

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5075946号
(P5075946)

(45) 発行日 平成24年11月21日(2012.11.21)

(24) 登録日 平成24年8月31日(2012.8.31)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 N 21/956 (2006.01) GO 1 N 21/956 A

請求項の数 2 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2010-138061 (P2010-138061)	(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
(22) 出願日	平成22年6月17日(2010.6.17)	(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
(65) 公開番号	特開2012-2675 (P2012-2675A)	(74) 代理人	100119035 弁理士 池上 徹真
(43) 公開日	平成24年1月5日(2012.1.5)	(74) 代理人	100088487 弁理士 松山 允之
審査請求日	平成22年6月17日(2010.6.17)	(72) 発明者	井上 広 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 パターン検査装置およびパターン検査方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

パターン形成された被検査マスクの光学画像を撮像するセンサと、
マスク種に応じて作成された複数の階調変換テーブルを記憶する記憶装置と、
前記記憶装置に記憶された複数の階調変換テーブルの中から前記被検査マスクの種類に対応する階調変換テーブルを選択し、選択された階調変換テーブルに沿って前記センサにより撮像された光学画像データの画素値を階調変換する階調変換部と、
階調変換された光学画像データの比較対象となる参照画像データを入力し、前記階調変換された光学画像データと前記参照画像データとを画素毎に比較する比較部と、
を備え、

前記複数の階調変換テーブルは、階調値或いは階調領域に応じて階調変換するための変化度合が可変に作成され、

前記比較部は、比較する際に、前記階調値或いは階調領域に応じて、複数の閾値を選択的に用い、

前記参照画像データは、前記光学画像データと同様の階調変換テーブルの比率で階調変換され、

前記参照データが示す階調レベルを基に、画素毎に、参照データの階調値が光学画像データにおいて階調分解能を上げた階調領域か、階調分解能を下げた階調領域かが判定されることを特徴とするパターン検査装置。

【請求項2】

パターン形成された被検査マスクの光学画像をセンサが撮像する工程と、
マスク種に応じて作成された複数の階調変換テーブルを記憶する記憶装置に記憶された複数の階調変換テーブルの中から前記被検査マスクの種類に対応する階調変換テーブルを選択し、選択された階調変換テーブルに沿って前記センサにより撮像された光学画像データの画素値を階調変換する工程と、

階調変換された光学画像データの比較対象となる参照画像データを入力し、前記階調変換された光学画像データと前記参照画像データとを画素毎に比較する工程と、

を備え、

前記被検査マスクの種類に応じて、予め定められたレシピに従って、検査の光量、センサの撮像時間、センサゲインの設定、および階調変換のための階調変換テーブルの設定を行う工程をさらに備え、

10

前記複数の階調変換テーブルは、階調値或いは階調領域に応じて階調変換するための変化度合が可変に作成され、

比較する際に、前記階調値或いは階調領域に応じて、複数の閾値を選択的に用いられ、

前記参照画像データは、前記光学画像データと同様の階調変換テーブルの比率で階調変換され、

前記参照データが示す階調レベルを基に、画素毎に、参照データの階調値が光学画像データにおいて階調分解能を上げた階調領域か、階調分解能を下げた階調領域かが判定されることを特徴とするパターン検査方法。

【発明の詳細な説明】

20

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、パターン検査装置およびパターン検査方法に関する。

【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画装置の開発が試みられている。

30

【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きている。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。

40

【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規模化と、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

50

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。

【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、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、形状や出力信号レベルが一致しない場合には、パターン欠陥有りと判定する。

【0006】

マスクやウェハなどの半導体パターンの検査装置は、半導体パターン上の微細な欠陥を高分解能で検出することが要求されている。半導体パターンの検査装置で光学像を用いて検査を行う装置では、ラインセンサ、エリアセンサ、若しくはTDI（タイムディレイインテグレーション）センサなどの固体撮像素子を用いたセンサが使用される。かかるセンサ上に光学系でパターンの拡大光学像が結像され、センサで得られた電氣的な画像信号を処理して計測、検査を行っている。

【0007】

ここで、半導体パターンの微細化に伴い、孤立ラインや所謂ラインアンドスペース（L/S）パターンが形成されたマスクでは、パターンの信号振幅、つまりコントラストが急激に低下することが確認されている。例えば、波長が13.5nmでウェハに露光されるEUVマスクにおける配線幅が100nm以下となるL/Sパターン等が挙げられる。撮像された光学画像のコントラストが低いと画像の分解能が低くなり高感度な検査を実現することが困難となる。そのため、センサからの出力データのコントラストを高くすることが求められる。しかしながら、従来、かかる問題を十分に解決する手法が確立されていなかった。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0008】

【非特許文献1】 " Novel EUV mask inspection tool with 199-nm laser source and high-resolution optics ", SPIE Vol 7488

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

本発明の実施形態は、上述した問題点を克服し、信号振幅が低下したパターンが形成されたマスクを検査する場合であっても、検査に必要な十分なコントラストを得ることが可能な装置および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】

実施形態によれば、パターン検査装置は、センサと、記憶装置と、階調変換部と、比較

10

20

30

40

50

部と、を備えている。かかるセンサは、パターン形成された被検査マスクの光学画像を撮像する。記憶装置は、マスク種に応じて作成された複数の階調変換テーブルを記憶する。階調変換部は、前記記憶装置に記憶された複数の階調変換テーブルの中から前記被検査マスクの種類に対応する階調変換テーブルを選択し、選択された階調変換テーブルに沿って前記センサにより撮像された光学画像データの画素値を階調変換する。比較部は、階調変換された光学画像データの比較対象となる参照画像データを入力し、前記階調変換された光学画像データと前記参照画像データとを画素毎に比較する。前記複数の階調変換テーブルは、階調値或いは階調領域に応じて階調変換するための変化度合が可変に作成され、前記比較部は、比較する際に、前記階調値或いは階調領域に応じて、複数の閾値を選択的に用い、

10

前記参照画像データは、前記光学画像データと同様の階調変換テーブルの比率で階調変換され、

前記参照データが示す階調レベルを基に、画素毎に、参照データの階調値が光学画像データにおいて階調分解能を上げた階調領域か、階調分解能を下げた階調領域かが判定される。

【0011】

また、実施形態によれば、パターン検査方法は、パターン形成された被検査マスクの光学画像をセンサが撮像する工程と、マスク種に応じて作成された複数の階調変換テーブルを記憶する記憶装置に記憶された複数の階調変換テーブルの中から前記被検査マスクの種類に対応する階調変換テーブルを選択し、選択された階調変換テーブルに沿って前記センサにより撮像された光学画像データの画素値を階調変換する工程と、階調変換された光学画像データの比較対象となる参照画像データを入力し、前記階調変換された光学画像データと前記参照画像データとを画素毎に比較する工程と、を備えたことを特徴とする。前記被検査マスクの種類に応じて、予め定められたレシピに従って、検査の光量、センサの撮像時間、センサゲインの設定、および階調変換のための階調変換テーブルの設定を行う工程をさらに備え、

20

前記複数の階調変換テーブルは、階調値或いは階調領域に応じて階調変換するための変化度合が可変に作成され、

比較する際に、前記階調値或いは階調領域に応じて、複数の閾値を選択的に用いられ、

前記参照画像データは、前記光学画像データと同様の階調変換テーブルの比率で階調変換され、

30

前記参照データが示す階調レベルを基に、画素毎に、参照データの階調値が光学画像データにおいて階調分解能を上げた階調領域か、階調分解能を下げた階調領域かが判定される。

【0012】

また、実施形態によれば、パターン検査方法は、パターン形成された被検査マスクの種類に応じて、予め定められたレシピに従って、検査の光量、センサの撮像時間、センサゲインの設定、および階調変換のための階調変換テーブルの設定を行う工程と、前記設定に沿って、前記センサにより撮像される光学画像データの欠陥検査を行う工程と、を備えたことを特徴とする。

40

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】第1の実施形態におけるパターン検査装置の構成を示す概念図である。

【図2】第1の実施形態におけるパターン検査方法のフローを示す概念図である。

【図3】第1の実施形態における光学画像の取得手順を説明するための図である。

【図4】第1の実施形態におけるセンサ出力補正回路の内部構成を示す概念図である。

【図5】第1の実施形態における階調変換テーブルの相関関係の一例を示すグラフである。

。

【図6】第1の実施形態における階調変換テーブルの相関関係の他の一例を示すグラフである。

50

【図 7】第 1 の実施形態における階調変換テーブルの相関関係の他の一例を示すグラフである。

【図 8】第 1 の実施形態における階調変換前後のセンサデータのプロファイルの一例を示す図である。

【図 9】第 1 の実施形態における比較回路の内部構成を示す概念図である。

【図 10】第 1 の実施形態における検査レシピの一例を示すフロー図である。

【図 11】第 1 の実施形態におけるセンサ出力レベル分布が低い場合の対応を示す概念図である。

【図 12】第 1 の実施形態におけるセンサ出力レベル分布が高い場合の対応を示す概念図である。

10

【図 13】第 1 の実施形態における階調変換前での階調レベルが低い L / S パターンの画像データとプロファイルの一例を示す図である。

【図 14】第 1 の実施形態における階調変換後での階調レベルが低い L / S パターンの画像データとプロファイルの一例を示す図である。

【図 15】第 1 の実施形態におけるダイ - データベース検査を行なう場合の検査処理フローを示す概念図である。

【図 16】第 1 の実施形態におけるダイ - ダイ検査を行なう場合の検査処理フローを示す概念図である。

【図 17】別の光学画像取得手法を説明するための図である。

【発明を実施するための形態】

20

【0014】

(第 1 の実施形態)

図 1 は、第 1 の実施形態におけるパターン検査装置の構成を示す概念図である。図 1 において、パターンが形成されたマスクやウェハ等の基板を試料して、かかる試料上のパターン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、光量センサ 142、及び照明光学系 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、センサ出力補正回路 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、Z 軸モータにより駆動される。センサ出力補正回路 140 は、センサ出力データの補正装置の一例となる。図 1 では、本第 1 の実施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。

30

【0015】

図 2 は、第 1 の実施形態におけるパターン検査方法のフローを示す概念図である。図 2 では、一例として、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 (ダイーツーデータベース) 検査」を示している。

40

【0016】

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。

【0017】

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 1

50

03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。ここでは、一例として、パターン形成されたフォトマスク101を照明して、透過して得られる光をフォトダイオードアレイ105が受光する場合を示している。

【0018】

図3は、第1の実施形態における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2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。

【0019】

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。このように、光電変換により光を画像に変換する。フォトダイオードアレイ105には、ラインセンサ、エリヤセンサ、若しくはTDI(タイムディレイインテグレーション)センサなどの複数の固体撮像素子を用いた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、例えば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。このように、センサの一例となるフォトダイオードアレイ105は、パターン形成された被検査マスクの光学画像を撮像する。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。

【0020】

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。

【0021】

センサ回路106から出力された測定データ(光学画像)は、センサ出力補正回路140で光量補正、オフセット補正、及びゲイン補正が行われる。ここで、上述した信号振幅が低下したパターンが形成されたマスクでは、マスクの種類によって、撮像されたフォトダイオードアレイ105からのセンサ出力データ(階調値、或いは画素値ともいう。)の分布に偏りがある。例えば、EUV露光用マスクでは、フォトダイオードアレイ105からのセンサ出力データの多くが階調値の低いレベルに分布している場合が多い。逆に、フォトダイオードアレイ105からのセンサ出力データの多くが階調値の高いレベルに分布するマスクも存在し得る。このようなマスク種によってセンサ出力データ分布のレベルが異なる場合、光量補正、オフセット補正、及びゲイン補正だけを行っていたのでは、検査に必要な十分なコントラストを得ることが困難となってしまう場合がある。そこで、第1の実施形態では、マスク種に応じたセンサの出力データの諧調変換を行なう。

【0022】

図4は、第1の実施形態におけるセンサ出力補正回路の内部構成を示す概念図である。図4において、センサ出力補正回路140は、光量補正回路10、ゲイン補正回路20、オフセット補正回路30、及び階調変換回路40を有している。センサ回路106でA/

10

20

30

40

50

D変換されたフォトダイオードアレイ105の出力は、光量補正回路10で光量補正が行なわれる。光量補正工程として、光量補正回路10は、画素毎に、光量センサ142で測定した検査の光量データの測定値を基に検査光量の変動によるフォトダイオードアレイ105の出力（デジタル化された後のデータ）の変動を補正する。ゲイン補正工程として、ゲイン補正回路12は、画素毎に、予め設定されたゲイン補正係数を入力し、入力されたゲイン補正係数をセンサ出力データに乘じることでゲイン補正を行う。オフセット補正工程として、オフセット補正回路10は、画素毎に、予め設定されたオフセット補正係数を入力して、センサ出力データに対してオフセット補正係数を加算してセンサ出力データをオフセットする。すなわち、ゲイン補正とオフセット補正によって、センサの画素毎の階調値は次の式(1)で示す計算式で得られる値に補正される。

$$(1) \quad F o u t = G a i n \times F i n + O f f s e t$$

【0023】

但し、 $F i n$ は、補正前のセンサ出力を示し、 $F o u t$ は、補正後のセンサ出力を示し、 $O f f s e t$ は、オフセット値を示す。

【0024】

次に、階調変換工程として、階調変換回路40は、階調変換テーブルを用いて、階調変換テーブルに沿ってフォトダイオードアレイ105により撮像された光学画像データの画素値を階調変換する。上述したように、マスクの種類によって、撮像されたフォトダイオードアレイ105からのセンサ出力データの分布に偏りがある。光量補正、オフセット補正、及びゲイン補正では、一律にすべての階調値を変換してしまうので、一部の階調値の分解能を上げようとすると他のレベルのデータの画素値が0にクランプされたり、最大値に飽和してしまう等の問題が生じ得る。そのため、マスク種に応じてそれぞれ作成された複数の階調変換テーブルを用意して、磁気ディスク装置109等の記憶装置に記憶させておく。そして、階調変換回路40は、複数の階調変換テーブルの中から被検査マスクの種類に対応する階調変換テーブルを選択し、選択された階調変換テーブルに沿ってセンサにより撮像された光学画像データの画素値を階調変換する。

【0025】

図4の例では、3つの階調変換テーブルの相関関係を示すグラフが示されている。階調変換テーブルの例1では、階調レベルが低い領域では入力階調に対する出力階調の変化比率を大きく、入力データの階調レベルが中間の領域から高い領域にかけて出力階調の変化比率を小さく設定しながら階調値を増加させている。これにより、入力データの階調レベルが低い領域の階調分解能を上げることができる。逆に、入力データの階調レベルが高い領域の階調分解能を低く抑えている。階調変換テーブルの例2では、階調レベルが低い領域では入力階調に対する出力階調の変化比率を小さく、入力データの階調レベルが中間の領域から高い領域にかけて出力階調の変化比率を大きく設定しながら階調値を減少させている。これにより、入力データの階調レベルが低い領域から中間の領域にかけて階調分解能を下げ、入力データの階調レベルが高い領域で階調分解能を上げることができる。階調変換テーブルの例3では、階調レベルが低い領域では入力階調に対する出力階調の変化比率を大きく設定して階調値を増加させ、入力データの階調レベルが中間の領域では入力階調にかかわらず出力階調をほぼ同じ値にさせ、入力データの階調レベルが高い領域では出力階調の変化比率を大きく設定して階調値を減少させている。これにより、入力データの階調レベルが中間の領域にある場合の階調分解能をほぼフラットにして、階調レベルが低い領域と高い領域で階調分解能を上げることができる。以上のように、複数の階調変換テーブルは、階調値或いは階調領域に応じて階調変換するための変化度合が可変に作成される。これにより、他の階調領域の階調値を最大値に飽和させたり、0レベルにクランプさせずに所望する階調領域の分解能をあげることができる。

【0026】

図5は、第1の実施形態における階調変換テーブルの一例（四つのテーブル）を示すグラフである。階調変換テーブルはいずれも単調増加させる。図5では、2段の変化率を用いて入力階調レベルが低い領域の階調分解能を線形変換による階調変換テーブルで上げる

10

20

30

40

50

例を示している。なお、スルー設定は、階調変換による変化がない階調変換テーブルの例を示しており、階調分解能の変化ない。

【 0 0 2 7 】

図 6 は、第 1 の実施形態における階調変換テーブルの他の一例（四つのテーブル）を示すグラフである。階調変換テーブルはいずれも単調増加させる。図 5 では、なだらかな曲線を描く変化率を用いて入力階調レベルが低い領域の階調分解能を非線形変換による階調変換テーブルで上げる例を示している。

【 0 0 2 8 】

図 7 は、第 1 の実施形態における階調変換テーブルの相関関係の他の一例を示すグラフである。図 5 では、直線となだらかな曲線とを描く 2 段の変化率を用いて入力階調レベルが低い領域の階調分解能を線形変換と非線形変換との組み合わせによる階調変換テーブルで上げる例を示している。

【 0 0 2 9 】

図 8 は、第 1 の実施形態における階調変換前後のセンサデータのプロファイルの一例を示す図である。図 8 (a) で示す階調変換前のセンサデータでは、画素列が 1 2 8 ~ 2 5 6 画素目までの領域のプロファイルは出力レベルが高く分布し、かつ階調振幅が大きく十分なコントラストが得られる。しかしながら、画素列が 2 5 6 ~ 3 8 4 画素目までの領域のプロファイルは出力レベルが低く分布し、かつ階調振幅 L が小さく十分なコントラストが得られない。そこで、階調変換回路 4 0 は、図 8 (c) に示すように、入力データの階調レベルが低い領域で入力階調に対する出力階調の変化比率を大きく設定して階調分解能を高くし、入力データの階調レベルが中間から高い領域にかけて入力階調に対する出力階調の変化比率を小さく設定して階調分解能を低くする 2 段階の変化率を有する階調変換テーブルを選択する。そして、階調変換回路 4 0 は、選択された階調変換テーブルで階調変換する。これにより、図 8 (b) で示す階調変換後のセンサデータでは、画素列が 2 5 6 ~ 3 8 4 画素目までの領域のプロファイルは階調振幅 L から階調振幅 L' と約 4 倍大きくなり十分なコントラストが得られる。一方、画素列が 1 2 8 ~ 2 5 6 画素目までの領域のプロファイルは階調振幅が元の振幅の約 6 0 % にまで小さくなるが十分なコントラストが得られたままである。以上のように、階調値或いは階調領域に応じて階調変換するための変化度合が可変に作成された階調変換テーブルで階調変換することにより、他の階調領域の階調値を飽和させずに所望する階調領域の分解能をあげることができる。

【 0 0 3 0 】

そして、階調値が補正された光学画像データ（測定データ）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。

【 0 0 3 1 】

また、参照データ作成工程として、展開回路 1 1 1 および参照回路 1 1 2 等で構成される参照画像作成部が被検査試料となるフォトマスク 1 0 1 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。設計データは磁気ディスク装置 1 0 9 等に格納されている。ここで、測定データは上述したように階調変換されているので、参照データについても参照回路 1 1 2 において同様の階調変換テーブルの比率で階調変換する。これにより測定データと参照データの階調レベルを合わせることができる。

【 0 0 3 2 】

比較工程として、比較回路 1 0 8 （比較部）は、測定データと参照データとを入力後、位置合わせを行ってから両者を比較する。所定のアルゴリズムに従って比較し、画素毎に欠陥の有無を判定する。比較結果は、パターンモニタ 1 1 8 等に出力される。

【 0 0 3 3 】

ここで、上述した階調変換では、階調領域に応じて変換率が異なるので、一律の判定閾値を用いることはできない。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 4 】

図 9 は、第 1 の実施形態における比較回路の内部構成を示す概念図である。階調領域判定 1 で示す階調領域判定部 5 2 は、参照データを入力し、参照データが示す階調レベルを基に、画素毎に、参照データの階調値が測定データにおいて階調分解能を上げた階調領域 1 かどうかを判定する。同様に、階調領域判定 2 で示す階調領域判定部 5 4 は、参照データを入力し、参照データが示す階調レベルを基に、画素毎に、参照データの階調値が測定データにおいて階調分解能を下げた階調領域 2 かどうかを判定する。判定しきい値セレクタ 5 6 には、階調領域に応じた複数の判定しきい値 1, 2 が入力される。そして、参照データから階調領域を判定した結果に基づいて、判定しきい値セレクタ 5 6 は、画素毎に、判定しきい値を選択する。そして、選択された判定しきい値がしきい値判定回路 5 8 に出 10
力される。一方、データ比較部 5 0 は、画素毎に、共に階調変換された測定データと参照データを入力する。階調変換された参照データが、階調変換された測定データの比較対象となる。そして、共に階調変換された測定データと参照データを用いて所定のアルゴリズムによる演算を行なう。例えば、差分を演算する。そして、得られた値は、しきい値判定回路 5 8 に出 20
力される。しきい値判定回路 5 8 は、画素毎に、データ比較部 5 0 から入力された値が判定しきい値以内かどうかを判定する。このように、データ比較部 5 0 としきい値判定回路 5 8 の組み合わせにより光学画像データと参照画像データとが画素毎に比較される。そして、その結果を出力する。以上のように、階調値或いは階調領域に応じて、複数の判定しきい値を選択的に用いることで、階調変換テーブルによる変換を行なった後の階調分解能が異なる領域に対して、それぞれ適切な欠陥検出の判定しきい値を設定する 20
ことができる。

【 0 0 3 5 】

ここで、センサ出力補正を行なうにあたって、検査前に、被検査マスクの種類に応じて予め定められたレシピに従って、検査の光量、センサの撮像時間、センサゲインの設定、および階調変換のための階調変換テーブルの設定を行うようにしても好適である。

【 0 0 3 6 】

図 1 0 は、第 1 の実施形態における検査レシピの一例を示すフロー図である。まず、S 1 0 2 において、被検査マスクの種類に応じて出力レベル分布が低いかどうかを判定する。そして、出力レベル分布が低い場合には、S 1 0 4 へ、低くない場合は S 1 2 0 へと進む。 30

【 0 0 3 7 】

図 1 1 は、第 1 の実施形態におけるセンサ出力レベル分布が低い場合の対応を示す概念図である。センサ出力レベル分布が低い階調領域に位置する場合、光量を上げる、センサの露光時間（受光時間）を増やす、センサゲインを上げる、或いは、階調レベルの低い領域の階調を階調変換テーブルにより上げる、といった対応で低い階調領域の分解能を高く 30
できる。

【 0 0 3 8 】

そこで、S 1 0 4 において、光量増加或いはセンサ露光時間増加が可能かどうかを判定する。可能であれば S 1 0 6 へ、可能でなければ S 1 0 8 へ進む。光量増加或いはセンサ露光時間増加を行なうと低い階調領域の分解能は高くできるが、他方で高い階調領域の階 40
調値は最大値に飽和してしまい、データがつぶれてしまう。そのため、飽和しない場合、或いは飽和しても構わない場合に光量増加或いはセンサ露光時間増加が可能と判定する。

【 0 0 3 9 】

そして、可能な場合は、S 1 0 6 において、光量増加或いはセンサ露光時間増加になるようにパターン検査装置 1 0 0 の設定を変更する。或いは光量増加およびセンサ露光時間増加になるようにパターン検査装置 1 0 0 の設定を変更する。

【 0 0 4 0 】

次に、S 1 0 8 において、フォトダイオードアレイ 1 0 5 のセンサゲイン増加が可能かどうかを判定する。可能であれば S 1 1 0 へ、可能でなければ S 1 1 2 へ進む。センサゲイン増加を行なうと低い階調領域の分解能は高くできるが、他方で高い階調領域の階調値 50

は最大値に飽和してしまい、データがつぶれてしまう。そのため、最大値に飽和しない場合、或いは飽和しても構わない場合にセンサゲイン増加が可能と判定する。

【 0 0 4 1 】

そして、可能な場合は、S 1 1 0において、フォトダイオードアレイ 1 0 5のセンサゲイン増加になるようにパターン検査装置 1 0 0の設定を変更する。

【 0 0 4 2 】

次に、S 1 1 2において、暗部の階調変換による拡大或いはゲイン補正回路 1 2のゲイン増加が可能かどうかを判定する。可能であればS 1 1 4へ、可能でなければS 1 3 0へ進む。ゲイン補正回路 1 2のゲイン増加を行なうと低い階調領域の分解能は高くできるが、他方で高い階調領域の階調値は最大値の飽和してしまい、データがつぶれてしまう。そのため、最大値の飽和しない場合、或いは飽和しても構わない場合にゲイン補正回路 1 2のゲイン増加が可能と判定する。一方、暗部の階調変換による拡大は、階調領域に応じて変化率が異なる階調変換テーブルを用いるので高い階調領域の階調値を最大値の飽和させずに低い階調領域の分解能を高くできる。

10

【 0 0 4 3 】

一方、出力レベル分布が低い場合、S 1 2 0において、明部の階調変換による拡大或いはゲイン補正回路 1 2のゲイン増加とオフセット補正回路 1 4のオフセット調整の組み合わせが可能かどうかを判定する。可能であればS 1 2 2へ、可能でなければS 1 3 0へ進む。

【 0 0 4 4 】

図 1 2は、第 1の実施形態におけるセンサ出力レベル分布が高い場合の対応を示す概念図である。センサ出力レベル分布が高い階調領域に位置する場合、階調レベルの高い領域の階調を階調変換テーブルにより上げる、或いは、センサ出力補正回路 1 4 0のゲインを上げ、かつ最大階調値が飽和しない位置にオフセット調整を行なうといった対応で高い階調領域の分解能を高くできる。ゲイン増加とオフセット調整の組み合わせは、高い階調領域の分解能は高くできるが、他方で低い階調領域の階調値は0にクランプしてしまい、データがつぶれてしまう。そのため、データがつぶれない場合、或いはデータがつぶれても構わない場合にゲイン増加とオフセット調整の組み合わせが可能と判定する。一方、明部の階調変換による拡大は、階調領域に応じて変化率が異なる階調変換テーブルを用いるので低い階調領域の階調値のデータを0にクランプさせてデータをつぶさせずに高い階調領域の分解能を高くできる。

20

30

【 0 0 4 5 】

以上のような検査前のレシピによる設定が終了後に、設定に沿って、上述したセンサが撮像した光学画像データの欠陥検査を行う

【 0 0 4 6 】

図 1 3は、第 1の実施形態における階調変換前での階調レベルが低いL / Sパターンの画像データとプロファイルの一例を示す図である。図 1 3 (a)に示すように階調変換前ではL / Sパターンの振幅が低くL / Sパターンを判別しにくい。かかる階調レベルは図 1 3 (b)に示すように、検査に必要なコントラストが得られない。これに対し、階調変換することで以下に示すように検査に必要なコントラストを得る。

40

【 0 0 4 7 】

図 1 4は、第 1の実施形態における階調変換後での階調レベルが低いL / Sパターンの画像データとプロファイルの一例を示す図である。図 1 4 (a)に示すように階調変換後ではL / Sパターンの振幅が低くL / Sパターンを判別可能である。かかる階調レベルは図 1 4 (b)に示すように、検査に必要なコントラストを得ることができる。階調拡大前は、階調レベルが低く、また量子化ノイズなどによるノイズ成分が大きく、画像上に見える出力レベルのばらつきが目立つが、階調拡大後では、階調が拡大して明るくなっており、ノイズによる出力レベルのばらつきが改善されていることが分かる。

【 0 0 4 8 】

以上のように、第 1の実施形態では、階調変換で検査画像を補正することにより、注目

50

する検査パターンの階調レベルを拡大して検査を可能にできる。また、階調を拡大することで、量子化ノイズなどのノイズが改善され、検査のS Nが改善され、感度の向上が可能となる。

【0049】

また、検査レシピに従って、検査の光量、センサの露光時間、センサゲインの設定、階調変換の補正テーブル、また出力補正回路のゲイン、オフセットを設定することにより、注目している検査パターンの出力レベルの階調分解能を上げて検査を行うことが可能となり、検査のS Nの改善、検査感度の向上が可能となる。

【0050】

図15は、第1の実施形態におけるダイ-データベース検査を行なう場合の検査処理フローを示す概念図である。上述したように、ダイ-データベース(DB)検査では、センサにより測定データを取得後、階調変換を行なう。一方、設計データ(CADデータ)から参照データを作成し、同様に階調変換を行なう。そして、共に階調変換された測定データと参照データとの比較を行なう。但し、DB検査に限るものではなく、ダイ-ダイ(DD)検査でも上述した例は適応できる。

10

【0051】

図16は、第1の実施形態におけるダイ-ダイ検査を行なう場合の検査処理フローを示す概念図である。ダイ-ダイ検査では、ストライプ領域中に同じパターンが配置されたフォトマスクから光学画像を撮像する。かかるストライプデータでは、同じパターンが送られて撮像されているので、センサデータを順次、階調変換し、比較回路108と遅延回路に送付する。遅延回路では所定の時間遅延後の測定データを比較回路108に送付する。これにより、対象となるダイの測定データと比較対象となるダイの測定データを同時期に比較回路108に出力できる。その結果、ダイ-ダイ検査を行なうことができる。以上のように、センサは、被検査マスクから参照画像データとなる別の光学画像データを撮像し、比較回路108でダイ-ダイ検査を行ってもよい。

20

【0052】

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10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。

30

【0053】

以上の説明において、「～回路」、「～部」、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、及びセンサ出力補正回路140内の各回路等は、電氣的回路で構成されていても良いし、制御計算機110或いは各回路内に配置されるコンピュータ等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良い。

40

【0054】

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。例えば、EUVマスクの検査を行なう場合には、反射光が用いられる。

【0055】

50

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。

【0056】

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。

【0057】

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パターン検査装置、パターン検査方法、画像位置合わせ方法は、本発明の範囲に包含される。

【符号の説明】

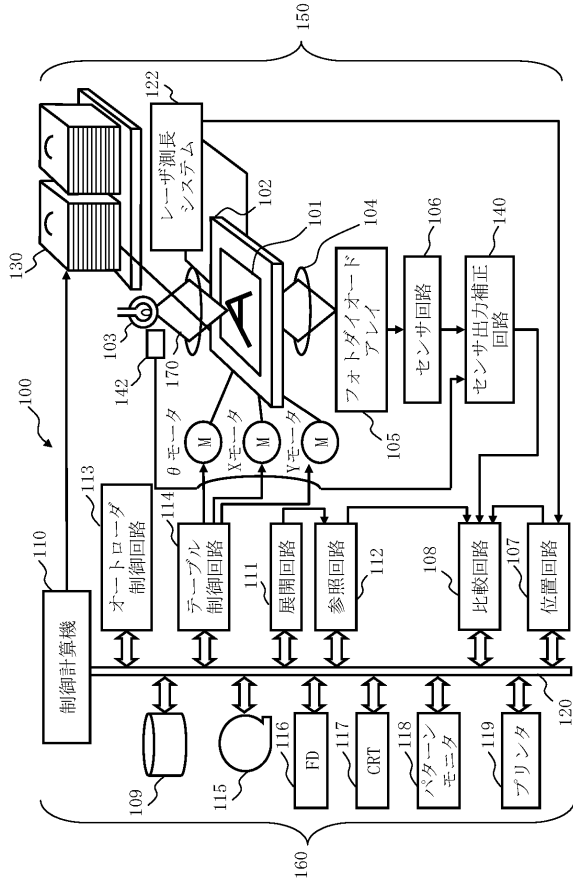
10

【0058】

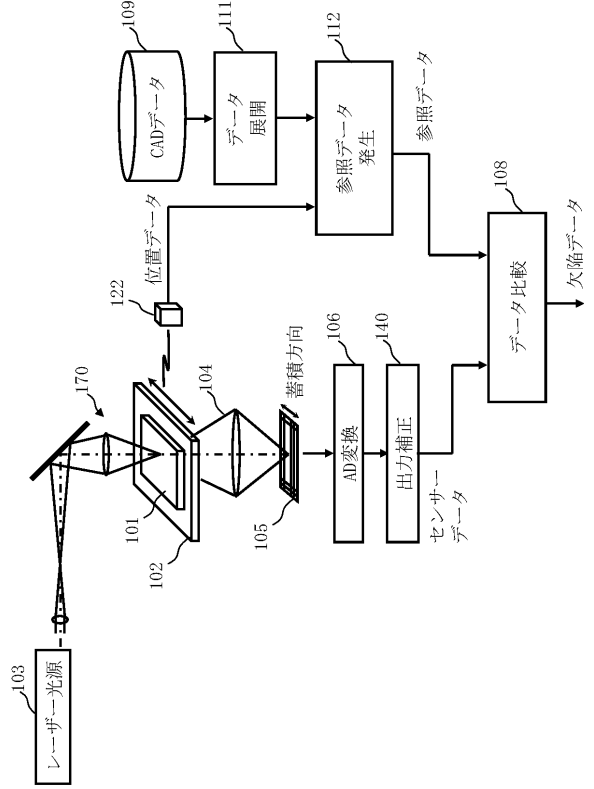
- 10 光量補正回路
- 20 ゲイン補正回路
- 30 オフセット補正回路
- 40 階調変換回路
- 100 パターン検査装置
- 101 フォトマスク
- 102 X Y テーブル
- 103 光源
- 104 拡大光学系
- 105 フォトダイオードアレイ
- 106 センサ回路
- 108 比較回路
- 109 磁気ディスク装置
- 140 センサ出力補正回路
- 150 光学画像取得部
- 160 制御回路

20

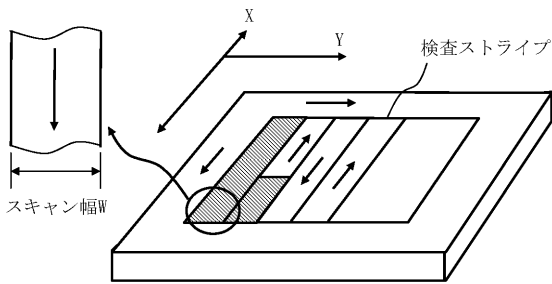
【図1】



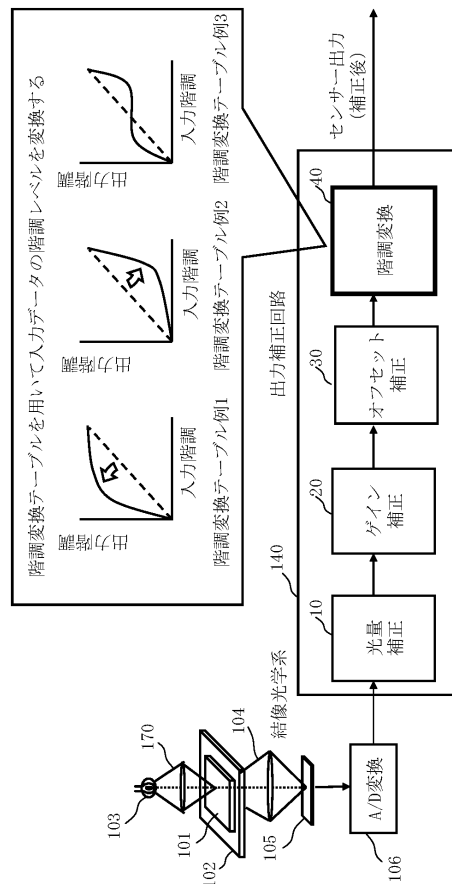
【図2】



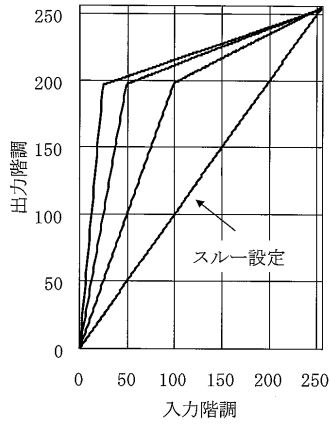
【図3】



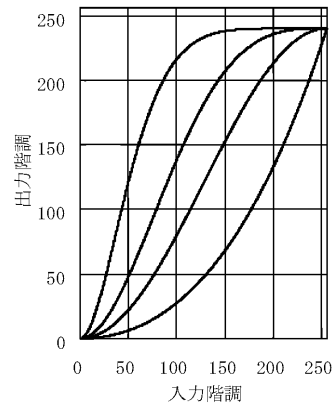
【図4】



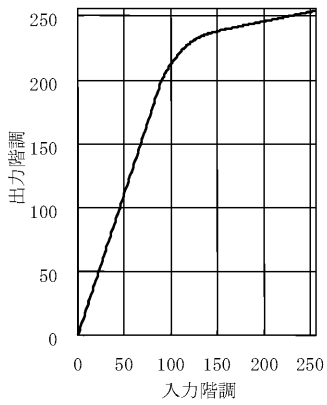
【図5】



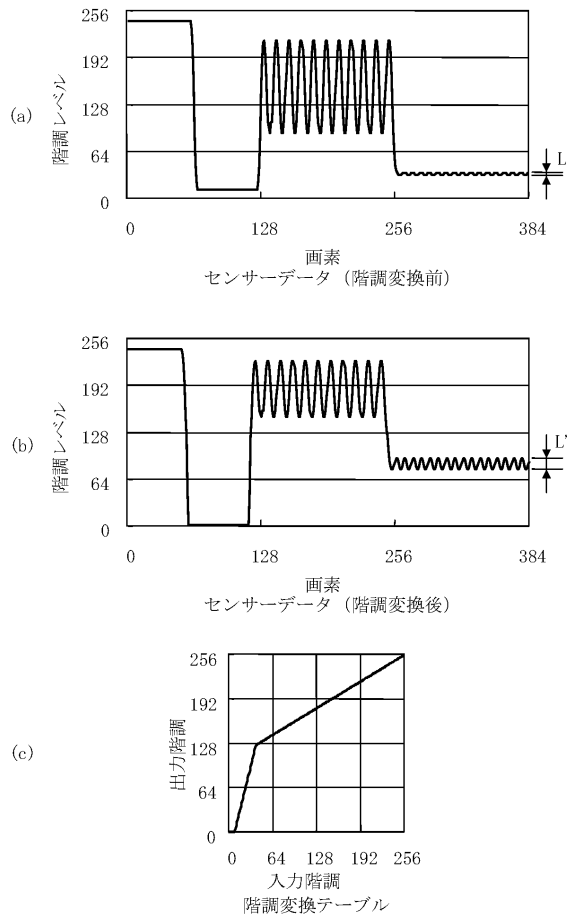
【図6】



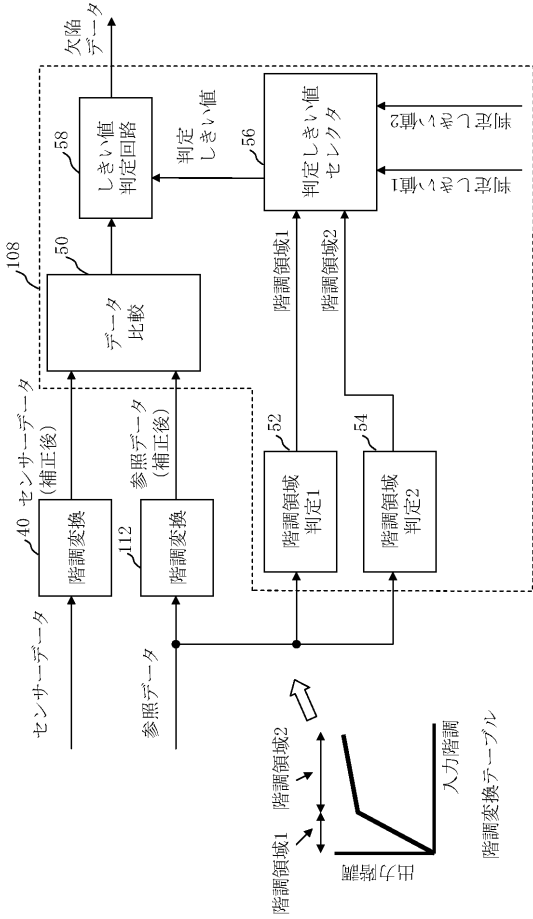
【図7】



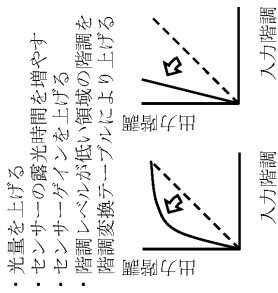
【図8】



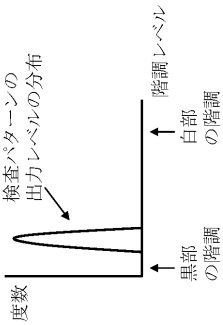
【図 9】



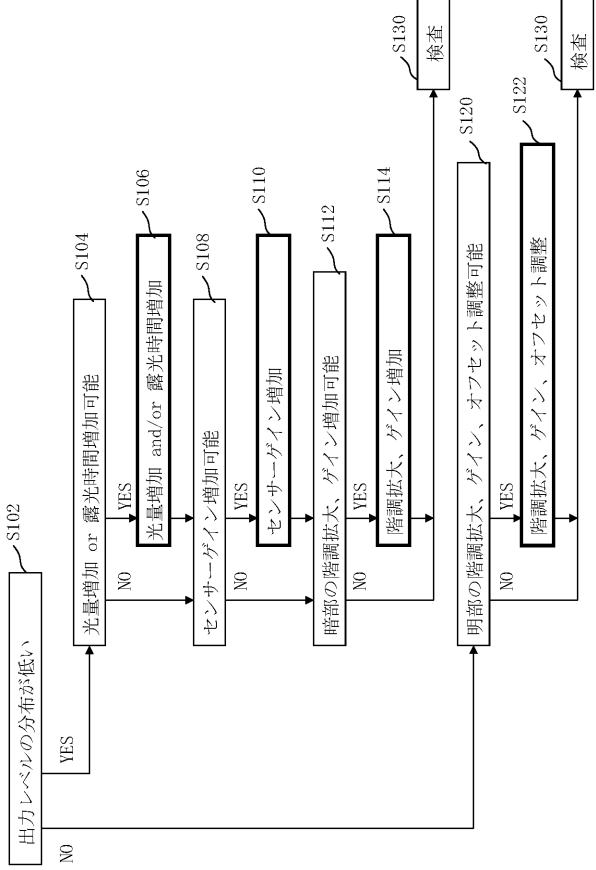
【図 11】



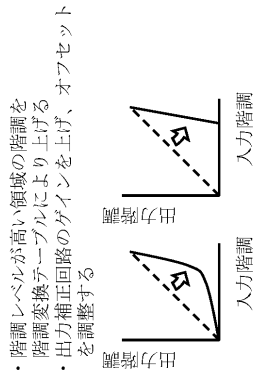
ケース1：出力レベルの分布が低い場合



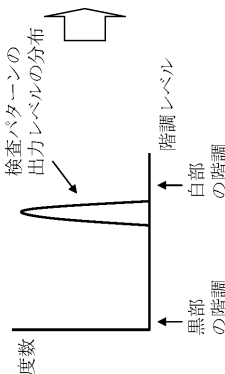
【図 10】



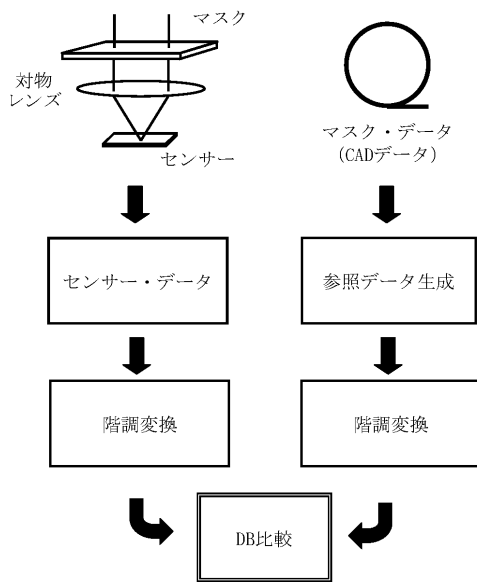
【図 12】



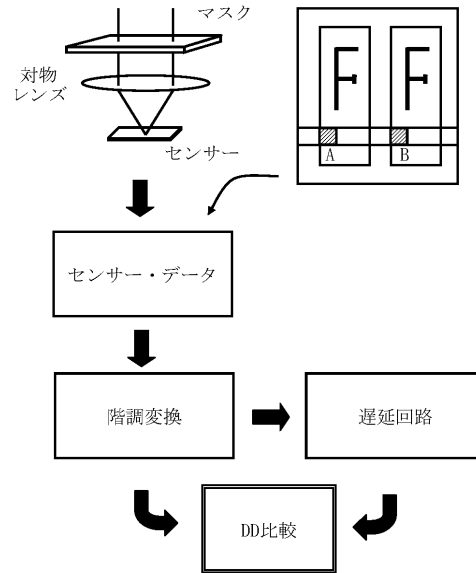
ケース2：出力レベルの分布が高い場合



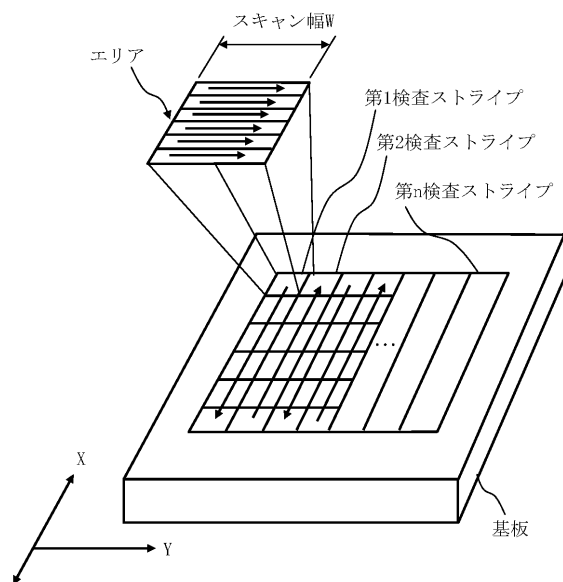
【図15】



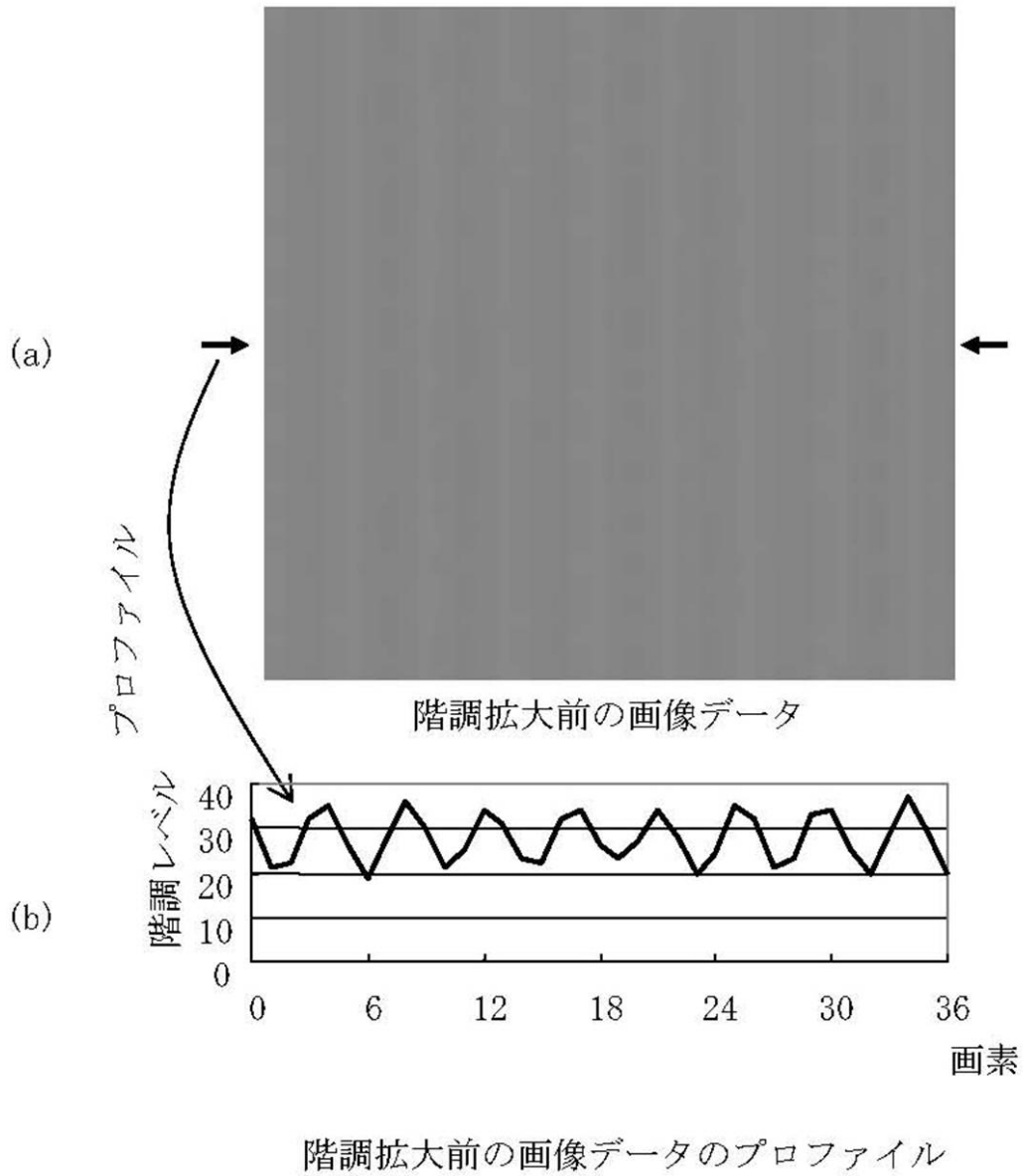
【図16】



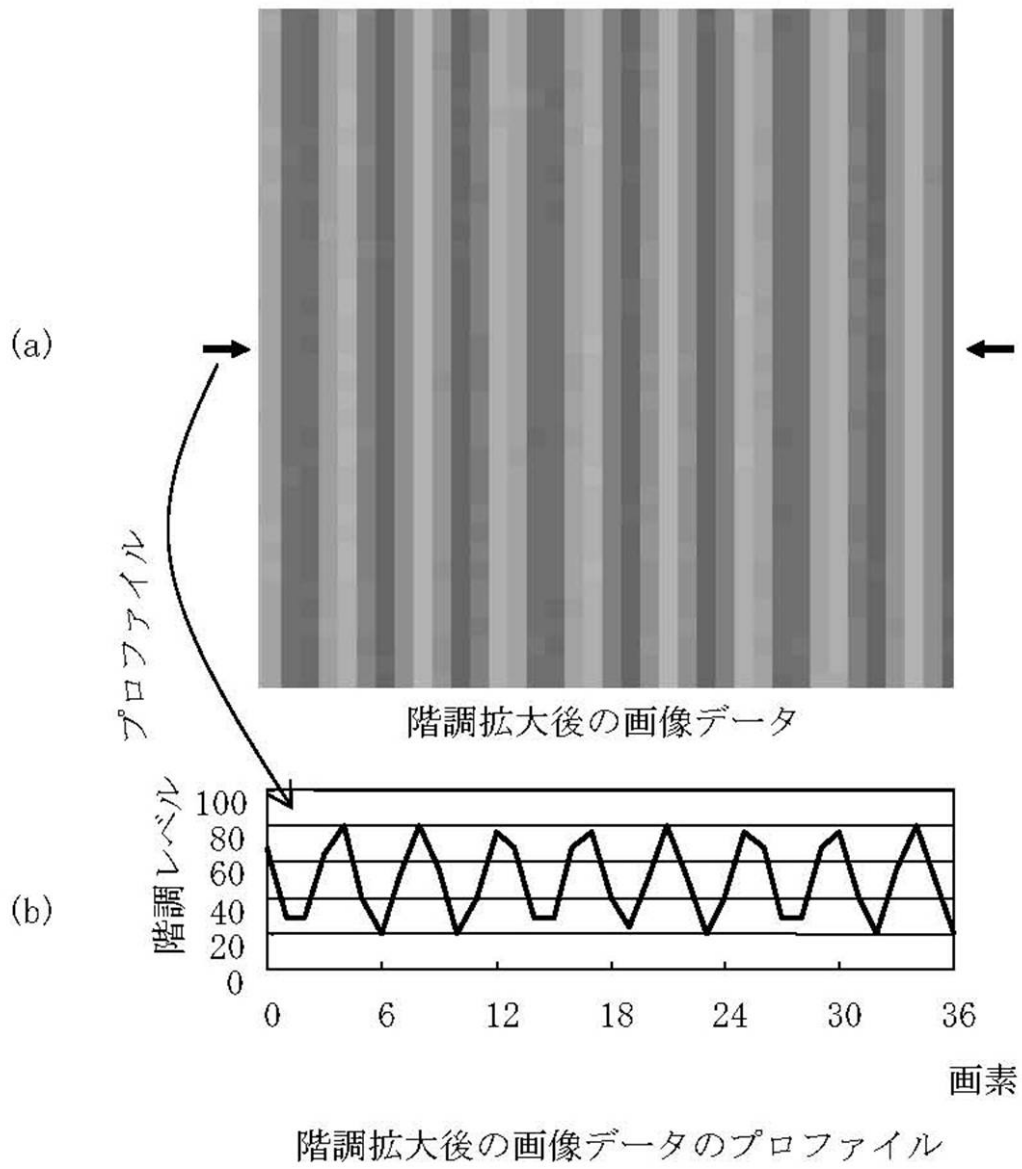
【図17】



【図 13】



【図14】



フロントページの続き

(72)発明者 平野 亮一
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

(72)発明者 菊入 信孝
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 森口 正治

(56)参考文献 特開 2 0 0 6 - 1 7 9 8 8 9 (J P , A)
特開平 0 8 - 3 2 0 2 9 4 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
G 0 1 N 2 1 / 9 5 6