

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4772815号
(P4772815)

(45) 発行日 平成23年9月14日(2011.9.14)

(24) 登録日 平成23年7月1日(2011.7.1)

(51) Int.Cl.		F I			
GO3F	1/08	(2006.01)	GO3F	1/08	S
GO6T	1/00	(2006.01)	GO6T	1/00	305D
GO1N	21/956	(2006.01)	GO1N	21/956	A

請求項の数 3 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2008-71959 (P2008-71959)	(73) 特許権者	000003078 株式会社東芝 東京都港区芝浦一丁目1番1号
(22) 出願日	平成20年3月19日(2008.3.19)	(73) 特許権者	000004237 日本電気株式会社 東京都港区芝五丁目7番1号
(65) 公開番号	特開2009-229555 (P2009-229555A)	(74) 代理人	100119035 弁理士 池上 徹真
(43) 公開日	平成21年10月8日(2009.10.8)	(74) 代理人	100141036 弁理士 須藤 章
審査請求日	平成20年3月19日(2008.3.19)	(74) 代理人	100088487 弁理士 松山 允之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 補正パターン画像生成装置、パターン検査装置および補正パターン画像生成方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

試料のパターン検査に用いる検査基準パターン画像の補正を行う補正パターン画像生成装置であって、

被検査パターン画像と前記検査基準パターン画像の位置合わせを行い、サブ画素単位の相対シフト量を算出する相対シフト量算出部と、

前記検査基準パターン画像を、前記相対シフト量に基づいて垂直または水平方向のいずれか一方のシフト方向にシフトする画像シフト部と、

前記被検査パターン画像およびシフトした前記検査基準パターン画像に対して、第1の線形予測モデルを用いた入出力関係を記述する第1の連立方程式を生成する第1の方程式生成部と、

前記第1の連立方程式のパラメータを求める第1のパラメータ推定部と、

前記第1の連立方程式のパラメータが代入された前記第1の線形予測モデルを用いて、前記検査基準パターン画像を、前記シフト方向に対し垂直な方向に補正した第1の補正パターン画像を生成する第1の補正パターン画像生成部と、

前記被検査パターン画像および前記第1の補正パターン画像に対して、第2の線形予測モデルを用いた入出力関係を記述する第2の連立方程式を生成する第2の方程式生成部と、

前記第2の連立方程式のパラメータを求める第2のパラメータ推定部と、

前記第2の連立方程式のパラメータが代入された前記第2の線形予測モデルを用いて、

10

20

前記第 1 の補正パターン画像を、前記シフト方向と同一の方向に補正した第 2 の補正パターン画像を生成する第 2 の補正パターン画像生成部と、
を備え、

前記第 1 の線形予測モデルが $1 \times n$ (n は 3 以上の整数) 画素の領域を入力とする $1 \times n$ 次のモデルであり、かつ、前記第 2 の線形予測モデルが $n \times 1$ 画素の領域を入力とする $n \times 1$ 次のモデルであること、または、

前記第 1 の線形予測モデルが $n \times 1$ 画素の領域を入力とする $n \times 1$ 次のモデルであり、かつ、前記第 2 の線形予測モデルが $1 \times n$ 画素の領域を入力とする $1 \times n$ 次のモデルであることを特徴とする補正パターン画像生成装置。

【請求項 2】

請求項 1 記載の補正パターン画像生成装置を有することを特徴とするパターン検査装置。

【請求項 3】

試料のパターン検査に用いる検査基準パターン画像の補正を行う補正パターン画像生成方法であって、

被検査パターン画像と前記検査基準パターン画像の位置合わせを行い、サブ画素単位の相対シフト量を算出する相対シフト量算出ステップと、

前記検査基準パターン画像を、前記相対シフト量に基づいて垂直または水平方向のいずれか一方のシフトする画像シフトステップと、

前記被検査パターン画像およびシフトした前記検査基準パターン画像に対して、第 1 の線形予測モデルを用いた入出力関係を記述する第 1 の連立方程式を生成する第 1 の方程式生成ステップと、

前記第 1 の連立方程式のパラメータを求める第 1 のパラメータ推定ステップと、

前記第 1 の連立方程式のパラメータが代入された前記第 1 の線形予測モデルを用いて、前記検査基準パターン画像を、前記シフト方向に対し垂直な方向に補正した、第 1 の補正パターン画像を生成する第 1 の補正パターン画像生成ステップと、

前記被検査パターン画像および前記第 1 の補正パターン画像に対して、第 2 の線形予測モデルを用いた入出力関係を記述する第 2 の連立方程式を生成する第 2 の方程式生成ステップと、

前記第 2 の連立方程式のパラメータを求める第 2 のパラメータ推定ステップと、

前記第 2 の連立方程式のパラメータが代入された前記第 2 の線形予測モデルを用いて、前記第 1 の補正パターン画像を、前記シフト方向と同一の方向に補正した第 2 の補正パターン画像を生成する第 2 の補正パターン画像生成ステップと、

を備え、

前記第 1 の線形予測モデルが $1 \times n$ (n は 3 以上の整数) 画素の領域を入力とする $1 \times n$ 次のモデルであり、かつ、前記第 2 の線形予測モデルが $n \times 1$ 画素の領域を入力とする $n \times 1$ 次のモデルであること、または、

前記第 1 の線形予測モデルが $n \times 1$ 画素の領域を入力とする $n \times 1$ 次のモデルであり、かつ、前記第 2 の線形予測モデルが $1 \times n$ 画素の領域を入力とする $1 \times n$ 次のモデルであることを特徴とする補正パターン画像生成方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、補正パターン画像生成装置、パターン検査装置および補正パターン画像生成方法に関し、例えば、半導体リソグラフィ用マスクの欠陥検査に適用される補正パターン画像生成装置、パターン検査装置および補正パターン画像生成方法に関する。

【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

10

20

30

40

50

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。

【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。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】

パターン欠陥を検査する方法には、大きく分けて、ダイとダイとの比較（Die to Die比較：DD比較）検査と、ダイとデータベースとの比較（Die to Database比較：DB比較）検査がある。DD比較検査は、レチクル上の2つのダイの測定データ（検査基準パターン画像のデータと被検査パターン画像のデータ）を比較して欠陥を検出する方法である。また、DB比較検査は、ダイの測定データ（被検査パターン画像のデータ）とLSI設計用CADデータから発生させたダイの設計データ（検査基準パターン画像のデータ）を比較して欠陥を検出する方法である。

【0005】

20

DB比較検査では、試料はパターン検査装置の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、測定データと設計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。

【0006】

ここで、近年、リソグラフィ用マスク上のパターンの微細化に伴い、比較対象画像同士の画像位置ずれや画像の伸縮、うねり、センシングノイズなどに埋もれるような微小な欠陥を検出する必要が生じている。そのために、検査基準パターン画像と被検査パターン画像との高精度な位置合わせが必要となる。さらに、これらの欠陥を検出するためにも画像補正が重要となる。このため、従来、検査基準パターン画像と被検査パターン画像の2つの画像を比較検査する前段では、両画像のアライメントを行った後、画像の伸縮の補正（例えば、特許文献1参照）や画像のうねり補正、リサイズ補正、ノイズ平均化処理などの画像補正を順に行っていた。

30

【0007】

しかしながら、このような補正を繰り返すことは累積誤差を生じさせ、画像が劣化する大きな要因になっている。さらに、補正しすぎて検査基準パターン画像と被検査パターン画像とが近似しすぎると今度は欠陥の検出が困難になってしまう。すなわち、過剰な補正は逆効果になってしまう。

40

【0008】

また、特許文献2には、サブ画素レベルからの最終的な微調整のアライメントと画像補正を統合化し、画像劣化が少なく、効果的な画像補正である入出力予測モデルを用いた画像補正について開示されている。この画像補正は、例えば、検査基準パターン画像を入力データ、被検査パターン画像を出力データとして線形予測モデルを用いて、サブ画素単位のアライメントと画像補正を同時に実現するものである。この場合、画像データから行列の関係式を作り、連立方程式を解くことによってモデルパラメータ（係数）を同定する。そして同定されたモデルパラメータを適用した線形予測モデルに基づいて検査基準パターン画像を補正し補正パターン画像を生成する。

【特許文献1】特開2000-241136号公報

50

【特許文献2】特許第3965189号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

本発明は、上述した問題点を克服し、検査対象試料の被検査パターン画像を適切に検査するために、検査基準パターンの画像を適切に補正した補正パターン画像を生成する装置及びその方法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】

本発明の一態様の補正パターン画像生成装置は、試料のパターン検査に用いる検査基準パターン画像の補正を行う補正パターン画像生成装置であって、被検査パターン画像と前記検査基準パターン画像の位置合わせを行い、サブ画素単位の相対シフト量を算出する相対シフト量算出部と、前記検査基準パターン画像を、前記相対シフト量に基づいて垂直または水平方向のいずれか一方のシフト方向にシフトする画像シフト部と、前記被検査パターン画像およびシフトした前記検査基準パターン画像に対して、第1の線形予測モデルを用いた入出力関係を記述する第1の連立方程式を生成する第1の方程式生成部と、前記第1の連立方程式のパラメータを求める第1のパラメータ推定部と、前記第1の連立方程式のパラメータが代入された前記第1の線形予測モデルを用いて、前記検査基準パターン画像を、前記シフト方向に対し垂直な方向に補正した第1の補正パターン画像を生成する第1の補正パターン画像生成部と、前記被検査パターン画像および前記第1の補正パターン画像に対して、第2の線形予測モデルを用いた入出力関係を記述する第2の連立方程式を生成する第2の方程式生成部と、前記第2の連立方程式のパラメータを求める第2のパラメータ推定部と、前記第2の連立方程式のパラメータが代入された前記第2の線形予測モデルを用いて、前記第1の補正パターン画像を、前記シフト方向と同一の方向に補正した第2の補正パターン画像を生成する第2の補正パターン画像生成部と、を備え、前記第1の線形予測モデルが $1 \times n$ (n は3以上の整数)画素の領域を入力とする $1 \times n$ 次のモデルであり、かつ、前記第2の線形予測モデルが $n \times 1$ 画素の領域を入力とする $n \times 1$ 次のモデルであること、または、前記第1の線形予測モデルが $n \times 1$ 画素の領域を入力とする $n \times 1$ 次のモデルであり、かつ、前記第2の線形予測モデルが $1 \times n$ 画素の領域を入力とする $1 \times n$ 次のモデルであることを特徴とする。

【0012】

本発明の一態様のパターン検査装置は、上記補正パターン画像生成装置を有することを特徴とする。

【0013】

本発明の一態様の補正パターン画像生成方法は、試料のパターン検査に用いる検査基準パターン画像の補正を行う補正パターン画像生成方法であって、被検査パターン画像と前記検査基準パターン画像の位置合わせを行い、サブ画素単位の相対シフト量を算出する相対シフト量算出ステップと、前記検査基準パターン画像を、前記相対シフト量に基づいて垂直または水平方向のいずれか一方のシフトする画像シフトステップと、前記被検査パターン画像およびシフトした前記検査基準パターン画像に対して、第1の線形予測モデルを用いた入出力関係を記述する第1の連立方程式を生成する第1の方程式生成ステップと、前記第1の連立方程式のパラメータを求める第1のパラメータ推定ステップと、前記第1の連立方程式のパラメータが代入された前記第1の線形予測モデルを用いて、前記検査基準パターン画像を、前記シフト方向に対し垂直な方向に補正した第1の補正パターン画像を生成する第1の補正パターン画像生成ステップと、前記被検査パターン画像および前記第1の補正パターン画像に対して、第2の線形予測モデルを用いた入出力関係を記述する第2の連立方程式を生成する第2の方程式生成ステップと、前記第2の連立方程式のパラメータを求める第2のパラメータ推定ステップと、前記第2の連立方程式のパラメータが代入された前記第2の線形予測モデルを用いて、前記第1の補正パターン画像を、前記シ

フト方向と同一の方向に補正した第2の補正パターン画像を生成する第2の補正パターン画像生成ステップと、を備え、前記第1の線形予測モデルが $1 \times n$ (n は3以上の整数)画素の領域を入力とする $1 \times n$ 次のモデルであり、かつ、前記第2の線形予測モデルが $n \times 1$ 画素の領域を入力とする $n \times 1$ 次のモデルであること、または、前記第1の線形予測モデルが $n \times 1$ 画素の領域を入力とする $n \times 1$ 次のモデルであり、かつ、前記第2の線形予測モデルが $1 \times n$ 画素の領域を入力とする $1 \times n$ 次のモデルであることを特徴とする。

【0014】

ここで、前記第1の線形予測モデルが $1 \times n$ (n は3以上の整数)画素の領域を入力とする $1 \times n$ 次のモデルであり、かつ、前記第2の線形予測モデルが $n \times 1$ 画素の領域を入力とする $n \times 1$ 次のモデルであること、または、前記第1の線形予測モデルが $n \times 1$ 画素の領域を入力とする $n \times 1$ 次のモデルであり、かつ、前記第2の線形予測モデルが $1 \times n$ 画素の領域を入力とする $1 \times n$ 次のモデルであることが望ましい。

【発明の効果】

【0015】

本発明によれば、検査対象試料の被検査パターン画像を適切に検査するために、検査基準パターンの画像を適切に補正した補正画像を生成する装置及びその方法を提供することが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0016】

先に特許文献2を例に説明した補正パターン画像の生成方法においても、例えば、斜線パターン等については、パターンシフトの方向が不定となることに起因して、適切な補正が行えない事態が生じうる。また、斜線パターン等においては補正の適否の判定も困難である。このような場合、適切な補正が施されない検査基準パターン画像を用いることで、検査対象試料の検査精度の低下を招く。

【0017】

そこで、以下の実施の形態では、リソグラフィ用マスク検査装置などのパターン検査装置における画像補正をする際に、垂直方向と水平方向を別個に補正する。この画像補正によれば、適切な検査基準パターンの補正が実現できる。以下、このように、多様なパターン画像に適応した効果的な画像補正装置、パターン検査装置および画像補正方法について説明する。

【0018】

[第1の実施の形態]

図2は、第1の実施の形態のパターン検査装置の構成を示すブロック図である。図2において、パターンが形成された露光用マスクやウェハ等の基板を試料として、かかる試料の欠陥を検査するパターン検査装置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、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、CRT117、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。

【0019】

図2では、本実施の形態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。パターン検査装置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。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 0 】

図 1 は、図 2 の比較回路の内部構成を示すブロック図である。図 2 において、比較回路 1 0 8 は、メモリ 1 4 2、メモリ 1 4 4、位置合わせ部 1 4 0、補正パターン画像生成部 2 0 0、及び比較部 1 4 6 を有している。

【 0 0 2 1 】

メモリ 1 4 2 には、参照回路 1 1 2 から入力される参照データ（検査基準パターン画像データ）が格納される。メモリ 1 4 4 には、センサ回路 1 0 6 から入力した測定データ（被検査パターン画像データ）が格納される。ここで、補正パターン画像生成部 2 0 0 は、補正パターン画像生成装置の一例となる。

【 0 0 2 2 】

そして、補正パターン画像生成部 2 0 0 は、相対シフト量算出部 2 0 2、画像シフト部 2 0 4、第 1 の方程式生成部 2 0 6、第 1 のパラメータ推定部 2 0 8、第 1 の補正パターン画像生成部 2 1 0、第 2 の方程式生成部 2 1 2、第 2 のパラメータ推定部 2 1 4、第 2 の補正パターン画像生成部 2 1 6 を有している。

【 0 0 2 3 】

図 1 では、本実施の形態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。位置合わせ部 1 4 0、補正パターン画像生成部 2 0 0 あるいは比較部 1 4 6 に、その他の構成が含まれても構わない。また、位置合わせ部 1 4 0、補正パターン画像生成部 2 0 0、及び比較部 1 4 6 の各機能は、例えば、コンピュータで実行可能なソフトウェアで構成してもよい。但し、これに限るものではない。例えば、電気的な回路によるハードウェアにより実施させても構わない。或いは、電気的な回路による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、かかるハードウェアとファームウェアとの組合せでも構わない。同様に、相対シフト量算出部 2 0 2、画像シフト部 2 0 4、第 1 の方程式生成部 2 0 6、第 1 のパラメータ推定部 2 0 8、第 1 の補正パターン画像生成部 2 1 0、第 2 の方程式生成部 2 1 2、第 2 のパラメータ推定部 2 1 4、第 2 の補正パターン画像生成部 2 1 6 の各機能は、例えば、コンピュータで実行可能なソフトウェアで構成してもよい。或いは、電気的な回路によるハードウェアにより実施させても構わない。或いは、電気的な回路による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、かかるハードウェアとファームウェアとの組合せでも構わない。

【 0 0 2 4 】

以下、パターン検査装置 1 0 0 の動作について図 2 を参照しつつ説明する。まず、光学画像取得工程として、光学画像取得部 1 5 0 は、設計データに基づいてパターンが形成された試料となるフォトマスク 1 0 1 の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。

【 0 0 2 5 】

被検査試料となるフォトマスク 1 0 1 は、X Y 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 X Y テーブル 1 0 2 上に載置される。そして、フォトマスク 1 0 1 に形成されたパターンには、X Y テーブル 1 0 2 の上方に配置されている適切な光源 1 0 3 によって光が照射される。光源 1 0 3 から照射される光束は、照明光学系 1 7 0 を介してフォトマスク 1 0 1 を照射する。フォトマスク 1 0 1 の下方には、拡大光学系 1 0 4、フォトダイオードアレイ 1 0 5 及びセンサ回路 1 0 6 が配置されており、フォトマスク 1 0 1 を透過した光は拡大光学系 1 0 4 を介して、フォトダイオードアレイ 1 0 5 に光学像として結像し、入射する。拡大光学系 1 0 4 は、図示しない自動焦点機構により自動的に焦点調整がなされていてもよい。

【 0 0 2 6 】

図 3 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 3 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 X Y テーブル 1 0 2 (図 2) 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。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 7 】

フォトダイオードアレイ 1 0 5 (図 2) では、図 3 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。

【 0 0 2 8 】

フォトダイオードアレイ 1 0 5 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 1 0 5 によって光電変換され、更にセンサ回路 1 0 6 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 1 0 5 には、例えば、T D I (タイムディレイインテグレータ) 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 X Y テーブル 1 0 2 を X 軸方向に連続的に移動させることにより、T D I センサは試料となるフォトマスク 1 0 1 のパターンを撮像する。これらの光源 1 0 3、拡大光学系 1 0 4、フォトダイオードアレイ 1 0 5、センサ回路 1 0 6 により高倍率の検査光学系が構成されている。

【 0 0 2 9 】

X Y テーブル 1 0 2 は、制御計算機 1 1 0 の制御の下にテーブル制御回路 1 1 4 により駆動される。X 方向、Y 方向、 θ 方向に駆動する 3 軸 (X - Y - θ) モータの様な駆動系によって移動可能となっている。これらの、X 軸モータ、Y 軸モータ、 θ 軸モータは、例えばステップモータを用いることができる。そして、X Y テーブル 1 0 2 の移動位置はレーザ測長システム 1 2 2 により測定され、位置回路 1 0 7 に供給される。また、X Y テーブル 1 0 2 上のフォトマスク 1 0 1 はオートローダ制御回路 1 1 3 により駆動されるオートローダ 1 3 0 から自動的に搬送され、検査終了後に自動的に排出されるものとなっている。

【 0 0 3 0 】

センサ回路 1 0 6 から出力された測定データ (被検査パターン画像データ : 光学画像) は、位置回路 1 0 7 から出力された X Y テーブル 1 0 2 上におけるフォトマスク 1 0 1 の位置を示すデータとともに比較回路 1 0 8 に送られる。測定データは例えば 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。測定データは、例えば、5 1 2 画素 \times 5 1 2 画素の画像データ毎に比較される。

【 0 0 3 1 】

一方、フォトマスク 1 0 1 のパターン形成時に用いた設計データは、記憶装置の一例である磁気ディスク装置 1 0 9 に記憶される。そして、設計データは、磁気ディスク装置 1 0 9 から制御計算機 1 1 0 を通して展開回路 1 1 1 に読み出される。そして、展開回路 1 1 1 は、読み出された被検査試料となるフォトマスク 1 0 1 の設計データを 2 値ないしは多値のイメージデータに変換して、このイメージデータが参照回路 1 1 2 に送られる。

【 0 0 3 2 】

ここで、設計データは長方形や三角形を基本図形としたもので、例えば、図形の 2 つの頂点位置における座標 (x、y) や、長方形や三角形等の図形種を区別する識別子となる図形コードといった情報で各パターン図形の形、大きさ、位置等を定義した図形データが格納されている。かかる図形データとなる設計データが展開回路 1 1 1 に入力されると、図形ごとのデータにまで展開される。そして、その図形データの図形形状を示す図形コード、図形寸法などを解釈する。そして、所定の量子化寸法のグリッドを単位とするマス目内に配置されるパターンとして 2 値ないしは多値の図形パターンデータに展開される。

【 0 0 3 3 】

言い換えれば、設計データを読み込み、検査領域を所定の寸法を単位とするマス目として仮想分割してできたマス目毎に設計データにおける図形データが示す図形が占める占有率を演算し、n ビットの占有率データが生成され、内部のパターンメモリに出力される。例えば、1 つのマス目を 1 画素として設定すると好適である。そして、1 画素に $1 / 2^8$

10

20

30

40

50

(= 1 / 2 5 6) の分解能を持たせるとすると、画素内に配置されている図形の領域分だけ 1 / 2 5 6 の小領域を割り付けて画素内の占有率を演算する。そして、8ビットの占有率データとして生成され、内部のパターンメモリに格納される。

【 0 0 3 4 】

そして、参照回路 1 1 2 は、展開回路 1 1 1 から送られてきた図形のイメージデータから測定データと比較するための参照データ（検査基準パターン画像データ）を作成する。比較対象となる参照データは、測定データと同様、例えば、5 1 2 画素 × 5 1 2 画素の画像データとして作成される。

【 0 0 3 5 】

ここでは、「die to database 検査」を行うために設計データに基づいて参照データを作成しているが、これに限るものではない。「die to die 検査」を行うこともできる。その場合には、比較対象となる別の測定データ（光学画像）に基づいて参照データを作成すればよい。そして、参照データは、比較回路 1 0 8 に送られる。

10

【 0 0 3 6 】

比較回路 1 0 8 では、参照データと測定データを取り込む。そして、参照データ（検査基準パターン画像データ）は、図 1 に示すメモリ 1 4 2 に格納される。また、測定データ（被検査パターン画像データ）は、メモリ 1 4 4 に格納される。そして、位置合わせ部 1 4 0 が、1 画素単位でシフトして画素位置ズレを補正しておく。つまり、両画像の位置ズレを 1 画素未満に追い込んでおく。予め、両画像の対応する各画素の階調差の 2 乗和などで表される評価関数を最小にする位置に合わせればよい。

20

【 0 0 3 7 】

その後、後に詳述する方法で参照データ（検査基準パターン画像データ）を補正して補正パターン画像を生成した後に、補正パターン画像データと測定データとを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。

【 0 0 3 8 】

図 4 は、本実施の形態における補正パターン画像生成方法の要部工程について示すフローチャート図である。図 4 において、補正パターン画像生成方法は、相対シフト量算出ステップ S 1 0、画像シフトステップ S 1 2、第 1 の方程式生成ステップ S 1 4、第 1 のパラメータ推定ステップ S 1 6、第 1 の補正パターン画像生成ステップ S 1 8、第 2 の方程式生成ステップ S 2 0、第 2 のパラメータ推定ステップ S 2 2、第 2 の補正パターン画像生成ステップ S 2 4 という一連の工程を実施する。そして、その後、検査工程として、第 2 の補正パターン画像と被検査パターン画像とを比較する比較ステップ S 2 6 を実施する。

30

【 0 0 3 9 】

相対シフト量算出ステップ S 1 0 において、相対シフト量算出部 2 0 2（図 1）は、被検査パターン画像と検査基準パターン画像の位置合わせを行い、被検査パターン画像と検査基準パターン画像のサブ画素単位の相対シフト量を算出する。

【 0 0 4 0 】

一般に、サブ画素単位での水平方向のシフト量を l 、垂直方向のシフト量を m とすると、画像 u を l, m だけシフトした画像 u' は、バイキュービック補間法と呼ばれる以下の式 (1 - 1) と式 (1 - 2) で求めることができる。シフト量の求め方は、例えばシフト量を所定の範囲で振って、シフト後の階調差の二乗和が最小となるシフト量を求める方法などがある。

40

【数 1】

$$(1-1) \quad u'_{i,j} = \sum_{k=0}^4 p_k u_{i,j+k-2}$$

$$(1-2) \quad u''_{i,j} = \sum_{k=0}^4 q_k u'_{i+k-2,j}$$

10

ここで、 p 、 q は次式で与えられる。

【数 2】

$$p_0 = 0$$

$$p_1 = -\frac{1}{2}l(l-1)^2$$

$$p_2 = \frac{1}{2}(l-1)(3l^2 - 2l - 2)$$

20

$$p_3 = \frac{1}{2}l(1 + 4l - 3l^2)$$

$$p_4 = \frac{1}{2}l^2(l-1)$$

$$q_0 = 0$$

30

$$q_1 = -\frac{1}{2}m(m-1)^2$$

$$q_2 = \frac{1}{2}(m-1)(3m^2 - 2m - 2)$$

$$q_3 = \frac{1}{2}m(1 + 4m - 3m^2)$$

$$q_4 = \frac{1}{2}m^2(m-1)$$

40

本実施の形態においても、画像のシフト演算はバイキュービック補間法で行うものとするが、画像のシフト演算はバイキュービック補間法に限定されず、直線補間法やスプライン補間法などを用いることができる。

【0041】

なお、本実施の形態において、以下、被検査画像を y 、検査基準画像を u 、検査基準パターン画像を相対シフト量算出ステップ $S10$ で求めた相対シフト量に基づいてシフトさせた画像、すなわちシフトさせた検査基準画像を v 、第1の補正パターン画像を w 、第2の補正パターン画像を x という記号で表すものとする。

50

【 0 0 4 2 】

画像シフトステップ S 1 2 において、画像シフト部 2 0 4 (図 1) は、S 1 0 で得られた相対シフト量に基づいて、検査基準パターン画像 u を垂直方向にのみシフトさせる。具体的には、式 (1 - 1) と式 (1 - 2) において、 $l = 0$ とすることにより検査基準パターン画像を垂直方向にのみシフトさせた検査基準パターン画像 v を生成する。

【 0 0 4 3 】

次に、第 1 の方程式生成ステップ S 1 4、第 1 のパラメータ推定ステップ S 1 6、第 1 の補正パターン画像生成ステップ S 1 8 の一連のステップで、検査基準パターン画像 u を、画像シフトステップ S 1 2 においてシフトした方向に対し垂直な方向に補正する。この実施の形態においては、画像シフトステップ S 1 2 で検査基準パターン画像 u を垂直方向にシフトしているため、これに垂直な方向、すなわち水平方向の補正を行う。画像シフトステップ S 1 2 において、サブ画素単位の垂直方向の位置合わせを行った結果、水平方向により精度の高い補正を行うことができる。

10

【 0 0 4 4 】

まず、第 1 の方程式生成ステップ S 1 4 において、第 1 の方程式生成部 2 0 6 は、被検査パターン画像 y のデータと対応するシフトされた検査基準パターン画像 v のデータとを用いて、第 1 の線形予測モデルに基づく連立方程式を生成する。以下、シフトした検査基準パターン画像 v を入力データと見なし、被検査パターン画像 y を出力データと見なして、第 1 の線形予測モデルを設定する方法について説明する。

【 0 0 4 5 】

ここでは、第 1 の線形予測モデルとして、 1×5 画素の領域を用いた 1×5 次の線形予測モデルを用いる。このモデルで用いるサフィックスを以下の表 (1) に示す。

20

【表 1】

$i, j-2$	$i, j-1$	i, j	$i, j+1$	$i, j+2$
----------	----------	--------	----------	----------

【 0 0 4 6 】

表 (1) に示すようにサフィックスを取り、入力データ (階調値) と出力データ (階調値) をそれぞれ $v (i , j)$ 、 $y (i , j)$ あるいは $v_{i, j}$ 、 $y_{i, j}$ とする。図 5 は、第 1 の線形予測モデルを説明するための図である。被検査パターン画像 1 0 の着目する画素 2 0 のサフィックス (座標) を i, j とする。そして、シフトした検査基準パターン画像 1 2 で同じ座標の画素 2 6 と画素 2 6 の左右 2 個ずつの画素 2 8 の合計 5 個の画素のサフィックスを表 (1) のように設定する。そして、ある 1 組の 1×5 領域の画素データについて、以下に示す式 (3) のような関係式を設定する。

30

【数 3】

$$(3) \quad \begin{aligned} y_k &= y(i, j) \\ &= a_0 v(i, j-2) + a_1 v(i, j-1) + a_2 v(i, j) + a_3 v(i, j+1) + a_4 v(i, j+2) \\ &\quad + \varepsilon (i, j) \end{aligned}$$

【 0 0 4 7 】

ここで、式 (3) に示す関係式における各座標のシフトした検査基準パターン画像データ $v (i , j)$ に乗じる $a_0 \sim a_4$ は、同定すべきモデルパラメータ (係数) である。式 (3) の意味するところは、被検査パターン画像 1 0 のある 1 画素 2 0 のデータ $y_k = y (i , j)$ は、対応するシフトした検査基準パターン画像 1 2 の 1 画素 2 6 とその左右の画素 2 8 とで構成する 1×5 画素のデータの線形結合で表すことができるということである。このように、線形予測モデルで畳み込み演算を行なうことで、画像のうねりやノイズを補正することができる。式 (3) をベクトル形式 (行列形式) で表すと、式 (4 - 1) ~ 式 (4 - 3) のように示すことができる。

40

【数4】

$$(4-1) \quad \alpha = [a_0, a_1, \dots, a_4]^T$$

$$(4-2) \quad x_k = [v(i, j-2), v(i, j-1), \dots, v(i, j+2)]^T$$

$$(4-3) \quad x_k^T \alpha = y_k$$

【0048】

ここで、式(4-1)～式(4-3)において、シフトした検査基準パターン画像 v と被検査パターン画像 y の座標 (i, j) を走査して5組のデータを連立させれば、モデルパラメータを同定することができる。ここで、統計的観点から、以下の式(5-1)のように $n (> 5)$ 組のデータを用意して、以下の式(5-2)のような最小2乗法に基づいて5次元の連立方程式を解き、 α を同定しても好適である。この様な方程式の解法としては、最小2乗法の他に最尤推定法などがあり、どのような方法を使用しても構わない。

【数5】

$$(5-1) \quad \begin{bmatrix} X_1^T \\ \vdots \\ X_n^T \end{bmatrix} \cdot \alpha = \begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}$$

$$(5-2) \quad (A^T \cdot A)\alpha = A^T \cdot y$$

ここで、 $A = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ 、 $y = [y_1, y_2, \dots, y_n]^T$ 、 $k = 1, 2, \dots, n$ である。

【0049】

例えば、シフトした検査基準パターン画像12と被検査パターン画像10がそれぞれ 512×512 画素であれば、約25万組のデータが得られることになり、統計的に見て十分な個数を確保することができる。第1の方程式生成部206(図1)は、被検査パターン画像と被検査パターン画像から式(5-1)及び式(5-2)の連立方程式、すなわち、 5×5 要素のマトリックス $(A^T A)$ と、5要素のベクトル $A^T y$ を生成する。

【0050】

第1のパラメータ推定ステップS16において、第1のパラメータ推定部208は、式(5-1)及び式(5-2)の連立方程式を解いて、パラメータ α (係数)を算出する演算を行う。すなわち、パラメータ $a_0 \sim a_4$ (係数)を算出する。

【0051】

第1の補正パターン画像生成ステップS18として、第1の補正パターン画像生成部210は、第1の連立方程式のパラメータが代入された第1の線形予測モデルを用いて、画像シフトステップS12でシフトする前の検査基準パターン画像 u を、画像シフトステップS12のシフト方向に対し垂直な方向、ここでは水平方向に補正した第1の補正パターン画像 w を生成する。すなわち、第1のパラメータ推定ステップS16で得られたパラメータ a_j を以下の式(6)に示すように用いて、座標 (i, j) の第1の補正パターン画像データ $w_{i, j}$ を演算する。そして、演算結果を第2の方程式生成部212に出力する。ここで、 $u_{i, j}$ は検査基準パターン画像データである。

10

20

30

40

【数 6】

$$(6) \quad w_{i,j} = \sum_{r=0}^4 a_r u_{i,j+r-2}$$

【0052】

以上のようにして、第1の補正パターン画像生成部210は、第1のパラメータ推定部208で得られたパラメータを用いて、検査基準パターン画像uに対し、水平方向の補正を加えた第1の補正パターン画像wを生成する。

10

【0053】

次に、第2の方程式生成ステップS20、第2のパラメータ推定ステップS22、第2の補正パターン画像生成ステップS24の一連のステップで、第1の補正パターン画像wを、画像シフトステップS12でのシフト方向と同一の方向に補正する。この実施の形態においては、画像シフトステップS12が垂直方向にシフトしているため、これと同一の垂直方向の補正を行う。すなわち、水平方向に補正が行われた第1の補正パターン画像wに対し、垂直方向の補正を行うことになる。

【0054】

まず、第2の方程式生成ステップS20において、第2の方程式生成部212は、被検査パターン画像yのデータと対応する第1の補正パターン画像wのデータとを用いて、第2の線形予測モデルに基づく連立方程式を生成する。以下、第1の補正パターン画像wを入力データと見なし、被検査パターン画像yを出力データと見なして第2の線形予測モデルを設定する方法について説明する。

20

【0055】

ここでは、第2の線形予測モデルとして、 5×1 画素の領域を用いた 5×1 次の線形予測モデルを用いる。このモデルで用いるサフィックスを以下の表(2)に示す。

【表 2】

$i-2, j$
$i-1, j$
i, j
$i+1, j$
$i+2, j$

30

【0056】

表(2)に示すようにサフィックスを取り、入力データ(階調値)と出力データ(階調値)をそれぞれ $w(i, j)$ 、 $y(i, j)$ とする。図6は、第2の線形予測モデルを説明するための図である。被検査パターン画像10の着目する画素20のサフィックス(座標)を i, j とする。そして、第1の補正パターン画像14で同じ座標の画素22と画素22の上下2個ずつの画素24の合計5個の画素のサフィックスを表(2)のように設定する。そして、ある1組の 5×1 領域の画素データについて、以下に示す式(7)のような関係式を設定する。

40

【数 7】

$$(7) \quad \begin{aligned} y_k &= y(i, j) \\ &= b_0 w(i-2, j) + b_1 w(i-1, j) + b_2 w(i, j) + b_3 w(i+1, j) + b_4 w(i+2, j) \\ &\quad + \varepsilon(i, j) \end{aligned}$$

【0057】

50

ここで、第1の方程式生成ステップS14と同様に

【数8】

$$(8-1) \quad \beta = [b_0, b_1, \dots, b_4]^T$$

$$(8-2) \quad x_k = [w(i-2, j), w(i-1, j), \dots, w(i+2, j)]^T$$

$$(8-3) \quad x_k^T \beta = y_k$$

10

として、次の式(9)の第2の連立方程式を生成する。

【数9】

$$(9) \quad (A^T \cdot A) \beta = A^T \cdot y$$

ここで、 $A = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ 、 $y = [y_1, y_2, \dots, y_n]^T$ 、 $k = 1, 2, \dots, n$ である。

【0058】

第2のパラメータ推定ステップS22として、第2のパラメータ推定部214は、式(9)の連立方程式を解いて、この連立方程式における各座標の第1の補正パターン画像wに乗じるパラメータ(係数)を算出する演算を行う。

20

【0059】

第2の補正パターン画像生成ステップS24として、第2の補正パターン画像生成部216は、得られた第2の補正モデルパラメータ b_j を以下の式(10)に示すように用いて、座標(i, j)の第2の補正パターン画像データ $x_{i,j}$ を演算する。そして、演算結果を比較部146に出力する。ここで、 $w_{i,j}$ は第1の補正パターン画像データである。

【数10】

$$(10) \quad x_{i,j} = \sum_{r=0}^4 b_r w_{i+r-2,j}$$

30

【0060】

以上のようにして、第2の補正パターン画像生成部は、第2のパラメータ推定部で得られたパラメータを用いて、第1の補正パターン画像wから第2の補正パターン画像xを生成する。

【0061】

比較ステップS26として、比較部146は、第2の補正パターン画像データ $x_{i,j}$ と被検査パターン画像データ $y(i, j)$ とを所定のアルゴリズムを用いて比較する。そして、欠陥の有無を検査し、その結果を出力する。

40

【0062】

図7は、本実施の形態の作用を説明する図である。ここで、パターンAをパターンBにあわせる補正を行う場合を例に説明する。パターンAとパターンBは2つの異なる画像に個別に含まれており、図では重ねて表示している。補正のパラメータが2次元の場合、すなわち、補正のシフトが水平、垂直方向同時に行われる場合、図中破線矢印で示すように、パターンのエッジと平行な方向へのシフト量が任意となる。その結果、推定で得られるシフトパラメータの、パターンのエッジと平行な方向の寄与が不定となり、良好なシフトパラメータを得られない可能性がある。例えば、シフトする画像に欠陥像があった場合、その欠陥像がパターンのエッジと平行な方向にぼけてしまうことがある。

【0063】

50

これに対し、本実施の形態の第1のパターン画像生成、第2のパターン画像生成のように、補正のパラメータを1次元に限定する場合、すなわち、補正のシフトが水平方向または垂直方向のいずれかに固定される場合、図中実線矢印で示すように、2つのパターンのエッジ位置が一致する場所が存在する。このように、推定する係数の自由度がパターンのエッジ位置で拘束されるので、良好なシフトパラメータを得ることができる。ただし、画像が水平あるいは垂直方向のパターンのみで占められている場合は、水平あるいは垂直方向のパラメータが不定となることがある。この場合でもシフトパラメータが1次元であるため、パラメータが異常であることが、パラメータの重心判定等により容易に判別できる。また、式(1-1)、(1-2)と式(6)、(10)は同形である。したがって、異常なパラメータは、前述のバイキュービック補間法パラメータpあるいはqと置き換えることが可能であり、その操作によって良好な補正画像を得ることができる。

10

【0064】

以上のように、上述したステップで生成した第2の補正パターン画像xは、補正のシフト方向が不定となることに起因して欠陥信号が劣化することを回避しながら、検査基準画像uを被検査パターン画像yに合わせて補正した画像に相当する。特に水平方向、垂直方向を逐次推定する効果により、斜線パターン等に見られる、ある方向成分が不定となるような場合に良好な推定が行える。従って、ここで得られた第2の補正パターン画像xと、被検査パターンyを比較することにより、高精度な検査を行うことができる。

【0065】

なお、本実施の形態においては、検査基準パターン画像を、相対シフト量に基づいて垂直方向のシフト方向にシフトし、その後、水平方向の補正、垂直方向の補正を逐次行う場合を例に説明した。しかし、検査基準パターン画像を、相対シフト量に基づいて水平方向のシフト方向にシフトし、その後、垂直方向の補正、水平方向の補正を逐次行っても同様の効果を得ることが可能である。

20

【0066】

また、第1の線形予測モデルが 1×5 画素の領域を用いた 1×5 次のモデルであり、かつ、第2の線形予測モデルが 5×1 画素の領域を用いた 5×1 次のモデルである場合を例に説明した。補正の精度および計算処理時間の観点からは、 1×5 次、 5×1 次程度が適当である。しかし、必ずしも、 1×5 次のモデルおよび 5×1 次のモデルである必要はなく、nを3以上の任意の整数とする $1 \times n$ 次のモデルおよび $n \times 1$ 次のモデルを採用することが可能である。そして、第1の線形予測モデルが $n \times 1$ 画素の領域を用いた $n \times 1$ 次のモデルであり、かつ、第2の線形予測モデルが $1 \times n$ 画素の領域を用いた $1 \times n$ 次のモデルとしても構わない。

30

【0067】

図8は、別の光学画像の取得手順を説明するための図である。図2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8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順を用いても構わない。

40

【0068】

以上の説明において、「～回路」或いは「～ステップ」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、図2の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等は、電氣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。また電氣的回路とソフトウェアの組み合わせで実現しても

50

良い。

【 0 0 6 9 】

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。検査基準パターン画像となる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。

【 0 0 7 0 】

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。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補正パターン画像生成装置、パターン検査装置、或いは補正パターン画像生成方法は、本発明の範囲に包含される。

10

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 7 1 】

【 図 1 】 実施の形態の比較回路の内部構成を示すブロック図である。

【 図 2 】 実施の形態のパターン検査装置のブロック図である。

【 図 3 】 実施の形態の光学画像の取得手順を説明するための図である。

【 図 4 】 実施の形態における補正パターン画像生成方法の要部工程について示すフローチャート図である。

20

【 図 5 】 実施の形態の第 1 の線形予測モデルを説明するための図である。

【 図 6 】 実施の形態の第 2 の線形予測モデルを説明するための図である。

【 図 7 】 実施の形態の作用を説明する図である。

【 図 8 】 別の光学画像の取得手順を説明するための図である。

【 符号の説明 】

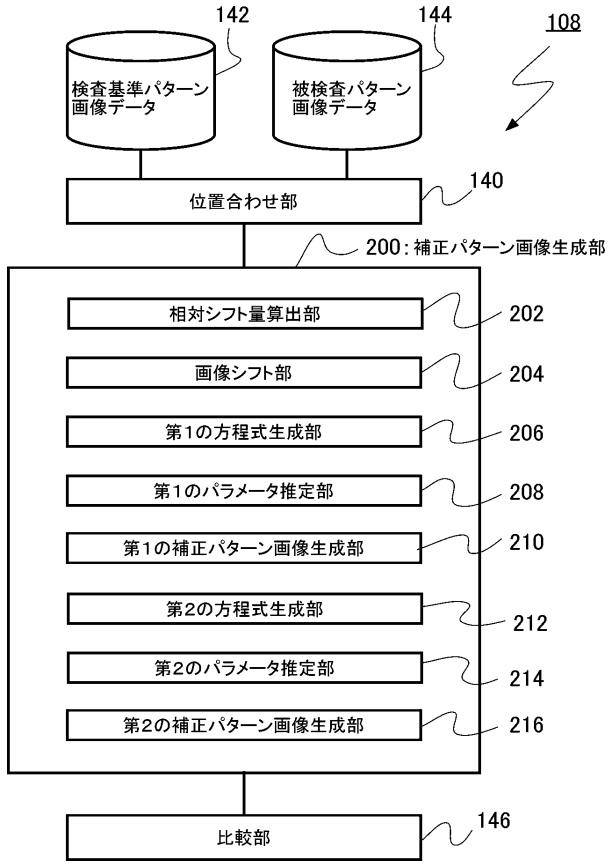
【 0 0 7 2 】

1 0 0	パターン検査装置	
1 0 8	比較回路	
1 4 0	位置合わせ部	
1 4 6	比較部	
2 0 0	補正パターン画像生成部	
2 0 2	相対シフト量算出部	
2 0 4	画像シフト部	
2 0 6	第 1 の方程式生成部	
2 0 8	第 1 のパラメータ推定部	
2 1 0	第 1 の補正パターン画像生成部	
2 1 2	第 2 の方程式生成部	
2 1 4	第 2 のパラメータ推定部	
2 1 6	第 2 の補正パターン画像生成部	

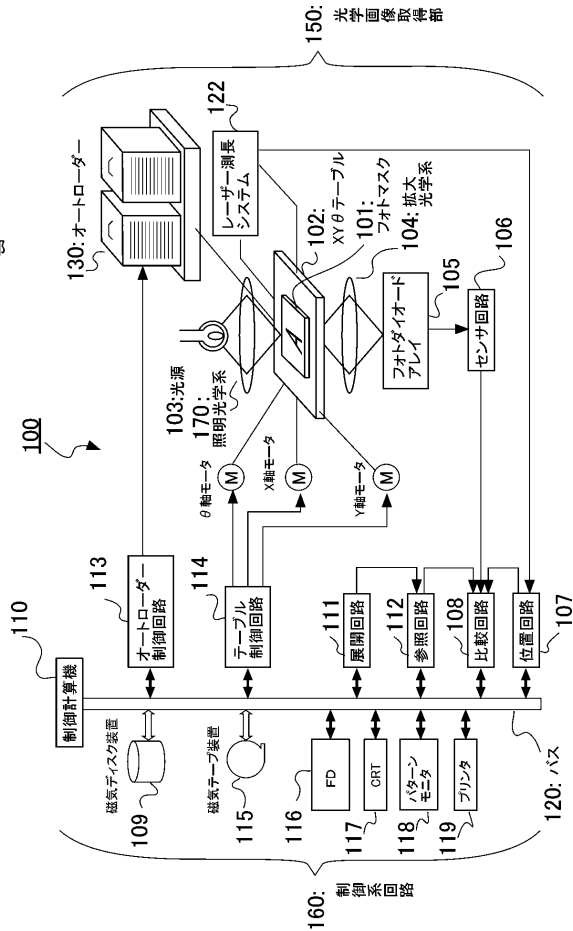
30

40

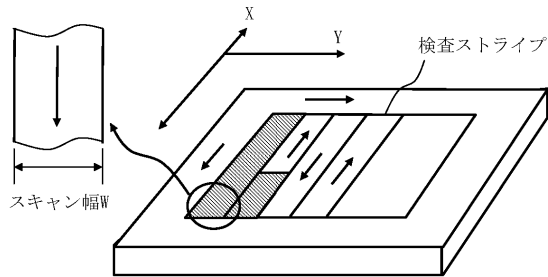
【図1】



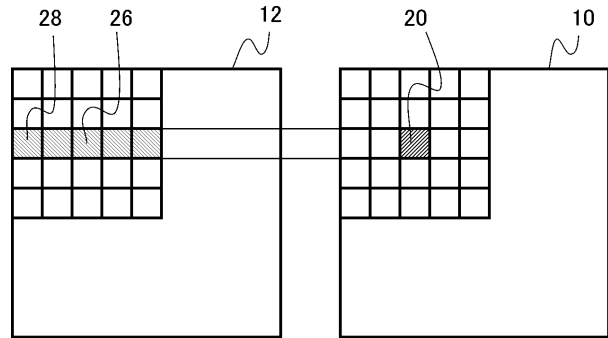
【図2】



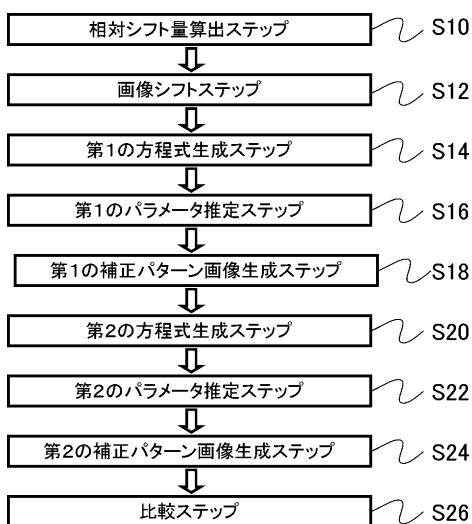
【図3】



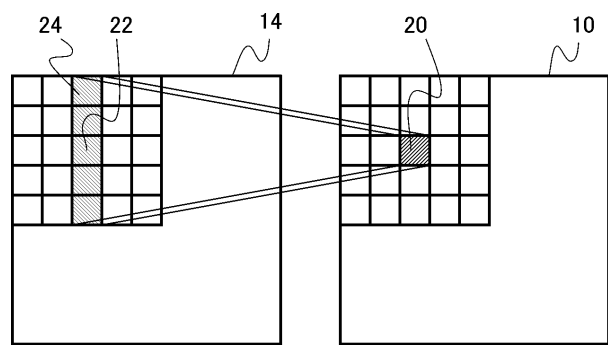
【図5】



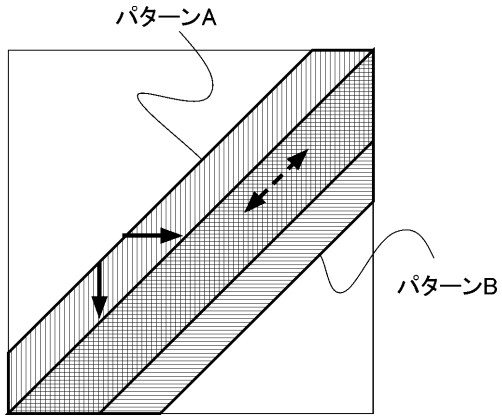
【図4】



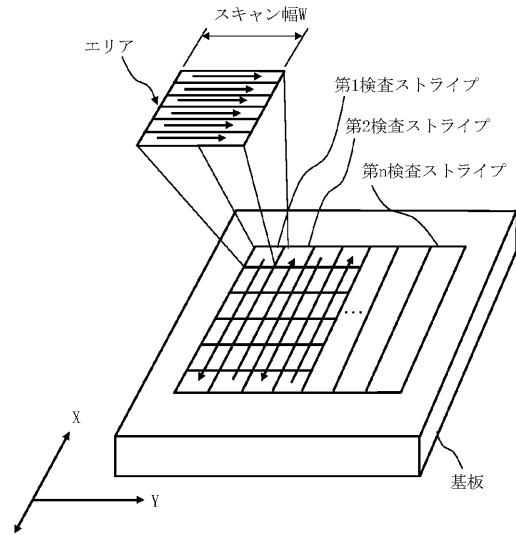
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 杉原 真児

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8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

審査官 新井 重雄

(56)参考文献 特開2008-233343(JP,A)
特開2008-165198(JP,A)
特開2008-164593(JP,A)
特開2008-040370(JP,A)
特開2007-087210(JP,A)
特開2007-086534(JP,A)
特開2006-284617(JP,A)
特開2004-185019(JP,A)
特開2001-338304(JP,A)
特開平07-086349(JP,A)
特開昭62-168270(JP,A)
特開昭62-162904(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G03F	1/08
G01N	21/956
G06T	1/00