

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2020年12月10日(10.12.2020)



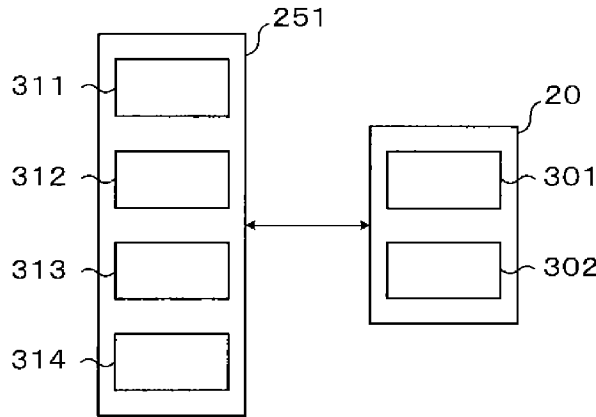
(10) 国際公開番号

WO 2020/246366 A1

- (51) 国際特許分類:
G03F 7/20 (2006.01) G06T 7/00 (2017.01)
G01N 21/956 (2006.01) H01L 21/66 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2020/021160
- (22) 国際出願日: 2020年5月28日(28.05.2020)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2019-106292 2019年6月6日(06.06.2019) JP
特願 2020-074213 2020年4月17日(17.04.2020) JP
- (71) 出願人: 東京エレクトロン株式会社(TOKYO ELECTRON LIMITED) [JP/JP]; 〒1076325 東京都港区赤坂五丁目3番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 岩永 修 児 (IWANAGA, Shuji); 〒0600051 北海道札幌市中央区南1条東1丁目大通バスセンタービル1号館2F 東京エレクトロン株式会社内 Hokkaido (JP). 西山 直(NISHIYAMA, Tadashi); 〒8611116 熊本県合志市福原1-1 東京エレクトロン九州株式会社内 Kumamoto (JP).
- (74) 代理人: 金本 哲男, 外(KANEMOTO, Tetsuo et al.); 〒1620065 東京都新宿区住吉町1-20 角張ビル 曙国際特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,

(54) Title: SUBSTRATE INSPECTION DEVICE, SUBSTRATE INSPECTION SYSTEM, AND SUBSTRATE INSPECTION METHOD

(54) 発明の名称: 基板検査装置、基板検査システム及び基板検査方法



(57) Abstract: This substrate scanning device, which scans substrates, has: an image estimation model created by mechanical learning using a pre-treatment captured image and a post-treatment captured image, the treatment being performed by a substrate treatment device on each of a plurality of substrates; an acquisition unit that acquires an estimated image of a substrate to be scanned after the substrate has been treated by the substrate treatment device, the estimated image being based on the captured image of the substrate to be scanned before the substrate is treated by the substrate treatment device; and a determination unit that determines whether or not there are any defects in the substrate to be treated on the basis of the estimated image and the captured image of the substrate to be scanned after the substrate has been treated by the substrate treatment device.

(57) 要約: 基板を検査する基板検査装置であって、複数の基板それぞれについての基板処理装置による処理前の撮像画像及び処理後の撮像画像を用いて機械学習により作成された画像推定モデルと、前記基板処理装置による処理前の検査対象基板の撮像画像と、に基づく、前記基板処理装置による処理後の前記検査対象基板の推定画像を取得する取得部と、前記基板処理装置による処理後の前記検査対象基板の撮像画像と前記推定画像とに基づいて、当該検査対象基板の欠陥の有無を判定する判定部と、を有する。

WO 2020/246366 A1

HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類 :

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称：基板検査装置、基板検査システム及び基板検査方法
技術分野

[0001] 本開示は、基板検査装置、基板検査システム及び基板検査方法に関する。

背景技術

[0002] 特許文献1には、ウェハに処理を施す複数の処理装置を備えた基板処理システムにおける、ウェハの検査方法が開示されている。この検査方法では、処理装置で処理される前のウェハの表面が撮像され第1の基板画像が取得され、第1の基板画像から特徴量が抽出される。次いで、それぞれ異なる範囲の特徴量に対応して設定された、欠陥検査の基準となる基準画像が複数記憶された記憶部から、第1の基板画像から抽出された特徴量に対応する基準画像が選択される。そして、処理装置で処理された後の基板の表面が撮像され第2の基板画像が取得され、選択された基準画像と第2の基板画像とに基づいて、ウェハの欠陥の有無が判定される。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2016-212008号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 本開示にかかる技術は、検査対象基板を撮像した撮像画像に基づく欠陥検査における欠陥検出精度をさらに向上させる。

課題を解決するための手段

[0005] 本開示の一態様は、基板を検査する基板検査装置であって、複数の基板それぞれについての基板処理装置による処理前の撮像画像及び処理後の撮像画像を用いて機械学習により作成された画像推定モデルと、前記基板処理装置による処理前の検査対象基板の撮像画像と、に基づく、前記基板処理装置による処理後の前記検査対象基板の推定画像を取得する取得部と、前記基板処

理装置による処理後の前記検査対象基板の撮像画像と前記推定画像とに基づいて、当該検査対象基板の欠陥の有無を判定する判定部と、を有する。

発明の効果

[0006] 本開示によれば、検査対象基板を撮像した撮像画像に基づく欠陥検査における欠陥検出精度をさらに向上させることができる。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]本実施形態にかかる基板検査システムの構成の概略を模式的に示す図である。

[図2]各基板処理システムの構成の概略を模式的に示す平面図である。

[図3]各基板処理システムの内部構成の概略を模式的に示す正面図である。

[図4]各基板処理システムの内部構成の概略を模式的に示す背面図である。

[図5]検査用撮像装置の構成の概略を示す縦断面図である。

[図6]検査用撮像装置の構成の概略を示す横断面図である。

[図7]撮像制御装置及び全体制御装置の基板検査に関する構成の概略を模式的に示すブロック図である。

[図8]従来の欠陥検査の一例を説明するための概念図である。

[図9]本実施形態にかかる欠陥検査の一例を説明するための概念図である。

[図10]実際の撮像画像の画素値と推定画像の画素値との関係を、画像の部分毎に示す図であり、ウェハ全体について示している。

[図11]実際の撮像画像の画素値と推定画像の画素値との関係を、画像の部分毎に示す図であり、ウェハ中央部についてのみ示している。

[図12]実際の撮像画像の画素値と他の推定画像の画素値との関係を、画像の部分毎に示す図であり、ウェハ全体について示している。

[図13]実際の撮像画像の画素値と他の推定画像の画素値との関係を、画像の部分毎に示す図であり、ウェハ中央部についてのみ示している。

[図14]全体制御装置の他の例の概略を示すブロック図である。

[図15]画素値の平面分布をゼルニケ多項式を用いて複数の画素値の面内傾向成分に分解した状態を示す説明図である。

[図16]ウェハ面内の各ピクセル値の画素値を表した説明図である。

[図17]ウェハ面内の各ピクセル値をウェハ面内の高さ方向に表した説明図である。

[図18]選択部によるモデル作成用の撮像画像セットの選択処理の流れを示す図である。

[図19]マハラノビス距離を説明するための図である。

[図20]異常度の算出方法を概念的に示す図である。全体制御装置の他の例の概略を示すブロック図である。

[図21]マハラノビス距離の算出方法の他の例を説明する図である。

発明を実施するための形態

[0008] 半導体デバイス等の製造工程では、半導体ウェハ（以下、「ウェハ」という。）上にレジスト液を塗布してレジスト膜を形成するレジスト塗布処理、レジスト膜を露光する露光処理、露光されたレジスト膜を現像する現像処理等が順次行われ、ウェハ上にレジストパターンが形成される。そして、レジストパターンの形成処理後に、このレジストパターンをマスクとしたエッチング対象層のエッチング等が行われ、当該エッチング対象層に予め定められたパターンが形成される。なお、レジストパターンの形成の際に、レジスト膜の下層に、レジスト膜以外の膜を形成することもある。

[0009] また、上述のようにレジストパターンを形成する際や、レジストパターンを用いてエッチングする際に、各種処理後のウェハに対して欠陥検査が行われることがある。この欠陥検査では、例えば、レジストパターンが適切に形成されているか否かや、ウェハへ異物の付着があるか否か等が検査される。近年では、この欠陥検査に、処理後の検査対象のウェハの表面を撮像した撮像画像が用いられる場合がある。この場合、検査対象のウェハの撮像画像と検査の基準になる基準画像とを比較することで、欠陥検査が行われる。

[0010] しかし、処理後の検査対象のウェハの撮像画像には、処理前の検査対象のウェハの表面の状態、つまりは、検査対象のウェハの下地表面の状態等の影響を受け、ムラが生じている。また、処理環境がウェハ間で不均一であるた

め、上述のムラの状態は、ウェハ毎に異なり、例えば、同じ処理条件でウェハの反射防止膜上にレジスト膜を正常に形成したとしても、レジスト膜形成後のウェハの撮像画像に生じるムラはウェハ毎に異なる。このムラを欠陥と誤判定しないようにする必要がある。

[0011] 特許文献1には、それぞれ異なる範囲の特徴量に対応して設定され記憶部に記憶された、複数の欠陥の検査の基準となる基板画像から、処理前のウェハの表面が撮像され取得された第1の基板画像から抽出された特徴量に対応する基板画像を選択することが開示されている。特許文献1では、選択された基板画像と、処理後の基板の表面が撮像され取得された第2の基板画像とに基づいて、ウェハの欠陥の有無が判定される。

[0012] 上記ムラが有る場合において、特許文献1のようにして選択された基板画像を用いた欠陥検査より、さらに高い欠陥検出精度が求められることがある。

[0013] そこで、本開示にかかる技術は、検査対象基板を撮像した撮像画像に基づく欠陥検査における欠陥検出精度をさらに向上させる。

[0014] 以下、本実施形態にかかる基板検査装置、基板検査システム及び基板検査方法を、図面を参照して説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

[0015] 図1は、本実施形態にかかる基板検査システムの構成の概略を模式的に示す図である。

図示するように、基板検査システム1は、複数の基板処理システム10と、全体制御装置20とを有している。なお、基板検査システム1が有する基板処理システム10の台数は1つであってもよい。

[0016] 各基板処理システム10は、基板としてのウェハを処理するものであり、本例では、ウェハ上にレジストパターンを形成するための処理等をウェハに対し行う。

[0017] 図2は、各基板処理システム10の構成の概略を模式的に示す平面図であ

る。図3及び図4は、各基板処理システム10の内部構成の概略を模式的に示す、各々正面図と背面図である。

[0018] 各基板処理システム10は、図2に示すように、複数枚のウェハWを収容したカセットCが搬入出されるカセットステーション100と、ウェハWに予め定められた処理を施す複数の処理装置を有する処理ステーション101と、を有する。各基板処理システム10は、カセットステーション100と、処理ステーション101と、処理ステーション101に隣接する露光装置102との間でウェハWの受け渡しを行うインターフェイスステーション103と、を一体に接続した構成を有している。

[0019] カセットステーション100には、カセット載置台110が設けられている。カセット載置台110には、基板処理システム10の外部に対してカセットCを搬入出する際に、カセットCを載置するカセット載置板111が複数設けられている。

[0020] カセットステーション100には、X方向に延びる搬送路112上を移動自在なウェハ搬送装置113が設けられている。ウェハ搬送装置113は、上下方向及び鉛直軸周り(θ 方向)にも移動自在であり、各カセット載置板111上のカセットCと、後述する処理ステーション101の第3のブロックG3の受け渡し装置との間でウェハWを搬送できる。

[0021] 処理ステーション101には、各種装置を備えた複数例えば4つのブロック、すなわち第1のブロックG1～第4のブロックG4が設けられている。例えば処理ステーション101の正面側(図2のX方向負方向側)には、第1のブロックG1が設けられ、処理ステーション101の背面側(図2のX方向正方向側、図面の上方側)には、第2のブロックG2が設けられている。また、処理ステーション101のカセットステーション100側(図2のY方向負方向側)には、第3のブロックG3が設けられ、処理ステーション101のインターフェイスステーション103側(図2のY方向正方向側)には、第4のブロックG4が設けられている。

[0022] 第1のブロックG1には、処理液を用いてウェハWを処理する基板処理装

置である液処理装置が配列されている。具体的には、第1のブロックG1には、液処理装置として、図3に示すように、例えば現像処理装置120、下層膜形成装置121、中間層膜形成装置122、レジスト塗布装置123が下からこの順に配置されている。

[0023] 現像処理装置120は、ウェハWを現像処理する。具体的には、現像処理装置120は、ウェハWのレジスト膜上に現像液を供給し、レジストパターンを形成する。

[0024] 下層膜形成装置121は、ウェハWのレジスト膜の下地膜である下層膜を形成する。具体的には、下層膜形成装置121は、下層膜を形成するための材料となる下層膜材料をウェハW上に塗布し、下層膜を形成する。下層膜は例えばSOC（スピンオンカーボン）膜である。

[0025] 中間層膜形成装置122は、ウェハWの下層膜上であってレジスト膜の下方の位置に中間層膜を形成する。具体的には、中間層膜形成装置122は、ウェハWの下層膜上に、中間層膜を形成するための材料となる中間層膜材料を塗布し、中間層膜を形成する。中間層膜は例えばSOG（スピンオンガラス）膜である。

[0026] レジスト塗布装置123は、ウェハWにレジスト液を塗布してレジスト膜を形成する。具体的には、レジスト塗布装置123は、ウェハWの中間層膜の上に、レジスト液を塗布し、レジスト膜を形成する。

[0027] 例えば現像処理装置120、下層膜形成装置121、中間層膜形成装置122、レジスト塗布装置123は、それぞれ水平方向に3つ並べて配置されている。なお、これら現像処理装置120、下層膜形成装置121、中間層膜形成装置122、レジスト塗布装置123の数や配置は、任意に選択できる。

[0028] これら現像処理装置120、下層膜形成装置121、中間層膜形成装置122、レジスト塗布装置123では、例えば、スピン塗布法により、予め定められた処理液がウェハW上に塗布される。スピン塗布法では、例えば塗布ノズルからウェハW上に処理液を吐出すると共に、ウェハWを回転させて、

処理液をウェハWの表面に拡散させる。

[0029] 第2のブロックG2には、ウェハWが載置される熱板や冷却板を用いてウェハWの加熱や冷却といった熱処理を行う基板処理装置である熱処理装置130が上下方向と水平方向に並べて設けられている。これら熱処理装置130の数や配置は、任意に選択できる。また、熱処理装置130には、それぞれ公知の装置を用いることができる。

[0030] 第3のブロックG3には、複数の受け渡し装置140、141、142、143、144が下から順に設けられ、その上に検査用撮像装置145、146、147が下から順に設けられている。また、第4のブロックG4には、複数の受け渡し装置150、151、152が下から順に設けられ、その上に検査用撮像装置153、154が設けられている。

[0031] ここで、検査用撮像装置145の構成について説明する。

図5及び図6はそれぞれ、検査用撮像装置145の構成の概略を示す縦断面図及び横断面図である。

検査用撮像装置145は、図5及び図6に示すように、ケーシング200を有している。ケーシング200内には、ウェハWが載置される載置台201が設けられている。この載置台201は、モータ等の回転駆動部202によって、回転、停止が自在である。ケーシング200の底面には、ケーシング200内の一端側（図6中のX方向負方向側）から他端側（図6中のX方向正方向側）まで延伸するガイドレール203が設けられている。載置台201と回転駆動部202は、ガイドレール203上に設けられ、駆動装置204によってガイドレール203に沿って移動できる。

[0032] ケーシング200内の他端側（図6のX方向正方向側）の側面には、撮像部210が設けられている。撮像部210には、例えば広角型のCCDカメラが用いられている。

[0033] ケーシング200の上部中央付近には、ハーフミラー211が設けられている。ハーフミラー211は、撮像部210と対向する位置に、鏡面が鉛直下方を向いた状態から撮像部210の方向に向けて45度上方に傾斜した状

態で設けられている。ハーフミラー211の上方には、照明装置212が設けられている。ハーフミラー211と照明装置212は、ケーシング200内部の上面に固定されている。照明装置212からの照明は、ハーフミラー211を通過して下方に向けて照らされる。したがって、照明装置212の下方にある物体によって反射した光は、ハーフミラー211でさらに反射して、撮像部210に取り込まれる。すなわち、撮像部210は、照明装置212による照射領域にある物体を撮像することができる。そして、撮像部210による撮像結果は、後述の撮像制御装置251に入力される。

[0034] なお、検査用撮像装置146、147、153、154の構成は、上述の検査用撮像装置145の構成と同様である。

[0035] 図2～図4を用いた各基板処理システム10の説明に戻る。

図2に示すように第1のブロックG1～第4のブロックG4に囲まれた領域には、ウェハ搬送領域Dが形成されている。ウェハ搬送領域Dには、例えばY方向、X方向、 θ 方向及び上下方向に移動自在な搬送アーム160aを有する、ウェハ搬送装置160が複数配置されている。ウェハ搬送装置160は、ウェハ搬送領域D内を移動し、周囲の第1のブロックG1、第2のブロックG2、第3のブロックG3及び第4のブロックG4内の所望の装置にウェハWを搬送できる。

[0036] また、ウェハ搬送領域Dには、図4に示すように、第3のブロックG3と第4のブロックG4との間で直線的にウェハWを搬送するシャトル搬送装置170が設けられている。

[0037] シャトル搬送装置170は、例えば図4のY方向に直線的に移動自在になっている。シャトル搬送装置170は、ウェハWを支持した状態でY方向に移動し、第3のブロックG3の受け渡し装置142と第4のブロックG4の受け渡し装置152との間でウェハWを搬送できる。

[0038] 図2に示すように第3のブロックG3のX方向正方向側の隣には、ウェハ搬送装置180が設けられている。ウェハ搬送装置180は、例えばX方向、 θ 方向及び上下方向に移動自在な搬送アーム180aを有している。ウェ

ハ搬送装置180は、ウェハWを支持した状態で上下に移動して、第3のブロックG3内の各受け渡し装置にウェハWを搬送できる。

[0039] インターフェイスステーション103には、ウェハ搬送装置190と受け渡し装置191が設けられている。ウェハ搬送装置190は、例えばY方向、θ方向及び上下方向に移動自在な搬送アーム190aを有している。ウェハ搬送装置190は、例えば搬送アーム190aにウェハWを支持して、第4のブロックG4内の各受け渡し装置、受け渡し装置191及び露光装置102との間でウェハWを搬送できる。

[0040] また、基板処理システム10には、搬送・プロセス制御装置250と、基板検査装置としての撮像制御装置251とが設けられている。

[0041] 搬送・プロセス制御装置250（以下、「主制御装置250」ということがある。）は、例えばCPUやメモリ等を備えたコンピュータであり、プログラム格納部（図示せず）を有している。このプログラム格納部には、上述の各種処理装置や搬送装置等の駆動系の動作を制御して、ウェハWに対して各種処理を行うためのプログラムが格納されている。なお、上記プログラムは、コンピュータに読み取り可能な記憶媒体に記録されていたものであって、当該記憶媒体から主制御装置250にインストールされたものであってもよい。プログラムの一部または全ては専用ハードウェア（回路基板）で実現してもよい。

[0042] 撮像制御装置251は、主制御装置250と同様、例えばCPUやメモリ等を備えたコンピュータであり、プログラム格納部（図示せず）を有している。このプログラム格納部には、各検査用撮像装置の撮像部や駆動系の動作を制御して、基板検査に関する処理を制御するプログラムが格納されている。なお、上記プログラムは、コンピュータに読み取り可能な記憶媒体に記録されていたものであって、当該記憶媒体から撮像制御装置251にインストールされたものであってもよい。プログラムの一部または全ては専用ハードウェア（回路基板）で実現してもよい。

[0043] 図1を用いた基板検査システム1の説明に戻る。

基板検査システム 1 は、前述のように、全体制御装置 20 を有する。

全体制御装置 20 は、例えば CPU やメモリ等を備えたコンピュータであり、プログラム格納部（図示せず）を有している。このプログラム格納部には、後述の画像推定モデルを作成するためのプログラムが格納されている。なお、上記プログラムは、コンピュータで読み取り可能な記憶媒体に記録されていたものであって、当該記憶媒体から全体制御装置 20 にインストールされたものであってもよい。プログラムの一部または全ては専用ハードウェア（回路基板）で実現してもよい。

[0044] 図 7 は、基板検査に関する、撮像制御装置 251 及び全体制御装置 20 の構成の概略を模式的に示すブロック図である。

全体制御装置 20 は、図示するように、記憶部 301 と、モデル作成部 302 とを有する。

[0045] 記憶部 301 は、各種情報を記憶する。この記憶部 301 には、各基板処理システム 10 においてウェハ W を検査用撮像装置の撮像部 210 で撮像した結果から取得されるウェハ W の撮像画像が蓄積される。なお、以下では、理解を容易にするために、特に示されない限り、撮像画像や後述の推定画像は、グレースケール画像であるものとする。ただし、これらの画像は、R 成分、G 成分及び B 成分の少なくともいずれか 1 つの画像であってもよい。各撮像画像には、撮像されたウェハ W の識別情報や、撮像されたウェハ W の処理に用いられた処理装置の識別情報等が紐付けられている。

[0046] モデル作成部 302 は、複数のウェハ W それぞれについての、基板処理システム 10 での所望の処理前の撮像画像及び上記所望の処理後の撮像画像（以下、「基板処理システム 10 での処理前後の撮像画像セット」ということがある。）を用い、機械学習により画像推定モデルを作成する。画像推定モデルは、基板処理システム 10 での所望の処理前の検査対象ウェハ W の撮像画像から基板処理システム 10 での所望の処理後の検査対象ウェハ W の撮像画像を推定するモデルである。言い換えると、画像推定モデルは、上記処理前の検査対象ウェハ W の撮像画像から上記処理後の検査対象ウェハ W の推定

画像を生成するモデルである。

[0047] 画像推定モデルの作成に用いられる機械学習は、例えば、条件付き敵対的生成ネットワーク (Conditional GAN(Generative Adversarial Networks)) による機械学習であり、より具体的には、 $p \times 2 \times p$ である。

また、画像推定モデルは、例えば、条件付き敵対的生成ネットワークや $p \times 2 \times p$ において、入力された任意の画像を変換して偽物画像を生成する生成ネットワーク (Generator) である。

[0048] 条件付き敵対的生成ネットワークや $p \times 2 \times p$ では、ニューラルネットワークとして、上記生成ネットワークの他に識別ネットワーク (Discriminator) が用いられる。識別ネットワークは、任意の画像と共に当該任意の画像に対応する本物画像または当該任意の画像に基づいて生成ネットワークによって生成された偽物画像が入力され、当該任意の画像と共に入力された画像が本物画像であるか偽物画像であるかの識別を行う。

そして、条件付き敵対的生成ネットワークによる機械学習や $p \times 2 \times p$ では、識別ネットワークについて、上記識別が正確に行われるよう識別方法が学習され、また、生成ネットワークについて、識別ネットワークにおいて偽物画像が本物画像であると認識されるよう画像の変換方法が学習される。

[0049] モデル作成部 302 では、識別ネットワークに入力される上記任意の画像と当該任意の画像に対応する本物画像との画像セットとして、基板処理システム 10 での処理前後の撮像画像セットが用いられる。

モデル作成部 302 で作成された画像推定モデルは、基板処理システム 10 の撮像制御装置 251 に送られる。

[0050] 撮像制御装置 251 は、記憶部 311 と、撮像画像取得部 312 と、推定画像取得部 313 と、判定部 314 と、を有する。

[0051] 記憶部 311 は、各種情報を記憶する。この記憶部 311 には、例えば、全体制御装置 20 のモデル作成部 302 で作成された画像推定モデルが記憶される。

[0052] 撮像画像取得部 312 は、検査用撮像装置 145、146、147、153、154 の撮像部 210 でのウェハ W の撮像結果に基づいて、ウェハ W の撮像画像を取得する。具体的には、撮像画像取得部 312 は、撮像部 210 で撮像された画像に対して必要な画像処理を施し、これにより、ウェハ W の撮像画像として、当該ウェハ W の表面全体の状態を示す画像を生成する。

この撮像画像取得部 312 は、基板処理システム 10 での所望の処理前及び上記所望の処理後の検査対象ウェハ W の撮像画像を取得し、また、上記所望の処理前及び所望の処理後の検査対象ウェハ W の撮像画像であって画像推定モデルの作成に用いられる撮像画像を取得する。

[0053] 推定画像取得部 313 は、撮像画像取得部 312 で取得された、基板処理システム 10 での所望の処理前の検査対象ウェハ W の撮像画像と、記憶部 311 に記憶の画像推定モデルとに基づいて、上記所望の処理後の検査対象ウェハ W の推定画像を生成し、取得する。なお、全体制御装置 20 で画像推定モデルを用いて上記所望の処理後の検査対象ウェハ W の推定画像を生成するようにし、この生成された推定画像を推定画像取得部 313 が取得するようにしてもよい。

[0054] 判定部 314 は、撮像画像取得部 312 で取得された、基板処理システム 10 での所望の処理後の検査対象ウェハ W の撮像画像に基づいて、当該検査対象ウェハ W の欠陥の有無を判定する。特に、判定部 314 は、撮像画像取得部 312 で取得された上記所望の処理後の検査対象ウェハ W の撮像画像と、推定画像取得部 313 で取得された、上記所望の処理後の検査対象ウェハ W の推定画像とに基づいて、当該検査対象ウェハ W の欠陥の有無を判定する。具体的には、判定部 314 は、上記所望の処理後の検査対象ウェハ W の撮像画像と、上記所望の処理後の検査対象ウェハ W の推定画像とを比較し、比較結果に基づいて、当該検査対象ウェハ W の欠陥の有無を判定する。より具体的には、判定部 314 は、上記所望の処理後の検査対象ウェハ W の撮像画像と、上記所望の処理後の検査対象ウェハ W の推定画像との差分に基づいて、当該検査対象ウェハ W の欠陥の有無を判定する。

[0055] 続いて、以上のように構成された各基板処理システム10で行われるウェハWの処理方法及びウェハWの検査方法について説明する。なお、以下の説明では、3以上のタイミングでウェハWの撮像を行っているが、ウェハWの撮像画像に基づく欠陥検査は、レジストパターン形成後のウェハWの撮像画像に基づく欠陥検査のみ行うものとする。また、以下のウェハWに対する処理やウェハWの検査に先立って、上記欠陥検査に用いられる、レジストパターン形成後のウェハWについての画像推定モデルの機械学習が完了しているものとする。当該画像推定モデルは、例えば、各基板処理システム10での、ウェハWのレジスト膜形成後（すなわちレジストパターン形成前）のウェハWの撮像画像と、レジストパターン形成後のウェハWとに基づいて、作成される。

[0056] まず、複数のウェハWを収納したカセットCが、カセットステーション100に搬入される。そして、主制御装置250の制御の下、カセットC内のウェハWが、第3のブロックG3の検査用撮像装置145に搬送される。そして、撮像制御装置251の制御の下、下層膜等の各種膜を形成する前の、すなわち、初期状態のウェハWの撮像部210による撮像が行われ、撮像画像取得部312により、当該初期状態のウェハWの撮像画像が取得される。

[0057] 次いで、主制御装置250の制御の下、ウェハWが、第1のブロックG1の下層膜形成装置121に搬送され、ウェハW上に下層膜が形成される。

続いて、ウェハWが、第2のブロックG2の下層膜用の熱処理装置130に搬送され、下層膜の加熱処理が行われる。

その後、ウェハWが、検査用撮像装置153へ搬送される。そして、撮像制御装置251の制御の下、撮像部210による下層膜形成後のウェハWの撮像が行われ、当該下層膜形成後のウェハWの撮像画像が取得される。

[0058] 次いで、主制御装置250の制御の下、ウェハWが、第1のブロックG1の中間層膜形成装置122に搬送され、ウェハWの下層膜上に中間層膜が形成される。

続いて、ウェハWが、第2のブロックG2の中間層用の熱処理装置130

に搬送され、中間層膜の加熱処理が行われる。

その後、ウェハWが、検査用撮像装置146へ搬送される。そして、撮像制御装置251の制御の下、撮像部210による中間層膜形成後のウェハWの撮像が行われ、撮像画像取得部312により、当該中間層膜形成後のウェハWの撮像画像が取得される。

[0059] 次いで、主制御装置250の制御の下、ウェハWが、第1のブロックG1のレジスト塗布装置123に搬送され、ウェハWの中間層膜上にレジスト膜が形成される。

続いて、ウェハWが、第2のブロックG2のPAB処理用の熱処理装置130に搬送され、PAB処理が行われる。

その後、ウェハWが、検査用撮像装置153へ搬送される。そして、撮像制御装置251の制御の下、撮像部210によるレジスト膜形成後のウェハWの撮像が行われ、撮像画像取得部312により、当該レジスト膜形成後のウェハWの撮像画像が取得される。

[0060] 次いで、ウェハWが、主制御装置250の制御の下、露光装置102に搬送され、所望のパターンに露光される。

続いて、ウェハWが、第2のブロックG2のPEB処理用の熱処理装置130に搬送され、PEB処理が行われる。

次に、ウェハWが、第1のブロックG1の現像処理装置120に搬送され、現像処理が行われ、当該ウェハW上にレジストパターンが形成される。

その後、ウェハWが検査用撮像装置147に搬送される。そして、撮像制御装置251の制御の下、撮像部によるレジストパターン形成後のウェハWの撮像が行われ、撮像画像取得部312により、当該レジストパターン形成後のウェハWの撮像画像が取得される。

[0061] 次いで、撮像画像取得部312で取得されたレジストパターン形成後のウェハWの撮像画像に基づいて、レジストパターン形成後のウェハの欠陥の有無が判定される。具体的には、レジスト膜形成後（すなわちレジストパターン形成前）のウェハWの撮像画像と、予め作成されたレジストパターン形成

後のウェハWについての画像推定モデルとに基づいて、レジストパターン形成後のウェハWの推定画像が推定画像取得部313により生成される。そして、判定部314により、レジストパターン形成後のウェハWの撮像画像と上記推定画像とに基づいて、レジストパターン形成後のウェハW（すなわち検査対象ウェハW）の欠陥の有無が判定される。

この欠陥の有無の判定では、例えば、レジストパターン形成後のウェハWについて、撮像画像と推定画像とが比較され、両画像の画素値に閾値以上の差がある部分は、欠陥が存在する部分と判定され、それ以外の部分は、欠陥がない部分と判定される。

[0062] なお、上述の判定の際、レジストパターン形成後のウェハWについての画像推定モデルの作成が完了してなければ、従来と同様にして、当該ウェハWの欠陥の有無が判定される。また、上記推定モデルの作成が完了してなければ、当該ウェハWについての、レジスト膜形成後の撮像画像とレジストパターン形成後の撮像画像が、全体制御装置20のモデル作成部302に入力され、上記モデルの機械学習が進められる。

[0063] 上記判定が終了すると、すなわち、欠陥検査が終了すると、ウェハWが、主制御装置250の制御の下、カセットCに戻され、当該ウェハWに対する処理が完了する。そして、上述の処理が、他のウェハWについても行われる。

[0064] 以上のように、本実施形態では、複数のウェハWそれぞれについての、基板処理システム10での所望の処理前の撮像画像及び上記所望の処理後の撮像画像を用い、機械学習により作成された画像推定モデルが使用される。この画像推定モデルは、基板処理システム10での所望の処理前のウェハWの撮像画像から上記所望の処理後のウェハWの推定画像を作成するモデルである。本実施形態では、上記画像推定モデルと、上記所望の処理前の検査対象ウェハWの撮像画像とに基づいて、上記所望の処理後の検査対象ウェハWの推定画像が生成され取得される。そして、上記所望の処理後の検査対象ウェハWについて実際に取得された撮像画像と、上記推定画像とに基づいて、当

該検査対象ウェハWの欠陥の有無の判定が行われる。つまり、検査対象ウェハW毎に適した、欠陥検査の基準となる基準画像に基づいて、検査対象ウェハの欠陥の有無の判定が行われる。そのため、欠陥検出精度を向上させることができる。具体的には、欠陥検査の基準となる基準画像が、上記画像推定モデルに基づいて生成された推定画像であるため、所望の処理後の検査対象ウェハWについての、撮像画像と推定画像すなわち基準画像とでムラが略同じになる。したがって、ムラが欠陥として検出される可能性が低いため、欠陥検出精度を向上させることができる。つまり、欠陥の有無の判定の際に、所望の処理後の検査対象ウェハWについて、前述のように、撮像画像と推定画像とを比較する場合、ムラを欠陥として誤検知するおそれがないため、前述の閾値を小さくすることができる。そのため、閾値が大きい場合に検出することができないような欠陥を検知することができる。

[0065] 図8及び図9を用いて、本実施形態にかかる欠陥検査の効果についてさらに具体的に説明する。

図8は、従来の欠陥検査の一例を説明するための概念図であり、図9は、本実施形態にかかる欠陥検査の一例を説明するための概念図である。図8及び図9において、横軸は、ウェハ上のある方向に沿った各部分の当該方向に関する座標を示し、縦軸は、上記各部分の画素値等の値を示す。図8(A)には、検査対象ウェハWの撮像画像 I_p と後述の平均画像 I_a の関係の一例が示され、図8(B)には、検査対象ウェハWの撮像画像 I_p と後述の平均画像 I_a との差分が示され、図8(C)には、従来の欠陥検査にかかる後述の欠陥判定値 V_c の一例が示されている。図9(A)には、検査対象ウェハWの撮像画像 I_p と対応する推定画像 I_e の関係の一例が示され、図9(B)には、本実施形態にかかる後述の欠陥判定値 V の一例が示されている。

[0066] 従来の欠陥検査では、例えば、所望の処理後の複数枚のウェハWについて、撮像画像を取得し、当該複数のウェハWの撮像画像から平均画像 I_a と標準偏差画像 I_s とが取得される。平均画像 I_a は、上記複数のウェハWの撮像画像における各画素の平均値を、各画素の画素値とする画像であり、例え

ば、検査対象ウェハWの撮像画像 I_p と図8(A)に示すような関係にある。また、標準偏差画像 I_s は、上記複数のウェハWの撮像画像における各画素の標準偏差を、各画素の画素値とする画像である。

[0067] そして、従来の欠陥検査では、検査対象ウェハWの撮像画像 I_p と上記平均画像 I_a との差分が算出される。上記差分において有意な値を有する部分には、図8(B)に示すように、欠陥部分だけでなく、ムラに起因する部分も含まれる。そのため、ムラを除去するためのバリエーションフィルタとして上記標準偏差画像 I_s が適用され、欠陥判定値 V_c が生成される。具体的には、上記差分の画素値の絶対値が上記標準偏差画像 I_s の画素値の絶対値を超える画素において、画素毎に、上記差分の画素値から標準偏差画像 I_s の画素値が差し引かれ、図8(C)に示すような欠陥判定値 V_c が生成される。従来の欠陥検査では、この欠陥判定値において、閾値 T_c を超える部分が欠陥と判定される。

しかし、ムラを除去するためのバリエーションフィルタとしての上記標準偏差画像 I_s は、ウェハW毎に固有のものではなくムラを正確に現したものではない。そのため、図8(C)に示すように、欠陥判定値において有意な値を有する部分に、欠陥 K_1 、 K_2 、 K_3 に起因する部分だけでなく、ムラ U に起因する部分も含まれる。このムラ U の部分が欠陥として検出されるのを防ぐため、従来の欠陥検査方法では、欠陥判定値に対する上記閾値 T_c が大きく設定されている。つまり、検出感度が低く設定されている。そのため、欠陥判定値 V_c において大きな値を示す欠陥 K_1 、 K_2 だけ検出され、欠陥判定値 V_c において小さな値を示す、検出すべき欠陥 K_3 を検出することができないことがある。

[0068] それに対し、本実施形態では、所望の処理後の検査対象ウェハWの撮像画像 I_p と、欠陥検査の基準画像となる推定画像 I_e が、例えば、図9(A)に示すような関係にある。そして、例えば、所望の処理後の検査対象ウェハWの撮像画像 I_p と推定画像 I_e との各画素における差分が欠陥判定値 V とされ、この欠陥判定値 V において、閾値 T を超える部分が欠陥と判定される

。本実施形態の欠陥判定に用いられる、推定画像 I_e は、前述のように、機械学習により作成された画像推定モデルに基づいて作成され、ウェハ W 毎に固有であり、所望の処理前の検査対象ウェハ W の状態が反映されている。したがって、所望の処理後の検査対象ウェハ W の撮像画像 I_p と推定画像 I_e とでは、ムラが略同一であり、図 9 (B) に示すように、欠陥判定値 V において有意な値を示す部分には、ムラに起因する部分が含まれず、欠陥 K_1 、 K_2 、 K_3 に起因する部分のみが含まれる。したがって、上記欠陥判定値 V に対する上記閾値 T を小さくしても、ムラの部分が欠陥として検出されることがないため、上記閾値 T を小さく設定し、すなわち検出感度を高く設定し、欠陥判定値 V において小さな値を示す欠陥 K_3 も正確に検出することができる。

[0069] 本発明者らは、レジスト膜形成後のウェハ W の撮像画像とレジストパターン形成後のウェハ W の撮像画像とを用いて実際に機械学習により画像推定モデルを作成した。そして、ある検査対象ウェハ W のレジスト膜形成後の撮像画像と、作成した画像推定モデルから、当該検査対象ウェハ W のレジストパターン形成後の推定画像を生成し、当該検査対象ウェハ W のレジストパターン形成後の実際の撮像画像と比較した。その結果を、図 10 及び図 11 に示す。図 10 及び図 11 は、上記実際の撮像画像の画素値と上記推定画像の画素値との関係を、画像の部分毎に示す図である。図 10 は、ウェハ全体についてのもを示し、図 11 は、ウェハ中央部のみについてのもを示している。

図 10 及び図 11 に示すように、画像の各部分において、上記実際の撮像画像の画素値と、上記推定画像の画素値は、近い値を示していた。特に、図 11 に示すように、ウェハ中央部では、上記実際の撮像画像の画素値と上記推定画像の画素値とは略同一であった。

なお、図 10 及び図 11 は、R 成分の画素値についてのものであるが、G 成分、B 成分においても、R 成分と同様の傾向を示すことが、本発明者らによって確認されている。

[0070] 以上の説明では、レジスト膜形成後のウェハWの撮像画像、レジストパターン形成後のウェハWの撮像画像と、に基づいて、レジストパターン形成後の検査対象ウェハWについての画像推定モデルを作成していた。これに代えて、下層膜形成前の初期状態のウェハWの撮像画像と、レジストパターン形成後のウェハWの撮像画像と、に基づいて、レジストパターン形成後の検査対象ウェハWについての画像推定モデルを作成してもよい。そして、当該画像推定モデルと、上記初期状態の検査対象ウェハWの撮像画像とに基づいて、レジストパターン形成後の検査対象ウェハWの推定画像を推定し、この推定画像に基づき、レジストパターン形成後の検査対象ウェハWの欠陥検査を行ってもよい。

[0071] 本発明者らは、上記初期状態のウェハWの撮像画像とレジストパターン形成後のウェハWの撮像画像とを用いて実際に機械学習により画像推定モデルを作成した。そして、ある検査対象ウェハWの上記初期状態の撮像画像と、作成した画像推定モデルから、当該検査対象ウェハWのレジストパターン形成後の推定画像を生成し、当該検査対象ウェハWのレジストパターン形成後の実際の撮像画像と比較した。その結果を、図12及び図13に示す。図12及び図13は、上記実際の撮像画像の画素値と上記推定画像の画素値との関係を、画像の部分毎に示す図である。図12は、ウェハ全体についてのもを示し、図13は、ウェハ中央部のみについてのもを示している。

図12及び図13に示すように、画像の各部分において、上記実際の撮像画像の画素値と、上記推定画像の画素値は、近い値を示していた。特に、図13に示すように、ウェハ中央部では、上記実際の撮像画像の画素値と上記推定画像の画素値とは略同一であった。

なお、図12及び図13は、R成分の画素値についてのものであるが、G成分、B成分においても、R成分と同様の傾向を示すことが、本発明者らによって確認されている。

[0072] また、下層膜形成後のウェハWの撮像画像や中間層膜形成後のウェハWの撮像画像と、レジストパターン形成後のウェハWの撮像画像と、に基づいて

、レジストパターン形成後の検査対象ウェハWについての画像推定モデルを作成してもよい。そして、当該画像推定モデルと、上記下層膜形成後の検査対象ウェハWの撮像画像や、中間層膜形成後のウェハとに基づいて、レジストパターン形成後の検査対象ウェハWの推定画像を推定し、この推定画像に基づき、レジストパターン形成後の検査対象ウェハWの欠陥検査を行ってもよい。つまり、n種類の処理が行われ各種類の処理前後で検査対象ウェハWの撮像画像が取得される場合、m ($m \leq n$) 種目の処理後の検査対象ウェハWについての欠陥検査及び画像推定モデルの生成には、以下の撮像画像を用いてもよい。すなわち、m種目の処理直前（言い換えると(m-1)種目の処理後）のウェハWの撮像画像だけでなく、(m-1)種目の処理直前（言い換えると(m-2)種目の処理後）のウェハWの撮像画像を用いてもよい。

[0073] さらに、本実施形態では、図11及び図13の結果を踏まえ、基板処理システム10での所望の処理後の検査対象ウェハWの撮像画像と推定画像における、ウェハ中央部のみの画像に基づいて、欠陥検査を行うようにしてもよい。これにより、ムラを欠陥として誤検知する可能性をさらに低下させることができ、より正確に欠陥検出を行うことができる。この場合、欠陥検査に際し、例えば、ウェハWの周縁部を除外するエッジフィルタが適用される。

[0074] なお、画像推定モデルについては、例えば、基板検査システム1が有する複数の基板処理システム10で取得された撮像画像を用いて、基板処理システム間で共通のものが作成される。

これに代えて、ある基板処理システム10についての画像推定モデルは、当該基板処理システムで取得された撮像画像のみを用いて作成してもよい。これにより、当該基板処理システム10の特性を反映した画像推定モデルを作成することができる。

[0075] また、画像推定モデルの作成に用いるウェハWの撮像画像から、欠陥検査で欠陥ありと判定されたウェハWについての撮像画像を除去するようにしてもよい。これにより、より正確な画像推定モデルを作成することができる。

[0076] なお、基板処理システム10では、複数種類の成膜処理（レジスト膜形成処理後のレジストパターン形成処理を含む）が行われているが、本実施形態にかかる基板検査方法は、単一の成膜処理を行う場合にも適用することができる。また、本実施形態にかかる基板検査方法は、成膜処理以外の処理（例えばエッチング処理等）を行う場合にも適用することができる。

[0077] 図14は、全体制御装置の他の例の概略を示すブロック図であり、基板検査に関する構成を示している。

図14の全体制御装置20aは、図7の全体制御装置20と同様、記憶部301とモデル作成部302とを有する。そして、全体制御装置20aはさらに、多数の撮像画像セットの中から、モデル作成部302での画像推定モデルの作成に用いられる撮像画像セット、すなわち、モデル作成用の撮像画像セットを複数選択する選択部400を有する。なお、撮像画像セットとは、あるウェハWについての基板処理システム10による処理前の撮像画像と処理後の撮像画像との組み合わせからなる画像セットである。

[0078] 選択部400は、撮像画像セット毎に異常度を決定し、その異常度に基づいて、モデル作成用の撮像画像セットを選択する。上記異常度は、基板処理システム10での所望の処理前のウェハWの撮像画像（以下、「IN画像」ということがある。）における画素値の面内傾向と、基板処理システム10での処理後のウェハWの撮像画像（以下、「OUT画像」ということがある）における画素値の面内傾向との相関分布を用いて決定される。

[0079] 選択部400は、例えば、候補取得部401と、係数算出部402と、距離算出部403と、抽出部404と、を有する。

[0080] 候補取得部401は、モデル作成用の撮像画像セットの候補として、複数の撮像画像セットを記憶部301から取得する。

[0081] 係数算出部402は、候補取得部401が取得した撮像画像セットに含まれるウェハWの撮像画像毎に、当該撮像画像内の画素値の平面分布を、ゼルニケ（Zernike）多項式を用いて複数の画素値の面内傾向成分にそれぞれ分解し、各面内傾向成分のゼルニケ係数をそれぞれ算出する。

- [0082] なお、ウェハWの撮像画像は一般的にRGB（Red、Green、Blue）の3原色で構成されている。そのため各原色R、G、Bごとに画素値の面内傾向成分 Z_i を求めることができるが、R、G、B間において画像処理の手法に相違はない。したがって、以下では、特に明記しない場合であっても、全ての原色R、G、Bについて並行して処理を行っているものとする。
- [0083] 係数算出部402では、候補取得部401が取得した撮像画像セットに含まれるウェハWの撮像画像毎に、当該撮像画像の色を、先ずウェハWの全面にわたって例えばピクセル単位で画素値として数値化する。これによりウェハ面内の画素値の平面分布を求める。そして、係数算出部402では、このウェハ面内の画素値の平面分布を複数の画素値の面内傾向成分 Z_i （ i は1以上の整数）に分解する。この複数の画素値の面内傾向成分 Z_i は、図15に示すように、ゼルニケ多項式を用いて、ウェハ面内の画素値の平面分布 Z を複数の成分に分解して表したものである。
- [0084] ここでゼルニケ多項式について説明する。ゼルニケ多項式は、主に光学分野で用いられる複素関数であり、二つの次数（ n ， m ）を有している。また、半径が1の単位円上の関数でもあり、極座標の引数（ r ， θ ）を有している。このゼルニケ多項式は、光学分野では例えばレンズの収差成分を解析するために使用されており、波面収差をゼルニケ多項式を用いて分解することで各々独立した波面、例えば山型、鞍型等の形状に基づく収差成分を知ることができる。
- [0085] 次に、本実施の形態における、ゼルニケ多項式を用いた画素値の面内傾向成分 Z_i の求め方について、図16及び図17を用いて説明する。図16は、ウェハWの面内における各ピクセルPの画素値の平面分布 Z を表したものであり、各ピクセルPの内側に記載されている数値は当該ピクセルPの画素値を示している。なお、説明を容易にするために、図16及び図17においては、X軸方向に沿った一列のピクセルPについてのみ記載している。そして、図16に示す画素値の平面分布 Z に対してゼルニケ多項式を適用するに

あたっては、例えば図17に示すように、各ピクセルPの画素値をウェハW面上の高さ方向（図17のZ方向正方向）に表す。その結果、各ピクセルPの画素値の平面分布を、3次元に描かれる所定の形状の曲線として捉えることができる。そして、ウェハW面内全てのピクセルPの画素値について、同様にウェハW面上の高さ方向に表すことで、ウェハW面内の画素値の分布を、3次元の円形の波面として捉えることができる。このように3次元の波面として捉えることでゼルニケ多項式が適用可能となり、ゼルニケ多項式を用いてウェハ面内の画素値の平面分布Zを、例えばウェハ面内の上下左右方向の傾き成分、凸状或いは凹状に湾曲する湾曲成分などの複数の画素値の面内傾向成分Z_iに分解できる。画素値の面内傾向成分Z_iそれぞれの大きさは、ゼルニケ係数により表すことができる。

[0086] 画素値の面内傾向成分Z_iを表すゼルニケ係数は、具体的に極座標の引数（r, θ）及び次数（n, m）を用いて表せられる。以下に一例として1項～9項までのゼルニケ係数を示す。

$$Z_1, n=0, m=0 \quad (1)$$

$$Z_2, n=1, m=1 \quad (r \cdot \cos \theta)$$

$$Z_3, n=0, m=-1 \quad (r \cdot \sin \theta)$$

$$Z_4, n=2, m=0 \quad (2r^2 - 1)$$

$$Z_5, n=2, m=2 \quad (r^2 \cdot \cos 2\theta)$$

$$Z_6, n=2, m=-2 \quad (r^2 \cdot \sin 2\theta)$$

$$Z_7, n=3, m=1 \quad ((3r^3 - 2r) \cdot \cos \theta)$$

$$Z_8, n=3, m=-1 \quad ((3r^3 - 2r) \cdot \sin \theta)$$

$$Z_9, n=4, m=0 \quad (6r^4 - 6r^2 + 1)$$

.

.

.

[0087] 例えば1項目のゼルニケ係数であるゼルニケ係数Z₁はウェハ面内の画素値の平均値を意味し、2番目のゼルニケ係数Z₂はウェハ面内における画素

値の左右方向の傾き成分、3番目のゼルニケ係数 Z_3 はウェハ面内の画素値の前後方向（ゼルニケ係数 Z_2 の傾きの方向と直交する方向）の傾き成分、4番目のゼルニケ係数はウェハの中心を原点とし周方向については均一であり径方向については次第に増加する画素値の湾曲成分を意味している。

[0088] 図14の説明に戻る。

係数算出部402では、ウェハ面内の画素値の平面分布 Z を上述のように分解して得られた、画素値の面内傾向成分 Z_i それぞれの値を算出する。具体的には、画素値の面内傾向成分 Z_i の大きさは上述のとおりゼルニケ係数により表されるので、各ゼルニケ係数の値を求めることで画素値の面内傾向成分 Z_i それぞれの値を算出する。

[0089] 距離算出部403は、ゼルニケ多項式における各項毎（次数毎）に、IN画像でのゼルニケ係数と、OUT画像でのゼルニケ係数との相関分布に基づいて、候補取得部401が取得した撮像画像セットそれぞれについてマハラノビス距離を算出する。距離算出部403は、候補取得部401が取得した撮像画像セットそれぞれについて、ゼルニケ多項式における各項毎に、上記相関分布が属する空間（すなわち、IN画像でのゼルニケ係数とOUT画像でのゼルニケ係数とからなる分布空間）における、当該撮像画像セットを示す点と、上記相関分布との間のマハラノビス距離 MD （後述の図19参照）を算出する。

[0090] 抽出部404は、候補取得部401が取得した撮像画像セットそれぞれについて、距離算出部403で算出したマハラノビス距離に基づいて異常度を決定する。そして、抽出部404は、決定した異常度に基づいて、候補取得部401が取得した撮像画像セットの中から、モデル作成用の撮像画像セットを抽出し、選択する。

[0091] 続いて、選択部400によるモデル作成用の撮像画像セットの選択処理について説明する。図18は、選択部400によるモデル作成用の撮像画像セットの選択処理の流れを示す図である。図19は、マハラノビス距離を説明するための図である。図20は、異常度の算出方法を概念的に示す図である

- 。
- [0092] まず、選択部400の候補取得部401が、図示するように、モデル作成用の撮像画像セットの候補として、複数の撮像画像セットを記憶部301から取得する（ステップS1）。その際、候補取得部401は、欠陥検査で「欠陥あり」と判定されたウェハWについての撮像画像セットは、モデル作成用の撮像画像セットの候補から除外する。候補取得部401は、IN画像に基づく欠陥検査で「欠陥あり」と判定された場合も、OUT画像に基づく欠陥検査で「欠陥あり」と判定された場合も、「欠陥あり」と判定されたウェハWについての撮像画像セットは除外する。
- [0093] 続いて、係数算出部402が、候補取得部401が取得した撮像画像セットに含まれる撮像画像（すなわちIN画像及びOUT画像）それぞれに対して、強調処理を行う（ステップS2）。上記強調処理は、例えば、各撮像画像におけるコントラストを強調する処理である。これにより、塗布膜が形成されたウェハについての撮像画像であれば、潜在的な塗布ムラを顕在化させることができる。
- [0094] 次に、係数算出部402が、強調処理されたウェハWの撮像画像毎に、当該撮像画像内の画素値の平面分布を、ゼルニケ多項式を用いて複数の画素値の面内傾向成分 Z_i に分解し、各面内傾向成分のゼルニケ係数をそれぞれ算出する（ステップS3）。言い換えると、係数算出部402が、強調処理されたウェハWの撮像画像毎に（すなわち強調処理されたIN画像及びOUT画像それぞれについて）、当該画像内の画素値の平面分布を、ゼルニケ多項式を用いて近似し、近似式における各項の係数すなわちゼルニケ係数をそれぞれ算出する。係数算出部402は、例えば、ゼルニケ多項式における第1項から第16項までの、ゼルニケ係数を算出する。係数算出部402による上述のようなゼルニケ係数の算出は例えばRGBそれぞれについて行われる。
- [0095] 次に、距離算出部403が、候補取得部401が取得した撮像画像セットそれぞれについて、ゼルニケ多項式における各項毎に、マハラノビス距離M

Dを算出する（ステップS4）。図19に示すように、ここで算出される、ゼルニケ多項式における各項毎のマハラノビス距離MDは、IN画像－OUT画像間のゼルニケ係数の分布空間Kにおける、算出対象の撮像画像セットを示す点Pと、IN画像でのゼルニケ係数とOUT画像でのゼルニケ係数との相関分布Cとの間のマハラノビス距離である。

なお、マハラノビス距離は、標本点と分布の間の尺度を表すものである。ベクトル y から平均 μ 及び共分散 Σ を持つ分布までのマハラノビス距離MDは以下の式で算出することができる。

[0096] [数1]

$$MD = \sqrt{(y - \mu)\Sigma^{-1}(y - \mu)'}$$

[0097] 距離算出部403は、ゼルニケ多項式における第1項から第16項までの各項について、候補取得部401が取得した撮像画像セットそれぞれのマハラノビス距離MDを算出する。

また、ゼルニケ多項式における各項毎のマハラノビス距離の算出は、例えばRGBそれぞれについて行われる。

さらに、ゼルニケ多項式における各項毎に算出したマハラノビス距離に対して、該当する項における平均値で除算する規格化処理を行ってもよい。

[0098] 続いて、抽出部404が、距離算出部403が撮像画像セットそれぞれについてゼルニケ多項式における各項毎に算出したマハラノビス距離に基づいて、撮像画像セットそれぞれの異常度Abを決定する（ステップS5）。例えば、抽出部404は、撮像画像セットそれぞれについて、距離算出部403がゼルニケ多項式における各項毎に算出したマハラノビス距離MDを足し合わせて、異常度Abを決定する。

[0099] より具体的には、抽出部404は、例えば、図20に示すように、距離算出部403がゼルニケ多項式における第1～16項までの各項毎に算出した、Rについてのマハラノビス距離MDを、撮像画像セット毎に全て足し合わせる。そして、抽出部404は、足し合わせた結果を（すなわち上記マハラ

ノビス距離MDの総和を)、各撮像画像セットのRについての異常度 $A b_r$ に決定する。同様に、抽出部404は、例えば、距離算出部403がゼルニケ多項式における第1項から第16項までの各項毎に算出したGについてのマハラノビス距離MDを、撮像画像セット毎に全て足し合わせ、各撮像画像セットのGについての異常度 $A b_g$ に決定する。また、抽出部404は、例えば、距離算出部403がゼルニケ多項式における第1項から第16項までの各項毎に算出したBについてのマハラノビス距離MDを、撮像画像セット毎に全て足し合わせ、各撮像画像セットのBについての異常度 $A b_b$ に決定する。つまり、抽出部404は、ゼルニケ多項式における第1～16項までの各項毎に且つRGBの各色毎に算出されたマハラノビス距離MDを、RGBの各色毎に且つ撮像画像セット毎に全て足し合わせる。

[0100] なお、撮像画像セットそれぞれについて、距離算出部403がゼルニケ多項式における各項毎に算出したマハラノビス距離MDを足し合わせる際、ゼルニケ多項式における各項毎に重みづけを行うようにしてもよい。また、撮像画像セットそれぞれについて、距離算出部403がゼルニケ多項式における各項毎に且つRGBの各色毎に算出したマハラノビス距離を足し合わせる際、色毎に重みづけを行うようにしてもよい。

[0101] 次いで、抽出部404は、当該抽出部404が決定した異常度 $A b$ に対して、異常判定の閾値 $T h$ を設定する(ステップS6)。例えば、抽出部404は、以下の式に基づいて、閾値 $T h_c$ を算出する。なお、以下の式において、 $A b_{Ave}$ は抽出部404が決定した異常度 $A b$ の平均値を示し、 $A b_{Std}$ は抽出部404が決定した異常度 $A b$ の標準偏差を示し、 c は例えば1～3の整数である。

$$T h_c = A b_{Ave} + c \times A b_{Std}$$

抽出部404は、算出した閾値 $T h_c$ を、異常判定の閾値 $T h$ として設定する。なお、算出し設定した閾値 $T h_c$ が小さすぎると、後述のステップS7のモデル作成用の画像撮像画像セット抽出工程において、必要以上の撮像画像セットがモデル作成用の撮像画像セットから除外される場合もある。したが

って、異常判定の閾値 T_h の下限値を設けておき、上記式に基づいて算出された閾値 T_{h_c} が上記下限値を下回る場合に、上記下限値を異常判定の閾値 T_h としてもよい。これら、上記式に基づく閾値 T_{h_c} の算出及び異常判定の閾値 T_h の設定は RGB それぞれについて行われる。なお、以下では、R、G、B それぞれについての異常判定の閾値 T_h を T_{h_r} 、 T_{h_g} 、 T_{h_b} とする。

[0102] そして、抽出部 404 は、当該抽出部 404 が決定した撮像画像セットそれぞれの異常度 A_b と、当該抽出部 404 が設定した閾値 T_h とに基づいて、モデル作成用の撮像画像セットを抽出し、選択する（ステップ S7）。具体的には、抽出部 404 は、候補取得部 401 が取得した撮像画像セットのうち、マハラノビス距離 MD を足し合わせた異常度 A_b が異常判定の閾値 T_h を超えないものを、モデル作成用の撮像画像セットとして抽出する。より具体的には、抽出部 404 は、以下の条件 (x1) ~ (x3) を全て満たす撮像画像セットをモデル作成用に抽出する。

(x1) R についての異常度 $A_{b_r} \geq R$ についての異常判定の閾値 T_{h_r}

(x2) G についての異常度 $A_{b_g} \geq G$ についての異常判定の閾値 T_{h_g}

(x3) B についての異常度 $A_{b_b} \geq B$ についての異常判定の閾値 T_{h_b}

[0103] 以上のようにして、大量の撮像画像セットの中から画像推定モデルの学習に最適な画像セットを自動選択することで、画像推定モデルの品質を担保することができ、さらに、この画像推定モデルを用いた欠陥検出の精度を高めることができる。

[0104] 抽出部 404 による、マハラノビス距離に基づく、モデル作成用の撮像画像セットの抽出方法は上述の例に限られない。例えば、以下のようにしてもよい。

[0105] すなわち、抽出部 404 は、例えば、撮像画像セットそれぞれについて、ゼルニケ多項式における各項毎に、距離算出部 403 が算出したマハラノビス距離 MD を、異常度 A_b に設定する。より具体的には、抽出部 404 は、例えば、距離算出部 403 がゼルニケ多項式における第 1 ~ 16 項までの各項毎に算出した、R についてのマハラノビス距離 MD を、各撮像画像セット

のRについての異常度 $A b_{r_1} \sim A b_{r_{16}}$ に設定する。同様に、抽出部404は、例えば、距離算出部403がゼルニケ多項式における第1項から第16項までの各項毎に算出した、Gについてのマハラノビス距離MDを、各撮像画像セットのGについての異常度 $A b_{g_1} \sim A b_{g_{16}}$ に設定する。また、抽出部404は、例えば、距離算出部403がゼルニケ多項式における第1項から第16項までの各項毎に算出した、Bについてのマハラノビス距離MDを、各撮像画像セットのBについての異常度 $A b_{b_1} \sim A b_{b_{16}}$ に設定する。

[0106] そして、抽出部404が、該抽出部404が設定した異常度 $A b$ に対して、ゼルニケ多項式における各項毎に、異常判定の閾値 $T h$ を設定する。例えば、抽出部404は、ゼルニケ多項式における第1～第16項の各項について、閾値 $T h_0$ を算出する。この場合の算出式には例えば前述と同様な式を用いることができる。

[0107] 抽出部404は、ゼルニケ多項式における第1～第16項の各項について、算出した閾値 $T h_0$ を、異常判定の閾値 $T h$ として設定する。この例の場合も、前述と同様に、異常判定の閾値 $T h$ の下限値を設けておいてもよい。これら閾値 $T h_0$ の算出及び異常判定の閾値 $T h$ の設定はRGBそれぞれについて行われる。なお、以下では、ゼルニケ多項式における第1～第16項の各項にかかる、Rについての異常判定の閾値 $T h$ を、 $T h_{r_1} \sim T h_{r_{16}}$ とし、Gについての異常判定の閾値 $T h$ を、 $T h_{g_1} \sim T h_{g_{16}}$ とし、Bについての異常判定の閾値 $T h$ を、 $T h_{b_1} \sim T h_{b_{16}}$ とする。

[0108] そして、抽出部404は、候補取得部401が取得した撮像画像セットのうち、異常度 $A b$ が異常判定の閾値 $T h$ を超えるゼルニケ多項式における項（次数）を有さない撮像画像セットを、モデル作成用の撮像画像セットとして抽出する。より具体的には、抽出部404は、 n が1～16の整数である場合において、以下の条件（y1）～（y3）を全て満たす撮像画像セットをモデル作成用に抽出する。

（y1）ゼルニケ多項式における第 n 項について異常度 $A b_{r_n} \geq$ 閾値 $T h_{r_n}$ である。

(y 2) ゼルニケ多項式における第 n 項について異常度 $A b_{g,n} \geq \text{閾値 } T h_{g,n}$ である。

(y 3) ゼルニケ多項式における第 n 項について異常度 $A b_{b,n} \geq \text{閾値 } T h_{b,n}$ である。

[0109] 以上の例では、全ての色、及び、全てのゼルニケ多項式における全項について、マハラノビス距離の算出等を行っていたが、一部の色、一部の項については、マハラノビス距離の算出等を省略するようにしてもよい。マハラノビス距離の算出等を省略する色や上記項の情報は予め記憶部 301 に記憶される。

[0110] 図 21 は、マハラノビス距離の算出方法の他の例を説明する図である。

図 21 に示すように、IN 画像でのゼルニケ係数と OUT 画像でのゼルニケ係数との相関分布 C が一纏まりとならず、適切なマハラノビス距離を算出することができなくなり、モデル作成用の撮像画像セットを適切に選択できない場合がある。この場合は、相関分布 C を複数のサブ相関分布に分割してもよい。例えば、相関分布 C を図 21 のように 2 つのサブ相関分布 C_1 、 C_2 に分割してもよい。そして、距離算出部 403 が撮像画像セットのマハラノビス距離を算出する際は、当該撮像画像セットが属するサブ相関分布と、当該撮像画像セットを示す点との間のマハラノビス距離を算出するようにしてもよい。

[0111] 相関分布 C のサブ相関分布への分割単位は、例えばウェハ W のロット毎、装置毎、搬送ルート毎すなわち通過モジュール毎である。

[0112] 今回開示された実施形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。上記の実施形態は、添付の請求の範囲及びその主旨を逸脱することなく、様々な形態で省略、置換、変更されてもよい。

[0113] なお、以下のような構成も本開示の技術的範囲に属する。

(1) 基板を検査する基板検査装置であって、複数の基板それぞれについての基板処理装置による処理前の撮像画像及び処理後の撮像画像を用いて機械学習により作成された画像推定モデルと、前記

基板処理装置による処理前の検査対象基板の撮像画像と、に基づき、前記基板処理装置による処理後の前記検査対象基板の推定画像を取得する取得部と、
前記基板処理装置による処理後の前記検査対象基板の撮像画像と前記推定画像とに基づいて、当該検査対象基板の欠陥の有無を判定する判定部と、を有する、基板検査装置。

前記（１）では、複数の基板についての処理前後の撮像画像を用いて機械学習により作成された画像推定モデルが使用され欠陥検査の基準となる基準画像が生成され、検査対象基板の欠陥の有無の判定が行われる。欠陥検査の基準となる基準画像が、上記画像推定モデルに基づいて生成された推定画像であるため、処理後の検査対象基板についての、撮像画像と基準画像とでムラが略同じになる。したがって、ムラが欠陥として検出される可能性が低いため、欠陥検出精度を向上させることができる。

[0114] （２）前記取得部は、前記基板処理装置による処理後の前記検査対象基板の推定画像を生成する、前記（１）に記載の基板検査装置。

[0115] （３）前記判定部は、前記基板処理装置による処理後の前記検査対象基板の撮像画像と前記推定画像との差分に基づいて、当該検査対象基板の欠陥の有無を判定する、前記（１）または（２）に記載の基板検査装置。

[0116] （４）前記判定部は、前記基板処理装置による処理後の前記検査対象基板の撮像画像と前記推定画像における基板中央部の画像に基づいて、当該検査対象基板の欠陥の有無を判定する、前記（１）～（３）のいずれか１に記載の基板検査装置。

前記（４）によれば、より正確に欠陥検査を行うことができる。

[0117] （５）前記画像推定モデルは、条件付き敵対的生成ネットワークにおいて、入力された任意の画像を変換して偽物画像を生成する生成ネットワークであり、
前記条件付き敵対的生成ネットワークにおける、任意の画像と共に当該任意の画像に対応する本物画像または当該任意の画像に基づいて生成された前記

偽物画像が入力され、当該任意の画像と共に入力された画像が前記本物画像であるか前記偽物画像であるかの識別を行う識別ネットワークについて、前記識別が正確に行われるよう識別方法が機械学習され、前記生成ネットワークについて、前記識別ネットワークにおいて前記偽物画像が前記本物画像であると認識されるよう画像の変換方法が機械学習される、前記（２）～（５）のいずれか１に記載の基板検査装置。

[0118] （６）基板を検査する基板検査システムであって、

基板を処理する基板処理装置と、

制御装置と、を備え、

前記制御装置は、

複数の基板それぞれについての前記基板処理装置による処理前の撮像画像及び処理後の撮像画像を用い、機械学習により画像推定モデルを作成する作成部と、

前記基板処理装置による処理前の検査対象基板の撮像画像と、前記画像推定モデルとに基づいて、前記基板処理装置による処理後の前記検査対象基板の推定画像を生成する生成部と、

前記基板処理装置による処理後の前記検査対象基板の撮像画像と前記推定画像とに基づいて、当該検査対象基板の欠陥の有無を判定する判定部と、を有する、基板検査システム。

[0119] （７）前記画像推定モデルは、条件付き敵対的生成ネットワークにおいて、入力された任意の画像を変換して偽物画像を生成する生成ネットワークであり、

前記条件付き敵対的生成ネットワークにおける、任意の画像と共に当該任意の画像に対応する本物画像または当該任意の画像に基づいて生成された前記偽物画像が入力され、当該任意の画像と共に入力された画像が前記本物画像であるか前記偽物画像であるかの識別を行う識別ネットワークについて、前記識別が正確に行われるよう識別方法が機械学習され、前記生成ネットワークについて、前記識別ネットワークにおいて前記偽物画

像が前記本物画像であると認識されるよう画像の変換方法が機械学習される、前記（６）に記載の基板検査システム。

[0120] （８）前記処理前の基板の撮像画像と前記処理後の基板の撮像画像との組み合わせからなる撮像画像セットであってモデル作成用の画像セットを選択する選択部をさらに備え、

前記選択部は、前記処理前の基板の撮像画像における画素値の面内傾向と、前記処理後の基板の撮像画像における画素値の面内傾向との相関分布を用いて決定される異常度に基づいて、モデル作成用の前記撮像画像セットを選択する、前記（６）または（７）に記載の基板検査システム。

[0121] （９）前記選択部は、

モデル作成用の前記撮像画像セットの候補として、複数の前記撮像画像セットを取得する候補取得部と、

取得された前記撮像画像セットに含まれる前記基板の撮像画像毎に、当該撮像画像内の画素値の平面分布を、ゼルニケ多項式を用いて複数の画素値の面内傾向成分にそれぞれ分解し、各面内傾向成分のゼルニケ係数をそれぞれ算出する係数算出部と、

ゼルニケ多項式における各項毎に、前記処理前の前記基板の撮像画像におけるゼルニケ係数と、前記処理後の前記基板の撮像画像におけるゼルニケ係数との相関分布に基づいて、前記撮像画像セットそれぞれのマハラノビス距離を算出する距離算出部と、

前記撮像画像セットそれぞれについて、前記マハラノビス距離に基づいて、異常度を決定すると共に、前記異常度に基づいて、前記候補取得部が取得した前記撮像画像セットの中から、前記モデル作成用の前記撮像画像セットを抽出する抽出部と、を有する、前記（８）に記載の基板検査システム。

[0122] （１０）前記抽出部は、

前記撮像画像セットそれぞれについて、前記距離算出部がゼルニケ多項式における各項毎に算出した前記マハラノビス距離を足し合わせて、前記異常度を決定し、

前記取得部が取得した前記撮像画像セットのうち、マハラノビス距離を足し合わせた前記異常度が閾値を超えないものを、前記モデル作成用の前記撮像画像セットとして抽出する、前記（９）に記載の基板検査システム。

[0123] （１１）前記異常度は、前記距離算出部がゼルニケ多項式における各項毎に算出したマハラノビス距離であり、

前記抽出部は、前記撮像画像セットのうち、前記異常度が閾値を超えるゼルニケ多項式における項を有さない撮像画像セットを、前記モデル作成用の前記撮像画像セットとして抽出する、前記（９）に記載の基板検査システム。

[0124] （１２）基板を検査する基板検査方法であって、

基板処理装置による処理前の検査対象基板の撮像画像を取得する工程と、
基板処理装置による処理後の前記検査対象基板の撮像画像を取得する工程と、

、
複数の基板それぞれについての前記基板処理装置による処理前の撮像画像及び処理後の撮像画像を用いて機械学習により作成された画像推定モデルと、
前記基板処理装置による処理前の検査対象基板の撮像画像と、に基づき、
前記基板処理装置による処理後の前記検査対象基板の推定画像を取得する工程と、

前記基板処理装置による処理後の前記検査対象基板の撮像画像と、前記推定画像とに基づいて、当該検査対象基板の欠陥の有無を判定する工程と、を有する、基板検査方法。

[0125] （１３）前記画像推定モデルは、条件付き敵対的生成ネットワークにおいて、入力された任意の画像を変換して偽物画像を生成する生成ネットワークであり、

前記条件付き敵対的生成ネットワークにおける、任意の画像と共に当該任意の画像に対応する本物画像または当該任意の画像に基づいて生成された前記偽物画像が入力され、当該任意の画像と共に入力された画像が前記本物画像であるか前記偽物画像であるかの識別を行う識別ネットワークについて、前記識別が正確に行われるよう識別方法が機械学習され、

前記生成ネットワークについて、前記識別ネットワークにおいて前記偽物画像が前記本物画像であると認識されるよう画像の変換方法が機械学習される、前記（12）に記載の基板検査方法。

[0126]（14）基板を検査する際に用いられる、基板の撮像画像の推定モデルであって、

当該推定モデルは、

基板処理装置による処理前の検査対象基板の撮像画像から、前記基板処理装置による処理後の前記検査対象基板の撮像画像を推定するようにコンピュータを機能させるものであり、

複数の基板それぞれについての前記基板処理装置による処理前の撮像画像及び処理後の撮像画像を用いて、条件付き敵対的生成ネットワークによる機械学習によって作成され、

前記条件付き敵対的生成ネットワークにおいて、入力された任意の画像を変換して偽物画像を生成する生成ネットワークであり、

前記条件付き敵対的生成ネットワークによる機械学習では、任意の画像と共に当該任意の画像に対応する本物画像または当該任意の画像に基づいて生成された前記偽物画像が入力され、当該任意の画像と共に入力された画像が前記本物画像であるか前記偽物画像であるかの識別を行う識別ネットワークについて、前記識別が正確に行われるよう識別方法が学習され、且つ、前記生成ネットワークについて、前記識別ネットワークにおいて前記偽物画像が前記本物画像であると認識されるよう画像の変換方法が学習される、推定モデル。

符号の説明

- [0127] 1 基板検査システム
 - 20 全体制御装置
 - 120 現像処理装置
 - 121 下層膜形成装置
 - 122 中間層膜形成装置

1 2 3 レジスト塗布装置

1 3 0 熱処理装置

2 5 1 撮像制御装置

3 0 2 モデル作成部

3 1 3 推定画像取得部

3 1 4 判定部

l e 推定画像

l p 撮像画像

K 1、K 2、K 3 欠陥

W ウェハ

請求の範囲

- [請求項1] 基板を検査する基板検査装置であって、
複数の基板それぞれについての基板処理装置による処理前の撮像画像及び処理後の撮像画像を用いて機械学習により作成された画像推定モデルと、前記基板処理装置による処理前の検査対象基板の撮像画像と、に基づき、前記基板処理装置による処理後の前記検査対象基板の推定画像を取得する取得部と、
前記基板処理装置による処理後の前記検査対象基板の撮像画像と前記推定画像とに基づいて、当該検査対象基板の欠陥の有無を判定する判定部と、を有する、基板検査装置。
- [請求項2] 前記取得部は、前記基板処理装置による処理後の前記検査対象基板の推定画像を生成する、請求項1に記載の基板検査装置。
- [請求項3] 前記判定部は、前記基板処理装置による処理後の前記検査対象基板の撮像画像と前記推定画像との差分に基づいて、当該検査対象基板の欠陥の有無を判定する、請求項1または2に記載の基板検査装置。
- [請求項4] 前記判定部は、前記基板処理装置による処理後の前記検査対象基板の撮像画像と前記推定画像における基板中央部の画像に基づいて、当該検査対象基板の欠陥の有無を判定する、請求項1～3のいずれか1項に記載の基板検査装置。
- [請求項5] 前記画像推定モデルは、条件付き敵対的生成ネットワークにおいて、入力された任意の画像を変換して偽物画像を生成する生成ネットワークであり、
前記条件付き敵対的生成ネットワークにおける、任意の画像と共に当該任意の画像に対応する本物画像または当該任意の画像に基づいて生成された前記偽物画像が入力され、当該任意の画像と共に入力された画像が前記本物画像であるか前記偽物画像であるかの識別を行う識別ネットワークについて、前記識別が正確に行われるよう識別方法が機械学習され、

前記生成ネットワークについて、前記識別ネットワークにおいて前記偽物画像が前記本物画像であると認識されるよう画像の変換方法が機械学習される、請求項1～4のいずれか1項に記載の基板検査装置。

[請求項6]

基板を検査する基板検査システムであって、
基板を処理する基板処理装置と、
制御装置と、を備え、
前記制御装置は、

複数の基板それぞれについての前記基板処理装置による処理前の撮像画像及び処理後の撮像画像を用い、機械学習により画像推定モデルを作成する作成部と、

前記基板処理装置による処理前の検査対象基板の撮像画像と、前記画像推定モデルとに基づいて、前記基板処理装置による処理後の前記検査対象基板の推定画像を生成する生成部と、

前記基板処理装置による処理後の前記検査対象基板の撮像画像と前記推定画像とに基づいて、当該検査対象基板の欠陥の有無を判定する判定部と、を有する、基板検査システム。

[請求項7]

前記画像推定モデルは、条件付き敵対的生成ネットワークにおいて、入力された任意の画像を変換して偽物画像を生成する生成ネットワークであり、

前記条件付き敵対的生成ネットワークにおける、任意の画像と共に当該任意の画像に対応する本物画像または当該任意の画像に基づいて生成された前記偽物画像が入力され、当該任意の画像と共に入力された画像が前記本物画像であるか前記偽物画像であるかの識別を行う識別ネットワークについて、前記識別が正確に行われるよう識別方法が機械学習され、

前記生成ネットワークについて、前記識別ネットワークにおいて前記偽物画像が前記本物画像であると認識されるよう画像の変換方法が機械学習される、請求項6に記載の基板検査システム。

[請求項8] 前記処理前の基板の撮像画像と前記処理後の基板の撮像画像との組み合わせからなる撮像画像セットであってモデル作成用の画像セットを選択する選択部をさらに備え、

前記選択部は、前記処理前の基板の撮像画像における画素値の面内傾向と、前記処理後の基板の撮像画像における画素値の面内傾向との相関分布を用いて決定される異常度に基づいて、モデル作成用の前記撮像画像セットを選択する、請求項6または7に記載の基板検査システム。

[請求項9] 前記選択部は、

モデル作成用の前記撮像画像セットの候補として、複数の前記撮像画像セットを取得する候補取得部と、

取得された前記撮像画像セットに含まれる前記基板の撮像画像毎に、当該撮像画像内の画素値の平面分布を、ゼルニケ多項式を用いて複数の画素値の面内傾向成分にそれぞれ分解し、各面内傾向成分のゼルニケ係数をそれぞれ算出する係数算出部と、

ゼルニケ多項式における各項毎に、前記処理前の前記基板の撮像画像におけるゼルニケ係数と、前記処理後の前記基板の撮像画像におけるゼルニケ係数との相関分布に基づいて、前記撮像画像セットそれぞれのマハラノビス距離を算出する距離算出部と、

前記撮像画像セットそれぞれについて、前記マハラノビス距離に基づいて、異常度を決定すると共に、前記異常度に基づいて、前記候補取得部が取得した前記撮像画像セットの中から、前記モデル作成用の前記撮像画像セットを抽出する抽出部と、を有する、請求項8に記載の基板検査システム。

[請求項10] 前記抽出部は、

前記撮像画像セットそれぞれについて、前記距離算出部がゼルニケ多項式における各項毎に算出した前記マハラノビス距離を足し合わせて、前記異常度を決定し、

前記候補取得部が取得した前記撮像画像セットのうち、マハラノビス距離を足し合わせた前記異常度が閾値を超えないものを、前記モデル作成用の前記撮像画像セットとして抽出する、請求項9に記載の基板検査システム。

[請求項11] 前記異常度は、前記距離算出部がゼルニケ多項式における各項毎に算出したマハラノビス距離であり、
前記抽出部は、前記撮像画像セットのうち、前記異常度が閾値を超えるゼルニケ多項式における項を有さない撮像画像セットを、前記モデル作成用の前記撮像画像セットとして抽出する、請求項9に記載の基板検査システム。

[請求項12] 基板を検査する基板検査方法であって、
基板処理装置による処理前の検査対象基板の撮像画像を取得する工程と、
基板処理装置による処理後の前記検査対象基板の撮像画像を取得する工程と、
複数の基板それぞれについての前記基板処理装置による処理前の撮像画像及び処理後の撮像画像を用いて機械学習により作成された画像推定モデルと、前記基板処理装置による処理前の検査対象基板の撮像画像と、に基づき、前記基板処理装置による処理後の前記検査対象基板の推定画像を取得する工程と、
前記基板処理装置による処理後の前記検査対象基板の撮像画像と、前記推定画像とに基づいて、当該検査対象基板の欠陥の有無を判定する工程と、を有する、基板検査方法。

[請求項13] 前記画像推定モデルは、条件付き敵対的生成ネットワークにおいて、入力された任意の画像を変換して偽物画像を生成する生成ネットワークであり、
前記条件付き敵対的生成ネットワークにおける、任意の画像と共に当該任意の画像に対応する本物画像または当該任意の画像に基づいて生

成された前記偽物画像が入力され、当該任意の画像と共に入力された画像が前記本物画像であるか前記偽物画像であるかの識別を行う識別ネットワークについて、前記識別が正確に行われるよう識別方法が機械学習され、

前記生成ネットワークについて、前記識別ネットワークにおいて前記偽物画像が前記本物画像であると認識されるよう画像の変換方法が機械学習される、請求項12に記載の基板検査方法。

[請求項14]

基板を検査する際に用いられる、基板の撮像画像の推定モデルであって、

当該推定モデルは、

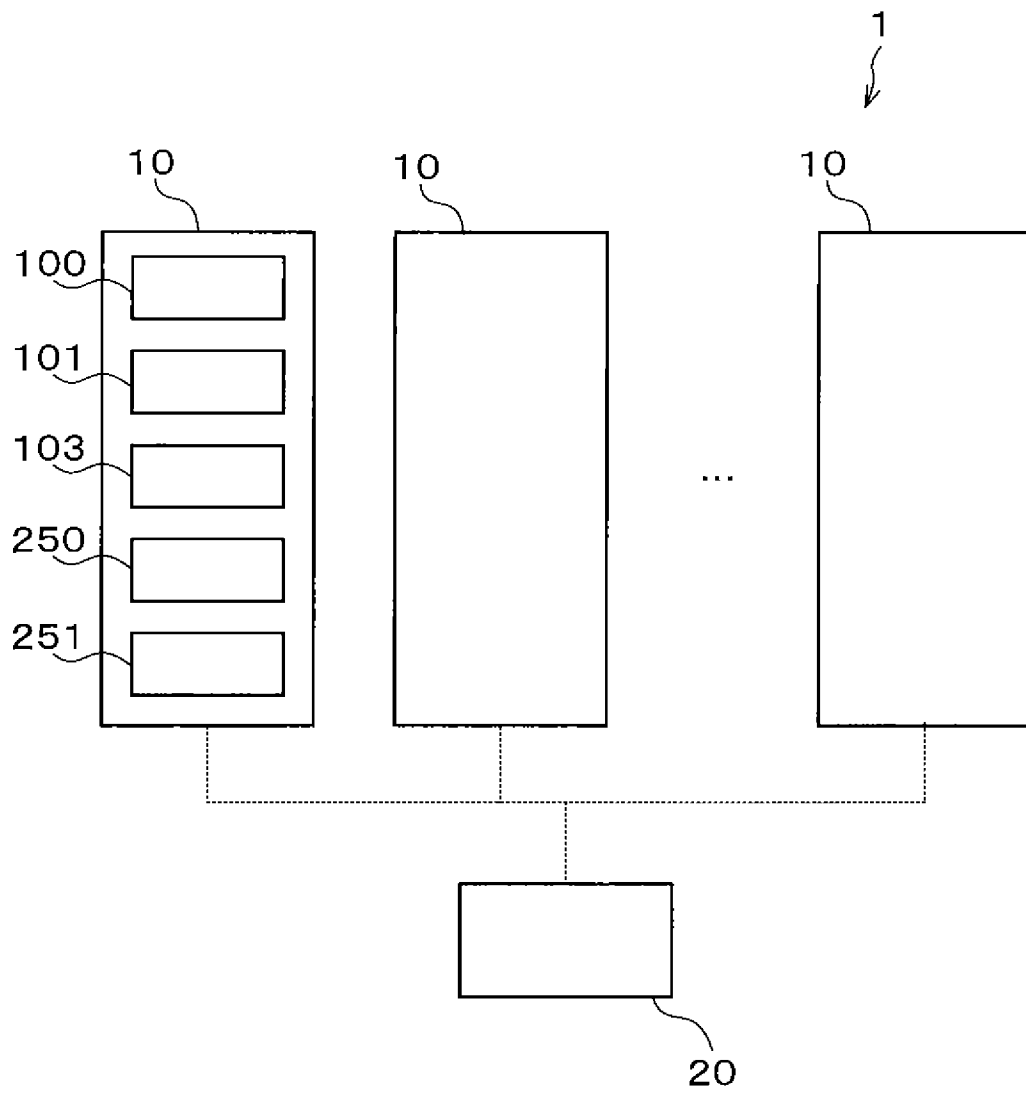
基板処理装置による処理前の検査対象基板の撮像画像から、前記基板処理装置による処理後の前記検査対象基板の撮像画像を推定するようにコンピュータを機能させるものであり、

複数の基板それぞれについての前記基板処理装置による処理前の撮像画像及び処理後の撮像画像を用いて、条件付き敵対的生成ネットワークによる機械学習によって作成され、

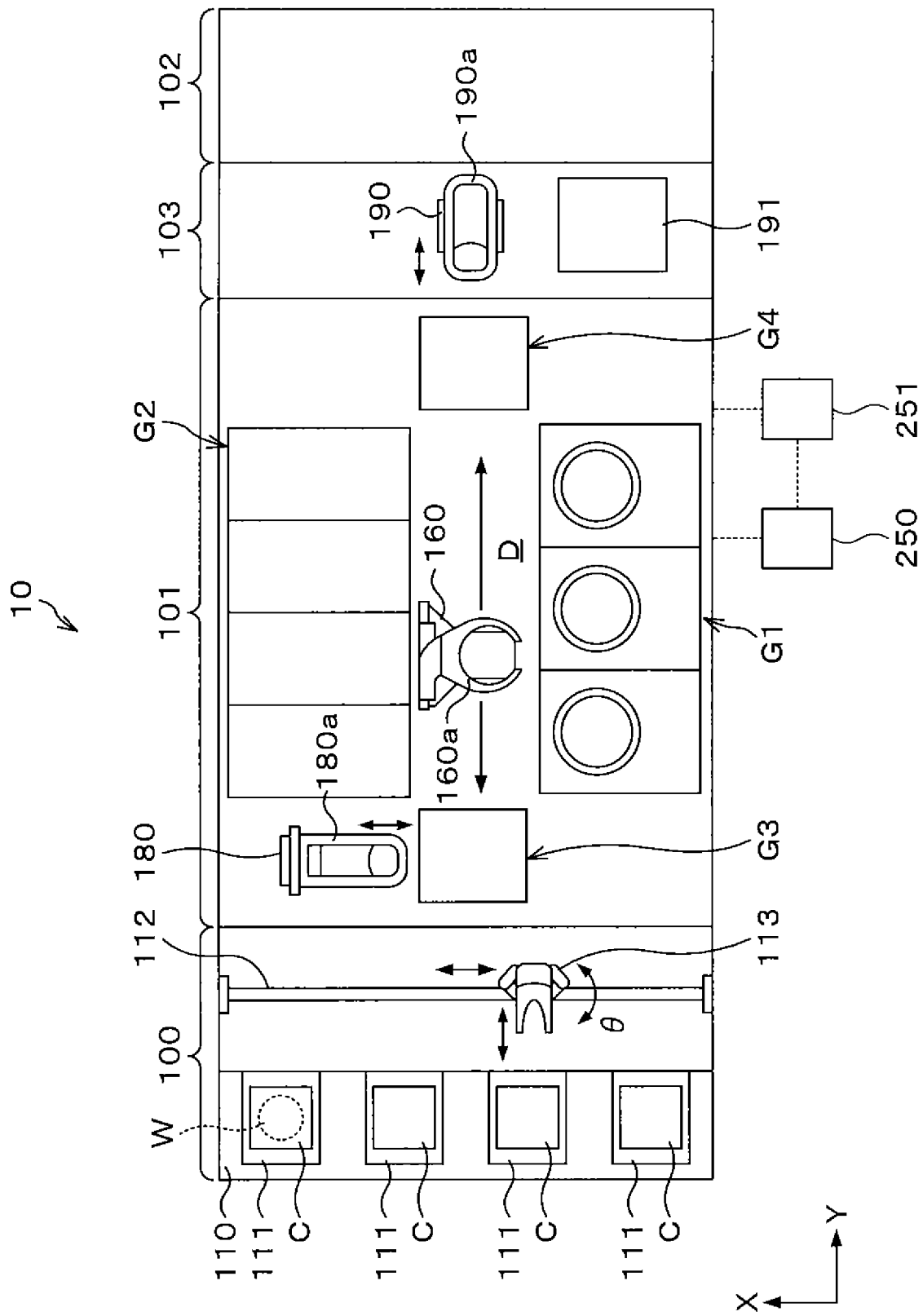
前記条件付き敵対的生成ネットワークにおいて、入力された任意の画像を変換して偽物画像を生成する生成ネットワークであり、

前記条件付き敵対的生成ネットワークによる機械学習では、任意の画像と共に当該任意の画像に対応する本物画像または当該任意の画像に基づいて生成された前記偽物画像が入力され、当該任意の画像と共に入力された画像が前記本物画像であるか前記偽物画像であるかの識別を行う識別ネットワークについて、前記識別が正確に行われるよう識別方法が学習され、且つ、前記生成ネットワークについて、前記識別ネットワークにおいて前記偽物画像が前記本物画像であると認識されるよう画像の変換方法が学習される、推定モデル。

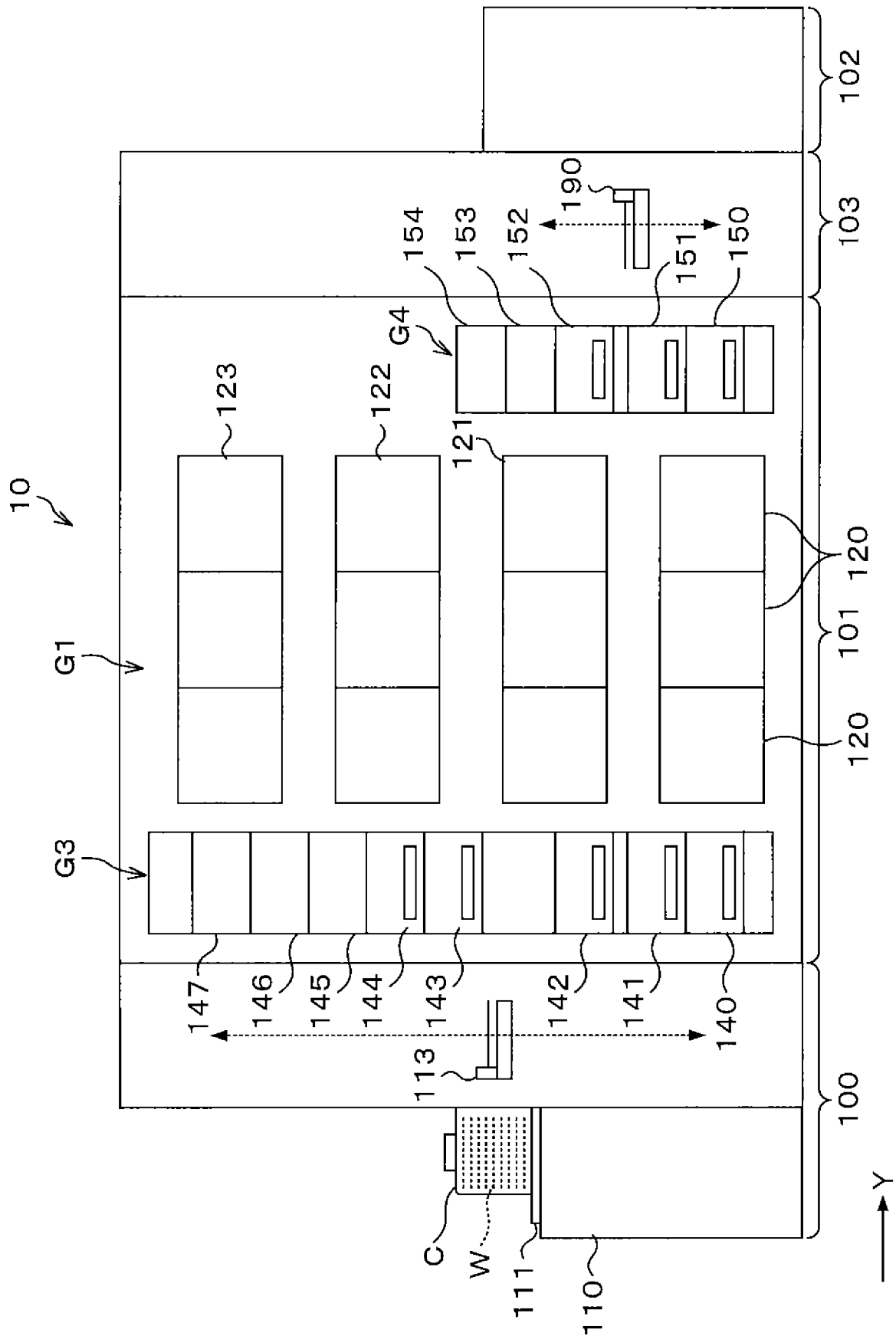
[図1]



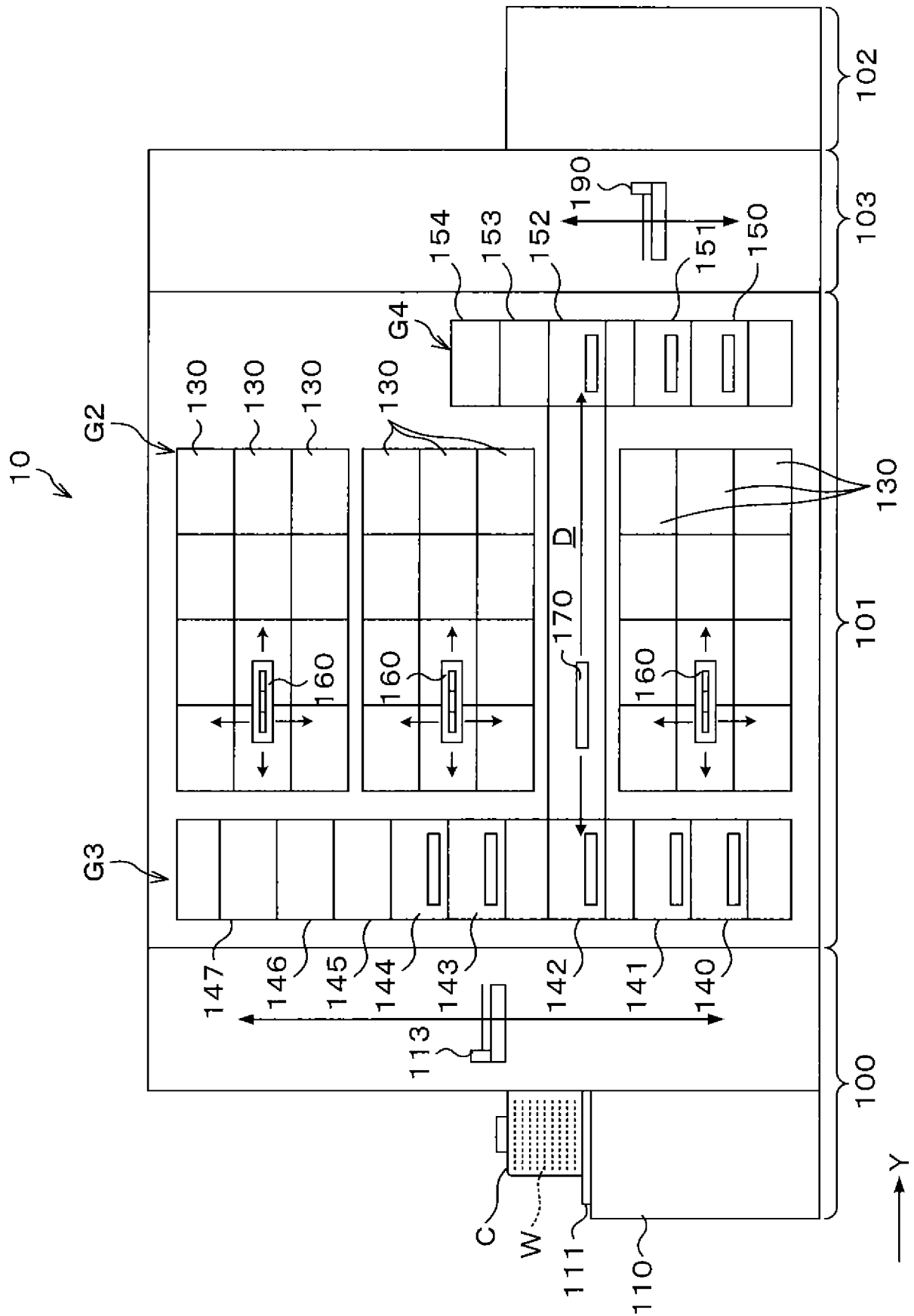
[図2]



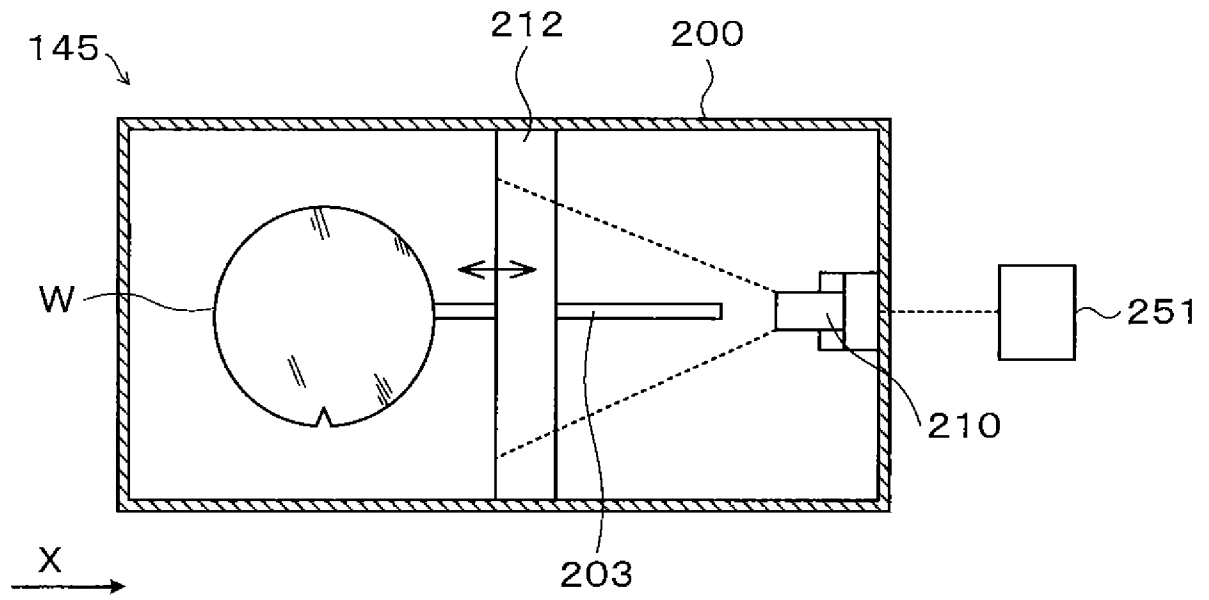
[図3]



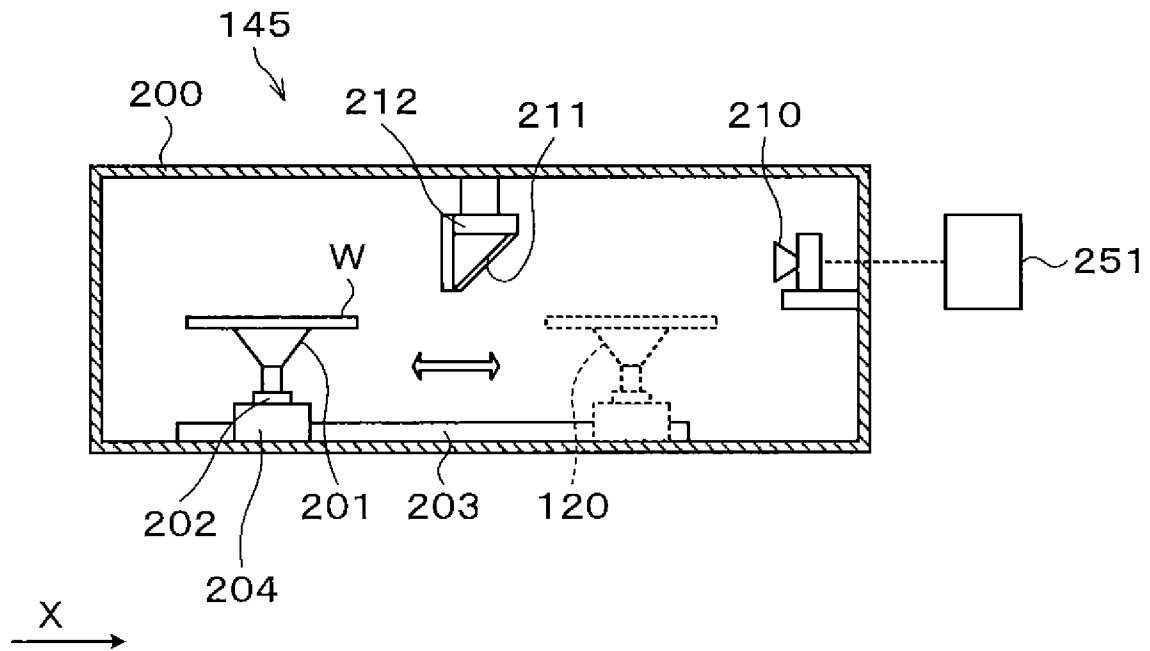
[図4]



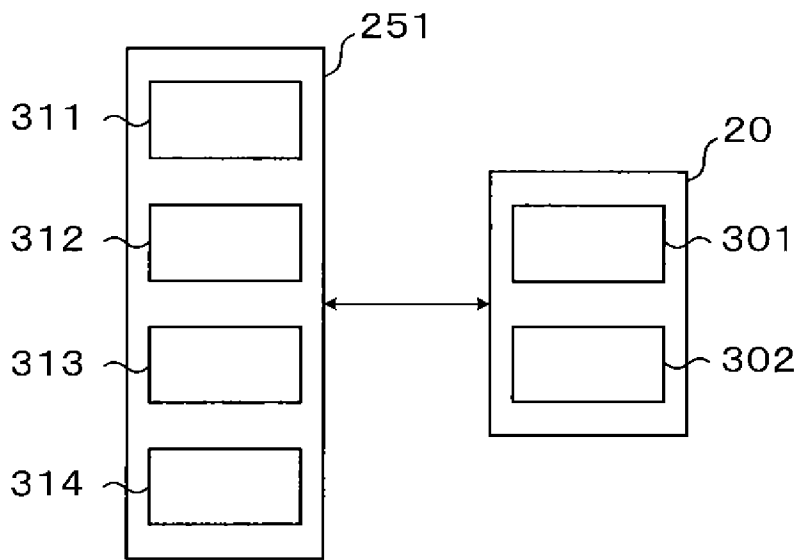
[図5]



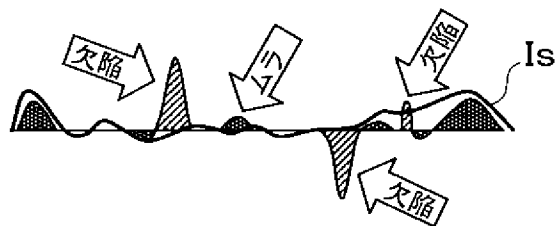
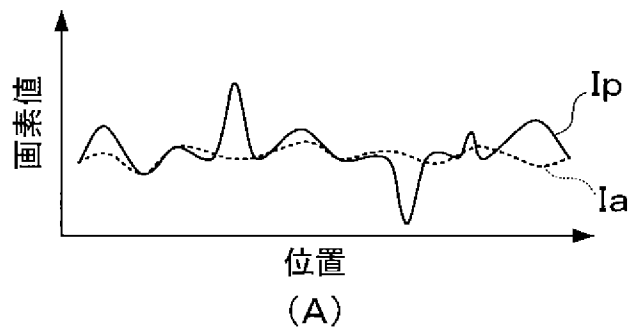
[図6]



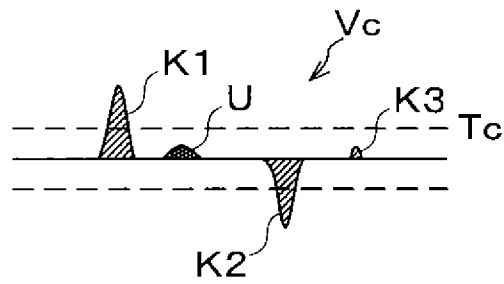
[図7]



[図8]

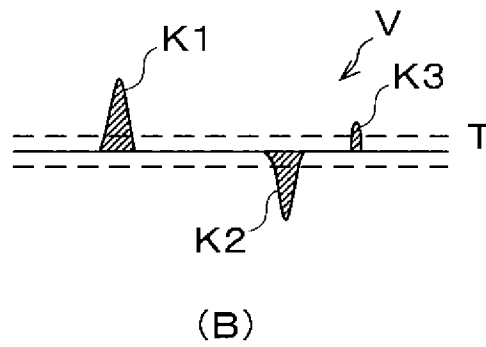
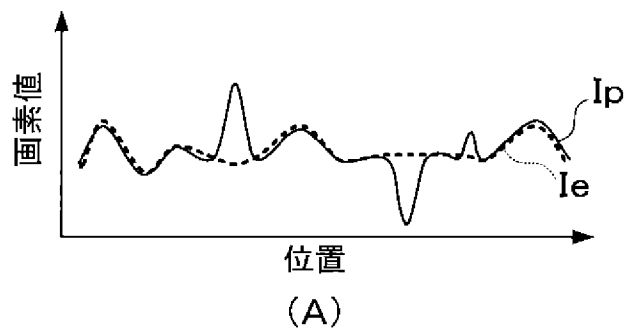


(B)

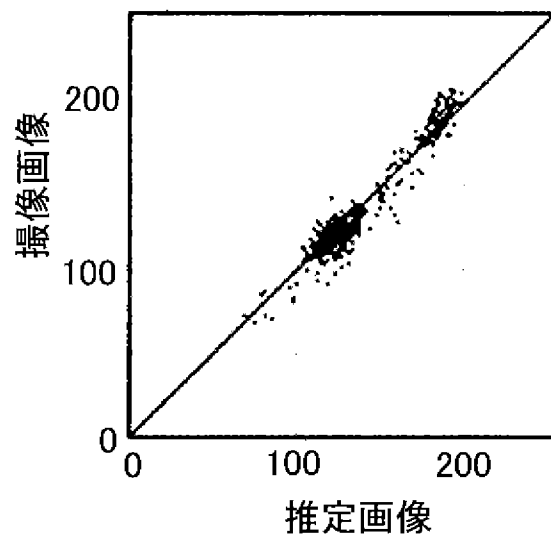


(C)

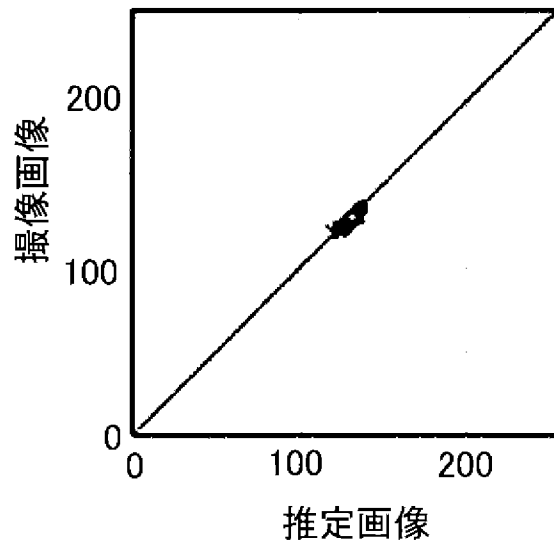
[図9]



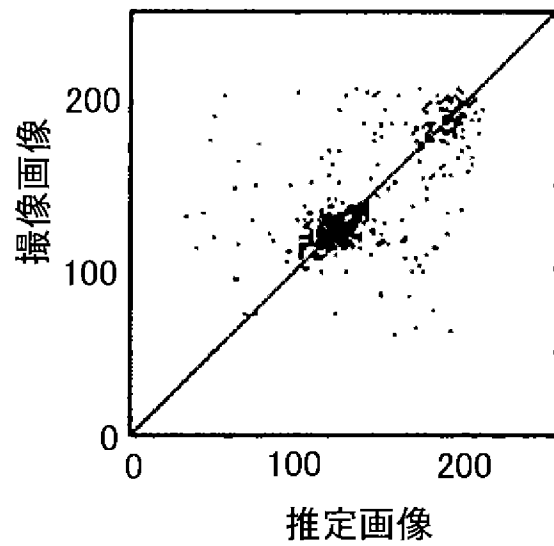
[図10]



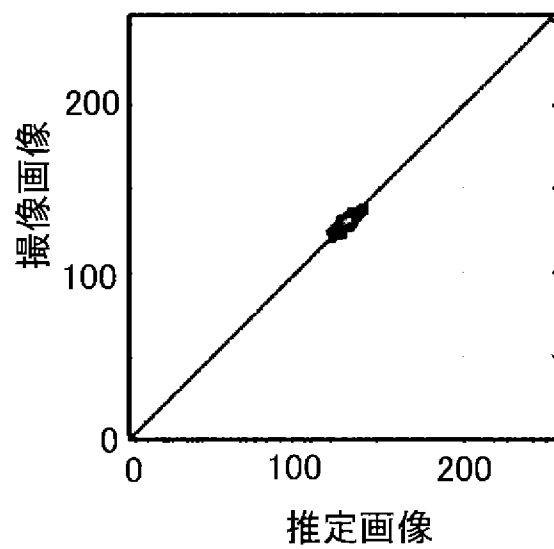
[図11]



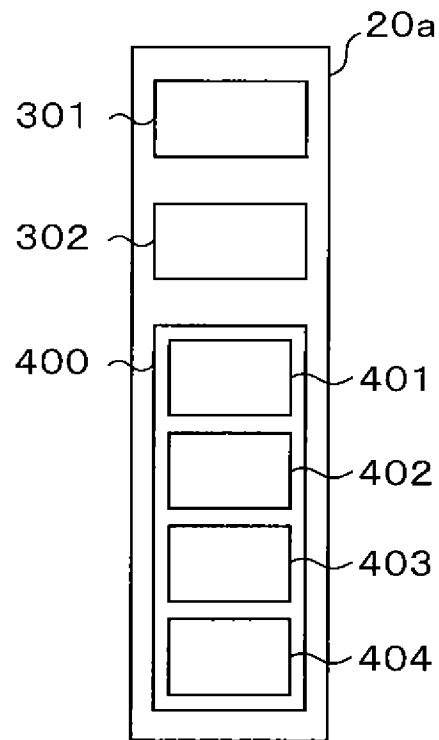
[図12]



[図13]

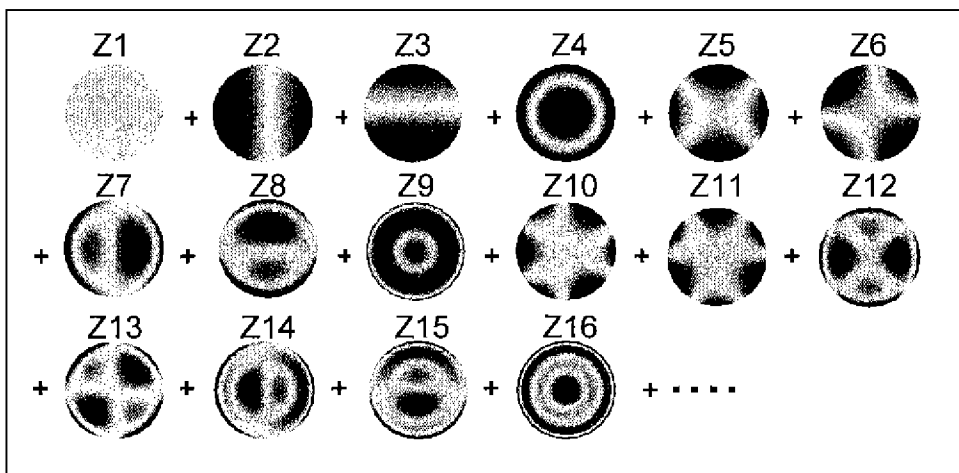
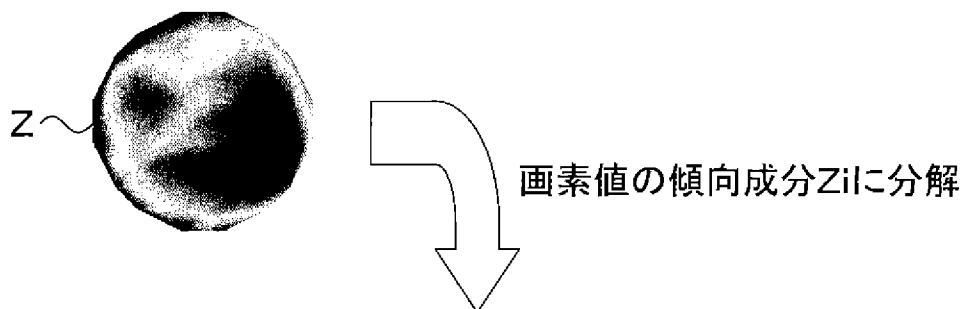


[図14]

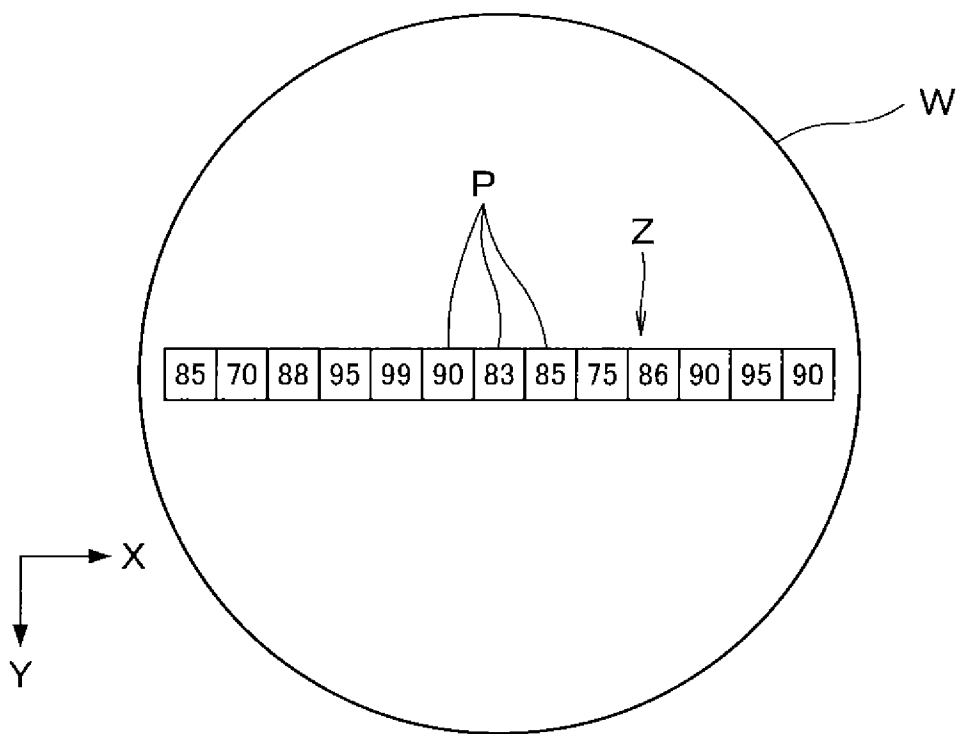


[図15]

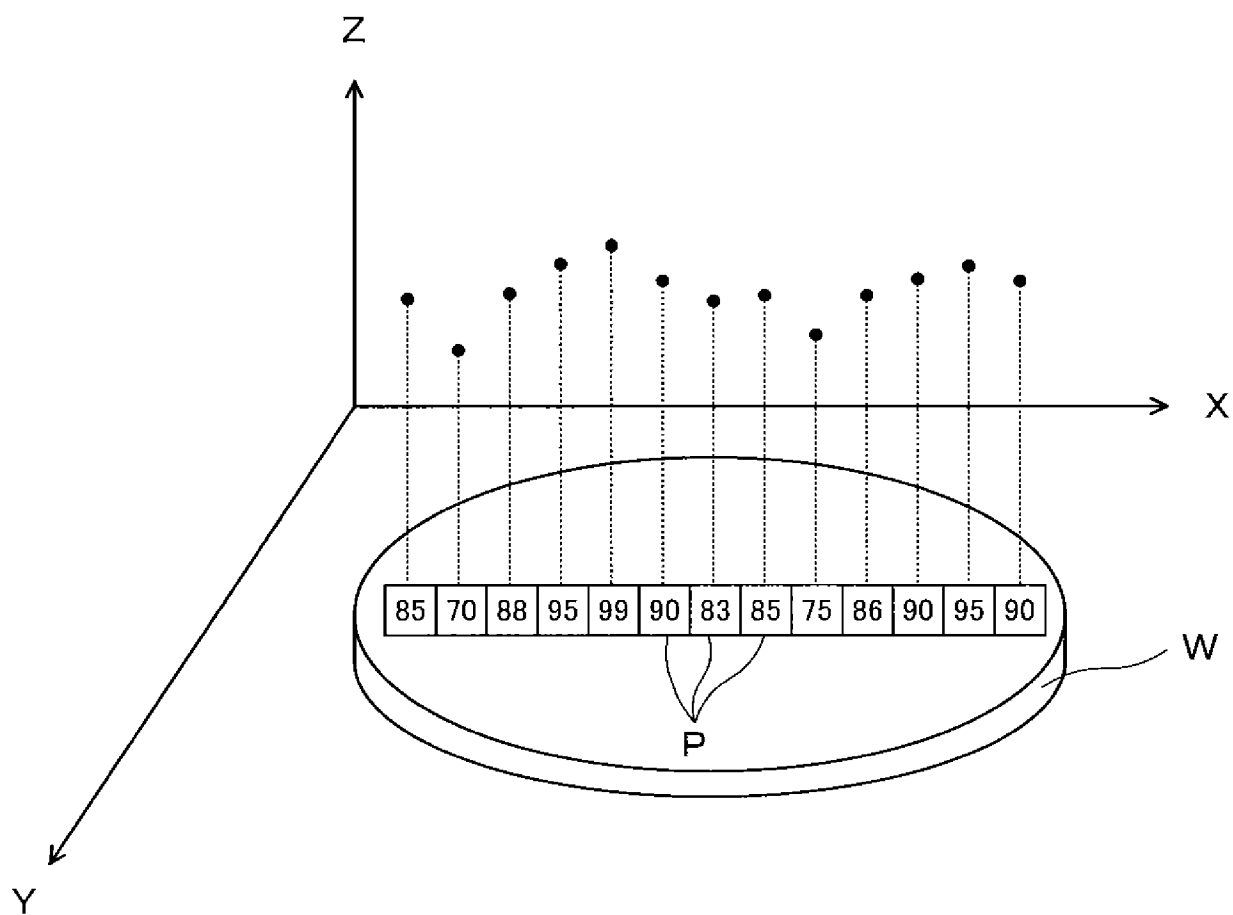
ウェハ面内の画素値の傾向



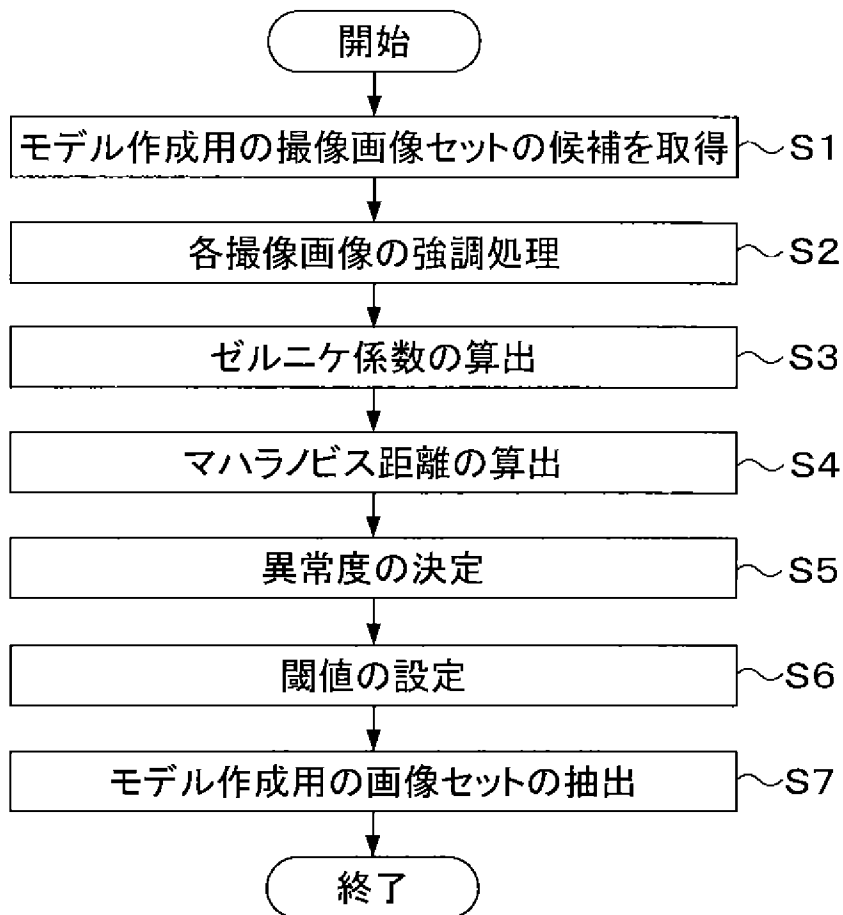
[図16]



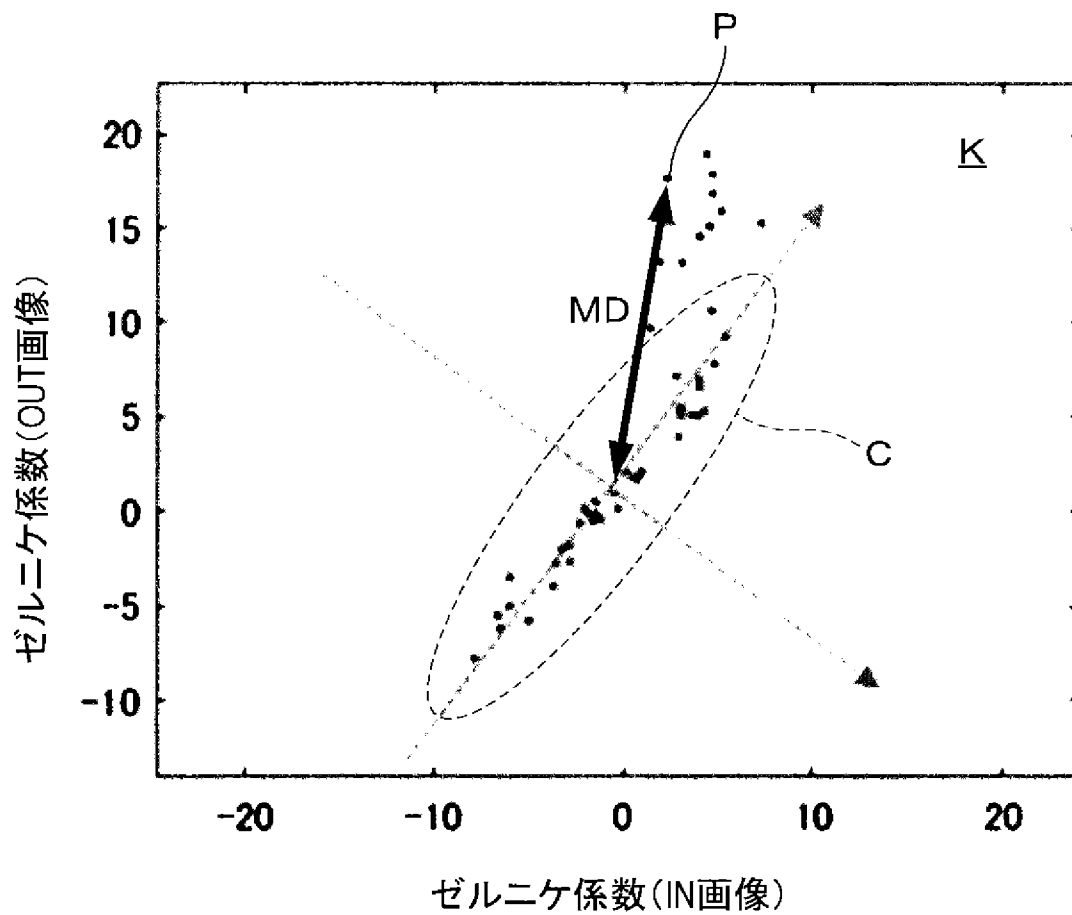
[図17]



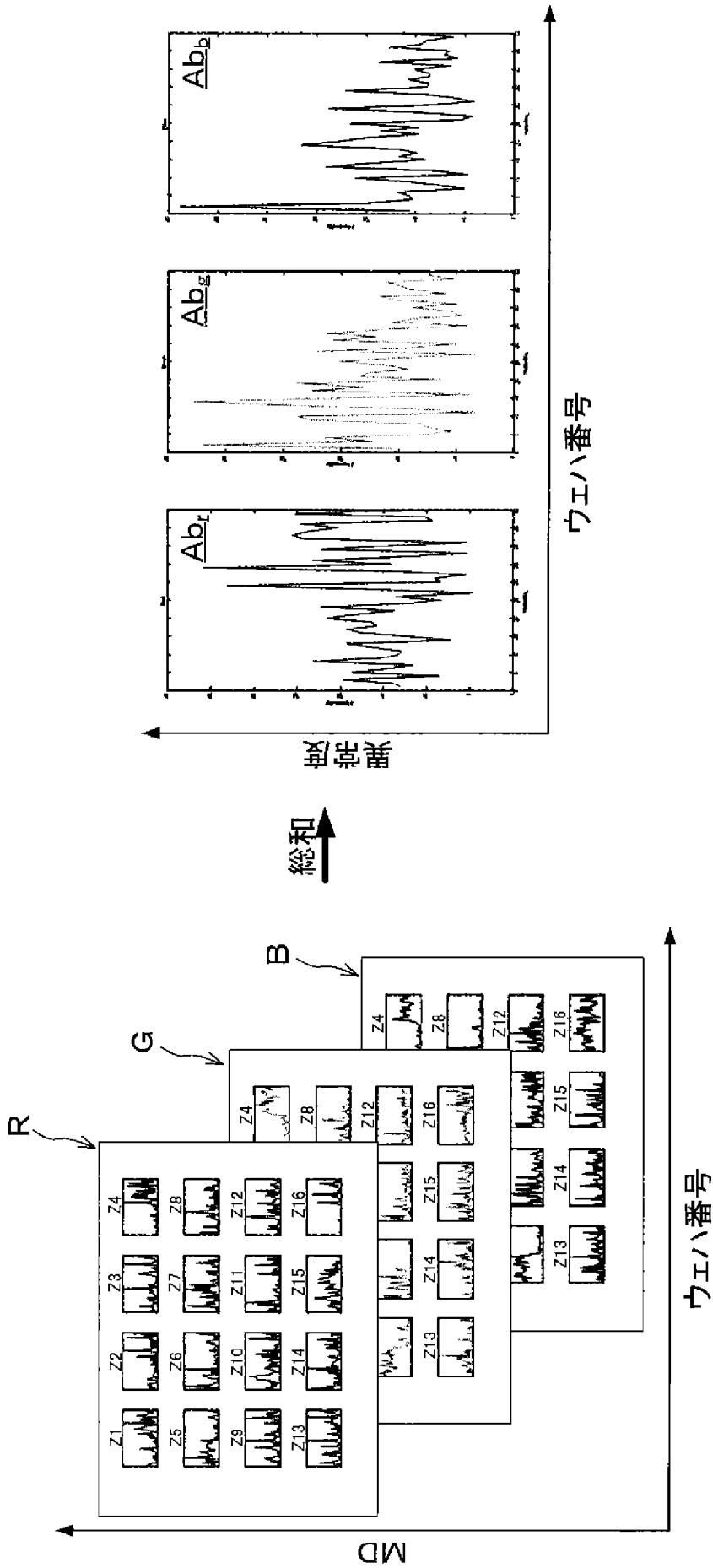
[図18]



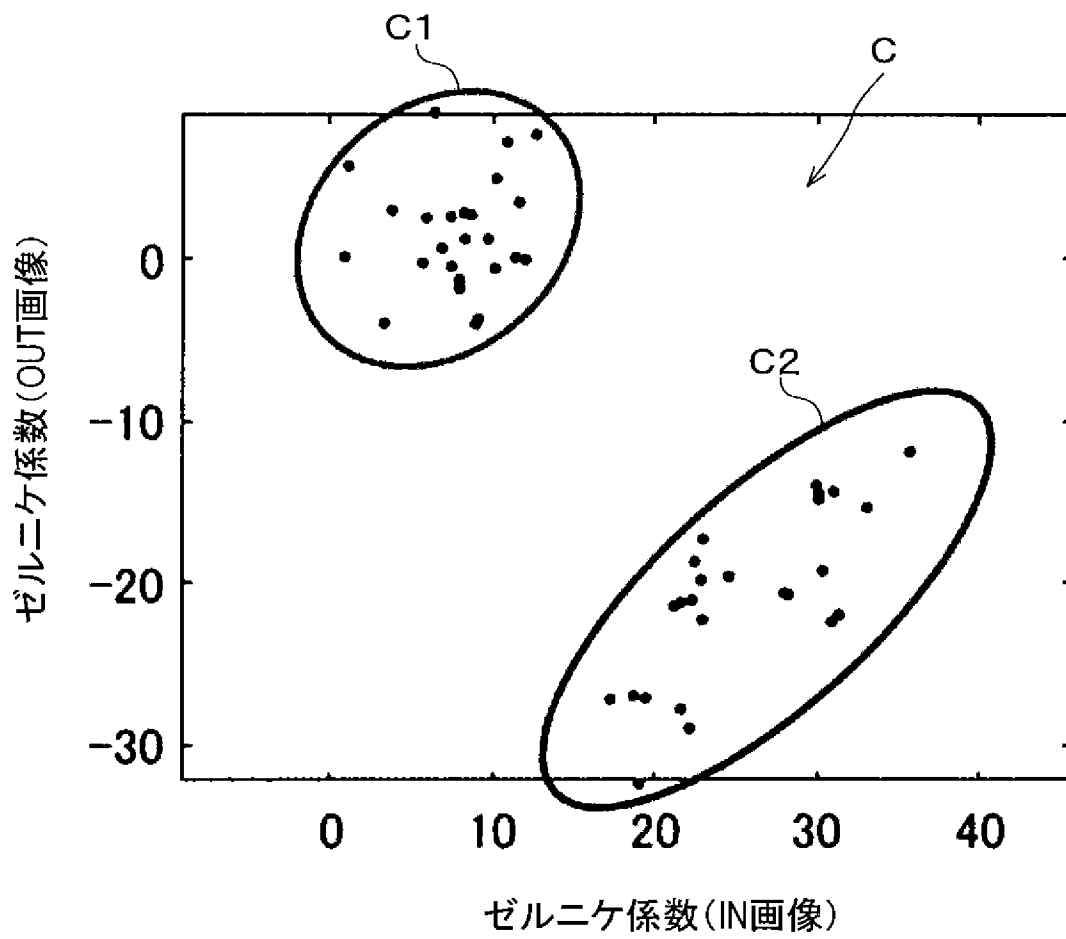
[図19]



[図20]



[図21]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/021160

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G03F 7/20(2006.01)i; G01N 21/956(2006.01)i; G06T 7/00(2017.01)i; H01L 21/66(2006.01)i
 FI: H01L21/66 J; G06T7/00 350B; G06T7/00 610C; G03F7/20 521; G01N21/956 A

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 G03F7/20; G01N21/956; G06T7/00; H01L21/66

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2020
Registered utility model specifications of Japan	1996-2020
Published registered utility model applications of Japan	1994-2020

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2018/211891 A1 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 22.11.2018 (2018-11-22) paragraphs [0034]-[0038], [0044], [0047]-0054], fig. 1, 4	1-14
A	篠崎 隆志, GAN - 敵対的生成ネットワークの発展, 人工知能第 33 巻 第 2 号, 01 March 2018, pp. 181-188, in particular, see page 183, right column, lines 15-28, fig. 9, (SHINOZAKI, Takashi, "Recent Progress of GAN : Generative Adversarial Network", Journal of the Japanese Society for Artificial Intelligence vol. 33, no. 2)	1-14
A	JP 2018-56575 A (TOKYO ELECTRON LTD.) 05.04.2018 (2018-04-05) entire text, all drawings	1-14

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
 07 August 2020 (07.08.2020)

Date of mailing of the international search report
 18 August 2020 (18.08.2020)

Name and mailing address of the ISA/
 Japan Patent Office
 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
 Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

 Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2020/021160

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
WO 2018/211891 A1	22 Nov. 2018	(Family: none)	
JP 2018-56575 A	05 Apr. 2018	(Family: none)	

<p>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G03F 7/20(2006.01)i; G01N 21/956(2006.01)i; G06T 7/00(2017.01)i; H01L 21/66(2006.01)i FI: H01L21/66 J; G06T7/00 350B; G06T7/00 610C; G03F7/20 521; G01N21/956 A</p>														
<p>B. 調査を行った分野</p> <p>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） G03F7/20; G01N21/956; G06T7/00; H01L21/66</p> <p>最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの</p> <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2020年</td> </tr> </table> <p>国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）</p>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2020年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2020年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2020年				
日本国実用新案公報	1922 - 1996年													
日本国公開実用新案公報	1971 - 2020年													
日本国実用新案登録公報	1996 - 2020年													
日本国登録実用新案公報	1994 - 2020年													
<p>C. 関連すると認められる文献</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリー*</th> <th>引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示</th> <th>関連する 請求項の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>WO 2018/211891 A1 (住友電気工業株式会社) 22.11.2018 (2018 - 11 - 22) 段落[0034]-[0038], [0044], [0047]-0054]、図1,4</td> <td>1-14</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>篠崎 隆志, GAN-敵対的生成ネットワークの発展, 人工知能 第33巻 第2号, 2018.03.01, pp.181-188 特に第183頁右欄第15-28行、図9を参照。</td> <td>1-14</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2018-56575 A (東京エレクトロン株式会社) 05.04.2018 (2018 - 04 - 05) 全文、全図</td> <td>1-14</td> </tr> </tbody> </table>			引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号	A	WO 2018/211891 A1 (住友電気工業株式会社) 22.11.2018 (2018 - 11 - 22) 段落[0034]-[0038], [0044], [0047]-0054]、図1,4	1-14	A	篠崎 隆志, GAN-敵対的生成ネットワークの発展, 人工知能 第33巻 第2号, 2018.03.01, pp.181-188 特に第183頁右欄第15-28行、図9を参照。	1-14	A	JP 2018-56575 A (東京エレクトロン株式会社) 05.04.2018 (2018 - 04 - 05) 全文、全図	1-14
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号												
A	WO 2018/211891 A1 (住友電気工業株式会社) 22.11.2018 (2018 - 11 - 22) 段落[0034]-[0038], [0044], [0047]-0054]、図1,4	1-14												
A	篠崎 隆志, GAN-敵対的生成ネットワークの発展, 人工知能 第33巻 第2号, 2018.03.01, pp.181-188 特に第183頁右欄第15-28行、図9を参照。	1-14												
A	JP 2018-56575 A (東京エレクトロン株式会社) 05.04.2018 (2018 - 04 - 05) 全文、全図	1-14												
<p><input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</p>														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>"T" 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</td> <td>"X" 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>"E" 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの</td> <td>"Y" 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>"L" 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）</td> <td>"&" 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"P" 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	"T" 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	"X" 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの	"E" 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	"Y" 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの	"L" 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	"&" 同一パテントファミリー文献	"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		"P" 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献	
* 引用文献のカテゴリー	"T" 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの													
"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	"X" 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの													
"E" 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	"Y" 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの													
"L" 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	"&" 同一パテントファミリー文献													
"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献														
"P" 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献														
<p>国際調査を完了した日</p> <p>07.08.2020</p>	<p>国際調査報告の発送日</p> <p>18.08.2020</p>													
<p>名称及びあて先</p> <p>日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号</p>	<p>権限のある職員（特許庁審査官）</p> <p>堀江 義隆 5F 9172</p> <p>電話番号 03-3581-1101 内線 3516</p>													

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2020/021160

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO 2018/211891 A1	22.11.2018	(ファミリーなし)	
JP 2018-56575 A	05.04.2018	(ファミリーなし)	