(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2007-192688
(P2007-192688A)
(43)公開日　平成19年8月2日(2007.8.2)

(51)Int.Cl.		F I			テーマコード（参考）
G01N 21/88	(2006.01)	G01N	21/88	J	2G051
G01N 21/956	(2006.01)	G01N	21/956	A	5B057
G06T 1/00	(2006.01)	G06T	1/00	305A	

審査請求 未請求　請求項の数 10　ＯＬ　（全 21 頁）

(21)出願番号　特願2006-11837(P2006-11837)
(22)出願日　平成18年1月20日(2006.1.20)

(71)出願人　501387839
株式会社日立ハイテクノロジーズ
東京都港区西新橋一丁目２４番１４号
(74)代理人　100100310
弁理士　井上　学
(72)発明者　前田　俊二
神奈川県横浜市戸塚区吉田町２９２番地
株式会社日立製作所生産技術研究所内
(72)発明者　酒井　薫
神奈川県横浜市戸塚区吉田町２９２番地
株式会社日立製作所生産技術研究所内

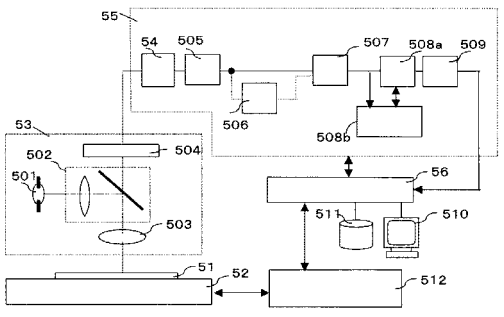
Ｆターム(参考)　2G051 AA51 AB07 CA03 CB01 CB05
DA06 EA11 EB01 EB09 EC02
EC04 ED07

最終頁に続く

(54)【発明の名称】欠陥検査方法

(57)【要約】
【課題】
検査対象画像を参照画像と比較してその差異から欠陥を検出する欠陥検査において，画像間の明るさの違いによる虚報の発生を防止するため，しきい値を大きく設定し，感度を落とすことを余儀なくされていた。
【解決手段】
検査対象画像と参照画像の差異が小さくなるように，散布図分解を行い比較する，或いは，比較対象の合わせ込みを行う。これにより，ウェハ内の膜厚の違いにより生じる画像間の違い等を許容でき，感度を落とさず虚報の発生を防止できる。
【選択図】　図５

図５



【特許請求の範囲】
【請求項１】
試料を撮像して得た検査画像を比較対象の参照画像と比較して欠陥を検出する欠陥検査方法であって，前記検査画像と前記参照画像との位置ずれを検出して補正し、該位置ずれを補正した前記検査画像と参照画像との各画素の特徴量を求め、該求めた各画素の特徴量に応じた前記検査画像と参照画像との正常部分の画素の分散の状態に基づいて前記検査画像と参照画像との特徴量を合わせ込み、該特徴量を合わせ込んだ前記検査画像と参照画像との差画像を求めて欠陥を抽出することを特徴とする欠陥検査方法。
【請求項２】
前記求める各画素の特徴量が、明るさ、コントラスト、前記検出画像と前記参照画像との明るさの差、色情報、テクスチャ情報、明るさの分散値などの統計量、または周波数領域にける特徴の何れかを含むことを特徴とする請求項1記載の欠陥検査方法。
【請求項３】
前記検査画像と参照画像との特徴量を合わせ込むことを、前記検査画像と参照画像との正常部分の画素の分散の状態に基づいて前記検査画像と参照画像との特徴量を合わせ込むための1次変換式の補正係数を求め、該求めた補正係数を用いて前記検査画像と参照画像との特徴量を合わせ込むことを特徴とする請求項1記載の欠陥検査方法。
【請求項４】
前記検査画像と参照画像との特徴量を合わせ込むことを、前記求めた特徴量に応じて前記検査画像と参照画像との各画素を複数組に分解し、該分解した複数の組ごとのそれぞれの検査画像と参照画像との画素の分散の状態に基づいて前記検査画像と参照画像との特徴量を合わせ込むための1次変換式の補正係数を求め、該求めた補正係数を用いて前記検査画像と参照画像との特徴量を合わせ込むことを特徴とする請求項1記載の欠陥検査方法。
【請求項５】
前記欠陥を抽出することを、前記検査画像と参照画像との差画像から欠陥候補を抽出し、該抽出した欠陥候補の空間情報を用いて該欠陥候補の中から欠陥を抽出することを特徴とする請求項1記載の欠陥検査方法。
【請求項６】
試料を撮像する撮像手段と、
参照画像を記憶する記憶手段と、
前記撮像手段で撮像して得た前記試料の検査画像を前記記憶手段に記憶しておいた参照画像とを処理して前記試料上の欠陥を検出する画像処理手段と、
を備えた欠陥検査装置であって、前記画像処理手段は、
前記撮像手段で撮像して得た検査画像と前記記憶手段に記憶しておいた参照画像との位置ずれを検出する位置ずれ検出部と、
該位置ずれ検出部で検出した位置ずれの情報に基づいて前記検査画像と参照画像との位置ずれを補正して前記検査画像と参照画像との各画素の特徴量を求める特徴量算出部と、
該特徴量算出部で求めた各画素の特徴量に応じた前記検査画像と参照画像との正常部分の画素の分散の状態に基づいて前記検査画像と参照画像との特徴量を合わせ込む特徴量合わせ込み部と、
該特徴量合わせ込み部で特徴量を合わせ込んだ前記検査画像と参照画像との差画像を求めて欠陥を抽出する欠陥抽出部と
を有することを特徴とする欠陥検査装置。
【請求項７】
前記特徴量算出部は、前記検査画像と前記参照画像との明るさ、コントラスト、明るさの差、色情報、テクスチャ情報、明るさの分散値などの統計量、または周波数領域にける特徴の何れかを特徴量として抽出することを特徴とする請求項６記載の欠陥検査装置。
【請求項８】
前記特徴量合わせ込み部は、前記検査画像と参照画像との正常部分の画素の分散の状態に基づいて前記検査画像と参照画像との特徴量を合わせ込むための1次変換式の補正係数

を求め、該求めた補正係数を用いて前記検査画像と参照画像との特徴量を合わせ込むことを特徴とする請求項６記載の欠陥検査装置。
【請求項９】
前記特徴量合わせ込み部は、前記求めた特徴量に応じて前記検査画像と参照画像との各画素を複数組に分解し、該分解した複数の組ごとのそれぞれの検査画像と参照画像との画素の分散の状態に基づいて前記検査画像と参照画像との特徴量を合わせ込むための1次変換式の補正係数を求め、該求めた補正係数を用いて前記検査画像と参照画像との特徴量を合わせ込むことを特徴とする請求項６記載の欠陥検査装置。
【請求項１０】
前記欠陥抽出部は、前記検査画像と参照画像との差画像から欠陥候補を抽出し、該抽出した欠陥候補の空間情報を用いて該欠陥候補の中から欠陥を抽出することを特徴とする請求項６記載の欠陥検査装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は，試料の外観を撮像して得た画像から欠陥を検出する欠陥検査装置及びその方法に係り、特に、ランプ光もしくはレーザ光，或いは電子線などを用いて得られた半導体ウェハ，ＴＦＴ，ホトマスクなどの対象物の画像と，あらかじめ記憶されている参照画像を比較し，その差異から微細なパターン欠陥や異物等の検査を行う欠陥検査方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
検査対象画像と参照画像とを比較して欠陥検出を行う従来の技術としては，特開平０５－２６４４６７号公報（特許文献1）に記載の方法が知られている。これは，繰返しパターンが規則的に並んでいる検査対象試料をラインセンサで順次撮像し，繰返しパターンピッチ分の時間遅れをおいた画像と比較し，その不一致部をパターン欠陥として検出するものである。
【０００３】
しかし，実際にはステージの振動や対象物の傾きなどがあり，２枚の画像の位置が合っているとは限らないため，竹田健祐，金子俊一，田中孝之，酒井薫，前田俊二，中川泰夫：内挿型増分符号相関に基づくロバストなサブピクセル画像照合法，View2004ビジョン技術の実利用ワークショップ，pp.16-21，2004（非特許文献１）やKensuke Takeda, Shun'ichi Kaneko, Takayuki Tanaka, Kaoru Sakai, Shunji Maeda, Yasuo Nakagawa: Robust Subpixel Image Alignment by Interpolation-based Absolute Gradient Matching, Proceedings of the 11th Japan-Korea Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision 2005(FCV2005), pp.154-159, 2005（非特許文献２）に開示されているように、センサで撮像した画像と，繰返しパターンピッチ分の遅延された画像の位置ずれ量を求める。そして，求められた位置ずれ量に基づき２枚の画像の位置合わせを行った後，画像間の差をとり，差が規定のしきい値よりも大きいときに欠陥と，小さいときは非欠陥，即ち正常と判定する。
【０００４】
また、特開２００１－１９４３２３号公報（特許文献２）には、レーザ光源を使用してＤＵＶ光やＶＵＶ光などを対物レンズを介して照明する同軸落射・明視野検出の方式が開示されている。
【０００５】
【特許文献１】特開平０５－２６４４６７号公報
【特許文献２】特開２００１－１９４３２３号公報
【非特許文献１】竹田健祐，金子俊一，田中孝之，酒井薫，前田俊二，中川泰夫：内挿型増分符号相関に基づくロバストなサブピクセル画像照合法，View2004ビジョン技術の実利用ワークショップ，pp.16-21，2004

【非特許文献２】Kensuke Takeda, Shun'ichi Kaneko, Takayuki Tanaka, Kaoru Sakai, Shunji Maeda, Yasuo Nakagawa: Robust Subpixel Image Alignment by Interpolation-based Absolute Gradient Matching, Proceedings of the 11th Japan-Korea Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision 2005(FCV2005), pp.154-159, 2005

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００６】

上記従来技術の課題を説明する。例えば，図１（ａ）の１１は検査対象画像，１２は参照画像の一例であり，１ａは一様に明るい下地領域，１ｂは明るい下地に暗いパターンがある領域である。また，検査対象画像１１には欠陥１ｃがある。本例の画像において，位置１Ｄ－１Ｄ‘での明るさの波形は図１（ｂ）のようになっている。ここで，１１と１２の位置ずれ量が求められ，１１と１２の位置合せ後の差画像は図２（ａ）のようになる。差画像とは検査対象画像と参照画像の対応する各位置での差の値に応じて濃淡差表示した画像のことである。図２（ｂ）に示すように、差の値が特定のしきい値ＴＨ以上となる部分を欠陥とするならば，図１の検査対象画像１１の欠陥１ｃのみが検出される。

【０００７】

検査対象物が半導体ウェハの場合，ウェハ内での膜厚の違いがあると，図３に示す検査対象画像１１の４ａ，及び参照画像１２の４ｂに示すように検査対象画像１１と参照画像１２の同一のパターンで明るさの違いが生じ，その差の値は図４（ａ）の４ｃのように大きくなる。これは虚報であり，検出しないようにするためには，図４（ｂ）に示すようにしきい値ＴＨを大きくせざるを得ない。もしくは明るさむらのある領域とない領域でしきい値を別に設定せざるを得ない。しかし，いずれも感度を落とす方向にしきい値を設定していることに変わりはない。ウェハ内には膜厚の違い以外に、グレイン（表面の微小凹凸）やラインエッジラフネス（ＬＥＲ）など、明るさの差を生む多様な違いが存在する。

【０００８】

このように，半導体の場合，そのパターンの位置精度が高く位置情報が信頼できるという意味で高精度な空間（位置）情報に対し，変動しやすく曖昧な明るさの情報を如何に処理するかが，大きな課題である。

【０００９】

本発明の目的は，このような従来検査技術の問題を解決するために，検査対象画像を参照画像と比較してその差異から欠陥を検出する比較検査において，明るさの比較時に，多次元空間のひとつである散布図にデータを投票し，得られた散布図を特徴に基づき分解し，分解した各散布図上のデータの拡がりを抑えることにより，低いしきい値を設定可能とすることにある。ここで，多次元空間のひとつである散布図は，検査対象画像と参照画像の明るさを，それぞれ縦軸と横軸にとったものである。これにより，色むらによる虚報を低減するとともに，高感度な欠陥検査方法及び装置を提供することにある。特に，半導体ウェハを対象とした検査では膜厚の違いなどから生じるパターンの明るさむらについて，画像間の明るさを合わせ込んで検査を行うことにより，しきい値ＴＨを大きくすることなく，明るさむらによる虚報を低減し，高感度な欠陥検査を実現することにある。なお，比較検査において，ここでは明るさを比較対象として説明するが，明るさ以外を対象とする場合は，それを散布図の縦軸と横軸にとるものとする。また，３つ以上の特徴を選び，散布図を多次元化してもよい。或いは、散布図を多次元空間のある断面と考えてもよい。特徴量には、対象画素の明るさやコントラスト，ダイ（あとで切断して１個のデバイスになる）間あるいはセル（ダイ内の繰返しパターン）間の対応画素の明るさばらつきなどを選ぶ。

【課題を解決するための手段】

【００１０】

上記目的を達成するために，本発明では，検査対象画像と参照画像との比較において，対象とする各画素の明るさやコントラスト，ダイ間若しくはセル間の明るさばらつきやコントラストばらつきなど定めた特徴を軸にもつ多次元空間に投票し，この投票データを用

いて，欠陥を検出するようにした。また，散布図を投票により作成し，得られた散布図を特徴に基づき分解し，分解した各散布図上のデータの拡がりを抑えることにより，低いしきい値を設定可能とする方法を備えるようにした。

【００１１】

さらに，対象の膜厚等の違いにより画像間の同一となるパターン間で明るさの違いが生じていても，あらかじめ明るさを合わせ込むことにより，明るさむらの有無にかかわらず，低しきい値で高感度な欠陥検査を行う方法を備えるようにした。一般的に表現すると，明るさなどの対象特徴の合わせ込みを行う方法を備えることにより，正常部の不一致の影響を受けることなく，高感度に検査でき，かつ虚報の発生を低減できる。具体的には，対象画素の明るさやコントラスト，ダイ間若しくはセル間の明るさばらつきなどの定めたいくつかの特徴からなる散布図を，他の特徴により分解し，分解された複数の散布図を用いて，欠陥を検出するようにした。

【００１２】

これらの方法を備えることにより，全検査対象領域に対し，低しきい値であっても虚報を発生しない高感度な欠陥検査方法を提供する。さらに，欠陥の分類方法や画像データの圧縮方法を提供する。

【発明の効果】

【００１３】

本発明によれば，複数の比較ダイ間にて各画素の明るさやコントラストのばらつきを求め，その値により各画素をカテゴリ分けし，カテゴリごとに散布図を用いて明るさなどの特徴量を合わせ込み，その結果，はずれ値となるものを欠陥として識別する。これにより，明るさなどばらつきの異なるパターンを相互に分離でき，しかも合わせ切れない特徴量を検出するため，微細欠陥の検出感度を向上できる。

また、本発明によれば，多次元空間の１種である散布図の情報・散布図の分解情報を用いた比較により，正常部の不一致の影響を受けることなく，高感度に検査でき，さらに，明るさなどの対象特徴を合わせ込むことにより，虚報の発生を低減できる。これにより，低しきい値の設定が可能となり，高感度検査を実現できる。また，虚報の発生低減と欠陥の高感度検出が両立し，さらに感度の調整が容易にできる。

さらに本発明を光学式外観検査装置における比較検査に適用することにより，検出感度５０ｎｍを達成できる。また，電子線式パターン検査やＤＵＶを光源とした外観検査に適用することにより，検出感度３０～７０ｎｍが達成可能である。さらに，画像処理のハードウェア規模を合理的な規模に抑えることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００１４】

以下，本発明の一実施例を図を用いて詳細に説明する。

【００１５】

実施例として，半導体ウェハを対象とした光学式外観検査装置における欠陥検査方法を例にとって説明する。図５は装置の構成の一例を示したものである。５１は試料（半導体ウェハなどの被検査物），５２は試料５１を搭載し，移動させるステージ，５３は検出部で，試料５１を照射する照明光を出射するための光源５０１，光源５０１から出射した光を集光する照明光学系５０２，照明光学系５０２で集光された照明光を対物レンズ５０３を介して試料５１に照射し，反射光や回折光など反射して得られる光をふたたび対物レンズ５０３を介して結像させ，結像された光学像を明るさに応じて画像信号に変換するイメージセンサ５０４により構成される。この実施例では，ステージによる試料の連続送りとリニアイメージセンサにより２次元画像を検出している。

【００１６】

５５は検出部５３で検出された画像を対象に，試料であるウェハ上の欠陥や欠陥候補を検出する画像処理部である。画像処理部５５は，検出部５３からの入力信号をデジタル信号に変換するＡＤ変換部５４，デジタル信号よりシェーディング補正，暗レベル補正等の画像補正を行う前処理部５０５，比較対象のデジタル信号を参照画像信号として格納して

おく遅延メモリ５０６（後述の実施例図１７～図２０では，１列分の画像を記憶する），検出部５３で検出されたデジタル信号（検出画像信号）と遅延メモリ５０６の参照画像信号との位置ずれ量を検出する位置ずれ検出部５０７，散布図を投票により作成し，或いは分解された散布図を作成し，さらに空間情報とのリンクを行う分解散布図作成及び空間情報との結合部５０８ｂ，算出された位置ずれ量を用い，また分解された散布図から明るさを補正する情報を算出し，検出画像と参照画像の画像信号の位置と明るさを合わせ込み，設定したしきい値より大きい部分を欠陥候補として出力する画像比較部５０８ａ，欠陥候補として得られる不一致の間の空間的（画像上の）近接関係などの空間（位置）情報を用いて，欠陥候補から，欠陥候補をさらに絞りこみ，その欠陥候補の座標や特徴量などを算出する特徴抽出部５０９から構成される。

【００１７】

５６は全体制御部で，ユーザからの検査パラメータ（画像比較で用いられるしきい値など）の変更を受け付けたり，検出された欠陥情報を表示したりする表示手段と入力手段を持つユーザインターフェース部５１０，検出された欠陥候補の特徴量や画像などを記憶する記憶装置５１１，各種制御を行うＣＰＵで構成される。５１２は全体制御部からの制御指令に基づいてステージ５２を駆動するメカニカルコントローラである。なお，画像処理部５５，検出部５３等も全体制御部５６からの指令により駆動する。

【００１８】

検査対象となる半導体ウェハ５１は，図６に示すように同一であるはずのパターンのチップが多数，規則的に並んでいる。図５の検査装置では，隣接する２つのチップの同じ位置，例えば図６の領域６１と領域６２等での画像を比較し（実線の楕円内），その差異を欠陥として検出する。詳細を説明すると，全体制御部５６では試料である半導体ウェハ５１をステージ５２により連続的に移動させる。これに同期して，順次，チップの像が検出部５３より取り込まれる。検出部５３のイメージセンサ５０４は入力された信号を画像処理部５５に出力する。

【００１９】

画像処理部５５では，まず入力されたアナログ信号をAD変換部５４でデジタル信号に変換し，前処理部５０５にてシェーディング補正，暗レベル補正などを行う。また，必要に応じて，例えばウェーブレットによるノイズの除去やエッジ強調によりＳ／Ｎを向上させる処理を行う。ただし，Ｓ／Ｎ向上による画質改善処理は，差画像の段階で行うこともできる。位置ずれ検出部５０７には，前処理部５０５から出力される検査対象チップの画像信号（検出画像信号）と，遅延メモリ５０６から入力される，ステージがチップ間隔分移動する時間だけ遅延された画像信号，すなわち，検査対象チップの１つ前のチップの画像信号（参照画像信号）がセットで入力される。

【００２０】

ステージの移動に同期して順次入力されるこれら２チップの画像信号は，ステージの振動がある場合や，ステージ上にセットされたウェハが傾いていると，対応する箇所での信号とはならない。このため，位置ずれ検出部５０７では連続的に入力される２つの画像間の位置ずれ量を算出する。この時，検出画像信号，参照画像信号は連続して入力されるが，位置ずれ量の算出は特定の長さを一処理単位とし，処理単位毎に順次行う。この長さは，画像に影響するステージや光学系の振動等の周期より小さく選ぶことが重要である。

【００２１】

ここで，位置ずれ量の算出対象をすべての画像とせず，その一部とし，その位置を，図６に示すスキャンの先頭チップの画像から判定して決めてもよい。また，ステージの挙動に，ある程度再現性があれば，最初のスキャンＡで求めた位置ずれ量を参照し，その後のスキャンＢでの位置ずれ量算出の振り幅を決めてもよい。また，位置ずれ量は，画像の正規化相関等のマッチングにより求めてもよいし，周波数領域で算出してもよい。後者の場合，位相のみに着目しても，明るさの違いによりロバストであり，好適である。

【００２２】

また，画像を検出する照明条件などによって，画像に飽和が起きることもあり得るため

，位置ずれ量の算出時に飽和した画素は除くなどの処理を併せて行ってもよい。その意味では，非特許文献１や非特許文献２に報告されている手法に，飽和した画素は除くなどの処理を併せて実行して飽和の影響を除くことも有効である。また，パターン密度が高いと，繰返しパターン部でビート（エイリアシング）が発生することもある。これを避けるため，各画素のコントラストが定めた値に満たさないものは除くと言った処理をしてもよい。

【００２３】

以下の処理についても各々の処理単位を定め，その単位毎に行う。画像比較部５０８ａでは位置ずれ検出部５０７で算出された位置ずれ量の情報を用いて画像の位置合わせを行い，５０８ｂにて後述する分解散布図作成を行い，この情報に基づいて，５０８ａで検出画像と参照画像を比較して，その差の値が特定のしきい値より大きい領域を欠陥候補として出力する。特徴抽出部５０９では，複数の欠陥候補各々について，小さいものをノイズとして削除したり，近隣の欠陥候補同士を一つの欠陥としてマージするなどの編集を行い，ウェハ内での位置や面積，サイズ，その他のリアルタイムＡＤＣ（分類）向けの特徴量を算出し，最終的な欠陥として出力する。これらの情報は，記憶装置５１１に保存する。また，ユーザインターフェース部５１０を介して，ユーザに提示する。ここで，特徴量は，散布図の軸や分解に用いた特徴でもよく，その場合は，欠陥判定と分類が同時に一撃に実現できる。

【００２４】

ここで，画像比較部５０８ａで単なる差の値から欠陥候補を求めた場合，それら全てが真の欠陥であるとは限らない。その例を以下に説明する。半導体ウェハ５１の膜厚が一様でない場合，検査対象画像と参照画像には明るさの違いが生じる。例えば，図３の４ａ，４ｂの３つ並んだ十字は検査対象画像１１と参照画像１２内の対応するパターンであるが，膜厚の違いにより，明るさが大きく異なっている（以下，明るさむらと記述する）。また，検出画像１１にのみ欠陥１ｃと１ｄがある。

【００２５】

図４（ａ）は，図６の領域６１と領域６２とを撮像して得られた例えば図３に示すような検査対象画像１１と参照画像１２に対し，位置ずれ検出部５０７で正しい位置ずれ量が算出され，位置合わせが行われた時の各対応する位置での差の画像であるが，検査対象画像１１のパターン４ａと参照画像１２のパターン４ｂとが同一パターンであっても明るさむらのある部分では差の値が大きくなりパターン４ｃのような差画像として検出される。図４（ｂ）は，図４（ａ）の差画像のライン１Ｄ－１Ｄ’上の波形である。差の値がしきい値ＴＨ以上の領域を欠陥とするならば，欠陥１ｃの他に，明るさむらにより差の値が大きくなる十字のパターン４ｃも検出される。これらは虚報である。このような明るさむらによる虚報の検出を避けるため，しきい値をＴＨからＴＨ２へと高くし，全体に低感度で検査を行う，もしくは，明るさむらがある部分ではしきい値をＴＨ２に，明るさむらがない部分ではしきい値をＴＨに設定するなど複数個のしきい値を用いた感度調整をして検査を行う等の方法がとられていた。

【００２６】

これに対し，本発明では画像比較部５０８ａにて，検出画像，参照画像の差分を演算する前にあらかじめ，画像間の明るさの合わせ込み（明るさ補正）を行う。

【００２７】

図７は画像間の明るさの合わせこみを行った後に欠陥を抽出する処理の概要の一例である。まず，位置ずれ検出部５０７で算出した位置ずれ量により，検査画像と参照画像の画素単位の位置合わせを行う（７０）。この位置合わせ後の画像について各画素の特徴量を演算し（７１），特徴量に応じて対象画像の各画素を複数組に分解する。即ち、画像をカテゴリごとに分解して高頻度カテゴリを検出する（７２）。これにより，多次元空間の１種である複数の散布図が作成される（多次元空間のある断面と見なしてもよい）。分解後の画素のまとまりを以下，カテゴリ（クラスと称してもよい）と記述する。

【００２８】

さらに，高頻度のカテゴリを検出し，これを正常カテゴリとみなす。次に，カテゴリ毎に検出画像と参照画像の明るさを合わせ込むための補正係数を，正常カテゴリを参照しながら演算する（７３）。この補正係数を用いてカテゴリ毎に，一方の画像の明るさを他方の画像の明るさに近くなるように補正することにより明るさの合わせ込みを行う（７４）。なお、合わせ込む対象は明るさに限らず、コントラストや対応する画素間の明るさの差（濃淡差）などの特徴量を対象としても良い。そして補正後の検出画像と参照画像の対応する各画素で差分を演算し（７５），画素毎に演算されるしきい値より大きいものを欠陥候補として抽出する（７６）。最後に，後述する不一致の空間情報をチェックし（７７），最終的に欠陥を抽出する（７８）と同時に，欠陥分類を行う（７９）。なお，欠陥分類は，分解散布図をベースとして行ってもよい。

なお，各画素のダイ間若しくはセル間の明るさばらつきなどの定めた特徴を軸にもつ多次元空間に投票し，この投票データを用いて，はずれ値を欠陥として検出してもよい。ここで，多次元空間は，対象画素の明るさやコントラスト，ダイ間若しくはセル間の明るさばらつきなど，定めたいくつかの特徴からなる散布図である。

【００２９】

次に７１～７４までの明るさ合わせ込みの処理手順の一例を詳細に説明する。ここでは比較する検出画像と参照画像のうち，一方の検出画像に対して明るさ（選んだ特徴）の補正を行うこととする。まず，画素単位で位置の合った検出画像と参照画像を用いて，各画素の特徴量を演算する。特徴量には，明るさ，コントラスト，検出画像と参照画像での明るさの差（濃淡差），或いは周波数領域における特徴など多数あるが，以下，特徴量としてコントラストを用いた場合を例にとって説明する。まず，対象領域内の全画素についてコントラストを各々演算する。コントラスト演算には各種のオペレータがあるが，その１つにレンジフィルタ（ｒａｎｇｅ　ｆｉｌｔｅｒ）がある。

【００３０】

これは，図８に示すように対象領域内の座標位置（ｉ，ｊ）におけるコントラスト（Ｃ（ｉ，ｊ））を，近傍領域での明るさの最大値と最小値の差とするものである。フィルタサイズを２×２にした場合，（ｉ，ｊ）での明るさがA，近傍の明るさがB，C，Dならば、コントラスト（Ｃ（ｉ，ｊ））を求める計算式は（数１）となる。勿論，３×３等，対象に合わせてサイズは設定すればよい。

【００３１】

Ｃ（ｉ，ｊ）＝Max（Ａ，Ｂ，Ｃ，Ｄ）－Min（Ａ，Ｂ，Ｃ，Ｄ）　（数１）

また，画質に応じて，レンジフィルタではなくノイズの影響を低減するパーセンタイルフィルタを用いてもよい。

【００３２】

また，対象領域内の座標位置（ｉ，ｊ）におけるコントラストを２次微分値で計算してもよい。この場合，図９に示すように９近傍の明るさA～Iを使い，（数２）による計算を行い、Ｘ方向微分値Ｄｘ、Ｙ方向微分値Ｄｙをそれぞれ求める。

【００３３】

Dx=B+H－２×E,

Dy=D+F－２×E

Ｃ（ｉ，ｊ）＝Max（Dx,Dy）　（数２）

この他にも近傍内での輝度変化量を求めるために様々な演算方法を取り得る。このようにして検出画像での各画素についてコントラストFc（ｉ，ｊ），参照画像の各画素についてコントラストＧｃ（ｉ，ｊ）をそれぞれ演算し，検出画像と参照画像の対応する画素での平均（数３），もしくは差分（数４），もしくは大きい方をとる（数５）などして２枚の画像のコントラストを統合し，各画素でのコントラストを一意に決定する。そしてコントラスト値C（ｉ，ｊ）に応じて数段階に画像を分解する。以下，数段階に分解したものをコントラストカテゴリと記述する。その結果として，領域１ａのような明るさが一様な部分（低コントラスト領域）から領域１ｂのパターンエッジ部のように明るさが急峻に変化する部分（高コントラスト領域）までが段階的に分解される

Ｃ（ｉ，ｊ）＝（Ｆｃ（ｉ，ｊ）＋Ｇｃ（ｉ，ｊ））／２　　（数３）
Ｃ（ｉ，ｊ）＝｜Ｆｃ（ｉ，ｊ）－Ｇｃ（ｉ，ｊ）｜　　（数４）
Ｃ（ｉ，ｊ）＝ Ｍａｘ（Ｆｃ（ｉ，ｊ），Ｇｃ（ｉ，ｊ））　　（数５）

次に，明るさ（選んだ特徴）を合わせ込むための補正係数をコントラストカテゴリ毎に演算する。その一例を図１０により説明すると，まず，同じコントラストカテゴリに属する画素について，横軸（Ｘ）を検出画像の明るさ（選んだ特徴），縦軸（Ｙ）をそれに対応する参照画像の明るさ（選んだ特徴）とした散布図を作る。そして，散布図から近似直線を求める。

【００３４】

ここで，頻度が小さいカテゴリは，欠陥の可能性があるため，高頻度な正常カテゴリデータを代用する。最近傍決定則を用いて，近傍の正常カテゴリのデータ，或いは着目カテゴリと近傍正常カテゴリを含むデータを用いて，直線近似を行う。図１０の１０１：Ｙ＝ａ・Ｘ＋ｂは，あるコントラストカテゴリに属する画素の散布図から求めた近似直線である。近似直線の算出方法は各種あるが，その一例として最小２乗近似（各点からの距離の総和が最小となるような直線を求める方法）がある。そして，算出された近似直線の傾きａとＹ切片ｂがそのコントラストカテゴリの補正係数となる。

【００３５】

こうして算出した補正係数を用いて検出画像の明るさ（選んだ特徴）を補正し，明るさ（選んだ特徴）の合わせ込みを行う。実際には，検出画像の明るさがＦ（ｉ，ｊ）だったとすると，補正後の検出画像Ｆ'（ｉ，ｊ）を近似直線の傾きａとＹ切片ｂから（数６）で算出する。そして，検出画像の補正後の明るさＦ'（ｉ，ｊ）と参照画像の明るさＧ（ｉ，ｊ）の差異を（数７）の差分Ｄ（ｉ，ｊ）で求め，差の値が設定したしきい値ＴＨより大きい部分を欠陥候補とする。

【００３６】

Ｆ'（ｉ，ｊ）＝ａ×Ｆ（ｉ，ｊ）＋ｂ　　（数６）
Ｄ（ｉ，ｊ）＝Ｆ'（ｉ，ｊ）－Ｇ（ｉ，ｊ）　　（数７）

検出画像の明るさ（選んだ特徴）の補正は，（数６）が示す通り，散布図を傾き４５度，ｙ切片０の直線上にのせるために各画素の明るさ（選んだ特徴）を散布図内で回転（回転量：ゲイン），シフト（シフト量：オフセット）させるのと同等である。

【００３７】

図１５（ａ）～（ｃ）はその動作を示している。そして差の値Ｄ（ｉ，ｊ）は変換後の直線からの距離と同等となる。これは，直線との距離が近い点ほど補正後の差の値が小さくなることを意味する。　図１５（ａ）は、明るさ（輝度値）を特徴量として作成した検出画像と参照画像との散布図の例を示す。図１５（ｂ）は散布図上の近似直線の傾きが４５度、ｙ切片がゼロになるように検出画像の明るさ補正を行った後の散布図を示す。欠陥検出のためのしきい値ＴＨは変換後の散布図の外側に設定する。このため，しきい値ＴＨを低く設定し，高感度な検査を行うためには明るさ補正後の散布図上でのデータの拡がりをスリムにする必要がある。従って，特徴は，散布図上でデータの拡がり（ばらつき）が最小（例えば分散最小）になるものを選ぶ。図１５（ｃ）に、明るさ補正後の散布図上でのデータの拡がり（ばらつき）を低減させた結果の一例を示す。

【００３８】

ここで，図７に示した方法により，散布図のばらつきが低減できる理由を説明する。ＬＳＩウェハの場合，膜厚の変動は，パターン平坦部のみならずエッジ部でも生じる。しかし，明視野検出においては，エッジ部での正反射光の多くは，イメージセンサに到達しない。観察されるのは，主に回折光である。従って，エッジ部では膜厚変動の影響は平坦部に比べ小さいものとなる。従って，ウェハ上で隣接する２つのチップの比較でも，膜厚変動による不一致の影響はエッジ部では小さい。このため，図１１に示すように，エッジ部のコントラストに基づき，２枚の画像（検出画像と参照画像）の散布図を分解すれば，エッジ部ではばらつきの小さい散布図が得られる。従って，しきい値を適切に設定すれば，エッジ部の欠陥，即ちパターンの形状欠陥が微細なものまで検出可能となる。しきい値は

，正負の符合をもつ２つの値でもよいし，散布図データを包み込むような包絡線（折れ線など）としてもよい。また，（数６）に基づき，階調を変換すれば，さらに高感度な比較が実現できる。

【００３９】

このように，回折光の振る舞いに着目して特徴を選ぶと，明視野検出ではコントラストが有力な特徴候補のひとつとなる。なお，コントラストは等間隔或いは不等間隔で分け，それぞれを異なるカテゴリとしてよい。図７では，画像の各画素をコントラストカテゴリに分解しているが，これは図１１に示すように，散布図をコントラストカテゴリ数だけ用意していることになる。

【００４０】

実機では，コントラスト演算フィルタの種類，フィルタサイズ，コントラストカテゴリへの分割数，刻み幅などはルックアップテーブルで定義することにより，フレキシブルに変更可能な構成とできる。

【００４１】

また，パターンエッジのコントラストでなく，そのエッジ情報を等価的に有するＣＡＤデータに基づくレイヤー情報を使用しても，拡がりを抑制した，分離性のより散布図分解が可能である。この場合，レイヤーの重なる領域は，別レイヤーと見なした方がよい。なお，本考えは，主成分分析のように，軸を選ぶことによって特徴を減らすものではないが，類似した考えは適用可能である。

【００４２】

ＤＵＶ光やＶＵＶ光などでは，主にレーザ光源が使用されるが，特許文献２に開示されているような，対物レンズを介して照明を行う同軸落射・明視野検出ならば，上記考えが成り立つ。

【００４３】

暗視野検出の場合は，平坦部からの散乱光は検出されず比較的安定であるが，パターンエッジ部の微妙な形状の違い等で明るさが強く変動し，散布図は高コントラスト部でバラつきが大きくなる。従って，如何にパターンエッジからの散乱光を試料のフーリエ変換面で遮光して減少させるかがポイントになる。このために，対象パターンの周波数に対応した「空間フィルタ」と呼ぶ遮光用のフィルタを光路中に挿入して，パターンからの散乱光を低減している。また、上方で検出せず、斜方で検出することもパターンエッジからの散乱光を除くことに効果がある。これらにより，散布図上でデータの拡がりを小さくできる。従って，対象パターンに対する空間フィルタの形状適合性の評価や斜方検出の角度や方位設定などにも，散布図が使用可能である。

【００４４】

散布図を分散最小基準などの判断基準を用いて，正しく分解するための特徴量として，コントラストの差，濃淡差，明るさ（情報），テクスチャ情報，散布図上の頻度情報など，対象や検出方法に応じて，様々な特徴量が用いられる。いずれも，分解された散布図上で，データがないスパースなエリアを確保できると，このエリアにマッピングされた欠陥が検出でき，検査感度が向上することになる。換言すれば，スパースなエリアを確保できるよう，特徴を選ぶことになる。スパースなエリアとは，頻度が定めたしきい値以下のカテゴリをさす。このカテゴリが多いほど，欠陥の検出感度が向上する。

【００４５】

ここでは，頻度（画素数）を用いた例をさらに説明する。一般的な特徴として，色むら（正常領域）は広範囲に渡っている，（ａ）繰り返して発生，（ｂ）あるパターンの全面で発生する等の特徴により，その頻度は大きい。勿論，正常部は散布図上で集中するため，頻度が大きくなる。これに対し，欠陥（非正常領域）は頻度が小さい。たとえ大きな欠陥でも，散布図上では散らばることが多く，各カテゴリの頻度は小さいものとなる。これを利用して欠陥と色むらの識別を行う。ここでは，頻度が設定したしきい値以上のカテゴリを特徴空間内でサーチ（探索）し，このカテゴリを正常とみなす。そして，正常カテゴリからの距離を不一致情報に付加し，或いは値そのものを出力する。この距離はユークリ

ッド距離でもよいし共分散行列で正規化したマハラノビス距離でもよい。

【００４６】

通常，パターン認識の分野では，図１２（ａ）に示すように、特徴空間においてベイズ誤り確率を考慮して異なるカテゴリ（クラスとも言う）を分離する識別面（超平面）をトレーニングデータにより求める。一方，本実施例では，図１２（ｂ）に示すように、特徴空間において正常カテゴリ（同図右側のデータ）のみをトレーニングデータにより正しく求め，欠陥カテゴリ（同図左側のデータ）は正常カテゴリからの距離として表現でき，ユーザはこの距離に対する２値化を行うことにより所望の結果を得る。しきい値にもよるが，見逃しを防ぐ論理になっている（虚報は発生しやすいが，しきい値で制御できる）。正常カテゴリを識別する面は，直線でもよいし，曲線（折れ線近似を含む）でもよい。ここでは，正常パターン限界を頻度データとして与え，線形識別器の場合，その重みとバイアスを与えることが学習になる。なお，散布図はデータテーブルに正常範囲を記憶しておき，このデータテーブルと比較してもよい。

【００４７】

以上，散布図（画像）の分解をコントラストなどにより行い，散布図をスリム化する例を説明したが，検出画像や参照画像の明るさ，色情報，テクスチャ情報，明るさの分散値等の統計量，或いは周波数領域での特徴などにより，散布図（画像）分解を行っても構わない。要は，同じ特徴をもつ領域毎に画像を分解し，散布図がスリム化できれば，それが本発明の範囲となる。また，散布図の軸を，上記特徴，或いはそれらの演算結果（例えば，明るさという特徴量の場合，明るさの差）に選んでもよい。

【００４８】

すなわち，図１３（ａ）に示すように，あらかじめ選んだ特徴を軸にした散布図を作成し，この対象特徴の合わせ込みを行うことにより，正常部の不一致の影響を受けることなく，高感度に検査でき，かつ虚報の発生を低減できる。特徴が比較対象となるものである。特徴が明るさの場合には，明るさ補正となり，コントラストの場合にはコントラスト補正となる。他の特徴の場合も同様である。

【００４９】

また，図１３（ｂ）に示すように，ｘ，ｙ方向に例えば０．１画素刻みで少しずつ位置をずらした複数の参照画像を補間等の技術により作成し，検出画像との間でそれぞれ散布図を作成，分解し，データの拡がりがスリムなものを選択すれば，位置の合った画像のペアが自動的に選ばれ，位置合せも同時に行うことができる。なお，上記特徴を用いて，ｉｆ　ｔｈｅｎルール，ファジーボーティング（投票），ＮＮ法（ｋ－ＮＮ法）などパターン識別法により欠陥の分類を行うことも可能になる。このように，画像の位置合せ，欠陥判定，欠陥分類を一撃で実現することができる。

【００５０】

さらに，多次元空間のひとつである散布図を作成，あるいは分解することは，検出した画像を，容量を大幅に削減して，記憶するということになり，画像データの圧縮方法としても，好適である。さらに，速度が向上し，機能が複雑化して大規模化が進む画像処理ハードウェアの規模の爆発を防ぐ意味で，有効である。散布図は，空間情報をなくすことにより，データ容量の圧縮が図られている訳で，特徴を選ぶことにより，空間情報を最低限もたせていることになる。

【００５１】

また，ひとつの特徴量を用いて画像を分解し，明るさを合わせ込む例を示したが，３つ以上の特徴量から散布図のスリム化を行ってもよい。分解された散布図は多次元の軸を有することになる。例えば，散布図の２軸は明るさであるが，これを，コントラストや明るさを軸にさらに分解し，４次元化したものとできる。この４次元ボックス内で，本実施例で述べた処理を行う。

【００５２】

図１３（ｃ）は，明るさが設定階調範囲に入る画素に関して，コントラストにより散布図分解した例（カテゴリマップ）を示したものである。縦軸がコントラストでカテゴリ分

割を行い，横軸が明るさの差でカテゴリ分割したものである。そして，カテゴリ毎の頻度を表現したものである。ここでのコントラストは，数４で与えられるものである。明るさのカテゴリに応じて，このカテゴリマップが複数枚作成される。なお，当然ながら，明るさを合わせ込むと説明したが，明るさ以外の特徴を合わせ込んでもよい。

【００５３】

次に，分解散布図作成及び空間情報の結合部５０８ｂにおける実施例を説明する。

【００５４】

上記した散布図分解により，５０８ａにて出力される不一致は，散布図上では設定したしきい値より大きいものが欠陥として最終出力される。一つの欠陥は，散布図上では一カ所に集中するのではなく，分散する傾向にある。なぜなら，欠陥及び欠陥がある背景（参照画像側の欠陥相当位置）パターンによって，特徴空間内の位置が決まるので，散布図上に集中するとは限らないためである。

【００５５】

例えば，図３の欠陥１ｃは，背景が一様であるため，散布図上で一カ所に集中するが，パターン４ａのエッジにかかる欠陥１ｄがあれば，それは一様部とエッジ部の両方にかかるので，分解散布図上で少なくても２カ所の分解散布図に分散する。このため，散布図上で分散された不一致情報も，空間的な（画像上の）近接性（距離），欠陥１ｄの場合は，画像上で欠陥１ｄの位置に対応するので，その点の空間的距離をチェックすれば，同一欠陥に属すかどうかがチェックでき，より高信頼度で，欠陥らしさを評価できる。

【００５６】

また，逆に，たとえ不一致と判定された場合も，空間的なある種の条件，例えば，明るさが極大値になっているなどの空間条件を満たせば，正常と判定することもできる。また，近傍領域内の順序統計量（例えば，３×３画素内の大小の順序にｍａｘ－ｍｉｎを掛けた値）等を用いて，欠陥判定することも可能である。このように，局所空間内の順序統計量を用いて，欠陥候補の判定を行ってもよい。いずれの場合も，散布図情報と画像上の空間情報の両方を見て，欠陥かどうか判定するものである（図７の７７，７８）。

【００５７】

以上述べたように，本発明では，２枚の画像を比較し，その差の値から欠陥を検出する検査において，散布図分解を用いた比較を行う，あるいは明るさの合わせ込みを行うものである。

【００５８】

図１４（ａ）は検査対象画像、（ｂ）は参照画像を示し、（ｃ）は検査対象画像（ａ）と参照画像（ｂ）との差画像である。この差画像（ｃ）の１Ｄ－１Ｄ’線上の信号波形は（ｄ）のようになる。ここで検査対象画像（ａ）と参照画像（ｂ）との明るさ合わせ込みを行うと、その差画像の１Ｄ－１Ｄ’線上の信号波形は（ｅ）のようになる。明るさの合わせ込みが行われることにより，差の値が小さくなる。このため，従来，しきい値を全領域に対しＴＨ２に設定する，もしくはＴＨとＴＨ２の２つのしきい値を設定して，虚報の発生を避けていたが，本発明による明るさの合わせ込みを行うことにより，感度を落とさずに明るさむらによる虚報の発生を避けることができる。また，唯一の低しきい値ＴＨ３での高感度検査と容易な感度調整を可能とすることもできる。さらに本発明により，可視光の光学式外観検査装置では通常，検出感度１００nmが達成可能であるが，本発明を用いれば，５０nmの検出感度を出すことも可能である。実験によれば，検出画素寸法の１／３の寸法の欠陥を検出可能であることを確認した。

【００５９】

カテゴリ分割を若干補足しておく。図１６は，コントラスト(Contrast)，濃淡差(Grayscale difference)，および明るさ(Brightness)により散布図を分解した例において、カテゴリの分割（刻み）をいかに設定するかを示したものである。奥行きの軸がコントラストによりカテゴリ分割を行い，手前の軸が濃淡差によりカテゴリ分割したものである。縦軸が明るさによる分割である。そして，分割された各小ボックスがカテゴリごとの頻度を表現したカテゴリスペースとなる。明るさの各カテゴリに応じて，図１３（ｃ）に示したカ

テゴリマップが複数枚作成されることに相当する。

【００６０】

明るさの分割（刻み）は，画像の明るさのヒストグラムを形成し，そのヒストグラム形状，例えば極小値に基づき行う。例えば，多層パターンの層数等を考慮し，最大８個の明るさカテゴリに分割するものとする。ただし，各明るさカテゴリに属する画素頻度の総計が定めた値を満たすように分割の刻みを決める。同様に，コントラストについても分割を行う。コントラストの場合は，ヒストグラムの形状がなだらかで分割点が明瞭でないため，ヒストグラムの縦軸である頻度を対数表示した後に，極小値をとることにより分割の刻みを決定する。

【００６１】

次に，別の散布図分解の例を説明する。今までは，図６の領域６１と領域６２等での画像を比較（実線の楕円内）と説明した通り，基本的に２枚の画像の比較を前提としていた。しかし，実際には複数のダイの画像が検出され，また利用し得るものとなる。複数のダイを用いると，各対応画素の明るさがどのように変動しているかといったことも考慮できることになる。特に，１列分の画像を記憶しておき（図６の破線の楕円内），それらを用いて，領域６１と領域６２の画像を比較することも可能である。

【００６２】

図１７（ａ）は複数のダイにわたる対応点の輝度分布図を重ね合わせて表示した図、（ｂ）は複数のダイにわたる画素Ａの輝度分布を示すグラフ、（ｃ）は複数のダイにわたる画素Ｂの輝度分布を示すグラフである。回路パターンにばらつきがなければ図１７（ａ）の全てのダイで同一の検出画像が得られるはずである。しかし実際には，配線には欠陥にはならない程度の太りや細りがあり，また画像検出時のサンプリングの影響を受けて，図１７（ｂ）及び（ｃ）に示すように、輝度分布は広がりを持つ。パターンの膜厚の違いも，大きなばらつきになる。膜厚の違いが主因であれば，この輝度分布の広がりには，図１７（ｂ）及び（ｃ）に示すように，パターン依存性がある。

【００６３】

例えば，ダイ間の対応点の輝度分布を正規分布と仮定し，図１８（ａ）及び（ｂ）に示すように，その分布から外れたものを欠陥として検出することもできるが，この画素ごとのばらつきを特徴量にとることが考えられる。 より具体的には，対象画素の明るさやコントラスト，ダイ間若しくはセル間の明るさばらつきなどの定めたいくつかの特徴からなる散布図を，他の特徴により分解し，分解された複数の散布図を用いて，欠陥を検出する。

【００６４】

図１９（ａ）～（ｄ）に全体像を示す。まず下記を行う。

(1)複数のダイにわたり，隣接するダイの差画像を算出し保存する（図１９（ａ））。

(2)対応点ごとに平均値μと標準偏差σを求める（図１９（ｂ））。

(3)各画素の標準偏差を画像内でヒストグラムをとる（図１９（ｃ））。

(4)ヒストグラムを図１６と同様にいくつかに自動分割し，カテゴリ分けを行い，分解された散布図を作成し、明るさを補正して散布図をスリム化する（図１９（ｄ））。

カテゴリ分けは，画像のセグメンテーションに相当し，ばらつきの大小に応じて，領域を分割し，それぞれの領域ごとに，明るさの合わせ込みを実施することになる。特に，画素を基本単位として行うことになる。ここで，ダイでなく，ダイ内の繰返しパターンであるセルに対して，上記を実施してもよい。

【００６５】

このばらつきによる分割は，領域を相互に分離するという特徴があり，ばらつきの多いパターンとそうでないパターンを相互に分離して，それぞれの散布図において，明るさを補正して欠陥を認識するようになるので，たとえ，あるパターンがダイ間で膜厚が異なり，ダイ間で明るさが大きく変動していても，その影響が周囲のパターンに影響を与えないという利点がある。

【００６６】

特に，一般のセグメンテーションはパターンを領域に分割するものであり，精度を要求すると高度な技術が必要であるが，本実施例では，パターンの二次元情報と言うより，明るさのばらつきに着目したものであり，より簡易にかつ目的により合致した分離が可能となる。なお，上記標準偏差σは，パラメトリックな手法により求められるものであるが，ヒストグラムを算出し、その幅を表わす統計値，例えば範囲，四分位範囲でもよい。これらの統計値は，しきい値と連動させて，感度を可変させてもよい。
上記は，各画素において、ダイ或いはセル間の明るさのばらつきに着目したが，明るさ以外のばらつきでもよい。例えば，コントラストのダイ或いはセル間ばらつきでもよい。各画素において、考えられる特徴量のばらつきでよい。

【００６７】

上述した複数のダイは，ステージの連続送りで画像を検出する場合は，ウェハの横一列に含まれるダイの画像でよい。図２０は上記処理フローの概要の一例である。まず，位置ずれ検出部５０７で算出した位置ずれ量により，検査画像と参照画像の画素単位の位置合わせを行う（７０’）。順次同一列のダイの対応する画像についても，位置合せを行う。位置合せされた複数の画像から対応画素のばらつきを特徴量として演算し（７１’），特徴量に応じて対象画像を複数個に画素分解する。即ち、画像を複数のカテゴリごとに分解し、高頻度のカテゴリを検出する（７２’）。以下は，図７と同様である。
このように，複数の比較ダイ間にて各画素の明るさやコントラストのばらつきを求め，その値により各画素をカテゴリ分けし，カテゴリごとに散布図を用いて明るさを合わせ込み，その結果，はずれ値となるものを欠陥として識別する。カテゴリ分けによる散布図の分解により，より小さいしきい値設定が可能となり，最先端デバイス上の微小欠陥の検出感度を向上し得る。これにより，歩留り低下を引き起こすが今まで検出できず「Non visualとされてきたフォールト」のみならず，電気的な最終試験をパスしてしまう微小な半ショートやボイドなどの「ポテンシャルフォールト」に対しても威力を発揮するものである。
複数の比較ダイ間にて各画素の明るさのばらつきやコントラストのばらつきを求める代わりに、あらかじめ求めておいてこれを記憶しておき、使用してもよい。
以上，本発明の一実施例を，半導体ウェハを対象とした光学式外観検査装置における比較検査画像を例にとって説明したが，明視野照明方式のみならず，対物レンズを介さず照明を行う暗視野照明方式は勿論のこと，電子線を用いて画像を検出する電子線式パターン検査や，ＤＵＶ光（紫外光），ＶＵＶ光（真空紫外光），ＥＵＶ光（極紫外光）を光源とした光学式外観検査にも適用可能である。この場合，検出感度３０～７０ｎｍも達成可能である。また，検査対象は半導体ウェハに限られるわけではなく，画像の比較により欠陥検出が行われているものであれば，例えばＴＦＴ基板，ホトマスク，プリント板などにも適用可能である。

【図面の簡単な説明】

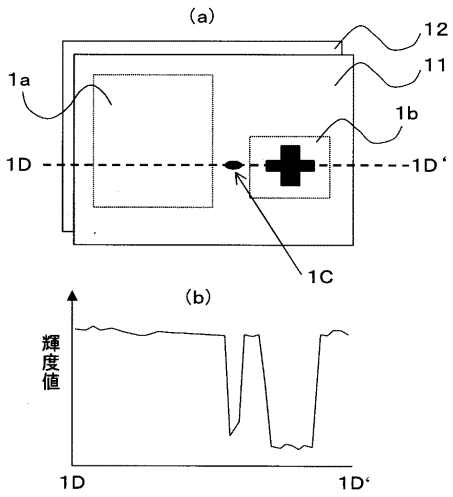
【００６８】

【図１】（ａ）は検査対象画像、（ｂ）はその明るさ波形を示す。
【図２】従来のしきい値設定方法の一例で、（ａ）は位置合せ後の差画像、（ｂ）はその明るさ波形を示す。
【図３】は明るさの異なる検査対象画像１１と参照画像１２とを示す図である。
【図４】（ａ）は図３に示した検査対象画像１１と参照画像１２との差画像、（ｂ）は（ａ）の１Ｄ－１Ｄ’での波形図である。
【図５】検査装置の概略構成を示すブロック図である。
【図６】検査対象となる半導体ウェハの平面図とその一部の拡大図である。
【図７】検査対象画像と参照画像との明るさを合わせこんでから差画像を作成して欠陥を抽出する処理のフローを示すフローズである。
【図８】着目画素でのコントラスト演算方法の一例でフィルタサイズを４にした場合を示す図である。
【図９】着目画素でのコントラスト演算方法の一例でフィルタサイズを９にした場合を示す図である。

【図１０】検査対象画像と参照画像との明るさの散布図。
【図１１】検査対象画像と参照画像との明るさの散布図をエッジ部のコントラストに基づいて分解した複数の散布図を等間隔に配置して重ねて表示した図である。
【図１２】（ａ）は特徴空間においてカテゴリを分類する識別面をトレーニングデータを用いて求める例を示す特徴空間の図、（ｂ）は特徴空間においてカテゴリを分類する識別面を正常カテゴリをトレーニングデータを用いて求め、欠陥データを正常カテゴリからの距離として表現した例を示す特徴空間の図である。
【図１３（ａ）】予め選んだ特徴量で検査対象画像と参照画像との散布図を作成し分解した状態を示す図。
【図１３（ｂ）】検査対象画像に対して参照画像の位置を少しずらした場合の散布図。
【図１３（ｃ）】明るさが設定階調範囲に入る画素に関してコントラストにより散布図を分解した例を示すカテゴリマップである。
【図１４】（ａ）は検査対象画像、（ｂ）は参照画像、（ｃ）は検査対象画像（ａ）と参照画像（ｂ）との差画像、（ｄ）は差画像（ｃ）の１Ｄ－１Ｄ’線上の信号波形、（ｅ）は検査対象画像（ａ）と参照画像（ｂ）との明るさ合わせ込みを行った後の差画像の１Ｄ－１Ｄ’線上の信号波形を表わす図である。
【図１５】（ａ）は輝度値を特徴量とした検査対象画像と参照画像との散布図、（ｂ）は各画素の輝度値を散布図内で回転・シフトさせた図、（ｃ）は散布図上でデータの広がりを低減させた状態を示す図である。
【図１６】明るさ，コントラスト，差を特徴量として散布図を分解した例を示す図である。
【図１７】（ａ）は複数のダイにわたる対応点の輝度分布図を重ね合わせて表示した図、（ｂ）は複数のダイにわたる画素Ａの輝度分布を示すグラフ、（ｃ）は複数のダイにわたる画素Ｂの輝度分布を示すグラフである。
【図１８】（ａ）は複数のダイにわたる画素Ａの輝度分布のばらつき（３σ）による散布図分解の例を示す図、（ｂ）は複数のダイにわたる画素Ｂの輝度分布のばらつき（３σ）による散布図分解の例を示す図である。
【図１９】(ａ)は複数のダイにわたり，隣接するダイの差画像を算出し保存するデータ収集をイメージ的に表わした図、（ｂ）は対応点ごとに平均値μと標準偏差σの関係を示すグラフ、（ｃ）は画像内での各画素の標準偏差のヒストグラムを表わすグラフ、（ｄ）は散布図をカテゴリごとに分解し、明るさ補正を行って散布図上でデータの広がりを低減させた状態を示す図である。
【図２０】画像比較部の処理の流れを示すフロー図である。
【符号の説明】
【００６９】
１１…検出画像，１２…参照画像，５１…試料，５２…ステージ，５３…検出部，５０１…光源，５０２…照明光学系，５０３…対物レンズ，５０４…イメージセンサ，５５…画像処理部，５４…ＡＤ変換部，５０５…前処理部，５０６…遅延メモリ，５０７…位置ずれ検出部，５０８ａ…画像比較部，５０８ｂ…分解散布図作成及び空間情報の結合部，５０８ｃ…空間情報抽出部，５０９…特徴抽出部，５６…全体制御部，５１０…ユーザインターフェース部，５１１…記憶装置，５１２…メカニカルコントローラ，１０１…近似直線

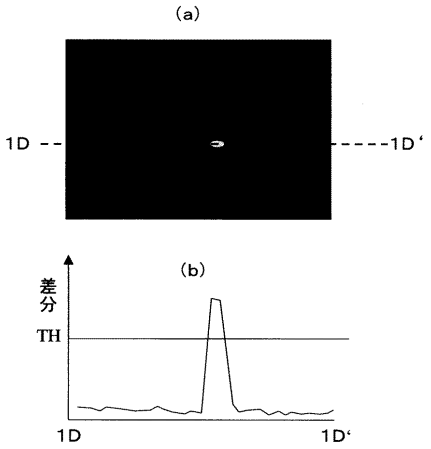
【図１】

図１



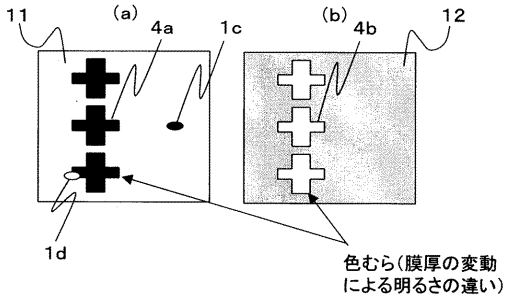
【図２】

図２



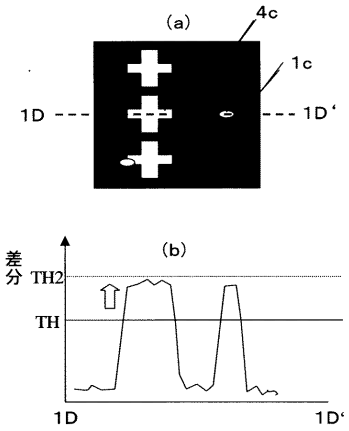
【図３】

図３



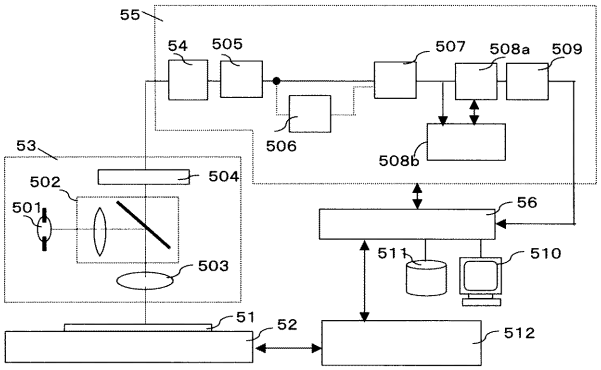
【図４】

図４



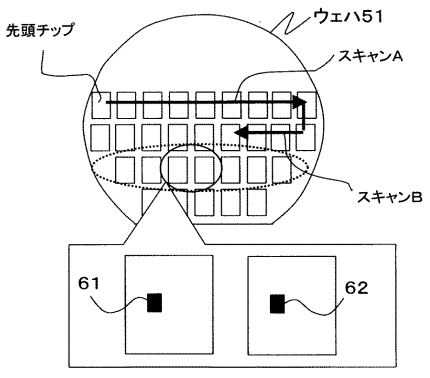
【図５】

図５



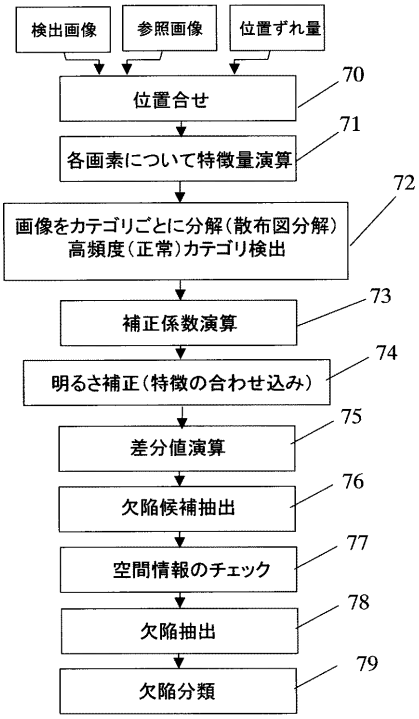
【図６】

図６



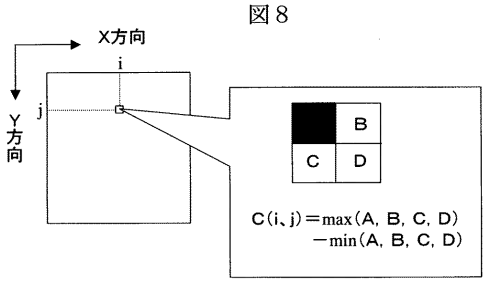
【図７】

図７



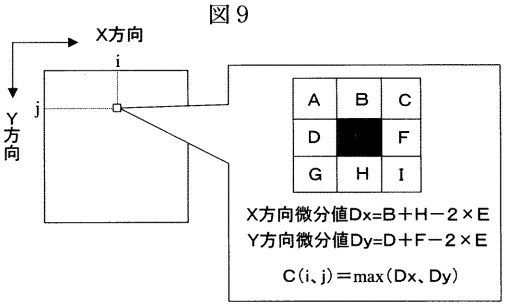
【図８】

図８



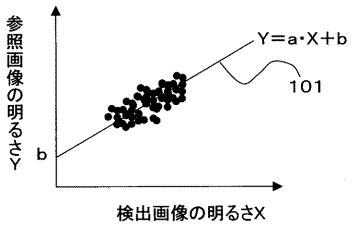
【図９】

図９



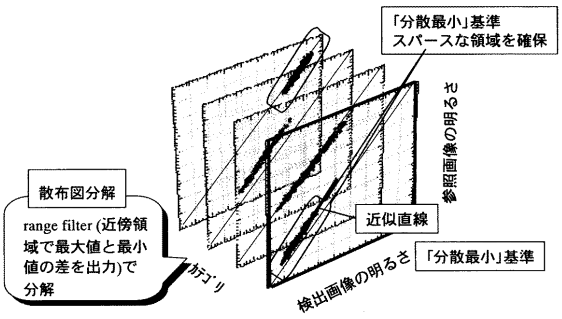
【図１０】

図１０



【図１１】

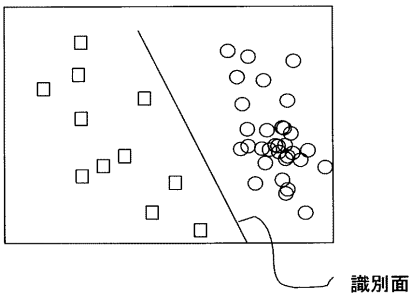
図１１



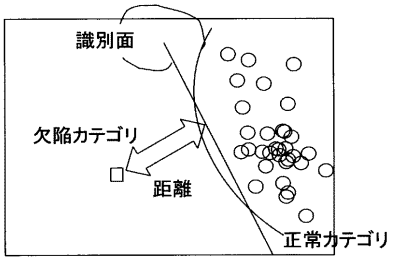
【図１２】

図１２

（a）

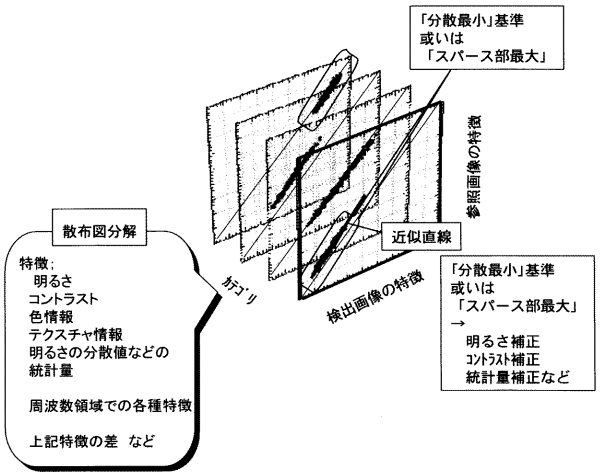


（b）



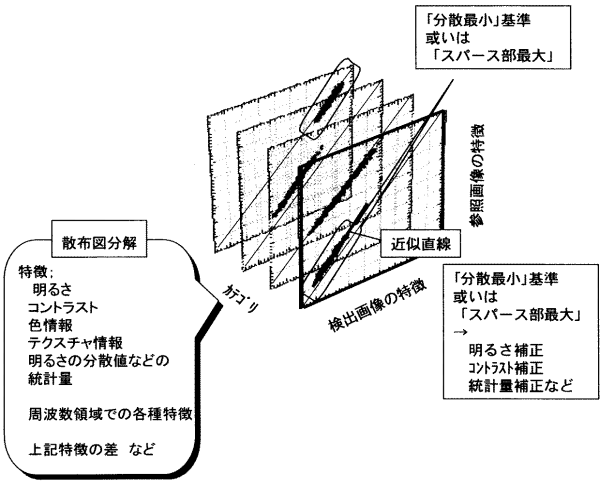
【図１３（ａ）】

図１３（ａ）



【図１３（ｂ）】

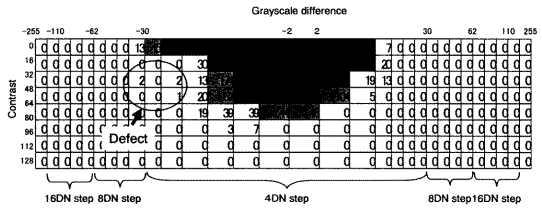
図１３（ｂ）



例えば，検出画像に対し，少しずつ位置をすらした参照画像を作成。それぞれの位置すれに応じて，散布図を作成し，分解。組合せの中で，スリムな散布図を選択。

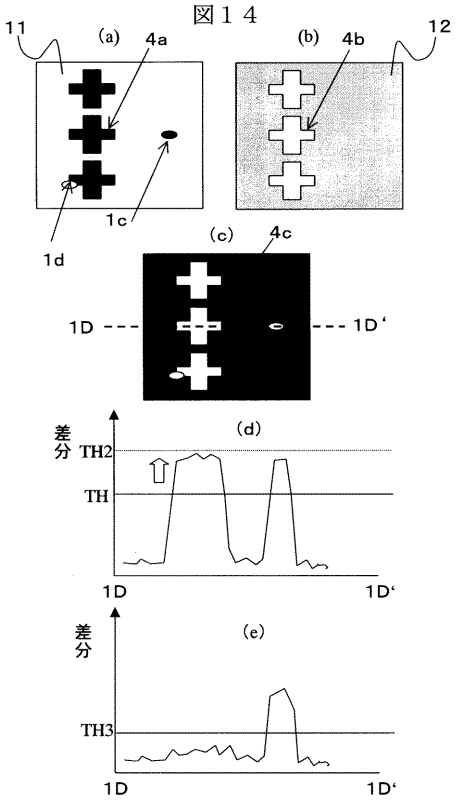
【図１３（ｃ）】

図１３（ｃ）



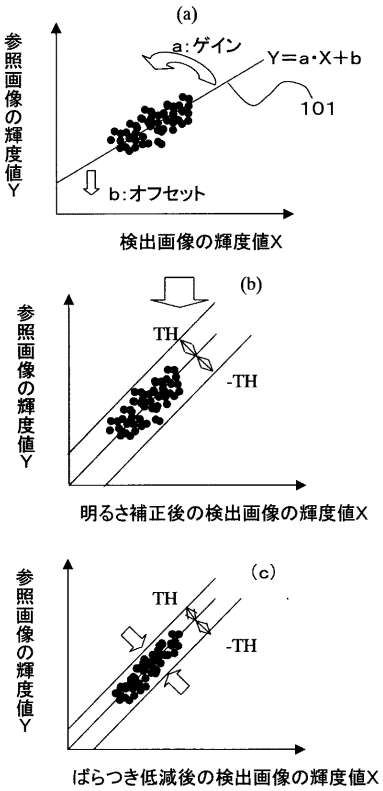
【図１４】

図１４



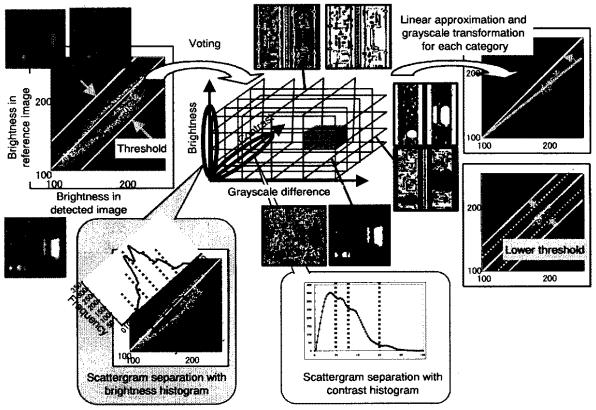
【図１５】

図１５



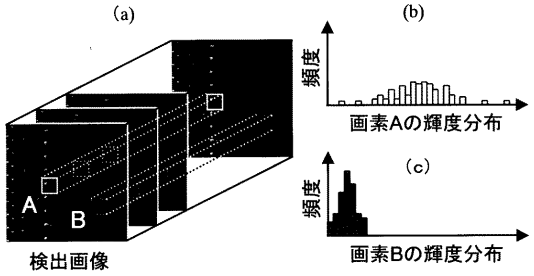
【図１６】

図１６



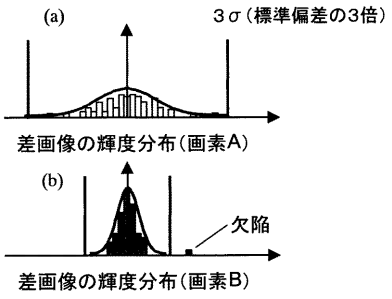
【図１７】

図１７



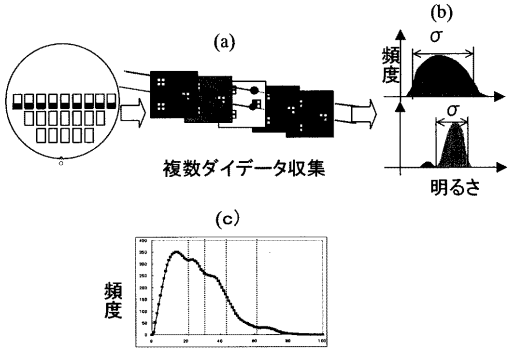
【図１８】

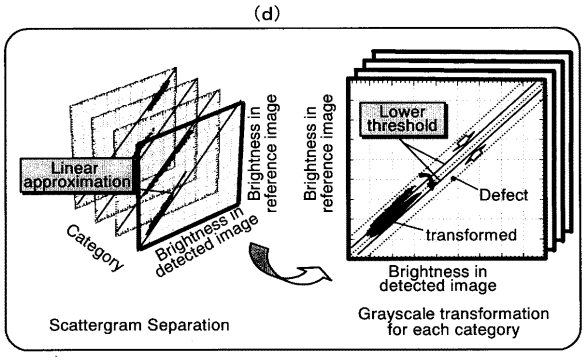
図１８



【図１９】

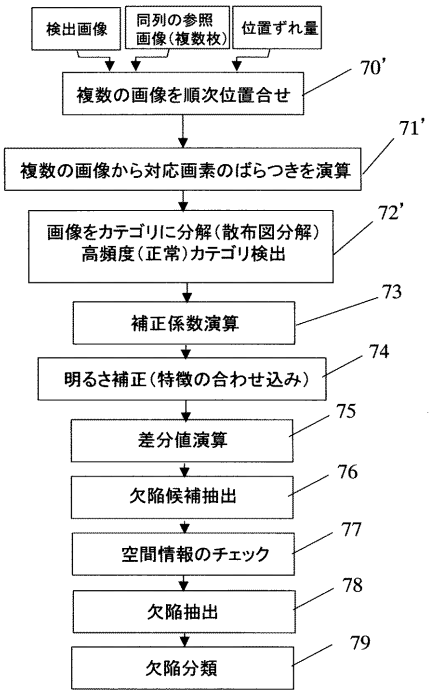
図１９





【図２０】

図２０


検出画像
同列の参照画像(複数枚)
位置ずれ量
70'
複数の画像を順次位置合せ
71'
複数の画像から対応画素のばらつきを演算
72'
画像をカテゴリに分解(散布図分解)
高頻度(正常)カテゴリ検出
73
補正係数演算
74
明るさ補正(特徴の合わせ込み)
75
差分値演算
76
欠陥候補抽出
77
空間情報のチェック
78
欠陥抽出
79
欠陥分類

フロントページの続き

Ｆターム(参考) 5B057 AA03 BA02 BA15 BA19 CA12 CA16 CB12 CB16 CE06 CE11
DA03 DB02 DB09 DC16 DC22 DC33