

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6328222号
(P6328222)

(45) 発行日 平成30年5月23日 (2018. 5. 23)

(24) 登録日 平成30年4月27日 (2018. 4. 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

請求項の数 17 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2016-255843 (P2016-255843)	(73) 特許権者	516086510
(22) 出願日	平成28年12月28日 (2016. 12. 28)		インチョン ユニバーシティ インダストリー アカデミック コーポレーション
(65) 公開番号	特開2017-194448 (P2017-194448A)		ファウンデーション
(43) 公開日	平成29年10月26日 (2017. 10. 26)		INCHEON UNIVERSITY
審査請求日	平成28年12月28日 (2016. 12. 28)		INDUSTRY ACADEMIC COOPERATION FOUNDATION
(31) 優先権主張番号	10-2016-0047402		大韓民国、インチョン、22012、ヨンスク、アカデミーロ、119 (ソンドドン)
(32) 優先日	平成28年4月19日 (2016. 4. 19)		(Songdo-dong) 119, Academy-ro, Yeonsu-gu,
(33) 優先権主張国	韓国 (KR)		Incheon, 22012, Republic of Korea
(31) 優先権主張番号	10-2016-0047403		
(32) 優先日	平成28年4月19日 (2016. 4. 19)		
(33) 優先権主張国	韓国 (KR)		
(31) 優先権主張番号	10-2016-0168385		
(32) 優先日	平成28年12月12日 (2016. 12. 12)		
(33) 優先権主張国	韓国 (KR)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 TSOMイメージ獲得方法及び半導体装置検査方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

スルーフォーカススキャン光学顕微鏡 (TSOM) イメージを獲得する方法であって、
前記獲得する方法は、

光学手段を介して、検査対象に関する異なる焦点位置の複数の実際映像及び前記複数の
実際映像の焦点はずれの程度 (距離) を獲得するステップ；

前記複数の実際映像及び前記複数の実際映像の焦点はずれの程度に基づいて、前記複数の
実際映像とその前記異なる焦点位置から、異なる焦点位置を有する複数の仮想映像を獲
得するステップ；及び

前記複数の実際映像及び前記複数の仮想映像を用いて前記検査対象の TSOM イメージ
を獲得するステップを含み、

前記複数の仮想映像及び前記複数の仮想映像の前記異なる焦点位置を獲得するために、
フーリエモード法 (FMM) を用いて光学系を解析し、

前記光学系解析により得た前記光学系の設定 (特性) を用いて、前記複数の実際映像と
同じ前記異なる焦点位置を有する前記複数の仮想映像を獲得して前記複数の実際映像と比
較し、

前記比較に基づいて、前記光学系のより適合した解析及び前記より適合した解析のため
の変換式 (変換プログラム) を獲得し、

前記変換式によって、前記複数の実際映像と異なる焦点位置を有する前記複数の仮想映
像、及び前記複数の仮想映像の前記異なる焦点位置を獲得する、TSOM イメージ獲得方

10

20

法。

【請求項 2】

前記複数の仮想映像及びその前記異なる焦点位置を獲得するステップは、
異なる焦点位置の前記複数の実際映像を獲得するステップと、
前記異なる焦点位置と前記複数の実際映像に関する情報（データ）に基づいた補間法を用いて、前記複数の実際映像とその前記異なる焦点位置から、異なる焦点位置を有する前記複数の仮想映像を獲得するステップを含む、ことを特徴とする請求項 1 に記載の T S O M イメージ獲得方法。

【請求項 3】

前記補間法を用いて得られた前記仮想映像の前記焦点位置は、焦点が合う距離に関してガウス分布を形成すると仮定し、

前記仮想映像の焦点位置を選択されたときに、焦点が合う位置近くの焦点位置は密に配置し、焦点はずれの位置近くの焦点位置はまばらに配置されるように、重みづけされた配置方法が採用されることを特徴とする請求項 2 に記載の T S O M イメージ獲得方法。

【請求項 4】

前記実際映像は前記検査対象に対する焦点が合う映像、実際の焦点距離に比べてレンズから撮像面までの距離が短い焦点はずれの映像、及び実際の焦点距離に比べてレンズから撮像面までの距離が長い焦点はずれの映像を含む 3 つの映像からなることを特徴とする請求項 1 に記載の T S O M イメージ獲得方法。

【請求項 5】

前記 F M M による光学系解析のために、前記複数の実際映像を得るために検査対象に照射する光源は、単一波長を持つ平面光源を使用することを特徴とする請求項 1 に記載の T S O M イメージ獲得方法。

【請求項 6】

半導体装置を検査する方法であって、前記検査する方法は、
前記項目内の少なくとも 1 つの検査対象項目（パラメータ）とカテゴリー（クラス）は既知である、複数の半導体装置部品のイメージを獲得し、前記検査対象項目、前記カテゴリー及び前記イメージを互いに関連づけた状態でディープラーニング（deep learning）のための検証資料セットとして保存リスト（データベース）に保存する工程；

コンピュータハードウェアとソフトウェアを結合した形態で検査のための基本状態の基本ツール（T O O L）を準備し、前記保存リストの複数のイメージに基づいて前記検査対象項目のうち少なくとも 1 つに対してディープラーニングを実施してそれぞれのイメージがどのカテゴリーに入るかを区分し、前記区分結果を前記保存リストによって得られた区分結果と比較し、前記区分結果が規定された基準を満足するまでディープラーニングを実施し、前記規定を満足する状態に適合化されたソフトウェアを有する状態のツールを検査に適した検査用ツールとして決定する、決定工程；及び

未知の半導体装置部品の検査対象イメージを獲得し、ディープラーニングを通して決定された前記検査用ツールを用いて前記検査対象イメージがどの検査対象項目に対してどのカテゴリーに属するかを知る、検査工程を含み、

前記項目内の少なくとも 1 つの検査対象項目（パラメータ）とカテゴリー（クラス）は既知である、前記複数の半導体装置部品の前記イメージ、及び前記未知の半導体装置部品の検査対象イメージは、スルーフォーカススキャン光学顕微鏡（T S O M）イメージであり、

前記項目内の少なくとも 1 つの検査対象項目（パラメータ）とカテゴリー（クラス）は既知である、前記複数の半導体装置部品の前記 T S O M イメージ、及び前記未知の半導体装置部品の前記検査対象 T S O M イメージは、T S O M イメージを獲得する方法によって獲得され、前記獲得する方法は、

光学手段を介して、前記複数の半導体装置部品又は前記未知の半導体装置部品の検査対象に関する異なる焦点位置の複数の実際映像及び前記複数の実際映像の焦点はずれの程度

10

20

30

40

50

(距離)を獲得するステップ；

前記複数の実際映像及び前記複数の実際映像の焦点はずれの程度に基づいて、前記複数の実際映像とその異なる焦点位置から、前記複数の実際映像と異なる焦点位置を有する複数の仮想映像を獲得するステップ；及び

既知である前記複数の実際映像及び前記複数の仮想映像を用いて、前記少なくとも1つの検査対象項目(パラメータ)と前記項目内のカテゴリ(クラス)の複数の半導体装置部品のTSOMイメージ及び前記未知の半導体装置部品の検査対象TSOMイメージを獲得するステップを含み、

前記複数の仮想映像及び前記複数の仮想映像のそれぞれの焦点位置を獲得するために、フーリエモード法(FMM)を用いて光学系を解析し、

前記光学系解析により得た前記光学系の設定(特性)を用いて、前記複数の実際映像と同じ焦点位置を有する前記複数の仮想映像を獲得して前記複数の実際映像と比較し、

前記比較に基づいて、前記光学系のより適合した解析及び前記より適合した解析のための変換式(変換プログラム)を獲得し、

前記変換式によって、前記複数の実際映像と異なる焦点位置を有する前記複数の仮想映像、及び前記複数の仮想映像の前記異なる焦点位置を獲得する、ことを特徴とする半導体装置検査方法。

【請求項7】

前記検査工程において、

前記検査対象イメージが属する

前記検査対象項目のカテゴリは、

単なる可否決定方式でなく検査対象項目の全てのカテゴリに対する確率分布方式で表現され、

前記検査対象項目のカテゴリは、数値の範囲で表現され、

前記検査対象イメージの前記検査対象項目に対する数値決定値は前記検査対象項目の各カテゴリの代表値と前記検査対象項目の各カテゴリに含まれる確率をかけたものをすべて足すことによって決定される、ことを特徴とする請求項6に記載の半導体装置検査方法。

【請求項8】

前記複数の仮想映像及びその前記異なる焦点位置を獲得するステップは、

異なる焦点位置の前記複数の実際映像を獲得するステップと、

前記異なる焦点位置と前記複数の実際映像に関する情報(データ)に基づいた補間法を用いて、前記複数の実際映像とその前記異なる焦点位置から、異なる焦点位置を有する前記複数の仮想映像を獲得するステップ、を含むことを特徴とする請求項7に記載の半導体装置検査方法。

【請求項9】

前記補間法を用いて得られた前記仮想映像の前記焦点位置は、焦点が合う距離に関してガウス分布を形成すると仮定し、

前記仮想映像の焦点位置を選択されたときに、焦点が合う位置近くの焦点位置は密に配置し、焦点はずれの位置近くの焦点位置はまばらに配置されるように、重みづけされた配置方法が採用されることを特徴とする請求項8に記載の半導体装置検査方法。

【請求項10】

前記複数の実際映像は、前記複数の半導体装置部品又は前記未知の半導体装置部品の検査対象の焦点が合う映像、実際の焦点距離に比べてレンズから撮像面までの距離が短い焦点はずれの映像、及び実際の焦点距離に比べてレンズから撮像面までの距離が長い焦点はずれの映像を含む、3つの映像からなることを特徴とする請求項7に記載の半導体装置検査方法。

【請求項11】

前記FMMによる光学系解析のために、前記実際映像を得るために検査対象に照射する光源は単一波長を持つ平面光源を使用することを特徴とする請求項7に記載の半導体装置

10

20

30

40

50

検査方法。

【請求項 1 2】

既知である前記少なくとも 1 つの検査対象項目（パラメータ）と前記項目内のカテゴリー（クラス）の複数の半導体装置部品のイメージ、及び前記未知の半導体装置部品の検査対象イメージは、

既知である前記少なくとも 1 つの検査対象項目（パラメータ）と前記項目内のカテゴリー（クラス）の複数の半導体装置部品又は前記未知の半導体装置部品の検査対象の焦点が合う映像、実際の焦点距離に比べてレンズから撮像面までの距離が短い焦点はずれの M 個の映像、及び実際の焦点距離に比べてレンズから撮像面までの距離が長い焦点はずれの N 個の映像を含むマルチチャネルイメージであって、

前記 M 及び N は 1 以上 4 以下の任意の整数であることを特徴とする請求項 6 に記載の半導体装置検査方法。

【請求項 1 3】

前記 M 及び N は同じであることを特徴とする請求項 1 2 に記載の半導体装置検査方法。

【請求項 1 4】

前記 M 及び N は 1 であることを特徴とする請求項 1 3 に記載の半導体装置検査方法。

【請求項 1 5】

前記検査対象項目のうち少なくとも 1 つに対してディープラーニングを実施された場合、前記検証資料セットの複数のイメージの特徴は、前記基本ツールに含まれるアルゴリズム（ソフトウェア、プログラム）を通して探索され、

前記検証資料セットの前記複数のイメージは、その前記特徴によって区分され、

前記区分結果は、保存リストにより取得された区分結果と比較され、

前記比較結果が前記所定の基準を満たした場合、現在状態の前記ツールは、前記検査用ツールとして決定され、

前記比較結果が前記所定の基準を満たさない場合、新しい特徴を探索する工程は、アルゴリズム修正を通して前記基本ツールを修正しつつ、前記比較結果が前記所定の基準を満足するまで繰り返えされるか、所定の回数を満足するまで繰り返えされ、

前記繰り返しの後の現在状態のツールは、検査用ツールとして決定される、ことを特徴とする請求項 6 に記載の半導体装置検査方法。

【請求項 1 6】

前記決定工程で前記検査対象項目のうち複数の項目に対する検査用ツールを決定する場合、

1 つの個別ツールは、前記基本ツールに前記複数の項目のうち 1 つに対してディープラーニングを適用することにより決定され、複数の個別ツールは、前記複数の項目全体に関連して決定され、

前記検査工程で前記複数の個別ツールは、前記検査対象イメージが前記複数の項目の各項目のどのカテゴリーに属するかを知るために前記検査対象イメージに対して適用される、ことを特徴とする請求項 6 に記載の半導体装置検査方法。

【請求項 1 7】

前記検査対象項目は半導体装置の孔（hole）、スルーシリコンビア（TSV: Through Silicon Via）、グループ、平面で突出した線形パターン（LINE pattern）それぞれの上部幅、底面幅、深さ、高さ、傾斜角のうち 1 つを含み、

前記カテゴリーは前記項目が属することができる数値範囲からなることを特徴とする請求項 6 に記載の半導体装置検査方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体装置検査方法に関し、さらに詳しくは、半導体装置検査のための T S O M イメージ獲得方法及び半導体装置検査方法に関する。

【背景技術】

【0002】

最近、アメリカ国立標準技術研究所（NIST）のラビキラン・アトッタ（Ravikiran Attota）氏などはスルーフォーカススキャン光学顕微鏡（Through focus Scanning Optical Microscopy:TSOM）を用いて3次元的微細パターンを測定できる可能性を提示している。

【0003】

この技術は従来の光学顕微鏡を使用するが、同じ対象に対して互いに異なる焦点位置で2次元イメージを収集して対象に対する3次元の映像データ空間を作る方法を使用する。したがって、得られた2次元イメージは焦点が合ったイメージ（in-focus image）と焦点が合わない焦点外イメージ（out-of-focus image）を複数含むスルーフォーカスイメージ（through-focus image）を構成するようになる。かかる3次元の映像データ空間に対するコンピュータ処理が行われる。コンピュータは収集された同じ対象に対する複数のスルーフォーカスイメージ（through-focus image）から輝度（brightness）プロファイルを抽出し焦点位置情報を用いてスルーフォーカススキャン光学顕微鏡（TSOM）イメージを作るようになる。

10

【0004】

スルーフォーカススキャン光学顕微鏡（TSOM）が提供するイメージによって構成したTSOMイメージは具体的に対象をそのまま表すものでなく、若干抽象的ではあるが、それらのイメージ間の差は測定された対象3次元構造体の微細な模様の差を推論できるようにする。

20

【0005】

シミュレーション研究によってスルーフォーカススキャン光学顕微鏡（TSOM）イメージは10ナノメートル以下の特性を測定できるものと知られており、微細な3次元構造体形状の分析に対する可能性を提示している。

【0006】

かかるTSOM技術は光学的装備を使用して電子顕微鏡レベルの精密度で半導体装置を検査できる方法を提示しているが、TSOM技術を使用するためには焦点深度が異なる複数の映像を獲得しなければならず、そのために、多くの場合、検査対象の位置を変えたり検査装備のレンズ位置のような光学的装備の設定を変えることが必要で、検査現場で速かに半導体装置を検査することを遅延させ現場での適用を困難にすることができる。

30

【0007】

すなわち、TSOMイメージによる検査の正確性を高めるためにはより多数の焦点位置に対する映像を確保し、これよりTSOMイメージを得ることが必要であるが、そのためには、検査対象や光学装備の物理的位置を変える等の設定変更が必要で、費用や時間が多くかかるようになるという短所が存在する。

【0008】

一方、TSOM技術は対象の実際イメージを使用するものでなくパターンによって実際半導体装置の特定部分の形態及び大きさを判断したり正常か否かを判断するものであるため、検査対象物のTSOMイメージを得ても、直ちにその形態、大きさ、または正常か否かを把握できるものでなく、SEMのような他の手段を用いた実際検査を通してどのパターンのTSOMイメージが半導体装置のどの構造、形態、大きさに対応するかが判り、これを拡張させ、未知の対象に対するTSOMイメージを得た場合は、既に得られた対応資料を活用してその対象の形態、大きさ、異常の有無を判るようになる。

40

【0009】

例えば、少なくとも1つの検査対象項目（パラメータ）とその関連事項（数値、数値範囲）を知る半導体装置部分に対するTSOMイメージを獲得し、全ての項目、事項、イメージを関連づけた状態でデータベースを作成し、未知の検査対象があればそれに対するTSOMイメージを得て、既に作成されたデータベースの各項目、事項のTSOMイメージ

50

と比較した後、イメージの差が最も小さいT S O Mイメージに該当する項目、事項を未知の検査対象の項目、事項と判断する。

【0010】

2つのT S O Mイメージの比較のためにはT S O Mイメージの各画素の明るさ値又は色彩値などの差を得て、その差値の自乗を全ての画素に対して足した後、これを全ての画素の数で割るM S D方法を使用することができる。

【0011】

しかし、かかる方法を使用する場合、各項目とその項目の各範疇に対するT S O Mイメージを確保するべきで、そのためには多くのT S O Mイメージの確保が必要で、各T S O Mイメージの確保のために各対象に対する多くの焦点位置での映像が必要な場合、T S O Mイメージを用いた対象検査のためにあまりにも多くの事前作業を経なければならないという困難が現実的に発生する。

10

【0012】

また、イメージが正確に整合せず誤差が発生した場合、計測の正確度が急激に低下する問題があって、データベースの資料が増加するにつれ検査計算にかかる時間が多くなる等の問題があった。

【0013】

結果として、ある対象に対するT S O Mイメージを確保する際、対象に対する最小限の互いに異なる焦点位置に対する映像だけで正確なT S O Mイメージを得ることができればT S O Mイメージを得るためにかかる費用や時間を節約できるので非常に好ましい。

20

【0014】

したがって、T S O M技術が有する可能性と長所、比較的低廉な光学装置を用いて電子顕微鏡のような高度な正確性を有する検査を遂行することができ、生産過程を中断したり対象を破壊することなく工程検査に適用されることができるといふ長所及び可能性にもかかわらず、まだ実質的な半導体装置検査に適切に活用されておらず、現在としてはある具体的な半導体装置の生産過程において現場検査に適用されるためにはT S O M技術の適用で要求されるイメージ獲得及び分析作業を速かにして過程を自動化できる具体的な検査方法の開発が求められる。

【0015】

一方、ディープラーニング(Deep Learning)とは、事物やデータを分類したり群集するために使用する技術をいう。人間の脳が事物を区分するようにコンピュータが事物を分類するように訓練させる機械学習(Machine Learning)の一種である。

30

【0016】

2006年、カナダのトロント大学のジェフリー・ヒントン(Geoffrey Hinton)教授の論文において初めて用いられたディープラーニングという用語の基本概念は、人工ニューラルネットワーク(ANN、Artificial Neural Network)と類似している。人工ニューラルネットワークは人間の頭脳と似た方式で情報を処理するアルゴリズムで、事物の面や形状など様々な要素のデータを合わせて区分する過程を繰り返して情報を学習する。ヒントンは自身の論文で従来の人工ニューラルネットワークモデルの短所を克服する方法を提示した。その上、大量のデータを分析できるハードウェアの発達とビッグデータ(Big Data)の登場によって人工ニューラルネットワークはより優れた結果を示すようになるが、これをディープラーニングという。

40

【0017】

ディープラーニングの特徴の1つは、教師なし学習(Unsupervised Learning)によるデータ分類方式である。一般に、コンピュータのデータ分類方式は教師あり学習(Supervised Learning)と教師なし学習(Unsupervised Learning)とに分かれる。教師あり学習は、先ずコンピュータに分類基準を入力する方式で、従来の機械学習アルゴリズムは大体教師あり学習方式で

50

ータを分類してきた。教師なし学習は、分類基準無しで情報を入力してコンピュータが自ら分類するようにする方式で、コンピュータは自ら類似した群集を探してデータを分類するようになるが、そのためには高度な演算能力が必要である。ディープラーニングは、教師なし学習方法を使用した前処理過程（Pre-training）でデータを手入れして人工ニューラルネットワークの最適化を行う。

【0018】

例えば、コンピュータは投入されたデータを基に一定のパターンを発見して特徴マップ（feature map）を形成する。非常に小さな特徴から大きな特徴まで抽出されることができる。どれだけ良い特徴を見つけるかによってアルゴリズムの性能が大きく左右される。複数の段階を経て特徴を抽出するCNN（convolutional neural network）アルゴリズムによって上位階層へ上がるほど難しい内容を学習できる。ディープラーニングという用語は、多段階で深い水準まで降りて学習することに由来したものである。与えられたデータで特徴マップによってパターンを見つけて人間が事物を区分するようにデータを分類できるようになれば、コンピュータは新たに入力された写真を見て基準に従ってこれを正確に区分できるようになる。特徴の抽出から学習までをアルゴリズムに含むことがディープラーニングの特徴である。

10

【0019】

かかるディープラーニングは、音声認識及び映像認識分野で近年多くの成果を上げており、映像認識分野で生体神経網に基づいて入力が論理関数及び加重値によって出力を算出する基本モデルと、コンボリュショナルプーリング（Convolutional Pooling）概念を用いた特徴マップ（Feature Map）抽出が重要な内容をなす。

20

【0020】

しかし、ディープラーニングは、その莫大な可能性にもかかわらず最近浮上しまだ概念自体が一般化していないためアプローチが難しく、適切な理解と活用のためには認知科学や人工知能、統計やビッグデータ、アルゴリズムのためのコンピュータハードウェア及びソフトウェアに関する知識など周辺知識に対する理解が求められ、多様な分野で十分に活用されていないのが実情である。

【先行技術文献】

【特許文献】

30

【0021】

【特許文献1】大韓民国特許登録第10-1523336B1号

【特許文献2】大韓民国特許登録第10-1507950B1号

【非特許文献】

【0022】

【非特許文献1】“TSOM method for semiconductor metrology”, Proc. SPIE 7971, Metrology, Inspection, and Process Control for Microlithography XXV, 79710T (April 20, 2011)

【発明の概要】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0023】

本発明は、上述した従来のTSOMイメージによる半導体装置検査方法の問題点を克服するためのもので、より小さな努力と時間を投入しながらも対象に対する精密度が高いTSOMイメージを得る方法、及びかかるTSOMイメージによって半導体装置を検査する方法を提供することを目的とする。

【0024】

本発明は、複数の焦点深度を持つ映像を獲得する際、光学的設定や対象の焦点距離方向の位置を大きく又は頻繁に変化させることなく正確なTSOMイメージを得るに十分な個数の互いに異なる焦点深度を持つ映像を獲得できる方法及びこれを用いた半導体装置検査

50

方法を提供することを目的とする。

【0025】

本発明は、資料によるディープラーニングによって検査ツールを具体化して検査対象をより正確かつ速かに検査できる新しい半導体装置検査方法を提供することを目的とする。

【0026】

本発明は、半導体装置検査方法の初期実行において要となり得る検証資料セット又はデータベースを構築するにあたって、時間と費用を低減できるように適合性を有するTSOMイメージ獲得方法を提供することを目的とする。

【0027】

本発明は、TSOMを用いた半導体装置の検査方法の限界を克服してより現実的、かつより能率的に半導体装置の検査に使用され得る半導体装置検査方法を提供することを目的とする。

【0028】

より具体的には、本発明は、TSOMを用いた半導体装置の検査にディープラーニング技術を結合させることによってTSOMの長所を生かしながら低廉な費用で能率的に半導体装置検査を実施できる現実的な方法を提供することを目的とする。

【0029】

本発明は、ディープラーニング技術に対して現在最も現実的にアプローチが進み成果を得ている分野の1つと言えるのが映像認識分野という点と、対象物の実際形態でなく抽象的なパターンに近いTSOMイメージ認識及び分析にディープラーニングが特に適合性を持つことができるという可能性に着目して半導体装置の現実的な工程検査に適用できる半導体装置検査方法を提供することを目的とする。

【0030】

また、本発明は、半導体装置の検査ステップで検査対象イメージを検査対象項目の全ての範疇に対する確率分布方式で表現し、各範疇の代表値と各範疇に含まれる確率をかけたものを全て足す補間法を使用して検査対象イメージの検査対象項目に対する数値決定値を決定することによって検査誤差を最小化できる半導体装置検査方法を提供することを目的とする。

【0031】

また、本発明は、対象に対する焦点が合った映像、実際の焦点距離に比べてレンズから撮像面までの距離がより短い焦点が合わない映像、及び実際の焦点距離に比べてレンズから撮像面までの距離がより長い焦点が合わない映像を含むマルチチャネルイメージを直接ディープラーニングのための検証資料セット及び検査のための入力イメージとして使用することによって、TSOMイメージを形成する必要がなく、整合(registration)過程が不要なのでイメージ獲得時間を短縮させることができる、半導体装置検査方法を提供することを特徴とする。

【課題を解決するための手段】

【0032】

上記目的を達成するために、本発明の一実施形態に係るTSOMイメージ獲得方法は、検査対象に対して光学手段を介して複数の互いに異なる焦点位置の実際映像及び各実際映像の焦点からずれた程度(距離)を獲得するステップ；

前記実際映像及び各実際映像の焦点からずれた程度に基づいて前記実際映像と焦点位置が異なる複数の仮想映像及びその焦点位置を獲得するステップ；及び

前記実際映像及び前記仮想映像を用いて前記検査対象に対するTSOMイメージを得るステップを含む。

【0033】

本発明の一実施形態に係るTSOMイメージ獲得方法において、前記複数の仮想映像及びその焦点位置を獲得するステップでは、

複数の互いに異なる焦点位置に対する前記実際映像を得て、前記焦点位置及び前記実際映像に関する情報(資料)に基づいた補間法を用いて前記実際映像と焦点位置が異なる複

10

20

30

40

50

数の仮想映像及びその焦点位置を獲得する過程が行われることができる。

【0034】

また、本発明の一実施形態に係るTSOMイメージ獲得方法において、前記補間法を用いて得る前記仮想映像は焦点が合った距離を中心として焦点位置がガウス分布をなすと想定し、前記仮想映像に対する焦点位置を選択する際に焦点が合った焦点位置近くの焦点位置に対しては稠密に配置し、焦点からずれた焦点位置に対しては少なく配置する加重配置方法を取ることができる。

【0035】

すなわち、焦点距離周辺にある焦点位置に加重値を与えて焦点がずれた映像を得て、結果として加重値を反映したTSOMイメージを得ることによってより信頼性のあるTSOMイメージを得ることができる。

10

【0036】

また、本発明の一実施形態に係るTSOMイメージ獲得方法において、前記実際映像は前記検査対象に対する焦点が合った映像、実際の焦点距離に比べてレンズから撮像面までの距離がより短い焦点が合わない映像、及び実際の焦点距離に比べてレンズから撮像面までの距離がより長い焦点が合わない映像を含む3つの映像からなることができる。

【0037】

一方、複数の仮想映像及びその焦点位置を獲得するステップでは、与えられた光学系に対する解析及びその解析を示す変換式（変換プログラム）を利用できる。例えば、少数の実際映像及び各実際映像の焦点からずれた程度に基づいてこれらと焦点位置が異なる複数の仮想映像及びその焦点位置を獲得するために、FMM（Fourier Modal Method）を用いて光学系を解析し、前記光学系解析により得た前記光学系の設定（特性）を用いて実際映像と焦点位置が同じ複数の仮想映像を獲得して前記実際映像と比較し、前記比較を基に前記光学系のより適合した解析及び前記適合した解析に対する変換式（変換プログラム）を得て、前記変換式によって前記実際映像と焦点位置が異なる前記複数の仮想映像及び前記複数の仮想映像のそれぞれの焦点位置を獲得する過程が行われることができる。

20

【0038】

一方、複数の仮想映像及びその焦点位置を獲得するステップでは、補間法と変換式を共に使用することができる。本発明で2～3つ程度の実際映像によって光学系を十分に解析することは困難なため、一次的には比較的単純な形態の光学系解析及び変換式によって実際映像の焦点位置と他の一部の焦点位置に対する仮想映像を獲得し、実際映像及びこれらの仮想映像を根拠にして追加的な仮想映像を補間法で獲得する過程が行われることができる。

30

【0039】

また、本発明の一実施形態に係るTSOMイメージ獲得方法において、前記FMMによる光学系解析のために、前記実際映像を得るために検査対象に照射する光源は単一波長を持つ平面光源を使用することができ、単色光又は単一波長の光源を使用することができる。

【0040】

40

上記目的を達成するための本発明の一実施形態に係る半導体装置検査方法は、

少なくとも1つの検査対象項目（パラメータ）と前記項目内の範疇（クラス）を知る複数の半導体装置部分に対するイメージを獲得して前記検査対象項目、前記範疇及び前記イメージを関連づけた状態でディープラーニング（deep learning）のための検証資料セットとして保存リスト（データベース）に保存するステップ；

コンピュータハードウェアとソフトウェアを結合した形態で検査のための基本状態の基本ツール（TOOL）を準備し、前記保存リストの複数のイメージに基づいて前記検査対象項目のうち少なくとも1つに対してディープラーニングを実施してそれぞれのイメージがどの範疇に入るかを区分し、区分結果を前記保存リストによる区分結果と比較して、規定された所定の基準を満足するまでディープラーニングを実施し、規定を満足する状態に

50

適合化されたソフトウェアを有する状態のツールを検査に適合した検査用ツールとして決定する決定ステップ；及び

未知の半導体装置部分に対する検査対象イメージを獲得してディープラーニングによって決定された前記検査用ツールを用いて前記検査対象イメージがどの検査対象項目に対してどの範疇に属するかを知る検査ステップを含む。

【0041】

本発明の一実施形態に係る半導体装置検査方法において、前記検査ステップでは前記検査対象イメージが検査対象項目のどの範疇に属するかを単なる可否決定方式でなく検査対象項目の全ての範疇に対する確率分布方式で表現され、

前記範疇は数値の範囲で表現され、

前記検査対象イメージの前記検査対象項目に対する数値決定値は各範疇の代表値と各範疇に含まれる確率をかけたものを全て足すことによって決定されることができる。

【0042】

本発明の一実施形態に係る半導体装置検査方法において、どの検査対象イメージがどの検査対象項目に対してどの範疇に属するかは単なる可否決定方式でなくその検査対象項目に対する全ての範疇に対する確率分布方式で表現されることができ、かかる範疇別確率は補間法又は加重平均法でそのイメージを持つ対象の該当項目の該当範疇のうち具体的にどの数値を持つかを決定するために用いられ得る。

【0043】

例えば、各範疇が数値範囲からなる場合、検査対象イメージの検査対象項目に対する数値決定は各範疇の代表値とその範疇に含まれる確率をかけたものをすべての範疇に対して全て足すことによって行われることができ、この時、代表値は統計で多く使用される中間値又は最頻値などであり得る。

【0044】

数値決定にはその他にも各範疇（Class）の確率値のうち特定のしきい値以下の確率を有する値は捨て（Outlier除去）意味のある確率を示す範疇のみを確保して各代表値と確率値を用いてかけてから足す方法、代表値と各範疇に含まれる確率をそれぞれ単純にかけた後足す（線形補間法: Linear interpolation）方式でなく、範疇の確率値を用いて多次元方程式を誘導し、これを補間法に応用する方法（非線形補間法）などに拡張することも可能である。

【0045】

また、本発明の一実施形態に係る半導体装置検査方法において、前記少なくとも1つの検査対象項目（パラメータ）と前記項目内の範疇（クラス）を知る複数の半導体装置部分に対するイメージ及び前記未知の半導体装置部分に対する検査対象イメージはスルーフォーカススキャン光学顕微鏡（TSOM）イメージであって、

前記少なくとも1つの検査対象項目（パラメータ）と前記項目内の範疇（クラス）を知る複数の半導体装置部分に対するTSOMイメージ及び前記未知の半導体装置部分に対する検査対象TSOMイメージは、

前記複数の半導体装置部分又は前記未知の半導体装置部分に対する検査対象に対して光学手段を介して複数の互いに異なる焦点位置の実際映像及び各実際映像の焦点からずれた程度（距離）を獲得するステップ；

前記実際映像及び各実際映像の焦点からずれた程度に基づいて前記実際映像と焦点位置が異なる複数の仮想映像及びその焦点位置を獲得するステップ；及び

前記実際映像及び前記仮想映像を用いて前記少なくとも1つの検査対象項目（パラメータ）と前記項目内の範疇（クラス）を知る複数の半導体装置部分に対するTSOMイメージ及び前記未知の半導体装置部分に対する検査対象TSOMイメージを得るステップを含むTSOMイメージ獲得方法を使用して獲得できる。

【0046】

また、本発明の一実施形態に係る半導体装置検査方法において、前記複数の仮想映像及びその焦点位置を獲得するステップでは、

複数の互いに異なる焦点位置に対する前記実際映像及び前記実際映像を得て、前記焦点位置及び前記実際映像に関する情報（資料）に基づいた補間法を用いて前記実際映像と焦点位置が異なる複数の仮想映像及びその焦点位置を獲得する過程が行われることができる。

【0047】

また、本発明の一実施形態に係る半導体装置検査方法において、前記補間法を用いて得る前記仮想映像は焦点が合った距離を中心として焦点位置がガウス分布をなすと想定し、

前記仮想映像に対する焦点位置を選択する際に焦点が合った焦点位置近くの焦点位置に対しては稠密に配置し、焦点からずれた焦点位置に対しては少なく配置する加重配置方法を取ることができる。

10

【0048】

また、本発明の一実施形態に係る半導体装置検査方法において、前記実際映像は前記複数の半導体装置部分又は前記未知の半導体装置部分に対する検査対象に対する焦点が合った映像、実際の焦点距離に比べてレンズから撮像面までの距離がより短い焦点が合わない映像、及び実際の焦点距離に比べてレンズから撮像面までの距離がより長い焦点が合わない映像を含む3つの映像からなることができる。

【0049】

本発明の一実施形態に係る半導体装置検査方法において、形態及び大きさを知る複数の半導体装置パターンのTSOMイメージを獲得してTSOMイメージとパターン形態及び大きさを関連づけて保存してデータベース資料として整理するステップで、TSOMイメージ獲得の時間及び費用を低減するために光学手段を介して得る実際の互いに異なる焦点深度の写真はパターンあたり3つまたはそれ以上であって、補間法（interpolation）によって人為的にさらに多くの個数の互いに異なる焦点深度の映像を獲得し、これらのより多くの写真によってTSOMイメージを得ることができる。

20

【0050】

また、本発明の一実施形態に係る半導体装置検査方法において、前記複数の仮想映像及び前記複数の仮想映像のそれぞれの焦点位置を獲得するために、

FMM（Fourier Modal Method）を用いて光学系を解析し、

前記光学系解析により得た前記光学系の設定（特性）を用いて実際映像と焦点位置が同じ複数の仮想映像を獲得して前記実際映像と比較し、

30

前記比較を基に前記光学系のより適合した解析及び前記適合した解析に対する変換式（変換プログラム）を得て、

前記変換式によって前記実際映像と焦点位置が異なる前記複数の仮想映像及び前記複数の仮想映像のそれぞれの焦点位置を獲得する過程が行われることができる。

【0051】

また、本発明の一実施形態に係る半導体装置検査方法において、前記FMMによる光学系解析のために、前記実際映像を得るために検査対象に照射する光源は単一波長を持つ平面光源を使用することができる。

【0052】

また、本発明の一実施形態に係る半導体装置検査方法において、前記少なくとも1つの検査対象項目（パラメータ）と前記項目内の範疇（クラス）を知る複数の半導体装置部分に対するイメージ及び前記未知の半導体装置部分に対する検査対象イメージは、

40

前記少なくとも1つの検査対象項目（パラメータ）と前記項目内の範疇（クラス）を知る複数の半導体装置部分又は前記未知の半導体装置部分に対する検査対象に対する焦点が合った映像、実際の焦点距離に比べてレンズから撮像面までの距離がより短い焦点が合わないM個の映像、及び実際の焦点距離に比べてレンズから撮像面までの距離がより長い焦点が合わないN個の映像を含むマルチチャネルイメージの場合があり、前記M及びNは1以上4以下の任意の整数の場合がある。

【0053】

また、本発明の一実施形態に係る半導体装置検査方法において、前記M及びNは同じ場

50

合があり、前記M及びNは1の場合がある。

【0054】

また、本発明の一実施形態に係る半導体装置検査方法において、ディープラーニングによってツールを検査対象項目に対して適合化するのでディープラーニングのツールが決定されていない中間ステップでツールが区分した結果が正確か否かを確認するために保存リストの資料を項目及び範疇で先ず区分して個別イメージがどの項目及び範疇に属するかを確認できるように準備する。

【0055】

ただし、この時、全ての項目及び範疇に対して、さらには各範疇毎に十分なイメージを準備することは初期ステップでは非常に難しいため、準備するイメージはシミュレーションを通したものを準備することができる。無論、この時、シミュレーションプログラムは、シミュレーションで準備されたイメージのうち少なくとも一部に対しては実際計測によって確認して大きな偏差がないように準備し、通常補間法を反映してシミュレーションを実施するようにする。

【0056】

また、本発明の一実施形態に係る半導体装置検査方法において、前記検査対象項目のうち少なくとも1つに対してディープラーニングを実施する際には前記基本ツールに含まれたアルゴリズム（ソフトウェア、プログラム）によって前記検証資料セットの多数のイメージの特徴を先ず探索し、前記特徴によって前記多数のイメージを区分した後、前記保存リストによる区分結果と比較して、前記所定の基準を満たした場合は現在状態のツールを前記検査用ツールに決定し、前記所定の基準を満たさない場合は前記アルゴリズム修正を介して前記基本ツールを修正しつつ再度新しい特徴を探索する過程を前記所定の基準を満足するまで繰り返したり、予め定めた回数を満足するまで繰り返し、繰り返した現在状態のツールを検査用ツールに決定できる。

【0057】

また、本発明の一実施形態に係る半導体装置検査方法において、ツールは1つのパラメータに対して1つの個別ツールを作り、かかる方式で検査のための全ての必要な項目（パラメータ）に対する個別ツールのセットを形成する方式で作られることができる。

【0058】

また、本発明の一実施形態に係る半導体装置検査方法において、前記決定ステップで前記検査対象項目のうち複数の項目に対する検査用ツールを決定する際には、前記基本ツールに前記複数の項目のうち1つに対してディープラーニングを適用して個別ツールを決定し前記複数の項目全体に対する複数の個別ツールを決定し、

前記検査ステップでは、前記検査対象イメージに対しては前記複数の個別ツールを適用して前記検査対象イメージが前記複数の項目をなす各項目ごとにどの範疇に属するかを知ることができる。

【0059】

また、本発明の一実施形態に係る半導体装置検査方法において、前記検査対象項目又はパラメータは半導体装置の孔（hole）、スルーシリコンビア（TSV:Through Silicon Via）、グループ、平面から突出した線形パターン（LINE pattern）それぞれの上部幅、底面幅、深さ、高さ、傾斜角のうち1つを含み、前記範疇は前記項目が属することができる数値範囲からなることができる。孔やスルーシリコンビア（TSV:Through Silicon Via）の場合、孔やビアの入口直径、底面直径、深さなどになることができる。

【0060】

本発明によって未知の半導体装置部分の形態及び大きさが決定されると、これを正常なパターンと比較してパターン上の欠陥を判断し、検出された欠陥を有するウエハやダイは再作業や廃棄過程を経るようにすることができ、検査対象項目自体が異常の有無で範疇は異常又は正常の決定値になることができる。

【0061】

本発明で半導体装置部分（検査対象）に対して項目、範疇、イメージを保存リスト（データベース）に保存する際には持続的な補完が可能なようにデータベースは開放された状態を維持するようにすることができる。

【0062】

例えば、未知の半導体装置部分に対して本発明の方法によって不良判定がなされた場合、これに対するSEMなど他の検査を適用して不良の具体的な項目及び範疇を判断してその結果を保存リストに追加し、この保存リストを用いてディープラーニングを再度実施してツール（データベースを含む）を補完し、このツールによって新しい未知の半導体装置部分に対する検査を実施してその検査結果を得ることができる。

【発明の効果】

10

【0063】

本発明のTSOMイメージ獲得方法によれば、従来に比べてより小さな努力と時間を投入しながらも対象に対する精密度が高いTSOMイメージを得ることができ、これによって能率的かつ経済的に半導体装置を検査できるようになる。

【0064】

本発明のTSOMイメージ獲得方法によれば、複数の焦点深度を持つ映像を獲得する際、光学的設定や対象の焦点距離方向の位置を大きく又は頻繁に変化させることなく正確なTSOMイメージを得るに十分な個数の互いに異なる焦点深度を持つ映像を獲得でき、これを本発明の半導体装置検査方法、すなわちディープラーニングとTSOMイメージを活用する半導体装置検査方法に適用する場合、最大の問題となり得るデータベース構築のために検査対象物の検査対象項目と各項目別範疇を知るTSOMイメージを少ない時間と努力及び費用で多数確保することが容易になり、実際の検査が行われることができるようにすることに資することができる。

20

【0065】

本発明によれば、MSDを用いるなどの従来のTSOMによる半導体装置の検査方法の限界をディープラーニングを用いて克服して検査に要する時間と正確度などの側面からより現実的かつより能率的に半導体装置の検査に使用され得る半導体装置検査方法を提供できる。

【0066】

本発明によれば、TSOM技術を用いた半導体装置の検査にディープラーニング概念を結合させることによって、TSOMの長所を生かしながら低廉な費用で能率的に半導体装置検査を実施できる。

30

【0067】

また、本発明による半導体装置検査方法によれば、半導体装置検査ステップで検査対象イメージを検査対象項目の全ての範疇に対する確率分布方式で表現し、各範疇の代表値と各範疇に含まれる確率をかけたものをすべて足す補間法を使用して検査対象イメージの検査対象項目に対する数値決定値を決定することによって検査誤差を最小化できる。

【0068】

また、本発明による半導体装置検査方法によれば、対象に対する焦点が合った映像、実際の焦点距離に比べてレンズから撮像面までの距離がより短い焦点が合わない映像、及び実際の焦点距離に比べてレンズから撮像面までの距離がより長い焦点が合わない映像を含むマルチチャンネルイメージをディープラーニングのための検証資料セット及び検査のための入力イメージとして使用することによって、TSOMイメージを形成する必要がなく、整合（registration）過程が不要なのでイメージ獲得時間を短縮させることができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0069】

【図1】本発明の一実施形態に係る半導体装置検査方法の重要ステップを示すフローチャートである。

【図2】本発明のTSOMイメージ獲得方法の一実施形態を示すフローチャートである。

50

【図 3】FMMを用いた光学系解析により検査対象や検証資料セットのための互いに異なる複数の焦点位置の映像資料を算出し、これによってTSOMイメージを得る方法の概念を示す概念説明図である。

【図 4】ディープラーニングのための資料として多数のラインパターンに対するTSOMイメージを線幅、高さ、線幅及び高さという3つの項目に対して範疇毎に分類する場合のテーブル形態を示す表である。

【図 5】ディープラーニングのための資料として多数のラインパターンに対するTSOMイメージを線幅、高さ、線幅及び高さという3つの項目に対して範疇毎に分類する場合のテーブル形態を示す表である。

【図 6】ディープラーニングのための資料として多数のラインパターンに対するTSOMイメージを線幅、高さ、線幅及び高さという3つの項目に対して範疇毎に分類する場合のテーブル形態を示す表である。

10

【図 7】ディープラーニングによって検査用ツールを決定するモデルの一例を概念的に示す概念的構成図である。

【図 8】本発明の一実施形態によって検証資料セットを用いたディープラーニングによって決定された検査用ツールに新しいテストセットの資料を入力して線幅及び高さ項目の各数値範疇に属する確率分布形態で導出した結果の一例を示す表である。

【図 9】本発明の一実施形態によって検証資料セットを用いたディープラーニングによって決定された検査用ツールに新しいテストセットの資料を入力して線幅及び高さ項目の各数値範疇に属する確率分布形態で導出した結果の一例を示す表である。

20

【図 10】本発明の他の実施形態に係る半導体装置検査方法のフローチャートである。

【図 11】本発明の一実施形態に係る半導体装置検査方法の概念図である。

【発明を実施するための形態】

【0070】

以下、図面を参照して本発明の検査方法の実施形態を通して本発明をより詳細に説明する。

【0071】

図1は、本発明の一実施形態に係る半導体装置検査方法の重要ステップを示すフローチャートである。

【0072】

30

本実施形態によれば、まず複数の半導体装置部分、例えば、様々な上部幅、高さ及び傾斜角を有するラインに対するTSOMイメージを獲得する(S10)。

【0073】

この時、多くの対象物に対するTSOMイメージが必要なので、ここでのTSOMイメージ獲得方法は、図2のようなフローチャートで示す本発明の特徴的TSOMイメージ獲得方法を使用する。

【0074】

すなわち、まず、実際に検査対象ごとにTSOMのための光学的システムで多数の互いに異なる焦点位置での映像を得て、次にこれを光の強度や色数値の観点から結合、処理する従来のTSOMイメージ獲得方法と違って、一部の焦点位置で少数、例えば、3個や5個の焦点位置での対象物の実際映像を得て、これらの映像と各映像が獲得される焦点位置情報を得る。(S110)

40

【0075】

次いで、これらの実際映像及び各実際映像の焦点からずれた程度に基づいてこの実際映像と焦点位置が異なる複数の仮想映像及びその焦点位置を獲得し(S120)、最後に、これらの実際映像と仮想映像を用いて従来と同様に光の強度や色数値の観点から結合、処理する等の過程を経て対象に対するTSOMイメージを得るようになる(S130)。

【0076】

この時、複数の仮想映像及びその焦点位置を獲得するステップ(S120)では、複数の互いに異なる焦点位置の実際映像及び各実際映像の焦点位置を得ると、これらの資料に

50

基づいた補間法 (interpolation) を用いて前記実際映像と焦点位置が異なる複数の仮想映像及びその焦点位置を獲得する過程が行われることができる。

【0077】

補間法は、複数の知られた座標上の系の大きさ又は境界条件に基づいてこれらの間の座標の系の大きさを合理的に推論する方法であって、数学、科学、工学分野における周知の方法であるので具体的な説明は省略するが、状況に合わせて単純平均や加重平均の方法を使用することができる。

【0078】

一方、複数の仮想映像及びその焦点位置を獲得するステップでは、与えられた光学系に対する解析及びその解析をよく表す変換式 (変換プログラム) を用いることができる。

10

【0079】

例えば、図3に示すように、第1ステップで、FMM (Fourier Modal Method) を用いて照明、検査対象、撮像平面を含む光学系を解析する方法が使用され得る。この場合、一定の波長を持つ平面光源の光が入力、対象物の表面に映して反射される作用を経た撮像平面で検出されるFMMイメージ (映像) が出力とみなされることができる。

【0080】

一旦FMMイメージを得ると、再度これを入力としてそのイメージ平面からd1の距離にあるレンズという光学要素の作用を経てさらにレンズからd2の距離にある撮像面で出力映像を得ることができる。この時、d2を変化させながらレンズの焦点距離に合ったり、距離が足りなかったり、距離を過ぎた位置での出力映像を得ることができる。

20

【0081】

FMMイメージを得る光学系とレンズという光学要素の正確な光学的解析及びそれに該当する変換式を得ると、どのような形態の検査対象に対してレンズとどの距離の撮像面でどのような映像が得られるかを計算することができ、実際映像を撮影して計算された映像と比較すると、光学的解析や変換式が妥当であるかを知ることができる。

【0082】

例えば、先ず、FMM (Fourier Modal Method) を用いて光学系を解析し、光学系解析により得た前記光学系の設定 (特性) を用いて実際映像と焦点位置が同じ複数の仮想映像を獲得し、これを基に光学系の解析を修正して適合した解析及びそれに対する収容可能な変換式を得て、収容可能な変換式によって実際映像と焦点位置が異なる複数の仮想映像を獲得する過程が行われることができる。本発明の一実施形態では、FMMを用いて光学系を解析したが、本発明は、これに限定されず他の種類のシミュレータを用いて光学系を解析することもできる。

30

【0083】

複数の仮想映像及びその焦点位置を獲得するステップでは、補間法と変換式を共に使用することができる。現実的に、複数の光学要素を有する実際の光学システムを2~3個程度の実実際映像によってその特性を明確に表すことができるように十分に解析することは難しいため、一次的には比較的単純な形態の光学系解析と変換式によって実際映像の焦点位置と他の一部の焦点位置に対する仮想映像を獲得し、実際映像及びこれらの仮想映像を根拠にして追加的な仮想映像を補間法で獲得する過程が行われることができる。

40

【0084】

一方、補間法の具体的な適用において仮想映像は焦点が合った距離を中心として焦点位置がガウス分布をなすと想定し、仮想映像に対する焦点位置を選択する際に焦点が合った焦点位置近くの焦点位置に対しては稠密に配置し、焦点から多くずれた焦点位置に対しては少なく配置する加重配置方法を取ることができる。すなわち、焦点距離の周辺にある焦点位置に加重値を与えて焦点がずれた映像を得て、結果として加重値を反映したTSOMイメージを得ることによってより信頼性のあるTSOMイメージを得ることができる。

【0085】

補間法を用いる場合、これによって得る仮想映像は焦点が合った距離を中心として焦点

50

位置がガウス分布をなすと想定し、仮想映像に対する焦点位置を選択する際に焦点が合った焦点位置近くの焦点位置に対しては稠密に配置し、焦点から多くずれた焦点位置に対しては少なく配置する加重配置方法を取ることができる。すなわち、焦点距離の周辺にある焦点位置に加重値を与えて焦点がずれた映像を得て、結果として加重値を反映したT S O Mイメージを得ることによってより信頼性のあるT S O Mイメージを得るようにするということである。

【0086】

そして、これらをディープラーニングのための検証資料セットとして準備する（S10）。準備の1つとして、各T S O Mイメージとその検査対象項目、その項目の大きさの範疇のうちどの範疇に属しているかに対してデータベースの形態で保存する。

10

【0087】

検証資料セットを形成する際には比較的少数を用いてもディープラーニングによってツールを形成することを有利にするために、T S O Mイメージとそれに対する対象ラインの高さ、上部幅、傾斜角など各検査対象（パラメータ）及びその大きさを知る状態でT S O Mイメージが各検査対象とそれが位置する数値範囲（範疇）に対して等しく分布するようにすることができる。

【0088】

例えば、半導体装置検査用ツールでディープラーニングによって検査に適合したアルゴリズム又は具体的な形態でプログラムを形成するために先ず検証資料セットが準備され、この検証資料セットはラインパターンの線幅の観点から図4、ラインパターンの高さの観点から図5のような分布をなすようにする。ここで、検証資料セットをなすT S O Mイメージは、図4のように上部幅の数値範囲に従って1～5のクラスに分かれることができ、一方、図5のように高さの数値範囲に従ってA～Eのクラスに分かれることができ、または、全体のT S O Mイメージは図6のように上部幅と高さの観点から数値範囲による25個の細部クラスに分かれることができる。各細部クラスは、例えば、100個ずつのT S O Mイメージを持つようにすると、全体は2500個のT S O Mイメージを持つようになる。無論、各T S O Mイメージは固有番号で区分される。

20

【0089】

実際に多様な線幅、高さ、傾斜角のような対象とその対象ごとの数値範疇を持つようにラインパターンを製作し、それに対する実際の検査を介して対象と範疇を確認し、それらに対するT S O Mイメージを確保して検証資料セットを準備することが好ましいが、実際に多様なレティクルを製作し高価の半導体装置を以て様々な項目及び範疇を持つ半導体装置パターンを形成することは難しいため、従来使用されていた、項目及び範疇が既に知られている半導体装置パターンをいくつか使用してそれに対するT S O Mイメージを確保し、シミュレーションを用いてそれらの間の数値範疇を持つT S O Mイメージを合成して検証資料セットを準備することが現実的な方法になることができる。

30

【0090】

また、検査の適合度を上げるために、ディープラーニングのための資料としての保存リスト（データベース）は開放型で管理して検査対象項目及び範疇のT S O Mイメージが持続的に追加・補完されることができるようにし、ディープラーニングによって検査用ツールを決定するステップは、保存リストの資料個数の増加が所定数値以上になると再度実施して新しい検査用ツールを決定するように運用できる。

40

【0091】

シミュレーションを介して互いに異なる数値範疇の多数のT S O Mイメージを合成することは現在のT S O M技術によってある程度可能なことが知られており、逆に合成されたT S O Mイメージの項目及び範疇に該当する対象物を実際に製作したり従来の半導体装置パターンのうちそれに該当するものを探して実際のT S O Mイメージを見つけた場合に合成されたイメージと大差ないようにT S O Mイメージを合成することは、たとえ制限された範疇ではあるが可能なことが確認される。

【0092】

50

次に、基本ツールを準備し（S20）、一次的なデータベース資料のTSOMイメージを検査するための基本ツールにディープラーニング資料又は入力として投入する。ツールはコンピュータとこのコンピュータ内で遂行されたプログラムの結合からなり、プログラムは従来開発されている形態認識プログラムと基本的に同じプログラムを細部的な設定を変更して行きながら使用することが可能である。プログラムはTSOMイメージによって所定の対象項目に対する特徴認識が可能な神経網構造設計と神経網学習を可能にするアルゴリズムを有し、学習が進むにつれ基本的なアルゴリズム設定が変化して具体的に適合したアルゴリズムを作っていくように行われる。例えば、学習が行われるにつれ学習されたノードに対する加重値と関数活性化が行われることができる。かかるディープラーニングに関する概念は既に知られたものであるため、これに対する細部的な内容説明は省略するようにする。

10

【0093】

本発明で検査ツールは入力された資料に対して検査対象項目の観点から特徴を比較して区分するようになる。ディープラーニング過程で、先ず基本ツールに含まれたアルゴリズム（ソフトウェア、プログラム）によって多数のTSOMイメージの特徴又は特定のパターンを先ず探し、その特徴によってTSOMイメージを区分した後、その結果が知っている項目及び範疇による区分（先行ステップで作成したデータベース資料）と符合しているのか確認し、そうでない場合は、自体アルゴリズムによってツールを修正しつつ再度特徴又は特定のパターンによってTSOMイメージを区分する活動を続けて所定確率以上に一致する等予め定めた基準を満足した場合、ディープラーニングによる検査用ツールが決定されたものとすることができる。（S30）

20

【0094】

検査のためのツールのプログラムのディープラーニングによって適合化、具体化させる際、ディープラーニングを容易で短い時間内に効率的行えるために検査対象項目を単純化し、範疇の数を減らすことが好ましい。例えば、ツールを先ず図4の表のようにラインの線幅に対してのみ5つの範疇に区分させて線幅検査用ツールを決定し、次いで図5の表のようにラインの高さに対してのみ5つの範疇に区分させて高さ検査用ツールを決定する。各項目に対する検査用ツールの結合を介して全体的な検査用ツールが得られると見なすことができる。

【0095】

30

検査用ツールを検査対象項目ごとに決定して選択する場合、例えば、ラインに対するTSOMイメージのうち特定の線幅範疇であって、特定の高さ範疇に入るTSOMイメージを探すためには、特定の線幅範疇に入るTSOMイメージを探し、特定の線高さ範疇に入るTSOMイメージを探した後、これらの共通部分をなすTSOMイメージを探せば良い。

【0096】

この場合、ディープラーニングに要する時間を減らし、適合度を上げることができる。そして、検査対象項目を任意に拡張するためにも追加される対象項目に対するディープラーニングによって容易に検査ツールを補完できるようになる。反対に、2種類以上の検査項目に対して一度にディープラーニングによって区分させると、対象範疇はすべて25個になってディープラーニングに要する時間が急激に増加し、時間が限定された場合、検査ツールの正確性が低い状態で決定される場合がある。

40

【0097】

かかる過程を介して検査用ツールが決定されると、追加の検証資料セット又はテストセットを介して検査用ツールの正確性、信頼性を確認することも可能である。

【0098】

図7は、かかるディープラーニングによって検査用ツールを決定するモデルを概念的に示す概念的構成図である。このモデルを見ると、入力データセットは検査用ツールに該当するヒドンレイヤを介して出力データに現れる（feed forward方向）。ここで、入力データセットが検証資料セットをなす全てのTSOMイメージであれば、これらの

50

T S O M イメージ集合をなすそれぞれの T S O M イメージがどの範疇に入るかが出力データに現れる。この出力データが既に確保したデータベースによる該当 T S O M イメージと関連づけられた検査項目及び範疇とすべて一致すれば検査用ツールは決定される。一致しない場合は、現在の検査用ツールはさらに自体アルゴリズム又はプログラム修正を実施する (back propagation)。そして、修正されたアルゴリズムによって上記と同じ分類を実施し、かかる過程は繰り返されることができる。

【0099】

かかる修正実施が1回行われる度に、ディープラーニングで1回の世代 (epoch) が経過したとみなし、繰り返しの過程で基準誤り率 (error rate: 誤って分類されたデータ個数を全データ個数で割った比率) 以下の誤り率を持つようになる、または、設計者が任意に指定した世代数に到達すると、やはり検査用ツールは決定されたものとすることができる。

10

【0100】

以上の過程によってライン幅に対する検査用ツールとライン高さに対する検査用ツールが決定されると、これを基に数値範疇を知らない検査対象ラインに対する線幅及び高さを検査する。検査ツールに対する入力資料として、先ず未知のラインに対する T S O M イメージが準備され、準備された T S O M イメージを検査用ツールに入力して検査結果を得る (S 40)。前記未知のラインに対する T S O M イメージも、図2に示す T S O M イメージ獲得方法に基づいて獲得される。

20

【0101】

対象に対する検査の結果 (output) は対象ラインが線幅という項目でどの数値範囲 (範疇) に含まれ、高さという項目でどの数値範囲に含まれるかが現れる。かかる数値範囲が対象の不良を決定する基準であれば、以後のステップではその基準に従って対象ラインを有する工程ステップの半導体装置に対する廃棄や再作業を実施するステップが後続することができる。

【0102】

一方、検査の結果は対象項目の特定の範疇に単純に入るか、又は入らないかを可否判断する形式でなく、どの範疇に入る確率は何%という形態で複数の範疇に入る確率の分布形式で表されることができる。

【0103】

このように確率分布の形式を持つことは対象項目が T S O M イメージでは明確な実際の形状及び大きさを表すものでなく、多少抽象化されたパターンで表されるからとも言える。

30

【0104】

通常、かかる確率の分布に対して最も高い分布確率を有する範疇の代表値を検査対象の検査項目に対する結果数値と定めることができるが、代表値は通常該当範疇の中間値で、数値の範囲が大きくなれば検査結果の正確度は落ちる短所がある。

【0105】

これを補完して検査結果がより正確な数値値を持つようにするために、検査結果が各数値範疇に対して分布確率を持つことを利用できる。すなわち、上述のように、対象項目が T S O M イメージでは明確な実際の形状及び大きさを表すものでなく、多少抽象化されたパターンで表されるからであるが、かかる不明確性を内包するかかる確率分布の形態が逆説的に検査対象項目のより正確な数値を決定するために利用されることができるということである。すなわち、検査対象が対象項目の数値範疇に入るとともに、その数値範疇の中のある特定の数値を持つと推定することが可能である。

40

【0106】

そのためには、各範疇の代表値とその範疇に属する確率を根拠にして対象に対する検査対象項目の決定値を導出することができ (S 45)、この導出過程で補間法又は加重平均の適用が行われることができる。

【0107】

50

図8及び図9は、検証資料セットを用いたディープラーニングによって決定されたツールにテストセットの資料を入力してその線幅及び高さに対する結果をそれぞれ項目の各数値範疇に属する確率分布の形態で導出した結果を示す。ここでは、テスト資料として線幅51nm、高さ50nm、下部傾斜角89のラインに対してTSOMイメージを得て、線幅に関しては、決定されたツールに入力して45～50nmの範囲に代表値47.5に該当するクラス1に該当する確率が24.05%、51～56nmの範囲に代表値53.5に該当するクラス2に該当する確率が75.37%、57～63nmの範囲に代表値60に該当するクラス3に該当する確率が0.58%、64～69nmの範囲に代表値66.5に該当するクラス4及び70～75nmの範囲に代表値72.5に該当するクラス5に對抗する確率が0%という結果を得た。

10

【0108】

また、高さ項目に関しては、決定されたツールに入力して48nmの代表値に該当するクラスAに該当する確率が0.03%、49nmの代表値に該当するクラスBに該当する確率が54.65%、50nmの代表値に該当するクラスCに該当する確率が35.31%、51nmの代表値に該当するクラスDに該当する確率が9.99%、52nmの代表値に該当するクラスEに該当する確率が0%という結果を得た。

【0109】

かかる結果に対して、通常、線幅はクラス2の代表値53.5、高さはクラスBの代表値49nmになるが、本発明では各範疇の代表値とそれに属する確率をかけたものを全て足して得た加重平均値又は補間法による計算値として線幅52.095nm、高さ49.5525nmを得た。これは上述の既に知っているラインパターンの実測値線幅51nm及び高さ50nmにより近い値となる。すなわち、補間法によって実測値により近い値を得ることができる。

20

【0110】

かかる補間法により得た検査結果は、nm単位で測定した場合、従来のMSD方法による場合の計測誤差3.1197、標準偏差2.3937に比べて、本発明では計測誤差3.093、標準偏差2.0552と誤差が減少する結果値を得ることができ、計測に要する時間を比較すると、データベースをなすTSOMイメージの個数が多くなるほど従来のMSD方法では当然計算に要する時間が比例的に増加してデータベース資料数155個に対して783.2ミリ秒(ms)、1000個に対して5032.2ms、2000個に対して10065.7ms、5000個に対して25161.3msと測定されたが、本発明によれば、資料数155個に対して21.1msで資料数が増加しても絶対値は増加するが、比例して増加することはないため、資料数が多い場合にも測定対象に対する検査結果値を得るためには非常に少ない時間を要することがわかった。

30

【0111】

一方、図10は、本発明の他の実施形態に係る半導体装置検査方法の重要ステップを示すフローチャートで、図11は、本発明の一実施形態に係る半導体装置検査方法の概念図を示す図である。

【0112】

図10を参照すると、本発明の他の実施形態に係る半導体装置検査方法は、少なくとも1つの検査対象項目(パラメータ)と前記項目内の範疇(クラス)を知る複数の半導体装置部分に対するマルチチャンネルイメージを獲得して前記検査対象項目、前記範疇及び前記イメージを関連づけた状態でディープラーニング(deep learning)のための検証資料セットとして保存リスト(データベース)に保存するステップ(ステップS200)、コンピュータハードウェアとソフトウェアを結合した形態で検査のための基本状態の基本ツール(TOOL)を準備し(ステップS202)、前記保存リストの複数のイメージに基づいて前記検査対象項目のうち少なくとも1つに対してディープラーニングを実施し、それぞれのイメージがどの範疇に入るかを区分し、区分結果が前記保存リストによる区分結果と比較して、規定された所定の基準を満足するまでディープラーニングを実施し、規定を満足する状態に適合化されたソフトウェアを有する状態のツールを検査に適

40

50

合した検査用ツールとして決定する決定ステップ（ステップS204）、及び未知の半導体装置部分に対する検査対象のマルチチャネルイメージを獲得してディープラーニングによって決定された前記検査用ツールを用いて前記検査対象イメージがどの検査対象項目に対してどの範疇に属するかを知る検査ステップ（ステップS206、S208）を含む。

【0113】

前記検査ステップでは、前記検査対象イメージが検査対象項目のどの範疇に属するかが単なる可否決定方式でなく検査対象項目の全ての範疇に対する確率分布方式で表現され、前記範疇は数値の範囲で表現され（ステップS206）、前記検査対象イメージの前記検査対象項目に対する数値決定値は各範疇の代表値と各範疇に含まれる確率をかけたものをすべて足すことによって決定される（ステップS208）。

10

【0114】

図10に示す本発明の他の実施形態に係る半導体装置検査方法は、図1に示す本発明の一実施形態に係る半導体装置検査方法と類似している。

【0115】

図1に示す本発明の一実施形態に係る半導体装置検査方法（図11の300）では、対象に対して3枚の実像映像を獲得し、これに基づいて仮想映像を形成し、実像映像と仮想映像に基づいてTSOMイメージ304を形成した後、TSOMイメージをディープラーニングのための検証資料セット及び検査のための入力イメージとして使用して半導体装置を検査する。

【0116】

20

しかし、図10に示す本発明の他の実施形態に係る半導体装置検査方法（図11の302）では、TSOMイメージを形成せず、対象に対する焦点が合った映像308、実際の焦点距離に比べてレンズから撮像面までの距離がより短い焦点が合わない映像310、及び実際の焦点距離に比べてレンズから撮像面までの距離がより長い焦点が合わない映像312を含むマルチチャネルイメージ306を直接ディープラーニングのための検証資料セット及び検査のための入力イメージとして使用して半導体装置を検査する。

【0117】

半導体装置に形成されているスルーシリコンビア（TSV:Through Silicon Via）の場合、構造的な特性上深さによって孔の大きさが異なり、照明の影響でFinFET構造よりノイズ成分が多い。よって、孔イメージのそれぞれ異なる大きさ及びノイズの影響で、TSOMイメージを形成するために焦点が合ったイメージと焦点が合わない複数のイメージを正確に整合（registration）することは容易ではない。したがって、イメージ整合による検査正確度に問題が発生し得る。

30

【0118】

これを改善するために、図10に示す本発明の他の実施形態に係る半導体装置検査方法（図11の302）では、TSOMイメージを形成せず、マルチチャネルイメージ306を直接ディープラーニングのための検証資料セット及び検査のための入力イメージとして使用して半導体装置を検査する。したがって、TSOMイメージを形成するためのイメージ整合（registration）過程が不要なので検査正確度を向上させることができ、イメージ獲得時間を短縮させることができる。

40

【0119】

図10に示す本発明の他の実施形態に係る半導体装置検査方法（図11の302）では、対象に対する焦点が合った映像308、実際の焦点距離に比べてレンズから撮像面までの距離がより短い焦点が合わない映像310、及び実際の焦点距離に比べてレンズから撮像面までの距離がより長い焦点が合わない映像312を含む総3個のマルチチャネルイメージ306を使用した。本発明の一実施形態はこれに限定されず、対象に対する焦点が合った映像、実際の焦点距離に比べてレンズから撮像面までの距離がより短い焦点が合わないM個の映像、及び実際の焦点距離に比べてレンズから撮像面までの距離がより長い焦点が合わないN個の映像を含む総（M+N+1）個のマルチチャネルイメージを使用することもできる。

50

【0120】

前記M及びNは、1以上4以下の任意の整数の場合があり、前記M及びNは同じ場合があり、同じでない場合もある。

【0121】

以上では限定された実施例を通して本発明を説明しているが、これは本発明の理解を助けるために例示的に説明されたものにすぎず、本願発明はこれらの特定の実施例に限定されない。したがって、当該発明の属する分野における通常の知識を有する者であれば、本発明を基に様々な変更や応用例を実施することができ、かかる変形例や応用例は添付された特許請求の範囲に属することは当然である。

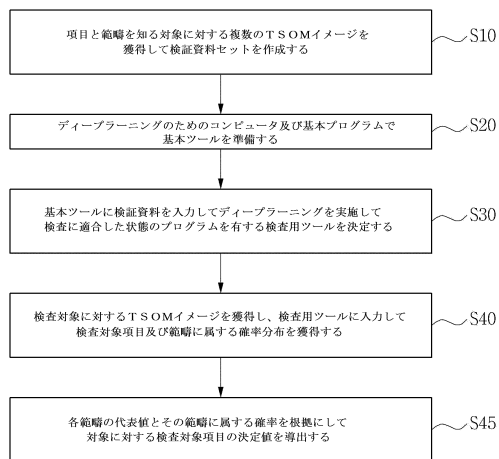
【符号の説明】

【0122】

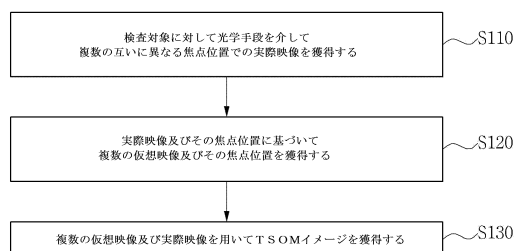
- 304 TSOMイメージ
 306 マルチチャネルイメージ
 308 焦点が合った映像
 310, 312 焦点が合わない映像

10

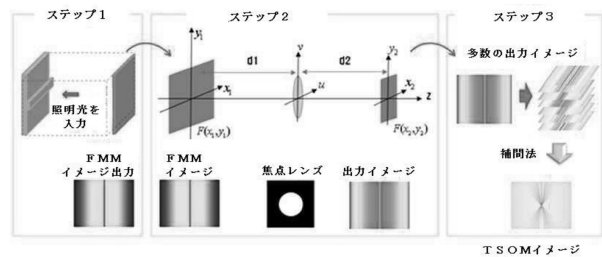
【図1】



【図2】



【図3】



【図4】

波長 532nm		線幅				
		45 ~ 50	51 ~ 56	57 ~ 63	64 ~ 69	70 ~ 75
高さ	47.5 ~ 48.4	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5
	48.5 ~ 49.4					
	49.5 ~ 50.4					
	50.5 ~ 51.4					
	51.5 ~ 52.4					

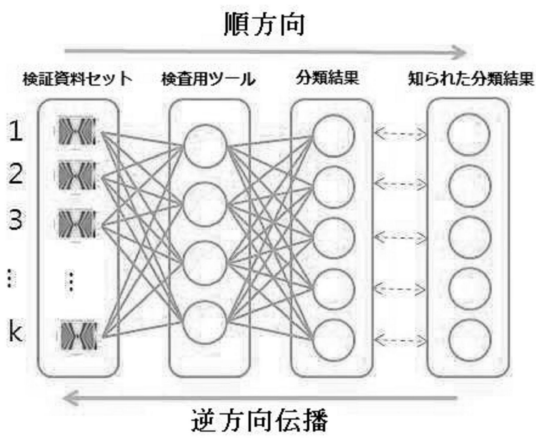
【図 5】

波長 532nm		線幅				
		45 ~ 50	51 ~ 56	57 ~ 63	64 ~ 69	70 ~ 75
高さ	47.5 ~ 48.4	Class A				
	48.5 ~ 49.4	Class B				
	49.5 ~ 50.4	Class C				
	50.5 ~ 51.4	Class D				
	51.5 ~ 52.4	Class E				

【図 6】

波長 532nm		線幅				
		45 ~ 50	51 ~ 56	57 ~ 63	64 ~ 69	70 ~ 75
高さ	47.5 ~ 48.4	Class A1	Class A2	Class A3	Class A4	Class A5
	48.5 ~ 49.4	Class B1	Class B2	Class B3	Class B4	Class B5
	49.5 ~ 50.4	Class C1	Class C2	Class C3	Class C4	Class C5
	50.5 ~ 51.4	Class D1	Class D2	Class D3	Class D4	Class D5
	51.5 ~ 52.4	Class E1	Class E2	Class E3	Class E4	Class E5

【図 7】



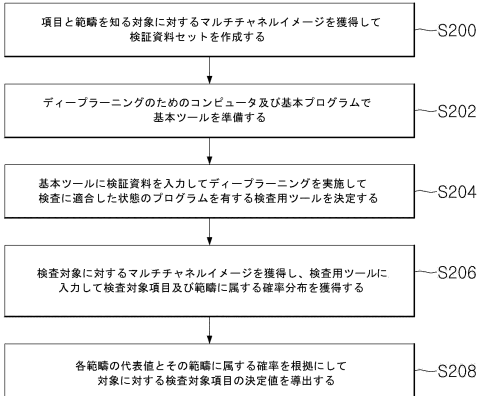
【図 8】

確率	24.05%	75.37%	0.58%	0.00%	0.00%
範疇	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5
数値範囲	45~50	51~56	57~63	64~69	70~75
代表値	47.5	53.5	60	66.5	72.5

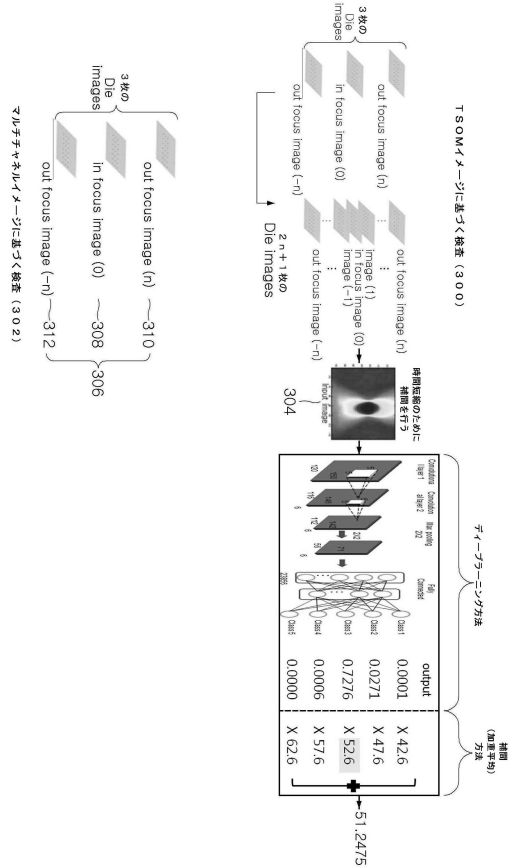
【図 9】

確率	0.03%	54.65%	35.31%	9.99%	0.00%
範疇	Class A	Class B	Class C	Class D	Class E
代表値	48	49	50	51	52

【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(74)代理人 100116872

弁理士 藤田 和子

(72)発明者 チョ ジョニーヒ

大韓民国 インチョン ヨンスーグ アカデミーーロ 119 (ソンドードン) ナンバー11
ー12

(72)発明者 チェ ヒーチュル

大韓民国 インチョン ヨンスーグ アカデミーーロ 119 (ソンドードン) ナンバー11
ー12

(72)発明者 カン ジュニーヒ

大韓民国 インチョン ヨンスーグ アカデミーーロ 119 (ソンドードン) ナンバー11
ー12

(72)発明者 シン スニーイル

大韓民国 インチョン ヨンスーグ アカデミーーロ 119 (ソンドードン) ナンバー11
ー12

(72)発明者 キム ヒョニーボク

大韓民国 インチョン ヨンスーグ アカデミーーロ 119 (ソンドードン) ナンバー11
ー12

審査官 嶋田 行志

(56)参考文献 国際公開第2015/080480 (WO, A1)

特開平10-267628 (JP, A)

韓国登録特許第10-1523336 (KR, B1)

韓国登録特許第10-1507950 (KR, B1)

国際公開第2016/005420 (WO, A1)

米国特許出願公開第2008/0273196 (US, A1)

米国特許第05208648 (US, A)

特表2014-514735 (JP, A)

特開2008-118145 (JP, A)

国際公開第2005/043600 (WO, A1)

特開2008-020451 (JP, A)

特開2005-142535 (JP, A)

特開2005-285746 (JP, A)

特開2009-085657 (JP, A)

国際公開第2011/092771 (WO, A1)

特開2011-154919 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 21/00-21/958

H01L 21/64-21/66

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)