

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7170605号
(P7170605)

(45)発行日 令和4年11月14日(2022.11.14)

(24)登録日 令和4年11月4日(2022.11.4)

(51)国際特許分類	F I			
G 0 1 N 21/956 (2006.01)	G 0 1 N	21/956	A	
G 0 6 T 7/00 (2017.01)	G 0 6 T	7/00	3 5 0 C	
	G 0 6 T	7/00	6 1 0 C	

請求項の数 15 (全35頁)

(21)出願番号	特願2019-159396(P2019-159396)	(73)特許権者	000003078 株式会社東芝 東京都港区芝浦一丁目1番1号
(22)出願日	令和1年9月2日(2019.9.2)	(74)代理人	110001634弁理士法人志賀国際特許事務所
(65)公開番号	特開2021-39476(P2021-39476A)	(72)発明者	平井 隆介 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
(43)公開日	令和3年3月11日(2021.3.11)	(72)発明者	杉浦 京佳 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
審査請求日	令和3年9月3日(2021.9.3)	(72)発明者	坂田 幸辰 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
		(72)発明者	谷沢 昭行

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 欠陥検査装置、欠陥検査方法、およびプログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1作成方法により作成された検査対象の第1画像を取得する第1画像取得部と、前記検査対象を撮影して得られる第2画像を取得する第2画像取得部と、前記第1作成方法により作成された第3画像または前記第3画像により得られる特徴量であるインデックスデータと、過去の検査において前記インデックスデータの比較対象として用いられ、欠陥がないと判定された画像である正解データとが対応付けられたデータベースを参照して、取得した前記第1画像に類似する前記インデックスデータを抽出し、前記データベースにおいて前記抽出した前記インデックスデータに対応付けられている前記正解データを取得し、取得した前記正解データに基づいて参照画像を生成する生成部と、前記参照画像と前記第2画像とを比較することで、前記第2画像に撮影された前記検査対象の欠陥箇所に対応する画素を推定する推定部と、を備える欠陥検査装置。

10

【請求項2】

前記インデックスデータは、前記第3画像から所定の大きさの領域を切り出した第1パッチ画像であり、前記正解データは、前記欠陥がないと判定された画像から前記第1パッチ画像に対応する大きさの領域を切り出した第2パッチ画像であり、前記生成部は、前記第1画像から前記第1パッチ画像に対応する大きさの領域を切り出した切り出し画

20

像との類似度が高い前記第 1 パッチ画像を抽出し、抽出した前記第 1 パッチ画像に対応付けられている前記第 2 パッチ画像を取得する第 2 パッチ画像取得部と、

取得した前記第 2 パッチ画像に基づいて、前記第 1 画像から前記第 2 画像を再現した前記参照画像を生成する参照画像生成部と、

を備える請求項 1 に記載の欠陥検査装置。

【請求項 3】

前記生成部は、

前記インデックスデータを構成する前記第 3 画像から所定の大きさの領域を切り出した第 1 パッチ画像と、前記正解データを構成する前記欠陥がないと判定された画像から前記第 1 パッチ画像に対応する大きさの領域を切り出した第 2 パッチ画像とが対応付けられたパッチ画像ペアを収集して辞書として保持する辞書部と、

10

前記第 1 画像から前記第 1 パッチ画像に対応する大きさの領域を切り出した切り出し画像との類似度が高い前記第 1 パッチ画像を含む前記パッチ画像ペアを前記辞書部に収集された前記パッチ画像ペアの中から抽出し、抽出した前記パッチ画像ペアにおいて対応付けられている前記第 2 パッチ画像を前記辞書部から取得する第 2 パッチ画像取得部と、

取得した前記第 2 パッチ画像に基づいて、前記第 1 画像から前記第 2 画像を再現した前記参照画像を生成する参照画像生成部と、

を備える請求項 1 に記載の欠陥検査装置。

【請求項 4】

前記生成部は、

前記推定部によって欠陥であると誤って推定された、前記第 2 画像に撮影された前記検査対象の欠陥箇所に対応する画素の位置と、前記第 1 画像および前記第 2 画像とのそれぞれを取得し、受け付けた前記辞書部に前記パッチ画像ペアを追加する操作に応じて、取得した前記第 1 画像および前記第 2 画像から、誤って欠陥であると推定された前記画素の位置を含む前記所定の大きさの領域を切り出した前記第 1 パッチ画像と前記第 2 パッチ画像とを対応付けた前記パッチ画像ペアを前記辞書部に保持している前記辞書に追加する辞書更新部、

20

をさらに備える、

請求項 3 に記載の欠陥検査装置。

【請求項 5】

前記第 2 パッチ画像取得部は、前記切り出し画像と前記第 1 パッチ画像とのそれぞれの画像における二乗誤差、または正規化相互相関値に基づいて、前記切り出し画像との類似度が高い前記第 1 パッチ画像を抽出する、

30

請求項 2 から請求項 4 のうちいずれか 1 項に記載の欠陥検査装置。

【請求項 6】

前記第 2 パッチ画像取得部は、前記切り出し画像との類似度が所定値以上の前記第 1 パッチ画像を複数抽出し、抽出したそれぞれの前記第 1 パッチ画像に対応付けられているそれぞれの前記第 2 パッチ画像を取得し、

前記参照画像生成部は、取得したそれぞれの前記第 2 パッチ画像に含まれる同じ位置を表す画素の画素値を平均化して、生成する前記参照画像を構成する画素の画素値を求める、

40

請求項 2 から請求項 5 のうちいずれか 1 項に記載の欠陥検査装置。

【請求項 7】

前記正解データは、前記インデックスデータを構成する前記第 3 画像から非線形変換によって前記第 2 画像を再現するための非線形変換モデルであり、

前記生成部は、

前記非線形変換モデルに基づいて前記第 1 画像を非線形変換することにより、前記第 1 画像から前記第 2 画像を再現した前記参照画像を生成する非線形変換部、

を備える請求項 1 に記載の欠陥検査装置。

【請求項 8】

前記生成部は、

50

前記インデックスデータを構成する前記第 3 画像に基づいて、前記正解データを非線形変換によって再現するための非線形変換モデルを生成する非線形モデル生成部と、

前記非線形変換モデルに基づいて前記第 1 画像を非線形変換することにより、前記第 1 画像から前記第 2 画像を再現した前記参照画像を生成する非線形変換部と、

を備える請求項 1 に記載の欠陥検査装置。

【請求項 9】

前記非線形モデル生成部は、

前記推定部によって欠陥であると誤って推定された、前記第 2 画像に撮影された前記検査対象の欠陥箇所に対応する画素の位置と、前記第 1 画像および前記第 2 画像とのそれぞれを取得し、受け付けた前記非線形変換モデルを追加する操作に応じて、取得した前記第 1 画像に基づいて、取得した前記第 2 画像を非線形変換によって再現するための前記非線形変換モデルを生成して追加する、

請求項 8 に記載の欠陥検査装置。

【請求項 10】

前記推定部によって欠陥であると推定された前記検査対象の欠陥箇所に対応する画素を含む所定の大きさの領域を表示装置に表示させる表示制御部、

をさらに備える、

請求項 1 から請求項 9 のうちいずれか 1 項に記載の欠陥検査装置。

【請求項 11】

前記推定部は、前記参照画像と前記第 2 画像との一致度合いを算出し、前記一致度合いに基づいて前記第 2 画像に撮影された前記検査対象の欠陥箇所に対応する画素を推定するものであり、

前記表示制御部は、前記推定部によって算出された一致度合いを表す情報を、欠陥であると推定された前記検査対象の欠陥箇所に対応する画素を含む前記所定の大きさの領域に対応付けて表示させる、

請求項 10 に記載の欠陥検査装置。

【請求項 12】

前記推定部は、前記参照画像と前記第 2 画像とのそれぞれを構成する画素の画素値を正規化し、同じ位置の画素の正規化した画素値を比較することで、前記第 2 画像に撮影された前記検査対象の欠陥箇所に対応する画素を推定する、

請求項 1 から請求項 11 のうちいずれか 1 項に記載の欠陥検査装置。

【請求項 13】

前記推定部は、前記参照画像と前記第 2 画像とのそれぞれにおける同じ位置の画素の画素値の差が所定の閾値以上である画素を、欠陥であると推定する、

請求項 1 から請求項 12 のうちいずれか 1 項に記載の欠陥検査装置。

【請求項 14】

コンピュータが、

第 1 作成方法により作成された検査対象の第 1 画像を取得し、

前記検査対象を撮影して得られる第 2 画像を取得し、

前記第 1 作成方法により作成された第 3 画像または前記第 3 画像により得られる特徴量であるインデックスデータと、過去の検査において前記インデックスデータの比較対象として用いられ、欠陥がないと判定された画像である正解データとが対応付けられたデータベースを参照して、取得した前記第 1 画像に類似する前記インデックスデータを抽出し、

前記データベースにおいて前記抽出した前記インデックスデータに対応付けられている前記正解データを取得し、

取得した前記正解データに基づいて参照画像を生成し、

前記参照画像と前記第 2 画像とを比較することで、前記第 2 画像に撮影された前記検査対象の欠陥箇所に対応する画素を推定する、

欠陥検査方法。

【請求項 15】

10

20

30

40

50

コンピュータに、

第1作成方法により作成された検査対象の第1画像を取得させ、

前記検査対象を撮影して得られる第2画像を取得させ、

前記第1作成方法により作成された第3画像または前記第3画像により得られる特徴量であるインデックスデータと、過去の検査において前記インデックスデータの比較対象として用いられ、欠陥がないと判定された画像である正解データとが対応付けられたデータベースを参照して、取得させた前記第1画像に類似する前記インデックスデータを抽出させ、

前記データベースにおいて前記抽出させた前記インデックスデータに対応付けられている前記正解データを取得させ、

取得させた前記正解データに基づいて参照画像を生成させ、

前記参照画像と前記第2画像とを比較することで、前記第2画像に撮影された前記検査対象の欠陥箇所に対応する画素を推定させる、

プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、欠陥検査装置、欠陥検査方法、およびプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

L S I (Large scale integrated circuit : 大規模集積回路) などの半導体デバイスの製造場面においては、製造する半導体デバイスの歩留まりの低下を抑えるために、半導体デバイスの回路パターンを形成する際の原版となるマスクに欠陥が含まれていないを検査することが重要になる。従来から、マスクに含まれる欠陥を検査するための検査方法のひとつとして、作成したマスクに形成されている回路パターンを撮影した撮影画像と、そのマスクの設計データの回路パターンに基づいて撮影画像を仮想的に生成した参照画像とを比較する、Die to Database検査(以下、「DB検査」という)と呼ばれる検査方法がある。DB検査では、撮影画像と参照画像との差が大きい部分を、マスク内に含まれる欠陥として検出する。このDB検査は、単純に2枚の画像を比較するだけで欠陥が含まれる部分を検出することができ、原理的に簡単な方法であるため、様々なマスク検査装置において採用されている。

【0003】

ところで、DB検査における課題は、欠陥が混入していないマスクの撮影画像を忠実に再現するように、マスクの設計データから参照画像を生成することである。なぜなら、2枚の画像を比較して検出した差分の原因が、マスクに回路パターンを形成する際に混入してしまった本当の欠陥によるものであるのか、生成した参照画像における回路パターンの再現性が低いことによるものであるのかを区別することができないと、実際には欠陥ではない部分を欠陥がある部分として検出してしまうことになるからである。つまり、欠陥を誤検出してしまう可能性が高くなるためである。

【0004】

これに関連し、参照画像を生成する方法に関する技術が開示されている。例えば、マスクの設計データに基づいて回路パターンの有無を表した二値化画像を作成し、この二値化画像に実際のマスクを撮影して撮影画像を得る撮像系の光学特性によって発生する回路パターンの境界部分(いわゆる、エッジ部分)のボケを反映させた参照画像を生成する技術が知られている。この技術では、撮影画像に撮影された回路パターンのエッジ部分から類推して求めたP S F (Point Spread Function : 点広がり関数)を二値化画像に畳み込むことによって参照画像を生成している。P S Fは、撮影画像に基づいて回路パターンのエッジ部分のボケを近似したシグモイド関数を求め、このシグモイド関数を微分することで求められる。つまり、この技術では、撮影画像に含まれる光学的なボケを、線形演算である畳み込み演算によって再現している。

10

20

30

40

50

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特許第6195253号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

近年では、半導体デバイスの製造プロセスの微細化が進んでいる。このため、畳み込み演算によって光学的なボケを再現する方法では、例えば、畳み込み演算を行う際の畳み込み窓に回路パターンのエッジ部分が複数含まれるような場合には、エッジ部分の光学的なボケを再現することが難しくなる。すると、マスクの欠陥検査では、欠陥の誤検出の確率が高くなってしまふ。

10

【0007】

本発明は、上記の課題認識に基づいてなされたものであり、高精度に欠陥検査を行うことができる欠陥検査装置、欠陥検査方法、およびプログラムを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

実施形態の欠陥検査装置は、第1画像取得部と、第2画像取得部と、生成部と、推定部とを持つ。第1画像取得部は、第1作成方法により作成された検査対象の第1画像を取得する。第2画像取得部は、前記検査対象を撮影して得られる第2画像を取得する。生成部は、前記第1作成方法により作成された第3画像または前記第3画像により得られる特徴量であるインデックスデータと、過去の検査において前記インデックスデータの比較対象として用いられ、欠陥がないと判定された画像である正解データとが対応付けられたデータベースを参照して、取得した前記第1画像に類似する前記インデックスデータを抽出し、前記データベースにおいて前記抽出した前記インデックスデータに対応付けられている前記正解データを取得し、取得した前記正解データに基づいて参照画像を生成する。推定部は、前記参照画像と前記第2画像とを比較することで、前記第2画像に撮影された前記検査対象の欠陥箇所に対応する画素を推定する。

20

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】第1の実施形態の欠陥検査装置を備えるマスク欠陥検査システムの構成の一例を示すブロック図。

30

【図2】第1の実施形態の欠陥検査装置の構成の一例を示すブロック図。

【図3】第1の実施形態の欠陥検査装置における欠陥検査の動作の流れを示すフローチャート。

【図4】第1の実施形態の欠陥検査装置における欠陥検査の動作の流れを模式的に示した図。

【図5】生成部の構成を示すブロック図。

【図6】辞書部が収集するパッチ画像の一例を示す図。

【図7】生成部において参照画像を生成する処理の全体の流れを模式的に示した図。

40

【図8】生成部において複数の第2パッチ画像から参照画像を生成する処理の一例を模式的に示した図。

【図9】第2の実施形態の欠陥検査装置の構成の一例を示すブロック図。

【図10】第3の実施形態の欠陥検査装置の構成の一例を示すブロック図。

【図11】表示制御部が表示装置に表示させる画像の一例を示す図。

【図12】第4の実施形態の欠陥検査装置の構成の一例を示すブロック図。

【図13】第5の実施形態の欠陥検査装置の構成の一例を示すブロック図。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、実施形態の欠陥検査装置、欠陥検査方法、およびプログラムを、図面を参照して

50

説明する。以下の説明においては、本発明の欠陥検査装置が、LSIなどの半導体デバイスの製造において用いられる、半導体デバイスの回路パターンが形成された原版となるマスクを作成した後に、そのマスクに欠陥が混入しているか否かを検査するマスク欠陥検査システムに採用されている場合の一例について説明する。

【0011】

(第1の実施形態)

図1は、第1の実施形態の欠陥検査装置を備えるマスク欠陥検査システムの構成の一例を示すブロック図である。マスク欠陥検査システム1は、例えば、設計データ取得装置100と、マスク撮影装置200と、正常画像データベース300と、欠陥検査装置400と、表示装置500とを備える。

10

【0012】

設計データ取得装置100は、検査対象となるマスクの設計データを取得し、取得した設計データに基づいて第1画像を作成する。マスクの設計データは、例えば、CAD(Computer Aided Design)などのような設計専用のコンピュータを用いて作成されるデータ(グラフィック画像)である。マスクの設計においては、半導体デバイスに要求される機能を実現する機能設計や、回路図を作成する論理設計、回路素子の配置や配線レイアウトをする物理設計などの工程を経て、半導体デバイスを実現するための回路パターンを形成するためのマスク作成用の設計データが作成される。第1画像は、マスク作成用の設計データに対して所定の処理を施すことにより作成される設計画像であり、例えば、光学的なボケがない画像である。第1画像は、従来のDie to Database検査(DB検査)において作成される画像と同様に、回路パターンの有無を二値で表す二次元の二値化画像であってもよい。本実施形態においては、マスク作成用の設計データに基づいて第1画像を作成するための所定の処理の方法に関しては特に限定しない。設計データ取得装置100は、作成した第1画像を欠陥検査装置400に出力する。「設計データに基づいて第1画像を作成するための所定の処理の方法」は、特許請求の範囲における「第1作成方法」の一例である。

20

【0013】

マスク撮影装置200は、マスク作成用の設計データから実際に作成された(回路パターンが形成された)検査対象のマスクを撮影する。検査対象のマスクは、例えば、電子ビーム露光装置などによって回路パターンが露光されて作成されている。マスク撮影装置200は、例えば、一般の電子顕微鏡やX線撮影の原理と同様の光学的な撮影装置である。マスク撮影装置200は、マスク全体乃至は一部をスキャンするように電磁波などの光を照射する光源と、マスクを透過またはマスクにより反射された電磁波などの光を露光するセンサを含む。光源は、例えば、DUV(Deep Ultraviolet:遠紫外光)レーザなどである。また、センサには、CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)センサなどと同様に、二次元のアレイ状に画素が並べられている。または、光源およびセンサが1次元のライン状に並べられたラインセンサを用いてもよい。センサは、それぞれの画素で入射した光(電磁波)を露光することにより、露光した光(電磁波)の強度などに応じた画素値でマスクに形成された回路パターンを画像化する。マスク撮影装置200では、検査対象のマスクに形成された回路パターンの細かさに応じて、光源が照射する光の波長や、センサにおいてアレイ状に配置される画素の配置や数が適切に定められている。マスク撮影装置200が撮影した(画像化した)画像(以下、マスク撮影画像)には、撮影時の光学的なボケが回路パターンのエッジ部分に含まれている。マスク撮影装置200は、撮影したマスク撮影画像を、第2画像として欠陥検査装置400に出力する。

30

40

【0014】

正常画像データベース300は、過去のマスク欠陥検査において欠陥がないと判定された設計画像とマスク撮影画像とが対応付けられて登録されたデータベースである。設計画像は「第3画像」の一例であると共に「インデックスデータ」の一例であり、マスク撮影画像は「正解データ」の一例である。例えば、正常画像データベース300は、マスク欠陥検査システム1において過去にマスク欠陥検査を行った、他の半導体デバイスの設計デ

50

ータに基づいて作成された設計画像と、この設計画像との比較対象として用いられ、欠陥がないと判定されたマスク撮影画像とが対応付けられ、画像の組として登録されたデータベースである。正常画像データベース300に登録されている画像の組は、他の半導体デバイスの設計パターンの情報や、この半導体デバイスの設計データから実際に作成されたマスクを撮影したマスク撮影画像の撮影に関する情報に基づいて区分け(カテゴリ化)されていてよい。設計パターンの情報とは、例えば、半導体デバイスの製造プロセスごとに規格として定められている回路を形成する際の最小の配線幅、直線の長さ、曲線の曲率などの幾何学的な最小の加工寸法に関する情報や、RF回路のようなアナログ回路であるか論理演算回路のようなデジタル回路であるかなどの、半導体デバイスにおいて実現する回路の種類に関する情報である。マスク撮影画像の撮影に関する情報とは、例えば、マスク撮影装置200によってマスクを撮影したときの倍率などの撮影条件やマスク撮影画像の解像度などの情報である。正常画像データベース300に登録される画像の組の設計画像とマスク撮影画像とは、同じ解像度であればよいが、同じ解像度になるように変換された画像であってもよい。

10

【0015】

上記に代えて、「インデックスデータ」は、例えば、設計画像により得られる回路パターンの特徴量に基づくデータであってもよい。特徴量とは、例えば、所定の基点から配線までの距離や方向など、画像に代わって回路パターンの特徴を表すことができるものである。

【0016】

以下の説明においては、画像の組として正常画像データベース300に登録されている設計画像、またはこの設計画像により得られる回路パターンの特徴量を、「インデックスデータ」といい、画像の組として正常画像データベース300に登録されているマスク撮影画像を、「正解データ」という。

20

【0017】

欠陥検査装置400は、マスク撮影装置200により出力された第2画像に写された回路パターンの欠陥、つまり、実際に作成されたマスクに形成された回路パターンの欠陥を推定する。欠陥検査装置400は、回路パターンの欠陥の推定をするとき、設計データ取得装置100により出力された第1画像に類似するインデックスデータを、正常画像データベース300に登録されている画像の組に含まれるインデックスデータの中から抽出する。そして、欠陥検査装置400は、抽出したインデックスデータに対応付けられている正解データに基づいて、第1画像からマスク撮影装置200により出力される第2画像(マスク撮影画像)を疑似的に再現した疑似撮影画像を、参照画像として生成する。その後、欠陥検査装置400は、生成した参照画像とマスク撮影装置200が実際に撮影して出力した第2画像とを比較して、実際のマスクに形成された回路パターンに存在する可能性がある欠陥を推定する。欠陥検査装置400は、推定した回路パターンに欠陥がある位置を表す情報を、表示装置500に出力して表示させる。欠陥検査装置400の構成および処理に関する詳細については後述する。

30

【0018】

表示装置500は、欠陥検査装置400により出力された回路パターンに欠陥がある位置を表す情報に応じた画像を表示する。表示装置500は、例えば、液晶ディスプレイ(Liquid Crystal Display: LCD)や有機EL(Electroluminescence)表示装置などである。表示装置500は、回路パターンに欠陥がない場合、欠陥検査装置400により出力された情報に応じて、回路パターンに欠陥がないことを通知するメッセージを表示する。表示装置500は、タッチパネルとして構成されてもよい。

40

【0019】

以下、第1の実施形態の欠陥検査装置400の構成について説明する。図2は、第1の実施形態の欠陥検査装置400の構成の一例を示すブロック図である。欠陥検査装置400は、第1画像取得部410と、第2画像取得部420と、生成部430と、推定部440とを備える。以下の説明においては、インデックスデータは設計画像であり、正解デー

50

タはマスク撮影画像であるものとする。

【 0 0 2 0 】

欠陥検査装置 4 0 0 の構成要素の機能のうち一部または全部は、例えば、CPU (Central Processing Unit) などのハードウェアプロセッサがプログラム (ソフトウェア) を実行することにより実現される。これらの構成要素のうち一部または全部は、LSI (Large Scale Integration) やASIC (Application Specific Integrated Circuit)、FPGA (Field-Programmable Gate Array)、GPU (Graphics Processing Unit) などのハードウェア (回路部; circuitryを含む) などによって実現されてもよいし、ソフトウェアとハードウェアの協働によって実現されてもよい。また、これらの構成要素のうち一部または全部は、専用のLSIによって実現されてもよい。プログラム (ソフトウェア) は、予めHDD (Hard Disk Drive)、フラッシュメモリなどの記憶装置 (非一過性の記憶媒体を備える記憶装置) に格納されていてもよいし、DVDやCD-ROMなどの着脱可能な記憶媒体 (非一過性の記憶媒体) に格納されており、記憶媒体がドライブ装置に装着されることで、記憶装置にインストールされてもよい。また、プログラム (ソフトウェア) は、他のコンピュータ装置からネットワークを介して予めダウンロードされて記憶装置にインストールされてもよい。

10

【 0 0 2 1 】

第1画像取得部 4 1 0 は、設計データ取得装置 1 0 0 により出力された第1画像を取得する。第1画像取得部 4 1 0 は、取得した第1画像を生成部 4 3 0 に出力する。

【 0 0 2 2 】

第2画像取得部 4 2 0 は、マスク撮影装置 2 0 0 により出力された第2画像を取得する。第2画像取得部 4 2 0 は、取得した第2画像を推定部 4 4 0 に出力する。

20

【 0 0 2 3 】

なお、第2画像取得部 4 2 0 は、回路パターン of 欠陥と、第2画像に元々含まれる欠陥 (例えば、マスク撮影装置 2 0 0 を構成するセンサに元々含まれる画素の欠陥など) を区別するため、マスク撮影装置 2 0 0 により出力された第2画像に対して欠陥画素補正などの画像処理を施した後に、その第2画像を推定部 4 4 0 に出力するようにしてもよい。ただし、マスク撮影装置 2 0 0 が欠陥画素補正などの画像処理を施した第2画像を出力する場合には、第2画像取得部 4 2 0 は、欠陥画素補正などの画像処理を行わずに、取得した第2画像を推定部 4 4 0 に出力してもよい。第2画像取得部 4 2 0 における欠陥画素補正などの画像処理は、既存の画像処理の技術を用いた処理であってよいため、第2画像取得部 4 2 0 が第2画像に対して施す画像処理に関する詳細な説明は省略する。

30

【 0 0 2 4 】

生成部 4 3 0 は、正常画像データベース 3 0 0 に登録されている画像の組を参照し、第1画像取得部 4 1 0 により出力された第1画像から、第2画像取得部 4 2 0 が取得する第2画像を再現した疑似撮影画像 (参照画像) を生成する。生成部 4 3 0 は、生成した参照画像を推定部 4 4 0 に出力する。生成部 4 3 0 の構成および参照画像を生成する処理に関する詳細については後述する。

【 0 0 2 5 】

推定部 4 4 0 は、生成部 4 3 0 により出力された参照画像と、第2画像取得部 4 2 0 により出力された第2画像とを比較することにより、参照画像と第2画像とのそれぞれに写されている回路パターンが異なっている部分を検出し、マスクを作成した際に混入した回路パターンの欠陥を推定する。例えば、推定部 4 4 0 は、参照画像と第2画像との差分をとることにより、参照画像と第2画像との一致度合いを算出し、算出した一致度合いに基づいてマスクを作成した際に混入した回路パターンの欠陥を推定する。推定部 4 4 0 は、参照画像と第2画像との間で回路パターンが異なっている位置を、実際のマスクにおいて欠陥が推定される位置とする。より具体的には、推定部 4 4 0 は、参照画像と第2画像とのそれぞれにおける同じ位置 (つまり、同じ回路パターン) の画素の画素値を比較し、画素値の差が所定の閾値以上である場合に、この画素 (回路パターン) が欠陥であると推定する。なお、推定部 4 4 0 における参照画像と第2画像との比較は、画素ごとに限定され

40

50

るものではなく、例えば、予め定めた領域ごとに行われてもよい。推定部440は、参照画像と第2画像とを比較した結果、つまり、参照画像と第2画像との間で回路パターンが異なっている位置の情報を、実際のマスクにおいて欠陥が推定される位置の情報として表示制御部（不図示）を介して表示装置500に出力して表示させる。

【0026】

以下、第1の実施形態の欠陥検査装置400の動作の概略について説明する。図3は、第1の実施形態の欠陥検査装置400における欠陥検査の動作の流れを示すフローチャートである。また、図4は、第1の実施形態の欠陥検査装置400における欠陥検査の動作の流れを模式的に示した図である。図4には、図3に示したフローチャートにおいて対応するステップ番号を示している。以下に説明する欠陥検査装置400における欠陥検査の動作の流れにおいては、図3に示したフローチャートを説明し、図4に示した動作の流れを適宜参照する。

10

【0027】

欠陥検査装置400が動作を開始すると、第1画像取得部410は、設計データ取得装置100により出力された第1画像（設計画像）を取得する（ステップS100）。そして、第1画像取得部410は、取得した第1画像を生成部430に出力する。

【0028】

続いて、生成部430は、正常画像データベース300に登録されている画像の組を参照し、第1画像取得部410により出力された第1画像から、マスク撮影装置200が撮影する第2画像を再現した疑似撮影画像（参照画像）を生成する（ステップS101）。そして、生成部430は、生成した参照画像を推定部440に出力する。

20

【0029】

続いて、第2画像取得部420は、マスク撮影装置200が実際に撮影した第2画像（マスク撮影画像）を取得する（ステップS102）。そして、第2画像取得部420は、取得した第2画像を生成部430に出力する。

【0030】

続いて、推定部440は、第1画像取得部410により出力された参照画像と、第2画像取得部420により出力された第2画像とを比較する（ステップS103）。本ステップS103の処理は、ステップS100およびステップS101と併行して行われてもよい。そして、推定部440は、参照画像と第2画像とを比較した結果に基づいて、回路パターンに混入している欠陥の位置を推定する（ステップS104）。そして、欠陥検査装置400は、推定部440が推定した回路パターンに混入している欠陥の位置の情報を表示制御部（不図示）を介して表示装置500に出力して、今回の欠陥検査の動作を終了する。これにより、表示装置500は、欠陥検査装置400により表示制御部（不図示）を介して出力された回路パターンに混入している欠陥の位置に応じた画像を表示する。図4においては、表示装置500が、回路パターンに混入している欠陥の位置を表す差分画像を表示している状態を示している。

30

【0031】

このような構成および処理によって、欠陥検査装置400では、設計データ取得装置100が作成して出力した回路パターンに欠陥がない第1画像からマスク撮影装置200が撮影する第2画像を再現した参照画像と、マスク撮影装置200が実際に撮影した第2画像とを比較することにより、実際のマスクに形成された回路パターンに混入している欠陥を推定する。これにより、マスク欠陥検査システム1では、実際にマスクを作成した際にマスクに形成する回路パターンに混入した欠陥を容易に高精度に検査することができる。

40

【0032】

以下、生成部430の構成および処理について、より詳細に説明する。図5は、生成部430の構成を示すブロック図である。生成部430は、辞書部431と、第2パッチ画像取得部432と、参照画像生成部433とを備える。

【0033】

辞書部431は、正常画像データベース300にカテゴリ化されて登録されているイン

50

デックスデータおよび正解データの組の中から、欠陥検査装置 400 が回路パターンの欠陥を検査する対象の第 2 画像に対応する設計パターンおよび解像度である一部または全部のインデックスデータおよび正解データの組を取得する。辞書部 431 は、正常画像データベース 300 に登録されている第 2 画像に対応する設計パターンおよび解像度の全てのインデックスデータおよび正解データの組を取得してもよいし、予め定めた数の組を取得してもよいし、例えば、最も新しく登録された組を取得してもよいし、ランダムに選択された組を取得してもよい。辞書部 431 は、取得したインデックスデータおよび正解データの組のそれぞれに含まれるインデックスデータと正解データのそれぞれから、所定の大きさの領域を切り出した複数のパッチ画像を抽出し、辞書として保持しておく。以下、インデックスデータから切り出したパッチ画像を「第 1 パッチ画像」、正解データから切り出したパッチ画像を「第 2 パッチ画像」という。辞書部 431 は、第 1 パッチ画像と第 2 パッチ画像を対応付けて辞書として保持する。この対応付けられたパッチ画像のことをパッチ画像ペアという。パッチ画像ペアに含まれる第 1 パッチ画像と第 2 パッチ画像は、インデックスデータと正解データのそれぞれにおいて相対的に同じ位置にある回路パターンを切り出した画像である。第 1 パッチ画像と第 2 パッチ画像の大きさ（サイズ）は、全て同じ大きさに統一されてもよいし、対応付けられるパッチ画像の組ごとに異なってもよい。ただし、それぞれのパッチ画像の大きさは、例えば、半導体デバイスの製造プロセスごとに規格として定められている回路を形成する際の最小の配線幅、直線の長さ、曲線の曲率などの幾何学的な最小の加工寸法に基づいて設定される。辞書部 431 は、辞書として保持しておくパッチ画像ペアの数を、辞書部 431 に対応するメモリの記憶容量を超えない範囲で設定する。

10

20

【0034】

図 6 は、辞書部 431 が収集するパッチ画像の一例を示す図である。図 6 には、辞書部 431 が、インデックスデータ I から切り出した第 1 パッチ画像 P_i と、正解データ C から切り出した第 2 パッチ画像 P_c とを対応付けてパッチ画像ペア P_P として保持している一例を示している。図 6 に示した第 1 パッチ画像 P_i および第 2 パッチ画像 P_c において符号に続いて付与した「-」とそれに続く数字は、パッチ画像ペアにおける対応関係を識別するためのものである。辞書部 431 は、例えば、インデックスデータ I から第 1 パッチ画像 P_{i-1} を収集すると共に、正解データ C から第 2 パッチ画像 P_{c-1} を収集し、これらに対応付けて 1 つのパッチ画像ペア P_{P-1} とする。以下の説明においてそれぞれの第 1 パッチ画像 P_i、第 2 パッチ画像 P_c、およびパッチ画像ペア P_P を区別せずに表す場合には、「-」とそれに続く数字を示さずに表す。

30

【0035】

なお、辞書部 431 は、第 1 パッチ画像および第 2 パッチ画像を画像として保持する構成に限定されない。例えば、辞書部 431 にパッチ画像ペアとして保持するそれぞれのパッチ画像は、切り出す位置が近い場合、異なるパッチ画像ペア同士で、インデックスデータ I および正解データ C における同じ位置の回路パターンを重複して含んでいることも考えられる。この場合、辞書部 431 は、パッチ画像ペアとして回路パターンが重複している第 1 パッチ画像および第 2 パッチ画像を収集して保持する代わりに、第 1 パッチ画像および第 2 パッチ画像のそれぞれを切り出す位置の座標のみをパッチ画像ペアとして収集して保持しておくようにしてもよい。この場合、辞書部 431 は、後述する第 2 パッチ画像取得部 432 にパッチ画像ペアを出力する際に、収集した座標に基づいて第 1 パッチ画像および第 2 パッチ画像を適宜切り出して出力するようにしてもよい。

40

【0036】

また、例えば、辞書部 431 は、第 1 パッチ画像と第 2 パッチ画像とのいずれか一方または両方のパッチ画像を次元削減（圧縮）したパッチ画像ベクトルデータに変換して保持しておくようにしてもよい。例えば、辞書部 431 は、収集した全ての第 1 パッチ画像および第 2 パッチ画像に対して主成分分析を行うことにより、それぞれのパッチ画像を所定の寄与率の主成分のみで表現されたパッチ画像ベクトルデータに変換して保持しておく。これにより、辞書部 431 は、1 つのパッチ画像ペアを辞書として保持しておくために必

50

要なメモリの記憶容量を削減することができ、同じメモリの記憶容量でより多くのパッチ画像ペアを保持しておくことができる。

【 0 0 3 7 】

また、例えば、辞書部 4 3 1 は、欠陥検査装置 4 0 0 が回路パターン of 欠陥を検査するごとに対象の第 2 画像に対応する設計パターンおよび解像度のインデックスデータおよび正解データの組を正常画像データベース 3 0 0 から取得するのではなく、複数の設計パターンおよび解像度のインデックスデータおよび正解データの組を正常画像データベース 3 0 0 から取得し、類似した設計パターンおよび解像度のそれぞれのパッチ画像ペアをまとめるクラスタ化をして保持しておくようにしてもよい。例えば、辞書部 4 3 1 は、一般的なクラスタリング手法（例えば、K - Means 法など）を用いてそれぞれのパッチ画像ペアをクラスタ化する。このとき、辞書部 4 3 1 は、例えば、木構造などの階層的な表現を用いて、それぞれのパッチ画像ペアを多数のクラスに分けてもよい。これにより、辞書部 4 3 1 は、保持しておくパッチ画像ペアの数が膨大になった場合でも、後述する第 2 パッチ画像取得部 4 3 2 がパッチ画像ペアを抽出する（探索する）処理に要する時間を短縮することができる。

10

【 0 0 3 8 】

図 5 に戻り、第 2 パッチ画像取得部 4 3 2 は、第 1 画像取得部 4 1 0 により出力された第 1 画像に対応する第 2 パッチ画像を辞書部 4 3 1 から取得し、取得した第 2 パッチ画像を参照画像生成部 4 3 3 に出力する。第 2 パッチ画像取得部 4 3 2 が辞書部 4 3 1 から第 2 パッチ画像を取得する処理では、以下のような処理手順で第 1 画像に対応する第 2 パッチ画像を取得して参照画像生成部 4 3 3 に取得する。

20

【 0 0 3 9 】

（処理手順 1）：第 2 パッチ画像取得部 4 3 2 は、第 1 画像取得部 4 1 0 により出力された第 1 画像から第 1 パッチ画像（第 2 パッチ画像でもある）と同じ所定の大きさの領域を切り出した切り出し画像を生成する。例えば、第 2 パッチ画像取得部 4 3 2 は、第 1 画像上の任意の位置にサンプリング点を設定し、設定したサンプリング点を中心とした所定の大きさの領域を第 1 画像から切り出して切り出し画像を生成する。

【 0 0 4 0 】

（処理手順 2）：第 2 パッチ画像取得部 4 3 2 は、辞書部 4 3 1 に保持している第 1 パッチ画像の中から、生成した切り出し画像に類似する第 1 パッチ画像を抽出する。このとき、第 2 パッチ画像取得部 4 3 2 は、例えば、類似度が最も高い第 1 パッチ画像を 1 つ抽出してもよいし、類似度が所定値以上の複数の第 1 パッチ画像を抽出してもよい。また、第 2 パッチ画像取得部 4 3 2 は、例えば、辞書部 4 3 1 に保持されているパッチ画像ペアがクラスタ化されている場合には、同じクラスにまとめられている複数のパッチ画像ペアの中から類似度が最も高い 1 つのクラスの第 1 パッチ画像を抽出してもよいし、同じクラスにまとめられている複数のパッチ画像ペアのそれぞれから類似度が最も高い第 1 パッチ画像を 1 つずつ抽出してもよい。類似度とは、切り出し画像と第 1 パッチ画像とにおいて、ベクトル間の距離を計測できる指標であればよい。また、第 2 パッチ画像取得部 4 3 2 は、例えば、切り出し画像と第 1 パッチ画像とのそれぞれの画像を構成する画素の並びをベクトルと見なし、これらのベクトルの差の L 1 ノルムまたは L 2 ノルムなどを類似度として使用してもよい。また、第 2 パッチ画像取得部 4 3 2 は、例えば、切り出し画像と第 1 パッチ画像とのそれぞれの画像における二乗誤差や、正規化相互相関値を、類似度としてもよい。

30

40

【 0 0 4 1 】

（処理手順 3）：第 2 パッチ画像取得部 4 3 2 は、抽出した第 1 パッチ画像にパッチ画像ペアとして対応付けられている第 2 パッチ画像を取得する。このとき、第 2 パッチ画像取得部 4 3 2 は、例えば、類似度が最も高い第 1 パッチ画像を 1 つ抽出した場合には、抽出した第 1 パッチ画像に対応付けられている 1 つの第 2 パッチ画像を取得する。また、第 2 パッチ画像取得部 4 3 2 は、例えば、類似度が所定値以上の複数の第 1 パッチ画像を抽出した場合には、抽出したそれぞれの第 1 パッチ画像に対応付けられているそれぞれの第 2

50

パッチ画像を取得する。そして、第2パッチ画像取得部432は、取得した第2パッチ画像を参照画像生成部433に出力する。このとき、第2パッチ画像取得部432は、取得した第2パッチ画像とともに、第1画像上に設定したサンプリング点の位置を表す情報を参照画像生成部433に出力する。また、第2パッチ画像取得部432は、第1画像との類似度の情報を第2パッチ画像に紐付けて、参照画像生成部433に出力してもよい。

【0042】

第2パッチ画像取得部432は、このような処理手順を第1画像から切り出す切り出し画像の位置を逐次移動させながら繰り返し行うことによって、第1画像の全体に対応するそれぞれの第2パッチ画像を取得して参照画像生成部433に出力する。つまり、第2パッチ画像取得部432は、第1画像の全体の領域を網羅するように（少なくとも第1画像を構成する全ての画素に対して第2パッチ画像が割り当たるように）複数のサンプリング点を設定しながら、第1画像の全体に対応するそれぞれの第2パッチ画像を取得して参照画像生成部433に出力する。

10

【0043】

参照画像生成部433は、第2パッチ画像取得部432により出力されたそれぞれの第2パッチ画像を張り合わせることにより、第1画像取得部410により出力された第1画像から第2画像取得部420が取得する第2画像（マスク撮影装置200が撮影する第2画像）を再現した参照画像を生成する。このとき、参照画像生成部433は、第2パッチ画像取得部432により出力された第1画像上のサンプリング点の情報に基づいて、それぞれの第2パッチ画像を張り合わせる。参照画像生成部433は、生成した参照画像を推定部440に出力する。

20

【0044】

図7は、生成部430において参照画像を生成する処理の全体の流れを模式的に示した図である。図7には、第2パッチ画像取得部432が第2パッチ画像Pcを取得し、参照画像生成部433が第2パッチ画像Pcを張り合わせて参照画像を生成する処理の流れの一例を模式的に示している。

【0045】

第2パッチ画像取得部432は、上述した処理手順1～処理手順3の1回目の処理によって、図7の上段に示したように、例えば、第1画像の左上の領域の切り出し画像に類似する第1パッチ画像に対応付けられている第2パッチ画像を取得して参照画像生成部433に出力する。これにより、参照画像生成部433は、第1画像の左上の領域に対応する参照画像を生成する。

30

【0046】

その後、第2パッチ画像取得部432は、上述した処理手順1～処理手順3の処理を繰り返す。図7の中段には、第2パッチ画像取得部432が、切り出し画像を切り出す領域を第1画像の左上から右上に移動させ、その後、第1画像の左側に戻って右側に移動させ、さらに、第1画像の左下から右下に移動させる、いわゆる、ラスタ順に切り出し画像を切り出す領域を異動させることによって、第1画像の全体に対応するそれぞれの第2パッチ画像を取得して参照画像生成部433に出力する場合を示している。なお、第2パッチ画像取得部432が第1画像の全体に対応するそれぞれの第2パッチ画像を取得する順番、つまり、切り出し画像を切り出す領域を移動させる順番は、ラスタ順に限定されるものではない。

40

【0047】

そして、第2パッチ画像取得部432は、上述した処理手順1～処理手順3の最後の処理によって、図7の下段に示したように、例えば、第1画像の右下の領域の切り出し画像に類似する第1パッチ画像に対応付けられている第2パッチ画像を取得して参照画像生成部433に出力する。これにより、参照画像生成部433は、第1画像の右下の領域に対応する参照画像を生成する。

【0048】

図7に示したように、生成部430では、第2パッチ画像取得部432が、第1画像の

50

全体に対応するそれぞれの第2パッチ画像を取得して参照画像生成部433に出力し、参照画像生成部433が、第2パッチ画像取得部432により出力されたそれぞれの第2パッチ画像を張り合わせる。これにより、参照画像生成部433は、第1画像からマスク撮影装置200により出力される第2画像の全体を再現した参照画像を生成する。

【0049】

なお、第2パッチ画像取得部432が第1画像上にサンプリング点を密に割り当てると、第1画像から切り出す切り出し画像の数が増え、参照画像生成部433に出力する第2パッチ画像の数も増加する。この場合、第2パッチ画像取得部432に出力された複数の第2パッチ画像に、第1画像における同じ位置の回路パターンが重複して含まれることも考えられる。また、第2パッチ画像取得部432が複数の第1パッチ画像を抽出し、抽出したそれぞれの第1パッチ画像に対応付けられているそれぞれの第2パッチ画像を取得した場合も、複数の第2パッチ画像に、第1画像における同じ位置の回路パターンが重複して含まれる。このような場合、参照画像生成部433は、第2パッチ画像取得部432により出力された複数の第2パッチ画像に基づいて、生成する参照画像における第2パッチ画像取得部432が設定したサンプリング点の画素の画素値を決定する。

10

【0050】

図8は、生成部430において複数の第2パッチ画像から参照画像を生成する処理の一例を模式的に示した図である。図8の左側には、異なるサンプリング点に対して第2パッチ画像取得部432が抽出した異なる4つの第2パッチ画像Pc(第2パッチ画像Pc-11~第2パッチ画像Pc-14)に基づいて、重複している参照画像の画素PIX(画素PIX1)の画素値を決定する場合の一例を示している。また、図8の右側には、同じサンプリング点に対して第2パッチ画像取得部432が抽出した4つの第2パッチ画像Pc(第2パッチ画像Pc-21~第2パッチ画像Pc-24)に基づいて、重複している回路パターンPATを表す参照画像の画素PIX(画素PIX2)の画素値を決定する場合の一例を示している。

20

【0051】

図8に示したいずれの場合においても、参照画像生成部433は、参照画像を構成する画素PIXの位置において重複しているそれぞれの第2パッチ画像Pcに含まれる画素PIXの位置の画素値を平均化した平均値を、画素PIXの画素値とする。このように、複数の第2パッチ画像に基づいて参照画像を構成する画素の画素値を決定することにより、参照画像生成部433が生成する参照画像の画質を向上させることができる。

30

【0052】

なお、第2パッチ画像取得部432により出力されたそれぞれの第2パッチ画像Pcに第1画像との類似度が紐付けられている場合、参照画像生成部433は、例えば、それぞれの第2パッチ画像Pcに紐付けられている類似度を、画素値を平均化する際の重みとしてもよい。つまり、参照画像生成部433は、参照画像を構成する画素PIXの画素値を、それぞれの第2パッチ画像Pcに含まれる画素PIXの位置の画素値の重み付き平均値としてもよい。これは、図8の右側に示したように、同じサンプリング点に対して第2パッチ画像取得部432が複数の第2パッチ画像Pcを抽出した場合において、参照画像生成部433が生成する参照画像の画質の向上により優位性があると考えられる。

40

【0053】

また、第2パッチ画像取得部432が第1画像上にサンプリング点を密に割り当てたり、複数の第1パッチ画像を抽出したりして、第1パッチ画像に対応付けられている複数の第2パッチ画像を参照画像生成部433に出力する場合、第2パッチ画像取得部432が辞書部431との間でデータをやり取りする回数は、1つの第1パッチ画像を抽出して1つの第2パッチ画像を出力する場合に比べて増加すると考えられる。言い換えれば、第2パッチ画像取得部432が第2パッチ画像を取得する処理の負荷が増加すると考えられる。このため、第2パッチ画像取得部432が第1画像上に割り当てるサンプリング点の数や、抽出する第1パッチ画像の数は、参照画像生成部433が生成する参照画像において必要とされる画質とのトレードオフを考慮して定める必要がある。このため、第2パッチ

50

画像取得部 4 3 2 は、例えば、第 1 画像において回路パターンが疎である部分には設定するサンプリング点も疎にするなど、第 2 パッチ画像取得部 4 3 2 が第 2 パッチ画像を取得する処理の負荷が軽減されるようにすることが考えられる。

【 0 0 5 4 】

このような構成および処理によって、生成部 4 3 0 では、第 1 画像取得部 4 1 0 が取得した第 1 画像（設計データ取得装置 1 0 0 が作成して出力した回路パターンに欠陥がない第 1 画像）から、第 2 画像取得部 4 2 0 が取得する第 2 画像（マスク撮影装置 2 0 0 が撮影する第 2 画像）を再現した参照画像を、推定部 4 4 0 に出力する。これにより、推定部 4 4 0 は、生成部 4 3 0 により出力された参照画像と、第 2 画像取得部 4 2 0 により出力された第 2 画像とを比較し、参照画像と第 2 画像とにおいて回路パターンが異なる部分を、実際のマスクに形成された回路パターンに欠陥が混入している部分であると推定する。このとき、推定部 4 4 0 は、上述したように、参照画像と第 2 画像とのそれぞれにおける同じ位置の画素の画素値の差が所定の閾値以上である画素の位置を、欠陥がある位置であると推定する。このため、推定部 4 4 0 は、参照画像と第 2 画像とにおけるそれぞれの画素の位置ごとに、画素値の差分を計算する。なお、推定部 4 4 0 は、参照画像と第 2 画像とを比較する際に、参照画像と第 2 画像とのいずれか一方または両方の画像を、例えば、平均化フィルタなどで平滑化してからそれぞれの画素の位置ごとに、画素値の差分を計算してもよい。また、推定部 4 4 0 は、参照画像と第 2 画像とを比較する際に、参照画像と第 2 画像とのいずれか一方または両方の画像を、例えば、エッジ強調フィルタなどで先鋭化してからそれぞれの画素の位置ごとに、画素値の差分を計算してもよい。

【 0 0 5 5 】

なお、生成部 4 3 0 により出力された参照画像は、上述したように、過去のマスク欠陥検査において欠陥がないと判定された第 2 画像（マスク撮影画像）ではあるものの、過去のマスク欠陥検査において撮影された複数のマスク撮影画像から生成されている。ここで、マスク撮影画像は、上述したように、正常画像データベース 3 0 0 においてマスク撮影画像の撮影に関する情報に基づいて区分け（カテゴリ化）されているものの、マスク撮影画像の撮影に関する情報は、マスクを撮影したときの倍率などの撮影条件やマスク撮影画像の解像度などである。言い換えれば、マスク撮影画像の撮影に関する情報には、例えば、実際のマスクを撮影する際の明るさなどが含まれていない。このため、参照画像を生成するために張り合わされるそれぞれの第 2 パッチ画像は、明るさのダイナミックレンジが同じであるとは限らない。つまり、実際のマスクに形成された配線などの回路パターンを表す画素の画素値は、参照画像として張り合わせる全ての第 2 パッチ画像で同じ画素値であるとは限らない。このため、推定部 4 4 0 は、参照画像と第 2 画像とのそれぞれの画像に対してダイナミックレンジの調整を行ってから、参照画像と第 2 画像とを比較するようにしてもよい。例えば、推定部 4 4 0 は、参照画像と第 2 画像とのそれぞれの画像における画素値の平均値を引くことによって、参照画像と第 2 画像との間の平均値の差（いわゆる、直流成分の差）による違いをなくしてから比較を行うようにしてもよい。また、例えば、推定部 4 4 0 は、参照画像と第 2 画像とのそれぞれの画像の画素値を正規化し、正規化した画像同士で比較を行うようにしてもよい。

【 0 0 5 6 】

また、推定部 4 4 0 は、参照画像と第 2 画像とのそれぞれの画像を比較した結果として、参照画像と第 2 画像との差を相関によって表してもよい。このとき、推定部 4 4 0 は、参照画像と第 2 画像との全体または同じ位置の一部を切り出してから、これらの相関を正規化相互相関などによって求めてもよい。この場合、推定部 4 4 0 は、参照画像と第 2 画像との相関が高いほど画像の差が小さいものとする。この場合、推定部 4 4 0 は、実際のマスクに形成された回路パターンに欠陥が混入していないということを表す推定結果（検査結果）を、表示制御部（不図示）を介して表示装置 5 0 0 に出力する。

【 0 0 5 7 】

上述したように、第 1 の実施形態の欠陥検査装置 4 0 0 を備えるマスク欠陥検査システム 1 では、欠陥検査装置 4 0 0 が、設計データ取得装置 1 0 0 が作成して出力した回路パ

10

20

30

40

50

ターンに欠陥がない第1画像から、マスク撮影装置200が撮影する第2画像を再現した参照画像を生成し、生成した参照画像とマスク撮影装置200が実際に撮影した第2画像とを比較して、実際のマスクに形成された回路パターンに混入している欠陥の部分を推定する。これにより、第1の実施形態の欠陥検査装置400を備えるマスク欠陥検査システム1では、実際にマスクを作成した際に回路パターンに混入した欠陥を容易に高精度に検査することができる。

【0058】

なお、上述した説明では、マスク欠陥検査システム1を構成する正常画像データベース300に、過去のマスク欠陥検査において欠陥がないと判定されたインデックスデータ（設計画像）と正解データ（マスク撮影画像）とが対応付けられた画像の組が登録されている構成について説明した。そして、第1の実施形態では、マスク欠陥検査システム1を構成する欠陥検査装置400が備える生成部430内（より具体的には、辞書部431）に、正常画像データベース300に登録されている画像の組に含まれるインデックスデータと正解データのそれぞれから切り出した第1パッチ画像と第2パッチ画像とが対応付けられたパッチ画像ペアを収集した辞書を保持しておき、生成部430が参照画像を生成する構成について説明した。言い換えれば、第1の実施形態では、マスク欠陥検査システム1では、参照画像の生成に用いる画像データ（回路パターンの特徴量のデータも含む）を2段階で保持している構成について説明した。しかし、マスク欠陥検査システム1において欠陥検査に用いる参照画像を生成するための画像データを保持する構成は、第1の実施形態で示した構成に限定されない。例えば、正常画像データベース300が、インデックスデータと正解データとが対応付けられた画像の組に加えて、画像の組から切り出した第1パッチ画像と第2パッチ画像とが対応付けられたパッチ画像ペアも登録して保持しておく構成であってもよい。この場合、生成部430は、辞書部431を備えず、第2パッチ画像取得部432が、正常画像データベース300に保持している第1パッチ画像の中から切り出し画像に類似する第1パッチ画像を直接抽出し、抽出した第1パッチ画像に対応付けられている第2パッチ画像を正常画像データベース300から直接取得する構成であってもよい。

【0059】

上記説明したように、欠陥検査装置400は、第1作成方法（設計データに基づいて第1画像（設計画像）を作成するための所定の処理の方法）により作成された検査対象のマスクの第1画像を取得する第1画像取得部410と、検査対象のマスクを撮影して得られる第2画像（マスク撮影画像）を取得する第2画像取得部420と、第1作成方法により作成された第3画像（他の半導体デバイスの設計データに基づいて作成された設計画像）または第3画像により得られる特徴量であるインデックスデータと、過去のマスク欠陥検査においてインデックスデータの比較対象として用いられ、欠陥がないと判定された画像（マスク撮影画像）である正解データとが対応付けられた正常画像データベース300を参照して、取得した第1画像に類似するインデックスデータを抽出し、正常画像データベース300において抽出したインデックスデータに対応付けられている正解データを取得し、取得した正解データに基づいて参照画像を生成する生成部430と、参照画像と第2画像とを比較することで、第2画像に撮影された検査対象のマスクの欠陥箇所に対応する画素を推定する推定部440と、を備える。

【0060】

また、上記説明したように、欠陥検査装置400において、インデックスデータは、第3画像から所定の大きさの領域を切り出した第1パッチ画像であり、正解データは、欠陥がないと判定された画像から第1パッチ画像に対応する大きさの領域を切り出した第2パッチ画像であり、生成部430は、第1画像から第1パッチ画像に対応する大きさの領域を切り出した切り出し画像との類似度が高い第1パッチ画像を抽出し、抽出した第1パッチ画像に対応付けられている第2パッチ画像を取得する第2パッチ画像取得部432と、取得した第2パッチ画像に基づいて、第1画像から第2画像を再現した参照画像を生成する参照画像生成部433と、を備えてもよい。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 1 】

また、上記説明したように、欠陥検査装置 4 0 0 において、生成部 4 3 0 は、インデックスデータを構成する第 3 画像から所定の大きさの領域を切り出した第 1 パッチ画像と、正解データを構成する欠陥がないと判定された画像から第 1 パッチ画像に対応する大きさの領域を切り出した第 2 パッチ画像とが対応付けられたパッチ画像ペアを収集して辞書として保持する辞書部 4 3 1 と、第 1 画像から第 1 パッチ画像に対応する大きさの領域を切り出した切り出し画像との類似度が高い第 1 パッチ画像を含むパッチ画像ペアを辞書部に収集されたパッチ画像ペアの中から抽出し、抽出したパッチ画像ペアにおいて対応付けられている第 2 パッチ画像を辞書部から取得する第 2 パッチ画像取得部 4 3 2 と、取得した第 2 パッチ画像に基づいて、第 1 画像から第 2 画像を再現した参照画像を生成する参照画像生成部 4 3 3 と、を備えてもよい。

10

【 0 0 6 2 】

また、上記説明したように、欠陥検査装置 4 0 0 において、第 2 パッチ画像取得部 4 3 2 は、切り出し画像と第 1 パッチ画像とのそれぞれの画像における二乗誤差、または正規化相互相関値に基づいて、切り出し画像との類似度が高い第 1 パッチ画像を抽出してもよい。

【 0 0 6 3 】

また、上記説明したように、欠陥検査装置 4 0 0 において、第 2 パッチ画像取得部 4 3 2 は、切り出し画像との類似度が所定値以上の第 1 パッチ画像を複数抽出し、抽出したそれぞれの第 1 パッチ画像に対応付けられているそれぞれの第 2 パッチ画像を取得し、参照画像生成部 4 3 3 は、取得したそれぞれの第 2 パッチ画像に含まれる同じ位置を表す画素の画素値を平均化して、生成する参照画像を構成する画素の画素値を求めてもよい。

20

【 0 0 6 4 】

また、上記説明したように、欠陥検査装置 4 0 0 において、推定部 4 4 0 は、参照画像と第 2 画像とのそれぞれを構成する画素の画素値を正規化し、同じ位置の画素の正規化した画素値を比較することで、第 2 画像に撮影された検査対象のマスクの欠陥箇所に対応する画素を推定してもよい。

【 0 0 6 5 】

また、上記説明したように、欠陥検査装置 4 0 0 において、推定部 4 4 0 は、参照画像と第 2 画像とのそれぞれにおける同じ位置の画素の画素値の差が所定の閾値以上である画素を、欠陥であると推定してもよい。

30

【 0 0 6 6 】

また、欠陥検査装置 4 0 0 は、CPU、GPUなどのプロセッサや、LSI、ASIC、FPGAなどのハードウェア、専用のLSIなどによって実現され、ROMやRAM、HDD、フラッシュメモリなどの記憶装置を備え、プロセッサが、第 1 作成方法（設計データに基づいて第 1 画像（設計画像）を作成するための所定の処理の方法）により作成された検査対象のマスクの第 1 画像を取得し、検査対象のマスクを撮影して得られる第 2 画像（マスク撮影画像）を取得し、第 1 作成方法により作成された第 3 画像（他の半導体デバイスの設計データに基づいて作成された設計画像）または第 3 画像により得られる特徴量であるインデックスデータと、過去のマスク欠陥検査においてインデックスデータの比較対象として用いられ、欠陥がないと判定された画像（マスク撮影画像）である正解データとが対応付けられた正常画像データベース 3 0 0 を参照して、取得した第 1 画像に類似するインデックスデータを抽出し、正常画像データベース 3 0 0 において抽出したインデックスデータに対応付けられている正解データを取得し、取得した正解データに基づいて参照画像を生成し、参照画像と第 2 画像とを比較することで、第 2 画像に撮影された検査対象の欠陥箇所に対応する画素を推定する、欠陥検査方法を実行する装置であってもよい。

40

【 0 0 6 7 】

また、欠陥検査装置 4 0 0 は、CPU、GPUなどのプロセッサや、LSI、ASIC、FPGAなどのハードウェア、専用のLSIなどによって実現され、ROMやRAM、HDD、フラッシュメモリなどの記憶装置を備え、記憶装置には、プロセッサに、第 1 作

50

成方法（設計データに基づいて第1画像（設計画像）を作成するための所定の処理の方法）により作成された検査対象のマスクの第1画像を取得させ、検査対象のマスクを撮影して得られる第2画像（マスク撮影画像）を取得させ、第1作成方法により作成された第3画像（他の半導体デバイスの設計データに基づいて作成された設計画像）または第3画像により得られる特徴量であるインデックスデータと、過去のマスク欠陥検査においてインデックスデータの比較対象として用いられ、欠陥がないと判定された画像（マスク撮影画像）である正解データとが対応付けられた正常画像データベース300を参照して、取得させた第1画像に類似するインデックスデータを抽出させ、正常画像データベース300において抽出させたインデックスデータに対応付けられている正解データを取得させ、取得させた正解データに基づいて参照画像を生成させ、参照画像と第2画像とを比較することで、第2画像に撮影された検査対象の欠陥箇所に対応する画素を推定させる、プログラムが記憶された装置であってもよい。

10

【0068】

（第2の実施形態）

以下、第2の実施形態の欠陥検査装置について説明する。第1の実施形態の欠陥検査装置400では、正常画像データベース300にカテゴリ化されて登録されている画像の組に含まれるインデックスデータと正解データのそれぞれから切り出した第1パッチ画像と第2パッチ画像とに基づいて参照画像を生成した。この参照画像は、欠陥検査装置400が回路パターンの欠陥を検査する対象の第2画像に対応する設計パターンおよび解像度のインデックスデータおよび正解データの組に基づいて疑似的に生成されているため、マスク撮影装置200が実際に撮影して出力した第2画像に対して高い再現性を持つと考えられる。しかしながら、マスク撮影装置200により出力された第2画像に、正常画像データベース300に登録されているそれぞれのインデックスデータには含まれていない新たな回路パターンが写されている場合、この新たな回路パターンを含む参照画像では再現性が低くなることが懸念される。これは、新たな回路パターンの部分では、第2パッチ画像取得部432が他の部分よりも類似度の低い第1パッチ画像を抽出してしまい、参照画像生成部433が類似度の低い第1パッチ画像に対応付けられている第2パッチ画像を張り合わせて参照画像を生成してしまうと考えられるからである。すると、推定部440は、実際のマスクにおいては新たな回路パターンの部分に欠陥がない場合でも、新たな回路パターンの部分が欠陥であると誤った推定をしてしまう可能性が高くなることが懸念される。このため、第2の実施形態の欠陥検査装置では、新たな回路パターンに対応するパッチ画像ペア（第1パッチ画像および欠陥がない第2パッチ画像）を辞書部431に追加や更新（いわゆる、書き換え）する構成を備え、以降に生成する参照画像の再現性を高めるようにする。

20

30

【0069】

なお、第2の実施形態の欠陥検査装置は、図1に示したマスク欠陥検査システム1の構成において、欠陥検査装置400の代わりに備えられる。言い換えれば、第2の実施形態の欠陥検査装置を備えるマスク欠陥検査システムの構成は、図1に示した第1の実施形態の欠陥検査装置400を備えるマスク欠陥検査システム1の構成において、欠陥検査装置400が第2の実施形態の欠陥検査装置に代わった構成である。以下の説明においては、第2の実施形態の欠陥検査装置を備えるマスク欠陥検査システムを、「マスク欠陥検査システム2」という。

40

【0070】

また、第2の実施形態の欠陥検査装置が備える構成要素には、第1の実施形態の欠陥検査装置400が備える構成要素と同様の構成要素が含まれている。従って、以下の説明においては、第2の実施形態の欠陥検査装置の構成要素において、第1の実施形態の欠陥検査装置400の構成要素と同様の構成要素には、同一の符号を付与し、それぞれの構成要素に関する詳細な説明を省略する。

【0071】

図9は、第2の実施形態の欠陥検査装置の構成の一例を示すブロック図である。欠陥検

50

査装置400Aは、第1画像取得部410と、第2画像取得部420と、生成部430Aと、推定部440と、入力受け付け部450とを備える。また、生成部430Aは、辞書部431と、第2パッチ画像取得部432と、参照画像生成部433と、辞書更新部434とを備える。以下の説明においても、第1の実施形態と同様に、インデックスデータは設計画像であり、正解データはマスク撮影画像であるものとする。

【0072】

入力受け付け部450は、辞書部431へのパッチ画像ペアの追加や更新の操作（指示）の入力を受け付ける。辞書部431へのパッチ画像ペアの追加や更新の指示は、例えば、マスク欠陥検査の実施者（ユーザー）が、タッチパネルとして構成された表示装置500が備えるユーザーインターフェース（不図示）を操作することによって入力される。なお、ユーザーによるパッチ画像ペアの追加や更新の指示の入力は、上述したように、例えば、推定部440が回路パターンに欠陥があると推定し、その欠陥の位置を示す画像を表示装置500に表示してユーザーに提示したが、実際のマスクにおいては欠陥がなかったなど、推定部440が回路パターンの欠陥の推定を誤ってしまった（誤判定してしまった）場合に行われることが考えられる。入力受け付け部450は、パッチ画像ペアの追加や更新の指示の入力を受け付けると、推定部440により出力された参照画像と第2画像とを比較した結果、つまり、参照画像と第2画像との間で回路パターンが異なっている位置（画素の位置）の情報を取得し、取得した位置の情報を生成部430Aに出力する。

10

【0073】

生成部430Aは、第1の実施形態の欠陥検査装置400が備える生成部430と同様に、正常画像データベース300に登録されている画像の組を参照して、第1画像取得部410により出力された第1画像から第2画像取得部420が取得する（マスク撮影装置200が撮影した）第2画像を再現した疑似撮影画像（参照画像）を生成し、生成した参照画像を推定部440に出力する。また、生成部430Aは、パッチ画像ペアの追加や更新の指示の入力を受け付けた入力受け付け部450により出力された回路パターンが異なっている位置の情報に基づいて、新たなパッチ画像ペアを生成し、生成した新たなパッチ画像ペアを、辞書部431に保持している辞書に追加（または更新）する。

20

【0074】

辞書更新部434は、入力受け付け部450により出力された回路パターンが異なっている位置の情報に基づいて、新たなパッチ画像ペアを生成する。辞書更新部434は、欠陥検査装置400Aにおいてマスク欠陥検査を行った今回の第1画像と第2画像とから新たなパッチ画像ペア（新たな第1パッチ画像および新たな第1パッチ画像に対応付けられた欠陥がない第2パッチ画像）を生成する。より具体的には、辞書更新部434は、設計データ取得装置100により出力された第1画像から辞書部431に保持されている第1パッチ画像と同じ大きさの領域を切り出して新たな第1パッチ画像を生成する。このとき、辞書更新部434は、入力受け付け部450により出力された回路パターンが異なっている位置（画素の位置）を中心として、新たな第1パッチ画像を第1画像から切り出す。また、辞書更新部434は、マスク撮影装置200により出力された第2画像から新たな第1パッチ画像に対応する大きさの領域を切り出して新たな第2パッチ画像を生成する。辞書更新部434は、生成した新たなパッチ画像ペアを、辞書部431に保持させる。これにより、辞書更新部434が生成した新たなパッチ画像ペアが、辞書部431に保持している辞書に追加される。つまり、辞書部431に、推定部440が回路パターンに欠陥があると誤って推定してしまった新たな回路パターンの部分に対応するパッチ画像ペアが、辞書部431に保持している辞書に追加される。

30

40

【0075】

なお、辞書更新部434は、現在の辞書部431におけるクラスタ化の状態を維持するように、辞書部431に新たなパッチ画像ペアを追加して保持させる。例えば、辞書更新部434が木構造などの階層的な表現を用いてクラスに分けられている場合には、この辞書部431における階層構造を変えずに、最も画像の類似度が高い代表点のクラスタに、新たなパッチ画像ペアを追加する。なお、辞書更新部434は、新たなパッチ画像ペアを

50

追加し、辞書部 4 3 1 が辞書を収集する際にクラスタ化した手法を用いて、再度辞書をクラスタ化してもよい。

【 0 0 7 6 】

なお、辞書更新部 4 3 4 は、辞書部 4 3 1 に保持している辞書に新たなパッチ画像ペアを追加して更新する場合、新たなパッチ画像ペアと同じ部分のパッチ画像ペアがすでに辞書に収集されている場合には、すでに収集されているパッチ画像ペアを削除して更新（いわゆる、差し替え）をしてもよいし、すでに収集されているパッチ画像ペアと新たなパッチ画像ペアと平均化して更新してもよい。このとき、辞書更新部 4 3 4 は、新たなパッチ画像ペアを追加するか、差し替えるか、平均化するかを、例えば、マスク欠陥検査の実施者（ユーザー）による選択に応じて切り替えてもよい。

10

【 0 0 7 7 】

辞書更新部 4 3 4 によって辞書部 4 3 1 に追加される新たなパッチ画像ペアの構成は、図 6 に示した辞書部 4 3 1 に収集するパッチ画像の一例と同様の構成であるため、詳細な説明は省略する。

【 0 0 7 8 】

このような構成および処理によって、欠陥検査装置 4 0 0 A では、実際のマスクに欠陥はないが、推定部 4 4 0 が回路パターンに欠陥があると誤って推定してしまった新たな回路パターンの部分に対応するパッチ画像ペアを、辞書部 4 3 1 に追加して保持させる。これにより、マスク欠陥検査システム 2 における以降のマスク欠陥検査では、欠陥検査装置 4 0 0 A において、新たな回路パターンの部分に対して新たな第 1 パッチ画像が抽出され、新たな第 1 パッチ画像に対応付けられている第 2 パッチ画像を用いて参照画像が生成される。言い換えれば、欠陥検査装置 4 0 0 A において以降に生成する参照画像の再現性が高められる。これにより、マスク欠陥検査システム 2 では、実際にマスクを作成した際にマスクに形成する回路パターンに混入した欠陥を容易に高精度に検査することができる。

20

【 0 0 7 9 】

上述したように、第 2 の実施形態の欠陥検査装置 4 0 0 A を備えるマスク欠陥検査システム 2 でも、第 1 の実施形態の欠陥検査装置 4 0 0 を備えるマスク欠陥検査システム 1 と同様に、欠陥検査装置 4 0 0 A が、設計データ取得装置 1 0 0 により出力された回路パターンに欠陥がない第 1 画像から第 2 画像を再現した参照画像を生成し、生成した参照画像とマスク撮影装置 2 0 0 が実際に撮影した第 2 画像とを比較して、実際のマスクに形成された回路パターンに混入している欠陥の部分を推定する。これにより、第 2 の実施形態の欠陥検査装置 4 0 0 A を備えるマスク欠陥検査システム 2 でも、第 1 の実施形態の欠陥検査装置 4 0 0 を備えるマスク欠陥検査システム 1 と同様に、実際にマスクを作成した際に回路パターンに混入した欠陥を容易に高精度に検査することができる。

30

【 0 0 8 0 】

しかも、第 2 の実施形態の欠陥検査装置 4 0 0 A を備えるマスク欠陥検査システム 2 では、欠陥検査装置 4 0 0 A が、実際のマスクには欠陥がない部分を欠陥があると誤って推定してしまった場合に、例えば、マスク欠陥検査の実施者（ユーザー）による指示に応じて新たな回路パターンの部分に対応する新たなパッチ画像ペアを生成して辞書部 4 3 1 に保持している辞書に追加（または更新）する。これにより、第 2 の実施形態の欠陥検査装置 4 0 0 A を備えるマスク欠陥検査システム 2 では、以降に生成する参照画像の再現性が高め、実際にマスクを作成した際に回路パターンに混入した欠陥をより高精度に検査することができる。

40

【 0 0 8 1 】

なお、上述した説明では、欠陥検査装置 4 0 0 A において、辞書更新部 4 3 4 が新たなパッチ画像ペアを辞書部 4 3 1 に追加する場合について説明した。しかし、欠陥検査装置 4 0 0 A は、辞書更新部 4 3 4 によって新たなパッチ画像ペアを辞書部 4 3 1 に追加する構成に限定されない。例えば、欠陥検査装置 4 0 0 A は、辞書更新部 4 3 4 が新たなパッチ画像ペアを辞書部 4 3 1 に追加した場合、追加した新たなパッチ画像ペア（第 1 パッチ画像および第 2 パッチ画像）を切り出した元の第 1 画像と第 2 画像とを、正常画像データ

50

ベース300にも追加する構成であってもよい。また、例えば、正常画像データベース300がパッチ画像ペアも登録して保持している構成である場合、欠陥検査装置400Aは、辞書更新部434が生成して辞書部431に追加したパッチ画像ペアを、正常画像データベース300にも追加する構成であってもよい。

【0082】

上記説明したように、欠陥検査装置400Aにおいて、生成部430Aは、推定部440によって欠陥であると誤って推定された、第2画像に撮影された検査対象のマスクの回路パターンが異なっている位置（欠陥箇所に対応する画素の位置）と、第1画像および第2画像とのそれぞれを取得し、受け付けた辞書部431にパッチ画像ペアを追加する操作（指示）に応じて、取得した第1画像および第2画像から、誤って欠陥であると推定された画素の位置を含む所定の大きさの領域を切り出した第1パッチ画像と第2パッチ画像とを対応付けたパッチ画像ペアを辞書部431に保持している辞書に追加する辞書更新部434、をさらに備えてもよい。

10

【0083】

（第3の実施形態）

以下、第3の実施形態の欠陥検査装置について説明する。第1の実施形態の欠陥検査装置400および第2の実施形態の欠陥検査装置400Aでは、推定部440が実際のマスクに混入している欠陥を推定した推定結果（検査結果）を、例えば、マスク欠陥検査の実施者（ユーザー）に提示する構成については詳細に説明していなかった。第3の実施形態の欠陥検査装置では、推定部440が実際のマスクに混入している欠陥を推定した推定結果（検査結果）を提示する構成について説明する。

20

【0084】

なお、第3の実施形態の欠陥検査装置は、図1に示したマスク欠陥検査システム1の構成において、欠陥検査装置400の代わりに備えられる。言い換えれば、第3の実施形態の欠陥検査装置を備えるマスク欠陥検査システムの構成は、図1に示した第1の実施形態の欠陥検査装置400を備えるマスク欠陥検査システム1の構成において、欠陥検査装置400が第3の実施形態の欠陥検査装置に代わった構成である。以下の説明においては、第3の実施形態の欠陥検査装置を備えるマスク欠陥検査システムを、「マスク欠陥検査システム3」という。

【0085】

また、第3の実施形態の欠陥検査装置が備える構成要素には、第1の実施形態の欠陥検査装置400が備える構成要素と同様の構成要素が含まれている。従って、以下の説明においては、第3の実施形態の欠陥検査装置の構成要素において、第1の実施形態の欠陥検査装置400の構成要素と同様の構成要素には、同一の符号を付与し、それぞれの構成要素に関する詳細な説明を省略する。

30

【0086】

図10は、第3の実施形態の欠陥検査装置の構成の一例を示すブロック図である。欠陥検査装置400Bは、第1画像取得部410と、第2画像取得部420と、生成部430Bと、推定部440Bと、表示制御部460とを備える。また、生成部430Bは、辞書部431と、第2パッチ画像取得部432Bと、参照画像生成部433とを備える。以下の説明においても、第1の実施形態と同様に、インデックスデータは設計画像であり、正解データはマスク撮影画像であるものとする。

40

【0087】

生成部430Bは、第1の実施形態の欠陥検査装置400が備える生成部430と同様に、正常画像データベース300に登録されている画像の組を参照して、第1画像取得部410により出力された第1画像から第2画像取得部420が取得する（マスク撮影装置200が撮影した）第2画像を再現した疑似撮影画像（参照画像）を生成し、生成した参照画像を推定部440Bに出力する。また、生成部430Bは、推定部440Bにより出力された参照画像と第2画像とを比較した結果、つまり、参照画像と第2画像との間で回路パターンが異なっている位置（画素の位置）の情報を取得し、参照画像を生成するため

50

に用いた第2パッチ画像を表示制御部460に出力する。

【0088】

第2パッチ画像取得部432Bは、第1の実施形態の欠陥検査装置400の生成部430が備える第2パッチ画像取得部432と同様に、第1画像取得部410により出力された第1画像に対応する第2パッチ画像を辞書部431から取得し、取得した第2パッチ画像を参照画像生成部433に出力する。また、第2パッチ画像取得部432Bは、推定部440Bにより出力された参照画像と第2画像との間で回路パターンが異なっている位置（画素の位置）の情報が表す位置に対して取得した第2パッチ画像を辞書部431から再度取得し、取得した第2パッチ画像を表示制御部460に出力する。このときの第2パッチ画像取得部432Bが辞書部431から第2パッチ画像を再度取得する処理は、上述した第2パッチ画像取得部432が辞書部431から第2パッチ画像を取得する処理と同様に考えることができる。つまり、第2パッチ画像取得部432Bは、推定部440Bにより出力された参照画像と第2画像との間で回路パターンが異なっている位置（画素の位置）をサンプリング点に設定し、抽出した第1パッチ画像にパッチ画像ペアとして対応付けられている第2パッチ画像を再度取得する。

10

【0089】

なお、第2パッチ画像取得部432Bは、参照画像を生成するために抽出した第1パッチ画像、またはこの第1パッチ画像にパッチ画像ペアとして対応付けられている第2パッチ画像の情報を保持している場合、この保持している情報に基づいて、推定部440Bにより出力された参照画像と第2画像との間で回路パターンが異なっている位置（画素の位置）の第2パッチ画像を再度取得して表示制御部460に出力してもよい。また、第2パッチ画像取得部432Bは、参照画像生成部433に出力した第2パッチ画像を保持している場合、保持している第2パッチ画像の中から、推定部440Bにより出力された参照画像と第2画像との間で回路パターンが異なっている位置（画素の位置）の第2パッチ画像を表示制御部460に出力してもよい。

20

【0090】

推定部440Bは、第1の実施形態の欠陥検査装置400が備える推定部440と同様に、生成部430Bにより出力された参照画像と、第2画像取得部420により出力された第2画像とを比較することにより、参照画像と第2画像とのそれぞれに写されている回路パターンが異なっている部分を検出し、マスクを作成した際に混入した回路パターンの欠陥を推定する。また、推定部440Bは、参照画像と第2画像との間で回路パターンが異なっている部分を検出した場合、算出した参照画像と第2画像との一致度合いを表す情報を表示制御部460に出力する。

30

【0091】

表示制御部460は、推定部440Bが参照画像と第2画像とを比較した結果を表示装置500に表示させる。例えば、表示制御部460は、推定部440Bが実際のマスクに形成された回路パターンに欠陥が混入していないということを推定した場合、この推定結果（検査結果）を通知するメッセージを表示装置500に出力して表示させる。また、例えば、表示制御部460は、推定部440Bが参照画像と第2画像との間で回路パターンが異なっている部分を検出した場合、参照画像と第2画像との間で回路パターンが異なっている位置を提示する画像を表示装置500に出力して表示させる。このとき、表示制御部460は、推定部440Bにおける推定結果（検査結果）の確認（判定）を補助するための情報や画像を表示装置500に出力して表示させる。例えば、表示制御部460は、推定部440Bが参照画像と第2画像との間で回路パターンが異なっていると推定した位置（画素の位置）の情報を取得し、取得した位置を表すマーカーを第2画像取得部420により出力された第2画像に重畳した画像や、取得した位置を含む所定の大きさの領域（例えば、第1パッチ画像や第2パッチ画像と同じ大きさの領域）を拡大した画像を表示装置500に表示させる。また、例えば、表示制御部460は、推定部440Bにより出力された参照画像と第2画像との一致度合いを表す情報を表示装置500に表示させる。

40

【0092】

50

図 1 1 は、表示制御部 4 6 0 が表示装置 5 0 0 に表示させる画像の一例を示す図である。図 1 1 には、左側の領域 a 1 に、第 2 画像取得部 4 2 0 により出力された第 2 画像を表示させ、さらに、推定部 4 4 0 B が回路パターンに欠陥があると推定したそれぞれの位置を表すマーカー M (図 1 1 では、「x」印) を重畳して表示させている画像 I M の一例を示している。なお、マーカー M は、図 1 1 に示した形状(「x」印)に限定されるものではなく、いかなる形状や色であってもよい。また、マーカー M の形状や色は、欠陥があると推定した回路パターンの形状などに応じて、複数種類のマーカーを表示させてもよい。例えば、欠陥があると推定した位置が、配線の回路パターンの直線部分である場合と、配線の回路パターンの屈曲部分である場合とでマーカー M の形状や色を異ならせてもよい。

【0093】

また、図 1 1 に示した画像 I M では、右側の上段の領域 a 2 に、領域 a 1 内のそれぞれのマーカー M を含む所定の大きさの領域を拡大した画像を表示させている一例を示している。より具体的には、図 1 1 に示した画像 I M では、領域 a 1 において欠陥があると推定した 4 カ所を表示させているため、領域 a 2 には 4 つの拡大画像(欠陥位置画像 D 1 ~ 欠陥位置画像 D 4)を表示させている。さらに、図 1 1 に示した画像 I M では、領域 a 2 内に、それぞれの欠陥位置画像 D に対応するチェックボックス C B を併せて表示させている一例を示している。例えば、マスク欠陥検査の実施者(ユーザー)は、領域 a 2 内のいずれかのチェックボックス C B を選択することによって、選択した欠陥位置画像 D の位置における欠陥の推定結果(検査結果)を確認(判定)するための情報を表示させることができる。なお、領域 a 2 においてそれぞれの欠陥位置画像 D に対応して表示させる情報は、図 1 1 に示したチェックボックス C B に限定されるものではない。例えば、推定部 4 4 0 B により出力された参照画像と第 2 画像との一致度合いを表す情報を、それぞれの欠陥位置画像 D に対応させて表示させてもよい。

【0094】

また、図 1 1 に示した画像 I M では、右側の下段の領域 a 3 に、領域 a 2 内で選択された欠陥位置画像 D 1 の位置における欠陥の推定結果を確認(判定)するため画像および情報を表示させている一例を示している。より具体的には、図 1 1 に示した画像 I M では、領域 a 3 内に、選択された欠陥位置画像 D 1 の位置の参照画像を生成する際に用いられたそれぞれの第 2 パッチ画像(第 2 パッチ画像 P c - 3 1 ~ 第 2 パッチ画像 P c - 3 3)と、それぞれの第 2 パッチ画像に紐付けられている第 1 画像との類似度の情報を表示させている。これにより、例えば、マスク欠陥検査の実施者(ユーザー)は、選択した欠陥位置画像 D 1 の位置の参照画像を生成する際に用いられた第 2 パッチ画像が、第 1 画像との類似度の低い第 1 パッチ画像に対応付けられている第 2 パッチ画像であるのか否かなどを確認することができる。なお、図 1 1 に示した画像 I M の領域 a 3 の一例では、類似度を降順に並べてそれぞれの第 2 パッチ画像を表示させているが、例えば、類似度を昇順に並べてそれぞれの第 2 パッチ画像を表示させてもよい。また、類似度を並べる順番は、例えば、最新の画像の組から切り出した第 2 パッチ画像を先にするなど、正常画像データベース 3 0 0 に画像の組(インデックスデータおよび正解データ)が記憶された時期に基づいてもよい。また、図 1 1 に示した画像 I M の領域 a 3 の一例において表させた類似度の情報の代わりに、例えば、推定部 4 4 0 B により出力された参照画像と第 2 画像との一致度合いを表す情報を、それぞれの第 2 パッチ画像に対応させて表示させてもよい。

【0095】

このように、表示制御部 4 6 0 は、例えば、マスク欠陥検査の実施者(ユーザー)による推定部 4 4 0 B における推定結果(検査結果)の確認(判定)を補助するための情報や画像を、表示装置 5 0 0 に表示させる。なお、表示制御部 4 6 0 が表示装置 5 0 0 に表示させる情報や画像は、上述した一例に限定されない。例えば、表示制御部 4 6 0 は、類似度の統計量を表示装置 5 0 0 に表示させてもよいし、参照画像の生成に用いた全ての第 2 パッチ画像の類似度の平均値や、分散値、最大値、最小値などを表示装置 5 0 0 に表示させてもよい。また、例えば、表示制御部 4 6 0 は、マスク欠陥検査を行った今回のマスクの識別情報(I D)なども、併せて表示装置 5 0 0 に表示させてもよい。このとき、表示

10

20

30

40

50

制御部 460 は、表示装置 500 に表示させる情報や画像を、適宜対応する構成要素から取得する。なお、表示制御部 460 は、上述した情報や画像を表示装置 500 に表示させる代わりに、または表示装置 500 への表示に加えて、例えば、無線通信などによって情報や画像を送信して、ユーザーが使用するタブレット端末などの端末装置に表示させるようにしてもよい。

【0096】

このような構成および処理によって、欠陥検査装置 400B では、推定部 440B における推定結果（検査結果）の確認（判定）を補助するための情報や画像を表示装置 500 に表示させることによって、例えば、マスク欠陥検査の実施者（ユーザー）に提示する。これにより、ユーザーは、推定部 440B が推定した欠陥が、例えば、実際のマスクに混入した真の欠陥であるのか、第 1 画像との類似度の低い第 1 パッチ画像に対応付けられている第 2 パッチ画像を張り合わせて再現性が低い参照画像が生成されたことによる偽の欠陥であるのかなど、推定部 440B の推定結果（検査結果）を容易に確認（判定）することができる。

10

【0097】

上述したように、第 3 の実施形態の欠陥検査装置 400B を備えるマスク欠陥検査システム 3 でも、第 1 の実施形態の欠陥検査装置 400 を備えるマスク欠陥検査システム 1 と同様に、欠陥検査装置 400B が、設計データ取得装置 100 により出力された回路パターンに欠陥がない第 1 画像から第 2 画像を再現した参照画像を生成し、生成した参照画像とマスク撮影装置 200 が実際に撮影した第 2 画像とを比較して、実際のマスクに形成された回路パターンに混入している欠陥の部分を推定する。また、第 3 の実施形態の欠陥検査装置 400B を備えるマスク欠陥検査システム 3 では、欠陥検査装置 400B が回路パターンの欠陥を推定した結果や、例えば、マスク欠陥検査の実施者（ユーザー）による欠陥検査装置 400B が回路パターンの欠陥を推定した結果の確認（判定）を補助するための情報や画像を表示装置 500 に表示させる。これにより、第 3 の実施形態の欠陥検査装置 400B を備えるマスク欠陥検査システム 3 でも、第 1 の実施形態の欠陥検査装置 400 を備えるマスク欠陥検査システム 1 と同様に、実際にマスクを作成した際に回路パターンに混入した欠陥を容易に高精度に検査することができる。

20

【0098】

上記説明したように、欠陥検査装置 400B は、推定部 440B によって欠陥であると推定された検査対象のマスクの回路パターンが異なっている位置（欠陥箇所に対応する画素の位置）を含む所定の大きさの領域（例えば、欠陥位置画像 D）を表示装置 500 に表示させる表示制御部 460、をさらに備えてもよい。

30

【0099】

また、上記説明したように、欠陥検査装置 400B において、推定部 440B は、参照画像と第 2 画像との一致度合いを算出し、一致度合いに基づいて第 2 画像に撮影された検査対象のマスクの欠陥箇所に対応する画素を推定するものであり、表示制御部 460 は、推定部 440B によって算出された一致度合いを表す情報を、欠陥であると推定された検査対象のマスクの回路パターンが異なっている位置（欠陥箇所に対応する画素の位置）を含む所定の大きさの領域に対応付けて表示させてもよい。

40

【0100】

（第 4 の実施形態）

以下、第 4 の実施形態の欠陥検査装置について説明する。第 1 ～ 第 3 の実施形態の欠陥検査装置では、正常画像データベース 300 にカテゴリ化されて登録されている画像の組に含まれるインデックスデータと正解データのそれぞれから切り出した第 1 パッチ画像と第 2 パッチ画像とに基づいて参照画像を生成した。しかし、欠陥検査装置が参照画像を生成する方法は、第 1 ～ 第 3 の実施形態の欠陥検査装置において示した第 1 パッチ画像と第 2 パッチ画像とに基づいた生成方法に限定されない。例えば、正常画像データベース 300 にカテゴリ化されて登録されている画像の組に含まれるインデックスデータと正解データのそれぞれに基づいた関数を用いて参照画像を生成する方法も考えられる。第 4 の実施

50

形態の欠陥検査装置では、参照画像を生成する際に関数を用いる構成について説明する。

【0101】

以下の説明においては、参照画像を生成する際に関数を用いる構成の一例として、DNN (Deep Neural Network) のアルゴリズムを利用して参照画像を生成する構成の欠陥検査装置を、第4の実施形態の欠陥検査装置として説明する。DNNは、いくつかの層がカスケードに繋がれたネットワークの総称である。DNNにおける各層は、畳み込み演算を行う畳み込み (Convolution) 層、逆畳み込み演算を行う逆畳み込み (Deconvolution) 層、活性化関数を用いて非線形演算を行う活性化層、データを間引くプーリング (Pooling) 層や、その逆を行うアンプーリング (Unpooling) 層、その他の多数の積和演算を行う全結合層など、それぞれ演算の種類が異なる。

10

【0102】

なお、第4の実施形態の欠陥検査装置は、図1に示したマスク欠陥検査システム1の構成において、欠陥検査装置400の代わりに備えられる。言い換えれば、第4の実施形態の欠陥検査装置を備えるマスク欠陥検査システムの構成は、図1に示した第1の実施形態の欠陥検査装置400を備えるマスク欠陥検査システム1の構成において、欠陥検査装置400が第4の実施形態の欠陥検査装置に代わった構成である。以下の説明においては、第4の実施形態の欠陥検査装置を備えるマスク欠陥検査システムを、「マスク欠陥検査システム4」という。

【0103】

また、第4の実施形態の欠陥検査装置が備える構成要素には、第1の実施形態の欠陥検査装置400が備える構成要素と同様の構成要素が含まれている。従って、以下の説明においては、第4の実施形態の欠陥検査装置の構成要素において、第1の実施形態の欠陥検査装置400の構成要素と同様の構成要素には、同一の符号を付与し、それぞれの構成要素に関する詳細な説明を省略する。

20

【0104】

図12は、第4の実施形態の欠陥検査装置の構成の一例を示すブロック図である。欠陥検査装置400Cは、第1画像取得部410と、第2画像取得部420と、生成部430Cと、推定部440とを備える。また、生成部430Cは、非線形モデル生成部435と、非線形変換部436とを備える。以下の説明においても、第1の実施形態と同様に、インデックスデータは設計画像であり、正解データはマスク撮影画像であるものとする。

30

【0105】

生成部430Cは、正常画像データベース300に登録されている画像の組に基づいてDNNのアルゴリズムを利用した学習をして、第1画像取得部410により出力された第1画像から第2画像取得部420が取得する(マスク撮影装置200が撮影した)第2画像を再現した疑似撮影画像(参照画像)を生成する。生成部430Cは、生成した参照画像を推定部440に出力する。

【0106】

非線形モデル生成部435は、正常画像データベース300にカテゴリ化されて登録されているインデックスデータおよび正解データの組の中から、欠陥検査装置400Cが回路パターンの欠陥を検査する対象の第2画像に対応する設計パターンおよび解像度である一部または全部のインデックスデータおよび正解データの組を取得する。そして、非線形モデル生成部435は、取得したインデックスデータおよび正解データの組に基づいて非線形変換モデルを学習する。非線形モデル生成部435における学習とは、取得したインデックスデータをDNNに入力したときの出力画像が、入力したインデックスデータに対応付けられている正解データに近づくように、各層の演算を定義するパラメータを調整することである。より具体的には、DNNからの出力画像と、正解データとの差を表すロス関数を定義し、このロス関数の値が小さくなるようにそれぞれのパラメータを更新する。このDNNにおけるパラメータの更新方法としては、例えば、バックプロパゲーション法などがある。ロス関数としては、例えば、2つの画像の二乗誤差などがある。なお、ロス関数として、2つの画像間の差を計測する項に加えて、パラメータを小さい値に抑える効

40

50

果を与える正則化を行うようにしてもよい。非線形変換モデルとは、非線形演算に必要なパラメータの集合（DNNでは、各層の演算に必要なパラメータの集合）のことである。例えば、畳み込み層であれば、畳み込みカーネルを定義する数値のことである。非線形モデル生成部435は、上述したような、取得したインデックスデータに基づいた学習によって、このインデックスデータに対応付けられている正解データを再現するための非線形変換モデルを生成する。非線形モデル生成部435は、生成（学習）した非線形変換モデルを、非線形変換部436に出力する。

【0107】

非線形変換部436は、非線形モデル生成部435により出力された非線形変換モデルに基づいて第1画像取得部410により出力された第1画像を非線形変換することにより、第1画像から第2画像取得部420が取得する第2画像（マスク撮影装置200が撮影する第2画像）を再現した参照画像を生成する。非線形変換部436におけるDNNでは、入力した第1画像に対して、直列に繋がったネットワークの構造の各層によってそれぞれの演算を施し、最終層の出力が参照画像となる。このネットワークの構造の一例としては、例えば、エンコードとデコードとの2つの処理からなるオートエンコーダー（AutoEncoder）がある。エンコードは、例えば、畳み込み層と活性化層から出力されたデータの次元を、プーリング層によって削減する。なお、エンコードでは、データに対する畳み込み演算を疎に施すことによって、畳み込み層からの出力の次元を圧縮することもある。この場合のエンコードでは、これらの層を直列に繋げることによって、入力画像（つまり、第1画像）の次元を圧縮する。一方、デコードは、逆畳み込み層によって逆畳み込み演算の処理を行い、生成する参照画像の画像サイズにまでデータの次元を伸張する。なお、デコードでは、アンプーリング層を用いてデータの次元を伸張してもよい。

【0108】

このような構成および処理によって、欠陥検査装置400Cでは、生成部430Cでは、正常画像データベース300に登録されている画像の組に基づいて、マスク撮影装置200が撮影する第2画像を再現するための非線形変換モデルを生成（学習）し、生成（学習）した非線形変換モデルに基づいて、第1画像取得部410により出力された第1画像（設計データ取得装置100が作成して出力した回路パターンに欠陥がない第1画像）から第2画像を再現した参照画像を生成して推定部440に出力する。これにより、欠陥検査装置400Cでも、推定部440が、生成部430Cにより出力された参照画像と、第2画像取得部420により出力された第2画像とを比較して、参照画像と第2画像とにおいて回路パターンが異なる部分を、実際のマスクに形成された回路パターンに欠陥が混入している部分であると推定することができる。

【0109】

上述したように、第4の実施形態の欠陥検査装置400Cを備えるマスク欠陥検査システム4でも、第1の実施形態の欠陥検査装置400を備えるマスク欠陥検査システム1と同様に、欠陥検査装置400Cが、設計データ取得装置100により出力された回路パターンに欠陥がない第1画像から第2画像を再現した参照画像を生成し、生成した参照画像とマスク撮影装置200が実際に撮影した第2画像とを比較して、実際のマスクに形成された回路パターンに混入している欠陥の部分を推定する。これにより、第4の実施形態の欠陥検査装置400Cを備えるマスク欠陥検査システム4でも、第1の実施形態の欠陥検査装置400を備えるマスク欠陥検査システム1と同様に、実際にマスクを作成した際に回路パターンに混入した欠陥を容易に高精度に検査することができる。

【0110】

なお、上述した説明では、マスク欠陥検査システム4を構成する正常画像データベース300に、過去のマスク欠陥検査において欠陥がないと判定されたインデックスデータ（設計画像）と正解データ（マスク撮影画像）とが対応付けられた画像の組が登録されている構成について説明した。そして、第4の実施形態では、マスク欠陥検査システム4を構成する欠陥検査装置400Cが備える生成部430C内（より具体的には、非線形モデル生成部435）で、正常画像データベース300に登録されている画像の組に基づいて非

線形変換モデルを生成（学習）し、その後参照画像を生成する構成について説明した。しかし、マスク欠陥検査システム4において欠陥検査に用いる参照画像を生成に用いる非線形変換モデルは、第4の実施形態で示した非線形モデル生成部435によって生成（学習）する構成に限定されない。例えば、正常画像データベース300に、インデックスデータと正解データとが対応付けられた画像の組に加えて、または代えて、非線形変換モデルも登録して保持しておく構成であってもよい。この非線形変換モデルは、非線形モデル生成部435が生成（学習）したものであってもよいし、他の不図示の構成要素が生成（学習）したものであってもよい。この場合、生成部430Cは、非線形モデル生成部435を備えず、非線形変換部436が、正常画像データベース300に保持している非線形変換モデルの中から、第2画像に対応する設計パターンおよび解像度の画像の組に基づいて生成（学習）した非線形変換モデルを取得し、取得した非線形変換モデルに基づいて第1画像を非線形変換して参照画像を生成する構成であってもよい。

10

【0111】

上記説明したように、欠陥検査装置400Cにおいて、正解データは、インデックスデータを構成する第3画像から非線形変換によって第2画像を再現するための非線形変換モデルであり、生成部430Cは、非線形変換モデルに基づいて第1画像を非線形変換することにより、第1画像から第2画像を再現した参照画像を生成する非線形変換部436、を備えてもよい。

【0112】

また、上記説明したように、欠陥検査装置400Cにおいて、生成部430Cは、インデックスデータを構成する第3画像に基づいて、正解データを非線形変換によって再現するための非線形変換モデルを生成する非線形モデル生成部435と、非線形変換モデルに基づいて第1画像を非線形変換することにより、第1画像から第2画像を再現した参照画像を生成する非線形変換部436と、を備えてもよい。

20

【0113】

（第5の実施形態）

以下、第5の実施形態の欠陥検査装置について説明する。第4の実施形態の欠陥検査装置400Cでは、第1の実施形態の欠陥検査装置400の生成部430が備える辞書部431が正常画像データベース300に登録されている画像の組から切り出して辞書として収集したパッチ画像ペア（第1パッチ画像および第2パッチ画像）に基づいて参照画像を生成していたのに代わって、欠陥検査装置400Cの生成部430Cが備える非線形モデル生成部435が生成（学習）した非線形変換モデルに基づいて参照画像を生成した。つまり、第4の実施形態の欠陥検査装置400Cにおいて参照画像を生成する際に用いた非線形変換モデルも、正常画像データベース300に登録されている画像の組に含まれるインデックスデータと正解データのそれぞれに基づいて生成（学習）したものである。このため、第4の実施形態の欠陥検査装置400Cにおいても、第1の実施形態の欠陥検査装置400と同様に、マスク撮影装置200により出力された第2画像に正常画像データベース300に登録されているそれぞれのインデックスデータには含まれていない新たな回路パターンが写されている場合には、この新たな回路パターンを含む参照画像の再現性が低くなることが懸念される。これは、非線形変換モデルにおいて新たな回路パターンの部分の学習がされていないからである。すると、第4の実施形態の欠陥検査装置400Cにおいても、第1の実施形態の欠陥検査装置400と同様に、推定部440は、実際のマスクにおいては新たな回路パターンの部分に欠陥がない場合でも、新たな回路パターンの部分が欠陥であると誤った推定をしてしまう可能性が高くなることが懸念される。このため、第5の実施形態の欠陥検査装置では、新たな回路パターンに対応する非線形変換モデルをさらに学習する構成を備え、以降に生成する参照画像の再現性を高めるようにする。言い換えれば、第5の実施形態の欠陥検査装置では、第1の実施形態の欠陥検査装置400に対して新たな回路パターンに対応するパッチ画像ペアを辞書部431に追加や更新する構成を追加した第2の実施形態の欠陥検査装置400Aと同様の考え方に基づいて、第4の実施形態の欠陥検査装置400Cに対して新たな回路パターンに対応する非線形変換モ

30

40

50

デルをさらに学習する構成を追加したものである。

【0114】

なお、第5の実施形態の欠陥検査装置は、図1に示したマスク欠陥検査システム1の構成において、欠陥検査装置400の代わりに備えられる。言い換えれば、第5の実施形態の欠陥検査装置を備えるマスク欠陥検査システムの構成は、図1に示した第1の実施形態の欠陥検査装置400を備えるマスク欠陥検査システム1の構成において、欠陥検査装置400が第5の実施形態の欠陥検査装置に代わった構成である。以下の説明においては、第5の実施形態の欠陥検査装置を備えるマスク欠陥検査システムを、「マスク欠陥検査システム5」という。

【0115】

また、第5の実施形態の欠陥検査装置が備える構成要素には、第2の実施形態の欠陥検査装置400Aや、第4の実施形態の欠陥検査装置400Cが備える構成要素と同様の構成要素が含まれている。従って、以下の説明においては、第5の実施形態の欠陥検査装置の構成要素において、第2の実施形態の欠陥検査装置400Aや第4の実施形態の欠陥検査装置400Cの構成要素と同様の構成要素には、同一の符号を付与し、それぞれの構成要素に関する詳細な説明を省略する。

【0116】

図13は、第5の実施形態の欠陥検査装置の構成の一例を示すブロック図である。欠陥検査装置400Dは、第1画像取得部410と、第2画像取得部420と、生成部430Dと、推定部440と、入力受け付け部450とを備える。また、生成部430Dは、非線形モデル生成部435Dと、非線形変換部436とを備える。以下の説明においても、第4の実施形態と同様に、インデックスデータは設計画像であり、正解データはマスク撮影画像であるものとする。

【0117】

入力受け付け部450は、例えば、マスク欠陥検査の実施者（ユーザー）からの非線形変換モデルの更新の指示の入力を受け付けると、推定部440により出力された参照画像と第2画像とを比較した結果、つまり、参照画像と第2画像との間で回路パターンが異なっている位置（画素の位置）の情報を取得し、取得した位置の情報を生成部430Dに出力する。

【0118】

生成部430Dは、第4の実施形態の欠陥検査装置400Cが備える生成部430Cと同様に、正常画像データベース300に登録されている画像の組に基づいてDNNのアルゴリズムを利用した学習をして、第1画像取得部410により出力された第1画像から第2画像取得部420が取得する（マスク撮影装置200が撮影した）第2画像を再現した疑似撮影画像（参照画像）を生成し、生成した参照画像を推定部440に出力する。また、生成部430Dは、非線形変換モデルの更新の指示の入力を受け付けた入力受け付け部450により出力された回路パターンが異なっている位置の情報に基づいて、非線形変換モデルをさらに学習する。

【0119】

非線形モデル生成部435Dは、第4の実施形態の欠陥検査装置400Cの生成部430Cが備える非線形モデル生成部435と同様に、正常画像データベース300に登録されている画像の組に基づいて非線形変換モデルを生成（学習）し、生成（学習）した非線形変換モデルを非線形変換部436に出力する。また、入力受け付け部450により出力された回路パターンが異なっている位置の情報に基づいて、欠陥検査装置400Dにおいてマスク欠陥検査を行った今回の第1画像と第2画像とを取得し、取得した今回の第1画像と第2画像とに基づいて非線形変換モデルをさらに学習し、新たな非線形変換モデルに更新する。非線形モデル生成部435Dにおける非線形変換モデルの更新方法として、DNNでは、例えば、ファインチューニング（Fine Tuning）と呼ばれるモデルの更新方法などがある。このファインチューニングによる更新方法では、ネットワークの一部のパラメータのみを更新、つまり、欠陥であると誤った推定をしてしまった新たな回路パターン

10

20

30

40

50

の部分のパラメータを、取得した今回の第1画像と第2画像とに基づいて更新することができる。また、非線形モデル生成部435Dにおける非線形変換モデルの更新方法としては、バックプロパゲーション法などを用いてもよい。なお、非線形モデル生成部435Dは、取得した今回の第1画像と第2画像とを正常画像データベース300に一端登録させて、DNNのパラメータのうち一部または全部を再調整してもよい。例えば、非線形モデル生成部435Dは、取得した今回の第1画像と第2画像とを含めて非線形変換モデルを学習し直してもよい。非線形モデル生成部435Dは、生成(学習)した新たな非線形変換モデルを、非線形変換部436に出力する。これにより、非線形変換部436は、非線形モデル生成部435Dにより出力された非線形変換モデルに基づいて、第1画像から第2画像取得部420が取得する第2画像(マスク撮影装置200が撮影する第2画像)新たな回路パターンも含めて再現する参照画像を生成することができるようになる。

10

【0120】

このような構成および処理によって、欠陥検査装置400Dでは、実際のマスクに欠陥はないが、推定部440が回路パターンに欠陥があると誤って推定してしまった新たな回路パターンの部分をさらに学習した非線形変換モデルを生成(更新)する。これにより、マスク欠陥検査システム5における以降のマスク欠陥検査では、欠陥検査装置400Dにおいて、新たな非線形変換モデルに基づいた参照画像が生成される。言い換えれば、欠陥検査装置400Dにおいて以降に生成する参照画像の再現性が高められる。これにより、マスク欠陥検査システム5では、実際にマスクを作成した際にマスクに形成する回路パターンに混入した欠陥を容易に高精度に検査することができる。

20

【0121】

上述したように、第5の実施形態の欠陥検査装置400Dを備えるマスク欠陥検査システム5でも、第4の実施形態の欠陥検査装置400Cを備えるマスク欠陥検査システム4と同様に、欠陥検査装置400Dが、設計データ取得装置100により出力された回路パターンに欠陥がない第1画像から第2画像を再現した参照画像を生成し、生成した参照画像とマスク撮影装置200が実際に撮影した第2画像とを比較して、実際のマスクに形成された回路パターンに混入している欠陥の部分を推定する。これにより、第5の実施形態の欠陥検査装置400Dを備えるマスク欠陥検査システム5でも、第4の実施形態の欠陥検査装置400Cを備えるマスク欠陥検査システム4と同様に、実際にマスクを作成した際に回路パターンに混入した欠陥を容易に高精度に検査することができる。

30

【0122】

しかも、第5の実施形態の欠陥検査装置400Dを備えるマスク欠陥検査システム5では、欠陥検査装置400Dが、実際のマスクには欠陥がない部分を欠陥があると誤って推定してしまった場合に、例えば、マスク欠陥検査の実施者(ユーザー)による指示に応じて新たな回路パターンの部分をさらに学習した非線形変換モデルを生成(更新)する。これにより、第5の実施形態の欠陥検査装置400Dを備えるマスク欠陥検査システム5では、以降に生成する参照画像の再現性が高め、実際にマスクを作成した際に回路パターンに混入した欠陥をより高精度に検査することができる。

【0123】

なお、上述した説明では、実際のマスクには欠陥がない部分を欠陥があると誤って推定してしまった場合に非線形変換モデルを生成(更新)する場合について説明した。しかし、非線形変換モデルの更新は、実際のマスクには欠陥がない部分を欠陥があると誤って推定してしまった場合に限定されない。例えば、欠陥検査装置400Dにおける今回のマスク欠陥検査の結果が実際のマスクに欠陥がないと判定された場合においても、今回の第1画像と第2画像とに基づいて非線形変換モデルをさらに学習し、新たな非線形変換モデルに更新してもよい。この場合、実際のマスクに欠陥がないと判定された今回の第1画像と第2画像との全ての部分が欠陥であるとするにより、今回の第1画像と第2画像とに基づいて全体を学習した非線形変換モデルを生成(更新)することができる。

40

【0124】

また、上述した説明では、欠陥検査装置400Dにおいて、非線形モデル生成部435

50

Dが非線形変換モデルをさらに学習（更新）する場合について説明した。しかし、欠陥検査装置400Dは、非線形モデル生成部435Dによって新たな非線形変換モデルをさらに学習（更新）する構成に限定されない。例えば、欠陥検査装置400Dは、非線形モデル生成部435Dが新たな非線形変換モデルをさらに学習（更新）した場合、新たな非線形変換モデルを、正常画像データベース300にも登録する構成であってもよい。また、例えば、正常画像データベース300が非線形変換モデルも登録して保持している構成である場合、欠陥検査装置400Dは、非線形モデル生成部435Dがさらに学習（更新）した非線形変換モデルを、正常画像データベース300に登録されている非線形変換モデルと差し替える（更新する）構成であってもよい。

【0125】

上記説明したように、欠陥検査装置400Dにおいて、非線形モデル生成部435Dは、推定部440によって欠陥であると誤って推定された、第2画像に撮影された検査対象の欠陥箇所に対応する画素の位置と、第1画像および第2画像とのそれぞれを取得し、受け付けた非線形変換モデルを追加する操作に応じて、取得した第1画像に基づいて、取得した第2画像を非線形変換によって再現するための非線形変換モデルを生成して追加してもよい。

【0126】

なお、第4の実施形態の欠陥検査装置400Cおよび第5の実施形態の欠陥検査装置400Dでは、推定部440が実際のマスクに混入している欠陥を推定した推定結果（検査結果）を、例えば、マスク欠陥検査の実施者（ユーザー）に提示する構成については説明していなかった。しかし、第4の実施形態の欠陥検査装置400Cおよび第5の実施形態の欠陥検査装置400Dにおいて推定部440が実際のマスクに混入している欠陥を推定した推定結果（検査結果）を提示する構成は、第3の実施形態の欠陥検査装置400Bを同様に考えることによって容易に理解することができる。従って、第4の実施形態の欠陥検査装置400Cおよび第5の実施形態の欠陥検査装置400Dにおいて推定部440が実際のマスクに混入している欠陥を推定した推定結果（検査結果）を提示する構成に関する詳細な説明を省略する。

【0127】

上記に述べたとおり、各実施形態の欠陥検査装置では、過去のマスク欠陥検査において欠陥がないと判定された第1画像（設計画像）と第2画像（マスク撮影画像）とに基づいて、第2画像を再現した参照画像を生成し、生成した参照画像と第2画像とを比較して、実際のマスクに形成された回路パターンに欠陥が混入している部分を推定する。これにより、各実施形態の欠陥検査装置が採用されたマスク欠陥検査システム1では、実際にマスクを作成した際にマスクに形成する回路パターンに混入した欠陥を容易に高精度に検査することができる。

【0128】

なお、上述したそれぞれの実施形態では、欠陥検査装置が、半導体デバイスの回路パターンが形成された原版となるマスクに欠陥が混入しているか否かを検査するマスク欠陥検査システムに採用された場合について説明した。しかし、参照画像と実際に撮影した画像とを比較することによって欠陥を検出するシステム、つまり、欠陥検査装置が採用されるシステムとしては、マスク欠陥検査システムの他にも種々のシステムが考えられる。また、上述したそれぞれの実施形態では、欠陥検査装置が扱うそれぞれの画像が二次元の画像である場合について説明した。しかし、欠陥検査装置が扱う画像は、二次元の画像に限定されるものではなく、例えば、3次元の画像であってもよい。例えば、第1画像は、建築設計などにおいて作成される3次元の画像であってもよい。そして、欠陥検査装置は、この3次元の画像から建築現場において撮影される第2画像を再現した参照画像を生成し、実際に撮影した第2画像と比較することにより、建築途中の建物の状態を確認するシステムに採用されてもよい。また、上述したそれぞれの実施形態では、欠陥検査装置における検査対象が、マスクに形成する回路パターンである場合について説明した。しかし、欠陥検査装置における検査対象は、回路パターンのような構造に関するものに限定されるもの

10

20

30

40

50

ではなく、例えば、物の素材や表面の色など、構造以外に関するものであってもよい。

【0129】

以上説明した少なくともひとつの実施形態によれば、第1作成方法（設計データに基づいて第1画像（設計画像）を作成するための所定の処理の方法）により作成された検査対象の第1画像を取得する第1画像取得部（410）と、検査対象を撮影して得られる第2画像を取得する第2画像取得部（420）と、第1作成方法により作成された第3画像または第3画像により得られる特徴量であるインデックスデータと、過去の検査においてインデックスデータの比較対象として用いられ、欠陥がないと判定された画像である正解データとが対応付けられたデータベース（300）を参照して、取得した第1画像に類似するインデックスデータを抽出し、データベース（300）において抽出したインデックスデータに対応付けられている正解データを取得し、取得した正解データに基づいて参照画像を生成する生成部（430）と、参照画像と第2画像とを比較することで、第2画像に撮影された検査対象の欠陥箇所に対応する画素を推定する推定部（440）と、を持つことにより、高精度に欠陥検査を行うことができる。

10

【0130】

本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれると同様に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれるものである。

20

【符号の説明】

【0131】

1, 2, 3, 4, 5・・・マスク欠陥検査システム、100・・・設計データ取得装置、200・・・マスク撮影装置、300・・・正常画像データベース、400, 400A, 400B, 400C, 400D・・・欠陥検査装置、410・・・第1画像取得部、420・・・第2画像取得部、430, 430A, 430B, 430C, 430D・・・生成部、431・・・辞書部、432, 432B・・・第2パッチ画像取得部、433・・・参照画像生成部、434・・・辞書更新部、435, 435D・・・非線形モデル生成部、436・・・非線形変換部、440, 440B・・・推定部、450・・・入力受け付け部、460・・・表示制御部、500・・・表示装置

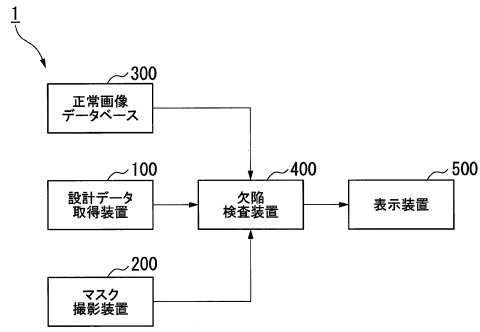
30

40

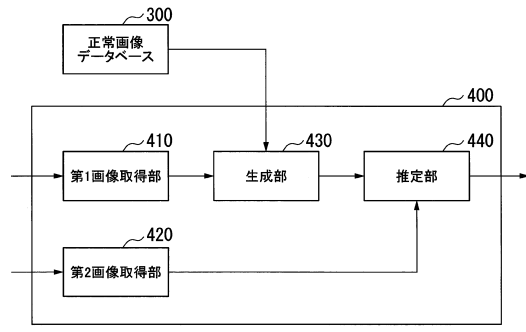
50

【図面】

【図 1】

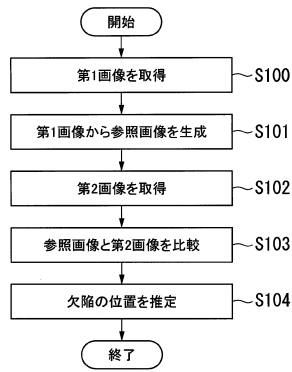


【図 2】

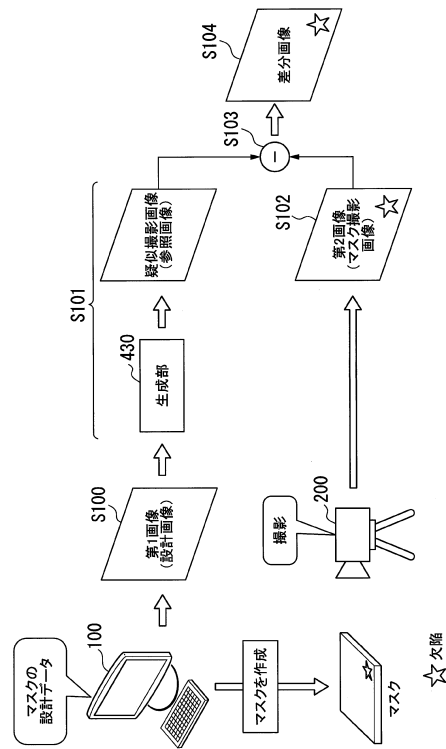


10

【図 3】



【図 4】



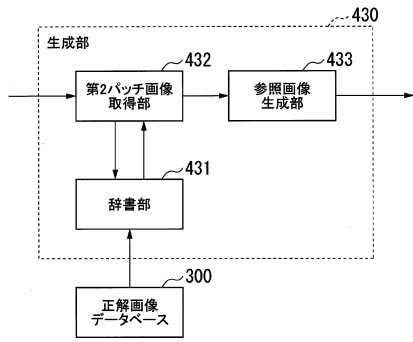
20

30

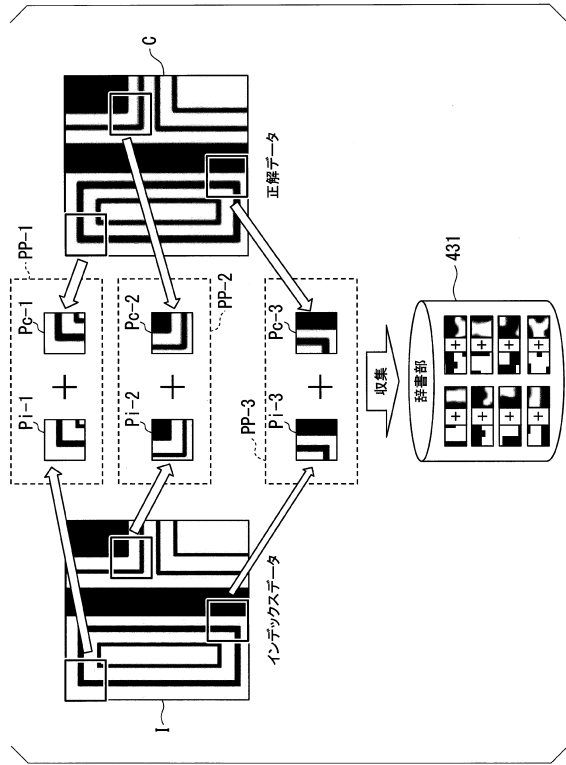
40

50

【図5】



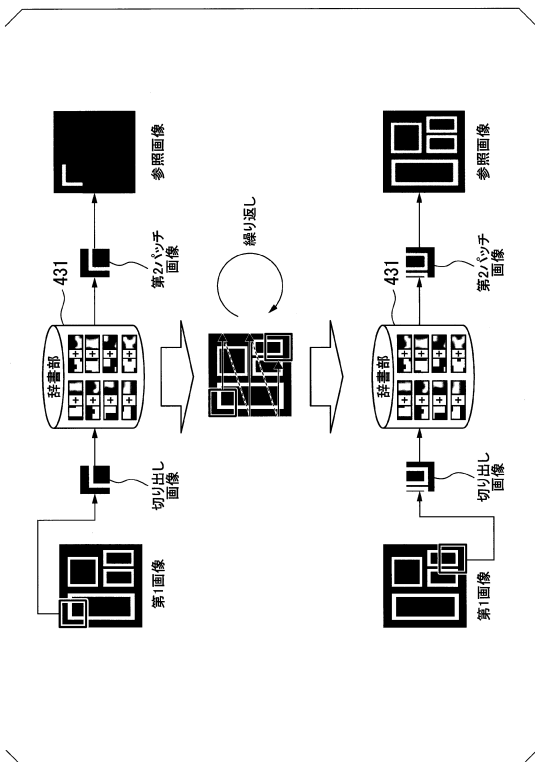
【図6】



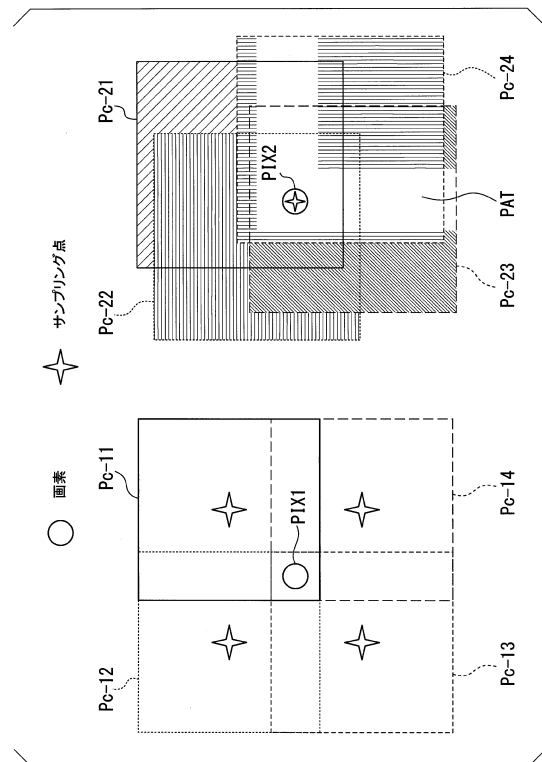
10

20

【図7】



【図8】

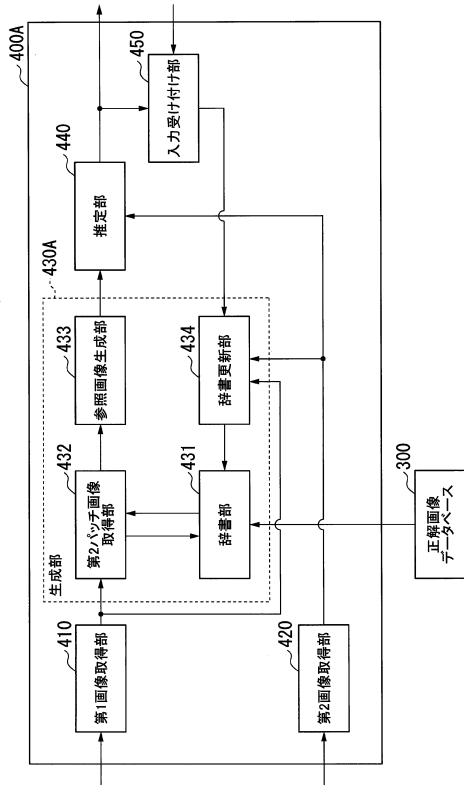


30

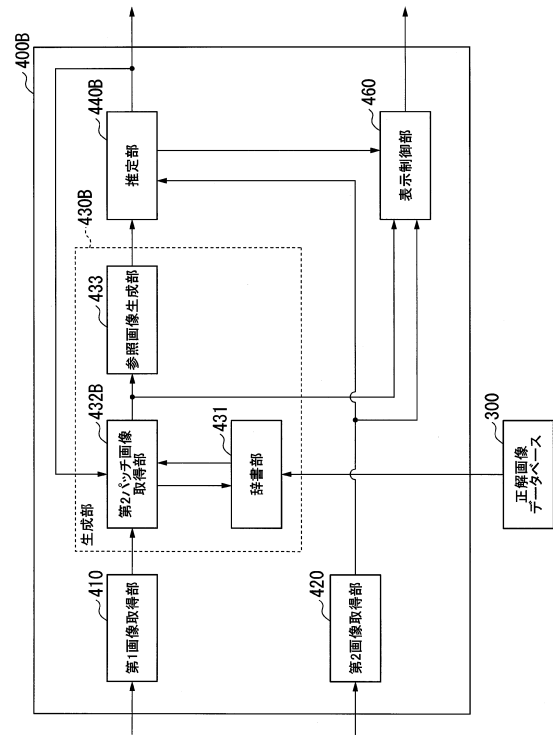
40

50

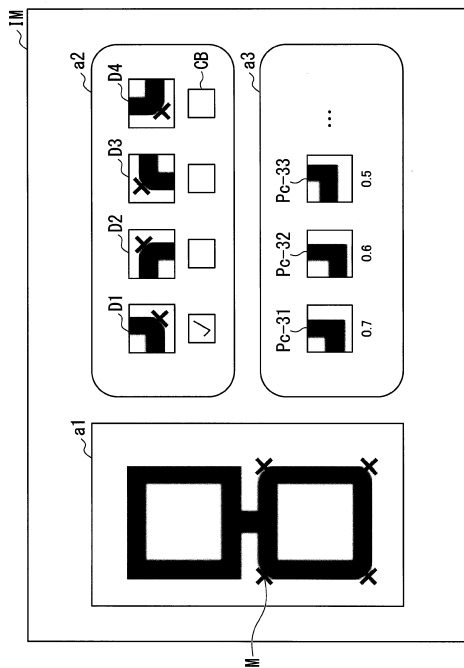
【図 9】



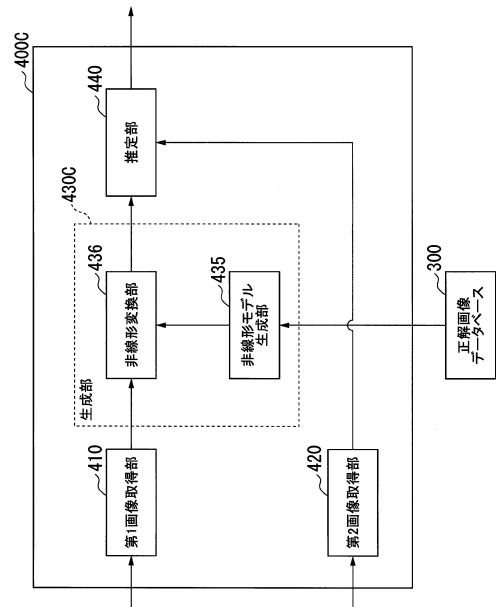
【図 10】



【図 11】



【図 12】



10

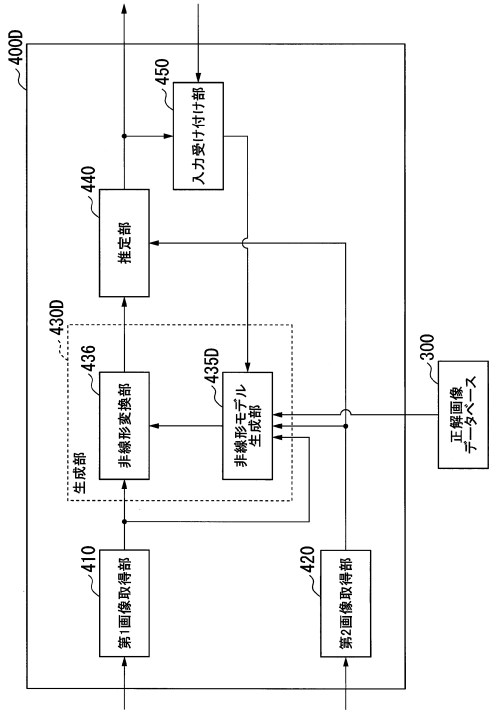
20

30

40

50

【図 13】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

審査官 佐田 宏史

- (56)参考文献 特開2019-086590(JP,A)
特開2018-116364(JP,A)
特開2014-002144(JP,A)
特開2011-163855(JP,A)
特開2011-007553(JP,A)
浅海 徹哉、外3名, “自己参照に基づくパターン欠陥検査法”, 情報処理学会研究報告, 日本, 社団法人情報処理学会, 2009年03月06日, Vol.2009, No.29, pp.287-292
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01N 21/956
G06T 1/00, 3/00, 7/00-7/90, 11/00
G06V 10/00-10/98