(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7289912号
(P7289912)

(45)発行日　令和5年6月12日(2023.6.12)

(24)登録日　令和5年6月2日(2023.6.2)

(51)国際特許分類		FI		
H01L 21/66 (2006.01)		H01L	21/66	N
G01N 21/956 (2006.01)		G01N	21/956	A
G06T 7/00 (2017.01)		G06T	7/00	350B

請求項の数　29　（全21頁）

(21)出願番号　特願2021-515079(P2021-515079)
(86)(22)出願日　令和1年9月18日(2019.9.18)
(65)公表番号　特表2022-502838(P2022-502838A)
(43)公表日　令和4年1月11日(2022.1.11)
(86)国際出願番号　PCT/US2019/051616
(87)国際公開番号　WO2020/061125
(87)国際公開日　令和2年3月26日(2020.3.26)
審査請求日　令和4年9月14日(2022.9.14)
(31)優先権主張番号　62/733,463
(32)優先日　平成30年9月19日(2018.9.19)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(31)優先権主張番号　16/189,497
(32)優先日　平成30年11月13日(2018.11.13)
最終頁に続く

(73)特許権者　500049141
ケーエルエー 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
弁理士法人ＹＫＩ国際特許事務所
(72)発明者　カークウッド ジェイソン
アメリカ合衆国 カリフォルニア マウンテン ビュー ハイ スクール ウェイ ９５０ ＃３２３７
(72)発明者　ローバー ジャン
アメリカ合衆国 カリフォルニア サン フランシスコ ゲールウッド サークル ２０８
審査官　今井 聖和
最終頁に続く

(54)【発明の名称】　埋もれた欠陥の特性付けのためのシステムおよび方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

検査サブシステムであって、前記検査サブシステムは、被検査物からの１つ以上の散乱角に沿って１つ以上のパッチ画像を取得するように構成された１つ以上の検出チャネルを含む、検査サブシステムと、

前記検査サブシステムに通信可能に結合されたコントローラであって、前記コントローラは、１つ以上のプロセッサおよびメモリを含み、前記１つ以上のプロセッサは、前記メモリに記憶されたプログラム命令のセットを実行するように構成され、前記プログラム命令のセットは、前記１つ以上のプロセッサに、

前記検査サブシステムから、半導体基板またはＶＮＡＮＤ積層体の少なくとも１つを含む対照被検査物の１つ以上の訓練欠陥の１つ以上の対照パッチ画像を受信することと、

前記１つ以上の訓練欠陥から取得された前記１つ以上の対照パッチ画像、および前記１つ以上の訓練欠陥に関連付けられた１つ以上の既知のパラメータに基づいて、欠陥分類器を訓練することであり、前記１つ以上の既知のパラメータが、欠陥サイズおよび欠陥深さを含み、

前記検査サブシステムに、追加的な被検査物の１つ以上の欠陥を特定するよう命令することと、

前記検査サブシステムから、前記追加的な被検査物の前記１つ以上の特定された欠陥の１つ以上のパッチ画像を受信することと、

前記追加的な被検査物の前記１つ以上の特定された欠陥の前記１つ以上のパッチ画像

に前記欠陥分類器を適用して、前記追加的な被検査物の前記１つ以上の特定された欠陥の１つ以上のパラメータを決定することと、
を行わせるように構成される、コントローラと
を備えることを特徴とするシステム。
【請求項２】
請求項１に記載のシステムであって、１つ以上のプロセスツールをさらに備え、前記１つ以上のプロセッサが、前記１つ以上のプロセスツールの１つ以上の特性を調節するようにさらに構成されることを特徴とするシステム。
【請求項３】
請求項２に記載のシステムであって、前記１つ以上のプロセスツールが、少なくとも１つのリソグラフィツールおよび研磨ツールを含むことを特徴とするシステム。
【請求項４】
請求項１に記載のシステムであって、前記１つ以上のパラメータが、欠陥サイズおよび欠陥深さのうちの少なくとも１つを含むことを特徴とするシステム。
【請求項５】
請求項１に記載のシステムであって、前記検査サブシステムが、第１の散乱方向に沿って１つ以上のパッチ画像を取得するように構成された第１の検出チャネルと、第２の散乱方向に沿って１つ以上のパッチ画像を取得するように構成された第２の検出チャネルと、少なくとも第３の散乱方向に沿って１つ以上のパッチ画像を取得するように構成された少なくとも１つの第３の検出チャネルとを備えることを特徴とするシステム。
【請求項６】
請求項５に記載のシステムであって、前記１つ以上のプロセッサが、前記第１の検出チャネル、前記第２の検出チャネル、および前記少なくとも第３の検出チャネルのうちの少なくとも１つのフォーカスを調節するようにさらに構成されることを特徴とするシステム。
【請求項７】
請求項１に記載のシステムであって、前記欠陥分類器が、畳み込みニューラルネットワーク（ＣＮＮ）を備えることを特徴とするシステム。
【請求項８】
請求項１に記載のシステムであって、前記追加的な被検査物が、半導体基板およびＶＮＡＮＤ積層体のうちの少なくとも１つを含むことを特徴とするシステム。
【請求項９】
請求項１に記載のシステムであって、前記１つ以上のプロセッサが、前記追加的な被検査物の前記１つ以上の特定された欠陥の前記１つ以上のパッチ画像を、ＲＧＢ画像に組み合わせるようにさらに構成されることを特徴とするシステム。
【請求項１０】
請求項１に記載のシステムであって、前記１つ以上のプロセッサが、前記対照被検査物の前記１つ以上の訓練欠陥を１つ以上の欠陥カテゴリにカテゴライズするようにさらに構成されることを特徴とするシステム。
【請求項１１】
検査サブシステムに通信可能に結合されたコントローラであって、前記コントローラは、１つ以上のプロセッサおよびメモリを含み、前記１つ以上のプロセッサは、前記メモリに記憶されたプログラム命令のセットを実行するように構成され、前記プログラム命令のセットは、前記１つ以上のプロセッサに、
前記検査サブシステムから、半導体基板またはＶＮＡＮＤ積層体の少なくとも１つを含む対照被検査物の１つ以上の訓練欠陥の１つ以上の対照パッチ画像を受信することと、
前記１つ以上の訓練欠陥から取得された前記１つ以上の対照パッチ画像、および前記１つ以上の訓練欠陥に関連付けられた１つ以上の既知のパラメータに基づいて、欠陥分類器を訓練することであり、前記１つ以上の既知のパラメータが、欠陥サイズおよび欠陥深さを含み、
前記検査サブシステムに、追加的な被検査物の１つ以上の欠陥を特定するよう命令す

ることと、
　前記検査サブシステムから、前記追加的な被検査物の前記１つ以上の特定された欠陥の１つ以上のパッチ画像を受信することと、
　前記追加的な被検査物の前記１つ以上の特定された欠陥の前記１つ以上のパッチ画像に前記欠陥分類器を適用して、前記追加的な被検査物の前記１つ以上の特定された欠陥の１つ以上のパラメータを決定することと、
　を行わせるように構成される、コントローラ
を備えることを特徴とするシステム。
【請求項１２】
　請求項１１に記載のシステムであって、１つ以上のプロセスツールをさらに備え、前記１つ以上のプロセッサが、前記１つ以上のプロセスツールの１つ以上の特性を調節するようにさらに構成されることを特徴とするシステム。
【請求項１３】
　請求項１２に記載のシステムであって、前記１つ以上のプロセスツールが、少なくとも１つのリソグラフィツールおよび研磨ツールを含むことを特徴とするシステム。
【請求項１４】
　請求項１１に記載のシステムであって、前記１つ以上のパラメータが、欠陥サイズおよび欠陥深さのうちの少なくとも１つを含むことを特徴とするシステム。
【請求項１５】
　請求項１１に記載のシステムであって、前記検査サブシステムが、第１の散乱方向に沿って１つ以上のパッチ画像を取得するように構成された第１の検出チャネルと、第２の散乱方向に沿って１つ以上のパッチ画像を取得するように構成された第２の検出チャネルと、少なくとも第３の散乱方向に沿って１つ以上のパッチ画像を取得するように構成された少なくとも１つの第３の検出チャネルとを備えることを特徴とするシステム。
【請求項１６】
　請求項１５に記載のシステムであって、前記１つ以上のプロセッサが、前記第１の検出チャネル、前記第２の検出チャネル、および前記少なくとも第３の検出チャネルのうちの少なくとも１つのフォーカスを調節するようにさら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１１に記載のシステムであって、前記欠陥分類器が、畳み込みニューラルネットワーク（ＣＮＮ）を備えることを特徴とするシステム。
【請求項１８】
　請求項１１に記載のシステムであって、前記追加的な被検査物が、半導体基板およびＶＮＡＮＤ積層体のうちの少なくとも１つを含むことを特徴とするシステム。
【請求項１９】
　請求項１１に記載のシステムであって、前記１つ以上のプロセッサが、前記追加的な被検査物の前記１つ以上の特定された欠陥の前記１つ以上のパッチ画像を、ＲＧＢ画像に組み合わせるようにさらに構成されることを特徴とするシステム。
【請求項２０】
　請求項１１に記載のシステムであって、前記１つ以上のプロセッサが、前記対照被検査物の前記１つ以上の訓練欠陥を１つ以上の欠陥カテゴリにカテゴライズするようにさらに構成されることを特徴とするシステム。
【請求項２１】
　被検査物内の埋もれた欠陥の深さおよびサイズを測定するための方法であって、
　検査サブシステムを用いて、半導体基板またはＶＮＡＮＤ積層体の少なくとも１つを含む対照被検査物の１つ以上の訓練欠陥の１つ以上の対照パッチ画像を取得することと、
　前記１つ以上の対照パッチ画像、および前記１つ以上の訓練欠陥に関連付けられた１つ以上の既知のパラメータに基づいて、欠陥分類器を訓練することであり、前記１つ以上の既知のパラメータが、欠陥サイズおよび欠陥深さを含み、

追加的な被検査物の１つ以上の欠陥を特定することと、
前記検査サブシステムを用いて、前記追加的な被検査物の前記１つ以上の特定された欠陥の１つ以上のパッチ画像を取得することと、
前記欠陥分類器を用いて、前記１つ以上のパッチ画像に基づいて、前記追加的な被検査物の前記１つ以上の特定された欠陥の１つ以上のパラメータを決定することと、
を含むことを特徴とする方法。
【請求項２２】
請求項２１に記載の方法であって、前記１つ以上の特定された欠陥の前記決定された１つ以上のパラメータに基づいて、プロセスツールの１つ以上の特性を調節することをさらに含むことを特徴とする方法。
【請求項２３】
請求項２１に記載の方法であって、前記１つ以上のパラメータが、欠陥サイズおよび欠陥深さのうちの少なくとも１つを含むことを特徴とする方法。
【請求項２４】
請求項２１に記載の方法であって、前記検査サブシステムが、第１の散乱方向に沿ってパッチ画像を取得するように構成された第１の検出チャネルと、第２の散乱方向に沿ってパッチ画像を取得するように構成された第２の検出チャネルと、少なくとも第３の散乱方向に沿ってパッチ画像を取得するように構成された少なくとも１つの第３の検出チャネルとを備えることを特徴とする方法。
【請求項２５】
請求項２４に記載の方法であって、前記第１の検出チャネル、前記第２の検出チャネル、および前記少なくとも第３の検出チャネルのうちの少なくとも１つのフォーカスを調節することをさらに含むことを特徴とする方法。
【請求項２６】
請求項２１に記載の方法であって、前記欠陥分類器が、畳み込みニューラルネットワーク（ＣＮＮ）を備えることを特徴とする方法。
【請求項２７】
請求項２１に記載の方法であって、前記追加的な被検査物が、半導体基板およびＶＮＡＮＤ積層体のうちの少なくとも１つを含むことを特徴とする方法。
【請求項２８】
請求項２１に記載の方法であって、前記追加的な被検査物の前記１つ以上の特定された欠陥の前記１つ以上のパッチ画像を、ＲＧＢ画像に組み合わせることをさらに含むことを特徴とする方法。
【請求項２９】
請求項２１に記載の方法であって、前記対照被検査物の前記１つ以上の訓練欠陥を１つ以上の欠陥カテゴリにカテゴライズすることをさらに含むことを特徴とする方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、一般に、欠陥レビューおよび分類に関し、より詳細には、欠陥レビューおよび分類を行うための機械学習の使用に関する。
【背景技術】
【０００２】
関連出願の相互参照
本出願は、米国特許法第１１９条（ｅ）の下、発明者としてＪａｓｏｎ　ＫｉｒｋｗｏｏｄおよびＪａｎ　Ｌａｕｂｅｒの名前で、２０１８年９月１９日に出願された「ＤＥＰＴＨ　ＭＥＡＳＵＲＥＭＥＮＴ　ＯＦ　ＢＵＲＩＥＤ　ＤＥＦＥＣＴＳ　ＩＮ　ＶＮＡＮＤ　ＳＴＡＣＫＳ　ＵＳＩＮＧ　ＤＥＥＰ－ＬＥＡＲＮＩＮＧ」と題される米国仮出願第６２／７３３，４６３号の利益を主張するものであり、その全体を本願に引用して援用する。
【０００３】

ＶＮＡＮＤ構造体などの半導体デバイスおよび半導体ウエハを作製することは、典型的には半導体基板の上面に多数の薄膜および絶縁層を形成することを含む。作製プロセスの間、様々な層の任意の層を作製する際、欠陥が生じる場合がある。これらの欠陥を検出および／または測定することは、特にデバイスの表面の下の層の欠陥について、非常に困難な場合がある。現在のシステムおよび方法は、これらの欠陥のサイズおよび深さを正確に測定することができない場合がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００４】

【文献】国際公開第２０１６／１８２８５７号

米国特許出願公開第２０１８／０１０６７３２号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００５】

したがって、上記の従来の手法の欠点のうちの１つ以上を解消するシステムおよび方法を提供することが望ましいであろう。

【課題を解決するための手段】

【０００６】

本開示の１つ以上の実施形態により、システムが開示される。一実施形態では、システムは検査サブシステムを含む。別の実施形態では、検査サブシステムは、被検査物からの１つ以上の散乱角に沿って１つ以上のパッチ画像を取得するように構成された１つ以上の検出チャネルを含む。別の実施形態では、システムは、検査サブシステムに通信可能に結合されたコントローラを含み、コントローラは、１つ以上のプロセッサおよびメモリを含む。別の実施形態では、１つ以上のプロセッサは、メモリに記憶されたプログラム命令のセットを実行するように構成され、プログラム命令のセットは、１つ以上のプロセッサに、検査サブシステムから、対照被検査物の１つ以上の訓練欠陥の１つ以上の対照パッチ画像を受信することと、１つ以上の訓練欠陥から取得された１つ以上の対照パッチ画像、および１つ以上の訓練欠陥に関連付けられた１つ以上の既知のパラメータに基づいて、欠陥分類器を訓練することと、検査サブシステムに、追加的な被検査物の１つ以上の欠陥を特定するよう命令することと、検査サブシステムから、追加的な被検査物の１つ以上の特定された欠陥の１つ以上のパッチ画像を受信することと、追加的な被検査物の１つ以上の特定された欠陥の１つ以上のパッチ画像に欠陥分類器を適用して、追加的な被検査物の１つ以上の特定された欠陥の１つ以上のパラメータを決定することとを行わせるように構成される。

【０００７】

本開示の１つ以上の実施形態により、システムが開示される。一実施形態では、システムは、検査サブシステムに通信可能に結合されるコントローラを含む。別の実施形態では、コントローラは、１つ以上のプロセッサおよびメモリを含み、１つ以上のプロセッサは、メモリに記憶されたプログラム命令のセットを実行するように構成され、プログラム命令のセットは、１つ以上のプロセッサに、検査サブシステムから、対照被検査物の１つ以上の訓練欠陥の１つ以上の対照パッチ画像を受信することと、１つ以上の訓練欠陥から取得された１つ以上の対照パッチ画像、および１つ以上の訓練欠陥に関連付けられた１つ以上の既知のパラメータに基づいて、欠陥分類器を訓練することと、検査サブシステムに、追加的な被検査物の１つ以上の欠陥を特定するよう命令することと、検査サブシステムから、追加的な被検査物の１つ以上の特定された欠陥の１つ以上のパッチ画像を受信することと、追加的な被検査物の１つ以上の特定された欠陥の１つ以上のパッチ画像に欠陥分類器を適用して、追加的な被検査物の１つ以上の特定された欠陥の１つ以上のパラメータを決定することとを行わせるように構成される。

【０００８】

本開示の１つ以上の実施形態により、方法が開示される。一実施形態では、方法は、検

査サブシステムを用いて、対照被検査物の１つ以上の訓練欠陥の１つ以上の対照パッチ画像を取得することを含む。別の実施形態では、方法は、１つ以上の対照パッチ画像、および１つ以上の訓練欠陥に関連付けられた１つ以上の既知のパラメータに基づいて、欠陥分類器を訓練することを含む。別の実施形態では、方法は、追加的な被検査物の１つ以上の欠陥を特定することを含む。別の実施形態では、方法は、検査サブシステムを用いて、追加的な被検査物の１つ以上の特定された欠陥の１つ以上のパッチ画像を取得することを含む。別の実施形態では、方法は、欠陥分類器を用いて、１つ以上のパッチ画像に基づいて、追加的な被検査物の１つ以上の特定された欠陥の１つ以上のパラメータを決定することを含む。

【０００９】

前述の一般的な説明および以下の詳細な説明の両方は、単に例示的かつ説明的であり、必ずしも特許請求される発明を制限するものではないことを理解されたい。本明細書に組み込まれ、その一部を成す添付の図面は、本発明の実施形態を図示し、一般的な説明とともに本発明の原理を説明するための役割を果たす。

【００１０】

本開示の多くの利点は、当業者によって添付の図面を参照することにより、理解することができる。

【図面の簡単な説明】

【００１１】

【図１Ａ】本開示の１つ以上の実施形態による、欠陥検出および分析のためのシステムの簡略化したブロック図である。

【図１Ｂ】本開示の１つ以上の実施形態による、欠陥検出および分析のためのシステムの簡略化したブロック図である。

【図２】本開示の１つ以上の実施形態による、様々な深さにおける様々なサイズの欠陥を描写する、図１Ａ～図１Ｂのシステムを用いて取得された画像の一覧の図である。

【図３Ａ】本開示の１つ以上の実施形態による、畳み込みニューラルネットワーク（ＣＮＮ）訓練プロセスのグラフである。

【図３Ｂ】本開示の１つ以上の実施形態による、畳み込みニューラルネットワーク（ＣＮＮ）訓練プロセスのグラフである。

【図４】本開示の１つ以上の実施形態による、様々な深さおよびサイズの欠陥の分離を図示する等高線プロットである。

【図５】本開示の１つ以上の実施形態による、３検出チャネル構成および１検出チャネル構成を使用した、様々な深さおよびサイズの欠陥の分離を図示する等高線プロットである。

【図６】本開示の１つ以上の実施形態による、欠陥を検出および分析するための方法のフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【００１２】

本開示は、特定の実施形態およびその具体的な特徴に関して特に示され説明されてきた。本明細書において説明される実施形態は、限定的ではなく例示的であると解釈されるべきである。当業者にとっては、本開示の思想および範囲から逸脱することなく、形態および詳細における様々な変更および変形が成され得ることが、容易に明らかとなろう。

【００１３】

添付の図面に図示される、開示される主題を、詳細に参照する。

【００１４】

図１Ａ～図６を全体的に参照して、機械学習を使用した欠陥検出および分類のためのシステムおよび方法が、本開示の１つ以上の実施形態により、示され説明される。

【００１５】

本開示の実施形態は、欠陥検出および分類を行うために機械学習分類器（例えば、欠陥分類器）の使用を対象とする。より具体的には、本開示の実施形態は、既知のパラメータを用いて欠陥分類器を欠陥の画像で訓練することを対象とする。本開示のさらなる実施形

態は、３つ以上の検出器チャネルを含む検査サブシステムを用いて欠陥の画像を取得することを対象とする。

【００１６】

ＶＮＡＮＤ構造体などの半導体デバイスおよび半導体ウエハを作製する際、半導体基板の上面に薄膜層および絶縁層を含む多数の層が形成される。この多層作製プロセスにより、垂直方向に層を成す／積層した半導体デバイスが得られる。この作製プロセスを通じて、デバイスの１つ以上の層において欠陥が生じる場合がある。これらの欠陥を検出および／または測定することは、特に半導体デバイスの表面の下に埋もれた欠陥について、困難かつ効率の悪いプロセスとなり得る。例として、欠陥の場所および深さを決定するためのいくつかの現行の方法には、様々なフォーカス設定において欠陥の複数の画像を取得することが含まれる。取得された画像を比較することにより、欠陥のサイズおよび深さに関するいくつかの情報が与えられるが、情報は不正確で、用途が限られることが多い。さらには、プロセスは時間がかかり退屈である。したがって、本開示の実施形態は、積層した半導体デバイス内に埋もれた欠陥のサイズおよび深さを測定するためのシステムおよび方法を対象とする。

【００１７】

図１Ａは、本開示の１つ以上の実施形態による、欠陥検出および分析のためのシステム１００の簡略化したブロック図を図示している。一実施形態では、システム１００は検査サブシステム１０１およびコントローラ１１２を含む。

【００１８】

一実施形態では、検査サブシステム１０１は照射源を含む。照射源１０２は、照射ビームを生成し、その照射ビームを被検査物１０６に向けるように構成される。別の実施形態では、照射源１０２は、照射ビームがフォーカスライン構成にある被検査物１０６に当たるように、照射ビームを被検査物１０６に向けるように構成される。照射源１０２としては、照射ビームを生成するための当分野で既知のあらゆる照射源を含むことができる。例えば、照射源１０２は１つ以上のレーザなどの狭帯域照射源を含むことができる。例えば、照射源１０２は波長３５５ｎｍの照射ビームを生成するように構成された１つ以上のレーザを含むことができる。

【００１９】

別の実施形態では、１つ以上の光学素子１０４が照射ビームを被検査物１０６に向けるように構成される。１つ以上の光学素子１０４は、１つ以上の斜めダイバータ、１つ以上のレンズ、１つ以上のミラー、１つ以上のフィルタ、１つ以上のビームスプリッタなどを含む当分野で既知のあらゆる光学素子を含むことができるが、それに限定されない。同様に、被検査物１０６は、半導体ウエハ、半導体基板、ＶＮＡＮＤ構造体などを含む当分野で既知のあらゆる試料または基板を含むことができるが、それに限定されない。

【００２０】

一実施形態では、被検査物１０６はステージ組立体１０８上に配置され、被検査物１０６の動きを容易にする。ステージ組立体１０８は、ＸＹステージ、Ｒθステージなどを含む当分野で既知のあらゆるステージ組立体１０８を含むことができるが、それに限定されない。別の実施形態では、ステージ組立体１０８は、被検査物１０６へのフォーカスを維持するために検査または撮像の間、被検査物１０６の高さを調節することができる。

【００２１】

一実施形態では、検査サブシステム１０１は１つ以上の検出チャネル１０７を含む。１つ以上の検出チャネル１０７は、被検査物１０６で散乱された照射を集めて被検査物１０６の画像を取得するように構成された１つ以上の検出器１１０を含むことができる。例えば、図１Ａに示されるように、システム１００は、第１の検出器１１０ａを含む第１の検出チャネル１０７ａ、第２の検出器１１０ｂを含む第２の検出チャネル１０７ｂ、および第３の検出器１１０ｃを含む第３の検出チャネル１０７ｃを含むことができる。検査サブシステム１０１および検出チャネル１０７ａ、１０７ｂ、１０７ｃは図１Ｂを参照してさらに理解することができる。

【００２２】
図１Ｂは、本開示の１つ以上の実施形態による、検査サブシステム１０１の簡略化したブロック図を図示している。図１Ｂに示されるように、検査サブシステム１０１は、照射源１０２、１つ以上の光学素子１０４、被検査物１０６、ステージ組立体１０８、および１つ以上の検出器１１０ａ、１１０ｂ、１１０ｃを含む１つ以上の検出チャネル１０７ａ、１０７ｂ、１０７ｃを含むことができるが、それに限定されない。
【００２３】
一実施形態では、１つ以上の検出チャネル１０７は１つ以上の検出器１１０を含む。追加的および／または代替的な実施形態では、１つ以上の検出チャネル１０７は、被検査物１０６で散乱された照射を集めてその照射を１つ以上の検出器１１０に向けるように構成された１つ以上の光学素子を含むことができる。１つ以上の光学素子は、１つ以上のミラー、１つ以上のレンズ、１つ以上のビームスプリッタなどを含む当分野で既知のあらゆる光学素子を含むことができるが、それに限定されない。
【００２４】
一実施形態では、１つ以上の検出チャネル１０７は、１つ以上の検出器１１０を用いて被検査物１０６で散乱された照射を集めるように構成される。例えば、１つ以上の検出器１１０は、被検査物１０６内の１つ以上の欠陥を特定するよう、被検査物１０６で散乱された照射を集めるように構成することができる。別の実施形態では、１つ以上の検出器１１０は被検査物１０６の画像を取得するように構成される。１つ以上の検出器１１０は、１つ以上のカメラを含む、被検査物１０６の画像を取得するための当分野で既知のあらゆる撮像デバイスおよび／または検出器を含むことができるが、それに限定されない。
【００２５】
本明細書において先に述べたように、１つ以上の検出チャネル１０７は１つ以上の検出器１１０を含むことができる。例として、第１の検出チャネル１０７ａは第１の検出器１１０ａを含むことができ、第２の検出チャネル１０７ｂは第２の検出器１１０ｂを含むことができ、および第３の検出チャネル１０７ｃは第３の検出器１１０ｃを含むことができる。別の実施形態では、１つ以上の検出チャネル１０７は、１つ以上の角度で被検査物１０６から散乱された照射を集めるように構成される。この点では、第１の検出チャネル１０７ａは第１の散乱方向１０９ａに沿って被検査物１０６のパッチ画像１１１ａを取得するように構成することができ、第２の検出チャネル１０７ａは第２の散乱方向１０９ｂに沿って被検査物１０６のパッチ画像１１１ｂを取得するように構成することができ、第３の検出チャネル１０７ｃは第３の散乱方向１０９ｃに沿って被検査物１０６のパッチ画像１１１ｃを取得するように構成することができる。
【００２６】
例えば、図１Ｂに示されるように、第１の検出チャネル１０７ａおよび第３の検出チャネル１０７ｃは、被検査物１０６のパッチ画像１１１ａ、１１１ｃを、それぞれ第１の散乱方向１０９ａおよび第３の散乱方向１０９ｃに沿って取得するように構成することができ、第１の散乱方向１０９ａおよび第３の散乱方向１０９ｃは被検査物１０６の表面に対して、ある角度で配置構成される。同一の試料で続けて、第２の検出チャネル１０７ｂを、被検査物１０６のパッチ画像１１１ｂを第２の散乱方向１０９ｂに沿って取得するように構成することができ、第２の散乱方向１０９ｂは被検査物１０６の表面に対してほぼ直交するように配置構成される。
【００２７】
追加的および／または代替的な実施形態では、１つ以上のセンサを含む単一の検出器１１０は、パッチ画像１１１を複数の散乱方向１０９に沿って取得するように構成することができる。例えば、３つ以上のセンサを伴う単一の検出器１１０は、パッチ画像１１１を、第１の散乱方向１０９ａ、第２の散乱方向１０９ｂ、および第３の散乱方向１０９ｃに沿って取得するように構成することができる。
【００２８】
図１Ａおよび図１Ｂは、３つの散乱角度１０９に沿ってパッチ画像１１１を取得するよ

うに構成された３つの検出器１１０を含む検査サブシステム１０１を図示しているが、本明細書においてそうではないと述べられない限り、これは本開示の限定として見なされるべきではない。この点で、検査サブシステム１０１は、１検出チャネル構成、２検出チャネル構成、３検出チャネル構成、５検出チャネル構成、などを含むあらゆる構成で配置構成することができるが、それに限定されないことが企図される。様々なチャネル構成同士の比較を、本明細書においてさらに詳細に議論する。

【００２９】

再度図１Ａを参照する。一実施形態では、検査サブシステム１０１の１つ以上の検出器１１０は、コントローラ１１２に通信可能に結合される。コントローラ１１２は、１つ以上のプロセッサ１１４およびメモリ１１６を含むことができる。別の実施形態では、コントローラ１１２は、１つ以上のプロセスツール１１８に通信可能に結合される場合がある。１つ以上のプロセスツール１１８は、あらゆる数の上流または下流のプロセスツールを含むことができる。１つ以上のプロセスツール１１８は、１つ以上のリソグラフィツール、１つ以上の研磨ツールなどを含む当分野で既知のあらゆるプロセスツールを含むことができるが、それに限定されない。別の例として、１つ以上のプロセスツールは、１つ以上の計測ツールを含む場合がある。別の実施形態では、コントローラ１１２はユーザインターフェース（図示せず）に通信可能に結合される。

【００３０】

一実施形態では、１つ以上のプロセッサ１１４は、メモリ１１６に記憶されたプログラム命令のセットを実行するように構成することができ、プログラム命令のセットは１つ以上のプロセッサ１１４に本開示のステップを遂行させるように構成される。

【００３１】

一実施形態では、プログラム命令のセットは、１つ以上のプロセッサ１１４に、検査サブシステム１０１で、対照被検査物１０６ａの１つ以上の訓練欠陥の１つ以上の対照パッチ画像１１１を取得させるように構成される。別の実施形態では、プログラム命令のセットは、１つ以上のプロセッサ１１４に、１つ以上の対照パッチ画像１１１、および１つ以上の訓練欠陥に関連付けられた１つ以上の既知のパラメータに基づいて欠陥分類器を訓練させるように構成される。別の実施形態では、プログラム命令のセットは、１つ以上のプロセッサ１１４に、検査サブシステム１０１で、追加的な被検査物１０６ｂの１つ以上の欠陥を特定させるように構成される。別の実施形態では、プログラム命令のセットは、１つ以上のプロセッサ１１４に、検査サブシステム１０１で、追加的な対照被検査物１０６ｂの１つ以上の特定された欠陥の１つ以上のパッチ画像１１１を取得させるように構成される。別の実施形態では、プログラム命令のセットは、１つ以上のプロセッサ１１４に、欠陥分類器を用いて１つ以上のパッチ画像１１１に基づいて、追加的な被検査物１０６ｂの１つ以上の特定された欠陥の１つ以上のパラメータを決定させるように構成される。１つ以上のプロセッサによって実施されるこれらのステップのそれぞれを、本明細書においてさらに詳細に議論する。

【００３２】

一実施形態では、対照被検査物１０６（本明細書では以降、「対照被検査物１０６ａ」と称する）は、試料ステージ１０８に置くことができる。対照被検査物１０６ａは、対照被検査物１０６ａの欠陥（例えば、「訓練欠陥」）が知られているように、以前に検査された可能性がある。本明細書では、対照被検査物１０６ａはシステム１００および／または１つ以上の外部検査システムで検査されてある場合があることが企図される。追加的に、本明細書では、既知の、対照被検査物１０６ａの特定された欠陥（例えば、訓練欠陥）の１つ以上のパラメータが決定され、メモリ１１６に記憶され得ることが企図される。訓練欠陥に関連付けられるパラメータは、欠陥の場所、欠陥の深さ、欠陥のサイズ、欠陥のタイプ（例えば、欠陥カテゴリ）などを含むことができるが、それに限定されない。本明細書では訓練欠陥は、様々なパラメータ（例えば、場所、深さ、サイズ、タイプ）を高い精度で知ることができるように、対照被検査物１０６ａ内に意図的に作成または「埋め込み」される場合があることに留意されたい。

【００３３】
一実施形態では、プログラム命令のセットは、１つ以上のプロセッサ１１４に、検査サブシステム１０１で、対照被検査物１０６ａの１つ以上の訓練欠陥の１つ以上の対照パッチ画像１１１を取得させるように構成される。例えば、１つ以上のプロセッサ１１４は、検査サブシステム１０１の１つ以上の検出器１１０に、対照被検査物１０６ａのパッチ画像１１１を取得させることができる。この点では、第１の検出器１１０ａは第１の散乱方向１０９ａに沿って対照被検査物１０６ａの第１の対照パッチ画像１１１ａを取得することができ、第２の検出器１１０ｂは第２の散乱方向１０９ｂに沿って対照被検査物１０６ａの第２の対照パッチ画像１１１ｂを取得することができ、第３の検出器１１０ｃは第３の散乱方向１０９ｃに沿って対照被検査物１０６ａの第３の対照パッチ画像１１１ｃを取得することができる。本明細書では、用語「パッチ画像１１１」に先行する用語「対照」は、パッチ画像１１１が対照被検査物１０６ａから取得されたことを示すものとして解釈され得ることに留意されたい。

【００３４】
別の実施形態では、プログラム命令のセットは、１つ以上のプロセッサ１１４に、１つ以上の対照パッチ画像１１１を受信させるように構成される。一実施形態では、１つ以上のプロセッサ１１４は、１つ以上の検出器１１０から１つ以上の対照パッチ画像１１１を取得するように構成される。追加的および／または代替的な実施形態では、１つ以上の検出器１１０は、コントローラ１１２および／または１つ以上のプロセッサ１１４に１つ以上の対照パッチ画像１１１を送信するように構成される。１つ以上のプロセッサ１１４は、１つ以上の対照パッチ画像１１１をメモリ１１８に記憶するようにさらに構成されてもよい。

【００３５】
本明細書ではパッチ画像１１１のフォーカスおよび品質は、個々の検出器１１０のフォーカスに応じたものであり得ることに留意されたい。例えば、第１の検出器１１０ａのフォーカスが、被検査物１０６の表面にフォーカスされる場合、被検査物１０６の表面の下に埋もれた欠陥は、フォーカスがずれている可能性がある。この点で、検出器１１０の１つ以上のフォーカスが調節される場合がある。１つ以上の検出器１１０のフォーカスを調節することにより、欠陥のパッチ画像１１１の形状は、欠陥の深さの関数として変化する場合がある。この情報は、次いで後続のステップで欠陥の深さを決定するために使用される場合がある。例として、欠陥分類器は、様々なフォーカスで取得されたパッチ画像１１１同士の差異を利用して欠陥の深さを決定することができる。

【００３６】
検査サブシステム１０１の「グローバルフォーカス」が調節できることが企図される。追加的および／または代替的な実施形態では、１つ以上の検出器１１０のそれぞれの個々のフォーカスは、それぞれ調節することができる。別の実施形態では、後続のパッチ画像１１１は、検出器１１０フォーカスの調節に続いて取得することができる。検出器１１０のうちの１つ以上のフォーカスは、取得されたパッチ画像１１１の品質、取得されたパッチ画像１１１のフォーカスなどを含むファクタの数に基づいて調節され得るが、それに限定されないことが企図される。様々なサイズおよび深さの欠陥を描写するパッチ画像１１１のフォーカスおよび品質は、図２を参照してより理解することができる。

【００３７】
図２は、本開示の１つ以上の実施形態による、様々な深さにおける様々なサイズの欠陥を描写するシステム１００を用いて取得されたパッチ画像１１１の一覧２００を図示している。

【００３８】
図２から分かるように、一覧２００ではパッチ画像１１１の第１の列はサイズが２０ｎｍである欠陥の画像を図示しており、パッチ画像１１１の第２および第３の列は、それぞれサイズが４０ｎｍおよび６０ｎｍである欠陥の画像を図示している。同様に、一覧２００ではパッチ画像１１１の第１の行は深さ０．３６μｍの欠陥の画像を図示しており、パ

ッチ画像１１１の第２、第３、および第４の行はそれぞれ深さが１．２μｍ、２．０４μｍ、および２．８８μｍである欠陥の画像を図示している。

【００３９】

再度図１Ａを参照する。

【００４０】

別の実施形態では、プログラム命令のセットは、１つ以上のプロセッサ１１４に、１つ以上の対照パッチ画像１１１、および１つ以上の訓練欠陥に関連付けられた１つ以上の既知のパラメータに基づいて欠陥分類器を訓練させるように構成される。欠陥分類器は、畳み込みニューラルネットワーク（ＣＮＮ）（例えば、ＧｏｏｇｌｅＮｅｔ、ＡｌｅｘＮｅｔなど）、アンサンブル学習分類器、ランダムフォレスト分類器、人工ニューラルネットワーク（ＡＮＮ）などを含む、あらゆるタイプのディープラーニング技法および／または機械学習アルゴリズム、あるいは当分野で既知の分類器を含むことができるが、それに限定されない。

【００４１】

例えば、対照被検査物１０６ａに訓練欠陥が埋め込まれ、訓練欠陥のパラメータ（例えば、場所、サイズ、深さ、タイプなど）はメモリ１１６に記憶されている実施形態では、１つ以上のプロセッサ１１４は欠陥分類器を１つ以上の教師あり学習技法で訓練することができる。例えば、対照被検査物１０６ａにおいて訓練欠陥の１つ以上の対照パッチ画像１１１のパラメータは、メモリ１１６に記憶することができる。この例では、１つ以上のプロセッサ１１４は、対照パッチ画像１１１および訓練欠陥のパラメータを欠陥分類器に与えることにより、教師あり学習を介して欠陥分類器を訓練することができる。本明細書では欠陥分類器は、あらゆるアルゴリズムあるいは特定された欠陥の１つ以上のパラメータを予測および／または分類するように構成された予測モデルを含むことができることに留意されたい。欠陥分類器を訓練することは、図３Ａ～図３Ｂを参照してより理解することができる。

【００４２】

図３Ａ～図３Ｂは、本開示の１つ以上の実施形態による、畳み込みニューラルネットワーク（ＣＮＮ）訓練プロセスのグラフ３００、３０２、３０４を図示している。特に、図３ＡはＣＮＮ訓練プロセスのグラフ３００、３０２を図示しており、図３Ｂは選択された欠陥のセットの深さ測定を描写したヒストグラムグラフ３０４を図示している。

【００４３】

図３Ａのグラフ３００は、ＣＮＮが訓練されている時のＣＮＮ（例えば、欠陥分類器）の平均平方二乗誤差（ＲＭＳＥ）を図示している。グラフ３００から分かるように、ＲＭＳＥはエポック１（ＣＮＮに与えられたデータの第１の期間）の間に劇的に減少することがあり、後続のエポックを通じて最後のＲＭＳＥ値までは若干減少し、ＣＮＮが訓練されたことを示す。したがって、グラフ３００は、より多くのデータ（例えば、対照パッチ画像１１１および１つ以上の訓練欠陥に関連付けられた既知のパラメータ）がＣＮＮ（例えば、欠陥分類器）に与えられるとＣＮＮが改善し続けることができることを図示している。図３Ｂから分かるように、ＣＮＮ（例えば、システム１００の欠陥分類器）は、およそ５ｎｍ、２０ｎｍ、３３ｎｍ、４５ｎｍを中心とする欠陥を特定している可能性がある。

【００４４】

再度図１Ａを参照する。

【００４５】

別の実施形態では、対照被検査物１０６ａは、ステージ組立体１０８から取り除かれ、追加的な被検査物１０６ｂをステージ組立体１０８に置くことができる。実施形態では、追加的な被検査物１０６ｂは対照被検査物１０６ａのものとは異なる被検査物１０６を含むことができる。例えば、追加的な被検査物１０６ｂは製品半導体ウエハ、製品ＶＮＡＮＤ構造体などを含むことができるが、それに限定されない。この点では、追加的な被検査物１０６ｂには、欠陥の検査が行われる対照被検査物１０６ａに続くあらゆる被検査物１０６を含むことができる。この点では、訓練欠陥のパラメータが予め知ることのできる対

照被検査物１０６ａと比較して、追加的な被検査物１０６ｂの特定された欠陥のパラメータは未知であり、追加的な被検査物１０６ｂを分析する際の対象であり得る。

【００４６】

別の実施形態では、プログラム命令のセットは、１つ以上のプロセッサ１１４に、検査サブシステム１０１で、追加的な被検査物１０６ｂの１つ以上の欠陥を特定させるように構成される。例えば、１つ以上のプロセッサ１１４は、１つ以上の画像を検出器１１０から受信すること、および１つ以上の検出アルゴリズムを利用して追加的な被検査物１０６ｂの１つ以上の欠陥を特定することができる。本明細書では、１つ以上のプロセッサ１１４は、追加的な被検査物１０６ｂの１つ以上の欠陥を特定するために、当分野で既知のあらゆるアルゴリズムまたは検出手順を利用することができることに留意されたい。本明細書において先に述べたように、追加的および／または代替的な実施形態では、検査サブシステム１０１の外部の検査システムを使用して、１つ以上の欠陥が、追加的な被検査物１０６ｂ上で特定される場合がある。

【００４７】

別の実施形態では、プログラム命令のセットは、１つ以上のプロセッサ１１４に、検査サブシステム１０１で、追加的な対照被検査物１０６ｂの１つ以上の特定された欠陥の１つ以上のパッチ画像１１１を取得させるように構成される。例えば、１つ以上のプロセッサ１１４は、検査サブシステム１０１の１つ以上の検出器１１０に、追加的な被検査物１０６ｂのパッチ画像１１１を取得させることができる。この点では、第１の検出器１１０ａは第１の散乱方向１０９ａに沿って追加的な被検査物１０６ｂの第１のパッチ画像１１１ａを取得することができ、第２の検出器１１０ｂは第２の散乱方向１０９ｂに沿って追加的な被検査物１０６ｂの第２のパッチ画像１１１ｂを取得することができ、第３の検出器１１０ｃは第３の散乱方向１０９ｃに沿って追加的な被検査物１０６ｂの第３のパッチ画像１１１ｃを取得することができる。一実施形態では、本明細書において先に述べたように、１つ以上の検出器１１０のフォーカスは調節することができる。

【００４８】

一実施形態では、１つ以上のパッチ画像１１１は、単一のＲＧＢ画像に組み合わせることができる。ＲＧＢ画像の色プレーンのそれぞれは、検出器チャネル１０９のそれぞれによって取得されたパッチ画像１１１に対応する場合がある。例えば、３検出チャネル構成の実施形態では、図１Ａおよび図１Ｂで描写されるように、集約したＲＧＢ画像の第１の色プレーンは第１の検出器チャネル１０９ａに沿って取得された第１のパッチ画像１１１ａに対応することができ、第２の色プレーンは第２の検出器チャネル１０９ｂに沿って取得された第２のパッチ画像１１１ｂに対応することができ、第３の色プレーンは第３の検出器チャネル１０９ｃに沿って取得された第３のパッチ画像１１１ｃに対応することができる。

【００４９】

別の実施形態では、プログラム命令のセットは、１つ以上のプロセッサ１１４に、追加的な被検査物１０６ｂの１つ以上のパッチ画像１１１を受信させるように構成される。本明細書において先に述べたように、１つ以上のプロセッサ１１４は、１つ以上の検出器１１０から追加的な被検査物１０６ｂの１つ以上のパッチ画像１１１を取得するように構成される。追加的および／または代替的な実施形態では、１つ以上の検出器１１０は、コントローラ１１２および／または１つ以上のプロセッサ１１４に１つ以上のパッチ画像１１１を送信するように構成されてもよい。１つ以上のプロセッサ１１４は、追加的な被検査物１０６ｂの１つ以上のパッチ画像１１１をメモリ１１８に記憶するようにさらに構成されてもよい。

【００５０】

別の実施形態では、プログラム命令のセットは、１つ以上のプロセッサ１１４に、欠陥分類器を用いて１つ以上のパッチ画像１１１に基づいて、追加的な被検査物１０６ｂの１つ以上の特定された欠陥の１つ以上のパラメータを決定させるように構成される。この点では、追加的な被検査物１０６ｂの１つ以上のパッチ画像１１１は、訓練済の欠陥分類器

に与えられてもよい。欠陥分類器は、次いで１つ以上の受信したパッチ画像１１１に基づいて、追加的な被検査物１０６ｂの１つ以上の欠陥の１つ以上のパラメータを決定するように構成することができる。例えば、欠陥分類器は、１つ以上の欠陥のサイズおよび深さを決定するように構成することができる。別の例として、欠陥分類器は、１つ以上の欠陥の場所を決定するように構成することができる。別の例として、欠陥分類器は、１つ以上の欠陥のタイプ／特性に基づいて１つ以上の欠陥をカテゴライズするように構成することができる。本明細書では、欠陥分類器によって決定されたパラメータは、被検査物１０６を分析する際の対象であり得る当分野で既知のあらゆるパラメータを含むことができ、欠陥の場所、欠陥のサイズ、欠陥の深さ、欠陥のカテゴリ／タイプなどを含むが、それに限定されないことに留意されたい。

【００５１】

別の実施形態では、欠陥分類器によって決定された１つ以上の欠陥の１つ以上のパラメータは、メモリ１１８に記憶される。この点では、メモリ１１８は、検査される欠陥のそれぞれに関連付けられたデータを含むデータベースを編集するように構成することができる。例えば、メモリ１１８は、１つ以上の欠陥に関するサイズ、深さ、場所、カテゴリ／タイプおよび他の情報を含むデータベースを編集するように構成することができる。

【００５２】

別の実施形態では、プログラム命令のセットは、１つ以上のプロセッサ１１４に、１つ以上のプロセスツール１１８の１つ以上の特性を調節させるように構成される。本明細書において先に述べたように、１つ以上のプロセスツール１１８は、あらゆる数の上流または下流のプロセスツールを含むことができる。１つ以上のプロセスツール１１８は、１つ以上のリソグラフィツール、１つ以上の研磨ツールなどを含む当分野で既知のあらゆるプロセスツールを含むことができるが、それに限定されない。別の例として、１つ以上のプロセスツールは、１つ以上の計測ツールを含む場合がある。別の実施形態では、コントローラ１１２はユーザインターフェース（図示せず）に通信可能に結合される。

【００５３】

１つ以上のプロセスツール１１８の１つ以上の特性を調節することは、プロセスツール１１８のステージ組立体を調節すること、プロセスツール１１８の照射の強度および／または方向を調節することなどを含むことができるが、それに限定されない。この点では、１つ以上のプロセッサ１１４は、１つ以上のプロセスツール１１８の１つ以上の特性を、フィードフォワードまたはフィードバック通信ループで調節するように構成することができる。本明細書では、１つ以上のプロセスツール１１８の特性を調節することについて与えられる例は、例示目的のためだけに与えられ、限定として見なされるべきではないことに留意されたい。この点では、プロセスツール１１８の１つ以上の特性を調節することは、当分野で既知のプロセスツール１１８のあらゆる特性を調節することを含むことができる。

【００５４】

追加的な被検査物１０６における対象の欠陥のパラメータを決定するためのシステム１００の能力は、図４および図５Ａ～図５Ｂを参照してさらに理解することができる。

【００５５】

図４は、本開示の１つ以上の実施形態による、様々な深さおよびサイズの欠陥の分離を図示する等高線プロット４００を図示している。

【００５６】

システム１００は、異なる深さを有する欠陥を互いに明瞭に区別することができる場合がある。例えば、図４に示されるように、システム１００の欠陥分類器は、およそ５ｎｍ、２０ｎｍ、３３ｎｍ、および４５ｎｍを中心とする欠陥を特定することができている場合がある。プロット４００は、システム１００の欠陥分類器が欠陥を、欠陥の深さおよび／またはサイズに応じて、別個のカテゴリに特定して分離することができることを図示している。この点では、本開示の実施形態は、以前の検査手法で達成され得るよりも高い欠陥深さ解像度を生成することができる。本明細書では、図４で描写されるこれらの特定さ

れた欠陥は、図３Ｂのグラフ３０４で図示されたＣＮＮ訓練プロセスデータに対応する可能性があることに留意されたい。

【００５７】

図５は、本開示の１つ以上の実施形態による、３検出チャネル構成および１検出チャネル構成を使用した、様々な深さおよびサイズの欠陥の分離を図示する等高線プロット５００を図示している。特に、プロット５０２は３検出チャネル構成を利用する特定された欠陥を図示しており、プロット５０４は１検出チャネル構成を利用する特定された欠陥を図示している。プロット５０２およびプロット５０４を比較すると、３検出チャネル構成での実施形態は、１検出チャネル構成での実施形態と比較して、著しく改善した深さ解像度を与えることができることが分かる。

【００５８】

先に述べたように、システム１００はユーザインターフェース（図示せず）を含むこともできる。一実施形態では、ユーザインターフェースはコントローラ１１２に通信可能に結合される。一実施形態では、ユーザインターフェースは、１つ以上のデスクトップ、タブレット、スマートフォン、スマートウォッチなどを含むことができるが、それに限定されない。別の実施形態では、ユーザインターフェースは、システム１００のデータをユーザに表示するために使用されるディスプレイを含む。ユーザインターフェースのディスプレイは、当分野で既知のあらゆるディスプレイを含むことができる。例えば、ディスプレイは、液晶ディスプレイ（ＬＣＤ）、有機発光ダイオード（ＯＬＥＤ）ベースのディスプレイ、またはＣＲＴディスプレイを含むことができるが、それに限定されない。ユーザインターフェースは、ユーザから１つ以上の入力コマンドを受信するようにさらに構成されてもよく、１つ以上の入力コマンドはシステム１００の１つ以上の構成要素を変更するように構成される。当業者であれば、ユーザインターフェースとの統合が可能なあらゆるディスプレイデバイスが、本開示における実装形態に適切であることを認識すべきである。別の実施形態では、ユーザは、ユーザインターフェースを介してユーザに表示されたデータに応答して選択および／または命令を入力することができる。

【００５９】

別の実施形態では、システム１００は、システム１００のコントローラ１１２を外部のネットワークに通信可能に結合するように構成されたネットワークインターフェース（図示せず）を含む場合がある。この点では、本明細書では、コントローラ１１２および／または１つ以上のプロセッサ１１４によって遂行されるものとして説明される本開示のステップの任意のステップは、代わりにネットワークを介してサーバまたは他のリモートプロセッサによって遂行され得ることが企図される。例として、メモリ１１８に記憶されたデータ（例えば、対照パッチ画像１１１、訓練欠陥のパラメータ、パッチ画像１１１など）は、ユーザインターフェースによってリモートのサーバまたはプロセッサに送信することができる。この点では、本明細書では、欠陥分類器はリモートのサーバまたはプロセッサ上で訓練できることが企図される。

【００６０】

ネットワークインターフェース（図示せず）は、ネットワークとのインターフェースに適切なあらゆるネットワークインターフェース回路またはネットワークインターフェースデバイスを含むことができることに留意されたい。例えば、ネットワークインターフェース回路は、ワイヤラインベースのインターフェースデバイス（例えば、ＤＳＬベースの内部接続、ケーブルベースの内部接続、Ｔ９ベースの内部接続など）を含むことができる。別の実施形態では、ネットワークインターフェース回路は、ＧＳＭ、ＧＰＲＳ、ＣＤＭＡ、ＥＶ－ＤＯ、ＥＤＧＥ、ＷｉＭＡＸ（登録商標）、３Ｇ、４Ｇ、４Ｇ　ＬＴＥ、５Ｇ、ＷｉＦｉプロトコル、ＲＦ、ＬｏＲａなどを採用する無線ベースのインターフェースデバイスを含むことができる。別の例として、ネットワークインターフェースは、システム１００をクラウドベースのアーキテクチャでネットワークに通信可能に結合するように構成することができる。

【００６１】

本明細書では、システム１００（例えば、検査サブシステム１０１、コントローラ１１２など）の１つ以上の構成要素を、当分野で既知のあらゆるやり方でシステム１００の様々な他の構成要素に通信可能に結合することができることに留意されたい。例えば、１つ以上のプロセッサ１１４は、ワイヤライン（例えば、銅線、光ファイバーケーブルなど）または無線接続（例えば、ＲＦカプリング、ＩＲカプリング、データネットワーク通信（例えば、３Ｇ、４Ｇ、４Ｇ　ＬＴＥ、５Ｇ、ＷｉＦｉ、ＷｉＭＡＸ（登録商標）、Ｂｌｕｅｔｏｏｔｈ（登録商標）など））を介して、互いに、および他の構成要素に通信可能に結合されてもよい。

【００６２】

一実施形態では、１つ以上のプロセッサ１１４は、当分野で既知のあらゆる１つ以上の処理要素を含むことができる。この意味では、１つ以上のプロセッサ１１４は、ソフトウェアアルゴリズムおよび／または命令を実行するように構成されたあらゆるマイクロプロセッサタイプのデバイスを含むことができる。一実施形態では、１つ以上のプロセッサ１１４は、本開示を通じて説明されるような、システム１００を動作させるように構成されるプログラムを実行するように構成された、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、イメージコンピュータ、並列プロセッサ、または他のコンピュータシステム（ネットワーク化コンピュータ）から成る場合がある。本開示を通じて説明されるステップは、単一のコンピュータシステムまたは代替的に複数のコンピュータシステムによって遂行され得ることを認識されたい。さらには、本開示を通じて説明されるステップは、１つ以上のプロセッサ１１４のうちの任意の１つ以上で遂行され得ることを認識されたい。一般に、用語「プロセッサ」は、メモリ１１６からのプログラム命令を実行する、１つ以上の処理要素を有するあらゆるデバイスを包含するよう広く定義することができる。さらには、システム１００の様々なサブシステム（例えば、検査サブシステム１０１、コントローラ１１２など）は、プロセッサまたは本開示を通じて説明されるステップの少なくとも一部を遂行するために適切な論理要素を含むことができる。したがって、上の説明は、本開示に対する限定として解釈されるべきではなく、単なる例示として解釈されるべきである。

【００６３】

メモリ１１６は、関連付けられた１つ以上のプロセッサ１１４によって実行可能なプログラム命令、および送信デバイスから受信したデータ（例えば、対照被検査物１０６ａ、対照パッチ画像１１１、パッチ画像１１１などの既知の欠陥に関連付けられたパラメータ）を記憶するために適切な当分野で既知のあらゆる記憶媒体を含むことができる。例えば、メモリ１１６は、非一時的なメモリ媒体を含むことができる。例えば、メモリ１１６は、読み取り専用メモリ（ＲＯＭ）、ランダムアクセスメモリ（ＲＡＭ）、磁気または光学メモリデバイス（例えば、ディスク）、磁気テープ、ソリッドステートドライブなどを含むことができるが、それに限定されない。メモリ１１６は、１つ以上のプロセッサ１１４と共通のコントローラ筐体に収容されてもよいことにさらに留意されたい。代替的な実施形態では、メモリ１１６は、プロセッサ１１４、コントローラ１１２などの物理的な場所に対してリモートに配置されてもよい。別の実施形態では、メモリ１１６は、１つ以上のプロセッサ１１４に本開示を通じて説明される様々なステップを遂行させるためのプログラム命令を維持する。

【００６４】

図６は、本開示の１つ以上の実施形態による、欠陥を検出および分析するための方法６００のフローチャートを図示している。本明細書では、方法６００のステップは、システム１００によって、すべてまたは一部実装することができることに留意されたい。しかしながら、追加的または代替的なシステムレベルの実施形態は方法６００のステップのすべてまたは一部を遂行することができるという点で、方法６００はシステム１００に限定されないことがさらに認識される。

【００６５】

ステップ６０２において、対照被検査物の１つ以上の訓練欠陥のうちの１つ以上の対照

パッチ画像が検査サブシステムで取得される。例えば、プログラム命令のセットは、１つ以上のプロセッサ１１４に、検査サブシステム１０１で、対照被検査物１０６ａの１つ以上の訓練欠陥の１つ以上の対照パッチ画像１１１を取得させるように構成することができる。本明細書において先に述べたように、訓練欠陥は、様々なパラメータ（例えば、場所、深さ、サイズ、タイプ）が高い精度で知ることができるように、対照被検査物１０６ａ内に意図的に作成または「埋め込み」される場合があることに留意されたい。訓練欠陥に関連付けられるパラメータは、欠陥の場所、欠陥の深さ、欠陥のサイズ、欠陥のタイプ（例えば、欠陥カテゴリ）などを含むことができるが、それに限定されない。

【００６６】

ステップ６０４において、欠陥分類器は、１つ以上の対照パッチ画像、および１つ以上の訓練欠陥に関連付けられた１つ以上の既知のパラメータに基づいて訓練される。欠陥分類器は、畳み込みニューラルネットワーク（ＣＮＮ）（例えば、ＧｏｏｇｌｅＮｅｔ、ＡｌｅｘＮｅｔなど）、アンサンブル学習分類器、ランダムフォレスト分類器、人工ニューラルネットワーク（ＡＮＮ）などを含む、あらゆるタイプのディープラーニング技法および／または機械学習アルゴリズム、あるいは当分野で既知の分類器を含むことができるが、それに限定されない。

【００６７】

ステップ６０６において、追加的な被検査物の１つ以上の欠陥が特定される。例えば、１つ以上のプロセッサ１１４は、１つ以上の画像を検出器１１０から受信すること、および１つ以上の検出アルゴリズムを利用して追加的な被検査物１０６ｂの１つ以上の欠陥を特定することができる。本明細書では、１つ以上のプロセッサ１１４は、追加的な被検査物１０６ｂの１つ以上の欠陥を特定するために、当分野で既知のあらゆるアルゴリズムまたは検出手順を利用することができることに留意されたい。

【００６８】

ステップ６０８において、追加的な被検査物の１つ以上の特定された欠陥のうちの１つ以上のパッチ画像が検査サブシステムで取得される。例えば、１つ以上のプロセッサ１１４は、検査サブシステム１０１の１つ以上の検出器１１０に、追加的な被検査物１０６ｂのパッチ画像１１１を取得させることができる。例えば、３検出チャネル構成での実施形態では、パッチ画像１１１は第１の散乱方向、第２の散乱方向、および第３の散乱方向に沿って取得され得る。

【００６９】

ステップ６１０において、欠陥分類器を用いて１つ以上のパッチ画像に基づいて、追加的な被検査物の１つ以上の特定された欠陥の１つ以上のパラメータが特定される。例えば、追加的な被検査物１０６ｂの１つ以上のパッチ画像１１１は、訓練済欠陥分類器に与えることができ、訓練済欠陥分類器は、１つ以上の特定された欠陥の１つ以上のパラメータを特定するように構成される。追加的な被検査物１０６ｂの１つ以上の特定された欠陥に関連付けられるパラメータは、欠陥の場所、欠陥の深さ、欠陥のサイズ、欠陥のタイプ（例えば、欠陥カテゴリ）などを含むことができるが、それに限定されない。

【００７０】

当業者であれば、本明細書で説明される構成要素（例えば、動作）、デバイス、物体、およびそれらを伴う議論は、概念上の明瞭さのための例として用いられ、様々な構成の変形が企図されることを認識されよう。結果的に本明細書で使用される際、説明される具体的な例および付随する議論は、そのより一般的なクラスを代表するものであることを意図される。一般に、あらゆる具体的な例の使用はそのクラスを代表することを意図されており、具体的な構成要素（例えば、動作）、デバイス、および物体を含まないことが限定として解釈されるべきではない。

【００７１】

当業者であれば、本明細書において説明されるプロセスおよび／またはシステムおよび／または他の技術を実行に移すことができる様々な手段（例えば、ハードウェア、ソフトウェア、および／またはファームウェア）があり、好ましい手段はプロセスおよび／また

はシステムおよび／または他の技術が展開されるコンテキストにより変わることを諒解されたい。例えば、実装者が速度および正確性を最優先と決定する場合、実装者は主にハードウェアおよび／またはファームウェア手段を選ぶ可能性がある。代替的に、柔軟性が最優先である場合、実装者は主にソフトウェア実装形態を選ぶ可能性がある。またはやはり代替的に、実装者はハードウェア、ソフトウェアおよび／またはファームウェアの何らかの組み合わせを選ぶ可能性がある。したがって、本明細書において説明されるプロセスおよび／またはデバイスおよび／または他の技術を実行に移すことができるいくつかの可能な手段があり、利用されるあらゆる手段は、手段が展開されるコンテキストおよび実装者の特定の関心（例えば、速度、柔軟性、または予測可能性）に応じた選択であるという点で、そのいずれも本質的に他よりも優れておらず、そのいずれもが変わる可能性がある。

【００７２】

先の説明は、当業者の者に本発明を、特定の用途およびその必要事項のコンテキストにおいて与えられるものとして、作成し、使用できるようにするために提示される。本明細書で使用される場合、「上部（ｔｏｐ）」、「底部（ｂｏｔｔｏｍ）」、「の上（ｏｖｅｒ）」、「の下（ｕｎｄｅｒ）」、「上側（ｕｐｐｅｒ）」、「上方向（ｕｐｗａｒｄ）」、「下側（ｌｏｗｅｒ）」、「下に（ｄｏｗｎ）」、および「下方向（ｄｏｗｎｗａｒｄ）」などの方向を表す用語は、説明の目的で相対的な位置を与えることを意図されており、参照の絶対的なフレームを指定することは意図されていない。当業者には、説明された実施形態に対する様々な変形が明らかであり、本明細書において定義される一般原理は他の実施形態に適用することができる。したがって、本発明は、示され説明される特定の実施形態に限定されることを意図されておらず、本明細書において開示される原理および新奇な特徴と一貫性のある最大範囲にしたがうものである。

【００７３】

本明細書において実質的にあらゆる複数形および／または単数形の用語の使用に関して、当業者であれば、コンテキストおよび／または用途に適用なように、複数から単数形へ、および／または単数形から複数形へと解釈することができる。簡略のため、本明細書では、様々な単数形／複数形の繰り返しは明示的に説明しない。

【００７４】

本明細書で説明される方法のすべては、方法実施形態の１つ以上のステップの結果をメモリに記憶することを含む場合がある。結果は、本明細書で説明される結果のいずれも含むことができ、当分野で既知のあらゆるやり方で記憶することができる。メモリは、本明細書で説明されるあらゆるメモリ、または当分野で既知のあらゆる他の適切な記憶媒体を含むことが可能である。結果が記憶された後、結果はメモリ内でアクセスされ、本明細書で説明される方法またはシステム実施形態のうちの任意のものによって使用することができ、ユーザへの表示用にフォーマットされ、別のソフトウェアモジュール、方法またはシステムなどによって使用される。さらには、結果は「恒久的に」、「半永久的に」、「一時的に」またはある期間、記憶することができる。例えば、メモリはランダムアクセスメモリ（ＲＡＭ）であってもよく、結果は必ずしもメモリ内に無期限に存続しなくてもよい。

【００７５】

上述の方法の実施形態のそれぞれは、本明細書で説明されるあらゆる他の方法のあらゆる他のステップを含むことができることがさらに企図される。加えて、上述の方法の実施形態のそれぞれは、本明細書で説明されるシステムの任意のものによって実施することができる。

【００７６】

本明細書で説明される主題は、時には、他の構成要素内に含まれる、または他の構成要素と接続される、異なる構成要素を説明する。そのように描写されるアーキテクチャは単に例示的であること、実際同じ機能性を達成する多くの他のアーキテクチャが実装され得ることを理解されたい。概念的な意味では、同じ機能性を達成するための構成要素のあらゆる配置構成は、所望の機能性が達成されるように効果的に「関連付けられる」。したがって、特定の機能性を達成するために本明細書において組み合わされるあらゆる２つの構

成要素は、アーキテクチャまたは中間的な構成要素に関わらず、所望の機能性が達成されるべく、互いに「関連付けられる」と考えることができる。同様に、そのように関連付けられたあらゆる２つの構成要素は、所望の機能性を達成するために互いに「接続される」、または「結合される」と見ることもでき、そのように関連付けることができるあらゆる２つの構成要素は、所望の機能性を達成するために互いに「結合可能である」として見ることもできる。結合可能な具体的な例は、物理的に嵌合可能および／もしくは物理的に相互作用可能な構成要素、ならびに／またはワイヤレスに相互作用可能および／もしくはワイヤレスに相互作用する構成要素、ならびに／または論理的に相互作用するおよび／もしくは論理的に相互作用可能な構成要素を含むが、それに限定されない。

【００７７】

さらには、本発明は、添付の特許請求の範囲によって定義されることを理解されたい。当業者であれば、一般に、本明細書で使用される用語は、特に添付の特許請求の範囲（例えば、添付の特許請求の範囲の本文）において、一般的に「オープンな」用語であると意図されることを理解されよう（例えば、用語「を含んでいる」は、「を含んでいるがそれに限定されない」として解釈されるべきであり、用語「を有する」は、「を少なくとも有する」として解釈されるべきであり、用語「を含む」は、「を含むがそれに限定されない」として解釈されるべきである、など）。当業者であれば、特定の数の導入請求項詳述が意図される場合、そのような意図は明示的に請求項に詳述され、そのような詳述がなければそのような意図が存在しないことをさらに理解されたい。例えば、理解の助けとして、以下の添付の特許請求の範囲は、請求項詳述を導入するために導入句「少なくとも１つの」および「１つ以上の」の使用を含む場合がある。しかしながら、そのような句の使用は、同一の請求項が導入句「１つ以上」または「少なくとも１つの」および「ａ」または「ａｎ」などの不定冠詞を含む場合（例えば、「ａ」および／または「ａｎ」は、典型的には「少なくとも１つの」または「１つ以上の」を意味するものと解釈されるべきである）ですら、不定冠詞「ａ」または「ａｎ」による請求項詳述の導入が、そのような導入請求項詳述を含むあらゆる特定の請求項をそのような詳述１つだけを含む発明に限定することを暗示するものとして解釈されるべきではない。同じことが請求項詳述を導入するために使用される定冠詞の使用にも当てはまる。加えて、特定の数の導入請求項詳述が明示的に詳述される場合でも、当業者であれば、そのような詳述は典型的には少なくともその詳述された数を意味すると解釈されるべきことを認識されよう（例えば、他の修飾子を伴わない「２つの詳述」のそのままの詳述は、典型的には少なくとも２つの詳述または２つ以上の詳述を意味する）。さらには、「Ａ、Ｂ、およびＣなどのうちの少なくとも１つ」に類似する慣例が使用される事例では、一般にそのような構造は当業者がその慣例を理解するという意味で意図されている（例えば、「Ａ、Ｂ、およびＣのうちの少なくとも１つを有するシステム」は、Ａだけ、Ｂだけ、Ｃだけ、ＡおよびＢを一緒に、ＡおよびＣを一緒に、ＢおよびＣを一緒に、ならびに／またはＡ、Ｂ、およびＣを一緒に有するシステムを含むがそれに限定されない、など）。「Ａ、Ｂ、またはＣなどのうちの少なくとも１つ」に類似する慣例が使用される事例では、一般にそのような構造は当業者がその慣例を理解するという意味で意図されている（例えば、「Ａ、Ｂ、またはＣのうちの少なくとも１つを有するシステム」は、Ａだけ、Ｂだけ、Ｃだけ、ＡおよびＢを一緒に、ＡおよびＣを一緒に、ＢおよびＣを一緒に、ならびに／またはＡ、Ｂ、およびＣを一緒に有するシステムを含むがそれに限定されない、など）。当業者によって、詳細な説明、請求項、または図面のいずれであっても、２つ以上の代替的な用語を表す事実上あらゆる離接的な語句および／または句は、用語のうちの１つ、用語のうちのいずれか、または両方の用語を含む可能性を企図することが理解されるべきことを、さらに理解されよう。例えば、句「ＡまたはＢ」は、「Ａ」または「Ｂ」または「ＡおよびＢ」の可能性を含むものと理解されたい。

【００７８】

本開示、およびその付随する利点の多くは、前述の説明によって理解され、開示される主題から逸脱することなく、またはその物質的な利点のすべてを犠牲にすることなく、様々な変更が構成要素の形態、構築物および配置構成で成され得ることが明らかとなると信

じられる。説明される形態は、単なる例であり、以下の特許請求の意図はそのような変更を包含し含むことである。さらには、本発明は、添付の特許請求の範囲によって定義されることを理解されたい。

【図面】

【図１Ａ】

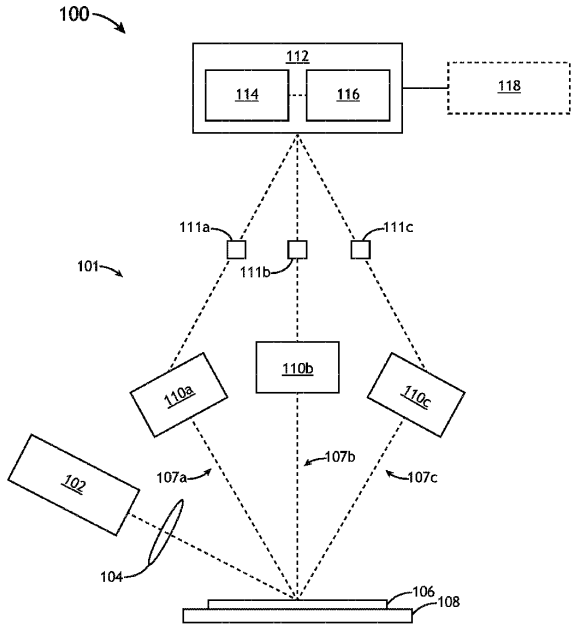


FIG.1A

【図１Ｂ】

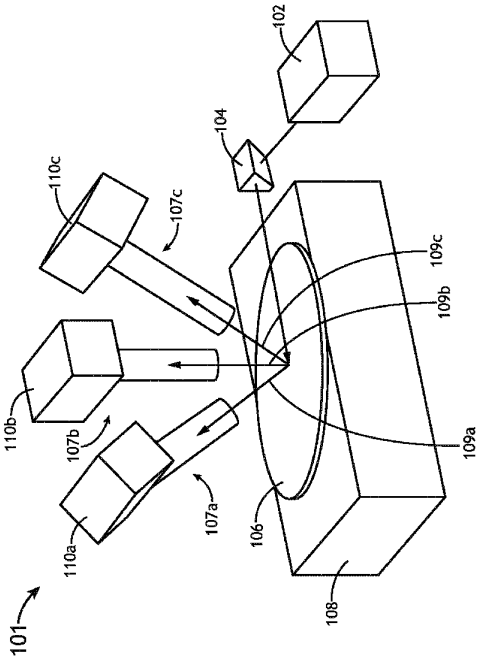
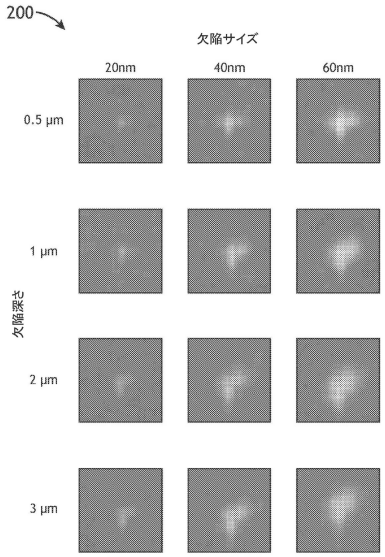
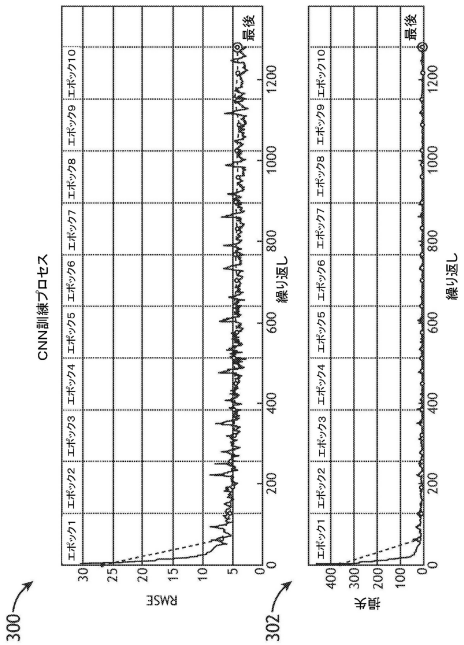


FIG.1B

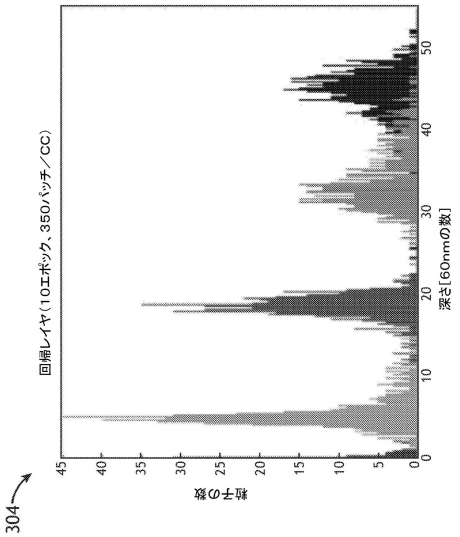
【図２】



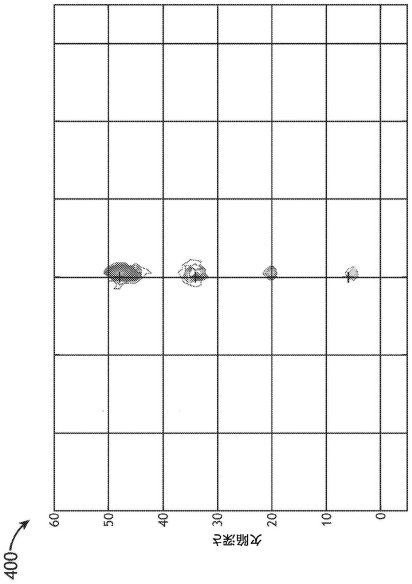
【図３Ａ】



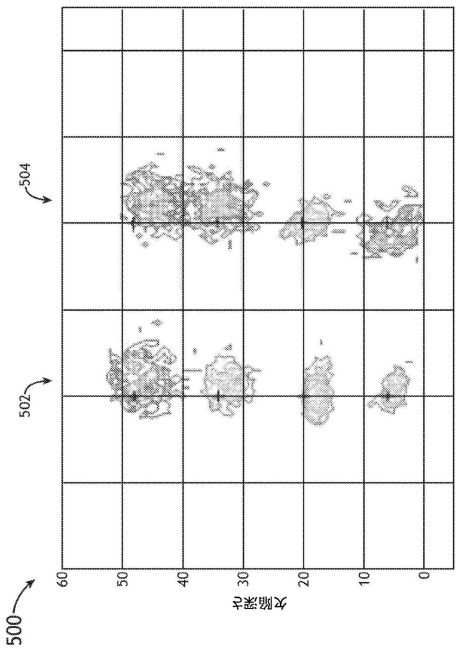
【図３Ｂ】


304
粒子の数
深さ[60nmの数]
回帰レイヤ（10エポック、350パッチ／CC）

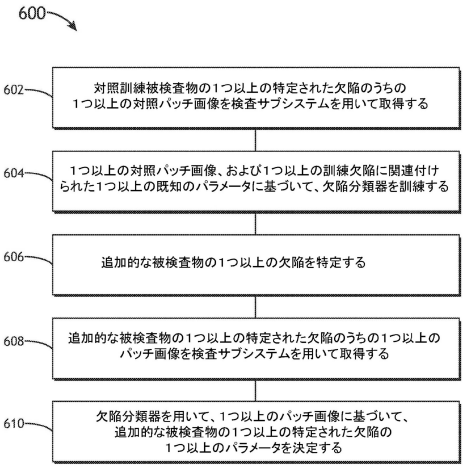
【図４】


400
欠陥深さ

【図５】


500
504
502
欠陥深さ

【図６】


600
602
対照訓練被検査物の1つ以上の特定された欠陥のうちの
1つ以上の対照パッチ画像を検査サブシステムを用いて取得する
604
1つ以上の対照パッチ画像、および1つ以上の訓練欠陥に関連付け
られた1つ以上の既知のパラメータに基づいて、欠陥分類器を訓練する
606
追加的な被検査物の1つ以上の欠陥を特定する
608
追加的な被検査物の1つ以上の特定された欠陥のうちの1つ以上の
パッチ画像を検査サブシステムを用いて取得する
610
欠陥分類器を用いて、1つ以上のパッチ画像に基づいて、
追加的な被検査物の1つ以上の特定された欠陥の
1つ以上のパラメータを決定する

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)
早期審査対象出願
(56)参考文献 国際公開第２０１８／０７５５４７（WO，Ａ１）
米国特許出願公開第２０１７／０２００２６０（ＵＳ，Ａ１）
特表２０１５－５１１４０１（ＪＰ，Ａ）
特表２０１６－５１６３０７（ＪＰ，Ａ）
特開２０１８－００４２７２（ＪＰ，Ａ）
特開２００１－１５６１３５（ＪＰ，Ａ）
(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０１Ｌ ２１／６６
Ｇ０１Ｎ ２１／９５６
Ｇ０６Ｔ ７／００