

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2007-71630

(P2007-71630A)

(43) 公開日 平成19年3月22日(2007.3.22)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 N 21/956 (2006.01)	GO 1 N 21/956 A	2GO51
HO 1 L 21/027 (2006.01)	HO 1 L 21/30 5O2V	2HO95
GO 3 F 1/08 (2006.01)	GO 3 F 1/08 S	

審査請求 有 請求項の数 10 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2005-257606 (P2005-257606)
 (22) 出願日 平成17年9月6日(2005.9.6)

(71) 出願人 305008983
 アドバンスド・マスク・インスペクション
 ・テクノロジー株式会社
 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地
 (74) 代理人 100088487
 弁理士 松山 允之
 (74) 代理人 100099450
 弁理士 河西 祐一
 (74) 代理人 100119035
 弁理士 池上 徹真
 (72) 発明者 山下 恭司
 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 ア
 ドバンスド・マスク・インスペクション・
 テクノロジー株式会社内

最終頁に続く

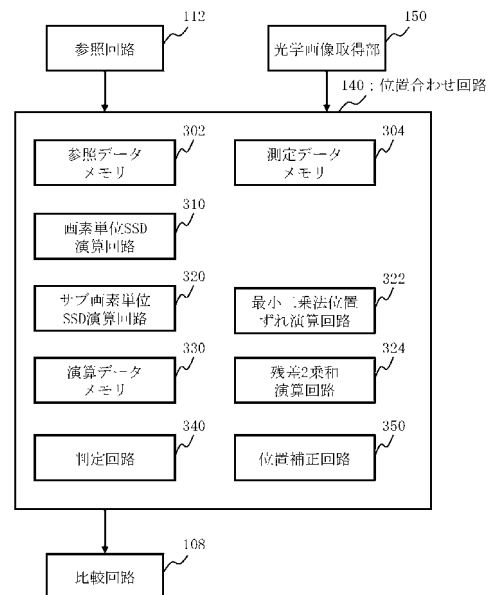
(54) 【発明の名称】 試料検査装置、画像位置合わせ方法及びプログラム

(57) 【要約】

【目的】 参照画像と光学画像との高精度な位置合わせを行う方法および装置を提供することを目的とする。

【構成】 本発明の試料検査装置100は、フォトマスク101の光学画像と参照画像との仮の合わせ位置から、残差2乗和が最小となる位置への位置ずれ量を演算するサブ画素単位SSD演算回路320と、仮の合わせ位置からの最小二乗法による位置ずれ量を演算する最小二乗法位置ずれ演算回路322と、最小二乗法位置ずれ演算回路322により演算された位置ずれ量分ずらした位置における残差2乗和を演算する残差2乗和演算回路324と、サブ画素単位SSD演算回路320により得られた最小の残差2乗和と残差2乗和演算回路324により得られた残差2乗和とのうち、いずれが小さいかを判定する判定回路340と、小さい方の残差2乗和が得られる位置に合わせ位置を補正する位置補正回路350とを備えたことを特徴とする。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被検査試料の光学画像を取得する光学画像取得部と、

前記被検査試料の設計データに基づいて、前記光学画像と比較する参照画像を作成する参照画像作成部と、

前記光学画像と前記参照画像との仮の合わせ位置から、前記光学画像の画素値と前記参照画像の画素値との残差 2 乗和が最小となる位置への位置ずれ量を演算する第 1 の残差 2 乗和演算部と、

前記光学画像と前記参照画像との仮の合わせ位置からの最小二乗法による位置ずれ量を演算する最小二乗法演算部と、

前記光学画像と前記参照画像との仮の合わせ位置から前記最小二乗法演算部により演算された位置ずれ量分ずらした位置における前記光学画像の画素値と前記参照画像の画素値との残差 2 乗和を演算する第 2 の残差 2 乗和演算部と、

前記第 1 の残差 2 乗和演算部により演算された結果得られた最小の残差 2 乗和と前記第 2 の残差 2 乗和演算部により演算された結果得られた残差 2 乗和とのうち、いずれが小さいかを判定する判定部と、

前記判定部により判定された小さい方の残差 2 乗和が得られる位置に前記光学画像と前記参照画像との合わせ位置を補正する位置補正部と、

合わせ位置が補正された前記光学画像と前記参照画像とを比較する比較部と、

を備えたことを特徴とする試料検査装置。

10

20

【請求項 2】

前記第 1 の残差 2 乗和演算部において、サブ画素単位でずらしながら残差 2 乗和が最小となる位置への位置ずれ量を演算することを特徴とする請求項 1 記載の試料検査装置。

【請求項 3】

前記最小二乗法演算部において、X 方向に参照画像を空間微分した値と Y 方向に参照画像を空間微分した値とを用いて演算し、

前記 X 方向に参照画像を空間微分した値と前記 Y 方向に参照画像を空間微分した値との一方が他方の規定倍よりも小なる場合に、小なる方を除いて演算することを特徴とする請求項 1 記載の試料検査装置。

【請求項 4】

前記最小二乗法演算部において、前記参照画像を分割し、分割された領域ごとに位置ずれ量を演算することを特徴とする請求項 1 記載の試料検査装置。

30

【請求項 5】

前記最小二乗法演算部において、前記参照画像を重み付け分割し、分割された領域ごとに位置ずれ量を演算することを特徴とする請求項 1 記載の試料検査装置。

【請求項 6】

前記最小二乗法演算部において、位置ずれ量と共に像強度変動率を演算し、

前記位置補正部において、前記参照画像の画素値を前記像強度変動率に基づいて補正することを特徴とする請求項 1 記載の試料検査装置。

【請求項 7】

前記 X 方向に参照画像を空間微分した値と前記 Y 方向に参照画像を空間微分した値との一方が他方の規定倍よりも小なる場合に、X 方向と Y 方向のうち小なる方向の位置ずれ量として、前記第 1 の残差 2 乗和演算部により得られた位置ずれ量を代入することを特徴とする請求項 3 記載の試料検査装置。

40

【請求項 8】

前記第 1 の残差 2 乗和が前記判定部により小さいものと判定された場合に、像強度変動率を補正することを特徴とする前記請求項 6 記載の試料検査装置。

【請求項 9】

被検査試料の比較検査に用いる光学画像と参照画像とを位置合わせする画像位置合わせ方法であって、

50

前記光学画像と前記参照画像との仮の合わせ位置から、前記光学画像の画素値と前記参照画像の画素値との残差 2 乗和が最小となる位置への位置ずれ量を演算する第 1 の残差 2 乗和演算工程と、

前記光学画像と前記参照画像との仮の合わせ位置からの最小二乗法による位置ずれ量を演算する最小二乗法演算工程と、

前記光学画像と前記参照画像との合わせ位置から前記最小二乗法演算工程により演算された位置ずれ量分ずらした位置における前記光学画像の画素値と前記参照画像の画素値との残差 2 乗和を演算する第 2 の残差 2 乗和演算工程と、

前記第 1 の残差 2 乗和演算工程により演算された結果得られた最小の残差 2 乗和と前記第 2 の残差 2 乗和演算工程により演算された結果得られた残差 2 乗和とのうち、いずれが小さいかを判定する判定工程と、

前記判定工程により判定された小さい方の残差 2 乗和が得られる位置に前記光学画像と前記参照画像との合わせ位置を補正する位置補正工程と、

を備えたことを特徴とする画像位置合わせ方法。

【請求項 10】

被検査試料の比較検査に用いる光学画像と参照画像とを記憶装置に記憶する記憶処理と

、
前記記憶装置から前記光学画像と参照画像とを読み出し、前記光学画像と参照画像との仮の合わせ位置から、前記光学画像の画素値と前記参照画像の画素値との残差 2 乗和が最小となる位置への位置ずれ量を演算する第 1 の残差 2 乗和演算処理と、

前記記憶装置から前記光学画像と参照画像とを読み出し、前記光学画像と前記参照画像との仮の合わせ位置からの最小二乗法による位置ずれ量を演算する最小二乗法演算処理と

、
前記光学画像と前記参照画像との合わせ位置から前記最小二乗法演算処理により演算された位置ずれ量分ずらした位置における前記光学画像の画素値と前記参照画像の画素値との残差 2 乗和を演算する第 2 の残差 2 乗和演算処理と、

前記第 1 の残差 2 乗和演算処理により演算された結果得られた最小の残差 2 乗和と前記第 2 の残差 2 乗和演算処理により演算された結果得られた残差 2 乗和とのうち、いずれが小さいかを判定する判定処理と、

前記判定工程により判定された小さい方の残差 2 乗和が得られる位置に前記光学画像と前記参照画像との合わせ位置を補正する位置補正処理と、

をコンピュータに実行させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、試料検査装置、画像位置合わせ方法、或いは、かかる方法をコンピュータに実行させるためのプログラムに係り、例えば、半導体製造に用いる試料となる物体のパターン欠陥を検査するパターン検査技術に関し、半導体素子や液晶ディスプレイ(LCD)を製作するときに使用されるフォトマスク、ウェハ、あるいは液晶基板などの極めて小さなパターンの欠陥を検査する装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、大規模集積回路(LSI)の高集積化及び大容量化に伴い、半導体素子に要求される回路線幅はますます狭くなってきている。これらの半導体素子は、回路パターンが形成された原画パターン(マスク或いはレチクルともいう。以下、マスクと総称する)を用いて、いわゆるステッパと呼ばれる縮小投影露光装置でウェハ上にパターンを露光転写して回路形成することにより製造される。よって、かかる微細な回路パターンをウェハに転写するためのマスクの製造には、微細な回路パターンを描画することができるパターン描画装置を用いる。かかるパターン描画装置を用いてウェハに直接パターン回路を描画することもある。或いは、電子ビーム以外にもレーザービームを用いて描画するレーザービーム描

10

20

30

40

50

画装置の開発が試みられている。

【0003】

そして、多大な製造コストのかかるLSIの製造にとって、歩留まりの向上は欠かせない。しかし、1ギガビット級のDRAM(ランダムアクセスメモリ)に代表されるように、LSIを構成するパターンは、サブミクロンからナノメートルのオーダーになるようになっている。歩留まりを低下させる大きな要因の一つとして、半導体ウェハ上に超微細パターンをフォトリソグラフィ技術で露光、転写する際に使用されるマスクのパターン欠陥があげられる。近年、半導体ウェハ上に形成されるLSIパターン寸法の微細化に伴って、パターン欠陥として検出しなければならない寸法も極めて小さいものとなっている。そのため、LSI製造に使用される転写用マスクの欠陥を検査するパターン検査装置の高精度化が必要とされている。

10

【0004】

一方、マルチメディア化の進展に伴い、LCD(Liquid Crystal Display:液晶ディスプレイ)は、500mm×600mm、またはこれ以上への液晶基板サイズの大型化と、液晶基板上に形成されるTFT(Thin Film Transistor:薄膜トランジスタ)等のパターンの微細化が進んでいる。従って、極めて小さいパターン欠陥を広範囲に検査することが要求されるようになってきている。このため、このような大面積LCDのパターン及び大面積LCDを製作する時に用いられるフォトマスクの欠陥を短時間で、効率的に検査する試料検査装置の開発も急務となってきている。

20

【0005】

ここで、従来のパターン検査装置では、拡大光学系を用いてリソグラフィマスク等の試料上に形成されているパターンを所定の倍率で撮像した光学画像と、設計データ、あるいは試料上の同一パターンを撮像した光学画像と比較することにより検査を行うことが知られている(例えば、特許文献1参照)。

例えば、パターン検査方法として、同一マスク上の異なる場所の同一パターンを撮像した光学画像データ同士を比較する「die to die検査」や、パターン設計されたCADデータをマスクにパターンを描画する時に描画装置が入力するための装置入力フォーマットに変換した描画データ(設計パターンデータ)を検査装置に入力して、これをベースに設計画像データ(参照画像)を生成して、それとパターンを撮像した測定データとなる光学画像とを比較する「die to database検査」がある。かかる検査装置における検査方法では、試料はステージ上に載置され、ステージが動くことによって光束が試料上を走査し、検査が行われる。試料には、光源及び照明光学系によって光束が照射される。試料を透過あるいは反射した光は光学系を介して、センサ上に結像される。センサで撮像された画像は測定データとして比較回路へ送られる。比較回路では、画像同士の位置合わせの後、測定データと参照データとを適切なアルゴリズムに従って比較し、一致しない場合には、パターン欠陥有りと判定する。

30

【0006】

ここで、参照画像と光学画像は、所定の大きさの領域ごとに比較されるが、比較するためには、参照画像と光学画像との高精度な位置合わせが必要となる。ここで、参照画像と光学画像との位置ずれ量を最小二乗法により演算する技術が文献に開示されている(例えば、特許文献2参照)。また、求める画像データを周囲の4点或いは16点の画像データを用いて内挿する内挿法について文献に記載されている(例えば、非特許文献1参照)。

40

しかしながら、パターン寸法の微細化に伴って、必要となる微小な欠陥を検出するためにさらなる位置合わせの精度が求められている。ポイントは、ステージの走行誤差や速度むらや倍率誤差のようなシステムチックな誤差要因のみを補正し、欠陥のように局所的にランダムに発生する不一致箇所はなるべく補正しないことである。

【特許文献1】特開平8-76359号公報

【特許文献2】特開平11-153550号公報

【非特許文献1】画像解析ハンドブックp442-443,財団法人 東京大学出版会,

50

1991年1月17日初版

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

上述したように、比較するためには、参照画像と光学画像との高精度な位置合わせが必要となるが、パターン寸法の微細化に伴って、参照画像と光学画像とにおけるこれらの相対的位置ずれを高い精度で検出することが困難になってきている。

【0008】

本発明は、上述した問題点を克服し、参照画像と光学画像との高精度な位置合わせを行う方法および装置を提供することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明の一態様の試料検査装置は、
被検査試料の光学画像を取得する光学画像取得部と、
前記被検査試料の設計データに基づいて、前記光学画像と比較する参照画像を作成する参照画像作成部と、

前記光学画像と前記参照画像との仮の合わせ位置から、前記光学画像の画素値と前記参照画像の画素値との残差2乗和が最小となる位置への位置ずれ量を演算する第1の残差2乗和演算部と、

前記光学画像と前記参照画像との仮の合わせ位置からの最小二乗法による位置ずれ量を演算する最小二乗法演算部と、

20

前記光学画像と前記参照画像との仮の合わせ位置から前記最小二乗法演算部により演算された位置ずれ量分ずらした位置における前記光学画像の画素値と前記参照画像の画素値との残差2乗和を演算する第2の残差2乗和演算部と、

前記第1の残差2乗和演算部により演算された結果得られた最小の残差2乗和と前記第2の残差2乗和演算部により演算された結果得られた残差2乗和とのうち、いずれが小さいかを判定する判定部と、

前記判定部により判定された小さい方の残差2乗和が得られる位置に前記光学画像と前記参照画像との合わせ位置を補正する位置補正部と、

合わせ位置が補正された前記光学画像と前記参照画像とを比較する比較部と、
を備えたことを特徴とする。

30

【0010】

また、かかる装置での被検査試料の比較検査に用いる光学画像と参照画像とを位置合わせする画像位置合わせ方法は、

前記光学画像と前記参照画像との仮の合わせ位置から、前記光学画像の画素値と前記参照画像の画素値との残差2乗和が最小となる位置への位置ずれ量を演算する第1の残差2乗和演算工程と、

前記光学画像と前記参照画像との仮の合わせ位置からの最小二乗法による位置ずれ量を演算する最小二乗法演算工程と、

前記光学画像と前記参照画像との合わせ位置から前記最小二乗法演算工程により演算された位置ずれ量分ずらした位置における前記光学画像の画素値と前記参照画像の画素値との残差2乗和を演算する第2の残差2乗和演算工程と、

40

前記第1の残差2乗和演算工程により演算された結果得られた最小の残差2乗和と前記第2の残差2乗和演算工程により演算された結果得られた残差2乗和とのうち、いずれが小さいかを判定する判定工程と、

前記判定工程により判定された小さい方の残差2乗和が得られる位置に前記光学画像と前記参照画像との合わせ位置を補正する位置補正工程と、

を備えたことを特徴とする。

【0011】

また、かかる方法を、コンピュータを実行させるためのプログラムにより構成する場合

50

には、

被検査試料の比較検査に用いる光学画像と参照画像とを記憶装置に記憶する記憶処理と

、
前記記憶装置から前記光学画像と参照画像とを読み出し、前記光学画像と参照画像との仮の合わせ位置から、前記光学画像の画素値と前記参照画像の画素値との残差 2 乗和が最小となる位置への位置ずれ量を演算する第 1 の残差 2 乗和演算処理と、

前記記憶装置から前記光学画像と参照画像とを読み出し、前記光学画像と前記参照画像との仮の合わせ位置からの最小二乗法による位置ずれ量を演算する最小二乗法演算処理と

、
前記光学画像と前記参照画像との合わせ位置から前記最小二乗法演算処理により演算された位置ずれ量分ずらした位置における前記光学画像の画素値と前記参照画像の画素値との残差 2 乗和を演算する第 2 の残差 2 乗和演算処理と、

前記第 1 の残差 2 乗和演算処理により演算された結果得られた最小の残差 2 乗和と前記第 2 の残差 2 乗和演算処理により演算された結果得られた残差 2 乗和とのうち、いずれが小さいかを判定する判定処理と、

前記判定工程により判定された小さい方の残差 2 乗和が得られる位置に前記光学画像と前記参照画像との合わせ位置を補正する位置補正処理と、

を備えればよい。

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、残差 2 乗和演算により演算された結果得られた最小の残差 2 乗和となる位置ずれ量と最小二乗法演算により演算された結果得られた位置ずれ量とのうち、最適な一方の位置ずれ量で光学画像と参照画像との合わせ位置を補正することができる。すなわち、画像によってより好適な最適化手法により合わせ位置を補正することができる。よって、より高精度な位置合わせを行うことができる。その結果、高感度な検査を行なうことができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

実施の形態 1 .

図 1 は、実施の形態 1 における試料検査装置の構成を示す概念図である。

図 1 において、マスクやウェハ等の基板を試料して、かかる試料の欠陥を検査する試料検査装置 100 は、光学画像取得部 150 と制御系回路 160 を備えている。光学画像取得部 150 は、XY テーブル 102、光源 103、拡大光学系 104、フォトダイオードアレイ 105、センサ回路 106、レーザ測長システム 122、オートローダ 130、照明光学系 170 を備えている。制御系回路 160 では、コンピュータとなる制御計算機 110 が、データ伝送路となるバス 120 を介して、位置回路 107、比較回路 108、展開回路 111、参照回路 112、位置合わせ回路 140、オートローダ制御回路 113、テーブル制御回路 114、磁気ディスク装置 109、磁気テープ装置 115、フレキシブルディスク装置 (FD) 116、CRT 117、パターンモニタ 118、プリンタ 119 に接続されている。また、XY テーブル 102 は、X 軸モータ、Y 軸モータ、軸モータにより駆動される。図 1 では、本実施の形態 1 を説明する上で必要な構成部分以外については記載を省略している。試料検査装置 100 にとって、通常、必要なその他の構成が含まれることは言うまでもない。

【0014】

図 2 は、位置合わせ回路の構成を示すブロック図である。

図 2 において、位置合わせ回路 140 は、参照データメモリ 302、測定データメモリ、画素単位 SSD (Sum of the Squared Difference) 演算回路 310、サブ画素単位 SSD 演算回路 320、最小二乗法位置ずれ演算回路 322、演算データメモリ 330、残差 2 乗和演算回路 324、判定回路 340、位置補正回路 350 を備えている。位置合わせ回路 140 は、参照回路 112 から参照データを、光学

10

20

30

40

50

画像取得部 150 から測定データを入力し、位置合わせをした後、比較回路 108 に参照データと測定データを出力する。

【0015】

図 3 は、実施の形態 1 における試料検査方法の要部工程を示すフローチャート図である。

図 3 において、試料検査方法は、光学画像取得工程 (S102) と、参照データ作成工程 (S104) と、位置合わせ工程と、比較工程 (S216) という一連の工程を実施する。そして、画像位置合わせ方法の一例となる位置合わせ工程として、記憶工程 (S202)、画素単位 SSD 演算工程 (S204)、サブ画素単位 SSD 演算工程 (S206)、最小二乗法位置ずれ演算工程 (S208)、残差 2 乗和演算工程 (S210)、判定工程 (S212)、位置補正工程 (S214) という一連の工程を実施する。

10

【0016】

S (ステップ) 102 において、光学画像取得工程として、光学画像取得部 150 は、設計データに基づいて設計データに含まれる図形データが示す図形が描画された試料となるフォトマスク 101 における光学画像を取得する。具体的には、光学画像は、以下のよう

に取得される。
被検査試料となるフォトマスク 101 は、XY 各軸のモータによって水平方向及び回転方向に移動可能に設けられた XY テーブル 102 上に載置され、フォトマスク 101 に形成されたパターンには、XY テーブル 102 の上方に配置されている適切な光源 103 によって光が照射される。光源 103 から照射される光束は、照明光学系 170 を介して試料となるフォトマスク 101 を照射する。フォトマスク 101 の下方には、拡大光学系 104、フォトダイオードアレイ 105 及びセンサ回路 106 が配置されており、露光用マスクなどの試料となるフォトマスク 101 を透過した光は拡大光学系 104 を介して、フォトダイオードアレイ 105 に光学像として結像し、入射する。

20

【0017】

図 4 は、光学画像の取得手順を説明するための図である。

被検査領域は、図 4 に示すように、Y 方向に向かって、スキャン幅 W の短冊状の複数の検査ストライプに仮想的に分割され、更にその分割された各検査ストライプが連続的に走査されるように XY テーブル 102 の動作が制御され、X 方向に移動しながら光学画像が取得される。フォトダイオードアレイ 105 では、図 4 に示されるようなスキャン幅 W の画像を連続的に入力する。そして、第 1 の検査ストライプにおける画像を取得した後、第 2 の検査ストライプにおける画像を今度は逆方向に移動しながら同様にスキャン幅 W の画像を連続的に入力する。そして、第 3 の検査ストライプにおける画像を取得する場合には、第 2 の検査ストライプにおける画像を取得する方向とは逆方向、すなわち、第 1 の検査ストライプにおける画像を取得した方向に移動しながら画像を取得する。このように、連続的に画像を取得していくことで、無駄な処理時間を短縮することができる。

30

【0018】

フォトダイオードアレイ 105 上に結像されたパターンの像は、フォトダイオードアレイ 105 によって光電変換され、更にセンサ回路 106 によって A/D (アナログデジタル) 変換される。フォトダイオードアレイ 105 には、TDI センサのようなセンサが設置されている。ステージとなる XY テーブル 102 を X 軸方向に連続的に移動させることにより、TDI センサは試料となるフォトマスク 101 のパターンを撮像する。これらの光源 103、拡大光学系 104、フォトダイオードアレイ 105、センサ回路 106 により高倍率の検査光学系が構成されている。

40

【0019】

XY テーブル 102 は、制御計算機 110 の制御の下にテーブル制御回路 114 により駆動される。X 方向、Y 方向、Z 方向に駆動する 3 軸 (X - Y - Z) モータの様な駆動系によって移動可能となっている。

【0020】

センサ回路 106 から出力された測定データ (光学画像) は、位置回路 107 から出力

50

されたXY テーブル102上におけるフォトマスク101の位置を示すデータとともに位置合わせ回路140に送られる。測定パターンデータは例えば8ビットの符号なしデータであり、各画素の明るさの階調を表現している。

【0021】

そして、S102において、参照データ作成工程として、参照画像作成部が被検査試料となるフォトマスク101の設計データに基づいて、測定データと比較するための参照データ(参照画像)を作成する。

【0022】

次に、位置合わせ工程として、測定データと参照データとを比較するために位置合わせを行なう。

S202において、記憶工程として、制御計算機110を使って、参照データを読み出して参照データメモリ302に記憶させる。同様に、測定データを読み出して測定データメモリ304に記憶させる。

【0023】

S204において、画素単位SSD演算工程として、残差2乗和演算部の一例となる画素単位SSD演算回路310は、画素単位でずらして、測定データの画素値と参照データの画素値との残差2乗和が最小となる位置への位置ずれ量を演算する。

【0024】

図5は、SSD演算手法を説明するための図である。

まず、画素単位SSD演算回路310は、位置回路107からの位置情報をベースにして、参照データメモリ302から、比較処理の単位となる所定の大きさの画像の領域(フレーム)の参照データを読み出す。この際、画素単位SSD演算回路310は、かかるフレームの参照データについて、画素単位で平行シフトした画像(ずらした画像)をそれぞれ作成する。図5では、データ1、データ2、・・・データnとして示している。かかるフレームでの測定データと参照データとを比較することになる。例えば、1つのフレームとして、512×512画素の領域とすると好適である。そして、画素単位でずらした複数の参照データの各参照データを測定データメモリ304から読み出した同じ大きさの領域の測定データとの間で、残差2乗和を演算する。残差2乗和は、参照データの各画素値と測定データの各画素値との残差を2乗して、読み出した領域全体の和をとることで解を得ることができる。そして、複数の参照データについてそれぞれ残差2乗和を演算し、残差2乗和の最小値を演算する。そして、かかる最小値をとる位置に測定データと参照データとを位置合わせする。このようにして、画素単位でx、y方向に平行シフトした場合に最も合った位置に位置合わせすることができる。かかる位置を仮の合わせ位置として、以下、詳細な位置合わせを行なう。

【0025】

S206において、サブ画素単位SSD演算工程として、残差2乗和演算部の一例となるサブ画素単位SSD演算回路320は、測定データと参照データとの仮の合わせ位置から、サブ画素単位でずらして、測定データの画素値と参照データの画素値との残差2乗和が最小となる位置への位置ずれ量を演算する。

サブ画素単位SSD演算手法は、図5に説明した内容と同様である。仮の合わせ位置をベースにして、上述した比較対象となる領域の大きさの参照データについて、サブ画素単位で平行シフトした画像(ずらした画像)をそれぞれ作成する。図5では、データ1、データ2、・・・データnとして示している。例えば、サブ画素として、1画素の1/8、1/16、1/32等を単位とする。例えば、サブ画素として、1画素の1/8を単位とする場合、x方向、y方向に、それぞれ±1/8画素、±2/8画素、±3/8画素、±4/8画素、±5/8画素、±6/8画素、±7/8画素だけずらした所定の大きさの領域の参照データ及びずらし量が0の参照データを作成する。すなわち、x方向に16通り、y方向に16通りの組み合わせとなる256種の参照データを作成する。そして、各参照データと測定データとの間で、残差2乗和を演算する。残差2乗和は、参照データの各画素値と測定データの各画素値との残差を2乗して、読み出した領域全体の和をとることで

10

20

30

40

50

解を得ることができる。そして、複数の参照データについてそれぞれ残差 2 乗和を演算し、残差 2 乗和の最小値を演算する。このようにして、かかる最小値をとる位置への位置ずれ量を得ることができる。設定されたずらし量や演算された残差 2 乗和等のデータは、演算データメモリ 330 に格納される。このようにして、サブ画素単位で x 、 y 方向に平行シフトした場合に最も合った位置に位置合わせするための位置ずれ量 (x_0 、 y_0) を得ることができる。

【0026】

S208において、最小二乗法位置ずれ演算工程として、最小二乗法演算部の一例となる最小二乗法位置ずれ演算回路322は、測定データと参照データとの上述した仮の合わせ位置からの最小二乗法に基づく位置ずれ量を演算する。ここでは、統計的手法である最小二乗法を用いて位置合わせに必要な位置ずれ量を演算する。

10

【0027】

図6は、最小二乗法に基づく位置ずれ量演算のモデル式を示す図である。

図6に示すように、参照画像となる参照データ $U(x, y)$ に対して、光学画像(実画像)となる測定データ $S(x, y)$ の x 、 y 方向の位置ずれ量 (x_0 、 y_0) と像強度変動率 ΔU を仮定すると、式(1)に示すように、 $S(x, y) = (1 - \Delta U) U(x - x_0, y - y_0)$ で表すことができる。変動量が十分小さいと仮定して線形化することにより、式(2)に示すように、 $-\Delta U \cdot U + x_0 \cdot (dU/dx) + y_0 \cdot (dU/dy) = U - S$ を得る。 dU/dx は U の x による偏微分、 dU/dy は同じく U の y による偏微分である。そして、二次元画像の各画素に対して、参照データから実画となる測定データを引き算した値 ($U - S$) と、 x 方向に参照データを空間微分した値 (dU/dx) と y 方向に参照画を空間微分した値 (dU/dy) を求めて、以下に示す相関行列を求めることができる。

20

【0028】

図7は、最小二乗法に基づく相関行列式を示す図である。

位置ずれ (x_0 、 y_0) と像強度変動率 ΔU は、図7に示す相関行列式を解くことにより最小二乗法により推定することができる。これにより最小二乗法に基づいた場合に最も合った位置に位置合わせするための位置ずれ量 (x_0 、 y_0) を得ることができる。

【0029】

S210において、残差 2 乗和演算工程として、残差 2 乗和演算部の一例となる残差 2 乗和演算回路324は、測定データと参照データとの上述した仮の合わせ位置から最小二乗法位置ずれ演算回路322により演算された位置ずれ量 (x_0 、 y_0) 分ずらした位置 ($x - x_0$ 、 $y - y_0$) における測定データの画素値と参照データの画素値との残差 2 乗和を演算する。

30

【0030】

S212において、判定工程として、判定部の一例となる判定回路340は、サブ画素単位SSD演算回路320により演算された結果得られた最小の残差 2 乗和と残差 2 乗和演算回路324により演算された結果得られた残差 2 乗和とのうち、いずれが小さいかを判定する。

【0031】

S214において、位置補正工程として、位置補正部の一例となる位置補正回路350は、判定回路340により判定された小さい方の残差 2 乗和が得られる位置に測定データと参照データとの合わせ位置を補正する。また、位置補正回路350は、最小二乗法位置ずれ演算回路322により演算された像強度変動率 ΔU を用いて参照データの各画素の像強度を補正しても好適である。例えば、判定回路340により残差 2 乗和演算回路324により演算された結果が採用された場合はもとより、サブ画素単位SSD演算回路320により演算された結果が採用された場合でも最小二乗法位置ずれ演算回路322により演算された像強度変動率 ΔU を用いて参照データの各画素の像強度を補正しても好適である。

40

【0032】

ここで、SSD法と最小二乗法とは、それぞれ得意とするパターン種が存在する。例え

50

ば、SSD法は、疎な図形密度のパターンの位置合わせに適している。他方、最小二乗法は、密な図形密度のパターンの位置合わせに適している。そのため、本実施の形態のように構成することで、最小二乗法の残差二乗和とサブ画素単位のSSDの最小残差二乗和を比較して、最小二乗法とサブ画素単位のSSDで小さい方の補正方法を採用すれば、それぞれ単独で補正する場合よりも良い結果が期待できる。

つまり、疎なパターンからなる画像の場合には、最小二乗法による計算が不安定になることがあり、その場合にはSSDによる位置合わせを採用する。SSD法と最小二乗法とを併用することでかかる疎なパターンにおいても安定な補正を可能とすることができる。

そして、かかる値を用いて、参照画像となる参照データ或いは光学画像(実画像)となる測定データを補正することにより測定データと参照データをより一致させることができ、結果として欠陥検査の誤検出を防止し、実用的な感度の向上を図ることができる。以上のように、参照画と実画の位置ずれおよび像強度変動を簡便に補正することにより、高感度な検査を実現することができる。

【0033】

ここで、判定工程において比較するのは残差二乗和に限定されるものではなく、一般に p を正の数として残差の p 乗和を採用してもよい。SSDは $p=2$ の場合に該当する。すなわち、最小二乗法と並行してSSDによる位置補正を行い、 p を正数として実画と補正された参照画の残差絶対値の p 乗和を最小二乗法による補正とSSD法による補正とのそれぞれの場合について計算して、両者を比較して、残和絶対値の p 乗和が最小となる補正手法を選択してもよい。

【0034】

S216において、比較工程として、比較回路108は、試料となるフォトマスク101から得られる透過画像に基づいてセンサ回路106で生成された被検査パターン画像となる光学画像と、展開回路111と参照回路112で生成した検査基準パターン画像となる参照画像とを、位置合わせ回路140にて位置合わせした後に取り込み、所定のアルゴリズムに従って比較し、欠陥の有無を判定する。このように高精度な位置合わせが行われたデータ比較を行うことにより欠陥の誤検出を抑制して擬似欠陥を低減し、高精度の検査を行うことができる。

【0035】

実施の形態2 .

実施の形態2では、一次元パターンの測定データと参照データとの位置合わせを行なう場合の簡易手法について説明する。ここで、実施の形態2における装置構成および試料検査方法或いは画像位置合わせ方法の各工程は、実施の形態1と同様であるため説明を省略する。

【0036】

図8は、一次元パターンの一例を示す図である。

図9は、一次元パターンの他の一例を示す図である。

最小二乗法によるモデルは、二次元パターンに好適なものであるが、ライン・スペースのように一次元パターンの場合には、正規行列がランク落ちして x_0 または y_0 の一方が不定となる場合が考えられる。図8と図9の例では、 y_0 が不定となる。

図10は、 y_0 が不定となる場合の相関行列式を示す図である。

例えば、 y_0 が不定となる場合、正規行列の対角成分である $(dU/dx)^2$ と $(dU/dy)^2$ を比較すると、図10(a)に示すように、対角成分の $(dU/dy)^2$ が $(dU/dx)^2$ に比べて無視できるので、図10(b)に示すように、正規行列の相関和から (dU/dy) を含む項を除くことにより正規行列を 3×3 から 2×2 に縮退することができる。この導出された行列を解き、 x_0 と y_0 を求めて、位置補正や像解像補正を行うことができる。

【0037】

図11は、一次元パターンの他の一例を示す図である。

図12は、一次元パターンの他の一例を示す図である。

10

20

30

40

50

上述した場合とは逆に、図 1 1 と図 1 2 の例では、 x_0 が不定となる。

かかる場合には、正規行列の対角成分である $(dU/dx)^2$ と $(dU/dy)^2$ を比較すると、対角成分の $(dU/dx)^2$ が $(dU/dy)^2$ に比べて無視できるので、上述した例とは逆に、正規行列の相関和から (dU/dx) を含む項を除くことにより正規行列を 3×3 から 2×2 に縮退することができる。この導出された行列を解き、 x_0 と y_0 を求めて、位置補正や像解像補正を行うことができる。

【0038】

以上のように、最小二乗法位置ずれ演算回路 3 2 2 は、 x 方向に参照画像を空間微分した値と y 方向に参照画像を空間微分した値との一方が他方の規定倍よりも小なる場合に、小なる方を除いて演算する。その結果、最小二乗法によるモデルにおいて、ライン系のよ

10

【0039】

ここで、ライン系の位置補正のみを行う場合に例えば x_0 が不定になる場合でも、 x 方向は併用しているサブ画素単位の SSD の x 方向のシフト量を採用して位置補正を行うことも好適である。実際に、1次元パターンと二次元パターンの区別が難しい場合でも、未定となる x_0 をたとえば「0」と固定するよりも安定な位置合わせ結果を得ることができる。同様に、例えば y_0 が不定になる場合でも、 y 方向は併用しているサブ画素単位の SSD の y 方向のシフト量を採用して位置補正を行うことも好適である。また、 x 方向に参照画像を空間微分した値と前記 y 方向に参照画像を空間微分した値との一方が他方の規定

20

【0040】

実施の形態 3 .

実施の形態 3 では、フレーム内の局所的な位置ずれを補正する場合の手法について説明する。ここで、実施の形態 3 における装置構成および試料検査方法或いは画像位置合わせ方法の各工程は、実施の形態 1 と同様であるため説明を省略する。

【0041】

図 1 3 は、二次元パターンの一例を示す図である。

30

例えば、図 1 3 に示す二次元パターンの一部に局所的な位置ずれが生じているような場合、SSD では、フレーム全体を x , y 方向に移動させるため対応することが難しい。一方、最小二乗法では、かかるフレームを例えば図 1 3 に示すように点線で分割して、各分割された領域ごとに位置ずれ量を演算し、位置ずれ量および像強度変動率をそれぞれ推定するようにしても好適である。そして、かかる場合に、分割された領域が 1次元パターンで構成されている場合には、実施の形態 2 において説明したように x_0 または y_0 の一方が不定となる場合、それぞれ正規行列を 3×3 から 2×2 に縮退することができる。そして、各分割された領域を合成することにより精度の高い位置ずれ補正を行なうことができる。

【0042】

40

また、最小二乗法では、上述したフレームを例えば図 1 3 に示すように点線で分割する場合に、重み付け分割して、各分割された領域ごとに位置ずれ量を演算し、位置ずれ量および像強度変動率をそれぞれ推定するようにしても好適である。

図 1 4 は、1次の線形補間による重み付けを説明するための図である。

図 1 5 は、周囲の 4 点で重み付けを行なう場合の式を示す図である。

例えば、ある画像データ P について、画素 P を周囲の 4 点 (0 , 1 , 2 , 3) の画像データをを用いて内挿すると、参照データ $U_{(0)}$ は、 $U_{(0)} = (1 - x)(1 - y)U$ 、参照データ $U_{(1)}$ は、 $U_{(1)} = x(1 - y)U$ 、参照データ $U_{(2)}$ は、 $U_{(2)} = xyU$ 、参照データ $U_{(3)}$ は、 $U_{(3)} = (1 - x)yU$ で示すことができる。かかる重み付けされた参照データ $U_{(0)}$ 、参照データ $U_{(1)}$ 、参照データ $U_{(2)}$ 、参照デ

50

ータ $U_{(3)}$ を用いて相関行列を計算する。

【0043】

図16は、実施の形態3における相関行列式を示す図である。

周囲の4点で重み付けを行なう場合、図16に示す相関行列式を解くことにより、像強度変動率 (0) 、 (1) 、 (2) 、 (3) 、位置ずれ量 $x_0(0)$ 、 $x_0(1)$ 、 $x_0(2)$ 、 $x_0(3)$ 、 $y_0(0)$ 、 $y_0(1)$ 、 $y_0(2)$ 、 $y_0(3)$ といった12の変数を得ることができる。かかる各値を用いて、位置補正することによりフレーム内の局所的な位置ずれ等を補正することができる。局所的な位置ずれの原因としては、(1)XYステージの蛇行、(2)実画像と参照画像の画素サイズの差異、(3)撮像素子の画素サイズの差異などが考えられる。重み付けの手法は、かかる周囲の4点を用いる場合に限らず、16点を用いる双三次補間などを採用することも好適である。図16では、行列の各値について一部記載を省略している。

10

【0044】

図17は、別の光学画像取得手法を説明するための図である。

図1の構成では、スキャン幅 W の画素数 (例えば2048画素) を同時に入射するフォトダイオードアレイ105を用いているが、これに限るものではなく、図17に示すように、XYテーブル102をX方向に定速度で送りながら、レーザ干渉計で一定ピッチの移動を検出した毎にY方向に図示していないレーザスキャン光学装置でレーザビームをY方向に走査し、透過光を検出して所定の大きさのエリア毎に二次元画像を取得する手法を用いても構わない。

20

【0045】

以上の説明において、「～回路」或いは「～工程」と記載したものは、コンピュータで動作可能なプログラムにより構成することができる。或いは、ソフトウェアとなるプログラムだけではなく、ハードウェアとソフトウェアとの組合せにより実施させても構わない。或いは、ファームウェアとの組合せでも構わない。また、プログラムにより構成される場合、プログラムは、磁気ディスク装置、磁気テープ装置、FD、或いはROM(リードオンリメモリ)等の記録媒体に記録される。例えば、演算制御部を構成するテーブル制御回路114、展開回路111、参照回路112、比較回路108、位置合わせ回路140及び位置合わせ回路140内の各回路等は、電気的回路で構成されていても良いし、制御計算機110によって処理することのできるソフトウェアとして実現してもよい。また電気的回路とソフトウェアの組み合わせで実現しても良い。

30

【0046】

以上、具体例を参照しつつ実施の形態について説明した。しかし、本発明は、これらの具体例に限定されるものではない。例えば、各実施の形態では、透過光を用いているが、反射光あるいは、透過光と反射光を同時に用いてもよい。参照画像は設計データから生成しているが、フォトダイオードアレイ等のセンサにより撮像した同一パターンのデータを用いても良い。言い換えれば、die to die検査でもdie to database検査でも構わない。

【0047】

また、装置構成や制御手法等、本発明の説明に直接必要しない部分等については記載を省略したが、必要とされる装置構成や制御手法を適宜選択して用いることができる。

40

【0048】

その他、本発明の要素を具備し、当業者が適宜設計変更しうる全ての試料検査装置、試料検査方法、画像位置合わせ方法は、本発明の範囲に包含される。

【図面の簡単な説明】

【0049】

【図1】実施の形態1における試料検査装置の構成を示す概念図である。

【図2】位置合わせ回路の構成を示すブロック図である。

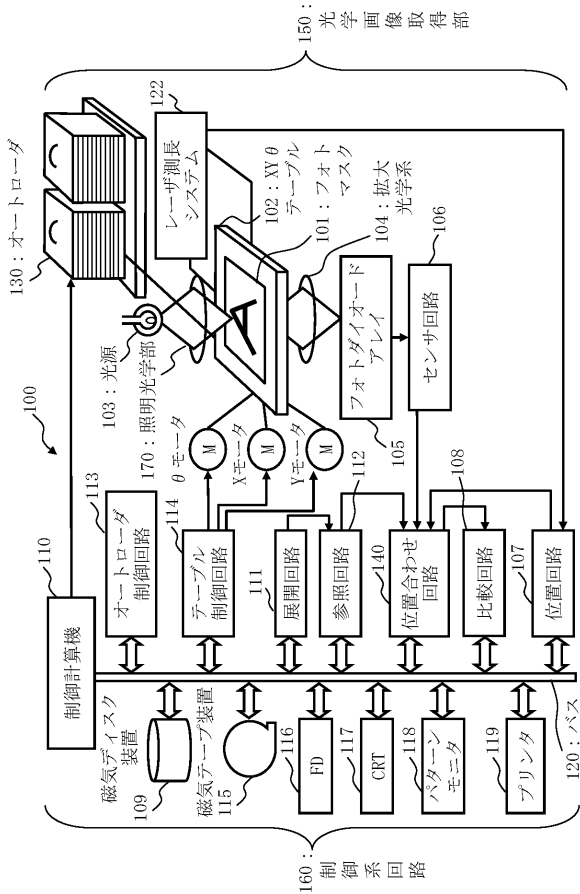
【図3】実施の形態1における試料検査方法の要部工程を示すフローチャート図である。

【図4】光学画像の取得手順を説明するための図である。

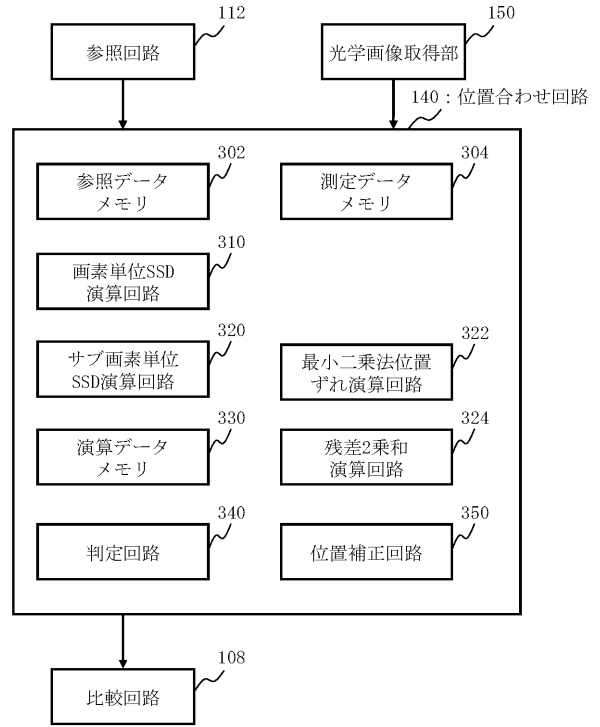
50

- 【図5】SSD演算手法を説明するための図である。
- 【図6】最小二乗法に基づく位置ずれ量演算のモデル式を示す図である。
- 【図7】最小二乗法に基づく相関行列式を示す図である。
- 【図8】一次元パターンの一例を示す図である。
- 【図9】一次元パターンの他の一例を示す図である。
- 【図10】 y_0 が不定となる場合の相関行列式を示す図である。
- 【図11】一次元パターンの他の一例を示す図である。
- 【図12】一次元パターンの他の一例を示す図である。
- 【図13】二次元パターンの一例を示す図である。
- 【図14】1次の線形補間による重み付けを説明するための図である。 10
- 【図15】周囲の4点で重み付けを行なう場合の式を示す図である。
- 【図16】実施の形態3における相関行列式を示す図である。
- 【図17】別の光学画像取得手法を説明するための図である。
- 【符号の説明】
- 【0050】
- 100 試料検査装置
- 101 フォトマスク
- 102 XY テーブル
- 103 光源
- 104 拡大光学系 20
- 105 フォトダイオードアレイ
- 106 センサ回路
- 107 位置回路
- 108 比較回路
- 109 磁気ディスク装置
- 110 制御計算機
- 111 展開回路
- 112 参照回路
- 115 磁気テープ装置
- 140 位置合わせ回路 30
- 150 光学画像取得部
- 302 参照データメモリ
- 304 測定データメモリ
- 310 画素単位SSD演算回路
- 320 サブ画素単位SSD演算回路
- 332 最小二乗法位置ずれ演算回路
- 330 演算データメモリ
- 324 残差2乗和演算回路
- 340 判定回路
- 350 位置補正回路 40

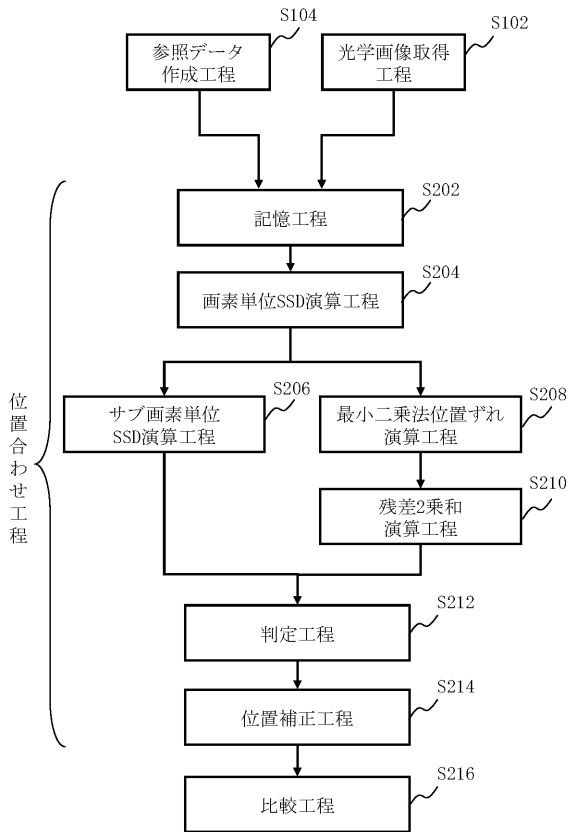
【図1】



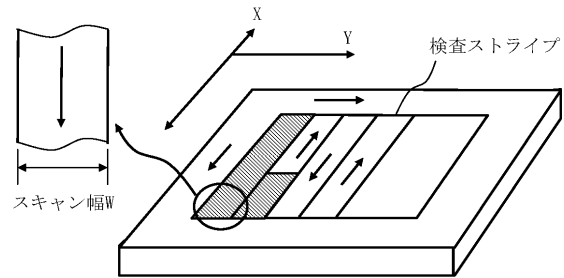
【図2】



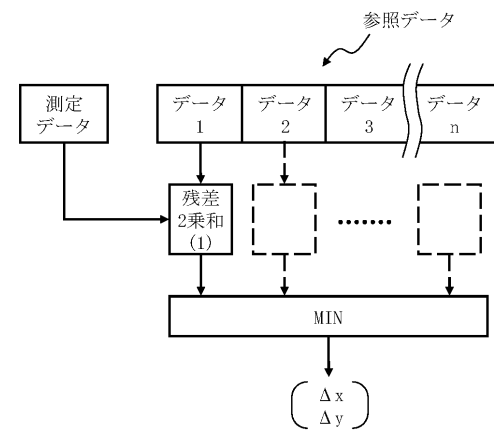
【図3】



【図4】



【図5】



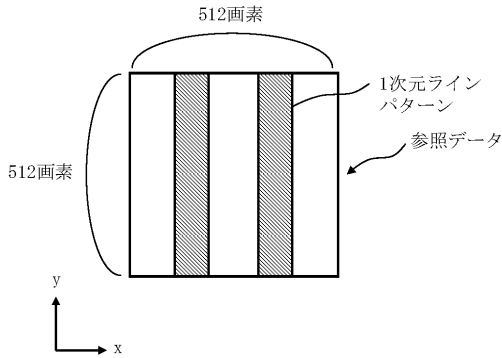
【 図 6 】

$$\begin{cases} S(x,y) = (1-\varepsilon) \cdot U(x-x_0, y-y_0) \cdots (1) \\ \varepsilon \cdot U + x_0 \cdot \frac{\partial U}{\partial x} + y_0 \cdot \frac{\partial U}{\partial y} = U - S \cdots (2) \end{cases}$$

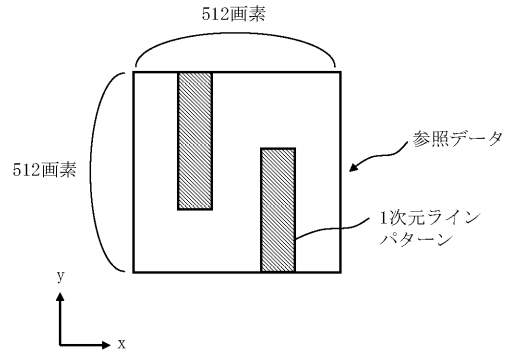
【 図 7 】

$$\begin{pmatrix} \sum U^2 & \sum U \frac{\partial U}{\partial x} & \sum U \frac{\partial U}{\partial y} \\ \sum U \frac{\partial U}{\partial x} & \sum (\frac{\partial U}{\partial x})^2 & \sum \frac{\partial U}{\partial x} \frac{\partial U}{\partial y} \\ \sum U \frac{\partial U}{\partial y} & \sum \frac{\partial U}{\partial x} \frac{\partial U}{\partial y} & \sum (\frac{\partial U}{\partial y})^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon \\ x_0 \\ y_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum (U-S)U \\ \sum (U-S) \frac{\partial U}{\partial x} \\ \sum (U-S) \frac{\partial U}{\partial y} \end{pmatrix}$$

【 図 8 】



【 図 9 】



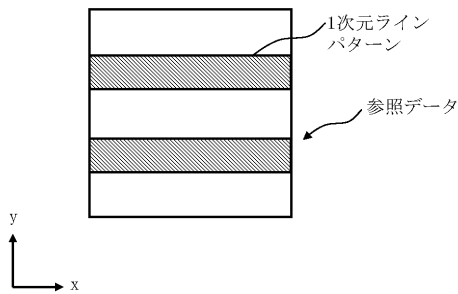
【 図 10 】

(a) $\sum (\frac{\partial U}{\partial x})^2 \gg \sum (\frac{\partial U}{\partial y})^2$

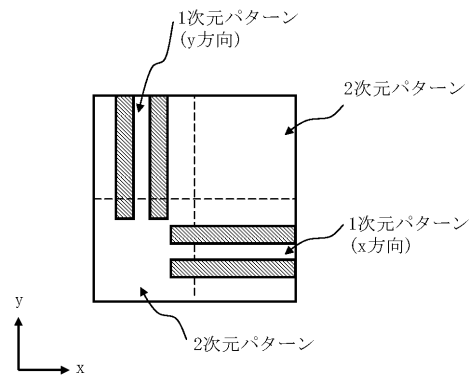


(b) $\begin{pmatrix} \sum U^2 & \sum U \frac{\partial U}{\partial x} \\ \sum U \frac{\partial U}{\partial x} & \sum (\frac{\partial U}{\partial x})^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon \\ x_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum (U-S)U \\ \sum (U-S) \frac{\partial U}{\partial x} \end{pmatrix}$

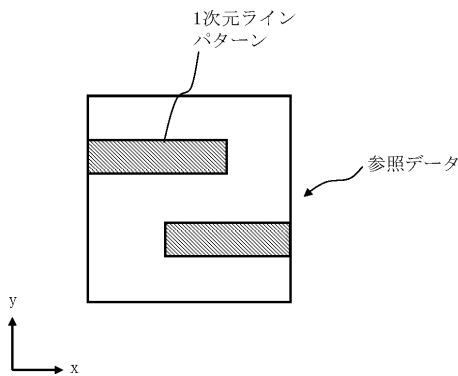
【 図 11 】



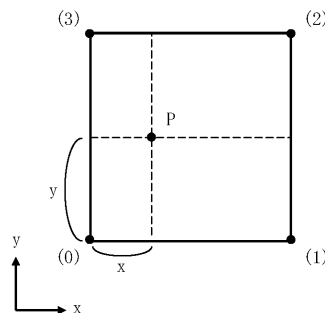
【 図 13 】



【 図 12 】



【 図 14 】



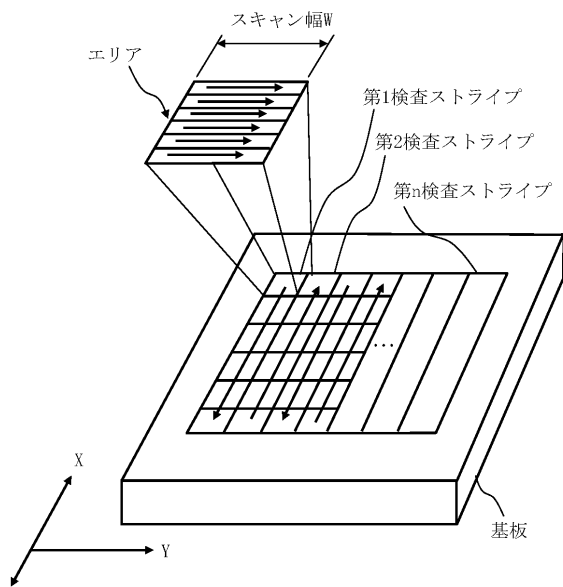
【 図 1 5 】

$$\begin{cases} U_{(0)} = (1-x)(1-y)U \\ U_{(1)} = x(1-y)U \\ U_{(2)} = xyU \\ U_{(3)} = (1-x)yU \end{cases}$$

【 図 1 6 】

$$\begin{pmatrix} \sum U_{(0)}^2 \dots \sum U_{(0)} U_{(1)} \\ \vdots \\ \sum U_{(0)} U_{(1)} \dots \sum U_{(0)}^2 \\ \vdots \\ \sum \frac{\partial U_{(0)}}{\partial x} U_{(0)} \dots \sum \frac{\partial U_{(0)}}{\partial x} U_{(1)} \\ \vdots \\ \sum \frac{\partial U_{(0)}}{\partial x} U_{(0)} \dots \sum \frac{\partial U_{(0)}}{\partial x} U_{(1)}^2 \\ \vdots \\ \sum \frac{\partial U_{(0)}}{\partial x} U_{(0)} \dots \sum \frac{\partial U_{(0)}}{\partial x} U_{(1)} \dots \sum \frac{\partial U_{(0)}}{\partial x} U_{(2)} \\ \vdots \\ \sum \frac{\partial U_{(0)}}{\partial x} U_{(0)} \dots \sum \frac{\partial U_{(0)}}{\partial x} U_{(1)} \dots \sum \frac{\partial U_{(0)}}{\partial x} U_{(2)} \dots \sum \frac{\partial U_{(0)}}{\partial x} U_{(3)} \\ \vdots \\ \sum \frac{\partial U_{(0)}}{\partial x} U_{(0)} \dots \sum \frac{\partial U_{(0)}}{\partial x} U_{(1)} \dots \sum \frac{\partial U_{(0)}}{\partial x} U_{(2)} \dots \sum \frac{\partial U_{(0)}}{\partial x} U_{(3)}^2 \\ \vdots \\ \sum \frac{\partial U_{(0)}}{\partial x} U_{(0)} \dots \sum \frac{\partial U_{(0)}}{\partial x} U_{(1)} \dots \sum \frac{\partial U_{(0)}}{\partial x} U_{(2)} \dots \sum \frac{\partial U_{(0)}}{\partial x} U_{(3)} \dots \sum \frac{\partial U_{(0)}}{\partial x} U_{(3)}^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \varepsilon_{(0)} \\ \vdots \\ \varepsilon_{(0)} \\ x^{(0)} \\ \vdots \\ x^{(0)} \\ y^{(0)} \\ \vdots \\ y^{(0)} \end{pmatrix}$$

【 図 1 7 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2G051 AA51 AA56 AB02 CA03 CA04 CB02 DA07 DA09 EA08 EB09
2H095 BD02 BD16 BD28