

(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2005-292076

(P2005-292076A)

(43) 公開日 平成17年10月20日(2005. 10. 20)

(51) Int. Cl.⁷

GO 1 N 23/225
HO 1 J 37/22
HO 1 J 37/28
HO 1 L 21/66

F I

GO 1 N 23/225
HO 1 J 37/22 5 O 2 E
HO 1 J 37/22 5 O 2 H
HO 1 J 37/28 B
HO 1 L 21/66 J

テーマコード (参考)

2 G O O 1
4 M 1 O 6
5 C O 3 3

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2004-111061 (P2004-111061)

(22) 出願日 平成16年4月5日(2004. 4. 5)

(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2 4 番 1 4 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 西山 英利

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目2 8 0 番地
株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 野副 真理

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目2 8 0 番地
株式会社日立製作所中央研究所内

F ターム(参考) 2G001 AA03 BA07 CA03 GA06 HA13
JA02 KA03 LA11 MA05 PA11

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 荷電粒子ビームによる検査方法および検査装置

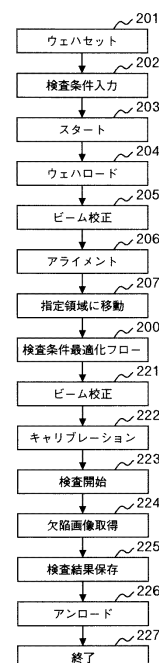
(57) 【要約】 (修正有)

【課題】オペレーターの経験に頼らずに、被検査対象物の帯電状態を最適にする条件設定を行う手法を確立し、従来よりも欠陥検出効率の高い電位コントラスト像を取得することが可能な荷電粒子ビームによる検査技術を提供する。

【解決手段】所定のパターンが形成された基板表面の領域を一次荷電粒子ビームで走査して、該領域から発生する二次電子の信号を検出し、検出した信号から該領域の画像を形成する工程と、該画像からヒストグラムを形成する工程と、これら全ての工程を荷電粒子ビームの照射条件を変化させる度に行い、上記ヒストグラムで2つ以上のピークが分離した時を最適な検査条件と決定し、その条件で取得した画像をもとに検査を行う。

【選択図】図 2 A

図 2 A



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

所定のパターンが形成された基板表面の領域を一次荷電粒子ビームで走査する工程と、該一次荷電粒子ビームの照射により該領域から発生する二次電子の信号を検出する工程と、検出した信号から該領域の画像を形成する工程と、該画像からヒストグラムを形成する工程と、これら全ての工程を荷電粒子ビームの照射条件を変化させる度に行い、前記ヒストグラムで2つ以上のピークが分離した時を検査条件と決定し、その条件で取得した画像をもとに検査を行うことを特徴とする荷電粒子ビームによる検査方法。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の検査方法において、前記荷電粒子ビームの照射条件を変化させる為に、ビーム電流、ビームエネルギー、照射面積、ウエハとウエハ周りの電極間の電位分布の内、一つ以上変化させることを特徴とする荷電粒子ビームによる検査方法。 10

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の検査方法において、前記ピークの分離判定を、複数のガウス関数の和でフィッティングする工程と、各ガウス関数の平均値および標準偏差を算出する工程と、隣り合うガウス関数における平均値の差の絶対値と標準偏差の和との商を算出する工程を含み、該商が 1 より大きく 3 より小さくなるように検査条件を設定し、その条件で検査を行うことを特徴とする荷電粒子ビームによる検査方法。

【請求項 4】

請求項 1 又は 2 に記載の検査方法において、前記ピークの分離判定を、複数のローレンツ関数の和でフィッティングする工程と、各ローレンツ関数の平均値および半値幅を算出する工程と、隣り合うローレンツ関数における平均値の差の絶対値と半値幅の和との商を算出する工程を含み、該商が 1 より大きく 3 より小さくなるように検査条件を設定し、その条件で検査を行うことを特徴とする荷電粒子ビームによる検査方法。 20

【請求項 5】

請求項 3 又は 4 に記載の検査方法において、前記ヒストグラムを算出する際、前処理として画像のパターン部と、パターン以外からの信号を抽出し、該信号のヒストグラムを算出する工程を行うことを特徴とする荷電粒子ビームによる検査方法。

【請求項 6】

請求項 3 又は 4 に記載の検査方法において、上記ヒストグラムを算出する際、画像像にシェーディングが有る場合は、前処理として該シェーディングを除去する画像処理の工程を行うことを特徴とする荷電粒子ビームによる検査方法。 30

【請求項 7】

請求項 1 から 6 に記載の検査方法において、決定した検査条件をデータベース化し、検査の際は、既存の検査条件データベースの中から検査ウエハに近いものを選択し、それを検査条件として用いることを特徴とする荷電粒子ビームによる検査方法。

【請求項 8】

請求項 1 から 7 に記載の検査方法において、前記画像を基準画像と比較することによってパターンの欠陥を検出する工程を含むことを特徴とする荷電粒子ビームによる検査方法。 40

【請求項 9】

請求項 1 から 7 に記載の検査方法において、第一の領域の画像と第二の領域の画像を比較し異なる部分を判別する工程と、該判別結果に基づき前記回路パターンの欠陥を判定する工程を含むことを特徴とする荷電粒子ビームによる検査方法。

【請求項 10】

請求項 1 から 7 に記載の検査方法において、外観検査装置から得られる欠陥座標をもとに、該座標での画像を取得し、画像の形状、コントラスト、凹凸の情報を得て分類する工程を含んでなることを特徴とする荷電粒子ビームによる検査方法。

【請求項 11】

請求項 1 から 10 に記載の検査方法において、前記荷電粒子ビームは電子ビームである 50

ことを特徴とする荷電粒子ビームによる検査方法。

【請求項 1 2】

試料を載置する試料台と、一次荷電粒子ビームを前記試料台上の試料に照射するための対物レンズと、荷電粒子ビームの照射条件の変更を行う制御部と、前記試料から発生する二次電子を検出する検出器と、前記検出器からの信号を用いて、検査されるべき領域の画像の信号を記憶するための画像記憶部と、前記画像のヒストグラムを算出し、検査条件を決定するための演算部と、を具備してなることを特徴とする荷電粒子ビームによる検査装置。

【請求項 1 3】

請求項 1 2 に記載の検査装置において、帯電電圧を変化させるために、前記試料の前面に電圧を印加することのできる帯電制御電極を具備してなることを特徴とする荷電粒子ビームによる検査装置。 10

【請求項 1 4】

請求項 1 2 又は 1 3 に記載の検査装置において、前記検出部からの信号に基づき画像を形成し、検査されるべき該画像を他の同一回路パターンの画像と比較するための比較演算回路と、該比較演算回路での比較結果から前記試料の回路パターン上の欠陥部を判別するための演算回路とを具備することを特徴とする荷電粒子ビームによる検査装置。

【請求項 1 5】

請求項 1 2 又は 1 3 に記載の検査装置において、前記検出部からの信号に基づき画像を形成し、欠陥種ごとに分類する計算機部を具備することを特徴とする荷電粒子ビームによる検査装置。 20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体装置や液晶等、微細な回路パターンを有する基板製造技術に係り、特に、半導体装置やフォトリソマスク等のパターン検査技術に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体デバイスは、ウエハ上にフォトリソマスクで形成されたパターンをリソグラフィー処理およびエッチング処理により転写する工程を繰り返すことにより製造される。このようなパターンを検査するために、パターンの SEM (Scanning electron microscope、走査型電子顕微鏡) 像を取得することで、欠陥部を特定することを行っている。近年のパターン微細化に伴い、コンタクトホール加工の加工難易度が増し、コンタクトホール内部で発生する導通欠陥の数が特に増加しており、高感度な欠陥検出技術が必要となっている。 30

【0003】

図 4 中に示すウエハ断面図 400 は、それらの欠陥を図示したものである。Si 基板 404 に SiO₂ 膜 405 を形成させ、コンタクトホールを加工しメタルを埋め込んだものである。ここで、正常部 401、導通欠陥 402 である。この欠陥を検出するためには、ウエハを帯電させ、正常部と欠陥の電気抵抗が異なることにより生ずる帯電電位差を、検出される二次電子数の差として表される電位コントラスト像を取得する必要がある。 40

【0004】

電位コントラスト像の取得方法、および欠陥検出原理を説明する。電位コントラスト像には、試料表面を、(1) 正帯電、および (2) 負帯電にさせたものがある。検査時に適する帯電極性は、検査ウエハの構造によって異なる。帯電極性は、検査条件により変化させることができる。例えば、電子ビームの入射エネルギーを変化させる方法がある (例えば、非特許文献 1 参照)。

【0005】

ここでは、他の方法として、ウエハに対向して設置した帯電制御電極 407 の電位を変化させた場合について説明する。正、負帯電とも、使用する電子ビーム 410 のウエハへの入射エネルギーは、ウエハから発生する二次電子の放出効率が 1 以上 (例えば、500 50

e V) になるように制御する。

【0006】

(1) 正帯電の場合：帯電制御電極407の電位を、ウエハ近傍に発生する電場が二次電子を加速させるように設定する。すなわち、図5(ビーム照射領域の拡大図)に示すように、ウエハの上に正の電位ポテンシャル501を形成させる。電子ビームを正常部401、導通欠陥部402に照射すると、発生した二次電子502は電位501により加速され、導通欠陥部402は正帯電する。正常部401は基板404からの電荷の供給があるため帯電はしない。導通欠陥部402の正帯電のために、二次電子の低エネルギー成分503はウエハに引き戻され、一方、正常部は帯電しないため、二次電子は全て504放出されることとなる。その結果、電位コントラスト505が得られ、像の暗い導通欠陥の検出が可能になる(例えば、非特許文献2、特許文献1参照)。

【0007】

(2) 負帯電の場合：帯電制御電極407の電位を、ウエハ近傍に発生する電場が二次電子を減速させ、ウエハに引き戻すように設定する。すなわち、図6(ビーム照射領域の拡大図)に示すように、ウエハ上に負の電位ポテンシャル601を形成させる。電子ビームを正常部401、導通欠陥部402に照射すると、発生した二次電子602は電位601によりウエハに引き戻されるため、導通欠陥部402は負帯電する。導通欠陥部402の負帯電のために、二次電子603は加速され負の電位ポテンシャル601により引き戻されることなく放出する。一方、正常部は帯電しないため、二次電子604は全てウエハに引き戻されることとなる。その結果、電位コントラスト像605が得られ、像の明るい導通欠陥の検出が可能になる(例えば、特許文献2参照)。

【0008】

【非特許文献1】L. Reimer: Scanning Electron Microscopy, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1998.

【0009】

【非特許文献2】H. Nishiyama, et al.: SPIE 4344, p.12 (2001)

【特許文献1】特開2001-313322号公報

【特許文献2】特開平11-121561号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

上述した帯電電位は、帯電制御電極407の電位によって変化させることができる。正帯電電位コントラストで、帯電制御電極407の電位を増加させれば、二次電子は放出されやすくなるので、帯電電位は増加することとなる。負帯電の場合、帯電制御電極407の電位を下げれば、多くの二次電子がウエハに引き戻されることになるため、帯電電位は低下していくこととなる。しかし、このときにウエハの帯電電位を最適に設定しないと検査感度が低下する。帯電量(帯電電位の絶対値に比例)が大きい場合、小さい場合に分けて、感度低下の原因を述べる。

【0011】

(1) 帯電量が大きい場合：導通欠陥に電荷のリークが発生し、十分帯電することが出来ず、正常部と誤認識してしまう恐れが生ずることである。また、帯電量が大きいと、二次電子の軌道が大きく曲がり、二次電子検出効率に影響を及ぼす。その結果、取得画像に歪みや明るさ斑が発生し、欠陥検出精度が低下する。

【0012】

(2) 帯電量が小さい場合：正常部と欠陥部の帯電の差が小さい為、コントラストが小さく欠陥検出が困難になる。

【0013】

このように、高感度な検査の為には、帯電を抑えつつ、コントラストを十分つける必要がある。そのための条件は、従来、オペレーターの経験により手動で条件設定されていた。そのため、設定に時間を要し、検査の再現性に乏しく、また検査精度にも問題があった

10

20

30

40

50

。

【 0 0 1 4 】

そこで、本発明は、オペレーターの経験に頼らずに、被検査対象物の帯電状態を最適にする条件設定を行う手法を確立し、従来よりも欠陥検出効率の高い電位コントラスト像を取得することが可能な荷電粒子ビームによる検査技術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】

【 0 0 1 5 】

上記目的を達成するために、本発明者らは、「検査に必要なコントラストを保ちつつ、帯電量を最小にする条件を見つける」という観点から、その条件の決定のために、電位コントラスト像のヒストグラムを得て、その形状を利用することを見出した。

10

【 0 0 1 6 】

以下、本発明の基本的構成について述べる。

【 0 0 1 7 】

図 7 に、電位コントラスト像 7 0 3 とそのヒストグラム 7 0 4 を示す。ヒストグラム 7 0 4 には、パターン部（コンタクトホール、配線等）とそれ以外の絶縁部に起因する 2 つのピーク 7 0 2、7 0 1 が存在する。

【 0 0 1 8 】

まず、像のヒストグラムを、2 つのガウス関数の和、（式 1）（ $i = 1, 2$ ）でフィッティングする。

【 0 0 1 9 】

20

【数 1】

$$p(x) = \sum_i \frac{A_i}{\sqrt{2\pi\sigma_i^2}} \exp\left(-\frac{(x-\mu_i)^2}{2\sigma_i^2}\right)$$

・・・・・・・・・・（式 1）

ただし、 x は信号値、 $p(x)$ はその信号値 x の頻度である。

【 0 0 2 0 】

このとき、それぞれのガウス関数の平均を μ_1 、 μ_2 、標準偏差を σ_1 、 σ_2 とする。ここで、 $|\mu_1 - \mu_2| / (\sigma_1 + \sigma_2)$ の検査条件（例えば、帯電制御電極 4 0 7 の電位 V_{cc} ）依存性を求め、（式 2）となる条件が最適条件となる。

30

【 0 0 2 1 】

【数 2】

$$\varepsilon_1 < \frac{|\mu_1 - \mu_2|}{\sigma_1 + \sigma_2} < \varepsilon_2$$

・・・・・・・・・・（式 2）

ここで、 σ_1 、 σ_2 は、そのときの判断により変化させることが可能であるが、代表的な値は $\sigma_1 = 1$ 、 $\sigma_2 = 3$ である。

【 0 0 2 2 】

また、ヒストグラムをフィッティングさせるのに用いる関数は、ここに示したガウス関数以外にも、ローレンツ関数（式 3）等の孤立ピークを持つ関数を使用しても良い。

40

【 0 0 2 3 】

【数 3】

$$p(x) = \sum_i \frac{a_i^2}{(x - x_{0,i})^2 + a_i^2}$$

・・・・・・・・・・（式 3）

なお、本手段ではヒストグラムの評価が重要になる為、電子照射条件を変えて画像を取得する際、信号値の補正（auto brightness and contrast control）は行っていない。

50

【 0 0 2 4 】

また、ここではヒストグラムのピークが2つ存在する場合について示したが、3つ以上の場合、隣り合うピークに対して、同様のことを行う必要がある。

【 0 0 2 5 】

検査条件の最適化で、ここでは帯電制御電極407の電位 V_{cc} を最適化させた場合を例にとり説明する。

【 0 0 2 6 】

図8は、検査条件として、帯電制御電極407の電位を-8440V、-8460V、-8510Vと変化させて取得した負帯電電位コントラスト像801~803、そのヒストグラム804~806である。帯電制御電極407の電位が低くなるほど、負帯電電位も低下する。帯電量が少ない場合、2つのピークが分離しない(ヒストグラム804)のでパターン部が明瞭でなく(電位コントラスト像801)、検査が困難となる。一方、帯電量が多い場合、2つのピークが離れて(ヒストグラム805)、パターン部が明瞭となり(電位コントラスト像802)、検査が可能になる。しかし、帯電量が大きくなりすぎると(ヒストグラム806、電位コントラスト像803)、感度の低下につながる。このようなことから最適条件を、以下の方法で決定する。

(1) ウエハに対向して設置した帯電制御電極407の電位 V_{cc} を変化させ、電位コントラストを取得し、そのヒストグラムを求める。

(2) ヒストグラムに絶縁部とパターン部に起因する2つのピークが生ずる。

(3) これらピークが分離する条件として式(2)($\gamma_1 = 1$ 、 $\gamma_2 = 3$)を適用し、図9に示すように、 $V_{cc} = -8460V$ が最適な条件となる。

(4) 実際に検査を行った結果、図10に示すように、最適条件($V_{cc} = -8460V$)で欠陥検出数が最も多く、それ以外の条件では、欠陥の見落としがあるため、欠陥検出数が少なくなる。

【 0 0 2 7 】

以上のように、最適検査条件を決定することが出来る。しかし、検査条件の変更に伴い、帯電の残留が電位コントラスト像に影響することもある。その場合は、必要に応じて紫外線を照射して帯電を緩和させればよい。また、画像取得毎に画像取得場所を変えればよい。

【 0 0 2 8 】

なお、対象とする欠陥の種類は、欠陥の大半を占めるコンタクトホールやラインパターンの導通欠陥である。

【 発明の効果 】

【 0 0 2 9 】

本発明によれば、オペレーターの経験に頼らずに、被検査対象物の帯電状態を最適にする条件設定を行う手法を確立し、従来よりも欠陥検出効率の高い電位コントラスト像を取得することが可能な荷電粒子ビームによる検査技術を実現できる。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 3 0 】

以下、本発明の実施例について、図面を参照して詳述する。

【 0 0 3 1 】

(実施例1)

図1には、第1の実施例に係る検査装置の構成を示す。検査装置(検査SEM)は、室内が真空排気される検査室2と、検査室2内に試料としてのウエハ9を搬送するための予備室(本実施例では図示せず)を備えており、この予備室は、検査室2とは独立して真空排気できるように構成されている。また、検査装置は上記検査室2と予備室の他に制御部6、画像処理部5から構成されている。検査室2内は大別して、電子光学系3、帯電制御部、検出部7、試料室8、光学顕微鏡部4から構成されている。

【 0 0 3 2 】

電子光学系3は、電子源10、電子ビーム引き出し電極11、コンデンサレンズ12、

10

20

30

40

50

ブランキング用偏向器 13、走査偏向器 15、絞り 14、対物レンズ 16、反射板 17、 $E \times B$ 偏向器 18 から構成されている。検出部 7 のうち、検出器 20 が検査室 2 内の対物レンズ 16 の上方に配置されている。検出器 20 の出力信号は、検査室 2 の外に設置されたプリアンプ 21 で増幅され、AD 変換機 22 によりデジタルデータとなる。

【0033】

帯電制御部は、ステージに対向して設置した帯電制御電極 65、帯電制御電極制御部 66、帯電制御電源 67 から構成されている。

【0034】

検出部 7 は、真空排気された検査室 2 内の検出器 20、検査室 2 の外のプリアンプ 21、AD 変換器 22、光変換器 23、光ファイバ 24、電気変換器 25、高圧電源 26、プリアンプ駆動電源 27、AD 変換器駆動電源 28、逆バイアス電源 29 から構成されている。検出部 7 のうち、検出器 20 が検査室 2 内の対物レンズ 16 の上方に配置されている。検出器 20、プリアンプ 21、AD 変換器 22、光変換器 23、プリアンプ駆動電源 27、AD 変換器駆動電源 28 は、高圧電源 26 により正の電位にフローティングしている。

【0035】

試料室 8 は、試料台 30、X ステージ 31、Y ステージ 32、回転ステージ 33、位置モニタ用測長器 34、光学式高さ測定器 35 から構成されている。

【0036】

光学顕微鏡部 4 は、検査室 2 の室内における電子光学系 3 の近傍にあって、互いに影響を及ぼさない程度離れた位置に設備されており、電子光学系 3 と光学顕微鏡部 4 の間の距離は既知である。そして、X ステージ 31 または Y ステージ 32 が、電子光学系 3 と光学顕微鏡部 4 との間の既知の距離を往復移動するようになっている。光学顕微鏡部 4 は、光源 40、光学レンズ 41、CCD カメラ 42 により構成されている。

【0037】

装置各部の動作命令および動作条件は、制御部 6 から入出力される。制御部 6 には、あらかじめ電子ビーム発生時の加速電圧、電子ビーム偏向幅、偏向速度、検出装置の信号取り込みタイミング、試料台移動速度等々の条件が、目的に応じて任意にあるいは選択して設定できるよう入力されている。制御部 6 は、補正制御回路 43 を用いて、位置モニタ用測長器 34、光学式高さ測定器 35 の信号から位置や高さのずれをモニタし、その結果より補正信号を生成し、電子ビームが常に正しい位置に照射されるようレンズ電源 45 や走査偏向器 44 に補正信号を送る。

【0038】

ウエハ 9 の画像を取得するためには、細く絞った電子ビーム 19 を該ウエハ 9 に照射し、二次電子および後方散乱電子 51 を発生させ、これらを電子ビーム 19 の走査およびステージ 31、32 の移動と同期して検出することでウエハ 9 表面の画像を得る。

【0039】

電子源 10 には、拡散補給型の熱電界放出電子源が使用されている。この電子源 10 を用いることにより、従来の、例えばタングステン (W) フィラメント電子源や、冷電界放出型電子源に比べて安定した電子ビーム電流を確保することができるため、明るさ変動の少ない電位コントラスト像が得られる。電子ビーム 19 は、電子源 10 と引き出し電極 11 との間に電圧を印加することで電子源 10 から引き出される。電子ビーム 19 の加速は、電子源 10 に高電圧の負の電位を印加することでなされる。

【0040】

これにより、電子ビーム 19 は、その電位に相当するエネルギーで試料台 30 の方向に進み、コンデンサレンズ 12 で収束され、さらに対物レンズ 16 により細く絞られて試料台 30 上の X、Y ステージ 31、32 の上に搭載されたウエハ 9 に照射される。なお、ブランキング用偏向器 13 には、走査信号およびブランキング信号を発生する走査信号発生器 44 が接続され、コンデンサレンズ 12 および対物レンズ 16 には、各々レンズ電源 45 が接続されている。ウエハ 9 には、リターディング電源 36 により負の電圧 (リターデ

10

20

30

40

50

ィング電圧)を印加できるようになっている。このリターディング電源36の電圧を調節することにより一次電子ビームを減速し、電子源10の電位を変えずにウエハ9への電子ビーム照射エネルギーを最適な値に調節することができる。

【0041】

ウエハ9上に電子ビーム19を照射することによって発生した二次電子および後方散乱電子51は、ウエハ9に印加された負の電圧により加速される。ウエハ9上方に、 $E \times B$ 偏向器18が配置され、これにより加速された二次電子および後方散乱電子51は所定の方向へ偏向される。 $E \times B$ 偏向器18にかける電圧と磁界の強度により、偏向量を調整することができる。また、この電磁界は、試料に印加した負の電圧に連動させて可変させることができる。 $E \times B$ 偏向器18により偏向された二次電子および後方散乱電子51は、
10 所定の条件で反射板17に衝突する。この反射板17に加速された二次電子および後方散乱電子51が衝突すると、反射板17からは第二の二次電子および後方散乱電子52が発生する。

【0042】

上記反射板17に衝突して発生した第二の二次電子および後方散乱電子52は、この吸引電界により検出器20に導かれる。検出器20は、電子ビーム19がウエハ9に照射されている間に発生した二次電子および後方散乱電子51がその後加速されて反射板17に衝突して発生した第二の二次電子および後方散乱電子52を、電子ビーム19の走査のタイミングと連動して検出するように構成されている。検出器20の出力信号は、検査室2
20 の外に設置されたプリアンプ21で増幅され、AD変換器22によりデジタルデータとなる。AD変換器22は、検出器20が検出したアナログ信号をプリアンプ21によって増幅された後に直ちにデジタル信号に変換して、画像処理部5に伝送するように構成されている。検出したアナログ信号を検出直後にデジタル化してから伝送するので、高速で且つSN比の高い信号を得ることができる。なお、ここでの検出器20として、例えば、半導体検出器を用いてもよい。

【0043】

X、Yステージ31、32上にはウエハ9が搭載されており、検査実行時にはX、Yステージ31、32を静止させて電子ビーム19を二次元に走査する方法と、検査実行時にX、Yステージ31、32をY方向に連続して一定速度で移動されるようにして電子ビーム19をX方向に直線に走査する方法のいずれかを選択できる。ある特定の比較的小さい
30 領域を検査する場合には前者のステージを静止させて検査する方法、比較的広い領域を検査するときは、ステージを連続的に一定速度で移動して検査する方法が有効である。なお、電子ビーム19をブランキングする必要がある時には、ブランキング用偏向器13により電子ビーム19が偏向されて、電子ビームが絞り14を通過しないように制御できる。

【0044】

位置モニタ用測長器34として、本実施例ではレーザ干渉による測長計を用いた。Xステージ31およびYステージ32の位置が実時間でモニタでき、制御部6に転送されるようになっている。また、Xステージ31、Yステージ32、そして回転ステージ33のモータの回転数等のデータも同様に各々のドライバから制御部6に転送されるように構成されており、制御部6はこれらのデータに基いて電子ビーム19が照射されている領域や位置
40 が正確に把握できるようになっており、必要に応じて実時間で電子ビーム19の照射位置の位置ずれを補正制御回路43より補正するようになっている。また、ウエハ毎に、電子ビームを照射した領域を記憶できるようになっている。

【0045】

光学式高さ測定器35は、電子ビーム以外の測定方式である光学式測定器、例えばレーザ干渉測定器や反射光の位置で変化を測定する反射光式測定器が使用されており、X、Yステージ上31、32に搭載されたウエハ9の高さを実時間で測定するように構成されている。本実施例では、光源37から照射される白色光をウエハ9に照射し、反射光の位置を位置検出モニタにて検出し、位置の変動から高さの変化量を算出する方式を用いた。この光学式高さ測定器35の測定データに基いて、電子ビーム19を細く絞るための対物レ
50

レンズ 16 の焦点距離がダイナミックに補正され、常に非検査領域に焦点が合った電子ビーム 19 を照射できるようになっている。また、ウエハ 9 の反りや高さ歪みを電子ビーム照射前に予め測定しており、そのデータをもとに対物レンズ 16 の検査領域毎の補正条件を設定するように構成することも可能である。

【0046】

画像処理部 5 は、画像記憶部 46、計算機 48、モニタ 50 により構成されている。上記検出器 20 で検出されたウエハ 9 の画像信号は、プリアンプ 21 で増幅され、A/D 変換器 22 でデジタル化された後に光変換器 23 で光信号に変換され、光ファイバ 24 によって伝送され、電気変換器 25 にて再び電気信号に変換された後に画像記憶部 46 に記憶される。

10

【0047】

画像形成における電子ビームの照射条件および、検出系の各種検出条件は、あらかじめ検査条件設定時に設定され、ファイル化されてデータベースに登録されている。

【0048】

次に、図 1 で示した検査装置を用いて検査を行った手順を、図 2 A に示すフローを用いて説明する。

【0049】

まず、ステップ 201 において、ウエハが任意の棚に設置されたウエハカセットを置く。モニタ 50 より、検査すべきウエハを指定するために、該ウエハがセットされたカセット内棚番号を指定する。そしてステップ 202 において、モニタ 50 より、各種検査条件を入力する。検査条件入力内容としては、電子ビーム電流、電子ビーム照射エネルギー、一画面の視野サイズ (FOV、Field of view)、リターディング電源 36 の電位、帯電制御電極 65 の電位等である。個々のパラメータを入力することも可能であるが、通常は上記各種検査パラメータの組合せが検査条件ファイルとしてデータベース化されており、それら範囲に応じた検査条件ファイルを選択して入力するだけでよい。

20

【0050】

ステップ 203 において、自動検査をスタートすると、まず、ステップ 204 で、設定されたウエハ 9 を試料交換室 62 から検査装置内にロードする。ウエハ搬送系においては、ウエハ 9 の直径が異なる場合にも、ウエハ形状がオリエンテーションフラット型あるいはノッチ型のように異なる場合にも、ウエハ 9 を載置するためのホルダを、ウエハの大きさや形状にあわせて交換することにより対応できるようになっている。該ウエハ 9 は、ウエハカセットからアーム、予備真空室等を含むウエハロードによりホルダ上に載置され、保持固定されてホルダとともにウエハロード内で真空排気され、既に真空排気系で真空になっている検査室 2 に搬送される。

30

【0051】

ウエハがロードされたら、ステップ 205 において、上記入力された検査条件に基づき、制御部 6 より各部に電子ビーム照射条件が設定される。そして、ウエハホルダ上の第一のビーム校正用パターンが電子光学系下にくるようにステージ 32 が移動し、該ビーム校正用パターンの電位コントラスト像を取得し、該電位コントラスト像より焦点・非点を合わせる。そして、被検査ウエハ 9 上の所定の箇所に移動し、ウエハ 9 の電位コントラスト像を取得し、コントラスト等を調整する。ここで、電子ビーム照射条件等を変更する必要がある場合には、再度ビーム校正を実施することが可能である。また、光学式高さ測定器 35 により高さ情報と電子ビームの合焦点条件の相関を求め、この後の電位コントラスト像取得時には毎回焦点合わせを実行することなく、ウエハ高さ検出の結果より合焦点条件に自動的に調整することも可能である。

40

【0052】

ステップ 206 では、セットされたウエハ 9 は、光学顕微鏡部 4 でアラインメント用の第一の座標を観察するために、X、Y ステージ 31、32 により移動される。モニタ 50 によりウエハ 9 上に形成されたアラインメントパターンの光学顕微鏡画像が観察され、予め記憶された同じパターン画像と比較し、第一の座標の位置補正值が算出される。次に第一

50

の座標から一定距離離れ第一の座標と同等の回路パターンが存在する第二の座標に移動し、同様に光学顕微鏡画像が観察され、アライメント用に記憶された回路パターン画像と比較され、第二の座標の位置補正值および第一の座標に対する回転ずれ量が算出される。

【0053】

以上のようにして、光学顕微鏡部4による所定の補正作業や検査領域設定等の準備作業が完了すると、X、Yステージ31、32の移動により、ウエハ9が電子光学系3の下に移動される。ウエハ9が電子光学系3の下に配置されると、上記光学顕微鏡部4により実施されたアライメント作業と同様の作業を電位コントラスト像により実施する。この際の電位コントラスト像の取得は、次の方法でなされる。上記光学顕微鏡画像による位置合せにおいて記憶され補正された座標値に基づき、光学顕微鏡部4で観察されたものと同じ回路パターンに、電子ビーム19が走査偏向器15によりXY方向に二次元に走査されて照射される。この電子ビームの二次元走査により、被観察部位から発生する二次電子および後方散乱電子51が上記の放出電子検出のための各部の構成および作用によって検出されることにより、電位コントラスト像が取得される。既に光学顕微鏡画像により簡便な検査位置確認や位置合せ、および位置調整が実施され、且つ回転補正も予め実施されているため、光学画像に比べ分解能が高く高倍率で高精度に位置合せや位置補正、回転補正を実施することができる。なお、電子ビーム19をウエハ9に照射すると、その箇所が帯電する。検査の際にその帯電の影響を避けるために、上記位置回転補正あるいは検査領域設定等の検査前準備作業において電子ビーム19を照射する回路パターンは予め被検査領域外に存在する回路パターンを選択するか、あるいは被検査チップ以外のチップにおける同等の回路パターンを制御部6から自動的に選択できるようにしておく。このようにして行ったアライメント結果は、各制御部に転送される。検査の際は、各制御部によって回転や位置座標が補正される。

10

20

【0054】

ステップ207において、ウエハの指定領域に移動させる。その後、図2Bに示すように、検査条件最適化フロー200(ステップ208~220)で検査の最適条件を決定する。ここでは、検査条件の一つ、帯電制御電極65の電位V_{cc}を例にとって説明するが、他の条件、電子ビームエネルギー、リターディング電位等でも同様である。まず、ステップ208でV_{cc}の最小値V₁、最大値V₂、および変化させる刻み幅ΔVを入力する。ステップ210で、V_{cc}の初期条件V_{cc}=V₁を入力し、ステップ211で画像を取得する。画像取得の際、信号値の補正(auto brightness and contrast control)は行わない。ステップ213で画像のヒストグラム算出、(式1)でガウスフィッティングを行う。ステップ214で、(式2)に基づくピーク分離判定を行う。ピークの分離が不可能であった場合、ステップ215でV_{cc}値を変化させる。ステップ216でこのV_{cc}値がステップ208で入力した範囲内であれば、ステップ211で再び画像を取得し、上記ステップを(211~216)を繰り返す。ステップ216でV_{cc}値がステップ208で入力した範囲外であれば、ステップ208で再度、範囲の入力が必要になる。このようにしてステップ220で検査条件を決定する。

30

【0055】

実際にこれらステップを実行した結果を示す。まず、ステップ208では、V₁=-8530V、V₂=-8420V、ΔV=10Vとした。得られた画像801~803およびヒストグラム804を、図8に示す。これらヒストグラムを、(式1)でフィッティングし、μ₁、μ₂、σ₁、σ₂を求め、図9に示す|μ₁-μ₂|/(σ₁+σ₂)のV_{cc}依存性が得られた。この結果から、(式2)のピーク分離条件(σ₁=1、σ₂=3)(図中、斜線で示す領域)を満たすV_{cc}=-8460Vを見つけることができた。

40

【0056】

次に、ステップ221でステップ205と同様にビーム校正を再び行う。ビーム校正が完了したら、ステップ222でキャリブレーションを行う。試料ホルダ上に載置された第二の校正用パターンに移動する。第二の校正用パターンは、信号強度を検査で得られる電位コントラスト像の信号に一致させるものである。そのパターンは、十分低抵抗(10³

50

以下)なコンタクトホールと十分高抵抗(10^{20} 以上)なコンタクトホールが加工されたパターンである。該パターンの電位コントラスト像を用いて十分な低抵抗部および高抵抗部の信号値を校正する。十分な高抵抗部はパターンの無い絶縁部を用いても良い。この結果をふまえて、ウエハ9上に移動し、ウエハ上のパターン箇所の電位コントラスト像を取得し、キャリブレーションを実施する。

【0057】

ステップ223において、検査を開始する。ステップ224において欠陥画像を取得し、ステップ225にて検出した欠陥の画像を保存する。検査が完了したら、ステップ226においてウエハをアンロードし、ステップ227において終了する。

【0058】

以上の検査方法により、従来問題になっていた検査の再現性や、欠陥検出感度の低下の問題を解決することが可能になり、再現性の良い、高感度な検査が可能になった。

【0059】

ここでは、検査条件の内、帯電制御電極65の電位を自動設定した実施例について述べたが、他の条件、電子ビーム電流、電子ビームエネルギー、リターディング電位等に関しても同様に設定可能である。

【0060】

本実施例では、ヒストグラムをフィッティングさせるのにガウス関数を用いたが、その関数以外のローレンツ関数等の孤立ピークを持つ関数を使用しても良い。

【0061】

検査条件の最適化を行う際、検査条件を変更する度に画像の取得を行うが、前条件での帯電やコンタミネーションの影響が無視できない場合がある。その場合、これらの影響を除去するために、紫外光照射を行っても良い。もしくは、検査条件を変更する度に、画像取得の場所を変更することを行っても良い。

【0062】

また、画像にシェーディングある場合、シェーディング補正を行った後に検査条件最適化フロー200を行うと良い。

【0063】

(実施例2)

本実施例では、実施例1と同様の方法で、電子ビームエネルギーE0を最適化した例について述べる。ウエハのダメージを考慮して、E0の最高値を1.5keVとした。検査条件最適化フロー200(図2B)で、Vccの代わりにE0を、V1、V2、Vをそれぞれ0keV、1.5keV、0.25keVとした。その結果、図11のような $|\mu_1 - \mu_2| / (\sigma_1 + \sigma_2)$ のE0依存性が得られた。この結果から、(式2)のピーク分離条件($\sigma_1 = 1$ 、 $\sigma_2 = 3$)を満たすE0 = 1.0keVを見つけることができた。

【0064】

(実施例3)

本実施例では、実施例1と同様の方法で、電子ビーム電流IPを最適化した例について述べる。検査条件最適化フロー200(図2B)で、Vccの代わりにIPを、V1、V2、Vをそれぞれ0nA、300nA、50nAとした。その結果、図12のような $|\mu_1 - \mu_2| / (\sigma_1 + \sigma_2)$ のIP依存性が得られた。この結果から、(式2)のピーク分離条件($\sigma_1 = 1$ 、 $\sigma_2 = 3$)を満たすIP = 100、150、200nAを見つけることができた。

【0065】

(実施例4)

図13の1101で示すようにパターン密度が少ない場合、見た目ではコントラストが良くてもヒストグラムを描くと、図14のように、パターン部に起因するピークは、SiO₂部の信号に埋もれてしまうことがわかった。そのため、実施例1で述べた方法では、最適条件を決定することができなかった。そこで、図13の右上図に示すように、パターンの領域1102の抽出と、最近接パターンの中間で、領域設定したパターンと同面積の

10

20

30

40

50

領域 1 1 0 3 の設定を行う。領域 1 1 0 2 の抽出は、図 1 3 の右下図に示すように、信号プロファイル 1 1 0 4 でピークの半値幅内の領域 1 1 0 5 とした。このような画像の抽出（信号抽出処理）を行った後に改めてヒストグラムを描いた結果、図 1 5 が得られた。ピークは 2 つに分離することが確認できた。また、信号抽出処理の前に、画像のシェーディング除去を行っても良い。

【 0 0 6 6 】

以上のことを行う検査条件最適フロー 3 0 0 を、図 3 に示す。ステップ 2 0 8 で V_{cc} の最小値 V_1 、最大値 V_2 、および変化させる刻み幅 V を入力する。ステップ 2 0 9 で、後のシェーディング除去、および信号抽出処理 2 1 9 の実行判定に用いる数値 N に値 0 を設定する。ステップ 2 1 0 で、 V_{cc} の初期条件 V_1 を入力し、ステップ 2 1 1 で画像を取得する。画像取得の際、信号値の補正（auto brightness and contrast control）は行わない。ステップ 2 1 2 で N 値の判定条件を行い、 $N = 0$ の場合、ステップ 2 1 3 で画像のヒストグラム算出、（式 1）でガウスフィッティングを行う。ステップ 2 1 4 で（式 2）に基づくピーク分離判定を行う。ピークの分離が不可能であった場合、ステップ 2 1 5 で V_{cc} 値を変化させる。ステップ 2 1 6 でこの V_{cc} 値がステップ 2 0 8 で入力した範囲内であれば、ステップ 2 1 1 で再び画像を取得し、上記ステップを（2 1 1 ~ 2 1 6）を繰り返す。ステップ 2 1 6 で V_{cc} 値がステップ 2 0 8 で入力した範囲外であれば、ステップ 2 1 7 で N に 1 を加え、ステップ 2 1 8 で $N = 1$ の判定をし、ステップ 2 1 0、2 1 1、2 1 2 へ進む。ステップ 2 1 2 では $N = 0$ でないので、ステップ 2 1 9 へ進む。ステップ 2 1 9 では、シェーディング処理、および信号抽出処理を行う。信号抽出処理の結果を用いて、ステップ 2 1 3 を行い、ステップ 2 1 4 のピーク分離条件判定を行う。ピーク分離ができていない場合、ステップ 2 1 5 へ進む。ピーク分離ができた場合は、ステップ 2 2 0 で検査条件が決定される。このように、図 2 A、2 B の検査方法で、検査条件最適化フロー 2 0 0 の代わりに、この検査条件最適化フロー 3 0 0 を適用することによって検査条件の最適化を行うことができた。

【 0 0 6 7 】

（実施例 5）

本実施例では、レビュー SEM を用いて、欠陥分類をおこなった例について説明する。

【 0 0 6 8 】

図 1 6 に、レビュー SEM の構成の一例を示す。本装置は、電子光学系 3 2 1、ステージ機構系 3 2 2、ウエハ搬送系 3 2 3、真空排気系 3 2 4、光学顕微鏡 3 2 5、制御系 3 2 6、操作部 3 2 7、帯電制御部より構成されている。

【 0 0 6 9 】

電子光学系 3 2 1 は、電子源 3 2 8、コンデンサレンズ 3 2 9、対物レンズ 3 3 0、第一の検出器 3 3 1、第二の検出器 3 3 2、偏向器 3 3 5、反射板 3 3 6、ウエハ高さ検出器 3 3 7 より構成されている。電子ビーム 3 5 2 をウエハ 3 5 1 に照射して発生する反射電子 3 5 3 および二次電子 3 5 4 は、それぞれ第一の検出器 3 3 1、第二の検出器 3 3 2 で検出される。

【 0 0 7 0 】

ステージ機構系 3 2 2 は、XY ステージ 3 3 8、および試料としてのウエハを載置するためのホルダ 3 3 9、ホルダ 3 3 9 およびウエハ 3 5 1 に負の電圧を印加するためのリターディング電源 3 4 0 より構成されている。XY ステージ 3 3 8 には、レーザ測長による位置検出器が取り付けられている。

【 0 0 7 1 】

ウエハ搬送系 3 2 3 はカセット載置部 3 4 1 とウエハローダ 3 4 2 より構成されており、ホルダ 3 3 9 はウエハ 3 5 1 を載置した状態でウエハローダ 3 4 2 と XY ステージ 3 3 8 を行き来するようになっている。

【 0 0 7 2 】

制御系 3 2 6 は、信号検出系制御部 3 4 3、ビーム偏向補正制御部 3 4 4、電子光学系制御部 3 4 5、ウエハ高さセンサ検出系 3 4 6、機構およびステージ制御部 3 4 7 より構

10

20

30

40

50

成されている。操作部 3 2 7 は、操作画面および操作部 3 4 8、画像処理部 3 4 9、画像・検査データ保存部 3 5 0 より構成されている。

【0073】

帯電制御部は、ステージに対向して設置した帯電制御電極 3 6 4、帯電制御電極制御部 3 6 5、帯電制御電源 3 6 6 から構成されている。

【0074】

次に、図 1 6 の各部の動作について、図 1 7 に示すフローを用いて説明する。

まず、ステップ 1 5 0 1 において、ウエハ 3 5 1 が任意の棚に設置されたウエハカセットを、ウエハ搬送系 3 2 3 におけるカセット載置部 3 4 1 に置く。次に、ステップ 1 5 0 2 において、操作画面 3 4 8 より、レビューすべきウエハ 3 5 1 を指定するために、該ウエハ 3 5 1 がセットされたカセット内棚番号を指定する。また、レビューにおいては、他の検査装置により検査を実施され、欠陥等の位置情報を含む検査結果情報をもとに電子線画像による観察を実行するため、操作画面および操作部 3 4 8 より検査結果ファイルを選択する。選択においては、ネットワーク等による通信で検査結果ファイルを読み込む場合や、記録媒体より検査結果ファイルを読み込むことが可能である。いずれの場合も、検査結果ファイル名を指定することにより、該検査結果の各種データをデータ入力部 3 5 6 に読み込み、データ変換部 3 5 7 によりレビュー S E M で用いているデータ形式および座標系に変換することがある。さらに、操作画面および操作部 3 4 8 より、レビュー条件ファイル名を入力する。このレビュー条件ファイルは、レビューの内容を決めるための各種パラメータを組み合わせで構成されたものである。レビューを実行するために必要な条件の入力を完了し、ステップ 1 5 0 3 において、自動レビューのシーケンスをスタートする。

【0075】

ステップ 1 5 0 3 において、レビューをスタートすると、まず、設定されたウエハ 3 5 1 をレビュー装置内に搬送する。ウエハ搬送系 3 2 3 においては、被検査ウエハの直径が異なる場合にも、ウエハ形状がオリエンテーションフラット型あるいはノッチ型のように異なる場合にも、ウエハ 3 5 1 を載置するホルダ 3 3 9 をウエハの大きさや形状にあわせて交換することにより対応できるようになっている。該被検査ウエハは、カセットからアーム、予備真空室等を含むウエハロード 3 4 2 によりホルダ 3 3 9 上に載置され、保持固定されてホルダとともに検査室に搬送される。

【0076】

ステップ 1 5 0 4 において、ウエハ 3 5 1 がロードされたら、ステップ 1 5 0 5 では、上記入力されたレビュー条件に基づき、電子光学系制御部 3 4 5 より各部に電子線照射条件が設定される。そして、ウエハ 3 5 1 の所定箇所の電子線画像を取得し、該画像より焦点・非点を合わせる。また、同時にウエハ 3 5 1 高さをウエハ高さ検出器 3 3 7 より求め、高さ情報と電子ビームの合焦点条件の相関を求め、この後の電子線画像取得時には毎回焦点合わせを実行することなく、ウエハ高さ検出の結果より合焦点条件に自動的に調整する。これにより、高速連続電子線画像取得が可能になった。

【0077】

電子線照射条件および焦点・非点調整が完了したら、ステップ 1 5 0 6 において、ウエハ上の 2 点によりアライメントを実施する。

【0078】

その後、ステップ 1 5 0 7 でウエハ内のパターンに移動し、実施例 1、4 と同様の検査条件最適化フロー 2 0 0 (図 2 B) もしくは 3 0 0 (図 3) を行う。その後、再度ビーム校正 1 5 0 8 を行う。

【0079】

ステップ 1 5 0 9 において、アライメント結果に基づき回転や座標値を補正し、既に読み込んだ検査結果ファイルの各種情報に基づき、レビューすべき欠陥の位置に移動する。

【0080】

欠陥位置に移動したら、ステップ 1 5 1 0 でビーム照射、ステップ 1 5 1 1 で画像取得を行う。ステップ 1 5 1 2 において、取得された高倍率画像は、必要に応じて画像・デー

10

20

30

40

50

タ保存部 350 に保存される。予め保存する、保存しないをレビュー条件ファイルで設定しておことや、必要に応じて、複数の検出器による複数種類の画像を、設定に応じて同時に保存することが可能である。例えば、第二の検出器 332 で検出された二次電子による画像と、第一の検出器 331 で検出された反射電子による画像を同時に保存することが可能である。

【0081】

ステップ 1512 において、画像を保存すると同時に、画像処理部 349 では画像情報より欠陥の特徴を抽出して、欠陥の内容を自動的に分類する。分類された結果を、例えば 0 ~ 255 の数値にコード化し、該コード番号を検査結果ファイルのなかの欠陥分類コードに対応する箇所に書き込む。上記、欠陥レビュー操作を、ステップ 1516 で繰返す。1 枚のウエハにおいて、レビュー実施を指定された欠陥全部について上記一連の動作が完了したら、ステップ 1513 で該ウエハの検査結果ファイル（分類結果を書き込まれたファイル）を自動的に保存し、指定された先に該検査結果ファイルを出力する。その後、ステップ 1514 において、ウエハをアンロードし、ステップ 1515 においてレビューを終了する。

10

【0082】

本方法を用いることにより、検査 SEM で検出した欠陥を 100% レビューし、分類することが可能になった。

【0083】

本実施例では、検査条件最適化フロー 200、もしくは 300 でヒストグラムをフィッティングさせるのにガウス関数を用いたが、その関数以外のローレンツ関数等の孤立ピークを持つ関数を使用しても良い。

20

【0084】

また、画像にシェーディングある場合、シェーディング補正を行った後に検査条件最適化フロー 200、もしくは 300 を行うと良い。もしくは、シェーディングの発生していない領域を指定し、その領域に対して検査条件最適化フロー 200、もしくは 300 を行ってもよい。

【0085】

検査条件の最適化を行う際、検査条件を変更する度に画像の取得を行うが、前条件での帯電やコンタミネーションの影響が無視できない場合がある。その場合、これらの影響を除去するために、紫外光照射を行っても良い。もしくは、検査条件を変更する度に、画像取得の場所を変更することを行っても良い。

30

【0086】

（実施例 6）

実施例 1 ~ 5 の検査条件最適化フロー 200（図 2B）、300（図 3）において、検査条件を変化させる際、条件変化の刻み幅を複数回変化させることによって、高速な条件設定が可能になった例について述べる。本実施例では、検査条件のうち、帯電制御電源 67（検査 SEM）、もしくは 366（レビュー SEM）の値 V_{cc} を最適化した。まず、 V_{cc} 値の刻み幅 V を 40 V とし検査条件最適化フロー 200、もしくは 300 を行った。画像のヒストグラムを（式 1）でフィッティングし、図 18 に示す $|\mu_1 - \mu_2| / (\mu_1 + \mu_2)$ の V_{cc} 依存性を得た。刻み幅 V が大きい為、（式 2）（ $\mu_1 = 1$ 、 $\mu_2 = 3$ ）を満たす条件の決定はできなかったが、その条件に近い V_{cc} 条件 2002、2001 を見つけることができた。次に、これら条件の間で、 V を小さい値 10 V とし、再度検査条件最適化フローを行った。その結果、図 19 に示すように、（式 2）を満たす条件 2101、2102 を見つけることができた。条件が 2 つ以上見つかった場合、 V_{cc} の平均値を最適条件と見なした。このような方法を取ることによって、初めから V に小さい値を用いるよりも高速に検査条件を最適化することが可能になった。

40

【0087】

（実施例 7）

ウエハ内に複数種類のパターンがある場合、検査条件が 1 つに定まらない場合が生ずる

50

。本実施例では、その場合の検査条件決定方法について述べる。

【0088】

図20のウエハ1901のダイ1902には領域1903、1904に、それぞれパターン1905、1906が加工してある。検査条件最適化フロー200、300の方法で、帯電制御電源67の電位 V_{cc} に対して検査条件最適化を行った結果、検査条件がパターン依存性を持った。パターン1905では $V_{cc} = -8460V$ 、パターン1906では $V_{cc} = -8440V$ が最適条件となった。この場合、(1)検査条件の平均値を用いる、(2)それぞれのパターンで検査条件を変えて複数回実行する、という方法を必要に応じて選択することができる。方法(1)では、検査条件が最適値から少しずれるので若干感度が低下するが、全面を同一条件で検査するので検査時間が短いという利点があった。一方、方法(2)では、それぞれのパターンで検査条件が最適化されているので高感度な検査が可能だが、二回に分けて検査する必要があるので検査時間が長くなった。

10

【0089】

(実施例8)

実施例1~7のように検査条件最適化を行ったデータを用いて、その検査条件をデータベース化することで、検査条件設定の高速化を行うことができた。

【0090】

データベースの一例を、図21、図22に示す。図16はパターンの断面図で、1601はSi基板、1602はpn接合、1603はコンタクトホールに埋め込んだプラグ、1604はコンタクトホール、1605は SiO_2 である。ここでは、パターンを決定する代表的な項目、プラグ1603の有無、(コンタクトホール1604の)アスペクト比、pn接合1602の有無で分類した。その結果、図23のように検査条件をまとめることができた。ここで、検査条件は、以下(1)~(3)の通りである。

20

(1) $V_{ac} = -10kV$ 、 $V_r = -9.5kV$ 、 $V_{cc} = -5kV$

(2) $V_{ac} = -10kV$ 、 $V_r = -8.5kV$ 、 $V_{cc} = -8.7kV$

(3) $V_{ac} = -10kV$ 、 $V_r = -8.5kV$ 、 $V_{cc} = -8.8kV$

ただし、 V_{ac} は電子源10電位、 V_r はリターディング電源36の電位、 V_{cc} は帯電制御電極65の電位である。

【0091】

次に、このデータベースを用いて、ウエハの検査を行った。図18は、検査ウエハの断面構造で、データベース図17に当てはめると、プラグ埋め込み無し、低アスペクト比、pn接合有りなので検査条件(1)を選択した。この条件で検査を行った結果、高感度に導通欠陥を検出することができた。データベースを用いて検査条件を選択するので、検査条件最適化フロー200(図2B)、300(図3)を用いるよりも高速に検査条件の最適化が可能になった。

30

【0092】

上述した実施例では、検査SEMについてのものであるが、他のSEM(例えば、レビユーSEM、CD-SEM)でも同様の方法で、条件設定を行うことができる。また、電子ビームを用いた検査装置を例にして詳述したが、本発明の基本的な考え方は、電子ビームに限らず、イオンビーム等を用いた検査装置についても同様に適用可能である。

40

【0093】

以上詳述したように、本発明によれば、回路パターンを有する半導体装置等の部分的に完成した基板の検査において、従来、検査条件の設定をオペレーターの経験に頼っていた為、欠陥検出結果に再現性が無く、また必ずしも高感度な検査条件が設定できなかった、という問題を解決することができる。また、検査条件設定の自動化により、条件設定までの時間を短縮させることが可能になる。さらに、再現よく高精度に最適条件を設定できるようになるので、検査装置の欠陥検出感度が向上し、これにより高感度に半導体製品をモニタできるようになる。

【図面の簡単な説明】

【0094】

50

- 【図 1】本発明の第 1 の実施例に用いる検査 S E M の装置構成を説明する図。
- 【図 2 A】本発明の第 1 の実施例における検査フローの一例を説明する図。
- 【図 2 B】図 2 A における検査条件最適化フローの一例を説明する図。
- 【図 3】図 2 A における検査条件最適化フローの別の例を説明する図。
- 【図 4】電位コントラスト像取得原理を説明する図。
- 【図 5】正帯電コントラスト像取得原理を説明する図。
- 【図 6】負帯電コントラスト像取得原理を説明する図。
- 【図 7】本発明における、電位コントラスト像およびそのヒストグラムを説明する図。
- 【図 8】本発明における、電位コントラスト像およびそのヒストグラムの V_{cc} 依存性を説明する図。
- 【図 9】本発明における、最適な検査条件を決定するための図。
- 【図 10】本発明における、欠陥検出数の V_{cc} 依存性を説明する図。
- 【図 11】本発明の第 2 の実施例における、最適な電子ビーム入射エネルギー E_0 を決定するための図。
- 【図 12】本発明の第 3 の実施例における、最適な電子ビーム電流 I_P を決定するための図。
- 【図 13】本発明の第 4 の実施例における、パターンが少ないウエハの電位コントラスト像および検査条件最適化のための画像処理原理を説明する図。
- 【図 14】図 13 における、パターンが少ないウエハの電位コントラスト像のヒストグラムを説明する図。
- 【図 15】図 13 における、パターンが少ないウエハの電位コントラスト像を画像処理した後のヒストグラムを説明する図。
- 【図 16】本発明の第 5 の実施例に用いるレビュー S E M の装置構成を説明する図。
- 【図 17】本発明の第 5 の実施例における、検査方法の一例を示す図。
- 【図 18】本発明の第 6 の実施例における、最適な V_{cc} 値を決定するための図。
- 【図 19】本発明の第 6 の実施例における、検査条件最適化フローによる V_{cc} 値を決定するための図。
- 【図 20】本発明の第 7 の実施例における、複数のパターンが加工されたウエハを示す図。

- 【図 21】本発明の第 8 の実施例における、パターンの断面構造を示す図。
- 【図 22】図 21 における、検査条件のデータベースを説明する図。
- 【図 23】本発明の第 8 の実施例における、検査ウエハの断面構造を示す図。

【符号の説明】

【0095】

2 ... 検査室、3 ... 電子光学系、4 ... 光学顕微鏡部、5 ... 画像処理部、6 ... 制御部、7 ... 検出部、8 ... 試料室、9 ... ウエハ、10 ... 電子源、11 ... 引き出し電極、12 ... コンデンサレンズ、13 ... ブランキング偏向器、14 ... 絞り、15 ... 走査偏向器、16 ... 対物レンズ、17 ... 反射板、18 ... $E \times B$ 偏向器、19 ... 電子ビーム、20 ... 検出器、21 ... プリアンプ、22 ... A/D 変換器、23 ... 光変換器、24 ... 光ファイバ、25 ... 電気変換器、26 ... 高圧電源、27 ... プリアンプ駆動電源、28 ... A/D 変換器駆動電源、29 ... 逆バイアス電源、30 ... 試料台、31 ... X ステージ、32 ... Y ステージ、33 ... 回転ステージ、34 ... 位置モニタ測長器、35 ... 光学式高さ測定器、36 ... リターディング電源、37 ... 光源、40 ... 光源、41 ... 光学レンズ、42 ... CCD カメラ、43 ... 補正制御回路、44 ... 走査信号発生器、45 ... レンズ電源、46 ... 画像記憶部、48 ... 計算機、50 ... モニタ、51 ... 二次電子および後方散乱電子、52 ... 第二の二次電子および後方散乱電子、62 ... 試料交換室、65 ... 帯電制御電極、66 ... 帯電制御電極制御部、67 ... 帯電制御電源、321 ... 電子光学系、322 ... ステージ機構系、323 ... ウエハ搬送系、324 ... 真空排気系、325 ... 光学顕微鏡、326 ... 制御系、327 ... 操作部、328 ... 電子源、329 ... コンデンサレンズ、330 ... 対物レンズ、331 ... 第一の検出器、332 ... 第二の検出器、335 ... 偏向器、336 ... 反射板、337 ... ウエハ高さ検出系、338 ... X Y ステージ

10

20

30

40

50

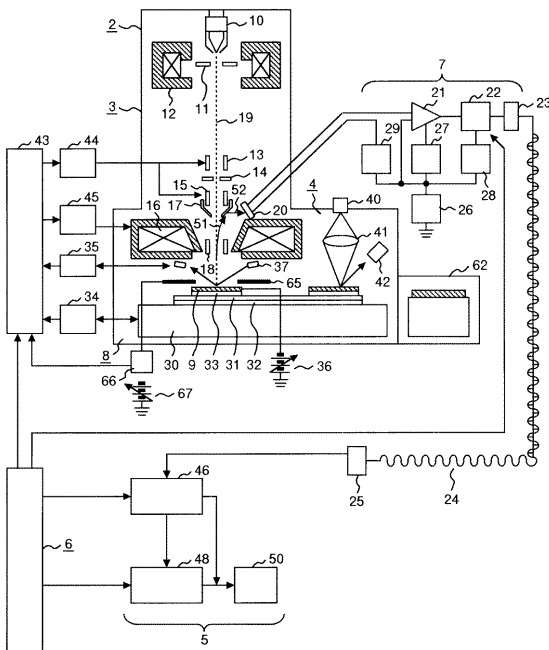
... 3 3 9 ... ホルダ、3 4 0 ... リターディング電源、3 4 1 ... カセット載置部、3 4 2 ... ウエハローダ、3 4 3 ... 信号検出系制御部、3 4 4 ... ビーム偏向補正制御部、3 4 5 ... 電子光学系制御部、3 4 6 ... ウエハ高さセンサ検出系、3 4 7 ... 機構およびステージ制御部、3 4 8 ... 操作画面および操作部、3 4 9 ... 画像処理部、3 5 0 ... データ保存部、3 5 1 ... ウエハ、3 5 2 ... 一次電子ビーム、3 5 3 ... 反射電子、3 5 4 ... 二次電子、3 5 6 ... データ入力部、3 5 7 ... データ変換部、3 6 4 ... 帯電制御電極、3 6 5 ... 帯電制御電極制御部、3 6 6 ... 帯電制御電源、4 0 1 ... 正常部、4 0 2 ... 導通欠陥、4 0 3 ... ショート欠陥、4 0 4 ... Si ウエハ、4 0 5 酸化膜、4 0 6 ... リターディング電源、4 0 7 ... 帯電制御電極、4 0 8 ... 帯電制御電極、4 0 9 ... 二次電子、4 1 0 ... 一次電子、5 0 1 ... 正の電位ポテンシャル、5 0 2 ... 二次電子、5 0 3 ... 二次電子の低エネルギー成分、5 0 4 ... 二次電子、5 0 5 ... 電位コントラスト、6 0 1 ... 負の電位ポテンシャル、6 0 2 ... 二次電子、6 0 3 ... 二次電子、6 0 4 ... 二次電子、6 0 5 ... 電位コントラスト、7 0 1 ... 酸化膜部に起因するヒストグラムのピーク、7 0 2 ... パターン部に起因するヒストグラムのピーク、7 0 3 ... 電位コントラスト像、7 0 4 ... ヒストグラム、8 0 1 ... 電位コントラスト像、8 0 2 ... 電位コントラスト像、8 0 3 ... 電位コントラスト像、8 0 4 ... ヒストグラム、1 1 0 1 ... 電位コントラスト像、1 1 0 2 ... 抽出したパターン、1 1 0 3 ... 抽出した絶縁膜部、1 1 0 4 ... 信号プロファイル、1 1 0 5 ... 抽出したパターン、1 6 0 1 ... Si 基板、1 6 0 2 ... pn 接合、1 6 0 3 ... プラグ、1 6 0 4 ... コンタクトホール、1 6 0 5 ... SiO₂、1 9 0 1 ... ウエハ、1 9 0 2 ... ダイ、1 9 0 3 ... 加工領域、1 9 0 4 ... 加工領域、1 9 0 5 ... パターン、1 9 0 6 ... パターン。

10

20

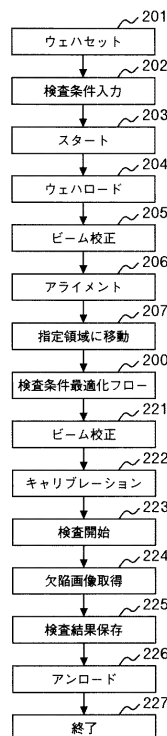
【図 1】

図 1



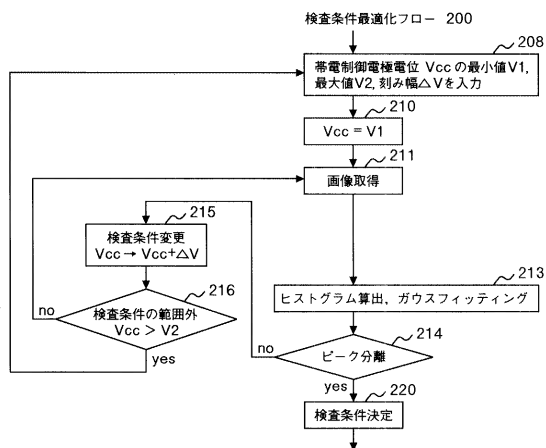
【図 2 A】

図 2 A



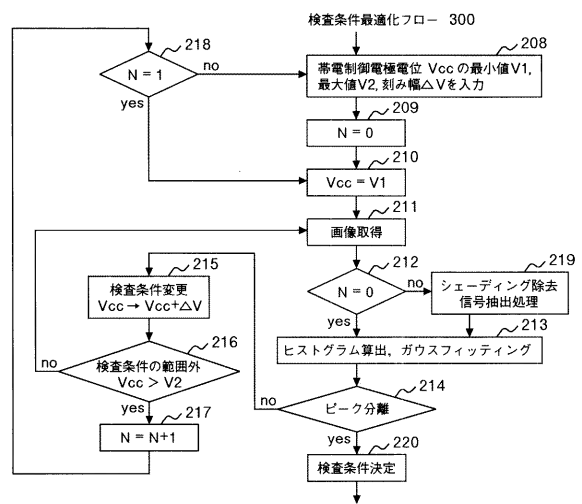
【図 2 B】

図 2 B



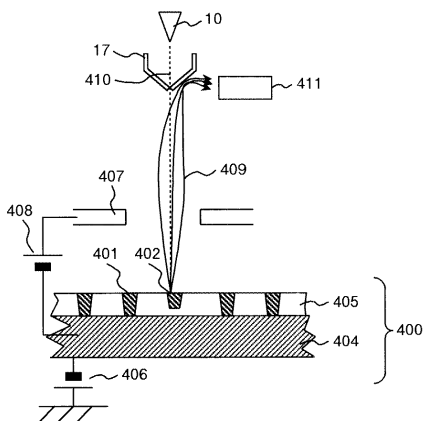
【図 3】

図 3



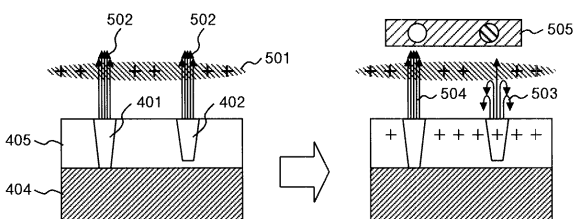
【図 4】

図 4



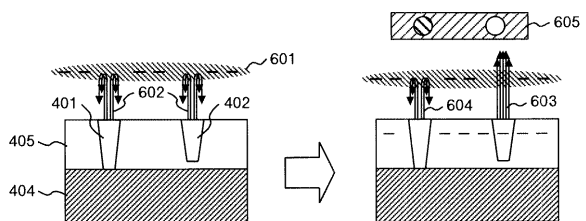
【図 5】

図 5



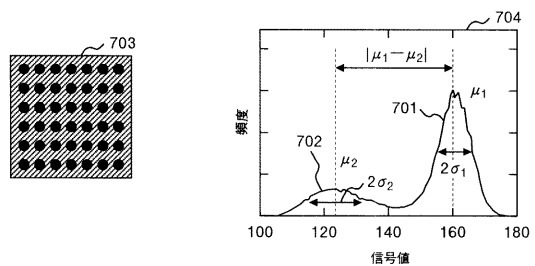
【図 6】

図 6



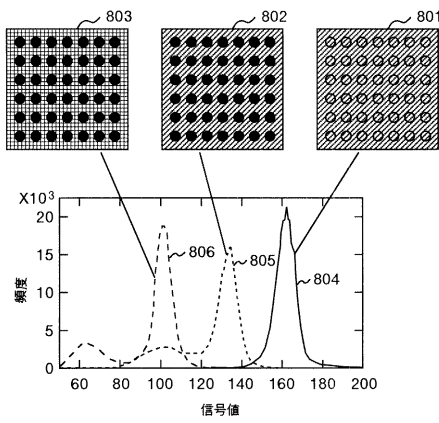
【図 7】

図 7



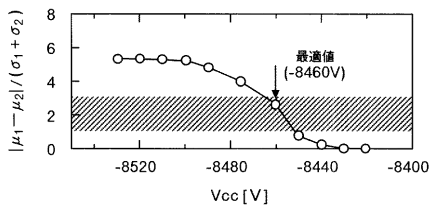
【図 8】

図 8



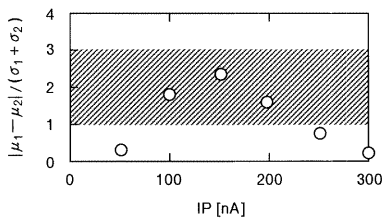
【図 9】

図 9



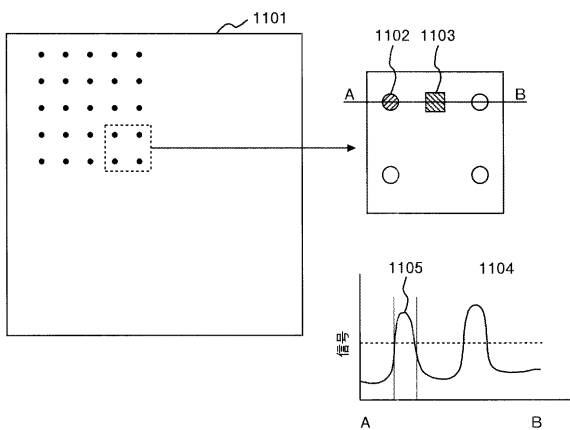
【図 1 2】

図 1 2



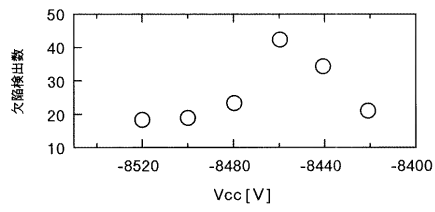
【図 1 3】

図 1 3



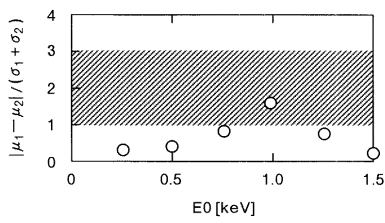
【図 1 0】

図 1 0



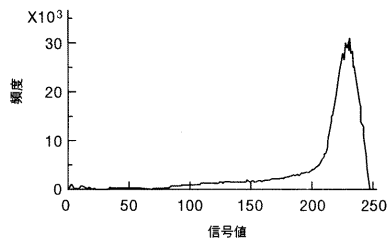
【図 1 1】

図 1 1



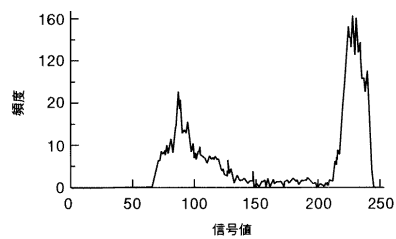
【図 1 4】

図 1 4



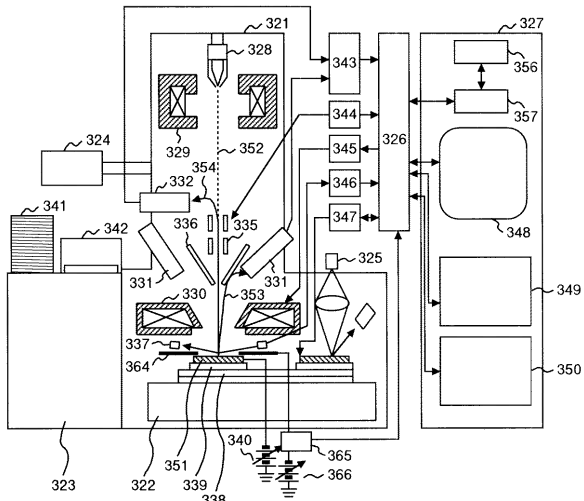
【図 1 5】

図 1 5



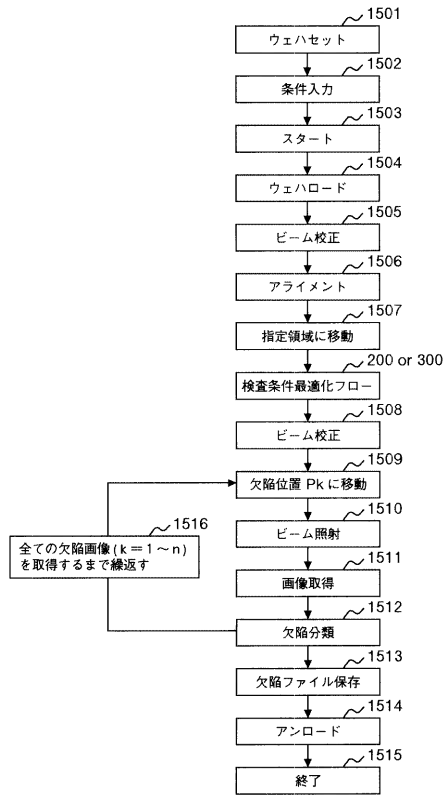
【図 16】

図 16



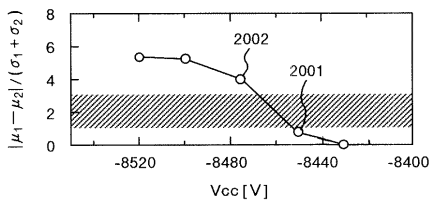
【図 17】

図 17



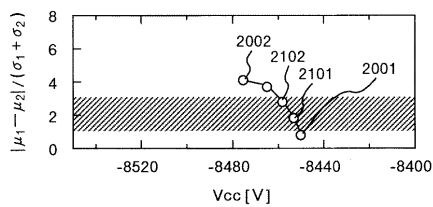
【図 18】

図 18



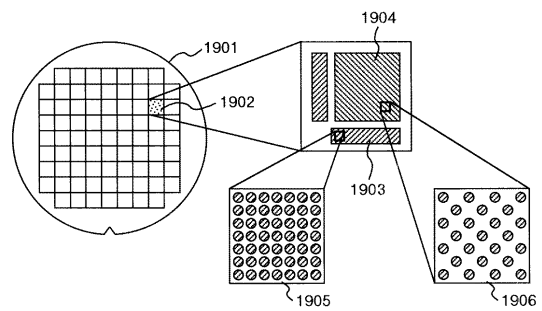
【図 19】

図 19



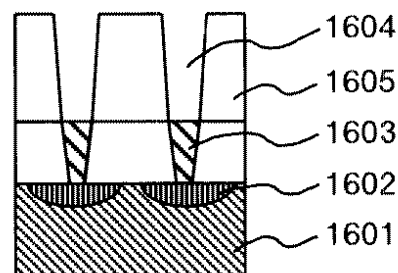
【図 20】

図 20



【図 21】

図 21



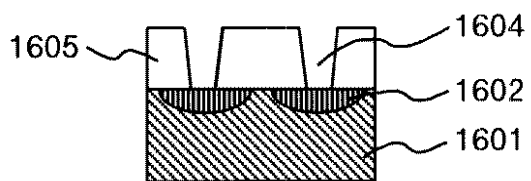
【図 2 2】

図 2 2

プラグ 埋込み有り	アスペクト比 7以上	pn 接合有	検査条件
X	X	X	①
X	X	○	
X	○	X	②
X	○	○	
○	X	X	①
○	X	○	③
○	○	X	
○	○	○	

【図 2 3】

図 2 3



フロントページの続き

F ターム(参考) 4M106 AA01 AA02 BA02 BA14 CA39 DB05 DB21 DJ18 DJ20
5C033 UU03 UU05 UU06 UU10