

(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2005-158780

(P2005-158780A)

(43) 公開日 平成17年6月16日(2005.6.16)

(51) Int. Cl.⁷

H01L 21/66
G01B 11/30
G01N 21/956
G06T 1/00
G06T 7/00

F I

H01L 21/66 J
G01B 11/30 A
G01N 21/956 A
G06T 1/00 305A
G06T 7/00 300E

テーマコード(参考)

2F065
2G051
4M106
5B057
5L096

審査請求 未請求 請求項の数 22 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2003-390655 (P2003-390655)

(22) 出願日 平成15年11月20日(2003.11.20)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号

(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 100068504

弁理士 小川 勝男

(74) 代理人 100086656

弁理士 田中 恭助

(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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 パターン欠陥検査方法及びその装置

(57) 【要約】

【課題】

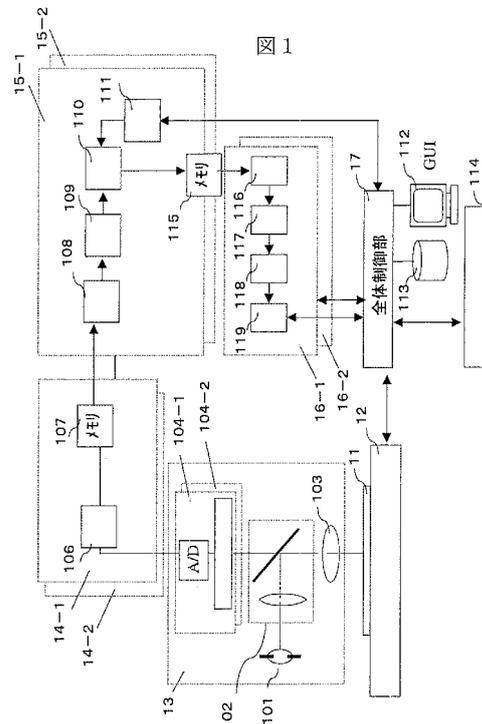
超微細な回路パターンが形成された被検査対象上の超微細な欠陥を顕在化して高感度で、しかも高速度で検査できるようにしたパターン欠陥検査方法及びその装置を提供することにある。

【解決手段】

本発明では、同一パターンとなるように形成された2つのパターンの対応する領域の画像を比較して画像の不一致部を欠陥と判定するパターン検査装置を、画像の比較処理を複数領域で並列に処理する手段を備えて構成した。

また、パターン検査装置を、異なる複数の処理単位で比較画像間の画像信号の階調を変換する手段を備えて構成し、画像間の同一パターンで明るさの違いが生じている場合であっても、正しく欠陥を検出できるようにした。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

被検査対象物上のパターン欠陥を検査するパターン欠陥検査装置であって、
前記被検査対象物から検出画像信号および参照画像信号を取得処理して画像メモリに格納する画像取得手段と、

前記画像メモリから読み出して得られる検出画像信号と参照画像信号とを比較することにより欠陥候補の抽出処理を行う欠陥候補抽出ユニットと、

前記該欠陥候補抽出ユニットで抽出された欠陥候補を含む部分画像から欠陥の検出処理及び分類処理を行う欠陥検出ユニットとを備え、

前記欠陥候補抽出ユニット及び/又は前記欠陥検出ユニットにおいて行う処理を前記画像取得手段において行う画像取得処理と非同期で行うことを特徴とするパターン欠陥検査装置。 10

【請求項 2】

被検査対象物上のパターン欠陥を検査するパターン欠陥検査装置であって、

前記被検査対象物から検出画像信号および参照画像信号を取得して画像メモリに格納する画像取得手段と、

前記画像メモリから読み出して得られる検出画像信号と参照画像信号とを比較することにより欠陥候補の抽出処理を行い、該抽出処理された欠陥候補を含む部分画像をメモリに格納する処理を行う欠陥候補抽出ユニットと、

前記メモリから読み出した欠陥候補を含む部分画像から欠陥の検出処理及び分類処理を行う欠陥検出ユニットとを備え、 20

該欠陥検出ユニットにおいて行う処理と前記欠陥候補抽出ユニットにおいて行う処理と前記画像取得手段において行う画像取得処理とは互いに非同期で行うことを特徴とするパターン欠陥検査装置。

【請求項 3】

前記画像取得手段において、前記被検査対象物上の複数エリアについての画像取得処理を並列に行うように構成したことを特徴とする請求項 1 又は 2 記載のパターン欠陥検査装置。

【請求項 4】

前記欠陥候補抽出ユニットにおいて、前記被検査対象物上の複数エリアについての欠陥候補抽出処理を並列に行うように構成したことを特徴とする請求項 1 又は 2 記載のパターン欠陥検査装置。 30

【請求項 5】

前記欠陥検出ユニットにおいて、複数個の欠陥候補を含む部分画像から欠陥の検出処理及び分類処理を並列に行うように構成したことを特徴とする請求項 1 又は 2 記載のパターン欠陥検査装置。

【請求項 6】

前記欠陥候補抽出ユニットには、検出画像信号と参照画像信号との位置ずれ量をフィールド単位で算出する位置ずれ検出部と、検出画像信号と参照信号との明るさのずれを合わせ込むための信号補正量を領域毎に算出する明るさ補正部と、前記位置ずれ検出部で算出されたフィールド単位の位置ずれ量及び前記明るさ補正部で算出された信号補正量を用いて検出画像信号と参照画像信号との対応する位置での明るさの比較を行う画像比較部とを有することを特徴とする請求項 1 乃至 5 の何れか一つに記載のパターン欠陥検査装置。 40

【請求項 7】

前記欠陥候補抽出ユニット及び前記欠陥検出ユニットの各々における並列処理台数を前記画像取得手段で取得される画像データ量に応じて適宜設定することを特徴とする請求項 4 又は 5 記載のパターン欠陥検査装置。

【請求項 8】

前記欠陥検出ユニットにおいて、欠陥の検出処理及び分類処理を行うしきい値を、欠陥候補を含む部分画像の特徴量に応じて自動で設定するように構成したことを特徴とする請 50

求項 1 又は 2 記載のパターン欠陥検査装置。

【請求項 9】

前記欠陥検出ユニットにおいて、前記欠陥候補抽出ユニットで算出される欠陥候補の特徴量と、前記欠陥検出ユニットで算出される欠陥候補の特徴量とを照合して欠陥のみを検出する比較照合部を有することを特徴とする請求項 1 又は 2 記載のパターン欠陥検査装置。

【請求項 10】

前記欠陥検出ユニットにおいて、欠陥候補を複数の種類に分類するためのしきい値を分類対象となる部分画像毎に設定するように構成したことを特徴とする請求項 1 又は 2 記載のパターン欠陥検査装置。

10

【請求項 11】

前記欠陥検出ユニットにおいて、欠陥候補を複数の種類に分類するためのしきい値を複数枚の部分画像から算出するように構成したことを特徴とする請求項 1 又は 2 記載のパターン欠陥検査装置。

【請求項 12】

更に、前記欠陥検出ユニットにおいて欠陥の検出処理及び分類処理された結果を表示する出力モニタ部を備えたことを特徴とする請求項 1 又は 2 記載のパターン欠陥検査装置。

【請求項 13】

被検査対象物上のパターン欠陥を検査するパターン欠陥検査方法であって、
前記被検査対象物から検出画像信号および参照画像信号を取得処理して画像メモリに格納する画像取得過程と、

20

前記画像メモリから読み出して得られる検出画像信号と参照画像信号とを比較することにより欠陥候補の抽出処理を行う欠陥候補抽出過程と、

前記該欠陥候補抽出過程で抽出された欠陥候補を含む部分画像から欠陥の検出処理及び分類処理を行う欠陥検出過程とを有し、

前記欠陥候補抽出過程及び / 又は前記欠陥検出過程において行う処理を前記画像取得過程において行う画像取得処理と非同期で行うことを特徴とするパターン欠陥検査方法。

【請求項 14】

被検査対象物上のパターン欠陥を検査するパターン欠陥検査方法であって、
前記被検査対象物から検出画像信号および参照画像信号を取得して画像メモリに格納する画像取得過程と、

30

前記画像メモリから読み出して得られる検出画像信号と参照画像信号と比較することにより欠陥候補の抽出処理を行い、該抽出処理された欠陥候補を含む部分画像をメモリに格納する処理を行う欠陥候補抽出過程と、

前記メモリから読み出した欠陥候補を含む部分画像から欠陥の検出処理及び分類処理を行う欠陥検出過程とを有し、

該欠陥検出過程において行う処理と前記欠陥候補抽出過程において行う処理と前記画像取得過程において行う画像取得処理とは互いに非同期で行うことを特徴とするパターン欠陥検査方法。

【請求項 15】

40

前記画像取得過程において、前記被検査対象上の複数エリアについての画像取得処理を並列に行うことを特徴とする請求項 13 又は 14 記載のパターン欠陥検査方法。

【請求項 16】

前記欠陥候補抽出過程において、前記被検査対象上の複数エリアについての欠陥候補抽出処理を並列に行うことを特徴とする請求項 13 又は 14 記載のパターン欠陥検査方法。

【請求項 17】

前記欠陥検出過程において、複数個の欠陥候補を含む部分画像から欠陥の検出処理及び分類処理を並列に行うことを特徴とする請求項 13 又は 14 記載のパターン欠陥検査方法。

【請求項 18】

50

前記欠陥候補抽出過程には、検出画像信号と参照画像信号との位置ずれ量をフィールド単位で算出する位置ずれ検出過程と、検出画像信号と参照信号との明るさのずれを合わせ込むための信号補正量を領域毎に算出する明るさ補正過程と、前記位置ずれ検出過程で算出されたフィールド単位の位置ずれ量及び前記明るさ補正過程で算出された信号補正量を用いて検出画像信号と参照画像信号との対応する位置での明るさの比較を行う画像比較過程とを有することを特徴とする請求項 13乃至17の何れか一つに記載のパターン欠陥検査方法。

【請求項 19】

前記欠陥検出過程において、欠陥の検出処理及び分類処理を行うしきい値を、欠陥候補を含む部分画像の特徴量に応じて自動で設定することを特徴とする請求項 13又は14記載のパターン欠陥検査方法。

10

【請求項 20】

前記欠陥検出過程において、前記欠陥候補抽出過程で算出される欠陥候補の特徴量と、前記欠陥検出過程で算出される欠陥候補の特徴量とを照合して欠陥のみを検出することを特徴とする請求項 13又は14記載のパターン欠陥検査方法。

【請求項 21】

前記欠陥検出過程において、欠陥候補を複数の種類に分類するためのしきい値を分類対象となる部分画像毎に設定することを特徴とする請求項 13又は14記載のパターン欠陥検査方法。

【請求項 22】

前記欠陥検出過程において、欠陥候補を複数の種類に分類するためのしきい値を複数枚の部分画像から算出することを特徴とする請求項 13又は14記載のパターン欠陥検査方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光もしくはレーザなどを用いて得られた被検査対象物の検出画像と参照画像を比較し、その差異から微細パターン欠陥や異物等を検出する検査技術に係り、特に半導体ウェハ、TF T、ホトマスクなどの外観検査を行うのに好適なパターン欠陥検査方法及びその装置に関する。

30

【背景技術】

【0002】

パターン欠陥検査の従来技術としては、特開2001-5961号公報（従来技術1）が知られている。

【0003】

従来技術1には、被検査対象上から画素寸法が0.2 μm以下からなる画像信号を検出し、この検出する画像信号を多チャンネルで並列出力する画像信号検出部（400nm以下のDUV光を照射する照射光学系とTDIイメージセンサ等のイメージセンサを有する検出光学系とを備える。）と、該画像信号検出部から並列入力される多チャンネルの画像信号の各々を形成するA/D変換部と、多チャンネルの参照画像信号を並列出力する遅延回路部と、前記A/D変換部から得られる多チャンネルの検出画像信号と前記遅延回路部から得られる多チャンネルの参照画像信号とに基づいて両画像データの間の位置ずれ検出及び位置ずれ補正の画像処理を複数チャンネル単位で多チャンネルに亘って並列処理するように構成した第1の画像処理回路部と、該回路部から得られる複数チャンネル単位での位置ずれ補正された検出画像データと参照画像データとを比較して欠陥候補点に関する情報を抽出する比較画像処理部を多チャンネルに亘って並列処理して出力するように構成した第2の画像処理回路部と、該回路部から入力される多チャンネルに亘った欠陥候補点に関する情報を基に詳細に解析して欠陥候補点から真の欠陥であるか否かを判定する欠陥判定部とを備えた微細欠陥検査装置が記載されている。

40

【0004】

50

【特許文献1】特開2001-5961号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

被検査対象である半導体ウェハ等に形成される回路パターンは $0.1\mu\text{m}$ 以下へと超微細化の一途を辿り、しかも半導体ウェハ等は径化されるようになってきている。このように、回路パターンは超微細化の一途を辿っているため、回路パターンよりも更に小さな欠陥を検出することが要求される。そのためには、照明光としてはUV光若しくはDUV光が用い、さらに被検査対象上での画素サイズを検出する欠陥よりも小さくするため検出光学系として高倍率なものが用いて高分解能が得られるようにしてきている。その結果、被検査対象から得られる画像情報は膨大なものになるけれども、これを高速に処理して超微細な欠陥を高感度で、しかも高信頼度で検査することが望まれてきている。しかしながら、これらの課題が上記従来技術1では十分考慮されていなかった。

10

【0006】

一方、被検査対象となる半導体ウェハではCMPなどの平坦化によりパターンに膜厚の微妙な違いが生じ、本来は同一であるチップ間の画像信号には局所的に明るさの違いが生じることになる。例えば、図4(a)の41は検査対象画像信号、図4(b)の42は参照画像信号の一例であり、図4(a)の4a、図4(b)の4bに示すように検査対象画像信号と参照画像信号の同一のパターンで明るさの違いが生じている。また、検査対象画像図4(a)の41には超微細な欠陥4dがある。この場合の差画像は図4(c)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分値に応じて濃淡差表示した画像のことである。位置 $1D-1D'$ での差分値の波形は図4(d)のようになっている。このような画像に対し、従来方式のように、差分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、明るさの異なるパターン4aと4bの差分値4cは、欠陥として検出されることになる。これは本来、欠陥として検出されるべきものではない虚報が多量に発生してしまうという課題を有していた。該虚報発生を避けるための1つの方法として、しきい値 TH を大きくする(図4(d) TH_1-TH_2)ことが考えられるが、これは感度を下げることになり、同程度以下の差分値の超微細な欠陥4dを検出できなくなってしまうことになる。

20

【0007】

本発明の目的は、上記課題を解決して、超微細な回路パターンが形成された被検査対象上の超微細な欠陥を顕在化して高感度で、しかも高速度で検査できるようにしたパターン欠陥検査方法及びその装置を提供することにある。

30

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記目的を達成するために、本発明は、被検査対象物上のパターン欠陥を検査するパターン欠陥検査装置及びその方法であって、前記被検査対象物から検出画像信号および参照画像信号を取得処理して画像メモリに格納する画像取得手段と、前記画像メモリから読み出して得られる検出画像信号と参照画像信号とを比較することにより欠陥候補の抽出処理を行う欠陥候補抽出ユニットと、前記該欠陥候補抽出ユニットで抽出された欠陥候補を含む部分画像から欠陥の検出処理及び分類処理を行う欠陥検出ユニットとを備え、前記欠陥候補抽出ユニット及び/又は前記欠陥検出ユニットにおいて行う処理を前記画像取得手段において行う画像取得処理と非同期で行うことを特徴とする。

40

【0009】

また、本発明は、前記パターン欠陥検査装置及びその方法であって、前記欠陥検出ユニットにおいて行う処理と前記欠陥候補抽出ユニットにおいて行う処理と前記画像取得手段において行う画像取得処理とは互いに非同期で行うことを特徴とする。前記欠陥候補抽出ユニットには、抽出された欠陥候補を含む部分画像や欠陥候補の特徴量を格納するメモリを備えたことを特徴とする。

【0010】

50

また、本発明は、前記画像取得手段において、前記被検査対象上の複数エリアについての画像取得処理を並列に行うように複数のイメージセンサ等を有して構成したことを特徴とする。

【0011】

また、本発明は、前記欠陥候補抽出ユニットにおいて、前記被検査対象上の複数エリアについての欠陥候補抽出処理を並列に行うように構成したことを特徴とする。

【0012】

また、本発明は、前記欠陥検出ユニットにおいて、複数個の欠陥候補を含む部分画像から欠陥の検出処理及び分類処理を並列に行うように構成したことを特徴とする。

【0013】

また、本発明は、前記欠陥候補抽出ユニットには、検出画像信号と参照画像信号との位置ずれ量をフィールド単位で算出する位置ずれ検出部と、検出画像信号と参照信号との明るさのずれを合わせ込むための信号補正量を領域毎に算出する明るさ補正部と、前記位置ずれ検出部で算出されたフィールド単位の位置ずれ量及び前記明るさ補正部で算出された信号補正量を用いて検出画像信号と参照画像信号との対応する位置での明るさの比較を行う画像比較部とを有することを特徴とする。

【0014】

また、本発明は、前記欠陥候補抽出ユニット及び前記欠陥検出ユニットの各々における並列処理台数を前記画像取得手段で取得される画像データ量に応じて適宜設定することを特徴とする。

【0015】

また、本発明は、前記欠陥検出ユニットにおいて、欠陥の検出処理及び分類処理を行うしきい値（検査感度）を、欠陥候補を含む部分画像の明るさ、コントラスト、パターン密度などの特徴量に応じて自動で設定するように構成したことを特徴とする。

【0016】

また、本発明は、前記欠陥検出ユニットにおいて、前記欠陥候補抽出ユニットで欠陥候補抽出時に算出される欠陥候補の特徴量と、前記欠陥検出ユニットで欠陥検出時に算出される欠陥候補の特徴量とを照合して欠陥のみを検出する比較照合部を有することを特徴とする。

【0017】

また、本発明は、前記欠陥検出ユニットにおいて、欠陥候補を複数の種類に分類するためのしきい値を分類対象となる部分画像毎に設定するように構成したことを特徴とする。

【0018】

また、本発明は、前記欠陥検出ユニットにおいて、欠陥候補を複数の種類に分類するためのしきい値を複数枚の部分画像から算出するように構成したことを特徴とする。

【0019】

また、本発明は、更に、前記欠陥検出ユニットにおいて欠陥の検出処理及び分類処理された結果を表示する出力モニタ部を備えたことを特徴とする。

【0020】

また、本発明は、前記欠陥検出ユニットにおいて、処理範囲（処理単位）もしくは処理方式の異なる多段階の位置ずれ検出や処理範囲（処理単位）もしくは処理方式の異なる多段階の明るさ補正を行って、欠陥候補を抽出した結果を照合するように構成したことを特徴とする。

【発明の効果】

【0021】

本発明によれば、超微細な回路パターンが形成された被検査対象上の超微細な欠陥を顕在化して高感度で、しかも高速度で検査することが可能となる。

【0022】

また、本発明によれば、イメージセンサの画像取り込み速度、画像蓄積時間、走査幅などによってきまる処理速度に対応した検査速度を実現することができる。

10

20

30

40

50

【発明を実施するための最良の形態】

【0023】

以下、本発明に係る実施の形態について図1から図20を用いて詳細に説明する。

【0024】

図1は、本発明に係る検査装置の一実施の形態である半導体ウェハを被検査対象とした光学式外観検査装置の構成を示した図である。光学式外観検査装置は、試料（例えば0.1 μm以下の超微細な回路パターンが形成された半導体ウェハなどの被検査対象）11を搭載して移動するステージ12と、光源101から出射した光を集光して試料11に照射する照射光学系102、試料11から反射してくる光学像を結像させる結像レンズ（対物レンズも含む）103、結像された光学像を受光し、明るさに応じた画像信号に変換するイメージセンサとイメージセンサからの入力信号をデジタル信号に変換するAD変換部とから成る画像検出部104とを備えた検出部（画像取得手段）13とで構成される。画像検出部104は1つ又は複数のセット（104-1、104-2）を有している。

10

【0025】

ここで、光源101として、図1に示した例では、ランプを用いた場合を示しているが、レーザを用いても良い。また、光源101から発した光の波長としては狭帯域、短波長であってもよく、また、広帯域の波長の光（白色光）であってもよい。短波長の光を用いる場合、検出する画像の分解能を上げる（微細な欠陥を検出する）ために、紫外領域の波長の光（Ultraviolet Light: UV光）を用いることもできる。

【0026】

イメージセンサ104としては、複数の1次元イメージセンサを2次元に配列して構成した時間遅延積分型のイメージセンサ（Time Delay Integration Image Sensor: TDIイメージセンサ）を採用し、ステージ12の移動と同期して各1次元イメージセンサが検出した信号を次段の1次元イメージセンサに転送して加算することにより、比較的高速で高感度に検出することが可能になる。勿論、イメージセンサ104としてはCCDリニアイメージセンサであっても良い。

20

【0027】

画像編集部14は、検出部（画像取得手段）13で検出された画像のデジタル信号に対して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106と、比較対象となる検出画像のデジタル信号と参照画像のデジタル信号とを格納しておく画像メモリ107とを備えて構成される。画像編集部14は、1つ又は複数のセット（14-1、14-2）を有している。

30

【0028】

なお、画像メモリ107への書き込みと画像メモリ107からの読み出しは、異なる時間で行うことになる。

【0029】

次に、本発明の特徴とする構成である、得られた画像の欠陥候補抽出処理および欠陥候補を含む部分画像から欠陥を検出及び分類する処理を、上記検出部13及び画像編集部14によるイメージセンサからの画像の検出処理（画像取得処理）と非同期で行う欠陥候補抽出ユニット15及び欠陥検出ユニット16について説明する。欠陥候補抽出ユニット15は、試料11であるウェハ内の欠陥候補を含む部分画像を、イメージセンサからの画像の検出処理と非同期に抽出するものであるため、1つ以上の複数のセット（15-1、15-2）で構成することにある。欠陥候補抽出ユニット15は、画像編集部14の画像メモリ107に記憶された2枚のデジタル画像信号（検出画像のデジタル信号と参照画像のデジタル信号）を比較し、差分値がしきい値より大きい部分を欠陥候補とする。まず、画像メモリ107に記憶された検出画像のデジタル信号と参照画像のデジタル信号とを読み出し、位置ずれ検出部108で位置のずれを合わせるための位置ずれ量を算出し、明るさ補正部109で検出画像の明るさ（輝度値）と参照画像の明るさ（輝度値）とのずれを合わせ込むための信号補正量を算出する。そして、画像比較部110において、算出された位置ずれ量と信号補正量を用いて、検出画像のデジタル信号と参照画像のデジタル信号と

40

50

の対応する位置（画素単位で位置合わせされた対応する位置）での補正された明るさの比較を行い、差分値が特定のしきい値より大きい部分を欠陥候補とし、該欠陥候補の特徴量（輝度値、寸法、面積、座標、参照画像との差分等）を演算する。即ち、画像比較部 110 は、例えば、算出された位置ずれ量を用い、後述する散布図分解と空間情報の結合によって、検出画像の画像信号と参照画像の画像信号との比較を行い、差の値が特定のしきい値より大きい部分を欠陥候補とし、該欠陥候補の特徴量を演算する。そして、欠陥候補を含む部分画像、その参照画像、欠陥候補の特徴量、画像間の位置ずれ量をメモリ 115 に記憶する。しきい値設定部 111 は、差分値から欠陥候補を抽出する際のしきい値をチップ内の領域毎に設定し、画像比較部 110 に与える。欠陥候補抽出ユニット 15 - 1、15 - 2 の各々は同様の手順で並列に処理を行う。

10

【0030】

なお、メモリ 115 への書き込みとメモリ 115 からの読み出しは、異なる時間で行うことになる。

【0031】

欠陥検出ユニット 16 も、欠陥候補抽出ユニット 15 の各々で抽出された欠陥候補から欠陥を検出し、特徴量に応じて分類することを、イメージセンサからの画像の検出処理と非同期に行うものであるため、欠陥候補抽出ユニット 15 と同様に、一つ以上の複数のセット（16 - 1、16 - 2）で構成することにある。欠陥検出ユニット 16 は、画像メモリ 115 に記憶された欠陥候補を含む部分画像のデジタル信号とその参照画像のデジタル信号とを読み出し、再位置ずれ検出部 116 で位置ずれ量を再度算出し、再明るさ補正部 117 で検出画像の明るさ（輝度値）と参照画像の明るさ（輝度値）とのずれを合わせ込むための信号補正量を算出する。そして再画像比較部 118 で算出された位置ずれ量と信号補正量を用いて、検出画像のデジタル信号と参照画像のデジタル信号との対応する位置（画素単位で位置合わせされた対応する位置）での補正された明るさの比較を行い、輝度の差分値が特定のしきい値より大きい部分を欠陥とし、その特徴量を演算する。そして、欠陥分類部 119 で、欠陥候補抽出ユニットで算出された欠陥候補の輝度値、寸法、面積、座標、参照画像との差分などの特徴量及び位置ずれ量と欠陥検出ユニット 15 で算出された欠陥部の同様の特徴量、位置ずれ量を照合し、真の欠陥であるか、虚報であるかの判定を行う。更に真の欠陥について、複数のカテゴリに分類する。欠陥分類部 119 では分類に必要なしきい値も欠陥画像毎に自動で設定する。欠陥検出ユニット 16 - 1、16 - 2 の各々は同様の手順で並列に処理を行う。

20

30

【0032】

全体制御部 17 は、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 112 と、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 113 と、各種制御を行う CPU（全体制御部 17 に内臓）とを備えて構成される。メカニカルコントローラ 114 は、全体制御部 17 からの制御指令に基づいてステージ 12 や検出部 13 に内蔵された光学系等を駆動制御するものである。尚、欠陥候補抽出ユニット 15 - 1、15 - 2、欠陥検出ユニット 16 - 1、16 - 2 等も全体制御部 17 からの指令により駆動される。

40

【0033】

被検査対象となる半導体ウェハ 11 は、図 6 に示すように同一パターンのチップが多数、規則的に並んでいる。図 1 に示す検査装置では、全体制御部 17 で試料である半導体ウェハ 11 をステージ 12 により連続的に移動させ、これに同期して、順次、チップの像を検出部 13 より取り込み、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 とのデジタル画像信号をそれぞれ検出画像及び参照画像として上記手順で 2 回比較し、その比較結果の照合により差異を欠陥として検出、分類する。

【0034】

ところで、本発明に係る検査装置において、2 つの画像検出部 104 - 1、104 - 2 を持ち、並列に撮像処理を行うように構成すれば、図 8 及び図 9 に示すように、結像レン

50

ズ103で結像された異なる位置での画像を撮像することができることになる。図8は、被検査対象となるチップ1とその比較対象となる参照チップ2の画像を撮像するにあたって、2台のイメージセンサ104-1、104-2をステージの進行方向（走行方向）に対して交差する方向（例えば直角方向）に並べ、並列で画像取得、AD変換を行う場合を示す。図9は、2台のイメージセンサ104-1、104-2をステージの進行方向に1チップ分の間隔を空けて並べ、並列で画像取得、すなわち、イメージセンサ1でチップ1の画像を、イメージセンサ2でチップ2の画像を取得、AD変換を行う場合を示す。

【0035】

以上説明したように、画像検出部104を複数台持ち、並列動作することにより、イメージセンサの処理速度に依らず、画像取得を高速に行うことが可能となる。なお、各イメージセンサ104-1、104-2で取得した画像は、それぞれ対応する画像編集部14-1、14-2で処理し、対応する画像メモリ107-1、107-2へ格納することになる。勿論、画像検出部104および画像編集部14は各々1つのセットで構成してもよい。

10

【0036】

次に、本発明の特徴とする構成である欠陥候補抽出ユニット15及び欠陥検出ユニット16における、得られた画像の欠陥候補抽出処理並びに欠陥候補を含む部分画像から欠陥を検出及び分類する処理を、イメージセンサからの画像の検出処理と非同期で行うことについて図2および図3を用いて説明する。勿論、欠陥候補抽出ユニット15における処理と欠陥検出ユニット16における処理も非同期で行ってもよい。図2は、一つの画像検出部（イメージセンサ）104-1で取得した画像の処理の第1の実施例を示す図である。ここでは画像検出部104-1で順次取り込み、画像メモリ107-1へ格納されたチップ1、チップ2、チップ3、・・・の対応する場所の画像を2つの欠陥候補抽出ユニット15-1と15-2により、並列に処理を行う実施例について説明する。欠陥候補抽出ユニット15-1は、メモリ107-1からチップ1とチップ2の画像を読み出し、上記した一連の処理を行って欠陥候補を抽出する。これと並列に欠陥候補抽出ユニット15-2は、メモリ107-1からチップ2とチップ3の画像を読み出し、一連の処理を行って欠陥候補を抽出する。そして、15-1と15-2で座標が一致する欠陥候補をチップ2の欠陥候補とし、検出した欠陥候補を含むチップ2の部分画像とそれに対応するチップ1とチップ3の部分画像の一方、もしくは両方を参照画像としてメモリ115へ格納する。このとき、比較画像間の位置ずれ量、欠陥候補部分の特徴量なども併せて格納する。その後、欠陥候補抽出ユニット15-1は、メモリ107-1からチップ4とチップ5の画像を読み出し、上記した一連の処理を行って欠陥候補を抽出することになる。これと並列に欠陥候補抽出ユニット15-2は、メモリ107-1からチップ5とチップ6の画像を読み出し、一連の処理を行って欠陥候補を抽出する。そして、15-1と15-2で座標が一致する欠陥候補をチップ5の欠陥候補とし、検出した欠陥候補を含むチップ5の部分画像とそれに対応するチップ4とチップ6の部分画像の一方、もしくは両方を参照画像としてメモリ115へ格納することになる。

20

30

【0037】

このようにセンサの画像取得処理速度に対し、欠陥候補抽出ユニットの処理速度がその半分であった場合でもセンサの画像取り込みと同期して、欠陥候補の抽出を行うことが可能となる。また、画像メモリ107を介することにより、画像の撮像と欠陥候補抽出処理は非同期であってもよい。

40

【0038】

図3は、抽出した欠陥候補を含む部分画像から欠陥を検出、分類する画像の処理の流れの第2の実施例を示す図である。図3の3-bは、15-1と15-2で座標が一致し、抽出した欠陥候補を含む部分画像、3-a、3-cはそれに対応する部分画像であり、3-bと3-a、3-cの一方、もしくは両方と特徴量、位置ずれ量をメモリ115へ格納した後、欠陥検出ユニット16はメモリ115からこれらの2枚（3-b、3-aまたは3-b、3-c）もしくは3枚（3-b、3-a、3-c）の部分画像と特徴量、位置

50

ずれ量を読み出し、一連の処理を行う。本発明に係る検査装置では3つの欠陥検出ユニット16-1、16-2、16-3とを持ち、これらは並列に処理を行うように構成した。ここで、一旦メモリ115へ格納される欠陥候補を含む部分画像に対し、全体制御部17は3つの欠陥検出ユニットの稼動状況を監視し、演算処理空き状態(=データ待ち)となっている欠陥検出ユニットで処理を行うように制御する。これにより、効率的、かつ高速に欠陥の検出処理及び分類処理を行うようにする。本実施例では欠陥候補を含む部分画像、対応する参照画像、特徴量を格納するメモリ115は、2つの欠陥候補抽出ユニット15-1、15-2で共通であるが各々で持っていてよいし、持たなくてもよい。メモリ115を介すことにより、欠陥候補抽出処理と欠陥の検出処理及び分類処理とは非同期で動作することが可能となるが、メモリを持たない場合は、欠陥の検出処理及び分類処理は欠陥候補抽出処理と同期してリアルタイムで処理する。 10

【0039】

図5は、メモリ115へ格納され、欠陥検出ユニット16へ転送される情報の一実施例を示す。欠陥候補を含む部分画像のセット3-a(参照画像1、2、...)、3-b(欠陥画像1、2、...)には通しの番号(欠陥候補No.)が付いており、その通しの番号(欠陥候補No.)に対応する特徴量(欠陥候補についてのチップ内の検出位置(X、Y)、輝度値、面積、X、Y方向の寸法)、X、Y方向の両画像の位置ずれ量が、欠陥候補を含む部分画像(3-a、3-b)と共にメモリ115に格納される。

【0040】

以上に示したように画像の取り込み処理の速度と取り込んだ画像から欠陥候補を抽出する処理の速度とが異なっている場合、すなわち、欠陥候補抽出ユニット15の処理速度がイメージセンサ104による対象チップの画像取り込み速度、並びに画像編集速度以下であっても、欠陥候補抽出ユニット15を複数台並列に処理させることにより、イメージセンサ104の取り込み速度と同期した検査速度を実現することができる。更に、欠陥候補抽出ユニット15で抽出された欠陥候補を含む部分画像を複数の欠陥検出ユニット16で並列に再処理することにより、欠陥検出ユニット16の処理速度が欠陥候補抽出ユニット15の処理速度以下であっても、リアルタイムで欠陥の検出処理及び分類処理を実現することができる。例えば、取得光量の関係などから換算し、イメージセンサ104の画像取り込み速度が最速3.2Gpps(pixel per second)であったとすると、欠陥候補抽出ユニット15の処理能力がその半分の1.6Gppsしかない場合でも、本構成をとることにより、検査処理速度3.2Gppsを実現することが可能となる。また、欠陥検出ユニット16の処理能力が更にその半分の0.8Gppsしかない場合でも、本構成をとることにより、検査処理速度3.2Gppsを実現することが可能となる。当然のことながら、イメージセンサ104のスピードが更に高速な場合であっても、上記に説明した欠陥候補抽出ユニット15、欠陥検出ユニット16を増設して構成して取得した画像信号を並列処理させることにより、対応可能となる。また、イメージセンサ104の画像取り込み幅が増えた場合にも対応可能となる。更に、より高感度検査を行うために検査画像の高倍率化(結像レンズ103の倍率を高倍率にする)が進んだ場合にも、欠陥候補抽出ユニット15、欠陥検出ユニット16を増設して構成することにより、従来の倍率と同等の検査速度を維持することが可能となる。 20 30 40

【0041】

上記実施例においては、イメージセンサ104が単一の出力の場合について説明したが、イメージセンサ104が複数の出力端子を備えて、複数の信号を並列に出力するタイプのものであっても、上記した実施例と同様に信号を処理して、より高速に画像処理を行うことができる。この場合、イメージセンサ104からは、複数の信号線が出て、この複数の信号線がそれぞれに対応する複数のA/D変換器105に接続され、この複数のA/D変換器105からの出力は、画像編集部14に入力されて、上記に説明したような手順で処理がなされる。

【0042】

次に、欠陥候補抽出ユニット15及び欠陥検出ユニット16における処理を図11を用いて詳細に説明する。まず、ステージ12の移動に同期してメモリ107に連続して入力される検出画像信号(ここではチップ2の画像信号)、参照画像信号(ここではチップ1の画像信号)を読み出す。これら2チップの画像信号は、ステージ12の振動があったり、ステージ上にセットされたウェハが傾いていると、全く同じ箇所での信号とはならないため、位置ずれ検出部108では2つの画像間の位置のずれ量(以下、位置ずれ量と記載する)を算出する。位置ずれ量の算出はステージの進行方向に特定の長さを一処理単位とし、順次行う。図10の51、52、...は長さD(画素)を1処理単位とした場合の各処理領域である。以下、この単位の処理領域をフィールドと記述する。

【0043】

位置ずれ検出部108ではこのようにフィールド51とそれに対応する隣接チップのフィールドで位置ずれ量を算出し、次にフィールド52とそれに対応する隣接チップのフィールドで位置ずれ量を算出する、といったように入力される画像に対して順次フィールド単位で位置ずれ量を算出する。位置ずれ量の算出には画像間の正規化相互相関、画像間の濃淡差の総和、画像間の濃淡差の二乗和などを用いる各種手法があり、そのいずれでも構わない。そして、算出された位置ずれ量に基づいて、フィールド単位で2枚の画像の位置合わせを行う。

【0044】

ここで、前述のイメージセンサ104から複数の信号線が複数のA/D変換器105に接続され、複数のA/D変換器105からの出力が画像処理部14に入力された場合、フィールド単位の位置ずれ量算出も並列で行い、位置合わせも並列に行う。このようにステージの進行方向とほぼ直角な方向に分割されて並列処理が行われる単位を以下、チャンネルと記載する。ここで、チャンネル単位で高精度な位置合わせを行うために、チャンネル毎に算出された複数の位置ずれ量から信頼性の高いもの(例えば相関係数の高いものなど)のみを抽出し、該抽出された複数個の位置ずれ情報を集計して、信頼性の低いチャンネルの位置ずれ量を算出することもできる。その一実施例としては、全チャンネルの中で最も信頼性の高いチャンネルの位置ずれ量を信頼性の低いチャンネルの位置ずれ量とする。また、信頼性の高い複数個の位置ずれ情報を集計して全チャンネルに共通の位置ずれ量を一意に算出し、各チャンネルの位置ずれ量とする。また、複数個の信頼性の高いチャンネルの位置ずれ量から内挿、もしくは外挿により信頼性の低いチャンネルの位置ずれ量を算出することもできる。内挿、外挿は線形補間で行ってもよいし、スプライン近似などの曲線近似でもよい。これにより、チャンネル内に位置ずれ量を算出のためのパターン情報が少ない場合でもステージの振動などに起因する画像の歪に追従した位置合わせを行うことが可能となる。

【0045】

次に位置合わせを行った2枚の画像について、明るさ補正部109で明るさのずれを合わせ込むための信号補正量を算出する。明るさのずれが生じる要因として、(1)被検査対象である半導体ウェハのチップ間の膜厚の微妙な違い、(2)イメージセンサ各画素の感度の違い、(3)ステージ12の速度むらによる蓄積光量の違い、(4)照明光量の変動などがある。このうち、(1)は半導体ウェハのパターンに依存してランダムに生じるのに対し、(2)(3)(4)は、検査装置に固有の特性として、検出した画像上で、線状、もしくは帯状に発生する。そこで、本発明では、これら(1)(2)(3)(4)を起因により発生する明るさの違いを合わせ込む。その手順の一実施例を、図12に示す。

【0046】

まず、検出画像、参照画像について、特定のフィールド毎に対応する各画素の特徴量を演算し、2次元以上の特徴空間を形成する(12-1)。特徴量は各画素のコントラスト、明るさ、2次微分値、対応画素間の濃淡差、近傍画素を用いた分散値などその画素の特徴を示すものなら何でもよい。次に、特徴空間を複数のセグメントに分割し(12-2)、セグメント毎に、そのセグメントに属する画素の統計量を用いて補正量を算出する(12-3)。これは、図13の(a)に示す通り、検出画像、参照画像の領域内の各画素に

10

20

30

40

50

ついて、検出画像の明るさをX軸に、参照画像の明るさをY軸にとった散布図を特徴量により、図13(b)、13(c)、・・・のように分解し、各散布図内で補正量を演算することと同等である。セグメント分割により分解された各散布図の補正量は、図13(b)、(c)に示すように散布図内で最小二乗近似により直線式を求め、その傾きとy切片を補正量とする。特徴空間を形成するためのフィールドは最小1×1画素以上の任意に設定可能である。ただし、最高周波数である1×1画素で補正を行うと、欠陥も合わせ込んでしまうので、やや大きめの領域に設定するようにする。このように検出画像及び参照画像から得られる散布図を用いて比較することによって、欠陥候補を検出することについては、特開2002-168799号公報および特開2003-271927号公報に記載されている。

10

【0047】

次に、画像比較部110にて、検出画像、参照画像の各画素について、算出された位置のずれ量、明るさのずれ量を許容するためのしきい値を算出し、しきい値をもとに検出画像と参照画像の輝度値を比較する。そしてしきい値より輝度差が大きい画素を欠陥候補として、その部分画像を抽出する。このとき、図5に示すように欠陥候補の画素の位置(検出位置)、輝度値、寸法、参照画像の明るさなどを特徴量として演算する。ここで、比較に用いられるしきい値はユーザが1検査条件として設定し、しきい値設定部111で自動チューニングされるものである。

【0048】

本実施例では、チップ3の画像信号とチップ2の画像信号についても同様の処理を並列で行う。そして、15-1で検出したチップ1とチップ2間の欠陥候補と、15-2で検出したチップ2とチップ3間の欠陥候補のうち、座標が一致するものをチップ2の欠陥候補とする論理積処理(図11の1101)を行い、これらの部分画像、特徴量、位置ずれ量をメモリ115を介して欠陥検出ユニット16へ転送する。

20

【0049】

次に欠陥検出ユニット16で、転送された欠陥候補の画像、及び特徴量を用いて位置ずれ検出、及び位置合わせを行う(再位置ずれ検出部116)。116における位置ずれ検出の方式は108と同じ方式であっても、異なる方式であってもよい。また、再位置ずれ検出を行わずに位置ずれ検出部108で算出した位置ずれ量を用いて位置合わせのみを行うこともできる。

30

【0050】

次に明るさ補正を行う(再明るさ補正部117)。同様に109と同じ方式であってもよいし、異なる方式であってもよい。異なる方式の一実施例を図14に従い説明する。まず、抽出された参照画像について、パターンに応じて領域分割を行う(117-1)。そして、領域毎に、その領域に属する画素の統計量を用いて補正量を算出する(117-2)。これは、図15(a)に示す参照画像を、パターンに応じて領域B(15(b)の斜線領域)と領域C(15(c)の斜線領域)に分割し、領域内の各画素について、欠陥候補を含む部分画像の明るさをX軸に、その参照画像の明るさをY軸にとった散布図をそれぞれ作成し、各散布図内で補正量を演算することと同等である。領域毎の散布図の補正量は、図15(b)、(c)に示すように散布図内で最小二乗近似により直線式を求め、その傾きとy切片を補正量とする。以上、欠陥候補をパターンに応じて分割する方式について述べたが、本実施例に図12の方式を組合せ、図12よりも詳細に明るさ補正を行ってもよい。これにより、図7の周辺回路部72のように明るく虚報が発生しやすい領域とメモリマット部71で、別々に補正を行うことが可能となる。領域はCADデータやチップレイアウトデータ、チップ画像といったチップの設計情報から分けることもできるし、テスト検査結果から分けることもできる。また、入力される画像の情報から自動で分割することもできる。

40

【0051】

次に再画像比較部118にて、画像比較部110と同様に各画素について、算出された位置のずれ量、明るさのずれ量を許容するためのしきい値を算出し、しきい値をもとに欠

50

陥候補画像とその参照画像の輝度値を比較し、しきい値より輝度差が大きい画素を欠陥画素として抽出し、110と同様に特徴量を演算する。ここで、比較に用いられるしきい値は110と共通であってもよいし、ユーザが個々に設定してもよい。また、116から119の処理を繰返し行い、検出結果を見ながらチューニングすることも可能である。また、画像個々に自動設定することも可能である。自動設定方法は後に説明する。

【0052】

再画像比較部118では更に、欠陥候補抽出ユニット15で算出した位置ずれ量、特徴量と欠陥検出ユニット16で算出した位置ずれ量、特徴量との照合を行う。

【0053】

まず、再画像比較部118における欠陥候補抽出ユニット15と欠陥検出ユニット16から算出した同じ場所の欠陥候補検出結果の照合の第1の実施例について図16を用いて説明する。図16(a1)、(a2)はそれぞれ欠陥候補抽出ユニット15と欠陥検出ユニット16から算出した同じ場所の欠陥候補検出結果である位置ずれ量を示したものである。図の白色部は位置ずれ量がしきい値以上となった欠陥領域を示している。15と16で算出された欠陥画像と参照画像の位置ずれ量を照合すると互いに異なることにより、図16(a1)では欠陥候補となった部分が図16(a2)では欠陥領域として抽出されていない。この場合は、欠陥候補抽出ユニット15の108で算出した位置ずれ量が誤っていたと判定し、欠陥としない。

【0054】

また、図16(b1)、(b2)はそれぞれ欠陥候補抽出ユニット15と欠陥検出ユニット16から算出した同じ場所の欠陥候補検出結果である特徴量を示したものである。図の白色部は輝度差がしきい値以上となった欠陥領域を示している。この場合、特徴量の1つである検出位置を照合し、不一致のものは欠陥としない。

【0055】

次に、再画像比較部118における欠陥候補抽出ユニット15と欠陥検出ユニット16から算出した同じ場所の欠陥候補検出結果の照合の第2の実施例について図17を用いて説明する。図17(c1)は欠陥候補抽出ユニット15で比較を行うチップ1とチップ2の画像であり、チップ1に欠陥候補が存在する例を示している。疎パターン領域にある孤立欠陥を非致命欠陥とする場合について説明すると、非致命欠陥か致命欠陥かは欠陥候補の背景に回路パターン(配線パターンなど)があるか否かで判定するが、欠陥候補抽出ユニット15で画像比較を行う段階では、チップ1、チップ2のどちらに欠陥候補が含まれているかは未知である。すなわち、どちらが背景画像になるか分からない。このため、背景のパターン情報を取得しようとする場合、図17に示すようにチップ1とチップ2の両方を用い、その平均などをとるのが妥当である。このため、信頼性は落ち、正確な判定ができない。これに対し、(c2)は欠陥検出ユニット16で比較を行う欠陥候補画像とその参照画像であり、この段階では欠陥がどちらにあるかは既知である。このため、背景の回路パターン情報を正確に得ることが可能となり、致命、非致命の判定も正確に行うことが可能となる。

【0056】

以上に説明したように、被検査対象となる試料に対し、このように処理単位、処理方式の異なる多段階の位置ずれ検出や、処理単位、処理方式の異なる多段階の明るさ補正を行い、その結果を照合することにより、より信頼性の高い結果を得ることが可能となる。例えば、CMP工程を経て、表面が光学的に透明で平坦な絶縁膜で覆われた半導体ウェハに形成された回路パターンを検査する場合、CMP加工後のウェハを検出部13で撮像して得られた画像は、上記絶縁膜の厚さのウェハ面内でのばらつきやチップ内パターンの疎密により生じる反射光量の分布等の影響を受けて、ウェハの場所によって明るさがばらついた画像となるが、この明るさのばらつきがある画像に対して、多段階に明るさ補正を行うことにより、画像間の明るさのばらつきの影響を低減して欠陥を顕在化することができるので、欠陥の検出率を向上させることが可能になる。また、欠陥候補抽出ユニット15において論理積処理を行った後の画像、すなわち、欠陥位置、背景領域が既知の画像で再処

理、再判定を行うことにより、より正確なパターン情報を得て、信頼性の高い判定を行うことが可能となる。

【0057】

以上に述べたように、2回の比較結果の照合により、虚報を除去した後、更に欠陥分類部119にて欠陥をその特徴量から1つ以上のカテゴリに分類する。分類処理の一実施例を図18に示す。まず、欠陥画像、並びに参照画像から算出される各欠陥の特徴量が分類条件を満たすか否か(以下、これを分類ルールと記載)を調べ、設定された分類条件を満たすもの同士で欠陥を分類(カテゴリ分け)する。どのカテゴリにも属さなかったものは欠陥とせず、除去することもできる。このとき、分類ルールに使用するしきい値(図18のTH1、TH2、TH3、TH4など)はユーザが各欠陥の特徴量を見ながらマニュアルで設定する。また、いくつかの欠陥画像をサンプリングし、分類ルールに使用するしきい値を、統計的に自動で算出することも可能である。また、欠陥画像個々に対応したしきい値を自動で算出することも可能である。欠陥画像毎に分類に用いるしきい値を算出する実施例について説明すると、図19(a)、(b)に示すようになる。図19(a)、(b)はそれぞれ検出された欠陥A、Bを含む部分画像と、欠陥部分の輝度波形とを示す。図19(a)は全体に暗く、欠陥Aの輝度値も小さい。これに対し、図19(b)の欠陥Bは輝度値が大きい、周辺の輝度値も大きい。ここで、分類条件が以下であったとすると、

(分類条件)

if 欠陥部の明るさ > TH then 欠陥
else 虚報

図19(b)のような画像で背景ノイズを拾わないためにはしきい値TH1をそれより大きくする必要がある(図19のTH1)が、この場合、欠陥Aはしきい値TH1より小さいため虚報として除去されてしまうことになる。

【0058】

本発明ではこれを解決するため、欠陥の検出及び分類に使われる判定条件(検査感度)(参照部の背景条件(明るさ、コントラスト、パターン密度などの特徴量))を欠陥若しくは欠陥候補を含む部分画像毎に求めて自動設定する(フローティング判定条件(しきい値)による自動欠陥分類)。その処理の流れの一実施例を図20に示す。まず、ベースとなる(代表的な又は標準的な欠陥Cについて欠陥分類が正しく行われる)しきい値TH0を設定する(201)。TH0は複数枚の欠陥部の統計値(該統計値は、欠陥部の代表的な又は標準的な値となる。)から算出してもよいし、ユーザが試行的に代表的な又は標準的な値として設定してもよい。図20(a)は代表的な又は標準的な欠陥Cの画像からしきい値TH0を設定した例である。次に、TH0を算出した代表的な又は標準的な欠陥部分に対応する参照部分の基準輝度値(輝度平均値)Lを算出する(202)。図20(b)はTH0を設定した代表的な又は標準的な欠陥Cの参照画像(背景画像)から基準輝度値Lを算出した例である。次に、各欠陥画像について、個々に参照部分の輝度値Mを算出する(203)。図20の(c)(d)は、図19に示した欠陥A、Bの参照部分から算出したそれぞれの輝度値Mを算出した例である。そして、TH0を設定した画像から求めた参照部分の基準輝度値Lと個々の欠陥の参照部分から算出した輝度値Mとの関係から個々の欠陥に対するしきい値THを算出する(204)。LとMの関係からしきい値THを求める方法の一実施例としては、(1)式がある。

【0059】

$$TH = TH0 - (L - M) \quad (1)$$

以上に述べたように分類のためのしきい値(検査感度)THを欠陥若しくは欠陥候補画像毎に自動設定する。これは、各種特徴量(明るさ(輝度)、コントラスト、パターン密度など)のしきい値が適用範囲となる。これにより、半導体ウェハのようなウェハの中央付近のチップと周辺のチップで明るさの違いが大きくなる場合でも、ウェハ全面に渡って高感度検査を実現できる。

【0060】

10

20

30

40

50

以上に説明した本発明に係る欠陥検出ユニット16で行う欠陥検出結果を、更に欠陥候補抽出時の比較処理のしきい値、及び、欠陥検出の比較処理のしきい値へ反映する。その一実施例を図21を用いて説明すると、ユーザは一般的な条件を設定し(21-1)、試し検査を行う(21-2)。試し検査は欠陥候補抽出から欠陥の検出及び分類までを指す。そして、分類した結果を一覧表示する(21-3)。このとき、虚報として判定された候補の参照部分との輝度差の一覧、虚報率を表示する。ユーザはこれを見ながらしきい値を設定しなおし(21-4)、16での欠陥の検出及び分類のみを繰り返すこともできるし、15での欠陥候補抽出からやり直すこともできる。また、比較処理のしきい値のみならず、分類結果の一覧表示により光学条件(光量、偏光条件、焦点位置など)の変更もできる(21-5)。これにより、検査条件の最適化を行い、本検査を行う(21-6)。

10

【0061】

条件の最適化処理の流れをまとめたものを図22に表示すると、本発明に係るパターン検査装置は、全チップの検出画像を記憶するメモリ107と、全欠陥候補を含む部分画像とその参照画像を記憶するメモリ115とを有しているため、欠陥検出・分類の条件を変えて繰り返し行って最適化することが可能である。また、欠陥候補抽出の条件を変えて繰り返し行い、最適化することも可能である。更にチューニングされた検出、分類結果を評価し、光学条件も最適化を行うことも可能である。

【0062】

以上に述べたように、本発明では2枚の画像を比較し、その差分値から欠陥を検出する検査において、イメージセンサ104による画像の検出を複数台で並列処理することにより、画像取得の高速化を実現する。更に画像比較による欠陥候補抽出を複数台で並列処理し、更に欠陥候補から欠陥のみの検出及び分類を複数台で並列処理することにより、イメージセンサ104の取り込み速度と同等またはそれに近い検査速度を実現することができる。例えば、イメージセンサ104の画像取り込み速度が最速3.2Gpps(pixel per second)であったとすると、欠陥候補抽出処理15の処理能力がその半分の1.6Gppsしかない場合でも、本発明のように2台並列の構成をとることにより、検査処理速度3.2Gppsを実現することが可能となる。更にイメージセンサの画像取り込み速度がそれ以上になった場合や、光学条件によりイメージセンサの画像蓄積時間が短くなった場合など、画像取り込み速度がますます速くなった場合にも本ユニット15、16をそれぞれM台、N台にすることにより、処理自体を高速化しなくても、対応することが可能となる。例えば、イメージセンサの画像取り込み速度が更に高速化して、最速6.4Gppsになった場合でも、処理能力が1.6Gppsのユニット15を4台並列で構成することにより、6.4Gppsの画像処理速度で対応することが可能である。また、今後、一層の微細化するパターン検査の実現のために高倍率化が進んだ場合にもイメージセンサ、各ユニットの並列処理台数を増設するのみで高速化に対応可能となる。

20

30

【0063】

また、チップ間の膜厚の違い、ステージ速度むらによる蓄積光量の違い、照明変動など様々な要因により発生するチップ間の明るさの違い(色むら)がある比較検査に対し、2回の異なる複数の方式で検査を行い、それらの情報を照合することにより、強い明るさむらの中に埋没した微弱信号の欠陥を顕在化し、より信頼性の高い高感度検査を実現することが可能となる。これにより、図23に示すように、全チップの画像を対象に行う欠陥候補抽出処理15は低いしきい値で高感度に、かつ大まかな高速検査を行い、虚報を含む多数の欠陥候補を含む部分画像を抽出して領域を絞り込み、限定された領域で詳細な検査、分類(欠陥検出・分類)16を行うことにより、高速化かつ、高感度な比較検査が実現できる。

40

【0064】

これまでに説明した本発明による欠陥候補抽出ユニット15の処理、及び欠陥検出ユニット16の処理は、CPUによるソフト処理で実現するが、正規化相関演算や特徴空間の形成などコアとなる演算部分をLSIなどによるハード処理にすることも可能である。これにより、更なる高速化が実現できる。また、CMPなど平坦化プロセス後のパターンの

50

膜厚の微妙な違いや、照明光の短波長化により比較ダイ間に大きな明るさの違いがあっても、本発明により、10nm~90nm欠陥の検出が可能となる。

【0065】

また、本発明によるパターン検査装置は、全チップの検出画像を記憶するメモリ107と全欠陥候補を含む部分画像とその参照画像を記憶するメモリ115を有しているため、検出部13、欠陥候補抽出ユニット15、欠陥検出ユニット16は非同期で動作し、かつ、切り離して設置が可能である。例えば、図24に示すように半導体検査が行われるクリーンルームにはステージ12、検出部13、欠陥候補抽出ユニット15のみを設置し、クリーンルームの外でオフラインに欠陥検出、分類処理16を行うことも可能である。また、図25に示すように、クリーンルームにはステージ12、検出部13のみを設置し、それ以降の処理をクリーンルームの外でオフラインに行うことも可能である。また、ある試料に対する欠陥候補の抽出、欠陥検出、分類処理の条件をチューニングしている間に、別の試料の画像検出を平行して行うことも可能である。

10

【0066】

ここで、本方式のチップの比較方式は、図26に示すようウェハエッジのチップBに対して、チップAとの比較のあと、チップCとの比較を行い、その論理積処理をするので、エッジのチップの検査も可能である。

【0067】

また、本比較検査装置はチップ間の比較検査を行うのと平行して、セル間の比較検査を行うことが可能である。

20

【0068】

本パターン検査方式では、SiO₂をはじめ、SiOF、BSG、SiOB、多孔質シリリア膜、などの無機絶縁膜や、メチル基含有SiO₂、MSQ、ポリイミド系膜、パレリン系膜、アモルファスカーボン膜などの有機絶縁膜といったlow k膜の検査において、屈折率分布の膜内ばらつきによる局所的な明るさの違いがあっても、本発明により、20nm~90nm欠陥の検出が可能となる。

【0069】

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、電子線式パターン検査における比較画像にも適用可能である。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、プリント板などでも適用可能である。

30

【0070】

以上説明した本実施の形態によれば、画像比較処理を並列処理することにより、イメージセンサの画像取り込み速度、画像蓄積時間、走査幅などによってきまる処理速度に対応した検査速度を実現することができる。

【0071】

また、本実施の形態によれば、被検査対象が半導体ウェハで、ウェハ内の膜厚の違いや、照明光量変動、イメージセンサの画素毎の感度ばらつき、光量蓄積時間むらなどにより画像間の同一パターンで明るさの違いが生じている場合であっても、これらを起因とする虚報を除去し、正しく欠陥を検出することができる。

40

【0072】

また、本実施の形態によれば、チップ間の膜厚の違い、イメージセンサの各画素の感度の違い、ステージ速度むらによる蓄積光量の違い、照明変動など様々な要因により発生するチップ間の明るさの違い(色むら)等によって生じる比較する画像間の明るさの違いを、異なる複数の周波数で明るさを合わせ込むことにより、強い明るさむらの中に埋没した微弱信号の欠陥を顕在化し、検出することが可能となる。

【0073】

また、本実施の形態によれば、ウェハ内座標やチップ内座標に応じてしきい値を設定できるようにしたことにより、各所で検査感度を自動で最適化することが可能になり、高感

50

度検査を実現することができる。この場合、チップの設計情報としきい値設定領域を重ね合わせて表示することにより、しきい値設定領域の確認や修正などの感度の調整が容易になる。

【図面の簡単な説明】

【0074】

【図1】本発明に係るパターン欠陥検査装置の一実施の形態を示す構成図である。

【図2】本発明に係る欠陥候補抽出ユニットでの2つの画像比較並列処理の実施例を説明するための図である。

【図3】本発明に係る欠陥候補抽出ユニットでの2つの画像比較並列処理の別の実施例を説明するための図である。

【図4】比較チップ間に明るさむらがあった時の検査対象画像と従来のしきい値設定方法の一例とを説明するための図である。

【図5】本発明に係るメモリに格納されて欠陥検出ユニットへ転送される情報の一実施例を示す図である。

【図6】画像比較処理単位の一例を示す図である。

【図7】チップの構造の一例を示す図である。

【図8】本発明に係る2つの画像検出部（画像取得手段）により並列で画像取得する第1の実施例を説明するための図である。

【図9】本発明に係る2つの画像検出部（画像取得手段）により並列で画像取得する第2の実施例を説明するための図である。

【図10】本発明に係る2つの画像間で位置ずれ量を算出して画素単位で位置合わせされるフィールド単位の説明図である。

【図11】本発明に係る欠陥候補抽出ユニット及び欠陥検出ユニットにおける処理の一実施例を示す図である。

【図12】本発明に係る明るさ補正部においてランダムに生じる明るさの違いを合わせ込む処理の流れの一実施例を示す図である。

【図13】本発明に係る明るさ補正部において検出画像と参照画像とを基に作成した散布図並びに両画像をセグメント分割により分解して作成された各散布図とを示す図である。

【図14】本発明に係る再明るさ補正部において明るさ補正量の算出の一実施例を示す図である。

【図15】本発明に係る再明るさ補正部において参照画像をパターンに応じて領域を分割し、分割された領域毎に散布図を作成することの説明図である。

【図16】本発明に係る再画像比較部における欠陥候補抽出ユニットと欠陥検出ユニットから算出した同じ場所の欠陥候補検出結果の照合の第1の実施例を説明するための図である。

【図17】本発明に係る再画像比較部における欠陥候補抽出ユニットと欠陥検出ユニットから算出した同じ場所の欠陥候補検出結果の照合の第2の実施例を説明するための図である。

【図18】本発明に係る欠陥検出ユニットにおける欠陥分類の一実施例を示す図である。

【図19】検出された欠陥A、Bを含む部分画像と欠陥部分との輝度波形を示す図である。

【図20】本発明に係る欠陥検出ユニットにおける欠陥候補を含む部分画像毎に分類しきい値を算出して自動設定する処理の流れの一実施例を説明するための図である。

【図21】本発明に係る欠陥検出ユニットで欠陥検出結果を、更に欠陥候補抽出時の比較処理のしきい値及び欠陥検出の比較処理のしきい値等へ反映させる一実施例を示す図である。

【図22】本発明に係る検査条件の最適化処理の一実施例の流れをまとめて示した図である。

【図23】2回の異なる複数の方式で検査を行い、それらの情報を照合することにより埋没した微弱信号の欠陥を顕在化した一実施例を示す図である。

10

20

30

40

50

【図24】本発明に係るパターン欠陥検査装置の図1とは異なる他の実施の形態を示す構成図である。

【図25】本発明に係るパターン欠陥検査装置の図1及び図24とは異なる他の実施の形態を示す構成図である。

【図26】本発明に係るチップ比較方式を説明するための図である。

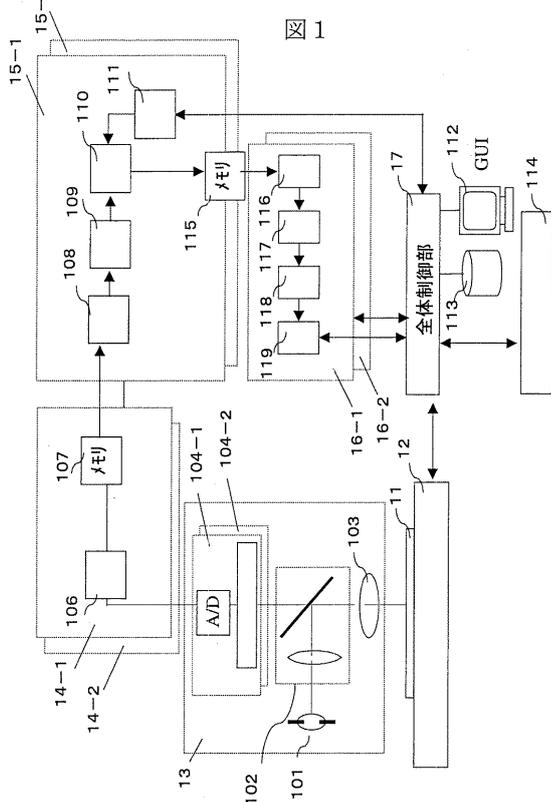
【符号の説明】

【0075】

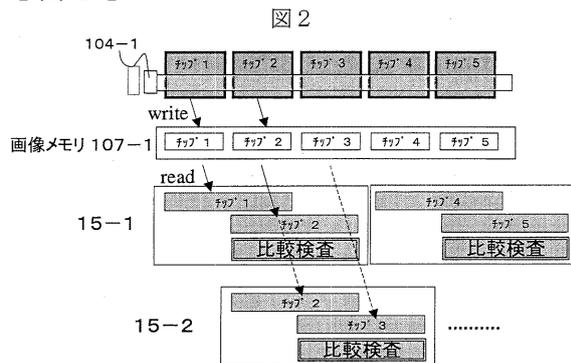
11 ... 試料、12 ... ステージ、13 ... 検出部（画像取得手段）、101 ... 光源、102 ... 照明光学系、103 ... 対物レンズ（結像レンズ）、104、104-1、104-2 ... イメージセンサ、105 ... A/D変換部、14、14-1、14-2 ... 画像編集部、106 ... 前処理部、107 ... 画像メモリ、15、15-1、15-2 ... 欠陥候補抽出ユニット、108 ... 位置ずれ検出部、109 ... 明るさ補正部、110 ... 画像比較部、111 ... しきい値設定部、16、16-1、16-2 ... 欠陥検出ユニット、115 ... メモリ、116 ... 再位置ずれ検出部、117 ... 再明るさ補正部、118 ... 再画像比較部、119 ... 欠陥分類部、17 ... 全体制御部、112 ... ユーザーインターフェース部、113 ... 記憶装置、114 ... メカニカルコントローラ、3a、3b、3c ... 部分画像、51、52 ... フィールド、1101 ... 論理積処理。

10

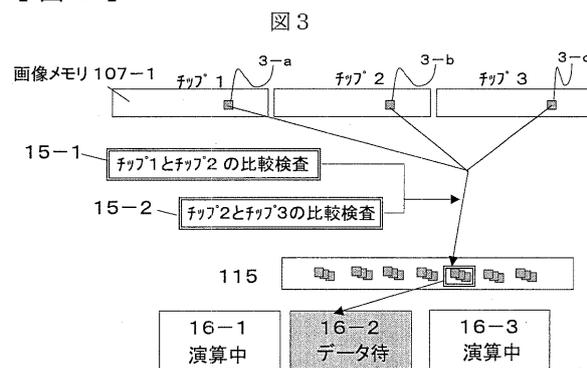
【図1】



【図2】

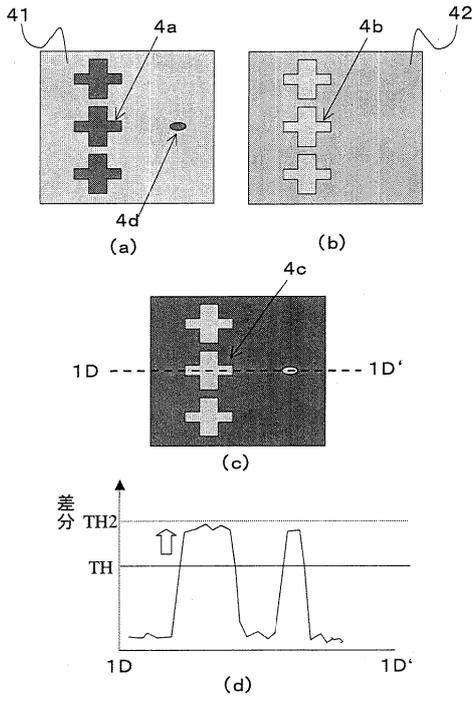


【図3】



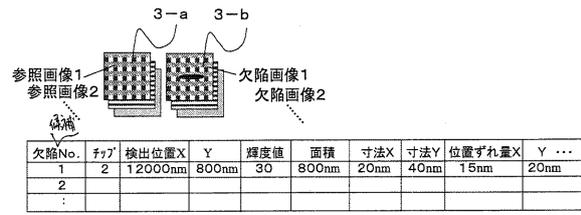
【図4】

図4



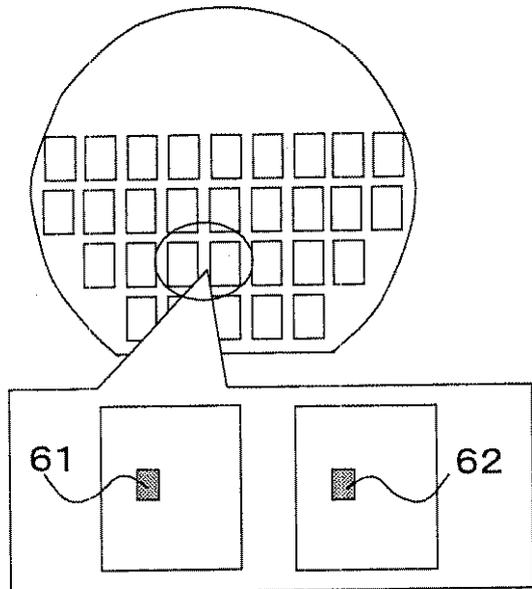
【図5】

図5



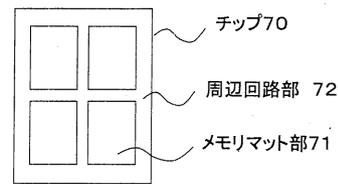
【図6】

図6



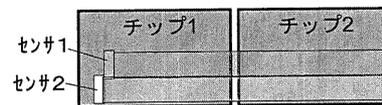
【図7】

図7



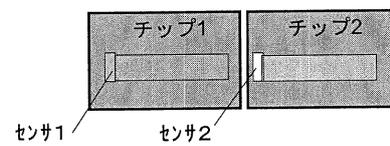
【図8】

図8

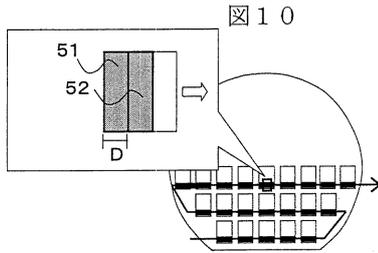


【図9】

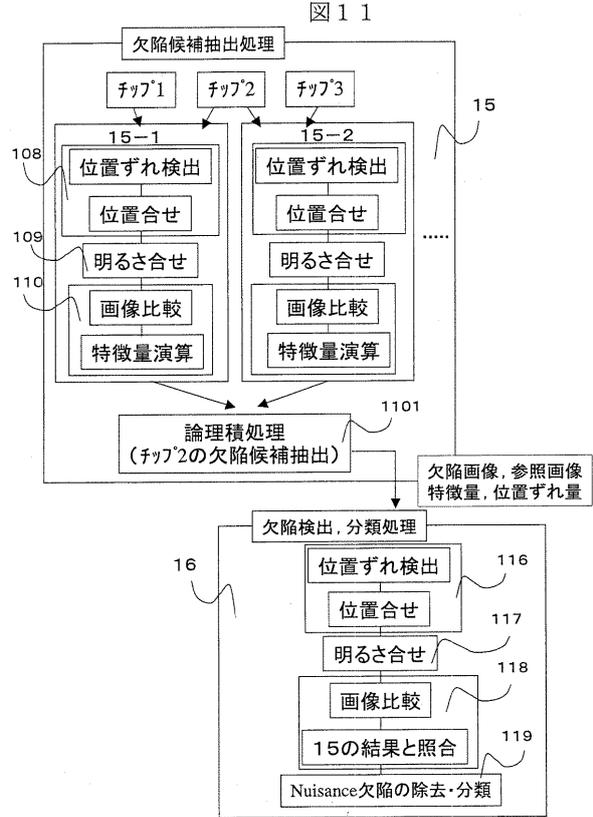
図9



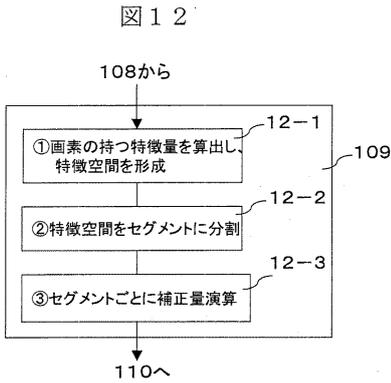
【図10】



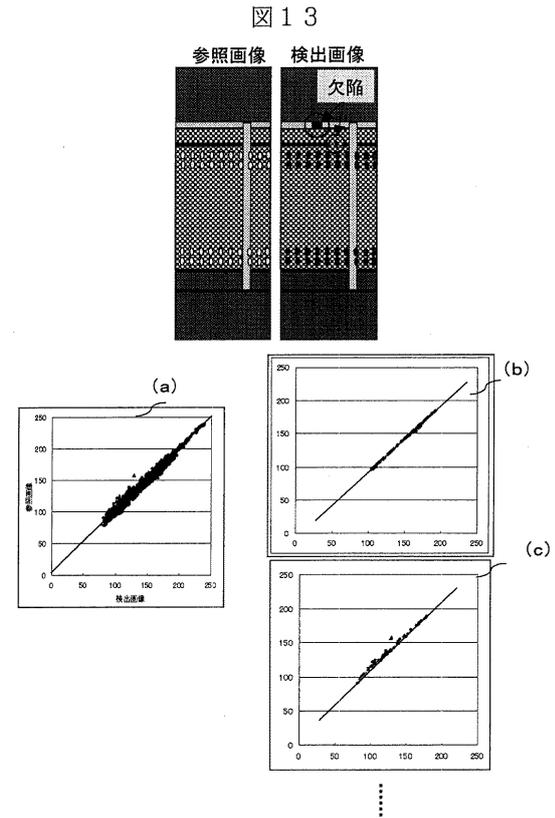
【図11】



【図12】

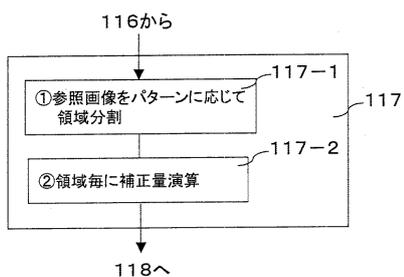


【図13】



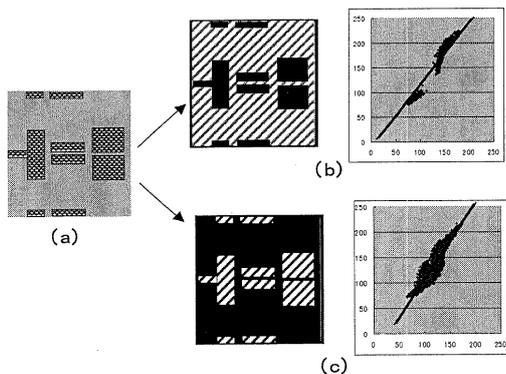
【図14】

図14



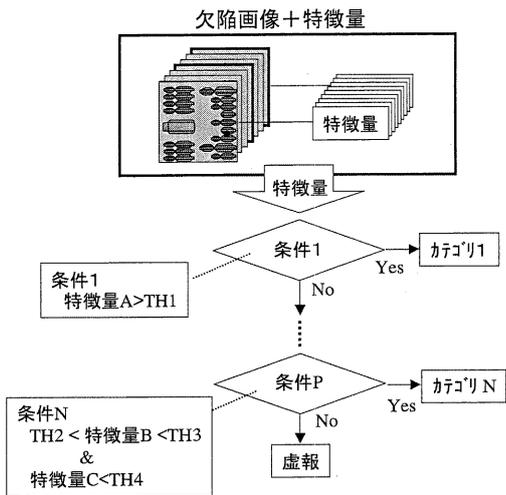
【図15】

図15



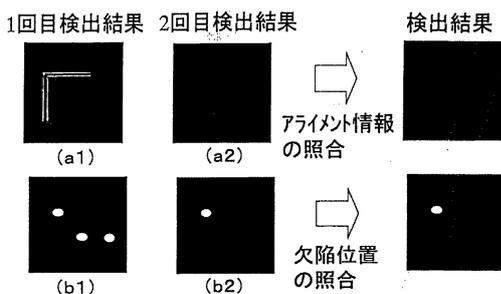
【図18】

図18



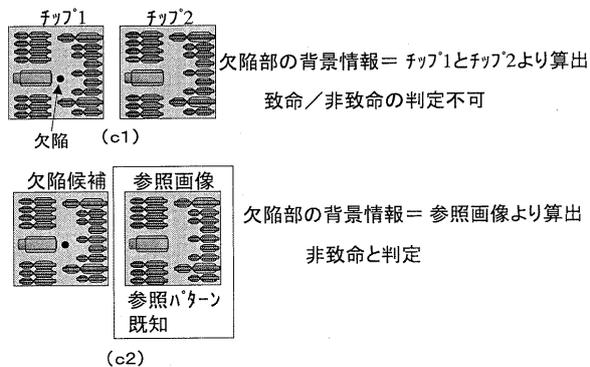
【図16】

図16



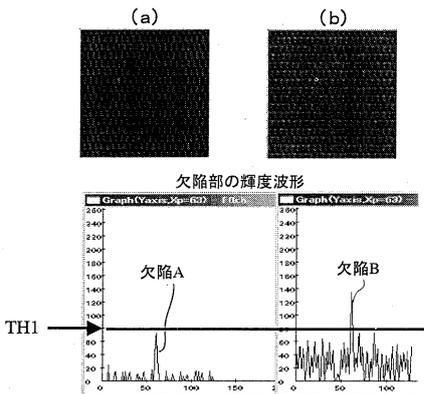
【図17】

図17



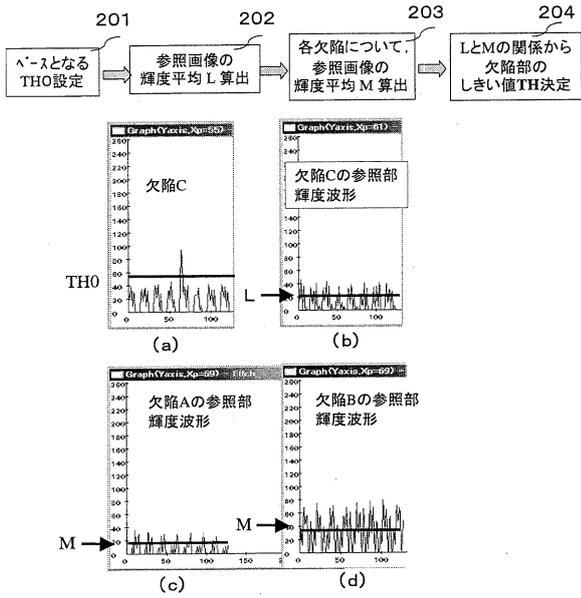
【図19】

図19



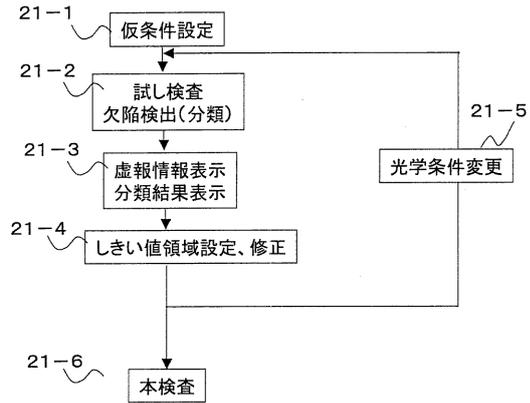
【図20】

図20



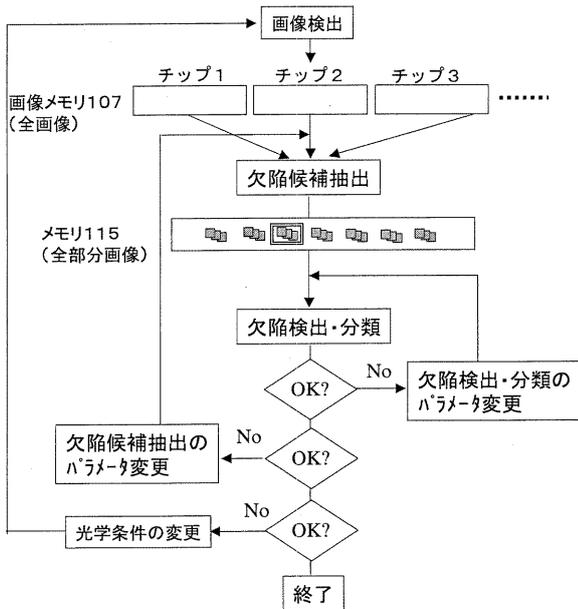
【図21】

図21



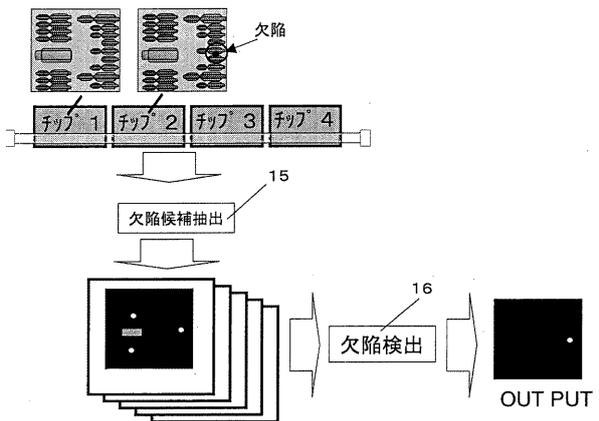
【図22】

図22



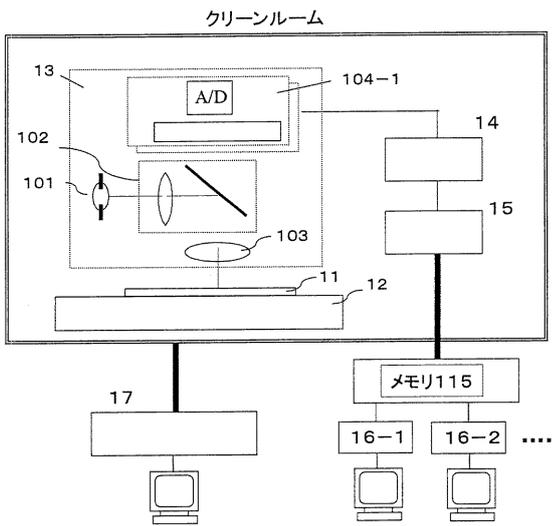
【図23】

図23



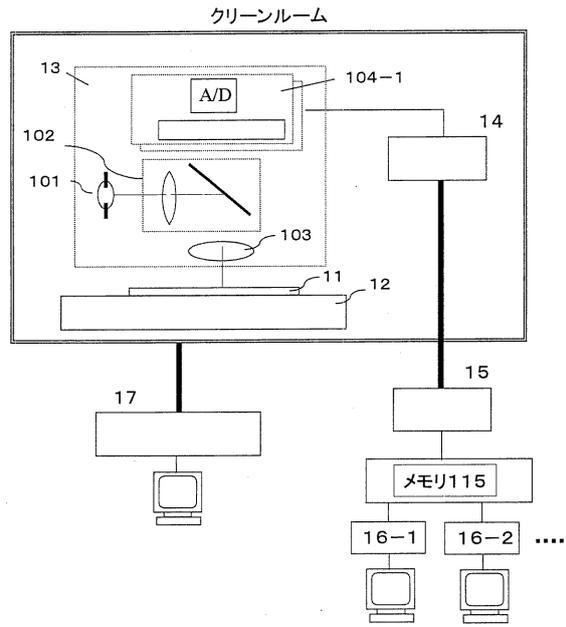
【図24】

図24



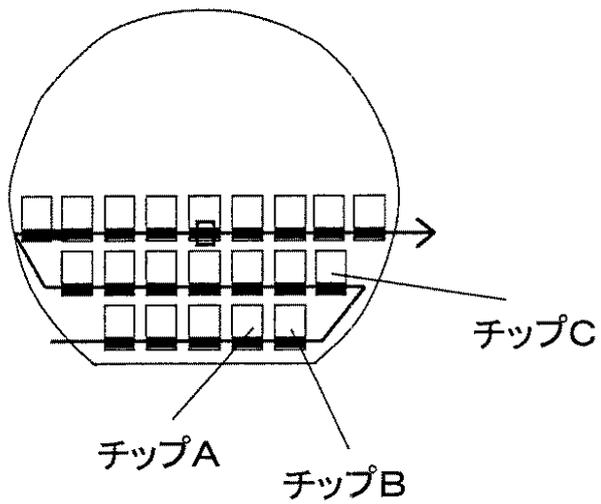
【図25】

図25



【図26】

図26



フロントページの続き

(72)発明者 前田 俊二

神奈川県横浜市戸塚区吉田町2-9-2番地 株式会社日立製作所生産技術研究所内

(72)発明者 岡部 隆史

神奈川県横浜市戸塚区吉田町2-9-2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) 2F065 AA49 BB02 CC19 DD03 DD06 GG04 GG24 JJ19 JJ26 PP12
QQ03 QQ24 QQ25 QQ31 QQ36 QQ38 RR03
2G051 AA51 AB02 CA04 CB01 DA09 EA08 EA11 EA14 EA24 EB01
ED01 ED08 ED21
4M106 AA01 BA10 CA39 DB21
5B057 AA03 BA30 CA08 CA12 CC03 CH01 CH11 DA03 DA07 DA12
DA16 DB02 DB09 DC22 DC33
5L096 AA06 BA03 CA02 FA14 FA69 FA76 GA51 HA07 LA05