとしても、コヒーレントプロセスである。欠陥による光の散乱のコヒーレントプロセスにより、集光瞳空間がマッピングされ、集光アパーチャの形状が最適化される方法が、照明光路のそれと比べて大きく異なる。特に、インコヒーレント光源の場合、異なる照明方向は位相に依存しない。したがって、照明瞳空間のマッピングと照明アパーチャの最適化は、瞳走査ピンホール型アパーチャで実行できる。

【0041】

1つのこのような例において、1つの走査ピンホールアパーチャだけで、インコヒーレント光源を使用する検査システムに照明瞳空間をマッピングするのに十分であるかもしれない。換言すれば、最適な照明アパーチャを決定するために、ピンホールで瞳を走査してもよく、その後、欠陥信号を照明瞳内のピンホールの位置に関してマッピングすることによって欠陥信号のマップを作成してもよい。例えば、フーリエ面内に位置付けられる2つの異なる（相互に排他的な）照明アパーチャは、ウェハ上の欠陥に関する異なる画像を別々に生成するために使用されてもよい。すると、2つの異なる画像を使って、両方の照明アパーチャが画像生成に同時に使用された場合にその欠陥に関する画像がどのように見えるかを判断できる。特に、照明がインコヒーレントであるため、異なる、相互に排他的な照明アパーチャに関して実験的に生成された画像を統合して、両方の照明アパーチャで生成された画像がどのように見えるかを判断できる。換言すれば、照明アパーチャbと相互に排他的な照明アパーチャaに関して、両方の照明アパーチャa及びbを使って生成される画像内の画像強度は次のように判断できる。

【0042】

【数1】

$$I_{ab}(x, y) = I_a + I_b$$

式中、 I_{ab} は、両方の照明アパーチャa及びbを使用して生成される光の強度、 I_a は照明アパーチャaのみを使用して生成される画像の強度、 I_b は照明アパーチャbだけを使用して生成される画像の強度である。画像の強度は、画像内の位置x及びyの関数として表現される。

【 0 0 4 3 】

発明者らが行った実験によれば、2つの異なる、相互に排他的な照明アパーチャに関して実験的に生成された画像と、1つの照明アパーチャについて1つずつ実験的に生成された2つの異なる画像から構成された画像との間の違いは、均一なノイズしか示さない、という結果が得られた。したがって、各照明アパーチャについて1つずつの、実験的に生成された2つの異なる画像から構成された、2つの異なる相互に排他的な照明アパーチャに関する画像は、対応する実験的に生成された画像の見え方に近いものを適当に提供する。

【 0 0 4 4 】

集光アパーチャの最適化の場合、欠陥によって異なる方向に散乱した光波間の比較的強い干渉によって、集光瞳空間のマッピングは、1つの走査ピンホール型アパーチャだけでは行うことができない。したがって、異なる散乱方向間の干渉項と位相関係を考慮し、これらを抽出するため、及び集光瞳空間の中で、光学欠陥の応答を区別し、マッピングするためには、より精巧なアパーチャ構成、例えば、ダブルホール又はダブルブロック型のアパーチャ構成をそれに加えて提供するべきである。

【 0 0 4 5 】

1つのこのような例において、図4は、図2に示される光学要素の構成に関して2つの異なる集光アパーチャ構成400及び402を示している。構成400において、光学要素は、光がスロット4のみを通過するように構成される。これに対して、構成402では、光学要素は、光がスロット2だけを通過するように構成される。したがって、これら2つの集光アパーチャ構成とインコヒーレント光で実験的に生成される画像を統合して、光学要素が、光がスロット2及び4を通過するように構成された時に生成される画像がどのように見えるかを判断できれば有益であろう。

【 0 0 4 6 】

しかしながら、照明源がインコヒーレント光を生成しても、欠陥からの光の散乱は、コヒーレントプロセスであり、位相が保存される。したがって、異なる、相互に排他的な集光アパーチャ構成で実験的に生成された画像を単に統合するだけでは、異なる集光アパーチャ構成の両方を使って生成される画像を判断することはできない。例えば、図4に示されるように、画像404は、集光アパーチャ構成400を使って欠陥について実験的に生成され、画像406は、集光アパーチャ構成402を使って同じ欠陥について生成された。しかしながら、光学要素が、光が両方のスロット2及び4を通過するように構成される集光アパーチャ構成410を使って同じ欠陥について実験的に生成された画像408により示されるように、画像408は、画像404及び406との合成したものと等しく見えない。

【 0 0 4 7 】

画像408が画像404及び406との合成と等しく見えない理由は、照明源がインコヒーレント光を生成したとしても、欠陥からの光が、位相を保持するコヒーレントプロセスであることである。これは図5において概略的に示されている。特に、この図に示されているように、光源500はインコヒーレント光502を生成し、これはウェハ(図5では示されていない)上の欠陥504へと誘導できる。図5において光506、508、510、及び512により示されるように、異なる散乱方向で欠陥から散乱した光は、異なる伝播経路に沿って進み、異なる電界ベクトル又は波Eを有する。したがって、異なる光路に対応する異なる電界ベクトル又は波間に相対位相がある。そのため、欠陥から散乱した光の電界ベクトル(又は波)と位相は、集光瞳面全体にわたり一定していない。したがって、集光瞳面内に位置付けられる光学要素の異なる部分を通過する光は、欠陥により異なる方向に散乱した光を含んでいるかもしれず、これは比較的強い位相関係を持っている可能性がある。その結果、これらの波は、検出器の像面上で組み合わされると相互に干渉する可能性があり、これが、検出器により生成される画像内の干渉縞の原因となる。換言すれば、画像内の干渉縞は、集光瞳面内の光学要素の個別の部分から射出する波の位相差の結果であるかもしれない。図5に示される例において、集光瞳面(図5では示されていない)内に位置付けられる光学要素514は、光がスロット2及び4を通過し、スロット

10

20

30

40

50

1、3、及び5を通過しないように構成されてもよい。したがって、スロット2から射出した光516は電界ベクトル E_2 を有していてもよく、スロット4から射出した光518は電界ベクトル E_4 を有していてもよい。すると、これら2つの電界ベクトル間の位相関係、 $phase_{4,2}$ は、このような集光瞳構成を使って生成された画像520の中に干渉縞を発生させるかもしれない。したがって、画像520の画像強度は $I_{24}(x,y)$ で表現されてもよく、

【数2】

$$I_{24}(x,y) = |E_4 + E_2|^2$$

$$= |E_4|^2 + |E_2|^2 + 2\text{Re}\{E_4 E_2^*\}$$

10

であり、式中、 $2\text{Re}\{E_4 E_2^*\}$ は干渉項 $2|E_4 E_2| \cos(phase_{4,2})$

で、 E_4 の振幅はスリット4を通過した光だけが検出される、アパーチャを使用して生成される画像から実験的に判断でき、 E_2 の振幅は、スリット2を通過した光だけが検出されるアパーチャを使用して生成される画像から実験的に判断でき、 Re は複素数の実数部である。そのため、個別の開口又は光遮断要素のペアを使った測定を行うことにより、集光瞳の異なる部分に散乱して入る光間の位相関係を明らかにできる。すると、この位相情報を使って、最善の集光アパーチャとそれらに対応する欠陥画像を予測できる。

20

【0048】

このような画像構成は、散乱光から生成される暗視野(DF)画像のみに限定されない。例えば、このような画像構成はまた、反射光から生成される明視野(BF)画像についても実行されてよい。特に、画像内の x, y 位置に関する画像強度は、スロットのすべてが開いている、図2に示される光学要素構成を使って生成されるBF画像について、下の関数を使って判断できる。

【0049】

【数3】

30

$$I(x,y) = |E_5 + E_4 + E_3 + E_2 + E_1|^2$$

=無視されるDF項=

$$= I_{12} + I_{13} + I_{14} + I_{15} - 3 * I_1$$

又は一般に、

$$I_{12345} = \sum_{k=1...5} I_k + \sum_{k,s>k} \{I_{ks} - I_k - I_s\}$$

40

である。発明者らが実行した実験では、再構成されたBF画像が実験的に取得されたBF画像と実質的に一致している。

【0050】

したがって、そこを光が通過する2つ又はそれ以上の開口を含む集光アパーチャ構成について実験的に生成された画像に似た画像を、開口の1つだけについて実験的に生成された画像だけから作ることとはできない。そのため、集光瞳空間の中でウェハからの光をマッピングするために、開口の組合せを評価しようとする場合には、1つの集光アパーチャ開口を使って生成された画像だけを使用するのでは不十分である。このように、集光瞳空間

50

を比較的正確にマッピングするためには、少なくともいくつかの、2つの開口（例えば、スリット）又は光遮断要素アパーチャに関する画像を実験的に生成して、再構成画像を比較的正確に生成できるようにするべきである。すると、アパーチャ測定値の異なるペアにより、集光瞳の異なる部分間の位相関係を明らかにすることができる。

【0051】

強度及び干渉項をすべての開口ペアについて測定すると、考えうるすべてのアパーチャの組合せについてのDOI画像を再構成できる。図6は、図2に示される光学要素の、それに関する画像を実験的に生成して画像再構成に必要な可能性のあるすべての画像が入手可能となるような構成のすべてを示している。図6に示されるスリットの組合せは、欠陥画像を取得するために使用できる1つ及び2つのスリットのアパーチャのすべてを含む。特に、図6に示されている1行目の構成に示されるように、構成は、1つのスリットのアパーチャについてそれぞれ1つを含んでいてもよい（1つのスリットだけを通過する光が検出される）。この図の2行目に示されているように、画像を実験的に生成するために使用される構成は、スリットの異なるペアを含んでいてもよく、何れのペア内のスリットも光学要素内で相互に隣接する。これに加えて、この図の3行目に示されるように、画像を実験的に生成するために使用される構成はまた、スリットの別のペアを含んでいてもよく、この場合、各ペアのスリットは、別のスリットにより相互に離間されている。さらに、この図の4行目に示されるように、画像を実験的に生成するのに使用される構成は、何れのペア内のスリットも、2つのスリットにより相互に離間されているスリットペアを含んでいてもよい。さらにこの図の最後の行に示されるように、画像を実験的に生成するために使用される構成はまた、スリットが3つのスリットにより相互に離間されているスリットのペアを含んでいてもよい。

【0052】

したがって、図6に示される1つ又は2つのスリットの組合せは、スリットのあらゆる考えられるペアを含み、したがって、このような光学要素により生成できる何れかの画像を再構成するために必要なスリットの組合せとして考えられるもののすべてを含む。このようにして、15種類のための光学要素の構成（すなわち、 $N = 5$ のスリットについて、1つのスリットとスリットのペアの総数は、 $N(N + 1) / 2 = 15$ となり、この光学要素のアパーチャ構成の総数は $2^N - 1 = 31$ となる）を使って実験的に生成される画像を使用して、考慮されるかもしれない他の何れの画像も再編成できる。このようにして、何れの1つの光学要素の構成に関しても、実験的に生成されるか、又は電子的に再構成される画像を本明細書に記載される実施形態に利用できる。

【0053】

これに加えて、本明細書中でさらに説明するように、異なる照明アパーチャの構成を、異なる集光瞳面の構成で考慮でき、それによって最善の照明及び集光アパーチャ構成を決定できる。その場合、有意な数の照明アパーチャの構成を考慮しようとしても（例えば、20）、物理的なアパーチャの組合せの総数は比較的多くなってしまふかもしれない（例えば、15の集光アパーチャ15 * 照明アパーチャ20 = 照明/集光アパーチャの組合せ300）。しかしながら、各組合せについての画像は比較的素早く（例えば、1画像1秒未満）生成できるため、全ての組合せに関する画像を実験的に生成するのに5分とかからないであろう。これに加えて、画像は、照明アパーチャの全部ではなく多くについて実験的に生成するか、再構成してもよい。さらに、照明アパーチャの各構成について、集光アパーチャの各構成に関する画像を実験的に生成できる。しかしながら、集光アパーチャとは異なり、データ収集中に画像を実験的に生成するために、照明アパーチャの異なる組合せを使用する必要はない。その代わりに、後処理中に、本明細書中にさらに記載するように、照明アパーチャの関連する組合せについて画像を組み合わせる（統合する）ことができる。

【0054】

図3に示される光学要素構成が図2に示される構成の代わりに使用され、それによって集光瞳内のサンプリング点が2倍になっても、上述のものと同じ数の照明アパーチャとす

すべての考える光学要素の構成とのすべての考える組合せの各々について画像を再構成するために必要な実験的データは、比較的素早く、容易に取得できる。例えば、図3に示される光学要素の構成では、2つ及び1つのスリットのアパーチャの組合せは5通りある。したがって、照明アパーチャが20個ある場合、他の何れかの画像を再構成できるようにするためにそれについての画像が実験的に生成される物理的アパーチャの組合せの総数は、 20×5 、すなわち1100の照明アパーチャ/集光アパーチャの組合せとなるかもしれない。このような実質的な数の構成についての画像を比較的素早く生成できるため、本明細書に記載される実施形態は、全ての考える照明アパーチャと集光アパーチャの組合せの評価を合理的時間内に行うことができる。

【0055】

10

したがって、上述のように、画像の再構成は、1つ及び2つのスリットのアパーチャの画像から多数のスリットのアパーチャに関する画像を構成することによって実行できる。それについてこのような画像の再構成が可能な多数のスリットのアパーチャの1つの実施形態が図7に示されている。特に、多数のスリットのアパーチャ700において、アパーチャは、光がスリット2、4、及び5を通過するが、スリット1及び3により遮断されるように構成される。このような画像の強度は、画像内の x 、 y 位置に関して数学的に以下のように表現できる。

【0056】

【数4】

20

$$\begin{aligned} I_{245}(x, y) &= |E_5 + E_4 + E_2|^2 \\ &= |E_5|^2 + |E_4|^2 + |E_2|^2 + \\ &\quad 2\operatorname{Re}\{E_5 E_4^*\} + 2\operatorname{Re}\{E_5 E_2^*\} + 2\operatorname{Re}\{E_4 E_2^*\} \end{aligned}$$

式中、 $|E_5|^2$ はスリット5を通過する光だけが検出されるアパーチャを使って生成される画像として実験的に判断でき、 $|E_4|^2$ はスリット4を通過する光だけが検出されるアパーチャを使って生成される画像として実験的に判断でき、 $|E_2|^2$ は、スリット2を通過する光だけが検出されるアパーチャを使って生成される画像として実験的に判断できる。 $\operatorname{Re}\{E_5 E_4^*\}$ は、スリット4及び5の両方を通過した光が検出されるアパーチャを使って生成される画像、スリット5だけを通過した光が検出されるアパーチャを使って生成される画像、及びスリット4だけを通過した光が検出されるアパーチャを使って生成される画像から判断できる。 $\operatorname{Re}\{E_5 E_2^*\}$ は、スリット2及び5を通過した光が検出されるアパーチャを使って生成される画像、スリット2だけを通過した光が検出されるアパーチャを使って生成される画像、及びスリット5を通過した光が検出されるアパーチャを使って生成される画像から判断できる。 $\operatorname{Re}\{E_4 E_2^*\}$ は、スリット4及び2を通過した光が検出されるアパーチャを使って生成される画像、スリット4だけを通過した光が検出されるアパーチャを使って生成される画像、及びスリット2を通過した光が検出されるアパーチャを使って生成される画像から判断できる。

30

40

【0057】

コンピュータサブシステムはまた、異なる画像と1つ又は複数の追加の画像の1つ又は複数の特性を測定し、異なる画像と1つ又は複数の追加の画像の1つ又は複数の特性を比較するように構成される。1つ又は複数の特性は、異なる画像と追加の画像の何れの適当な特性を含んでいてもよく、好ましくは、画像を使って行うことのできる欠陥検出に関係する。例えば、1つ又は複数の特性は、信号、ノイズ、信号対ノイズ、信号マイナズノイズ、又はそれらの何れかの組合せを含んでいてもよい。このようにして、コンピュータサブシステムは、再構成された画像のほか、何れかの実験的に生成された画像に基づいてア

50

パーチャの光学的応答を分析するために構成されてもよい。

【0058】

いくつかの実施形態において、異なる画像と追加の画像の1つ又は複数の特性は、画像に対して、いくつかの欠陥検出方法及び／又はアルゴリズムを実行し、その後、画像内で検出された何れかの欠陥に関する特性を測定することによって判断されてもよい。コンピュータサブシステムは、何れの適当な欠陥検出方法及び／又はアルゴリズムを使って、何れの適当な方法で画像内の欠陥を検出するように構成されてもよい。例えば、異なる画像と追加の画像を閾値と比較してもよく、画像のうち、その閾値より高い数を有する部分の何れかを潜在的欠陥と特定してもよく、その一方で、画像のうち、閾値より高い数値を持たない部分は潜在的欠陥に対応すると特定しなくてよい。異なる画像と追加の画像の、閾値と比較される数値は、例えば画像のピクセルの強度を含んでいてもよい。閾値として適当な数値は、何れの適当な方法で測定されてもよい（例えば、画像内の予想されるノイズの何倍か）。しかしながら、他の多くの欠陥検出方法及び／又はアルゴリズムが可能であり、画像について使用される方法及び／又はアルゴリズムは、画像の特性と、おそらくはウェハ及び／又はウェハ上のD O Iの特性との組合せに基づいて選択及び／又は決定されてもよい。欠陥が画像内で検出されると、画像の特性を本明細書に記載されているように測定できる。

10

【0059】

コンピュータサブシステムはさらに、比較結果に基づいて、ウェハの検査のための光学要素の異なる又は追加の構成の1つを選択するように構成される。異なる構成とは、画像が実験的に生成される構成であってもよく、追加の構成とは、再構成される追加の画像に対応する構成であってもよい。このようにして、集光アパーチャとモードの最適化のために本明細書に記載されているシステムは、「スキャタ兼位相マップ」と呼ばれてもよく、光学システムの集光経路内に取り付けられる特別なアパーチャの集合、これらのアパーチャを支持するデータ取得構成要素、及び画像再構成の後処理のためのコンピュータサブシステムを含んでいてもよい。「スキャタ兼位相マップ」アパーチャの集合は、すべての1穴及びすべての2穴アパーチャを含むが、これらに限定されない。穴は、集光瞳空間内の格子上に画定されてもよい。

20

【0060】

1つの実施形態において、選択するステップは、異なる構成又は追加の構成のうち、ウェハ上のD O Iの検出を最大化するための1つ又は複数の特性の最善の数値を生成した1つを選択するステップを含む。例えば、1つ又は複数の特性は、ウェハ上の1つ又は複数のD O Iに関する信号対ノイズ比であってもよい。ウェハ上に複数の検出すべきD O Iがある場合、1つ又は複数の特性は、複数のD O Iに関する信号対ノイズ比の平均であってもよい。すると、D O Iに関する最大の信号対ノイズ又は、複数のD O Iに関する最大の平均信号対ノイズ比に対応するアパーチャ構成が選択されてもよい。本明細書に記載されるその他の特性も、同様に使用されてよい。そのため、最善の（最大の）D O I検出を可能にする特性を有する画像は、本明細書に記載されている実施形態によって容易に特定できる。次に、これらの画像に対応するアパーチャ構成を、ウェハ検査レシピで使用する

30

40

【0061】

他の実施形態において、選択するステップは、異なる構成又は追加の構成のうち、ウェハ上のニュイサンス欠陥の検出を最小限にするための1つ又は複数の特性の最善の数値を生成した1つを選択するステップを含む。「ニュイサンス欠陥」とは、本明細書において使用される限り、実際には欠陥ではない（例えば、単なるノイズである）か、又は使用者が問題にしない欠陥（例えば、半導体製造の歩留まりに影響を与えない非D O I）である、ウェハ上で検出されるイベントを概して指す。1つの例において、1つ又は複数の特性は、画像内のノイズ又は平均ノイズレベルであってもよく、すると、生成された画像内のノイズ又は平均ノイズレベルが最低であった構成が選択されてもよい。他の例において、欠陥検出は上述のように画像を使って実行されてもよく、次に最も低いニュイサンス捕捉

50

率に対応する構成がウェハ検査で使用するために選択されてもよい。さらに、ウェハ検査システムで使用するための構成を選択するステップは、どの構成が最善のDOI捕捉及び最善のニュイサンス抑制を提供したかに基づいて行われてもよい。

【0062】

1つの実施形態において、ウェハ上の欠陥の所定の位置について異なる画像が生成される。例えば、集光アパーチャの最適化は、ウェハ上の事前に選択された欠陥位置についてのデータ収集を含んでいてもよい。欠陥位置は、何れの適当な方法で事前選択されてもよい。いくつかの例において、本明細書に記載されている画像生成は、その上に1つ又は複数の既知の欠陥があるウェハについて実行されてもよく、これによって、光学要素の構成を特定の欠陥について評価できる。

10

【0063】

他の実施形態において、システム内の光源、検出器、及び他の何れかの光学要素に関する所定のパラメータにより、異なる画像が生成される。その他の実施形態において、システム内の光源、検出器、及び他の何れかの構成要素のうちの少なくとも1つに関する異なるパラメータにより異なる画像が生成され、それによって異なる構成と異なるパラメータごとに異なる画像が生成され、選択するステップは、ウェハの検査のための光学要素の異なる構成又は追加の構成のうちの1つと異なるパラメータの1つ又は複数との1つの組合せを、比較結果に基づいて選択するステップを含む。例えば、集光アパーチャの最適化は、「スキヤタ兼位相マップ」のアパーチャの集合に関する画像群が収集される、事前に選択された照明アパーチャ、スペクトルバンド、偏光状態、及び焦点オフセットに関するデータ収集を含んでいてもよい。すると、再構成された画像の各々及び事前に選択された照明アパーチャ、スペクトル、入射及び射出偏光状態、及び焦点オフセットの各々について、本明細書に記載されているような1つ又は複数の特性が計算されてもよい。次に、モード（パラメータに関する1つの数値集合により定義される）、例えば、個々の欠陥又は欠陥群（例えば、DOI）についての信号対ノイズ比又は信号マイナスノイズが最大であったモード、又はDOI群とニュイサンス欠陥との間の信号対ノイズ比の差が最大であったモードが選択されてもよい。このようにして、本明細書に記載される実施形態は、ウェハ検査のための最良のモードを見つけるために使用されてもよく、これは、欠陥信号又は信号対ノイズ比を最大にするために、アパーチャ形状に加えて、スペクトルバンド、焦点オフセット、及び入射及び射出偏光の組合せを含んでいてもよい。そのため、モード選択（アパーチャ、スペクトルバンド、焦点オフセット、入射及び射出偏光、その他）は、本明細書に記載されている再構成された画像及びその他の実験的に生成された画像から計算される特性に基づいて行われてもよい。これに加えて、本明細書に記載されたモード選択は、本明細書に記載されている再構成された画像及びその他の実験的に生成される画像から計算される信号対ノイズの数値に基づいて、DOI捕捉率の増大とニュイサンス捕捉率の抑制を同時に行ってもよい。

20

30

【0064】

このようにしてモードを選択する1つの利点は、実装の単純化と速い計算速度である。本明細書に記載されている実施形態の他の利点は、これらを使って、BF及び/又はDFツールを含むウェハ検査ツールの感度を向上できることである。これらの実施形態はまた、特定のDOIに関するウェハ検査レシピの作成を大幅に単純化し、それに必要な時間を短縮するために使用できる。

40

【0065】

いくつかの実施形態において、コンピュータサブシステムは、ウェハから異なる方向に散乱する光間の位相シフトを異なる画像に基づいて判断し、判断された位相シフトに基づいて、ウェハの検査中にシステムで使用する位相コントラストフィルタの1つ又は複数のパラメータを決定するように構成される。例えば、本明細書に記載されている実施形態は、異なる散乱方向間の位相シフト（すなわち、異なる散乱方向の位相関係）を実験データに基づいて明瞭に抽出するために使用できる。特に、本明細書に記載されている実施形態により実験的に生成され、再構成された画像の中には干渉縞が見える可能性があるため、

50

この干渉縞を使って、画像に対応する異なる光学要素の構成を通過できる異なる散乱方向間の位相シフトに関する情報を判断するために使用できる。次に、この位相情報を利用して、欠陥信号を最大化する位相コントラストフィルタを設計できる。すると、このような位相コントラストフィルタを集光光路の瞳面に位置付けてもよく、それを集光アパーチャの代わりに、又は集光アパーチャと組み合わせて瞳面内で使用できる。したがって、例えば図1に示される光学要素116を位相コントラストフィルタとして構成してもよい。本明細書に記載されている実施形態はしたがって、位相シフトとアパーチャ形状の両方を決定するために使用できる。

【0066】

上述の実施形態は、瞳マッピングのために、欠陥の散乱パターンとウェハノイズを測定する別の実施形態のために構成されてもよい。この技術の本質は、フーリエ面のパラメータを変えながら、像面で一連の測定を行うことである。集光フーリエ面は、図1に示されるシステムの実施形態の集光瞳面118と同じであってもよい。1つの実施形態において、システムは、正方形のアパーチャを集光瞳面でステップ式に移動させることによって、光学要素を異なる構成にできるように構成される。例えば、正方形のアパーチャを集光フーリエ面でステップ式に移動でき、その間に、その結果として得られる画像を、画像化カメラを使って記録する。その後、測定された画像の中の欠陥応答を利用して、散乱パターンを再構成できる。この技術の利点は、像面での比較的高い解像度であり、これによって、個々の欠陥又は構成の光学応答を測定できる。欠陥散乱を測定するためには、通常、鏡面反射が遮断される。

【0067】

いくつかの実施形態において、照明瞳面で正方形のアパーチャ開口をステップ式に移動させることにより、照明アパーチャに関する異なるパラメータで異なる画像が生成される。例えば、最も単純な手法は照明駆動型瞳マップであり、この場合、1回に1つの照明方向を開き、集光フーリエ面にブロックを使用して、鏡面反射だけを拒絶する。この実施形態には、比較的高NAでの画像化という利点があり、それを使って、単純な、又は抑制されたパターンで欠陥とノイズに関する照明方向の選好を決定できる。

【0068】

1つのこのような例において、図8は、集光フーリエ面内に位置付けられていてもよい照明アパーチャ800と光学要素802を示す。このようにして、照明アパーチャ800は、図1に示されるシステムの照明アパーチャ140の代わりに使用してもよい。これに加えて、集光フーリエ面は集光瞳面と同じであってもよい。したがって、光学要素802は、図1に示されるシステムの平面118内に位置付けることによって、光学要素116の代わりとすることができる。図8に示されるように、照明アパーチャは、格子806により画定される正方形のアパーチャ804の集合を有するように構成されてもよい。正方形のアパーチャは、1回に1つだけ開いてもよく、画像は、開いている各正方形のアパーチャについて生成されてもよい。このようにして、対物レンズ内で、1回に1つのNA領域がウェハの照明に使用されてもよい。これに加えて、光学要素802は、格子812により画定される正方形のアパーチャ810の集合を含む。図8に示されるように、照明アパーチャと光学要素のそれぞれの正方形のアパーチャは1:1で対応し、これらの正方形のアパーチャは同じ格子上で画定されるが、システムの光学的構成により（例えば、照明瞳面に関する集光瞳面の回転、集光と照明との間の倍率の差、その他）、正方形のアパーチャの2つの集合間には、向き、大きさ、その他の違いがあってもよい。しかしながら、図8に示されるように、正方形のアパーチャは、それぞれ照明アパーチャと光学要素の全体をカバーし、したがって、異なる照明と散乱方向への欠陥とウェハの応答をマッピングするために使用できる。

【0069】

1つのこのような実施形態において、開放する正方形のアパーチャの照明瞳面でのステップ式移動に基づいて、1つの光遮断要素を集光瞳面でステップ式に移動させて、照明アパーチャに関する異なるパラメータでウェハが照明されることによってウェハから鏡面反

10

20

30

40

50

射された光が遮断されるようにすることにより、光学要素の異なる構成が作られる。図 8 に示される例において、照明アパーチャのうちの正方形のアパーチャ 808 が開かれて、光源からの光がウェハ（図 8 では示されていない）を照明できるようにし、その一方で残りの正方形のアパーチャは閉じられる。したがって、正方形のアパーチャ 808 のみを通じた照明によるウェハからの鏡面反射を遮断するために、集光瞳面における光学要素の正方形のアパーチャ 814 が閉じられ、その一方で光学要素の残りのすべてのアパーチャは開いたままとされる。照明アパーチャを変化させて、照明が異なる正方形のアパーチャを通じて誘導されるようにすると、光学要素内で閉じられる正方形のアパーチャも相応に変化させて、異なる照明角度による鏡面反射を遮断してもよい。このようにして、照明アパーチャと光学要素の正方形のアパーチャはどちらも、それぞれ対応する瞳面内でステップ式に移動させることができ、それによって、考えられる照明方向の各々からの散乱光のすべてを独立して測定できる。したがって、図 8 に示される実施形態は、すべての散乱方向への散乱光が集光され、異なる照明方向の各々について検出されるという点で、照明のみのスキヤタマップに使用されてもよい。

【0070】

1つのこのような実施形態において、開放する正方形のアパーチャの照明瞳面でのステップ式移動に基づいて、集光瞳面内に1つ又は複数の追加の光遮断要素を設置して、照明アパーチャに関する異なるパラメータでウェハが照明されることによるウェハからの光の回折次数が遮断されるようにすることにより、光学要素の異なる構成が作られる。瞳マップのこの実施形態において、追加のフーリエフィルタを使って、集光瞳内の回折次数を抑制してもよい。例えば、図 9 に示される実施形態において、正方形のアパーチャ 808 が照明のために使用されているとき、正方形のアパーチャ 814 が集光瞳面内に位置付けられて鏡面反射を遮断してもよく、また、追加の正方形のアパーチャ 900 が集光瞳面内に位置付けられて、正方形のアパーチャ 808 での照明によるウェハからの光の回折次数を遮断してもよい。

【0071】

ウェハ上に形成される構造に応じて、光学要素 802 の正方形のアパーチャ 810 の1つ又は複数が光の回折次数を遮断するために使用されてもよい。1つ又は2つのフーリエ次数を有するアレイ構造に関して、1つのブロック又は複数のブロックを集光瞳で移動させて、回折次数を抑制することができる。ページブレイク（page breaks）又はグリッデドロジック（gridded logic）のような、より複雑な構造には、マンハッタンブロック（例えば、2Dパターンの抑制に使用できる直交格子に配置された規則的に離間されたロッドの集合又は、マンハッタンの格子状の街路やブロックのパターンのように見える直線のパターンから一回折光を遮断するための、0次（鏡面反射）に中心を置く十字）を使って、x又はy方向への複数の回折次数を抑制できる。このようにして、照明に使用される正方形のアパーチャが変更されると、鏡面反射と光の回折次数を遮断するための集光瞳面において使用される正方形アパーチャを変化させてもよい。したがって、この構成は、その後、ウェハへと誘導される個別の照明角度からの照明による散乱光だけを測定するために使用できる。前述の瞳結像をこの方式と共に使用して、回折次数遮断を支援できる。

【0072】

他のこのような実施形態において、照明アパーチャは、照明アパーチャのための異なるパラメータの1つの集合を有するが、1つ又は複数の追加の光遮断要素を集光瞳面でステップ式に移動させることにより、光学要素に関する異なる構成で異なる画像が生成される。例えば、瞳マップの他の実施形態において、照明及び集光は独立して測定できる。特に、照明及び集光フーリエ面のシグネチャは、相互に独立させることができる。このようなシグネチャを測定するために、鏡面反射ブロックに加えて、他のブロックを集光瞳内でステップ式に移動させてもよく、その間に、その結果として得られる画像が画像化カメラを使って記録される。その後、この工程を各照明方向について繰り返してもよく、測定画像を使って欠陥散乱パターンを再構成できる。

【0073】

例えば、図9に示される実施形態において、正方形のアパーチャ808が照明に使用されているとき、正方形のアパーチャ814が集光瞳面内に位置付けられて、鏡面反射を遮断し、別の正方形のアパーチャ900は、正方形のアパーチャ808が引き続き照明用に使用されている間に、集光瞳面で移動されてもよい。換言すれば、他の集光ブロックを矢印902により示されるように集光瞳でステップ式に移動させながら、照明のために開く正方形のアパーチャの位置を固定したままにしてもよい。このようにして、照明に使用される照明角度のサブセットを一定に保ちながら、追加のブロックを集光瞳の各所に移動させてもよい。そのため、本明細書に記載されている実施形態は、照明及び集光を個別に測定するために使用できる瞳マップを提供する。

【0074】

このような実施形態は特に有益であり、それは、照明及び集光のフリーエ面シグネチャを相互に独立させることができるからである。例えば、ウェハ検査の課題の1つは、欠陥を大量の周囲のノイズから分離することである。シミュレーションは、この分離に使用可能な特性の1つが各種の欠陥又はノイズの種類ごとに異なる散乱プロファイルであることを示している。例えば、表面粗さのノイズは、主として前方散乱を示すかもしれない。突出型の欠陥は、主として後方散乱を示すかもしれない。この違いを、前方散乱を遮断する集光アパーチャで利用し、それによってノイズへの貢献を減少させてもよい。

【0075】

他の例において、粗さの種類の違いによって異なる種類の散乱が示される可能性がある。例えば、3種類の表面粗さ、すなわち、パターン側壁の粗さ(line edge roughness)(LER)、パターン幅の粗さ(line width roughness)(LWR)、及び表面粗さ(surface roughness)(SUR)を、シリコン基板上の2種類の材料、すなわちシリコンと二酸化シリコンの20nmのデザインルールによるラインスペースアレイに関して、異なる統計的パラメータを用いてシミュレートした。その後、集光瞳面での光分散を、異なるコヒーレント照明方向について計算した。これらのシミュレーションと計算は、粗さにより誘発された散乱は、強い方向依存性を有することを示している。例えば、LWR散乱は、シリコンラインスペースアレイのためのラインに沿った偏光での照明の場合、はるかに弱い。これに対して、表面粗さ散乱は異なる挙動を示す。二酸化シリコンのラインスペースアレイの場合は、何れの種類粗さについても、偏光の選好を特定しにくい。関心対象の統計パラメータ範囲において、LER実効値(root-mean-square)(RMS)は、散乱強度を変化させるだけで、散乱分布パターンは変化させないが、LER相関長は、散乱強度と散乱パターンの両方に影響を与える。したがって、このような散乱強度とパターンに関する情報は、本明細書に記載されているように測定でき、それによって、画像内の粗さ関連のノイズをできるだけ抑制するような集光瞳面の構成を決定できる。この、及びその他のノイズ源を抑制することにより、欠陥信号(又は信号対ノイズ)の改善を通じてDOIの検出を向上させることができる。

【0076】

以上、実施形態の中のいくつかを正方形のアパーチャに関して説明したが、上述の実施形態はまた、本明細書で説明されている他の照明アパーチャ及び光学要素の構成の何れで実施されてもよい。例えば、いくつかの実施形態において、本明細書にさらに記載されるように変えることのできる、照明アパーチャに関する異なるパラメータで異なる画像が生成される。

【0077】

1つのこのような実施形態において、光学要素の異なる構成は、照明アパーチャのための異なるパラメータに基づいて決定され、これによって、照明アパーチャのための異なるパラメータでウェハの照明によってウェハからの鏡面反射光を遮断する。本明細書に記載されている光学要素の構成の何れも、異なる照明パラメータによる鏡面反射光を遮断するように決定され、変更されてよい。いくつかのこのような実施形態において、光学要素のための異なる構成は、照明アパーチャのための異なるパラメータに基づいて決定し、それ

10

20

30

40

50

によって照明アパーチャに関する異なるパラメータでのウェハの照明によってウェハからの光の回折次数を遮断する。本明細書に記載されている光学要素の構成の何れも、異なる照明パラメータによる鏡面回折光を遮断するように決定され、変更されてもよい。

【 0 0 7 8 】

他のこのような実施形態において、照明アパーチャは照明アパーチャのための異なるパラメータの1つの集合を有する。例えば、本明細書に記載されている光学要素の構成の何れも、異なる集光瞳面の構成と同じ照明瞳面の構成に関して異なる画像を実験的に生成できるように変更されてもよい。

【 0 0 7 9 】

フーリエ空間内の瞳マップの解像度が瞳内の個別のステップ又は測定の数に限定されるため、座標系の選択は非常に重要である。例えば、1つの実施形態において、光学要素の異なる構成は、光学要素がウェハの検査中にフーリエフィルタ処理を実行する場合、デカルト座標系で決定される。特に、フーリエフィルタ処理に関して、デカルト座標系が好ましいかもしれない。追加の実施形態において、光学要素の異なる構成は、コンピュータサブシステムが異なる画像内の欠陥散乱をマッピングするように構成されている場合、極座標系で測定される。例えば、欠陥散乱をマッピングするために、極座標系がより適しているかもしれない。

【 0 0 8 0 】

いくつかの実施形態において、光学要素の異なる構成は、集光瞳面内の開口又は光遮断要素の異なる位置及び/又はサイズに対応する。例えば、前述の実施形態への変更は、集光フーリエ面のスリット又は開口であり、その可変的な位置と大きさは、照明及び集光を独立して測定するために使用できる。これは、特定の散乱方向を遮断する代わりに、集光フーリエ空間の個別の部分を開き、それによって散乱挙動の測定が可能となる。

【 0 0 8 1 】

本明細書に記載されているように散乱パターンの測定目標はしばしば、DOIを検出し、ノイズを抑制するために使用されるアパーチャ又はアパーチャの集合である。したがって、推奨されるアパーチャ群をタイムリに利用するためには、柔軟なアパーチャ機構が望ましいかもしれない。このような柔軟な機構の1つの実施形態は、x及び/又はy方向に移動可能なホイール及びスライダの集合である。このようなスライダを基本的な形状にして、これらを組み合わせることにより、所望のアパーチャを構成できる。いくつかの実施形態において、集光アパーチャの集合は、個別のアパーチャの標準的集合を含む。例えば、柔軟なアパーチャ機構の他の実施形態は、基本的な種類の散乱、例えば前方散乱と後方散乱を集光するために使用可能な個別のアパーチャの標準的集合である。

【 0 0 8 2 】

図10は、そのようなアパーチャの1つの実施形態を示す。例えば、図10に示されているように、アパーチャの標準的集合は、アパーチャ1000、1002、1004、1006、及び1008を含んでいてもよい。照明方向に応じて、アパーチャ1000及び1002は前方又は後方散乱を測定するために使用でき、アパーチャ1004及び1006は照明面の異なる側面での側方散乱を測定するために使用されてもよい。これに加えて、アパーチャの標準的集合は、システムが、集光瞳面内のアパーチャの位置を変えるための、本明細書でさらに記載されているような機構も含んでいれば、このようなアパーチャを1つだけ含んでいればよい。アパーチャの標準的集合はまた、図10に示される円形のアパーチャ1008等、他のアパーチャ形状を含んでいてもよい。ここでも、円形のアパーチャが柔軟であれば、システムは、集光瞳面内の円形のアパーチャの位置及び/又は大きさを変えることができ、それによって、集光瞳面内の異なる方向への散乱を測定できる。

【 0 0 8 3 】

本明細書に記載されているシステムの実施形態の各々はさらに、本明細書に記載されている他の実施形態の何れによって構成されてもよい。これに加えて、本明細書に記載されているシステムの実施形態の各々は、本明細書に記載されている方法の実施形態の1つ又

10

20

30

40

50

は複数を実行するように構成されてもよい。

【0084】

他の実施形態は、ウェハ検査中に集光アパーチャ内に位置付けられる光学要素の構成を決定するためのコンピュータ実装方法を実行するための、コンピュータシステム上で実行可能なプログラム命令を記憶する非一時的コンピュータ読取可能媒体に関する。1つのこのような実施形態が図11に示されている。例えば、図11に示されるように、コンピュータ読取可能媒体1100には、ウェハの異なる画像を取得するステップを含むコンピュータ実装方法を実行するための、コンピュータシステム1104上で実行可能なプログラム命令1102が記憶される。

【0085】

このようにして、本明細書に記載されている実施形態は2つの異なるステージで実施でき、これは2つの異なるシステム又は方法によって実行できる。例えば、1つのシステム又は方法は、データ取得ステージを実行するように構成されてもよく、選択された照明アパーチャと、実験的な画像生成に使用される集光アパーチャの集合に関して、欠陥画像が収集される。他のシステム又は方法は、データ後処理ステージを実行するように構成され、これは、入力データに基づいてモード推奨を提供するソフトウェアパッケージの形態で実装できる。

【0086】

光源から生成された光をウェハへと誘導し、光学要素が異なる構成を有する時に、ウェハから光学要素を通過した光を検出し、それによって異なる構成に関する異なる画像を生成することによって、異なる画像が生成された。光学要素と異なる構成は、本明細書に記載されているそれらの何れを含んでいてもよい。光を誘導するステップと、光を検出するステップは、本明細書に記載されているようにさらに実行されてもよい。光源は、本明細書に記載されている何れの光源を含んでいてもよい。コンピュータ実装方法はまた、1つ又は複数の追加の画像を構成するステップと、1つ又は複数の特性を測定するステップと、1つ又は複数の特性を比較するステップと、異なる又は追加の構成のうちの1つを選択するステップと、を含んでいてもよく、これらは本明細書にさらに記載されているように実行されてもよい。コンピュータ実装方法は、本明細書に記載されている他の何れの方法の他の何れのステップを含んでいてもよい。

【0087】

本明細書に記載されているような方法を実行するプログラム命令1102は、コンピュータ読取可能媒体1100に記憶されてもよい。コンピュータ読取可能媒体は、磁気又は光ディスクなどの記憶媒体、又は磁気テープ、又は当業界で知られている他の何れの適当な非一時的コンピュータ読取可能媒体であってもよい。

【0088】

プログラム命令は、様々な方法の何れで実行されてもよく、これには、手順に基づく技術、コンポーネントに基づく技術、及び/又はオブジェクト指向の技術、その他が含まれる。例えば、プログラム命令は、Matlab、Visual Basic、ActiveXコントロール、C、C++オブジェクト、C#、JavaBeans（登録商標）、Microsoft Foundation Classes（“MFC”と呼ばれる）、又はその他の技術もしくは方法を所望により使用して実装されてもよい。

【0089】

コンピュータシステム1104は様々な形態をとってもよく、これには、パーソナルコンピュータシステム、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、システムコンピュータ、イメージコンピュータ、プログラマブルイメージコンピュータ、パラレルプロセッサ、又は当業界で知られている他の何れのデバイスも含まれる。一般に、「コンピュータシステム」という用語は、メモリ媒体からの命令を実行する、1つ又は複数のプロセッサを有する何れのデバイスも包含するように広く定義されてよい。

【0090】

その他の実施形態は、ウェハ検査中に集光アパーチャ内に位置付けられる光学要素の構

10

20

30

40

50

成を決定する方法に関する。この方法は、光源から生成された光をウェハへと誘導するステップを含む。光源は、本明細書に記載されているように構成されてもよい。方法はまた、光学要素が異なる構成を有するときに、ウェハから光学要素を通過した光を検出して、それによって異なる構成に関する異なる画像を生成するステップも含む。光学要素は、本明細書に記載されている光学要素の何れを含んでいてもよい。異なる構成は、本明細書に記載されているもののうちの何れを含んでいてもよい。

【0091】

方法はまた、異なる画像のうちの2つ又はそれ以上からの1つ又は複数の追加の画像を構成するステップも含む。1つ又は複数の追加の画像のうちのいずれか1つを生成するために使用される2つ又はそれ以上の異なる画像は、集合内の1つの集光アパーチャについて生成された異なる画像だけを含んでいるわけではない。方法は、異なる画像及び1つ又は複数の追加の画像の1つ又は複数の特性を測定するステップをさらに含む。これに加えて、方法は、異なる画像及び1つ又は複数の追加の画像の1つ又は複数の特性を比較するステップを含む。この方法はまたウェハ検査のための光学要素の異なる又は追加の構成のうちの1つを、比較ステップの結果に基づいて選択するステップも含む。構成するステップ、測定するステップ、比較するステップ、及び選択するステップはコンピュータシステムによって実行され、これは、本明細書に記載されているコンピュータサブシステム又はシステムのうちの何れとして構成されてもよい。

【0092】

上述の方法のステップの各々は、本明細書に記載されているように実行されてもよい。上述の方法は、本明細書に記載されている他の何れの方法の他の何れのステップを含んでいてもよい。上述の方法は、本明細書に記載されているシステムの何れを使って実行されてもよい。

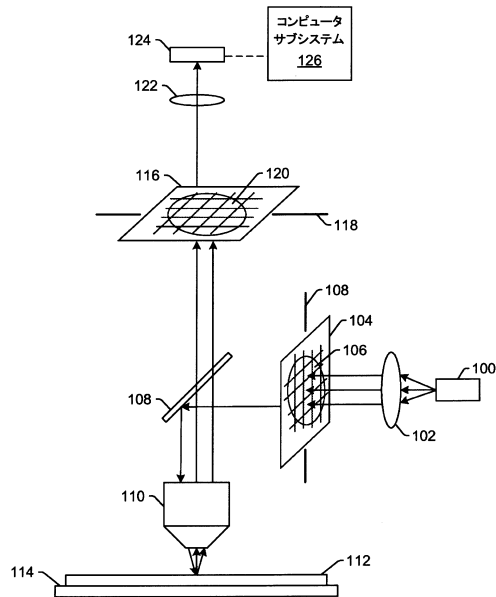
【0093】

本明細書に記載されている方法は、コンピュータ読取可能記憶媒体内に、方法の何れのステップの何れの結果を記憶するステップも含んでいてもよい。結果は、本明細書に記載されている結果の何れを含んでいてもよく、当業界で知られている何れの方法で記憶されてもよい。記憶媒体は、当業界で知られている何れの適当な記憶媒体を含んでいてもよい。結果が記憶された後、この結果は、記憶媒体内でアクセスして、本明細書に記載されているように使用されること、使用者に表示されるようにフォーマット化されること、他の何れのソフトウェアモジュール、方法、又はシステムにより使用されること、その他が可能である。

【0094】

当業者にとって、この説明を読めば、本発明の各種の態様の別の改良や代替的な実施形態が明らかとなるであろう。例えば、ウェハ検査中に集光アパーチャ内に位置付けられる光学要素の構成を決定するための方法とシステムが提供される。したがって、この説明は例示的にすぎず、当業者に対して本発明を実行するための一般的な方法を教示することを目的としている。当然のことながら、本明細書において示され、説明されている発明の形態は、現時点で好ましい実施形態として解釈される。要素と材料は本明細書に例示され、説明されているものと置き換えてもよく、部品とプロセスは逆転してもよく、本発明の特定の特徴は独立して利用されてもよく、これらはすべて、本発明のこの説明により、当業者にとって明らかとなるであろう。本明細書に記載されている要素においては、以下の特許請求の範囲に記載されている本発明の主旨と範囲から逸脱することなく、変更を加えてもよい。

【図 1】



【図 2】

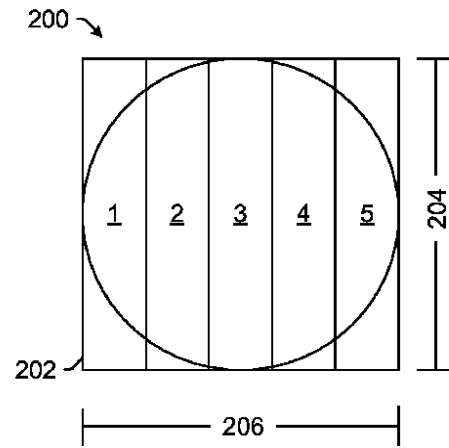


Fig. 2

【図 3】

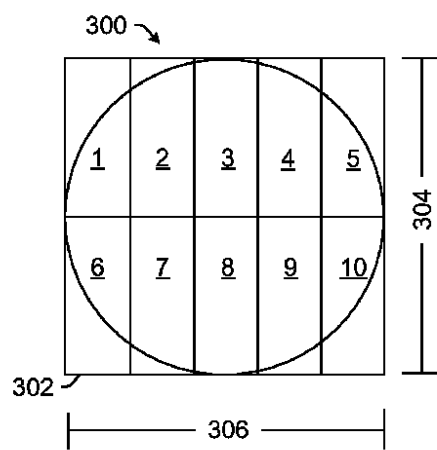


Fig. 3

【図 4】

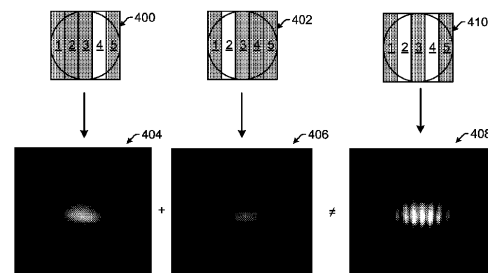


Fig. 4

【図 5】

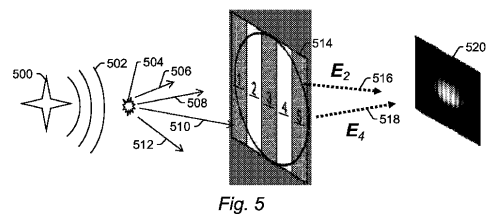


Fig. 5

【 図 6 】

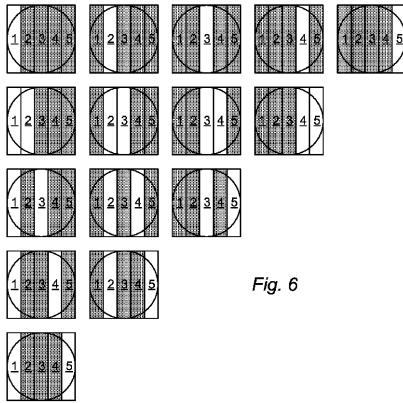


Fig. 6

【 図 7 】

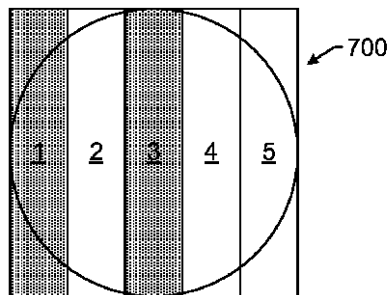
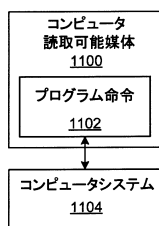


Fig. 7

【 図 1 1 】



【 図 8 】

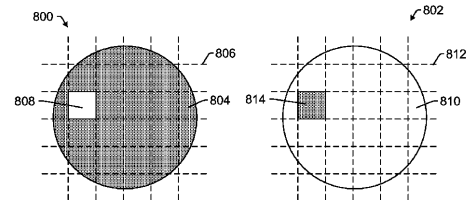


Fig. 8

【 図 9 】

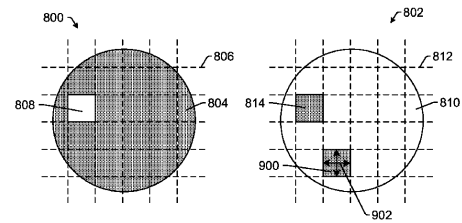


Fig. 9

【 図 1 0 】

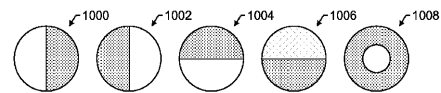


Fig. 10

フロントページの続き

(31)優先権主張番号 14/749,564

(32)優先日 平成27年6月24日(2015.6.24)

(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)

(72)発明者 ウェイ 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

(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 チェン グレース

アメリカ合衆国 カリフォルニア ロス ガトス セロ チコ 220

(72)発明者 ダネン ロバート

アメリカ合衆国 カリフォルニア プレザントン シルバーナ ドライブ 787

審査官 小野寺 麻美子

(56)参考文献 特表2008-545165(JP,A)

特表2011-517487(JP,A)

特開2006-329630(JP,A)

国際公開第2013/134068(WO,A1)

米国特許第07345754(US,B1)

米国特許出願公開第2006/0012781(US,A1)

米国特許出願公開第2013/0258310(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

G01N 21/84 - G01N 21/958

H01L 21/64 - H01L 21/66

G01B 11/00 - G01B 11/30