

(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
2019年9月6日(06.09.2019)



(10) 国際公開番号

WO 2019/167129 A1

(51) 国際特許分類:

G01N 21/956 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2018/007297

(22) 国際出願日: 2018年2月27日(27.02.2018)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: 株式会社日立ハイテクノロジーズ (**HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目24番14号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 高木 裕治(**TAKAGI Yuji**); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 大谷 祐子(**OTANI Yuko**); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP).

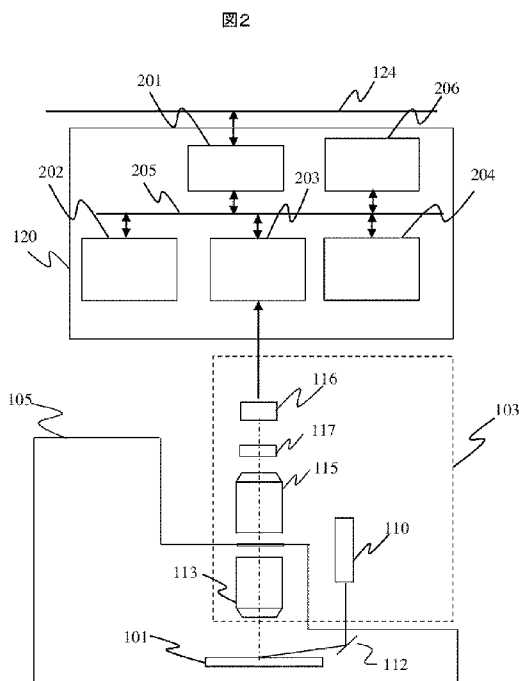
(74) 代理人: 青稜特許業務法人 (**SEIRYO I.P.C.**); 〒1040032 東京都中央区八丁堀二丁目24番2号 Tokyo (JP).

(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, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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,

(54) **Title:** DEFECT DETECTION DEVICE, DEFECT DETECTION METHOD, AND DEFECT OBSERVATION DEVICE

(54) 発明の名称: 欠陥検出装置、欠陥検出方法および欠陥観察装置



(57) **Abstract:** Provided is a defect detection device capable of using a compact optical system to detect a plurality of types of defects with high sensitivity and speed. This defect detection device comprises: an irradiation system for irradiating light onto an object to be inspected, an optical system for forming scattered light produced by the light irradiation into an image, a microlens array disposed at the image plane of the optical system, an imaging element that is disposed at a position offset from the imaging plane of the optical system and is for imaging light that has passed through the microlens array, a mask image storage unit for storing a plurality of mask images generated for each type of defect or each defect direction, and a calculation unit for using the plurality of mask images to carry out mask processing on an image obtained from the imaging element and carrying out defect detection processing.



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)）

(57) 要約：コンパクトな光学系を用いて、複数種類の欠陥を高感度かつ高速に検出することができ、欠陥検出装置を提供する。被検査物に光を照射する照射系と、光の照射により発生した散乱光を結像する光学系と、前記光学系の結像面に配置されたマイクロレンズアレイと、前記光学系の結像面からずらした位置に配置され、前記マイクロレンズアレイを通過した光を撮像する撮像素子と、欠陥種類ごとに、あるいは欠陥の方向ごとに生成した複数のマスク画像を記憶するマスク画像記憶部と、前記撮像素子より得られた画像に、前記複数のマスク画像でマスク処理を実行し、欠陥検出処理を行う演算部と、を有する欠陥検出装置である。

明 細 書

発明の名称：欠陥検出装置、欠陥検出方法および欠陥観察装置 技術分野

[0001] 本発明は、半導体パターン無しベアウェーハ、半導体パターン無し膜付ウェーハ等の被検査物の表面の欠陥等を検査する欠陥検出装置、欠陥検出方法およびこれを備えた欠陥観察装置に関する。

背景技術

[0002] 半導体製造工程における、半導体ウェーハ上の異物欠陥、パターン欠陥などの欠陥検査は、外観検査装置による欠陥位置検出と、欠陥観察装置による欠陥観察により行われ、欠陥の観察結果に基づき対策すべき工程を絞り込んでいる。半導体パターンの微細化が進み、微細な欠陥も歩留まりに影響を与えるため、観察装置にはSEM（Scanning Electron Microscope：走査型電子顕微鏡）が使われる。外観検査装置とSEM式の観察装置は別の装置でありステージ座標のズレがあるため、外観検査装置で検出した欠陥位置情報のみを使って、SEM式の観察装置の視野に欠陥の位置出しを行うことは難しい。

[0003] 特にパターン無しウェーハの検査装置では、検査のスループットを上げるために、レーザビームのスポットサイズを大きくして半導体基板表面を照射し、その散乱光から欠陥位置を検出するため、欠陥位置座標には大きな誤差成分を含む。このような大きな誤差成分を含んだ欠陥の位置情報に基づいてSEMを用いて欠陥を詳細に観察しようとする、光学式の異物検査装置よりも遥かに高い倍率で観察するSEMの視野内に欠陥を納めることは困難になる。

[0004] これを解決する方法として特許文献1には、SEMによるパターン無しウェーハの欠陥観察を行うに際して、観察装置に搭載された、暗視野光学顕微鏡で欠陥の位置検出を行い、検出した位置座標を用いてSEMの観察像の撮像を行う方法が開示されている。また、パターン無しウェーハ上にある欠陥

を高感度に検出する方法として、暗視野顕微鏡の検出光路上に空間フィルタを入れた上でウェーハ上の欠陥位置を検出する方法が開示されている。特許文献2には、種類の異なる欠陥を高感度かつ高速に検出するために、液晶フィルタやデジタル・ミラー・デバイスなどの、電氣的制御可能な空間フィルタを用いる方法が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2011-106974号公報

特許文献2：特開2015-59776号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] SEMによるパターン無しウェーハの欠陥観察では、光学顕微鏡による欠陥位置出しのための再検出が、複数種類の欠陥に対して高感度に、かつ高スループットに実行可能であることが望まれている。

[0007] 特許文献1には、空間フィルタを検出光路の瞳面に持つ暗視野光学系を搭載した欠陥観察用の電子顕微鏡の構成が開示されている。しかしながら、特許文献1には、欠陥の検出は特定の空間フィルタでの検出しか開示されておらず、複数種類の欠陥を検出することは考慮されていない。

[0008] 特許文献2には、複数種類の欠陥に対応し、空間フィルタの切り替えを高速に行う方法として、液晶フィルタやデジタル・ミラー・デバイスを用いる方法が開示されている。しかしながら、液晶フィルタでは光の透過率の問題から欠陥検出感度が低下し、また、液晶フィルタやデジタル・ミラー・デバイスは対物レンズと結像レンズの間の光路中に入れて使用するため、特にデジタル・ミラー・デバイスの組み込みは構造が複雑になり光学系を小型化するのが困難である。また、フィルタを切り替えながら複数の画像を撮像する必要があるため、撮像回数を減らせず、検出時間を短縮することは考慮されていない。

[0009] 本発明は、コンパクトな光学系を用いて、複数種類の欠陥を高感度かつ高速に検出することができる欠陥検出装置と欠陥検出方法、およびそれを利用した欠陥観察装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0010] 上記課題を解決するための、本発明の「欠陥検出装置」の一例を挙げるならば、被検査物に光を照射する照射系と、光の照射により発生した散乱光を結像する光学系と、前記光学系の結像面に配置されたマイクロレンズアレイと、前記光学系の結像面からずらした位置に配置され、前記マイクロレンズアレイを通過した光を撮像する撮像素子と、欠陥種類ごとに、あるいは欠陥の方向ごとに生成した複数のマスク画像を記憶するマスク画像記憶部と、前記撮像素子より得られた画像に、前記複数のマスク画像でマスク処理を実行し、欠陥検出処理を行う演算部と、を有する欠陥検出装置である。

[0011] また、本発明の「欠陥検出方法」の一例を挙げるならば、被検査物に光を照射する照射系と、光の照射により発生した散乱光を結像する光学系と、前記光学系の結像面に配置されたマイクロレンズアレイと、前記光学系の結像面からずらした位置に配置され、前記マイクロレンズアレイを通過した光を撮像する撮像素子とを用いる欠陥検出方法であって、欠陥種類ごとに、あるいは欠陥の方向ごとに生成された複数のマスク画像を記憶するステップと、前記撮像素子より得られた画像に、前記複数のマスク画像によりマスク処理を行うステップと、マスク処理を行った画像により欠陥検出を行うステップとを有するものである。

[0012] また、本発明の「欠陥観察装置」の一例を挙げるならば、SEMと光学顕微鏡と画像処理部とを備える欠陥観察装置であって、前記光学顕微鏡は、試料に光を照射する照射系と、光の照射により発生した散乱光を結像する光学系と、前記光学系の結像面に配置したマイクロレンズアレイと、前記光学系の結像面からずらした位置に配置され、前記マイクロレンズアレイを通過した光を撮像する撮像素子とを備え、前記画像処理部は、欠陥の種類ごとに、あるいは欠陥の方向ごとに生成した複数のマスク画像を記憶するマスク画像

記憶部と、前記撮像素子で撮像した撮像画像を記憶する画像記憶部と、前記マスク画像と前記撮像画像を用いて試料の欠陥位置を算出する演算部を備えるものである。

発明の効果

- [0013] 本発明によれば、複数種類の欠陥を高感度かつ高速に検出することができる。また、従来のように対物レンズと結像レンズの間に瞳面を作り空間フィルタを配置する必要がないので、光学系を小型化できる。
- [0014] 本欠陥検出装置をSEM観察装置に搭載することにより、光学検査装置で検出される多種類の欠陥をSEMの観察視野内に確実に入れることが可能となり、SEM観察画像の自動撮像の成功率が向上し、SEMでの欠陥自動撮像のスループットも向上する。

図面の簡単な説明

- [0015] [図1]実施例1の欠陥観察装置の一例を示す構成図である。
- [図2]実施例1の画像処理回路の内部構成図である。
- [図3]実施例1の光学系による検出方法の説明図である。
- [図4]図3の光学系の一部拡大図である。
- [図5]ウェーハ散乱光の瞳面における光強度分布図である。
- [図6]微小異物欠陥による散乱光の瞳面における光強度分布図である。
- [図7]微小異物欠陥検出のための従来の空間フィルタを示す図である。
- [図8]微小異物欠陥検出用のマスク画像の一例を示す図である。
- [図9]1枚のマスク画像での光学顕微鏡視野内における欠陥位置の検出処理のフロー図である。
- [図10]マイクロレンズアレイにおけるレンズ番号と座標の例示図である。
- [図11]複数枚のマスク画像による光学顕微鏡視野内における欠陥位置の検出処理のフロー図である。
- [図12]光学顕微鏡による欠陥位置補正結果を利用したSEM撮像の全体フローチャートである。
- [図13]本発明の実施例2の欠陥観察装置の、全体フローチャートである。

発明を実施するための形態

[0016] 以下、本発明の実施の形態を図面を用いて詳細に説明する。

実施例 1

[0017] 図 1 に、本発明の実施の形態における欠陥観察装置の一例を示す。本実施形態の欠陥観察装置は、半導体デバイスの製造工程において発生するウェーハ上の欠陥を観察する装置に適用したものである。

[0018] 101 は被検査物であるウェーハである。102 はウェーハ101 を詳細観察する電子顕微鏡（以下、SEMと記述）である。103 はウェーハ101 上の欠陥を光学的に検出して、その欠陥位置情報を取得する光学顕微鏡である。104 はウェーハ101 を載置可能なステージであり、ウェーハ101 の任意の場所をSEM102 及び光学顕微鏡103 の視野内に移動可能とするものである。105 は真空槽であり、SEM102、ステージ104、光学顕微鏡103 の対物レンズ113 はこの中に納められている。

[0019] 光学顕微鏡103 の内部を説明する。110 は照明光源である。照明光源110 より出射されたレーザ光は真空封し窓111 を通り、照明位置を制御するミラー112 で反射し、ウェーハ101 表面上の任意の位置に照射される。113 は試料101 より反射した散乱光を採光する為の対物レンズである。対物レンズ113 を通った光は真空封し窓114 を通り、結像レンズ115 によりマイクロレンズアレイ117 上に結像された後、撮像素子116 で電気信号に変換される。マイクロレンズアレイ117 とは、格子状に微小レンズを配列したレンズユニットである。図1 では真空槽105 の内側に対物レンズ113、外側に結像レンズ115 を配置する構成を示したが、試料101 からの散乱光をマイクロレンズアレイ117 上に結像でき、かつ真空槽105 の真空を破らないものであれば、一体型のレンズであって真空槽105 の内側、あるいは外側、あるいは内外両側にまたがるものであっても構わない。

[0020] 制御部106 は、ステージ制御回路118、SEM撮像素子制御回路119、画像処理回路120、外部入出力 I/F 121、CPU 122、メモリ 12

3より構成され、これらはバス124に接続され、相互に情報の入出力が可能となっている。ステージ制御回路118によりステージ104の制御が行われ、SEM撮像素子制御回路119によりSEM102の制御及び検出画像信号のメモリ123への記憶を行う。画像処理回路120は、光学顕微鏡103の撮像素子116から得られる画像データを演算処理し、撮像画像内の欠陥位置を検出する。外部入出力I/F121は、端末107への表示情報出力及び、端末107からの情報入力、記憶装置108への情報入出力、ネットワーク109を介して図示しない欠陥検査装置や上位管理システムなどの情報入出力を行う。メモリ123に記憶された画像データはCPU122により演算処理される。

[0021] 以上のように構成される欠陥観察装置において、特に、光学顕微鏡103は、欠陥検査装置（図示せず）で検出した欠陥の位置情報を用いて、ウェーハ101上の欠陥の位置を再検出（以下、検出と記述）する機能を有し、制御部106は光学顕微鏡103で検出された欠陥の位置情報に基づいて欠陥の位置情報を補正する位置補正手段としての機能を有し、SEM102は制御部106で補正された欠陥位置情報に基づき、欠陥を観察する機能を有する構成となっている。ステージ104は、光学顕微鏡103で検出した欠陥がSEM102で観察できるように移動できる構成となっている。

[0022] 図2に、画像処理回路120の詳細を示す。画像処理回路120はデータI/F201、マスク画像データ記憶部202、画像情報記憶部203、演算部204、欠陥分類部206から構成され、これらは内部バス205に接続している。光学顕微鏡103で得られた画像は画像情報記憶部203で記憶される。マスク画像データ記憶部202にはマスク画像が予め登録されている。演算部204は、画像情報記憶部203に記憶された画像データと、マスク画像データ記憶部202に記憶されたマスク画像を用いて演算処理を行い、光学顕微鏡103で検出した画像内の欠陥位置を特定する。欠陥分類部206は、図13の説明で後述するように、選択されたマスク画像に基づいて欠陥種類を分類する。データI/F201は、内部バス205と、制御

部 106 内のバス 124 とに接続され、画像処理回路 120 と、制御部 106 の中の他の処理部との間でのデータ授受を行う。

[0023] 図 3 および図 4 を用いて本光学系におけるマイクロレンズアレイの作用を説明する。図 4 は、図 3 の 303 で示した部分の拡大図である。図 3 は、ウェーハ 101 上の点 300 および 301 から出た光線の撮像素子 116 までの光路を示す図である。図 3 では光学系を対物レンズ 113 と結像レンズ 115 に分け、対物レンズ 113 と結像レンズ 115 の間に作られる瞳領域に空間フィルタ 302 を示しているが、ここに示す空間フィルタ 302 は仮想的なものであり、本構成のマイクロレンズアレイの作用が従来の空間フィルタと同等の効果を持つことを説明するために描いたものである。点 300 から出た光線は、空間フィルタの開口部を通過する太い実線で示す光線（図 4 の 400 に対応）と、空間フィルタ 302 で遮蔽される細い実線で示す光線に分かれる。図 3 では説明のために、空間フィルタ 302 で遮蔽された後も光路を細い実線で示している（図 4 の 401 に対応）。

[0024] 図 4 のマイクロレンズ 410、411 はマイクロレンズアレイ 117 を構成するレンズであり、ウェーハの結像面に置かれている。図より、マイクロレンズ 410 はウェーハ 101 上の点 300 の位置に対応し（400 及び 401 は、ウェーハ 101 上の点 300 から出射した光の光路である）、マイクロレンズ 410 を通過した光が入射する撮像素子の画素 404、405、406 は、各光線が結像レンズ 115 の通過した位置に対応する。対物レンズ 113 と結像レンズ 115 の間に作られる瞳空間では、光線は平行になっているので、画素 404、405、406 は瞳面の空間位置に対応する。すなわち、図 3 の空間フィルタ 302 の例では、空間フィルタの開口部分は画素 404、405 に対応し、遮蔽部分は画素 406 に対応する。これより空間フィルタ 302 を置かなくても撮像素子 116 で受光後、従来、空間フィルタ 302 により遮蔽されていた光線が入射する画素を無効化する処理を行えば、マイクロレンズ 410 に対応する微小な領域において、空間フィルタ 302 と等価な効果を得ることができる。図 4 では有効とする画素 404、

405を白い四角、無効とする画素406を黒い四角で示している。

[0025] 図3、図4ではマイクロレンズアレイ117、撮像素子116を1次元的に示しているが、実際にはマイクロレンズアレイ117はマイクロレンズが格子状に面的な広がりを持ち、撮像素子116はエリアセンサである。図4のマイクロレンズ410に対応する1列3画素で示す部分は、欠陥の種類ごとの空間フィルタ形状を実用的に表現できる平面画素数で構成すればよい。同様にしてウェーハ101上の点301には、マイクロレンズ411と撮像素子の画素407、408、409が対応する。このようにして、例えば $N \times N$ 個のマイクロレンズで構成されるマイクロレンズアレイを利用すれば、ウェーハ上の視野全体を $N \times N$ の解像度で検出でき、また空間フィルタを $M \times M$ の解像度で表現するためには、有効画素数 $N \times N \times M \times M$ のエリアセンサで撮像すればよい。以降、マイクロレンズアレイは $N \times N$ で構成され、1個のマイクロレンズの視野を $M \times M$ 画素で撮像するものとする。

[0026] 特許文献1の図21(a)には、散乱光シミュレーションを用いて算出されたウェーハ表面からの散乱光のラジアル偏光(P偏光)成分と、アジマス偏光(S偏光)成分の強度分布が開示されている。図5は両者の強度を合計したもので、ウェーハからの散乱光により観察される光強度分布の模擬図である。散乱光強度が強いほど白く描いている。

[0027] 同じく、特許文献1の図21(b)には、直径18nmの球状異物からの散乱光のラジアル偏光(P偏光)成分と、アジマス偏光(S偏光)成分の強度分布が開示されている。図6は両者の強度を合計したもので、直径18nmの球状異物の散乱光により観察される光強度分布の模擬図である。図5と同様に散乱光強度が強いほど白く描いている。

[0028] 図7は特許文献1の図34に開示されている空間フィルタの遮光板のひとつを示すものであり、図5に示したウェーハからの散乱光と、図6に示した球状異物からの散乱光を弁別するものである。黒の部分が遮蔽部、白の部分が開口部である。図7の遮蔽部、開口部と、図5、図6の光強度分布を比較すると、図5のウェーハからの散乱光の大部分は空間フィルタで遮蔽され、

図6の球状異物からの散乱光の右半分は開口部を通過する。この結果、空間フィルタ通過後の散乱光は球状異物からのものが大部分となり、ウェーハ上の異物からの散乱光から、異物の散乱光を高感度に取り出すことができる。

[0029] 図5および図6の強度分布は、図3における対物レンズ113と結像レンズ115の間の空間の断面で観察されるものであるが、図3の点300に直径18nmの球状異物があるとすれば、図4に示すマイクロレンズ410に対応する撮像素子上でも、図5と図6の光の強度分布が生じ、その結果として対象の微小領域に対応する光強度分布画像を得ることができる。

[0030] 図8は図7の空間フィルタを $M \times M$ の解像度で画像化したものである。これがマスク画像であり、図2のマスク画像データ記憶部202に記憶されるものである。図8に示す画素の値を黒は0、白を1とする。対物レンズ113と結像レンズ115の間の空間断面で観察される像は、撮像素子上では上下左右反転するので、実際は図8の上下左右も反転する。

[0031] 以下、図9のフローチャートに従って、1枚のマスク画像での光学顕微鏡視野内における欠陥位置の検出処理を説明する。図4に示すマイクロレンズ410を通して得られた対象の微小領域の光強度分布画像に対しマスク処理を施す。すなわち、微小領域光強度分布画像（以降、微小領域画像）の図8の黒の画素に対応する画素を0に、白の画素に対応する画素は元の画素値を残す（S902）。これにより、従来の空間フィルタによる光の遮蔽と同様の効果を得ることができる。同様の処理を $N \times N$ 個全てのマイクロレンズに対応する微小領域画像に対し行い、処理後の $N \times N$ 枚の微小領域画像の中から、最大輝度、ないし近傍画素を含む平均で最大輝度を有する微小領域画像を選択する（S905）。本光学系の検出視野は $N \times N$ のマイクロレンズアレイで決まっているので、最大輝度を有する微小領域画像に対応するマイクロレンズの位置により、検出視野内の欠陥位置を特定することができる（S908）。ただしS908の $\text{round}()$ は除算の結果の整数部を表すこととし、 $\text{mod}()$ は剰余数を表すこととする。

[0032] また、図10に、マイクロレンズアレイのマイクロレンズの番号と X 、 Y

座標の割り付け方の一例を示す。例えば図9でMAX_POSITIONがN+2である場合は、Y=2、X=2となる。視野内の位置を実際の座標値に変換するためには、求めたX、Yに画素ピッチと結像倍率を乗じればよい。さらに光学顕微鏡103の視野中心と、ステージ104の原点との相対位置関係をキャリブレーションで定めておけば、光学系視野内の欠陥座標位置をステージ104の座標に変換でき、光学顕微鏡103で検出した欠陥位置より、欠陥をSEM102の視野中心に位置出しすることができる。

[0033] 欠陥の種類だけでなく、欠陥の方向によっても散乱光の強度分布が変化する。そのために、欠陥の方向に対応して複数のマスク画像を準備すれば、これに対応することができる。本発明の方法によれば、複数の種類の欠陥や複数の欠陥の方向に対するマスク画像を予め準備し、検出した微小領域光強度分布画像にマスク処理を施すことによりこれを実現できる。

[0034] 図11のフローチャートに従って、複数枚のマスク画像による光学顕微鏡視野内における欠陥位置の検出処理の内容を説明する。検出する欠陥種類の数をRとし、対応するマスク画像を準備する(S1101)。各マスク画像をマスク画像(r)と表すことにする。S1102からS1108まではマスク画像(r)に対する処理で、図9で説明した内容と同じものである。最大輝度値MAX_VAL(r)とMAX_POSITION(r)を記録しながら(S1106)、全てのマスクを処理するまで繰り返す(S1110)。全てのマスク処理が終了したら、S1111からS1115のステップで、最大輝度を持つ画像番号(max_r)を検出する(S1113)。max_rから検出視野内の欠陥位置を特定する(S1116)。欠陥位置の特定方法は図9で説明したものと同様である。

[0035] 以上の説明では最大輝度値MAX_VAL(r)を記録するとしたが、記録する最大輝度値は、マスク画像の1（空間フィルタの開口部に対応する部分）の面積で正規化されたもの、欠陥種類ごとに予め定めた係数を乗じたもの、あるいはマスク処理後の画像の輝度値を正規化した後に得られる最大輝度値、などによりMAX_VAL(r)を求めてもよい。

[0036] 欠陥位置を検出するマスク画像番号max_rにより、それに対応する欠陥の性

質、例えば凹凸などの性質、がSEMの観察画像において顕在化されるよう、SEM観察画像の生成において、例えばSEMで検出される二次電子像、反射電子像を用いて観察画像を生成する際に、各画像の混合比などの画像撮像条件を欠陥ごとに変更することが可能となる。

[0037] 図12に、本光学系により欠陥座標を補正し、図1に示したSEMでSEM欠陥画像を収集する手順を、図1および図2を参照しながら説明する。まず、観察対象であるウェーハ101をステージ104にロードする(S1201)。次に事前に検査装置で検出された欠陥の欠陥座標データを全体制御部106の外部入出力I/F121を介してメモリ123に読み込み(S1202)、その中から観察対象とするM点の欠陥を選択する(S1203)。欠陥の選択は予め設定されたプログラムによりCPU122が実行してもよいし、端末107を介してオペレータが選択してもよい。次にウェーハのアライメントを行う(S1204)。これは、ウェーハ上の座標で記述されている欠陥座標の位置に基づいてステージ104を移動したとき、目標である欠陥座標の位置がSEM102の視野、及び光学顕微鏡103の視野の中央付近に来るようにするため、ウェーハ上の座標が既知の位置決めマーク(アライメントマーク)を用いて、ウェーハ座標とステージ座標とを関連付けるものである。この関連付けの結果はアライメント情報としてメモリ123に記憶される。

[0038] 次に観察対象として選択された欠陥1からMについて、欠陥位置の補正を行う。まず、欠陥mを光学顕微鏡103の視野に移動する(S1206)。この移動は、メモリ123に記憶されている欠陥座標データと、アライメント情報から、CPU122で欠陥mに対応するステージ座標を計算し、これによりステージ制御回路118を介して、ステージ104を駆動することで行われる。ステージ移動終了後、図11に示した処理にて欠陥_mの位置を特定し(S1100)、特定した欠陥の位置を補正欠陥位置_mとして記憶する(S1207)。S1100実行の際には、光学顕微鏡103により撮像された欠陥mの画像は画像情報記憶部203に記憶され、この欠陥mの画像と、

マスク画像データ記憶部 202 に記憶されているマスク画像が演算部 204 に読み出され、演算部 204 にてマスク処理および図 11 の S1100 で示した処理が実行される。以上の S1206、S1100、S1207 の処理を欠陥 m ($m = 1, \dots, M$) に対し行う。検査装置によっては、検出した欠陥位置座標だけではなく、欠陥の特徴に関する情報も出力する装置もある。例えば、欠陥の特徴情報により欠陥が凸か凹かなどが事前に分かれば、これに合わせて使用するマスク画像を欠陥ごとに変更して使用してもよい。

[0039] これを実現するためには、欠陥の特徴情報に対応する使用マスク画像を特定する情報を予めテーブルにしてメモリ 123 に記憶しておく。そして、前述した検査装置で検出された欠陥の欠陥座標データをメモリ 123 に読み込む際に、欠陥の特徴情報も読み込んでおく。CPU 122 により欠陥ごとに欠陥情報を読み出す際に、メモリ 123 に記憶されているテーブル情報を参照して使用するマスク画像特定情報を読み出し、マスク画像データ記憶部 202 から処理 S1100 実行の際に使用するマスク画像を読み出せばよい。

[0040] 全ての欠陥 m ($m = 1, \dots, M$) の補正欠陥位置 m を取得した後、補正欠陥位置 m をメモリ 123 より読み出し、この位置情報を必要に応じてステージ座標に変換の後、ステージ制御回路 118 に与えることにより欠陥 m を SEM 102 の視野に順次移動し (S1211)、欠陥 m の SEM 画像を撮像する (S1212、S1213、S1214)。全ての欠陥の SEM 画像撮像後、ウェーハをアンロード (S1215) し、処理を終了する。

[0041] マスク画像は欠陥の種類や方向によって決まるものである。欠陥位置の検出のために使用したマスク画像から、欠陥の種類や方向が SEM 撮像の前に分かる。これより、欠陥の種類や方向に応じて、欠陥が見やすい、最適な撮像条件を設定することが可能となる。また、欠陥位置の検出に使用したマスク画像から、欠陥の種類や方向が分かるので、これを欠陥の分類情報に利用することも可能となる。

実施例 2

[0042] 図 13 に、本発明の実施例 2 の欠陥観察装置の全体フローチャートの一例

を示す。実施例 2 は、欠陥検出に使用したマスク画像の情報を利用して SEM 撮像条件の制御と、SEM で撮像した欠陥画像の分類を行うものである。欠陥観察装置の構成は、図 1 および図 2 に示すものであり、特に、図 2 の画像処理回路 120 内に欠陥分類部 206 を備えている。

[0043] 図 12 の処理ステップと同じステップは、図 12 で示したステップ番号を各ステップの四角の中に記載した。また、フロー図を見やすくするためにループの表記を変更している。まず、マスク画像番号と SEM 撮像条件の対応関係のテーブルを端末 107、あるいは外部の入力機器を使用して作成し（S1301）、メモリ 123 に記憶する。同じく、マスク画像番号と欠陥種類のテーブルを作成し（S1302）、メモリ 123 に記憶する。S1301 及び S1302 は必ずしもウェーハごとに行う必要はなく、観察する半導体デバイスの製品ごと、あるいは製造プロセスごとのように、マスク画像番号と SEM 撮像条件、あるいはマスク画像番号と欠陥種類が一定の関係にある条件ごとに作成すればよい。

[0044] 図 13 に示す S1201 から S1204 でウェーハロード、欠陥座標データ読み込み、観察対象欠陥選択、ウェーハのアライメントを行ったのちに、S1206、S1100、S1207 で欠陥位置を光学顕微鏡で検出し座標の補正を行う。この際、S1303 で欠陥位置特定に使用したマスク画像番号をマスク画像番号_mとして、メモリ 123 に記憶しておく。

[0045] 欠陥位置の座標補正終了後、S1211、S1212 で SEM による欠陥画像の撮像を行う。各欠陥を撮像する際、メモリ 123 に記憶されているマスク画像番号と SEM 撮像条件のテーブルと、撮像欠陥に対応するマスク画像番号_mを参照し、SEM 撮像制御回路 119 を介し SEM 撮像条件を変更する（S1304）。SEM 撮像条件の変更は、撮像した複数から観察画像を生成する際の画像混合比の変更であっても構わない。また、メモリ 123 に記憶されているマスク画像番号と欠陥種類のテーブルと、撮像欠陥に対応するマスク画像番号_mを参照し、欠陥_mの分類情報をメモリ 123 に記憶し、欠陥分類情報として使用する（S1305）。S1305 は光学顕微鏡による

欠陥位置検出処理のS 1 1 0 0の後で実行しても構わない。

[0046] 以上説明した光学検出系をSEM欠陥観察装置に搭載することにより、検査装置で検出された複数種類の欠陥に対し高感度、かつ高速に欠陥位置の検出が可能となる。従来、空間フィルタを変えて光学的に異なる検出を行っていたが、本発明ではこれを画像処理で実現しているので、光学撮像は欠陥あたり1回で済み、撮像時間起因のスループットの低下も生じない。光学検出による欠陥検出位置にてSEM観察を行うことで、SEMの観察視野内に欠陥を確実に入れることが可能となり、検査装置で検出した欠陥のSEM観察画像の自動撮像の成功率が向上し、SEMでの欠陥自動撮像のスループットも向上する。また、本発明の光学系によれば、従来空間フィルタを設置するために必要としたレンズ間の瞳空間が不要となるため、光学顕微鏡の小型化も実現できる。

符号の説明

[0047] 101・・・ウェーハ、102・・・SEM、103・・・光学顕微鏡、104・・・ステージ、105・・・真空槽、106・・・制御部、107・・・端末、108・・・記憶装置、109・・・ネットワーク、110・・・照明光源、111・・・真空封止窓、112・・・ミラー、113・・・対物レンズ、114・・・真空封止窓、115・・・結像レンズ、116・・・撮像素子、117・・・マイクロレンズアレイ、118・・・ステージ制御回路、119・・・SEM撮像系制御回路、120・・・画像処理回路、121・・・外部入出力I/F、122・・・CPU、123・・・メモリ、124・・・バス、201・・・データI/F、202・・・マスク画像データ記憶部、203・・・画像情報記憶部、204・・・演算部、205・・・内部バス、206・・・欠陥分類部。

請求の範囲

- [請求項1] 被検査物に光を照射する照射系と、
光の照射により発生した散乱光を結像する光学系と、
前記光学系の結像面に配置されたマイクロレンズアレイと、
前記光学系の結像面からずらした位置に配置され、前記マイクロレンズアレイを通過した光を撮像する撮像素子と、
欠陥種類ごとに、あるいは欠陥の方向ごとに生成した複数のマスク画像を記憶するマスク画像記憶部と、
前記撮像素子より得られた画像に、前記複数のマスク画像でマスク処理を実行し、欠陥検出処理を行う演算部と、
を有する欠陥検出装置。
- [請求項2] 請求項1に記載の欠陥検出装置において、
前記マスク画像は、半導体ウェーハからの散乱光と、欠陥からの散乱光を区別するものである欠陥検出装置。
- [請求項3] 請求項1に記載の欠陥検出装置において、
前記演算部は、複数のマスク画像でマスク処理を実行して得られた画像の内、高輝度の画像から欠陥位置を検出する欠陥検出装置。
- [請求項4] 請求項1に記載の欠陥検出装置において、
欠陥検出処理で選択されたマスク画像に基づいて、欠陥種類を分類する欠陥分類部を有する欠陥検出装置。
- [請求項5] 被検査物に光を照射する照射系と、光の照射により発生した散乱光を結像する光学系と、前記光学系の結像面に配置されたマイクロレンズアレイと、前記光学系の結像面からずらした位置に配置され、前記マイクロレンズアレイを通過した光を撮像する撮像素子とを用いる欠陥検出方法であって、
欠陥種類ごとに、あるいは欠陥の方向ごとに生成された複数のマスク画像を記憶するステップと、
前記撮像素子より得られた画像に、前記複数のマスク画像によりマ

スク処理を行うステップと、

マスク処理を行った画像により欠陥検出を行うステップと
を有する欠陥検出方法。

[請求項6] 請求項5に記載の欠陥検出方法において、

前記マスク画像は、半導体ウェーハからの散乱光と、欠陥からの散乱光を区別するものである欠陥検出方法。

[請求項7] 請求項5に記載の欠陥検出方法において、

前記欠陥検出を行うステップは、複数のマスク画像でマスク処理を実行して得られた画像の内、高輝度の画像から欠陥位置を検出する欠陥検出方法。

[請求項8] 請求項5に記載の欠陥検出方法において、更に、

欠陥検出処理で選択されたマスク画像に基づいて欠陥種類を分類するステップを有する欠陥検出方法。

[請求項9] SEMと光学顕微鏡と画像処理部とを備える欠陥観察装置であって、

前記光学顕微鏡は、試料に光を照射する照射系と、光の照射により発生した散乱光を結像する光学系と、前記光学系の結像面に配置したマイクロレンズアレイと、前記光学系の結像面からずらした位置に配置され、前記マイクロレンズアレイを通過した光を撮像する撮像素子とを備え、

前記画像処理部は、欠陥の種類ごとに、あるいは欠陥の方向ごとに生成した複数のマスク画像を記憶するマスク画像記憶部と、前記撮像素子で撮像した撮像画像を記憶する画像記憶部と、前記マスク画像と前記撮像画像を用いて試料の欠陥位置を算出する演算部を備える欠陥観察装置。

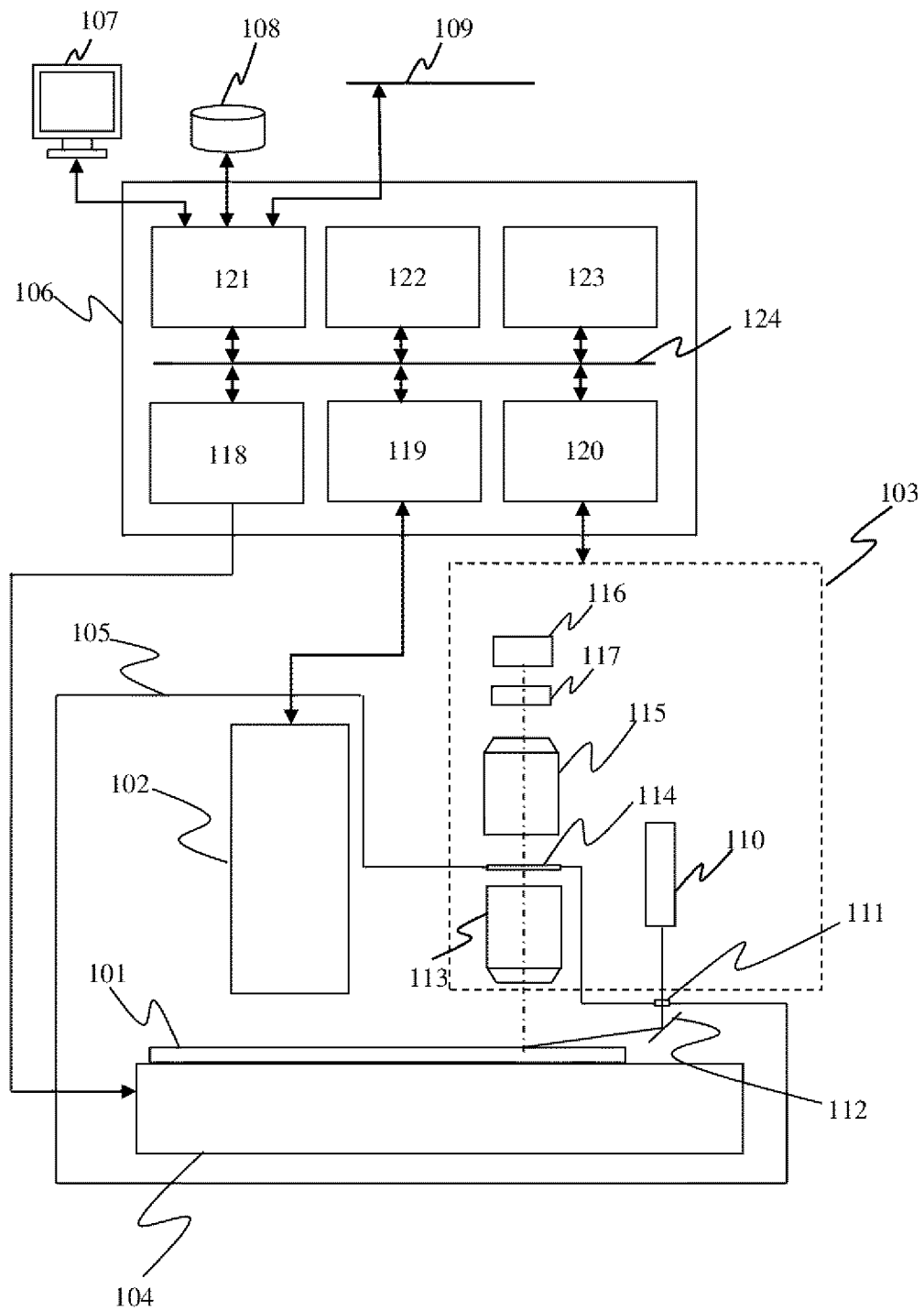
[請求項10] 請求項9に記載の欠陥観察装置において、

前記マスク画像は、半導体ウェーハからの散乱光と、欠陥からの散乱光を区別するものである欠陥観察装置。

- [請求項11] 請求項9に記載の欠陥観察装置において、
前記演算部は、複数のマスク画像でマスク処理を実行して得られた
画像の内、高輝度の画像から欠陥位置を算出する欠陥観察装置。
- [請求項12] 請求項9に記載の欠陥観察装置において、
欠陥位置を算出のために使用されたマスク画像により、SEMで得
た二次電子像、反射電子像など性質の異なる画像の混合比を変更して
観察画像を生成する欠陥観察装置。
- [請求項13] 請求項9に記載の欠陥観察装置において、更に、
欠陥検出処理で選択されたマスク画像に基づいて、欠陥種類を分類
する欠陥分類部を備える欠陥観察装置。

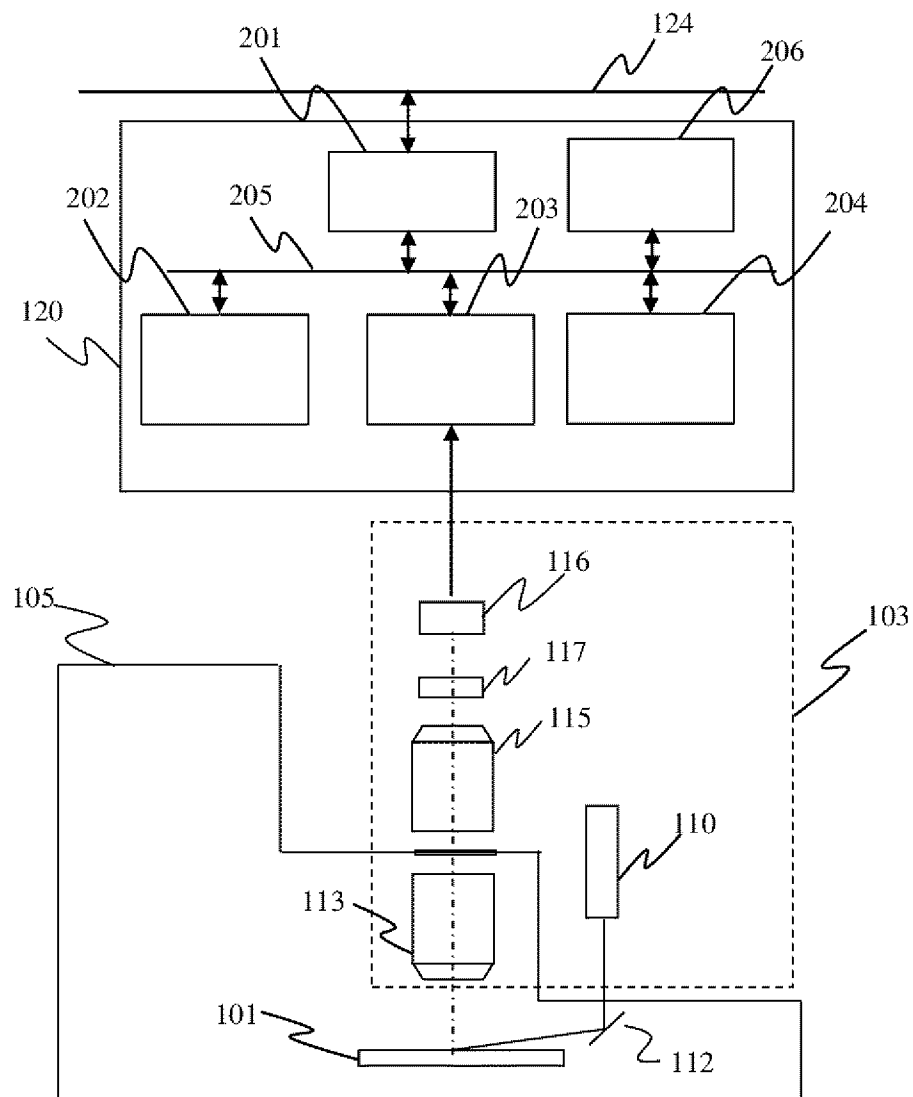
[図1]

図1



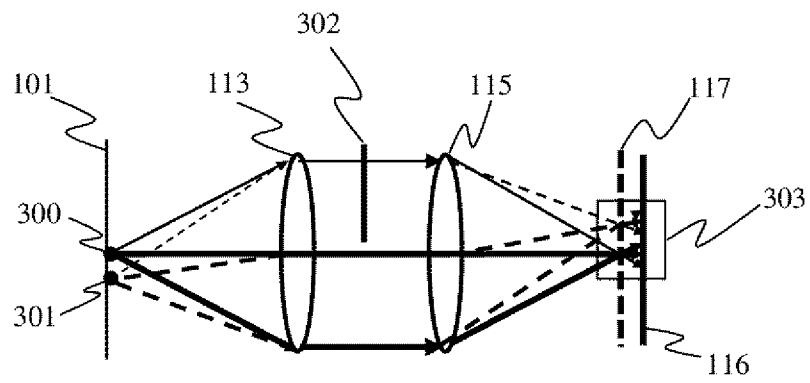
[図2]

図2



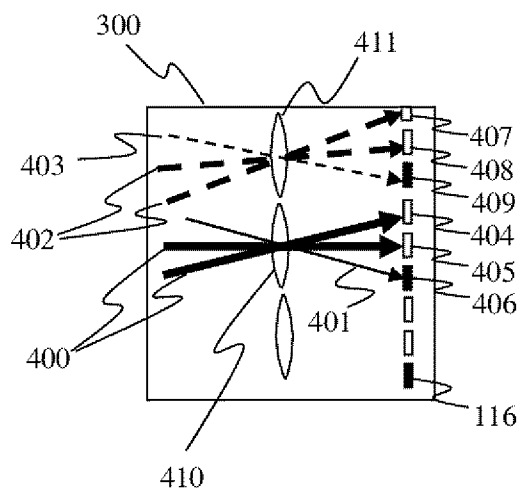
[図3]

図3



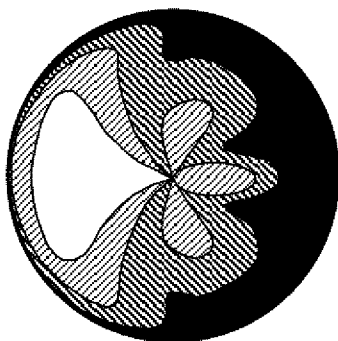
[図4]

図4



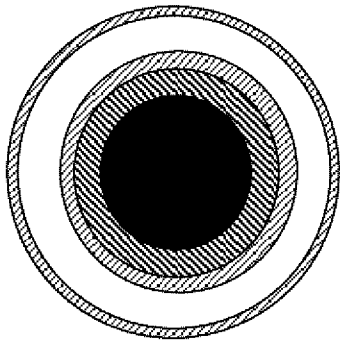
[図5]

図5



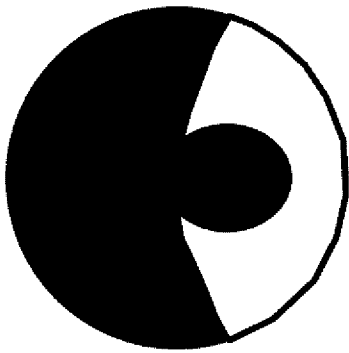
[図6]

図6



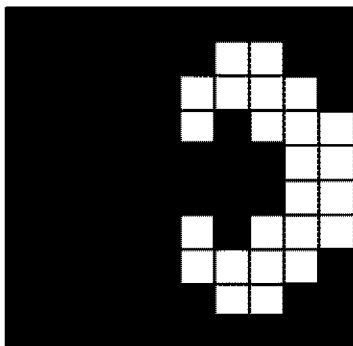
[図7]

図7



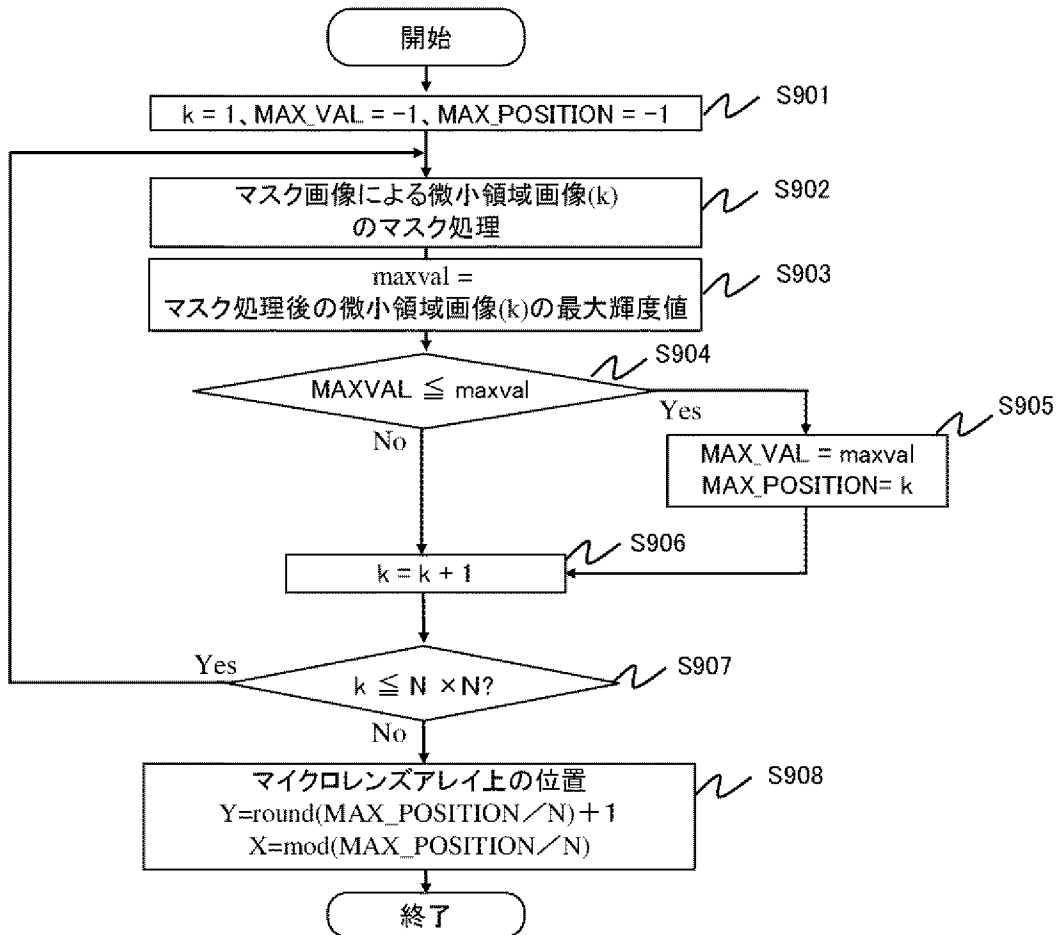
[図8]

図8



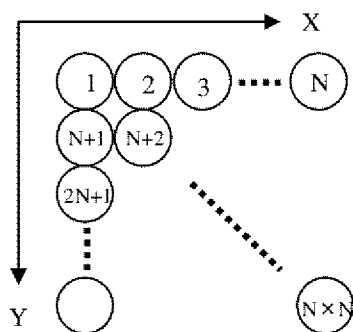
[図9]

図9



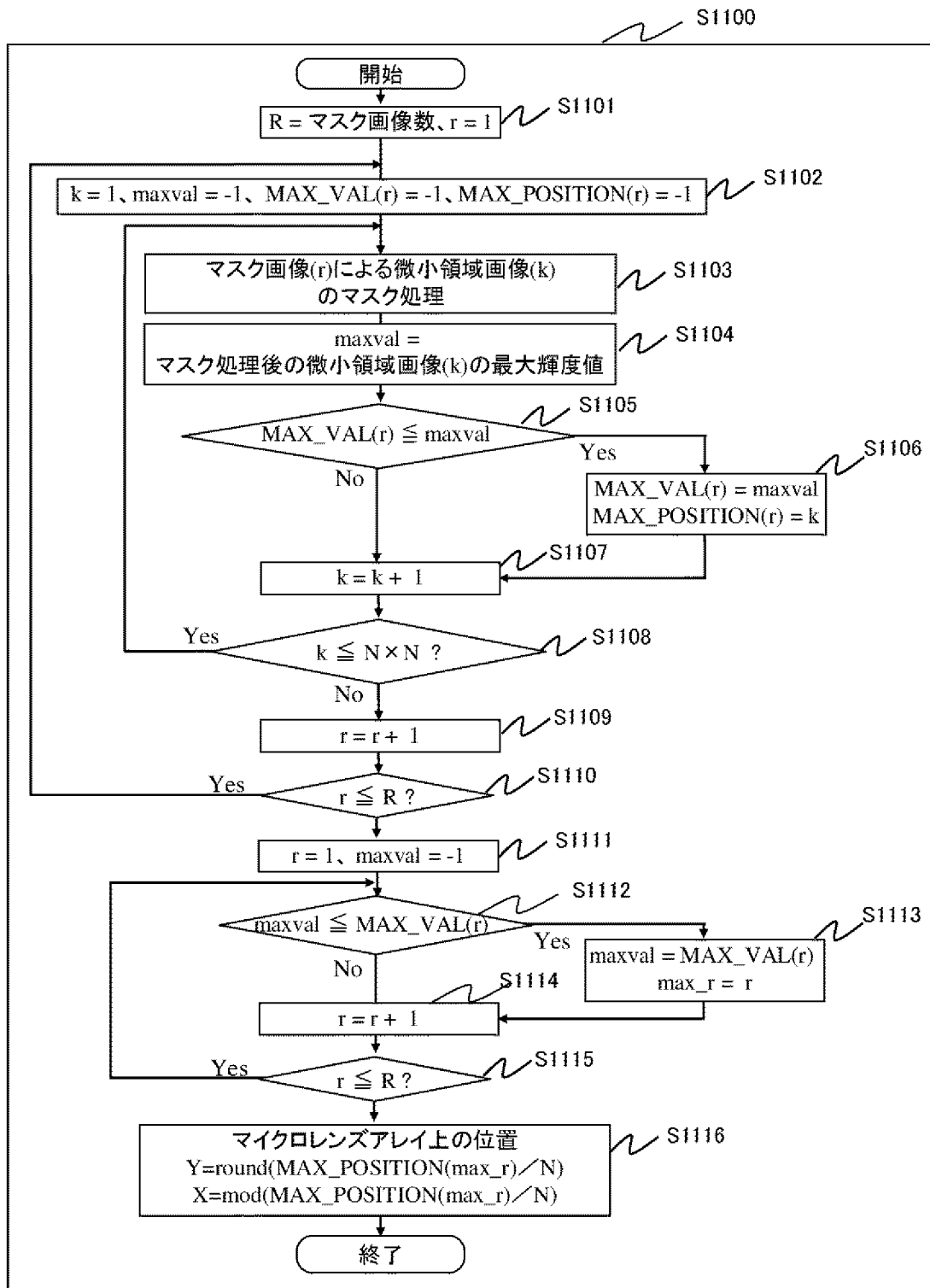
[図10]

図10



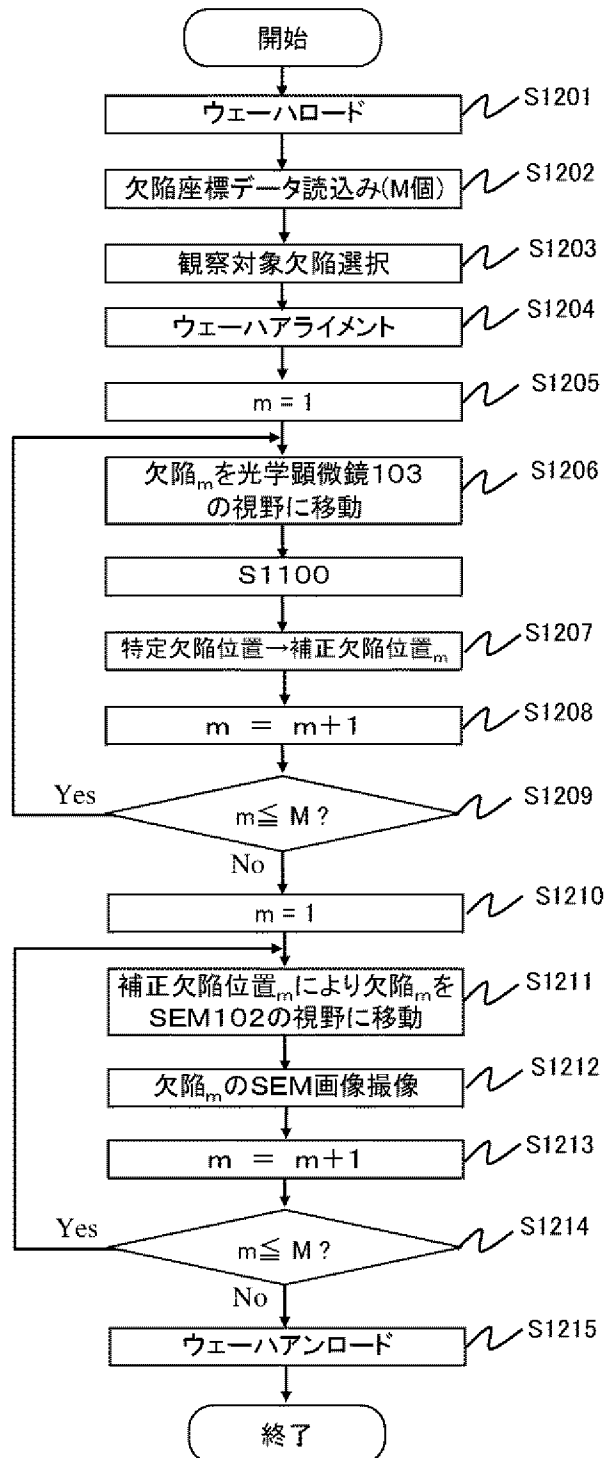
[図11]

図11



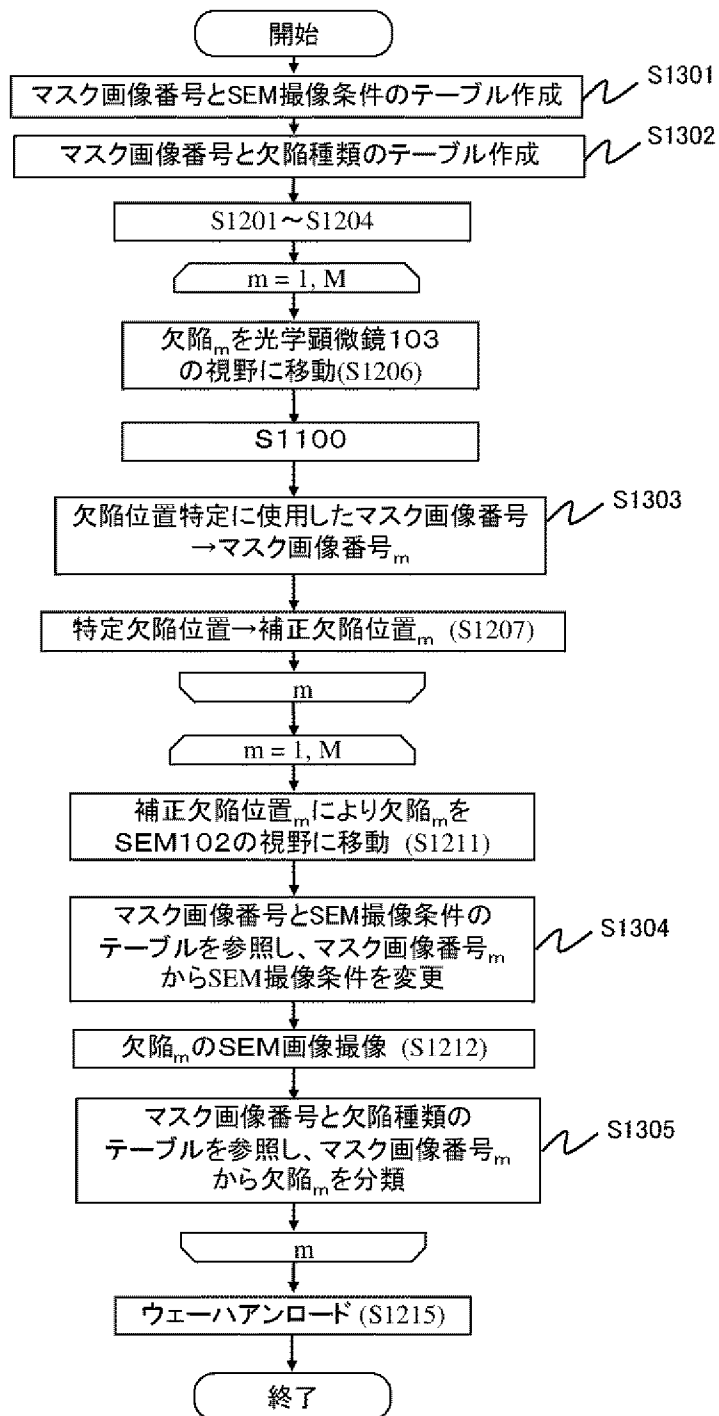
[図12]

図12



[図13]

図13



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/007297

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G01N21/956 (2006.01) i

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)

Int.Cl. G01N21/84-21/958, H01L21/64-21/66

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 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

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	JP 2011-106974 A (HITACHI HIGH TECH CORPORATION) 02 June 2011 & US 2012/0274931 A1 & WO 2011/061911 A1	1-13
A	JP 2012-185149 A (RICOH KK) 27 September 2012 & US 2012/0212605 A1	1-13



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

21.05.2018

Date of mailing of the international search report

29.05.2018

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

International application No.

PCT/JP2018/007297

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2005-535869 A (APPLIED MATERIALS INC.) 24 November 2005 & US 2003/0132405 A1 & WO 2003/060489 A2 & AU 2003205090 A	1-13
A	JP 57-80546 A (NIKON CORP.) 20 May 1982 (Family: none)	1-13
A	JP 2011-226989 A (KOBE STEEL, LTD.) 10 November 2011 (Family: none)	1-13
A	US 2017/0219487 A1 (KLA-TENCOR CORPORATION) 03 August 2017 & WO 2017/136229 A1 & TW 201732271 A	1-13

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01N21/956(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01N21/84-21/958, H01L21/64-21/66

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

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018年

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）

C. 関連すると認められる文献

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	JP 2011-106974 A（株式会社日立ハイテクノロジーズ） 2011.06.02 & US 2012/0274931 A1 & WO 2011/061911 A1	1-13
A	JP 2012-185149 A（株式会社リコー） 2012.09.27 & US 2012/0212605 A1	1-13

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「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

「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）

「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

「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矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「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

「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

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

21.05.2018

国際調査報告の発送日

29.05.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

蔵田 真彦

2W

3602

電話番号 03-3581-1101 内線 3258

C (続き) . 関連すると認められる文献		
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	JP 2005-535869 A (アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド) 2005. 11. 24 & US 2003/0132405 A1 & WO 2003/060489 A2 & AU 2003205090 A	1-13
A	JP 57-80546 A (日本光学工業株式会社) 1982. 05. 20 (ファミリーなし)	1-13
A	JP 2011-226989 A (株式会社神戸製鋼所) 2011. 11. 10 (ファミリーなし)	1-13
A	US 2017/0219487 A1 (KLA-TENCOR CORPORATION) 2017. 08. 03 & WO 2017/136229 A1 & TW 201732271 A	1-13