(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第6604751号
(P6604751)

(45)発行日　令和1年11月13日(2019.11.13)　(24)登録日　令和1年10月25日(2019.10.25)

(51)Int.Cl.		F I		
G01N 23/2251	(2018.01)	G01N	23/2251	
G01N 23/203	(2006.01)	G01N	23/203	
G01B 15/08	(2006.01)	G01B	15/08	
H01J 37/244	(2006.01)	H01J	37/244	
H01J 37/28	(2006.01)	H01J	37/28	B

請求項の数 10　(全 26 頁)　最終頁に続く

(21)出願番号　特願2015-122678(P2015-122678)
(22)出願日　平成27年6月18日(2015.6.18)
(65)公開番号　特開2017-9334(P2017-9334A)
(43)公開日　平成29年1月12日(2017.1.12)
審査請求日　平成30年5月29日(2018.5.29)

(73)特許権者　591012668
株式会社ホロン
東京都新宿区新宿２丁目５番５号
(74)代理人　100089141
弁理士　岡田　守弘
(72)発明者　山田　恵三
埼玉県所沢市南永井１０２６－１　株式会社ホロン内

審査官　藤田　都志行

最終頁に続く

(54)【発明の名称】電子を用いた超高速検査装置および電子を用いた超高速検査方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
電子を試料に照射して当該試料から放出あるいは反射された電子を用いた超高速検査装置において、
電子を試料の所定領域に照射する照射手段と、
前記所定領域に電子を照射したときに、当該所定領域の測定対象の３次元構造に依存して３次元空間に放出される電子あるいは反射される電子の３次元角度分布情報、３次元強度分布情報、あるいは３次元エネルギー分布情報を検出する１つ以上の電子検出装置と、
前記電子検出装置で検出された電子の３次元角度分布情報、３次元強度分布情報、あるいは３次元エネルギー分布情報の１つ以上と、当該試料の所定領域の３次元基準情報とを照合する照合手段と、
前記照合手段によって照合した結果を出力する手段と
を備えたことを特徴とする電子を用いた超高速検査装置。
【請求項２】
前記３次元基準情報は、電子の３次元角度分布情報、３次元強度分布情報、あるいは３次元エネルギー分布情報の１つ以上としたことを特徴とする請求項１記載の電子を用いた超高速検査装置。
【請求項３】
前記試料の所定領域の３次元基準情報は、前記試料の所定領域に隣接する同じ所定領域の３次元基準情報、あるいは前記試料の所定領域の欠陥がない場合の当該所定領域の３次

元基準情報、あるいは前記試料のＣＡＤデータの所定領域の欠陥がない場合の当該所定領域の３次元基準情報としたことを特徴とする請求項１あるいは請求項２に記載の電子を用いた超高速検査装置。
【請求項４】
前記電子検出装置の検出面は、光軸に対して直角方向に配置し、当該光軸の中心に１次電子の通過する穴を有し、かつ円周方向および半径方向に対称に複数に分割したことを特徴とする請求項１から請求項３のいずれか１に記載の電子を用いた超高速検査装置。
【請求項５】
前記電子検出装置で検出した電子の３次元角度分布情報、３次元強度分布情報、あるいは３次元エネルギー分布情報は当該電子検出装置を構成する分割した各検出面で検出した信号の総量で規格化し、ノイズ低減したことを特徴とする請求項１から請求項４のいずれか１に記載の電子を用いた超高速検査装置。
【請求項６】
前記電子を試料の前記所定領域に照射および移動を繰り返し、あるいは照射しつつ移動し、当該試料上に形成されたパターンの欠陥を検査することを特徴とする請求項１から請求項５のいずれか１に記載の電子を用いた超高速検査装置。
【請求項７】
前記所定領域は１ｎｍないし数μｍ平方としたことを特徴とする請求項１から請求項６のいずれか１に記載の電子を用いた超高速検査装置。
【請求項８】
前記照合した結果は、照合して欠陥と判明した当該欠陥の位置座標であることを特徴とする請求項１から請求項７のいずれか１に記載の電子を用いた超高速検査装置。
【請求項９】
電子を試料に照射して当該試料から放出あるいは反射された電子を用いた超高速検査方法において、
電子を試料の所定領域に照射する照射ステップと、
前記所定領域に電子を照射したときに、当該所定領域の測定対象の３次元構造に依存して３次元空間に放出される電子あるいは反射される電子の３次元角度分布情報、３次元強度分布情報、あるいは３次元エネルギー分布情報を１つ以上の電子検出装置によって検出する電子検出ステップと、
前記電子検出装置で検出された電子の３次元角度分布情報、３次元強度分布情報、あるいは３次元エネルギー分布情報の１つ以上と、当該試料の所定領域の３次元基準情報とを照合する照合ステップと、
前記照合手段によって照合した結果を出力するステップと
を有することを特徴とする電子を用いた超高速検査方法。
【請求項１０】
前記照合した結果は、照合して欠陥と判明した当該欠陥の位置座標であることを特徴とする請求項９記載の電子を用いた電子を用いた超高速検査方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、電子を用いた超高速検査装置および電子を用いた超高速検査方法に関するものである。
【背景技術】
【０００２】
従来から、半導体ウエハー上に作られた微細な半導体素子のサイズ、電気的特性あるいは半導体デバイスを作るために利用されるフォトマスクのパターンサイズおよび形状を検査するために電子ビーム検査装置が利用されている。
【０００３】
基本原理は、欠陥サイズに比べて十分に細く絞った電子ビームをサンプル表面上に２次

元走査することで生じた２次電子あるいは反射電子を走査に同期して検出することにより、サンプルの２次元画像（スカラー画像）を取得し、基準となる画像と比較して検査する方法である。

【０００４】

波長がｎｍよりもずっと短い電子ビームを利用するのでｎｍオーダーサイズの欠陥検出感度を実現出来るが、検査速度向上に必須とされる照射電流密度向上は既に物理限界に到達しており、１本の電子ビームを利用して検査速度向上を行うことは技術的に困難であるとされている。そのためマスター１枚全部を検査するのに数日、ウェハー１枚全部を検査するのに１週間も掛かってしまうのが現状である。

【０００５】

検査速度が光学式と比較して非常に遅いので、速度を上げるために、１つの装置で沢山の電子ビームコラムを使用する方法（マルチコラム法）、あるいは１本のコラムの中に複数の同時並行的に動作する電子ビームを作って同時に別々の位置に電子を照射することで処理を並列化し速度を上げる方法（マルチビーム法）が提案されている。いずれも回路や構造が複雑で製造管理が困難になり、本当に同じ性質をもった電子ビーム照射を行うには至らず、それぞれの電子ビーム毎に個性があり、経時変化が出るためなどの理由により実用化に至っていない。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００６】

従来の電子ビーム検査装置は、サンプルから発せられる電子強度をコントラストに変換した２次元画像を取得するだけである。本来、３次元構造体であるサンプルを２次元に圧縮した状態で検査していることになり、沢山の情報がこの圧縮操作により欠如しており正しい検査が行われているとは言い難い。また、３次元構造の変化に対応して発生する電子ベクトル情報を全く利用していないので、情報量的にかなり損な欠陥検査になっている。

【０００７】

過去数十年に渡り数々の高速化技術が開発されてきたが、全てコントラスト画像に基づく検査原理を利用しており、その殆どは同時に走査する電子ビームの数を増やして速度を向上する並列化手法であった。原理的には無限にコラムの数を増やせば無限に速度を向上できるが、第１に、１つの電子ビーム銃から発生できる利用可能な良い性質をもった電子ビーム量が非常に限られていること、第２に、電子ビームをｎｍオーダーに細く絞ることが出来るコラムにはそれなりのサイズが必要なため、決められたサイズ内に集積できるコラムの数に限りがあり、コラム本数を年々増加する半導体素子数の様に増やせない。結局、同時照射可能な電子ビーム本数の増加よりも半導体の素子数の増加の方が何時まで経っても早く、半導体素子の増加に対応できていなかった。

【０００８】

従来の電子コントラストを用いた２次元画像法では、サンプル上のパターンのエッジが作り出す輪郭線を用いて欠陥と正常構造とを区別する。この輪郭線とそうでない場所の明るさとの差は、原理的に精々２倍位しかないため、高ＳＮＲを実現するのを困難にしていた。

【０００９】

また、１ピクセルで得られた最大ＳＮＲが小さいので、欠陥検出するためには、検出しようとする欠陥と同じあるいはそれ以上に高精細な２次元画像が必要であった。また、半導体デバイスの微細化が進めば進むほど、検査対象画素数が指数関数的に増加し、全面検査実現はますます困難になっていた。

【課題を解決するための手段】

【００１０】

本発明は、従来の上述した、細く絞った電子ビームをサンプル表面に走査して２次元コントラスト画像を取得して検査を行う方法とは全く異なり、電子ビーム走査に伴ってサンプル表面の３次元構造（形状）を反映した該サンプル表面から放出、反射、あるいはサン

プル表面で吸収などされる電子の電子分布情報（電子ベクトル情報という）を最大限取得して活用することに特徴がある。

【００１１】

電子ベクトル情報の取得は複数の電子検出装置（例えば多分割したＭＣＰ）によってなされ、かつ、取得されたそれぞれの信号を総信号量で規格化することによって、照射電子に含まれるショットノイズや材料の違いによる影響を除去あるいは活用して高いＳＮＲを実現することが可能となる。この際、電子検出装置は電子の方向や量やエネルギー等を区別して検出を行うようにする。

【００１２】

電子ビーム照射条件が同じでサンプル表面が全く同一形状、材料を持つ場合、同一の電子ベクトル情報が生じる。逆に、サンプル表面に欠陥を含む場合は、異なった電子ベクトル情報を生じるため、同一形状を持つとされるサンプル同士で電子ベクトル情報を比較して差を検出することで、欠陥を検出することが可能となる。

【００１３】

検出された欠陥は欠陥番号を付けられた位置座標、電子ベクトル情報とともにデータベースに記録され、他の装置で利用可能なように欠陥情報ファイルとして出力される。

【００１４】

また、ＣＡＤデータおよびプロセスデータを用いて参照となる電子ベクトル情報を予め計算してデータベースを作成し、実際の検査対象サンプルから得られる電子ベクトル情報とを照合して差を検出することでも、欠陥を検出できる。

【００１５】

実際のサンプルを詳細に検査して得られた欠陥の位置座標および電子ベクトル情報と、予めＣＡＤ計算等によって求めた色々な種類の欠陥に対応する電子ベクトル情報のデータベースとを照合することにより、欠陥の分類を行うことが可能となる。

【００１６】

そのため、本発明は、電子を試料に照射して試料から放出あるいは反射された電子を用いた超高速検査装置において、電子を試料の所定領域に照射する照射手段と、所定領域に電子を照射したときに放出される電子あるいは反射される電子の角度分布情報、強度分布情報、あるいはエネルギー分布情報を検出する電子検出装置と、電子検出装置で検出された電子の角度分布情報、強度分布情報、あるいはエネルギー分布情報の１つ以上と試料の所定領域の基準情報とを照合する照合手段と、照合手段によって照合した結果をサンプル上の電子ビーム照射位置を示す位置座標をともに出力する手段とを備えるように構成されている。

【００１７】

この際、基準情報は、電子の角度分布情報、強度分布情報、あるいはエネルギー分布情報の１つ以上とするようにしている。

【００１８】

また、試料の所定領域の基準情報は、試料の所定領域に隣接する同じ所定領域の基準情報、あるいは試料の所定領域の欠陥がない場合の所定領域の基準情報、あるいは試料のＣＡＤデータの所定領域の欠陥がない場合の所定領域の基準情報とするようにしている。

【００１９】

また、電子検出装置の検出面は、光軸に対して直角方向に配置し、光軸の中心に１次電子の通過する穴を有し、かつ円周方向および半径方向に対称に複数に分割するようにしている。もちろん他の角度に配置してもよい。

【００２０】

また、電子検出装置で検出した電子の角度分布情報、強度分布情報、あるいはエネルギー分布情報は当該電子検出装置を構成する分割した各検出面で検出した信号の総量で規格化し、ノイズ低減するようにしている。

【００２１】

また、電子を試料の所定領域に照射および移動を繰り返し、あるいは照射しつつ移動し

、試料上に形成されたパターンの欠陥を検査するようにしている。
【００２２】
また、所定領域は１ｎｍないし数μｍ平方とするようにしている。
【００２３】
また、照合した結果は、照合して欠陥と判明した当該欠陥の位置座標を必要に応じて含む。
【発明の効果】
【００２４】
本発明は、サンプルの３次元構造に基づく放出電子ベクトル情報を利用して該サンプルの欠陥の検査を行うため、２次元コントラスト像に圧縮してしまう従来の手法で見過ごされてきた欠陥を検出できると共に極めて高速に欠陥を検出できる。
【００２５】
この際、電子の強度だけでなく、電子の放出の方向やエネルギーなどの電子ベクトル情報を利用するので、従来よりも高感度、高精度に欠陥検出が出来る。
【００２６】
また、総信号量でそれぞれの検出器で検出した電子量を規格化することにより、照射電子の個数揺らぎであるショットノイズが減少し、信号ＳＮＲが向上する。同様にサンプル表面で発生する２次電子や反射電子も確率的であり揺らぎがあるが、規格化を行うことで揺らぎが補正され、高いＳＮＲを得ることが出来る。
【００２７】
以上のように、より少ない照射電子量でも高いＳＮＲが得られるため、従来と同じ照射電流量を用いてより高速に検査できることとなる。
【００２８】
また、本発明では、検査対象の持つ欠陥にまつわる２つ以上の次元の異なる電子ベクトル情報を同時に検出することが出来るので、ピクセルサイズよりもかなり小さな欠陥を発見できる可能性がある。その結果、同じ欠陥検出感度を得るために必要なピクセルサイズを大きく設定可能で、高速化が実現できる。
【００２９】
また、欠陥のない理想構造情報（例えばＣＡＤデータ）を利用して電子ベクトル情報を生成し、特定成分に対して欠陥判断基準を設定して比較することでサンプル単独で検査を行うことも可能である。
【００３０】
また、設計上同一の構造を持つとされる隣接チップやパターンに電子ビームを照射した際に生じる電子ベクトル情報に含まれるそれぞれの成分同志を比較する方法や実際の構造物に電子を照射した際に得られる電子ベクトル情報とＣＡＤデータを元に計算によって再現した３次元構造に電子ビームを照射して得られる電子ベクトル情報とを比較する方法も可能である。
【実施例１】
【００３１】
図１は、本発明の１実施例構成図を示す。
【００３２】
図１において、電子銃１は、電子を発生する公知のものであって、ＴＦＥ等やＬａＢ６あるいはフィールドエミッターや光電子銃などから電子を発生させるものである。数百から数ＫＶ程度の加速エネルギーになり、かつ例えば数１００ｐＡから数１００ｎＡ程度の電流に成るように、集束レンズおよびアパチャー等を通して調整した後に、後述する対物レンズ５によってｎｍオーダーから数百ｎｍオーダーに細く絞った後、サンプル８の表面に照射する。必要に応じて、サンプル８の基板にもバイアス電圧を加えて、照射エネルギーを最適化あるいは、サンプル８の表面で発生する電子のエネルギーを最適化する。
【００３３】
鏡筒２は、電子銃１で発生された電子を高速にオン、オフする図示外のブランキング装

置、電子を集束する図示外の集束レンズ、集束レンズで集束された電子を細く絞ってサンプル８に照射する対物レンズ５、細く絞られた電子をサンプル８上で平面走査する電子偏向装置４、サンプル８から放出、反射した電子の角度分布情報、強度分布情報、エネルギー分布情報を検出する電子検出装置３、６などから構成されるものである。

【００３４】

電子検出装置３、６は、本発明に係るものであって、光軸の部分に穴を有し、かつ光軸を中心に半径方向および円周方向に複数に分割した各検出面を有し、電子（２次電子、反射電子）を検出するものである（図４などを用いて後述する）。電子ビーム走査によってサンプル８の表面から放出される２次電子あるいは反射される反射電子は当該電子検出装置３、６のそれぞれの検出面でそれぞれ検出後、増幅器で増幅して高速Ａ／Ｄ装置で数１００ＭＨｚを超える周波数でサンプリングしてデジタル信号に変換する。変換したデジタル信号は電子検出領域毎にデータセットとして記録する。信号のダイナミックレンジが大きいので、超高速１６ビットＡ／Ｄコンバータなどを利用し、小さな信号から大きな信号まで余すことなく捉えられるようにする。

【００３５】

電子偏向装置４は、電子を２段偏向して細く絞られた電子をサンプル８の面上で平面走査する公知のものである。

【００３６】

対物レンズ５は、集束レンズで集束された電子を、細く絞ってサンプル８に照射する公知のものである。

【００３７】

試料室７は、真空排気装置１０によって真空に排気される容器であって、内部にサンプル８、ＸＹステージ９などを配置するものである。

【００３８】

サンプル８は、細く絞られた電子を照射しつつ平面走査し、放出、反射された電子の強度分布情報、角度分布情報、エネルギー分布情報を検出して基準情報と比較し、欠陥を検査する対象の試料であって、例えば微細パターンを形成されたマスク、ウェハなどである。

【００３９】

ＸＹステージ９は、サンプル８を搭載（固定）し、図示外のレーザー干渉計を用いてリアルタイムに精密に位置を計測しつつサンプル８上の所定領域を細く絞られた電子の照射される位置に移動させたりなどする公知のものである。

【００４０】

真空排気装置１０は、試料室７の内部を真空に排気するオイルフリーの真空排気装置であって、例えばＴＭＰ（ターボモレキュラーポンプ）１０－１，ＤＲＹ（ドライポンプ）１０－２などから構成される公知のものである。その他に、試料室７に所定のガスを供給すると共に適切な真空に保持するための図示外のマスフロー装置および真空計などを有するものである。

【００４１】

電子銃制御装置２１は、電子銃１に電源（高電圧など）を供給し、電子を放出させる公知のものである。

【００４２】

電子偏向制御装置２２は、電子偏向装置４に偏向電圧を供給（例えばＸ，Ｙ走査用の高電圧を供給）し、細く絞られた電子をサンプル８上の所定領域を照射しつつ走査するものである。

【００４３】

電子レンズ制御装置２３は、対物レンズ５などのレンズに所定の電流（あるいは電圧）を供給するものである。

【００４４】

画像処理装置２４は、電子検出装置３、６などからの電子を検出した信号を増幅（検出

した複数の信号を同時並列増幅）し、電子の角度分布情報、強度分布情報、あるいはエネルギー分布情報を各所定領域毎に生成し、当該所定領域の基準情報と照合し、サンプル８上の所定領域毎に欠陥の有無の検査などを行うものである（図２以降を用いて順次説明する）。

【００４５】

真空制御装置２６は、真空排気装置１０などの真空排気系を制御するものである。

【００４６】

ＰＣ２７は、プログラムに従い各種制御、処理を行うパソコンである。

【００４７】

ＣＡＤデータベース２８は、サンプル８上に形成するパターンの設計データ（ＣＡＤデータ）である。当該ＣＡＤデータ２８には、設計データの他に、所定領域毎の基準情報（電子の角度分布情報、強度分布情報、エネルギー分布情報）を予め作成して保存しておく（後述する）。

【００４８】

ディスプレー２９は、各種画像などを表示するものである。

【００４９】

次に、本発明の概念特徴を説明する。

【００５０】

（１）本発明は、３次元構造を持つサンプル８に電子ビームを走査することによって得られる、従来の２次元コントラスト画像（電子スカラー情報という）をお互いに比較して測定、即ち例えばサンプル上に形成されたパターンの両端のエッジ部分をそれぞれ検出してその距離差を測定してパターン幅を測定し、基準パターン幅と比較して欠陥の有無を測定する方式、あるいは形状の違いを検出する方式とは全く異なる。

【００５１】

（２）即ち、本発明はサンプル上のパターンを電子ビーム照射した際に、サンプル上のパターンの３次元構造の違いを直接反映して生じる電子の角度分布情報、強度分布情報、あるいはエネルギー分布情報（電子ベクトル情報という）と、基準情報（例えば欠陥がないときの角度分布情報、強度分布情報、あるいはエネルギー分布情報）とを互いに比較して欠陥の有無を検出する方式である（図２以降に順次詳細に説明）。

【００５２】

（３）更に詳述すれば、電子ビームを３次元構造体（サンプル８上のパターン）に照射すると、照射電子は一旦サンプル内部に侵入し複雑な散乱を起こした後、２次電子あるいは反射電子としてサンプル８の表面から飛び出す。これら放出／反射される電子群はサンプル８の表面のトポロジーの違い（例えば形状の凹凸などの違い）を反映し、放出量（電子の強度分布情報）、放出方向（電子の角度分布情報）、エネルギー（エネルギー分布情報）が変調され３次元空間上でその形状に対応して変化するベクトル量（電子ベクトル情報という）としての性質を持っている。

【００５３】

この電子ベクトル情報はサンプル８の表面状態に固有なので、電子ベクトル情報を直接的に比較することで、電子ベクトル情報を発生する元になった３次元構造が同じか異なるかを区別することが可能となる。

【００５４】

（４）そのため、本発明の欠陥検査では、例えば正常な３次元構造体Ａと欠陥を含む３次元構造体Ｂの間に生じる電子ベクトル情報（電子の角度分布情報、強度分布情報、あるいはエネルギー分布情報）の差Ｃが検出できれば良いため、単純なアルゴリズムで欠陥検出が可能で高速処理が実現出来る。

【００５５】

（５）従来の電子ビーム検査装置のように欠陥サイズと同じかそれ以上の分解能を持つ高精細２次元画像を取得する必要が無いので、検出しようとする最小の欠陥サイズよりもかなり大きな電子ビームスポットサイズを利用することが可能で、非常に広い領域を一度

に検査することで検査速度を飛躍的に向上できる。

【００５６】

（６）更に、分かり易く説明すれば、従来はサンプル８上に形成されたパターンに付着あるいは一部欠落の欠陥を検査するにはパターンの幅の両端あるいは異物のエッジ部分を抽出してその輪郭で幅あるいは欠陥の有無とサイズなどを特定して検査する必要がある。本発明では電子を照射した所定領域内（１ｎｍないし数μｍ平方の内部）に欠陥があるか否かを電子の角度分布情報、強度分布情報、あるいはエネルギー分布情報と基準情報（欠陥のない電子の角度分布情報、強度分布情報、あるいはエネルギー分布情報）とを比較し、欠陥の有無を検査するので、検出しようとする最小の欠陥サイズよりもかなり大きな電子ビームスポットサイズを利用することが可能で、非常に広い領域を一度に検査することで検査速度を飛躍的に向上できるという顕著な効果が発生する。以下順次詳細に説明する。

【００５７】

図２は、本発明の動作説明図（その１）を示す。図２は、図１で、平坦なサンプル８を細く絞った電子で照射した場合に、放出される電子（主に２次電子）の角度分布情報の検出の例を模式的に示したものである。

【００５８】

図２において、２次電子は、細く絞った電子を平坦に置いたサンプル８の表面（平坦部分）に照射した場合に、２次電子は点線で示すガウス分布の方向にそれぞれ放出され、対物レンズ５で図示のように結像されて電子検出装置３の前部分に印加された正の電圧に吸引されるような軌道を走行し、電子検出装置３の検出面では角度分布を有した態様で入射し、検出・増幅される。つまり、サンプル８から放出された２次電子の角度が小さい点線の方向の電子は電子検出装置３の検出面の内側に入射し、一方、サンプル８から放出された２次電子の角度が大きい実線の方向の電子は電子検出装置３の検出面の外側に入射し、それぞれの検出面（内側の検出面、外側の検出面、図４の（ａ）参照））で検出・増幅され、電子の角度分布情報を検出することが可能となる。尚、電子検出装置８の検出面の分割数を増やせば詳細な角度分布情報を検出できる。あるいは、それぞれの検出器で検出された電子の割合から中間の角度を算出することもできる。

【００５９】

図３は、本発明の動作説明図（その２）を示す。図３は、図１で、傾斜したサンプル８に細く絞った電子で照射した場合に、放出される電子（主に２次電子）の角度分布情報の例を模式的に示したものである。図３の（ａ）は平坦なサンプル８の例（図２と同じ）を模式的に示し、図３の（ｂ）は傾斜したサンプル８の例を模式的に示す。

【００６０】

図３の（ａ）の２次電子は、図２の２次電子のθ１と同じである。

【００６１】

図３の（ｂ）の２次電子は、サンプル８が傾斜しているため、大きな角度θ２で放出された２次電子は電子検出装置３の外側の部分で検出・増幅されることとなる。

【００６２】

以上のように、細く絞った電子でサンプル８を照射した場合に、サンプル８が平坦（正確にはサンプル８上のパターンが平坦）の場合（図２および図３の（ａ））には２次電子の放出される角度は小さい（光軸に近い）ので、電子検出装置３、６（後述する図４の（ａ）参照）の内側で検出され、一方、サンプル８が傾斜（正確にはサンプル８上のパターンが傾斜）の場合（図３の（ｂ））には２次電子の放出される角度が大きい（光軸から離れている）ので、電子検出装置３，６の外側で検出され、両者の角度分布情報をそれぞれ同時かつ並列に検出することが可能となる。これらの幾何学的な関係はレンズ条件等の光学条件を調整することで所望の対応関係にすることができる。

【００６３】

図４は、本発明の動作説明図（その３）を示す。これは既述した図１、図２、図３の電子検出装置３、６の検出面を模式的に示したものであって、ここでは、中心に穴（１次電

子を通過させる穴）を有し、周辺に半径方向および円周方向にそれぞれ２分割した合計８個の検出面を有するものである。内側が図２、図３で示したサンプル８上のパターンから放出される２次電子の角度が小さく、外側が角度の大きいものをそれぞれ独立かつ並列に検出するものである。尚、分割数は８分割にしたが、これに限られず、更に多分割にしてもよい。

【００６４】

図４の（ａ）は、ＭＣＰのアノード電極の構造を模式的に表したものである。ここでは、中心に１次電子を通過させる穴を有し、周辺に対称に半径方向、円周方向にそれぞれ２分割した様子を模式的に示す。更に対称に多分割してもよい。

【００６５】

図４の（ｂ）は、ＡＰＤ（半導体検出器）の検出面の構造を模式的に表したものである。ここでは、中心に１次電子を通過させる穴を有し、周辺に対称に半径方向、円周方向に円形状の検出面をそれぞれ２つ、総合計８個を設けた様子を模式的に示す。更に対称に多分割してもよい（ＡＰＤの形状は円形でなくもよい）。ＡＰＤ（半導体検出器）の場合には、薄いので、図１の対物レンズ５の下面（サンプル８に対向した面）に貼り付けてもよい。ＡＰＤは面積が小さくても大きな電流を扱えるため、小さなＡＰＤの周辺あるいは近傍に放出電子を集めるための装置を配置してもよい。

【００６６】

以上示したものは、例であって、電子検出装置３、６の図示配置することに限定する必要は無く、電子ベクトル情報が捉えられるような配置であれば、どのような配置でも良いし、もっと多数の電子検出装置３、６の検出面を設けてもよい。沢山の電子検出装置３，６の検出面を利用すればより細かい電子ベクトル情報を得ることができる。沢山の電子検出装置３，６を利用した場合は、電子ベクトル情報が正しく計算するために信号伝達時間が同じになるように、それぞれの信号遅延を調整する機構を含むことが望ましい。

【００６７】

利用可能な電子検出装置３、６としては、アノード電極を分割したＭＣＰやフォトダイオードやＡＰＤあるいはそれらのアレーあるいはそれらの組み合わせなどを利用することが出来る。シンチレータやフォトマルも検出面を分割して利用しても良い。

【００６８】

電子検出装置３、６の信号検出可能な帯域幅は数百ＭＨｚよりも十分高いことが望ましい。また、エネルギー分解能は１ｅＶよりも十分に良いことが必要である。必要によっては冷却してもよい。増幅装置も含めてノイズが小さいことも重要である。電子検出装置３、６は図４の（ａ）に示したように、サンプル８の表面で発生した電子（２次電子、反射電子）が等距離に入射するように例えば同一平面上に等分割して複数の電気的に独立した電子検出面を対称配置することで構成する。対称配置できない場合は、サンプル８からの距離を考慮して感度等を調整して補正して使用する必要がある。

【００６９】

図５は、本発明の動作説明図（その４）を示す。これは、複数（ここでは、２組）の電子検出装置３を上下方向（Ｚ軸方向）にずらし、かつ半径方向のサイズを下が大きく、上が小さくし、サンプル８から放出された電子（２次電子、反射電子）の角度分布情報を検出するようにした様子を模式的に示したものである。

【００７０】

図６は、本発明の動作説明図（その５）を示す。

【００７１】

図６の（ａ）は、電子偏向装置４を示す。図示の電子偏向装置４は、細く絞った電子（電子ビーム）をサンプル８の所定領域（１ｎｍないし数μｍ平方）にステップ状に移動（あるいは連続移動）させるものである。電子ビーム走査信号は、サンプル８上で細く絞った電子（電子ビーム）走査する信号である。増幅装置は電子ビーム走査信号を増幅する増幅器である。サンプル上における電子ビーム照射位置は、ＸＹステージ９の値および電子ビーム偏向量の値から正確に求めることが可能で、この情報をもとにサンプル８上で欠陥

が検出された位置を特定することができる。

【００７２】

図６の（ｂ）は、電子検出装置（８分割）を示す。図示の８分割の電子検出装置３、６は、既述した図４の（ａ）のＭＣＰのアノード電極を示し、８分割した８個の検出面で電子をそれぞれ検出し、各増幅装置でそれぞれ増幅した後、各高速Ａ／Ｄ変換器でデジタル信号に変換する。そして、変換したデジタル信号の電子の角度分布情報（他に強度分布情報、エネルギー分布情報など）をＰＣ（パソコン）２７が取り込み、各所定領域毎（例えば１ｎｍないし数μｍ平方毎）に例えば電子の角度分布情報などを計算する。そして、基準情報と比較して各所定領域毎の欠陥の有無を判定することが可能となる（後述する）。

【００７３】

図７は、本発明の動作説明図（その６）を示す。試料を傾斜した場合の２次電子（例えばエネルギーが１００ｅＶ以下）の放出割合（角度分布情報など）の例を模式的に示す。

【００７４】

図７の（ａ）は、試料（サンプル８）が水平（平坦）の場合に、２次電子量は小さく、電子放出方向は入射方向と逆方向となる様子を模式的に示す。

【００７５】

図７の（ｂ）は、試料（サンプル８）が傾斜している場合に、２次電子量は増大し、傾斜方向に多く出る様子を模式的に示す。

【００７６】

以上のように２次電子はサンプル８が水平、正確にはサンプル８上のパターンの所定領域（例えば１ｎｍないし数μｍ平方）が水平の場合には２次電子の量は小さく、光軸方向を主軸としたガウス分布（電子の角度分布情報）で放出され、一方、サンプル８が傾斜（正確にはサンプル８上のパターンの所定領域（例えば１ｎｍないし数μｍ平方が傾斜）の場合には２次電子の量は多く、反射方向を主軸としたガウス分布（電子の放出角度分布情報）で放出されるので、基準情報として、ＣＡＤデータで決定される欠陥のない形状における電子の角度分布情報、強度分布情報、あるいはエネルギー分布情報を予め計算あるいは実験で取得して登録しておき、この基準情報（電子の角度分布情報、強度分布情報、あるいはエネルギー分布情報）と照合して所定領域の欠陥の有無を容易に判定することが可能となる。

【００７７】

図８は、本発明の動作説明図（その７）を示す。試料を傾斜した場合の反射電子（例えばエネルギーが１００ｅＶ以上）の放出割合（角度分布情報など）の例を模式的に示す。

【００７８】

図８の（ａ）は、試料（サンプル８）が水平の場合には、反射電子量は小さくなる様子を模式的に示す。

【００７９】

図８の（ｂ）は、試料（サンプル８）が傾斜の場合には、反射電子量が大きくなり、反射方向に多く出る様子を模式的に示す。

【００８０】

以上のように反射電子はサンプル８が水平（正確にはサンプル８上のパターンの所定領域、例えば１ｎｍないし数μｍ平方が水平）の場合には反射電子の量は小さく、光軸方向を主軸としたガウス分布（電子の角度分布情報）で放出され、一方、サンプル８が傾斜（正確にはサンプル８上のパターンの所定領域、例えば１ｎｍないし数μｍ平方が傾斜）の場合には反射電子の量は大きく、反射方向を主軸としたガウス分布（電子の角度分布情報）で放出されるので、基準情報として、ＣＡＤデータで決定される欠陥のない形状における電子の角度分布情報、強度分布情報あるいはエネルギー分布情報を予め計算あるいは実験で取得して登録しておき、この基準情報（電子の角度分布情報、強度分布情報、あるいはエネルギー分布情報）と照合して所定領域の欠陥の有無を容易に判定することが可能となる。

【００８１】

図９は、本発明の動作説明フローチャートを示す。

【００８２】

図９において、Ｓ１は、電子ビームをサンプル表面に走査する。これは、図１で細く絞った電子（電子ビーム）をサンプル８の表面の検査対象の所定領域に走査する。また、その領域を示す代表座標は（Ｘｎ、Ｙｎ）で与えられる。

【００８３】

Ｓ２は、２次電子、反射電子の角度分布情報、強度分布情報、エネルギー分布情報を取得する。これは、Ｓ１で細く絞った電子（１ｎｍないし数μｍ平方）を測定箇所のサンプル８の表面を走査したときに放出、反射された２次電子、反射電子は多分割検出面を持つ電子検出装置３，６（図４など参照）で検出し、その角度分布情報、強度分布情報、エネルギー分布情報を取得する。

【００８４】

Ｓ３は、閾値と比較する。これは、Ｓ２で取得した測定領域（所定領域）毎の電子の角度分布情報、強度分布情報、エネルギー分布情報と、閾値として登録した基準情報（角度分布情報、強度分布情報、エネルギー分布情報）に登録した閾値（欠陥か否かを判断する閾値）とを比較する。閾値以上であれば、Ｓ３のＹＥＳとなり、Ｓ４で欠陥と判定する。この欠陥の判定の際に、図１５で後述するように、併せてライブラリーを参照して欠陥の分布情報が例えば図１５の（ｂ）のいずれかに該当するかを検索し、一致あるいは最も類似する分布の欠陥の種類を提示することにより、いずれの種類の欠陥かを判定することが可能となる。一方、閾値以下であれば、Ｓ３のＮＯとなり、Ｓ５で非欠陥と判定する。欠陥と判定された場合、欠陥番号とともに、検出されたサンプル８上の欠陥の代表座標（Ｘｎ，Ｙｎ）、検出された電子ベクトル情報などがデータベースに蓄積される。これらの情報は他の装置で利用可能なように例えば欠陥情報ファイルとして出力される。

【００８５】

次に、測定時の手順を詳細に説明する。

【００８６】

（１）先ず、半導体ウェハ、あるいはフォトマスク等の測定サンプル８を試料室７の内部に真空ロボットなどの搬送装置を用いて搬送し、電子ビーム観察を行うために最適な真空に引く。普通は１０のマイナス５乗パスカルから１００パスカルの間の真空度が利用される。真空度の調節には必要に応じて高純度の乾燥空気、酸素、窒素、希ガス等が注入される。試料室７の内部はプラズマ洗浄等を行って極めて清浄な状態が保たれている。

【００８７】

（２）次に、ＸＹステージ９を制御してサンプル８の表面の指定場所に電子ビームが当たるように位置制御を行う。ＸＹステージ９にはレーザー位置測定装置が付属しており、１００ｎｍよりも十分良い精度で、電子ビームが照射される位置を制御できる。位置測定はレーザー干渉や磁気スケールを用いたリニアセンサーを利用しても良い。電子ビーム照射場所をｎｍの精度で位置合わせする場合は、一度画像を取り込んでパターンマッチング等を行い、電子ビーム走査位置を補正することによって達成される。これらの手段によりサンプル８上の電子ビーム照射位置は正確にリアルタイムに知ることができる。

【００８８】

（３）本発明の装置では、欠陥の大きさよりもかなり大きな電子ビームサイズを利用できるため、幅数十ｎｍから数百ミクロン長さから、数ミクロンから数百ミクロンの範囲を一度に走査することが出来る。

【００８９】

（４）電子ビームをＸＹ走査してサンプル８の表面で発生する電子を多チャンネル同時検出装置（電子検出装置３，６）で検出する。検出された電子はそれぞれの増幅器で増幅した後、それぞれのＡ／Ｄ変換装置でデジタル信号に変換し、コンピュータに取り込み、測定箇所の電子の角度分布情報、強度分布情報、エネルギー分布情報を算出する。これら角度分布情報、強度分布情報、エネルギー分布情報と、基準情報（データベース中に登録してある基準となる角度分布情報、強度分布情報、エネルギー分布情報）とを照合し、測

定箇所（所定領域）毎に正常構造なのか異常構造（欠陥）なのかを判別する。例えば、正常構造の示す基準情報（電子の角度分布情報、強度分布情報、エネルギー分布情報）と測定した欠陥がある構造の角度分布情報、強度分布情報、エネルギー分布情報との方向や大き（強度）が同じあるいは異なることなどで判定する。

【００９０】

（５）更に、微妙な欠陥を判別するには、１つでなく、２つ以上の情報を組み合わせて総合判定することにより厳しい基準情報を用いることで対処する。

【００９１】

例えば、同一構造をもつとされる、パターン同志あるいは隣接チップ同志、あるいは隣接するパターンを検査した時に生じる複数の成分を互いに比較（内積を取るなど）して、正常状態からの類似度を計算し欠陥かどうかを判断する。複数の分布が完全に同じであれば内積は１であり、全く異なれば０となる。類似度の定量的な測定にはそれぞれのベクトル成分（角度分布情報、強度分布情報、エネルギー分布情報）の類似度の自乗和等の総合値を評価するパターン類似率を用いることが出来る。

【００９２】

（６）ナノインプリントのテンプレートあるいはフォトマスクのように１つの測定サンプルに比較すべき同じパターンが全く無い場合には、ＣＡＤデータ等の設計データおよび高さや材料名を含むプロセスデータを利用して、コンピュータ上に正常な測定対象構造を計算により再現し、それを用いて基準情報（電子の角度分布情報、強度分布情報、エネルギー分布情報）をシミュレーションして発生させ基準情報として定義する。定義した基準情報と実際の所定箇所（所定領域）の情報（電子の角度分布情報、強度分布情報、エネルギー分布情報）とを比較することで測定箇所（所定領域）の構造が正常か異常かを判断する。

【００９３】

図１０、図１１は本発明の動作説明図（その８、その９）を示す。図１０はサンプル８の表面が平坦で欠陥がある場合と無い場合の３次元構造を模式的に示し、図１１は図１０の電子の分布情報を模式的に示したものである。

【００９４】

図１０において、サンプル８の表面に上から下方向に細く絞った電子ビームを照射すると、表面に欠陥がない場合には右側に示すように２次電子、反射電子がほぼ入射方向と反対方向を主軸としてガウス分布を持った分布（角度分布情報、強度分布情報）で放出されるので、図１１の（ａ），（ｂ）中の非欠陥の場合のように電子の角度分布情報、強度分布情報とが合算された態様で放出され、検出される（図１から図８の電子検出装置３，６の説明を参照）。

【００９５】

一方、表面に欠陥がある場合には左側に示すように２次電子、反射電子が欠陥の部位面に直角方向を主軸としたガウス分布を持った分布（角度分布情報）で、通常、両側に放出されるので、図１１の（ａ），（ｂ）中の欠陥の場合のように、垂直からずれた両側に電子の角度分布情報、強度分布情報とが合算された態様でそれぞれ放出された後、検出される（図１から図８の電子検出装置３，６の説明を参照）。

【００９６】

以上のように、正常構造を持つサンプル８の表面と欠陥をもつサンプル８の表面とでは、電子の角度分布情報と強度分布情報とを合算した角度／強度分布情報が互いに大きく異なるので、この差を検出することで欠陥を検出できる（欠陥の無い角度／強度分布情報を基準情報、欠陥のある角度／強度分布情報を測定領域の分布情報とすることで、欠陥を検出できる）。

【００９７】

表示方法として人間が分かりやすい方法としては、図１１のグラフで示したように、例えばＸＸ軸、ＹＹ軸に対して分布情報を投影した図形同志の内積あるいは相関を計算し、近似度を算出できる。全く同じであれば１になり、異なっていれば０になる。計算機上だ

けの処理であれば、単に検出器で検出した分布情報の全成分に対して内積を取れば良い。

【００９８】

図１２、図１３は本発明の動作説明図（その１０、その１１）を示す。図１２はサンプル８の表面にラインエッジ部があり欠陥がある場合と無い場合の３次元構造を模式的に示し、図１３は図１２の電子の分布情報を模式的に示したものである。

【００９９】

図１２において、サンプル８の表面のラインエッジがある部分に、上から下方向に細く絞った電子ビームを照射すると、表面に欠陥がない場合には右側に示すように２次電子、反射電子はほぼラインエッジのある部分で上方向と、更に、図では左方向に主軸を持つガウス分布で電子が放出（角度分布情報、強度分布情報）されるので、図１３の（ａ），（ｂ）中の非欠陥の場合のように電子の角度分布情報、強度分布情報とが合算された態様で。垂直方向と、若干左側にずれた方向とにそれぞれ放出され、検出される。

【０１００】

一方、表面に欠陥がある場合には図１２の左側に示すように２次電子、反射電子が欠陥の部位面に直角方向を主軸としたガウス分布を持った分布（角度分布情報）で、例えば図１２のＢのパターンの部分に示すように、複数の方向に放出されるので、図１３の（ａ），（ｂ）中の欠陥の場合のように、垂直からずれた片側あるいは両側に電子の角度分布情報、強度分布情報とが合算された態様でそれぞれ放出され、検出される。

【０１０１】

以上のように、正常構造を持つサンプル８の表面のラインエッジ部と、欠陥をもつサンプル８の表面のラインエッジ部とでは、電子の角度分布情報と強度分布情報とを合算した角度／強度分布情報が互いに大きく異なるので、この差を検出することで欠陥を検出できる（欠陥の無い角度／強度分布情報を基準情報、欠陥のある角度／強度分布情報を測定領域の分布情報とすることで、欠陥を検出できる）。

【０１０２】

尚、特に、ラインエッジ部分に欠陥がある場合には、図１３の（ａ）のＸ－Ｘ軸断面で見た時、正常なエッジの場合とは異なった放出角度に最大分布が生じる。また、図１３の（ｂ）のＹ－Ｙ軸断面で観察すると、０度とは異なる放出角度にかなり強い電子放出分布が起こるので、これらにより正確に判定できる。

【０１０３】

図１４は、本発明の動作説明図（その１２）を示す。図１４は、正常なラインエッジ部を有する場合のシュミレーションした分布情報例を示す。

【０１０４】

図１４の（ａ）はＸ－Ｘ軸に対する角度／強度分布情報のシュミレーション例を示し、図１４の（ｂ）はＹ－Ｙ軸に対する角度／強度分布情報のシュミレーション例を示し、図１３の（ａ）、（ｂ）にそれぞれ対応するものである。

【０１０５】

図１４に示すように、正常なラインエッジ部を持つ場合、Ｘ－Ｘ断面で観察した場合、２次電子／反射電子はラインエッジ部の垂直断面を反映したある特定角度の方向に強く放出される。ラインエッジ部は片側にあるため、片側だけに強い分布を持つ分布情報が出来る。それと同時に、正常な平坦部も含むため、角度０近傍にも強度が高い分布が見られる。

【０１０６】

一方、Ｙ－Ｙ軸断面で分布を観察すると、電子は０度を中心とした弱い等方性強度分布をもつことが分かる。

【０１０７】

欠陥がある場合は、Ｘ－Ｘ軸断面で見た時、正常なラインエッジ部の場合とは異なった角度に最大分布が生じる。また、Ｙ－Ｙ軸断面で観察すると、０度とは異なる角度にかなり強い電子放出分布が起こる。

【０１０８】

以上のように、ラインエッジ部上に欠陥がある場合には、正常構造とは大きな分布に差が生じるため、この分布（角度／強度分布情報）の差を検出することで欠陥を検出することが可能となる。同様に、他の欠陥でも、正常時とは異なった分布を示すのでそれを利用して欠陥の種類と欠陥（欠陥の大きさなど）を検出できる。

【０１０９】

図１５は、本発明の動作説明図（その１３）を示す。図１５は、欠陥種類のライブラリーの例を示す。

【０１１０】

図１５の（ａ）は欠陥の種類の例を示し、図１５の（ｂ）は電子の分布（角度／強度分布情報）を模式的に示す。

【０１１１】

図１５の（ａ－１）は、サンプル８の表面に図示の”凹状の窪み”の欠陥があった場合には、図１５の（ｂ－１）に示すように、ガウス分布状の電子の分布（角度分布情報、強度分布情報を合算した分布）が検出される。

【０１１２】

同様に、図１５の（ａ－２）から（ａ－４）の欠陥があった場合には、図１５の（ｂ－２）から（ｂ－４）に示すような電子の分布（角度分布情報、強度分布情報を合算した分布）が検出される。

【０１１３】

以上のように図１５の（ｂ）の電子の分布を実験あるいはシュミレーションにより算出し、ライブラリーに登録しておけば、これら電子の分布から欠陥の種類を判別することが可能となる。

【０１１４】

図１６は、本発明の動作説明フローチャート（その２）を示す。

【０１１５】

図１６において、Ｓ１１は、各検出器で電子を検出する。これは、既述した図１の電子検出装置３，６を構成する各検出器（各検出面）（図４参照）でそれぞれ検出する。

【０１１６】

Ｓ１２は、レファレンスデータを用いた規格化をする。これは、Ｓ１１で検出した電子検出装置３，６の各検出面の信号の総和で各検出面の信号を規格化し、ノイズを低減すると共に信号処理をしやすくする。

【０１１７】

Ｓ１３は、規格化された検出割合を用いて欠陥照合する。これは、Ｓ１２で規格化した後の電子検出装置３，６の各検出面の信号をもとに、欠陥データベースと照合していずれの種類の欠陥あるいは最も類似する種類の欠陥を判定する。

【０１１８】

Ｓ１４は、電子検出率が異常に高いあるいは低い場合は欠陥とする。これは、Ｓ１３で照合して一致した種類の欠陥、あるいは最も類似した種類の欠陥を判定することが困難な場合（あるいはできない場合）であって、各検出面の信号が異常に高い、あるいは異常に低い場合には、標準的な欠陥判定の範囲外と判定し、欠陥と判定する。

【０１１９】

以上のように、欠陥と判定された場合、欠陥番号、欠陥の代表座標（Ｘｎ，Ｙｎ）、欠陥の種類などがデータベースに蓄積される。これらのデータは他の装置で利用可能なように欠陥情報ファイルとして出力される。

【０１２０】

図１７は、本発明の動作説明図（その１４）を示す。図１７は、電子検出装置３，６として、検出面を４分割検出器とした場合（図４の内側の４分割検出器）の各信号分布（電子の角度／強度分布情報）の例を模式的に棒グラフで示す。

【０１２１】

図１７の（ａ）は欠陥がある場合の信号分布例を示す。図示の場合には、サンプル８の

平坦状のパターン上に欠陥があるので、４分割検出器（４分割検出面）の１，２で強く、３，４で弱く（弱さは欠陥の全体に示す分配率で決まる）検出されている。

【０１２２】

図１７の（ｂ）は欠陥がない（正常な）場合の信号分布例を示す。図示の場合には、サンプル８のパターン上に欠陥がないので、４分割検出器（４分割検出面）の１，２、３，４が全て強く等しく検出されている。

【０１２３】

以上の正常な場合（欠陥がない場合）の図１７の（ｂ）の４分割検出器の電子の信号分布（角度／強度分布情報）をそれぞれ取得して登録しておけば、欠陥がある場合の図１７の（ａ）の信号分布が測定された場合には欠陥がない場合の図１７の（ｂ）の４つの信号分布とそれぞれ比較し、欠陥の有と、更に、その欠陥の配分割合を自動判定することが可能となる。

【０１２４】

次に、図１８から図２１を用いて電子のエネルギー分布情報を取得する構成および動作について詳細に説明する。

【０１２５】

図１８は、本発明の動作説明図（その１５）を示す。図１８は、図１の電子検出装置３，６として、ＡＰＤ（アバランシェ・フォト・ダイオード）を用いた場合に、当該ＡＰＤ３，６に電子を入射したときの出力電流の関係を示す。横軸はＡＰＤ入射エネルギー（例えば２次電子の０～数ｅＶ～反射電子の数ＫＶ）を表し、縦軸はそのときの出力電流を示す。ＡＰＤは、入射する電子のエネルギーが大きくなるに従い出力電流の波形が大きくなるいわば短調増加の傾向を有する電子検出・増幅素子である。

【０１２６】

従って、ＡＰＤ３，６を使うことで、電子の入射エネルギー分布を取得することが可能となる。

【０１２７】

図１９は、本発明の動作説明図（その１６）を示す。図１９は、後述する電位フィルター３２をＡＰＤ３、６の前方に配置し、所定エネルギー以下の電子（例えば１００ｅＶ以下の２次電子など）を除去し、それ以上のエネルギーの電子のみを検出するようにした構成例を示す。

【０１２８】

図１９において、ＡＰＤ３，６は、多分割した電子検出装置であって、サンプル８の表面から放出される電子の放出角度分布情報、強度分布情報、エネルギー分布情報を検出する素子である（図１から図８とその説明参照）。

【０１２９】

以上の構成により、電位フィルター３２に所定電圧、例えば１００ｅＶを印加すると、サンプル８のパターン上から各角度方向に放出された２次電子、反射電子のうち、電位フィルター３２に印加された以下の電位の電子（例えば２次電子）は除去され、それ以上の電位の電子（例えば反射電子）は当該電位フィルター３２を通過し、多分割のＡＰＤ３，６でそれぞれ検出（角度分布情報、強度分布情報、エネルギー分布情報をそれぞれ検出）することが可能となる。これにより、所定以上のエネルギーを有する電子のみの、角度分布情報、強度分布情報を取得することが可能となる。

【０１３０】

図２０は、本発明の動作説明図（その１７）を示す。図２０は、既述した図１８、図１９で説明したＡＰＤ３，６を用いてエネルギー分布情報を測定する例を模式的に示す。サンプル８のパターン上に欠陥として異物が付着していた場合、その異物がＳｉＯ２の場合には電子のエネルギーが小さく、Ｍｏの場合には電子のエネルギーが大きいから、両者を区別して検出できる電位例えばＥｏを電位フィルター３２に印加する、印加しないことで両者を区別して検出（分類）することが可能となる。

【０１３１】

図２１は、本発明の動作説明図（その１８）を示す。図２１は、４分割電子検出装置３，６を用いた例を模式的に示す。

【０１３２】

図２１の（ａ）は欠陥のある場合を示し、図２１の（ｂ）は欠陥のない正常の場合を示す。これは、サンプル８のパターンが平坦であって、その上に異物がある場合には分割検出器１，２、３，４の全部の値が小さく、異物がない場合には分割検出器１，２，３，４の全部の値が大きい（予め登録した基準情報の値と等しい）と判明し、欠陥の有無を自動判定したものである。

【０１３３】

図２２は、本発明の他の実施例構成図を示す。図２２中、１から５、８、２１から２３は図１の同一番号と同じであるので、説明を省略する。

【０１３４】

図２２において、Ｓ３１は、ブランキング装置３１は、電子（電子ビーム）を高速にＯＮ、ＯＦＦする公知の装置である。

【０１３５】

電位フィルター３２は、所定電圧以下の電子を除去し、所定電圧以上の電子を通過させるものであって、例えば２次電子を除去し、反射電子を通過させるものであり、メッシュ状の電極に所定電圧（例えば１００ｅＶ以下の２次電子を除去するために、１００ＶＤＣ）を印加するものである。

【０１３６】

電位フィルター電圧供給装置３３は、電位フィルター３２に所定電圧を印加するものである。

【０１３７】

電子測定装置３４は、多分割した電子検出装置３（図４参照）でそれぞれ検出された信号を増幅するものである。

【０１３８】

散乱シュミレーション３５は、サンプル８のパターンの設計データである例えばＣＡＤデータ３４を参照し、パターンに細く絞った既知のエネルギー、入射角度、個数を有する電子を照射した場合に放出される電子の角度分布情報、強度分布情報、エネルギー分布情報をシュミレーションするソフトである。

【０１３９】

ＰＣ２７は、プログラムに従い各種制御、処理を行うものである。ここでは、散乱シュミレーション（プログラム）３５を実行し、サンプル８のパターンに既知のエネルギー、入射角度、個数を有する細く絞った電子を照射したときの電子の角度分布情報、強度分布情報、エネルギー分布情報をシュミレーションするものである。

【０１４０】

以上の構成のもとで、多分割した電子検出装置３の各検出面で検出した信号をもとに角度分布情報、強度分布情報、エネルギー分布情報を取得し、基準情報と比較して欠陥を自動判定することが可能となる。

【０１４１】

図２３は、本発明の動作説明フローチャート（その３）を示す。図２３は、既述した図９のＳ１からＳ５が図２３のＳ２１からＳ２５に対応し、Ｓ２６を追加したものであるのでその説明を参照。

【０１４２】

図２３において、Ｓ２６は、位置座標を出力する。これは、Ｓ２１からＳ２５に対応する図９のＳ１からＳ５で検出した欠陥の位置座標、例えば所定領域の中心位置の座標（代表座標（Ｘｎ，Ｙｎ））を出力する。この際、後述する図２４の欠陥情報ファイルに示すように、欠陥番号に対応づけて欠陥位置情報、欠陥情報（種類、角度／分布／エネルギー分布など）を併せて出力する。

【０１４３】

以上によって、取得した測定領域（所定領域）毎の電子の角度分布情報、強度分布情報、エネルギー分布情報と、閾値として登録した基準情報（角度分布情報、強度分布情報、エネルギー分布情報）に登録した閾値（欠陥か否かを判断する閾値）とを比較し（図２１からＳ２３）、閾値以上であれば欠陥と判定し、併せてライブラリーを参照して欠陥の分布情報が例えば図１５の（ｂ）のいずれかに該当するかを検索し、一致あるいは最も類似する分布の欠陥の種類を判定し（Ｓ２４）、これらの欠陥情報（種類、角度分布、強度分布、エネルギー分布の情報など）を、他の装置で利用可能なように図２４の欠陥情報ファイルとして出力することが可能となる。

【０１４４】

図２４は、本発明の欠陥情報ファイル例を示す。図２４は、既述した図２３のＳ２６などで出力される欠陥情報ファイルの例を示し、下記のような情報を出力したものである。

【０１４５】

・欠陥番号：
・欠陥位置座標：
・欠陥情報：
・その他：

ここで、欠陥番号は、サンプル８であるマスクなどのパターンの欠陥の検出された順番に付与した一意の番号である。欠陥位置座標は、欠陥の検出された所定領域毎（サンプル８上のマスクを照射した電子ビームのサイズ（例えば１ｎｍから数μｍ平方の所定領域）の例えば中心座標である。欠陥情報は、欠陥の種類、そのときに検出された角度分布情報、強度分布情報、エネルギー分布情報などである。その他は、欠陥の検出されたサンプル８の各種情報（電子ビームの照射条件など、サンプル８の各種情報など）である。

【０１４６】

以上のように、検出した欠陥の欠陥位置座標、欠陥情報（種類、角度分布／強度分布／エネルギー分布情報など）、その他（電子ビームの照射条件など）を登録して保存しておくことにより、他の装置で当該サンプル８の精密定量測定などを行うときに有効活用することが可能となる。

【０１４７】

図２５は、本発明の動作説明フローチャート（その４）を示す。

【０１４８】

図２５において、Ｓ３１は、欠陥候補位置に移動する。これは、既述した図２３のＳ２６で保存した図２４の欠陥情報ファイルを参照し、当該欠陥情報ファイルに登録されている欠陥を欠陥候補として、登録されている欠陥位置座標に、レーザー干渉計を用いて電子ビームで照射できるようにＸＹステージ９で移動させる。

【０１４９】

Ｓ３２は、電子ビームを細く絞ってサンプル表面に走査する。これは、Ｓ３１で図２４の欠陥情報ファイル中の欠陥の欠陥位置座標に位置づけた状態で、電子ビームを細く絞って当該サンプルの欠陥の欠陥座標の場所（所定領域）を走査（照射）する。

【０１５０】

Ｓ３３は、２次電子、反射電子の角度分布、強度分布、エネルギー分布の情報を取得する。

【０１５１】

Ｓ３４は、データベースと比較する。これは、Ｓ３３で取得した電子の角度分布、強度分布、エネルギー分布の情報と、基準情報（欠陥のないパターンの欠陥位置座標の所定領域の角度分布、強度分布、エネルギー分布）と比較し、欠陥の有無を検出する（図９とその説明参照）。

【０１５２】

Ｓ３５は、欠陥の種類を分類する。これは、Ｓ３４で欠陥と判明した場合に、更に、欠陥の種類を分類する（既述した図９のＳ２４とその説明参照）。

【０１５３】

Ｓ３６は、データーベースに出力する。これは、Ｓ３４の比較結果、Ｓ３５の種類などをデータベースに出力する。

【０１５４】

以上によって、保存した欠陥情報ファイル（例えば図２４）を参照し、欠陥と判定された場所に移動し、電子ビームを細く絞って走査し、２次電子、反射電子の角度分布、強度分布、エネルギー分布を取得し、欠陥の無い場合の基準情報（角度分布、強度分布、エネルギー分布の情報）と比較して欠陥情報（欠陥の有無と、種類など）を精密判定（あるいは他の装置で再確認）することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【０１５５】

【図１】本発明の１実施例構成図である。
【図２】本発明の動作説明図（その１）である。
【図３】本発明の動作説明図（その２）である。
【図４】本発明の動作説明図（その３）である。
【図５】本発明の動作説明図（その４）である。
【図６】本発明の動作説明図（その５）である。
【図７】本発明の動作説明図（その６）である。
【図８】本発明の動作説明図（その７）である。
【図９】本発明の動作説明フローチャートである。
【図１０】本発明の動作説明図（その８）である。
【図１１】本発明の動作説明図（その９）である。
【図１２】本発明の動作説明図（その１０）である。
【図１３】本発明の動作説明図（その１１）である。
【図１４】本発明の動作説明図（その１２）である。
【図１５】本発明の動作説明図（その１３）である。
【図１６】本発明の動作説明フローチャート（その２）である。
【図１７】本発明の動作説明図（その１４）である。
【図１８】本発明の動作説明図（その１５）である。
【図１９】本発明の動作説明図（その１６）である。
【図２０】本発明の動作説明図（その１７）である。
【図２１】本発明の動作説明図（その１８）である。
【図２２】本発明の他の実施例構成図である。
【図２３】本発明の動作説明フローチャート（その３）である。
【図２４】本発明の欠陥情報ファイル例である。
【図２５】本発明の動作説明フローチャート（その４）である。

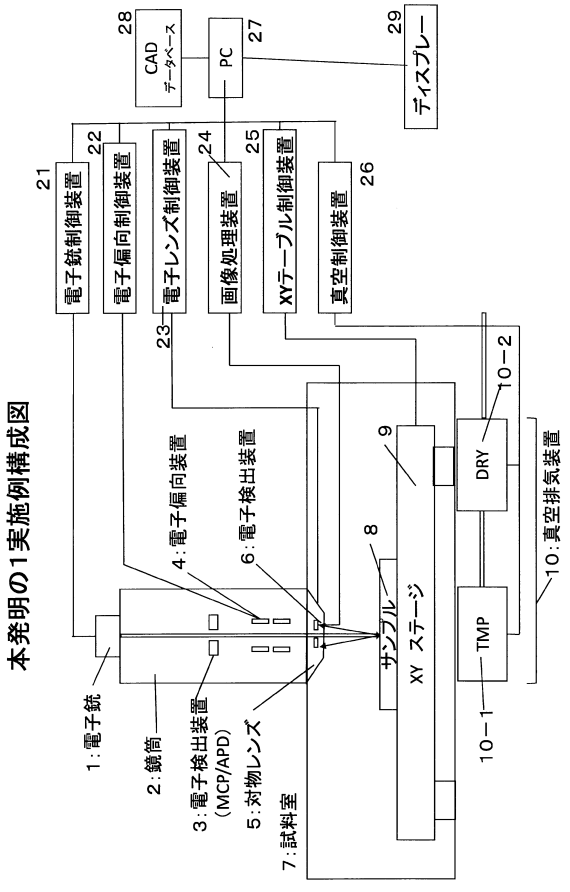
【符号の説明】

【０１５６】

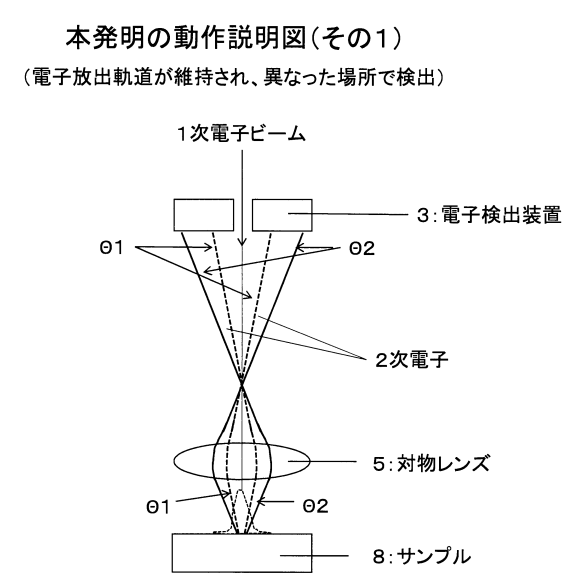
１：電子銃
２：鏡筒
３、６：電子検出装置
４：電子偏向装置
５：対物レンズ
７：試料室
８：サンプル
９：ＸＹステージ
１０：真空排気装置
１０－１：ＴＭＰ
１０－２：ＤＲＹ
２１：電子銃制御装置
２２：電子偏向制御装置

２３：電子レンズ制御装置
２４：画像処理装置
２５：ＸＹテーブル制御装置
２６：真空制御装置
２７：ＰＣ（パソコン）
２８：ＣＡＤデータベース
２９：ディスプレー
３１：ブランキング装置
３２：電位フィルター
３３：電位フィルター電圧供給装置
３４：ＣＡＤデータ
３５：散乱シュミレーション

【図１】

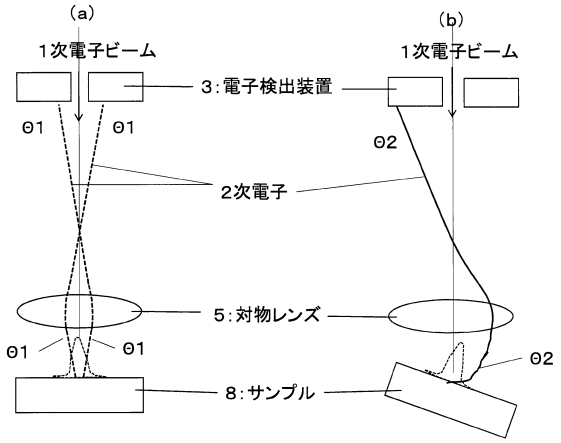


【図２】



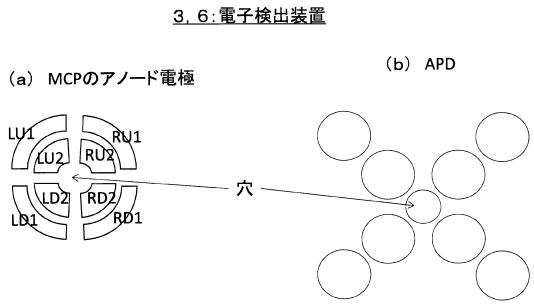
【図３】

本発明の動作説明図（その2）



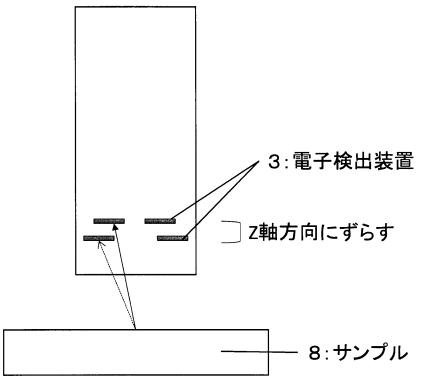
【図４】

本発明の動作説明図（その3）



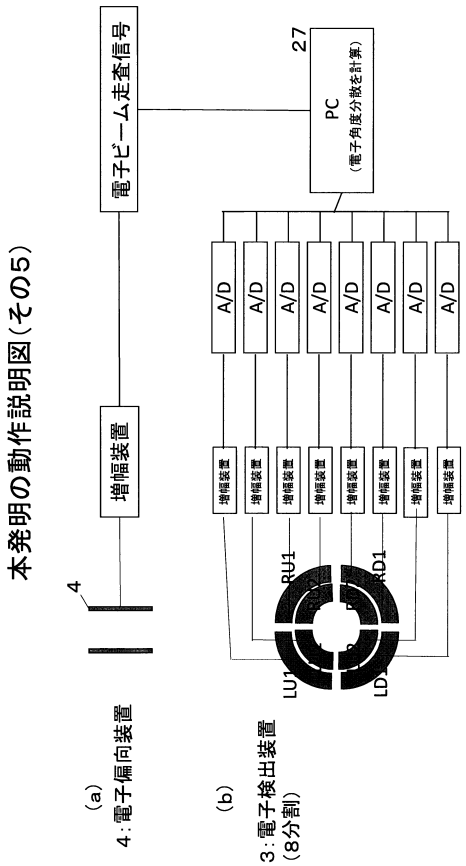
【図５】

本発明の動作説明図（その4）



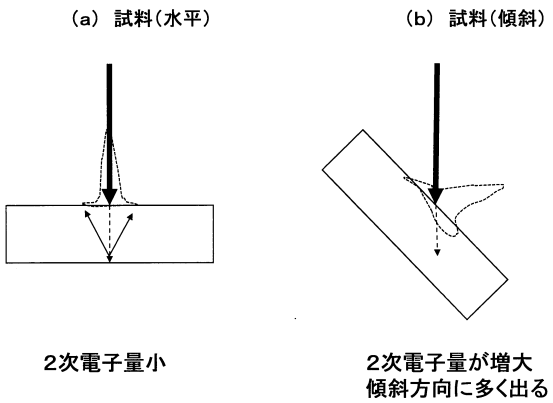
【図６】

本発明の動作説明図（その5）



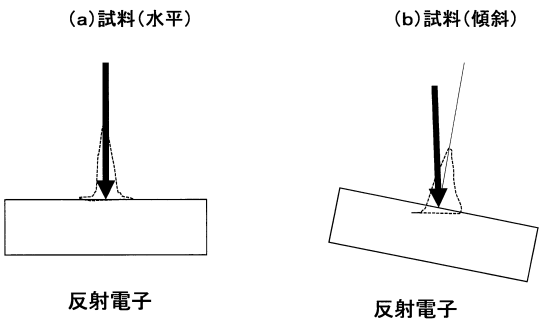
【図７】

本発明の動作説明図（その6）



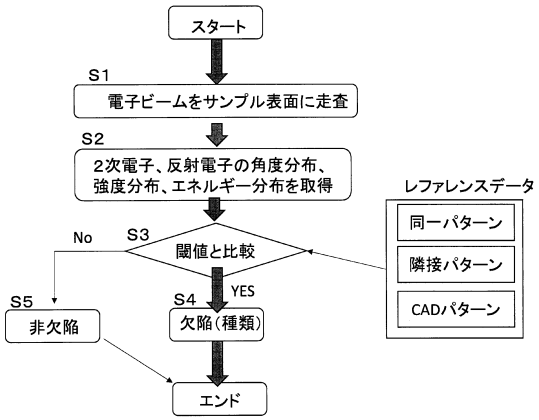
【図８】

本発明の動作説明図（その7）

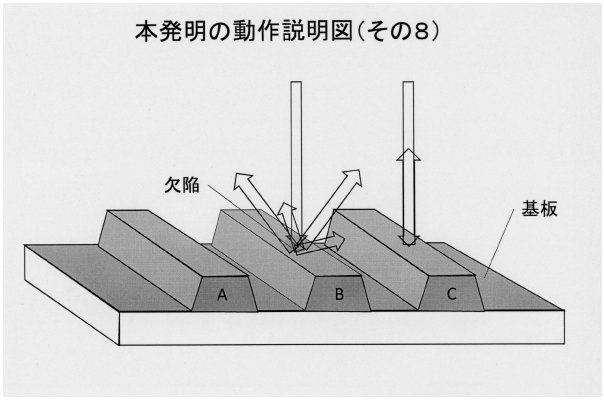


【図９】

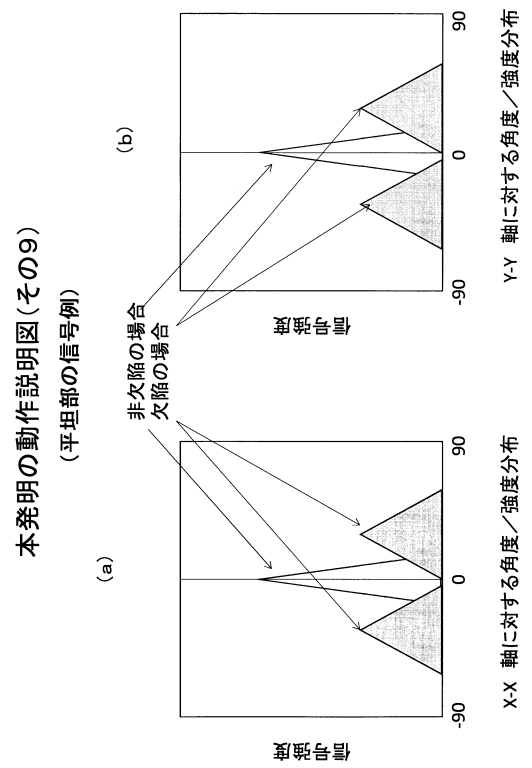
本発明の動作説明フローチャート）



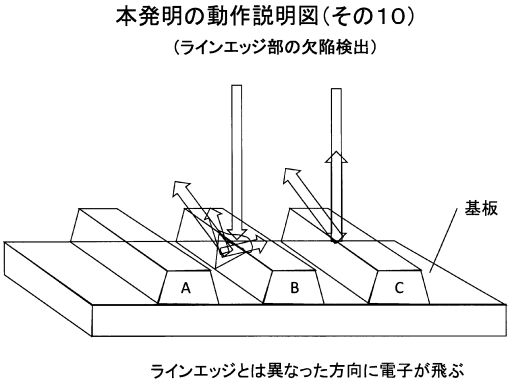
【図１０】



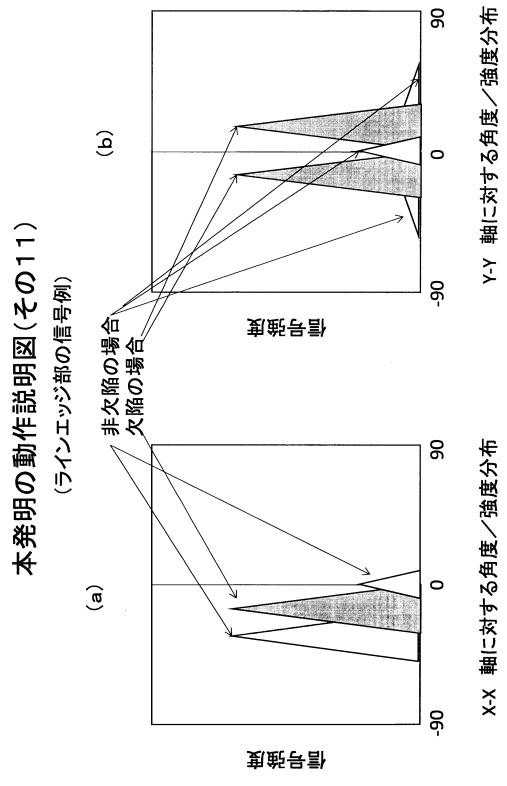
【図１１】



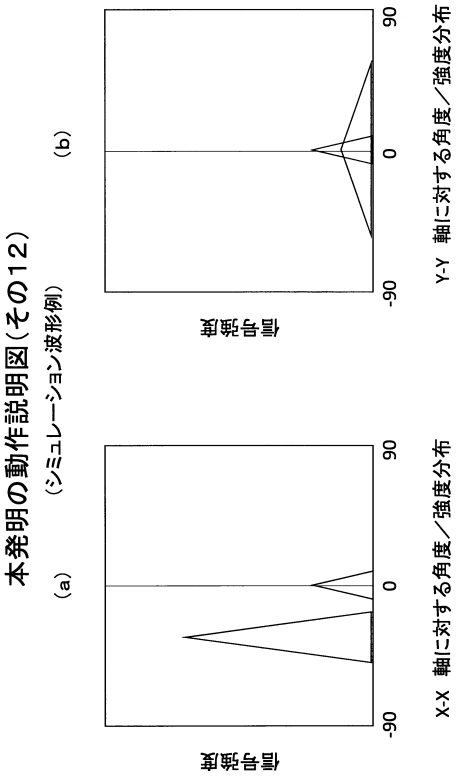
【図１２】



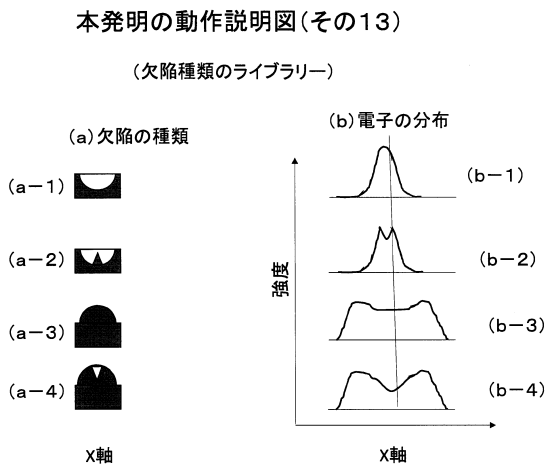
【図１３】



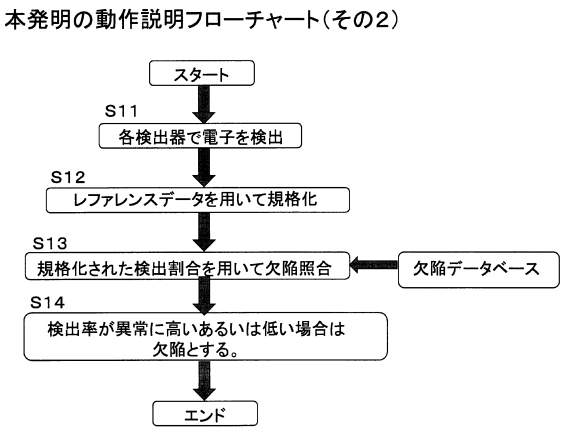
【図１４】



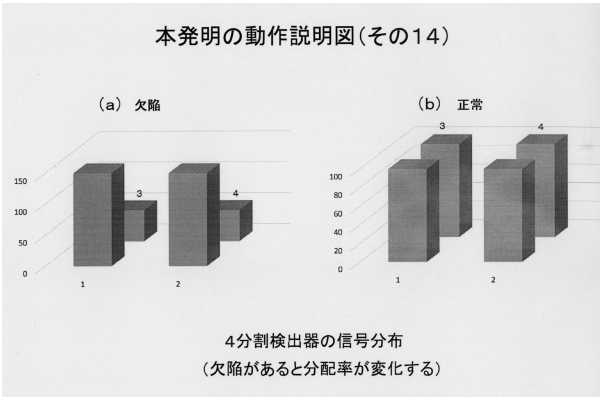
【図１５】



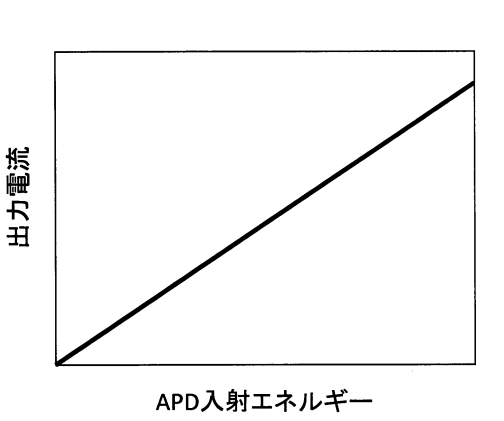
【図１６】



【図１７】

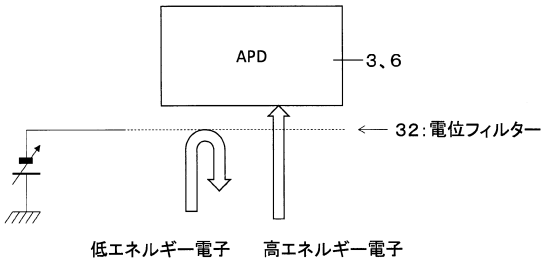


【図１８】



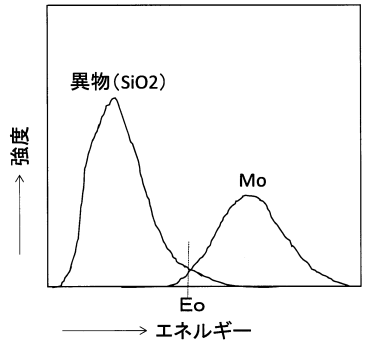
【図１９】

本発明の動作説明図(その16)



【図２０】

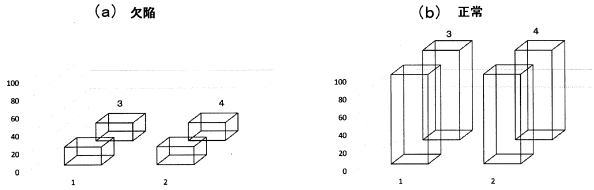
本発明の動作説明図(その17)



【図２１】

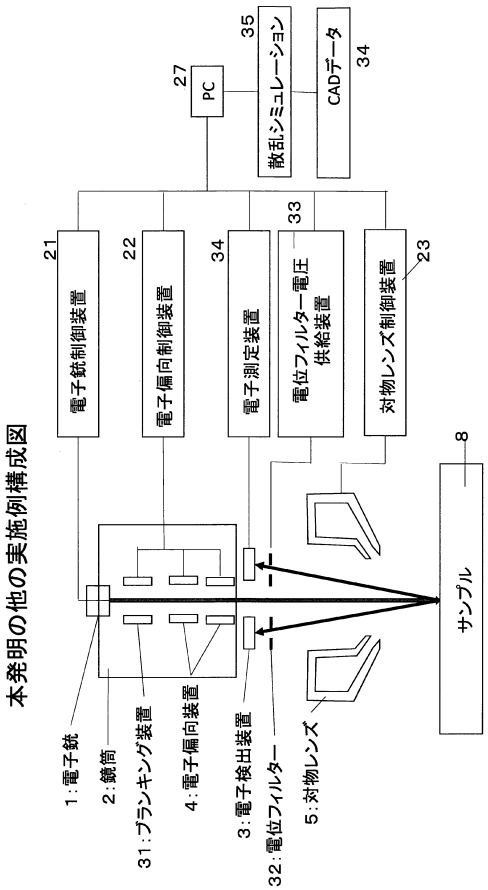
本発明の動作説明図(その8)

(4分割検出装置の出力例)



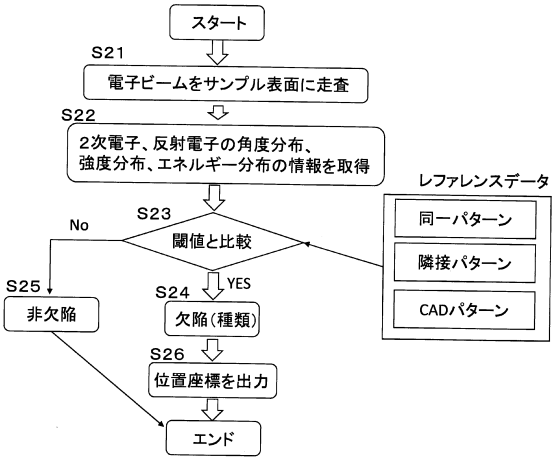
【図２２】

本発明の他の実施例構成図



【図２３】

本発明の動作説明フローチャート(その3)



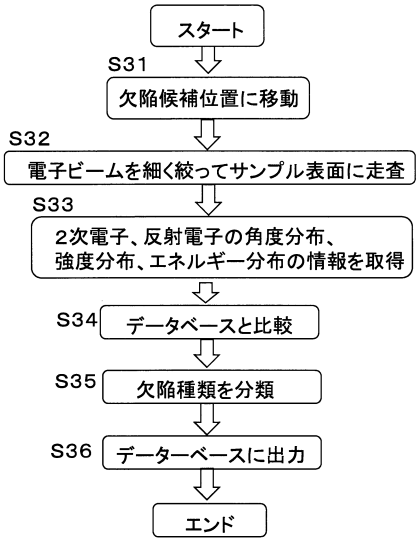
【図２４】

本発明の欠陥情報ファイル例

欠陥番号	欠陥位置座標	欠陥情報(種類、角度／強度／エネルギー分布)	その他
1	X_1、Y_1	K_1	
2	X_2、Y_2	K_2	
3	X_3、Y_3	K_3	
4	X_4、Y_4	K_4	
5	X_5、Y_5	K_5	

【図２５】

本発明の動作説明フローチャート（その4）



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H01L 21/66 (2006.01) H01L 21/66 J

(56)参考文献 特開２００８－１９３１１９（ＪＰ，Ａ）
特開２００８－１１７６９０（ＪＰ，Ａ）
特開２００５－１０１６１９（ＪＰ，Ａ）
特開２００７－２０７６８８（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０１Ｎ ２３／２２５１
Ｇ０１Ｎ ２３／２０３
Ｇ０１Ｂ １５／０８
Ｈ０１Ｊ ３７／２４４
Ｈ０１Ｊ ３７／２８
Ｈ０１Ｌ ２１／６６