

(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2010-44091

(P2010-44091A)

(43) 公開日 平成22年2月25日(2010.2.25)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 N 23/225 (2006.01)	GO 1 N 23/225	2 G O O 1
HO 1 L 21/66 (2006.01)	HO 1 L 21/66 J	4 M 1 O 6

審査請求 有 請求項の数 7 O L (全 47 頁)

(21) 出願番号	特願2009-261499 (P2009-261499)	(71) 出願人	301014904 株式会社ナノジオメトリ研究所 東京都千代田区永田町二丁目9番6号
(22) 出願日	平成21年11月17日(2009.11.17)	(74) 代理人	100091498 弁理士 渡邊 勇
(62) 分割の表示	特願2003-360974 (P2003-360974) の分割	(74) 代理人	100093942 弁理士 小杉 良二
原出願日	平成15年10月21日(2003.10.21)	(74) 代理人	100118500 弁理士 廣澤 哲也
(31) 優先権主張番号	特願2002-307406 (P2002-307406)	(72) 発明者	北村 正 神奈川県川崎市高津区坂戸3-2-1 株 式会社ナノジオメトリ研究所内
(32) 優先日	平成14年10月22日(2002.10.22)	(72) 発明者	久保田 和文 神奈川県川崎市高津区坂戸3-2-1 株 式会社ナノジオメトリ研究所内
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		最終頁に続く

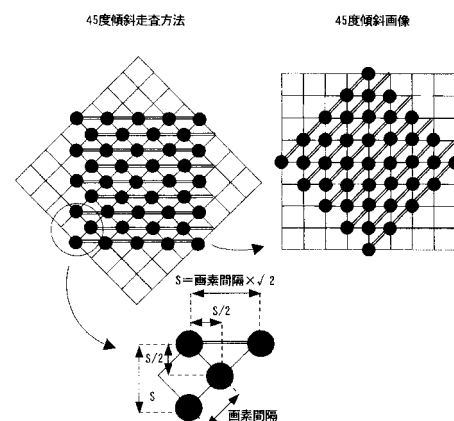
(54) 【発明の名称】 パターン検査装置および方法

(57) 【要約】

【課題】基準パターンを活用して基準データをもとにして各種の計測条件を自動設定することができるパターン検査装置および方法を提供する。

【解決手段】検査対象パターン画像と検査対象パターンを製造するために使用するデータを用いて検査するパターン検査装置であって、データから線分もしくは曲線で表現された基準パターンを生成する生成手段と、検査対象パターンに荷電粒子線を走査して検査対象パターン画像を生成し、検査対象パターン画像の画素の位置を置き換えることで回転した画像を取得する生成手段と、検査対象パターン画像のエッジを検出する手段と、検査対象パターン画像のエッジと線分もしくは曲線で表現された基準パターンとを比較することにより、検査対象パターンを検査する検査手段とを備える。

【選択図】 図 7 5



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

検査対象パターン画像と前記検査対象パターンを製造するために使用するデータを用いて検査するパターン検査装置であって、

前記データから線分もしくは曲線で表現された基準パターンを生成する生成手段と、

前記検査対象パターンに荷電粒子線を走査して前記検査対象パターン画像を生成し、前記検査対象パターン画像の画素の位置を置き換えることで回転した画像を取得する生成手段と、

前記検査対象パターン画像のエッジを検出する手段と、

前記検査対象パターン画像のエッジと前記線分もしくは曲線で表現された基準パターンとを比較することにより、前記検査対象パターンを検査する検査手段とを備えることを特徴とするパターン検査装置。

10

【請求項 2】

検査対象パターン画像と前記検査対象パターンを製造するために使用するデータを用いて検査するパターン検査装置であって、

前記データから線分もしくは曲線で表現された基準パターンを生成する生成手段と、

前記検査対象パターンに荷電粒子線を走査して前記検査対象パターン画像を生成する生成手段と、

前記検査対象パターン画像のエッジを検出する手段と、

前記検査対象パターン画像のエッジと前記線分もしくは曲線で表現された基準パターンとを比較することにより、前記検査対象パターンを検査する検査手段とを備え、

20

前記検査対象パターンの領域に前記荷電粒子線を走査して六角形の前記検査対象パターン画像を生成し、順次、前記領域に隣接した前記検査対象パターンの領域に前記荷電粒子線を走査して六角形の前記検査対象パターン画像を生成し、連続した前記検査対象パターン画像を生成することを特徴とする画像生成装置。

【請求項 3】

検査対象パターン画像と前記検査対象パターンを製造するために使用するデータを用いて検査するパターン検査装置であって、

前記データから線分もしくは曲線で表現された基準パターンを生成する生成手段と、

前記検査対象パターンに、荷電粒子線の走査方向に対して垂直方向の振幅を持たせた走査をして前記検査対象パターン画像を生成する生成手段と、

30

前記検査対象パターン画像のエッジを検出する手段と、

前記検査対象パターン画像のエッジと前記線分もしくは曲線で表現された基準パターンとを比較することにより、前記検査対象パターンを検査する検査手段とを備えることを特徴とするパターン検査装置。

【請求項 4】

検査対象パターン画像と前記検査対象パターンを製造するために使用するデータを用いて検査するパターン検査装置であって、

前記データから線分もしくは曲線で表現された基準パターンを生成する生成手段と、

前記検査対象パターンに荷電粒子線を走査して前記検査対象パターン画像を生成する生成手段と、

40

前記検査対象パターン画像のエッジを検出する手段と、

前記検査対象パターン画像のエッジと前記線分もしくは曲線で表現された基準パターンとを比較することにより、前記検査対象パターンを検査する検査手段とを備え、

前記検査対象パターン画像を生成する生成手段は、前記検査対象パターン画像のエッジを検出するのに使用する部分を前記荷電粒子線で走査し、前記検査対象パターン画像のエッジを検出するのに使用する部分以外の部分を走査せずに前記検査対象パターン画像を生成することを特徴とするパターン検査装置。

【請求項 5】

請求項 4 に記載のパターン検査装置において、前記検査対象パターン画像を生成する生

50

成手段は、前記検査対象パターン画像のエッジを検出するのに使用する部分以外を走査しないことにより、検査対象パターンが存在するサンプルのチャージアップによる前記検査対象パターン画像の変形を低減することを特徴とするパターン検査装置。

【請求項 6】

検査対象パターン画像と前記検査対象パターンを製造するために使用するデータを用いて検査するパターン検査方法であって、

前記データから線分もしくは曲線で表現された基準パターンを生成し、

前記検査対象パターンに荷電粒子線を走査して前記検査対象パターン画像を生成し、前記検査対象パターン画像の画素の位置を置き換えることで回転した画像を取得し、

前記検査対象パターン画像のエッジを検出し、

前記検査対象パターン画像のエッジと前記線分もしくは曲線で表現された基準パターンとを比較することにより、前記検査対象パターンを検査することを特徴とするパターン検査方法。

【請求項 7】

検査対象パターン画像と前記検査対象パターンを製造するために使用するデータを用いて検査するパターン検査方法であって、

前記データから線分もしくは曲線で表現された基準パターンを生成し、

前記検査対象パターンに荷電粒子線を走査して前記検査対象パターン画像を生成し、

前記検査対象パターン画像のエッジを検出し、

前記検査対象パターン画像のエッジと前記線分もしくは曲線で表現された基準パターンとを比較することにより、前記検査対象パターンを検査し、

前記検査対象パターン画像の生成で、前記検査対象パターン画像のエッジを検出するのに使用する部分を前記荷電粒子線で走査し、前記検査対象パターン画像のエッジを検出するのに使用する部分以外の部分を走査せずに前記検査対象パターン画像を生成することを特徴とするパターン検査方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、パターン検査装置および方法に関し、より具体的には、例えば、設計データに従い作成された、半導体（LSI）や液晶パネルおよびそれらのマスク（レチクル）などの微細パターンを検査するためのパターン検査装置および方法に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体集積回路の製造工程におけるウエーハのパターン検査、あるいはそのパターン形成用のマスクのパターン検査には、ダイ・ツー・ダイ（die to die）比較と呼ばれる方法を用いた光学式パターン検査装置が使われている。この検査方法は、検査対象のダイとその近接ダイの同じ位置から得られる画像どうしを比較することで欠陥を見つける方法である。

【0003】

一方、近接ダイの存在しないレチクルと呼ばれるマスクの検査には、ダイ・ツー・データベース（die to database）比較と呼ばれる方法が採用されている。すなわち、CADデータを画像フォーマットに変換して近接ダイの代わりとし、前述同様の検査をする方法が使われている。当該技術は、たとえば米国特許5563702号“Automated photomask inspection apparatus and method”に記載されている。ただし、この手法では、ウエーハに形成された実パターンのコーナーの丸み部分が欠陥として認識されてしまうので、その対策として、CADデータから得られた画像に丸みをもたせる前処理を行う方法などで回避している。このような状況でダイ・ツー・データベース比較検査を行うと、コーナーの不良と判断する必要のないパターン変形を欠陥として認識してしまい、これは上述の前処理を行ってもかなり発生する。逆に、コーナーのパターン変形を無視する設定にすると、コーナー以外に存在する微少欠陥を認識できないというジレンマがある。

【 0 0 0 4 】

現在、マスクについては、C A Dデータに正確に一致する必要があるため、ダイ・ツー・データベース比較方式での検査が実用化されている。しかしながら、ウエーハに転写されたパターンは電気特性などが保証される範囲でパターン変形が許されており、実際に露光条件の違いなどからパターン変形がかなりの程度発生している。

【 0 0 0 5 】

また、前述のダイ・ツー・ダイ比較方式のパターン検査方法では、システムティック欠陥とよばれる、マスク不良などを原因としてウエーハ上の全ダイにおいて共通に発生する欠陥は検出できない。すなわち、検査対象のダイ及びその比較対象の近接ダイの両方に同じ欠陥が発生しているため、両者を比較したのでは違いがわからないからである。

10

【 0 0 0 6 】

そこで、計算コストなどで問題があり実用化には至っていないが、C A Dデータとウエーハ画像とのマッチング検査が提案されている。たとえば、N E C 技報 V o l . 5 0 N o . 6 / 1 9 9 7 の「電子ビームテストを用いたロジック L S I の自動故障箇所トレース法」がある。この文献では、配線エッジの X , Y 軸へのプロジェクションを用いる方法、配線コーナーに着目した方法、遺伝的アルゴリズムを応用した方法が記述されている。また、この文献で採用した方法として、エッジを直線近似した後に閉領域を抽出し、この閉領域を使うマッチング方法が説明されている。しかし、これらいずれの方法も高速検査に使用可能な速度を実現できず、さらに、パターンの変形量を検出しながらマッチングすることができない。

20

【 0 0 0 7 】

また現在では、欠陥を含む画像（欠陥画像）とこれに対応した近接ダイの画像（リファレンス画像）との比較による自動欠陥種分類（Auto Defect Classification : A D C ）が使われている。しかしながら、リファレンス画像の輝度むらなどが認識精度に影響する。また、画像だけではパターンの内部と外部の特定が不可能な場合がある。このような場合は、短絡と欠損の区別などが困難な場合が多い。また、欠陥がどのパターンを破壊しているかの情報が得られないので、パターンへの致命的欠陥とそうでない欠陥の分類ができない。

【 0 0 0 8 】

ダイ・ツー・ダイ比較を用いた検査方法では、欠陥の位置について、検査装置のステージ精度及び光学系精度に起因する誤差をもっており、その誤差は配線パターン幅より 1 0 倍程度以上大きい。これが原因で、形成したいパターン（設計パターン）に欠陥位置を投影しても、パターンの欠陥位置を正確に特定することができない。

30

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 9 】

近年、集積回路のパターン幅は露光プロセスで使用する光源波長程度か、もしくはそれを下回るようになってきており、このようなパターン形成には、光近接効果補正（Optical Proximity Correction : O P C ）パターンを付加する方法が採用されている。これは、設計データに O P C パターンを付加したものでマスクを形成し、これにより露光することで、製造されるウエーハ上の実パターンを設計データに近づける技術である。

40

【 0 0 1 0 】

O P C パターンがウエーハのパターンに補正として有効に作用しているかどうかは、従来のダイ・ツー・ダイ比較では検査できない。したがって、その解決方法、たとえばウエーハのパターンと設計データとの比較検証を、許容パターン変形量を考慮して行える手法が求められている。

【 0 0 1 1 】

また、例えばシステムオンチップ（S O C ）で見られる多品種少量生産では、短納期が求められている。このような場合に、最終検査である電氣的検査でシステムティック欠陥を発見しても、短納期に応えられない場合がある。この対策として、露光プロセスの各段

50

階で設計データとの差異をモニタする要求が発生している。そこで、電気特性に影響しないパターン変形を許容パターン変形量として設定しておき、許容パターン変形量以内の変形を考慮しながら設計データとウエーハのパターンの比較検証を行えるような検査方法が求められる。

【 0 0 1 2 】

また現在では、パターン変形の評価として、リソシミュレータなどによりデザインチェックが行われている。このシミュレーションの正当性を検証するために、リソシミュレータが出力したパターン（シミュレーションパターン）と実パターンとの比較検討手段が必要とされている。

また、設計データに対するパターン変形量を求めることにより、回路設計上の技術を向上させることがますます重要になっている。

10

【 0 0 1 3 】

ところで、現在、半導体集積回路の製造工程におけるウエーハのパターン線幅管理用に、C D - S E M (Critical Dimension Scanning Electron Microscope) が用いられている。このC D - S E Mは、ショットと呼ばれるステップの一転写単位ごとに、指定された位置にある直線パターンの線幅をラインプロファイルを使って自動的に測長するものである。この測長を、1ロットあたり数枚のウエーハにおける数ショットに対して数ヶ所実施し、ステップの転写機能が正常かどうか、nm単位で管理することができる。

【 0 0 1 4 】

回路パターンの管理としては線幅以外にも、配線終端の縮み、孤立パターンの位置なども重要であるが、C D - S E Mの自動測長機能は1次元対応で線幅など長さしか測定できない。したがって、これら2次元形状の測定は、C D - S E Mや他の顕微鏡から得られた画像を操作者が目視することにより実施されている。

20

【 0 0 1 5 】

光近接効果補正 (O P C) は、直線パターンの線幅を確保するのはもとより、コーナーや孤立パターンの形状形成にも重要な役目を担っている。またさらに、動作周波数の向上により現在では、ゲート線幅に加えて、エンドキャップやフィールドエクステンションと呼ばれるゲート配線パターンの先端や付け根の形状管理も重要になってきている。

【 0 0 1 6 】

このような2次元パターンの形状測定は、製造工程での抜き取り検査でも、試作段階でも重要であり、特に試作段階では、ウエーハ全面についてパターン形成の検査が必要とされる。

30

【 0 0 1 7 】

しかし、上述のように2次元形状の管理は人的作業によっているのが現状で、正確性、生産性の面から自動化が求められている。

この要請に応じて、走査型電子顕微鏡を用い、電子線（荷電粒子線）のすべての走査方向を一定にして自動計測をする方法が実施されている。しかしながら、この方法では、線分の方

40

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 8 】

上記目的を達成するために、本発明の第1の態様は、検査対象パターン画像と前記検査対象パターンを製造するために使用するデータを用いて検査するパターン検査装置であって、前記データから線分もしくは曲線で表現された基準パターンを生成する生成手段と、前記検査対象パターンに荷電粒子線を走査して前記検査対象パターン画像を生成し、前記検査対象パターン画像の画素の位置を置き換えることで回転した画像を取得する生成手段と、前記検査対象パターン画像のエッジを検出する手段と、前記検査対象パターン画像のエッジと前記線分もしくは曲線で表現された基準パターンとを比較することにより、前記検査対象パターンを検査する検査手段とを備えることを特徴とする。

50

【 0 0 1 9 】

本発明の第2の態様は、検査対象パターン画像と前記検査対象パターンを製造するために使用するデータを用いて検査するパターン検査装置であって、前記データから線分もしくは曲線で表現された基準パターンを生成する生成手段と、前記検査対象パターンに荷電粒子線を走査して前記検査対象パターン画像を生成する生成手段と、前記検査対象パターン画像のエッジを検出する手段と、前記検査対象パターン画像のエッジと前記線分もしくは曲線で表現された基準パターンとを比較することにより、前記検査対象パターンを検査する検査手段とを備え、前記検査対象パターンの領域に前記荷電粒子線を走査して六角形の前記検査対象パターン画像を生成し、順次、前記領域に隣接した前記検査対象パターンの領域に前記荷電粒子線を走査して六角形の前記検査対象パターン画像を生成し、連続した前記検査対象パターン画像を生成することを特徴とする。

10

【 0 0 2 0 】

本発明の第3の態様は、検査対象パターン画像と前記検査対象パターンを製造するために使用するデータを用いて検査するパターン検査装置であって、前記データから線分もしくは曲線で表現された基準パターンを生成する生成手段と、前記検査対象パターンに、荷電粒子線の走査方向に対して垂直方向の振幅を持たせた走査をして前記検査対象パターン画像を生成する生成手段と、前記検査対象パターン画像のエッジを検出する手段と、前記検査対象パターン画像のエッジと前記線分もしくは曲線で表現された基準パターンとを比較することにより、前記検査対象パターンを検査する検査手段とを備えることを特徴とする。

20

【 0 0 2 1 】

本発明の第4の態様は、検査対象パターン画像と前記検査対象パターンを製造するために使用するデータを用いて検査するパターン検査装置であって、前記データから線分もしくは曲線で表現された基準パターンを生成する生成手段と、前記検査対象パターンに荷電粒子線を走査して前記検査対象パターン画像を生成する生成手段と、前記検査対象パターン画像のエッジを検出する手段と、前記検査対象パターン画像のエッジと前記線分もしくは曲線で表現された基準パターンとを比較することにより、前記検査対象パターンを検査する検査手段とを備え、前記検査対象パターン画像を生成する生成手段は、前記検査対象パターン画像のエッジを検出するのに使用する部分を前記荷電粒子線で走査し、前記検査対象パターン画像のエッジを検出するのに使用する部分以外の部分を走査せずに前記検査対象パターン画像を生成することを特徴とする。

30

本発明の好ましい態様は、請求項4に記載のパターン検査装置において、前記検査対象パターン画像を生成する生成手段は、前記検査対象パターン画像のエッジを検出するのに使用する部分以外を走査しないことにより、検査対象パターンが存在するサンプルのチャージアップによる前記検査対象パターン画像の変形を低減することを特徴とする。

【 0 0 2 2 】

本発明の第5の態様は、検査対象パターン画像と前記検査対象パターンを製造するために使用するデータを用いて検査するパターン検査方法であって、前記データから線分もしくは曲線で表現された基準パターンを生成し、前記検査対象パターンに荷電粒子線を走査して前記検査対象パターン画像を生成し、前記検査対象パターン画像の画素の位置を置き換えることで回転した画像を取得し、前記検査対象パターン画像のエッジを検出し、前記検査対象パターン画像のエッジと前記線分もしくは曲線で表現された基準パターンとを比較することにより、前記検査対象パターンを検査することを特徴とする。

40

本発明の第6の態様は、検査対象パターン画像と前記検査対象パターンを製造するために使用するデータを用いて検査するパターン検査方法であって、前記データから線分もしくは曲線で表現された基準パターンを生成し、前記検査対象パターンに荷電粒子線を走査して前記検査対象パターン画像を生成し、前記検査対象パターン画像のエッジを検出し、前記検査対象パターン画像のエッジと前記線分もしくは曲線で表現された基準パターンとを比較することにより、前記検査対象パターンを検査し、前記検査対象パターン画像の生成で、前記検査対象パターン画像のエッジを検出するのに使用する部分を前記荷電粒子線

50

で走査し、前記検査対象パターン画像のエッジを検出するのに使用する部分以外の部分を走査せずに前記検査対象パターン画像を生成することを特徴とする。

【0023】

本発明は、検査対象パターン画像と前記検査対象パターンを製造するために使用するデータを用いて検査するパターン検査装置であって、前記データから線分もしくは曲線で表現された基準パターンを生成する生成手段と、前記基準パターンを使って前記荷電粒子線を走査する条件を設定し、前記検査対象パターンに荷電粒子線を走査して前記検査対象パターン画像を生成する生成手段と、前記検査対象パターン画像のエッジを検出する手段と、前記検査対象パターン画像のエッジと前記線分もしくは曲線で表現された基準パターンとを比較することにより、前記検査対象パターンを検査する検査手段とを備えてもよい。

10

【0024】

前記検査対象パターン画像を生成する生成手段は、前記基準パターンが存在しない領域を走査しないように走査条件を設定してもよい。

前記検査対象パターン画像を生成する生成手段は、前記基準パターンの線幅を使って、前記検査対象パターン画像の倍率が変わるように、走査条件を設定してもよい。

前記検査対象パターン画像を生成する生成手段は、前記基準パターンを使って前記荷電粒子線を走査する条件の一つである前記荷電粒子線の走査方向を設定してもよい。

前記荷電粒子線の走査方向は、前記荷電粒子線が前記検査対象パターンを構成する線分の方向のすべてにより垂直になる方向としてもよい。

前記荷電粒子線の走査方向は、縦線の前記検査対象パターンが存在する領域では横方向とし、横線の前記検査対象パターンが存在する領域では縦方向とし、縦線と横線の前記検査対象パターンが混在する領域では45度方向、-45度方向、45度方向の逆方向である-135度と、-45度方向の逆方向である135度のいずれかの方向としてもよい。

20

前記検査対象パターン画像を生成する生成手段は、複数の異なる前記走査方向を設定して、複数の前記検査対象パターン画像を生成し、前記エッジを検出する手段は、前記荷電粒子線が前記検査対象パターンのエッジにより垂直になる方向である走査方向で得られた前記検査対象パターン画像からエッジを検出してよい。

前記荷電粒子線の走査方向は、縦線の前記検査対象パターンと横線の前記検査対象パターンが混在する領域では、縦方向と横方向の2方向とし、前記エッジを検出する手段は、前記基準パターンの縦線に対応する前記検査対象パターン画像のエッジを横方向の走査で得られた前記検査対象パターン画像から取得し、前記基準パターンの横線に対応する前記検査対象パターン画像のエッジを縦方向の走査で得られた前記検査対象パターン画像から検出してよい。

30

【0025】

本発明は、検査対象パターン画像と前記検査対象パターンを製造するために使用するデータを用いて検査するパターン検査方法であって、前記データから線分もしくは曲線で表現された基準パターンを生成し、前記基準パターンを使って前記荷電粒子線を走査する条件を設定し、前記検査対象パターンに荷電粒子線を走査して前記検査対象パターン画像を生成し、前記検査対象パターン画像のエッジを検出し、前記検査対象パターン画像のエッジと前記線分もしくは曲線で表現された基準パターンとを比較することにより、前記検査対象パターンを検査してもよい。

40

【発明の効果】

【0026】

本発明によれば、以下の効果を奏することができる。

(1) 検査対象パターンの画像を得るために、最小限度の電子線(荷電粒子線)を走査すればよく、したがって最小の時間で検査対象パターンの画像を得ることができる。

(2) スキャン可能なエリアを最大限に活用して広範囲のブロックをできるだけ小さい数のブロックで実現し、更にスキャン方向に依存するエッジの検出精度の低下を基準パターンを使って最適な方法で取得することができる。

(3) ラスタースキャンが持っているデータの欠落部分を、波形を変えること、もしくは

50

2回スキャンをする方法、もしくはフィルタをかける方法等で、X方向とY方向の画質の僅差を極力低減することが出来る。

(4) サンプルのチャージアップによるプロファイルの変形が低減でき、パターンの変形量の精度を向上する効果がある。また、全体をラスタースキャンをしてデータを取得するのではなく、計測に最も重要であるエッジ部分のみのスキャンを行うことによって、高速に画像を取得することができる。

(5) 内挿による画質低下を伴わない回転画像を取得することができ、エッジの検出精度の低下を避けられる。

【図面の簡単な説明】

【0027】

10

【図1】本発明の検査装置の基本構成を示す概略図である。

【図2】図1で示す2次電子検出器で検出した2次電子の強度をあらわす模式図である。

【図3】図2に示すパターンを90度回転させ、このパターンのプロファイルを撮像した場合の模式図である。

【図4】本発明のパターン検査装置によりパターン検査を行う場合のスキャンエリアを示す模式図である。

【図5】横方向のスキャンを行った場合の測定精度を説明するための図である。

【図6】下から上方向に向かって縦方向のスキャンを行った場合の測定精度を説明するための図である。

【図7】双方向のスキャンを行う場合の模式図である。

20

【図8】設計データに基づく理論上のパターンの例を示す図である。

【図9】設計データに基づいて実際に製造されたパターンの例を示す図である。

【図10】本発明の実施形態に係るパターン検査装置が行う検査処理の概要を示す図である。

【図11】本発明の実施形態におけるパターン検査装置のハードウェア構成例を示す図である。

【図12】本発明の実施形態におけるパターン検査装置の機能ブロック図を示す図である。

【図13】本発明の実施形態におけるレシピ登録処理の例を示すフローチャートである。

【図14】基準パターンの補正例を示す図である。

30

【図15】逐次検査を説明するための図である。

【図16】ランダム検査を説明するための図である。

【図17】基準パターンの例を示す図である。

【図18】図17の基準パターンをピクセルごとのエッジベクトルに変換した例を示す図である。

【図19】曲線を含む基準パターンをエッジベクトルに変換した例を示す図である。

【図20】本発明の実施形態における検査処理の例を示すフローチャートである。

【図21】パターン内部と下地にコントラストが付く画像(検査対象パターン画像)の例を示す図である。

【図22】図21の画像から検出したエッジを示す図である。

40

【図23】輪郭のみが明るい画像(検査対象パターン画像)の例を示す図である。

【図24】図23の画像から検出したエッジを示す図である。

【図25】1次元の検査対象パターン画像のエッジ振幅の例を示す図である。

【図26】図25のエッジを膨張させた例を示す図である。

【図27】1次元の基準パターンのエッジの振幅の例を示す図である。

【図28】図25のエッジを膨張させた別の例を示す図である。

【図29】1次元の基準パターンのエッジの振幅の別の例を示す図である。

【図30】図25のエッジを膨張させた別の例を示す図である。

【図31】スムージングフィルタの例を示す図である。

【図32】2次元の検査対象パターン画像のエッジの振幅の例を示す図である。

50

【図 3 3】図 3 2 のエッジを膨張させた例を示す図である。
 【図 3 4】図 3 2 のエッジを膨張させた別の例を示す図である。
 【図 3 5】2 次元の検査対象パターン画像のエッジベクトルの例を示す図である。
 【図 3 6】図 3 5 のエッジベクトルを膨張させた例を示す図である。
 【図 3 7】図 3 5 のエッジベクトルを膨張させた別の例を示す図である。
 【図 3 8】図 1 7 の基準パターンをピクセル単位のエッジベクトルで表した別の図である。

【図 3 9】マッチングを説明するための図である。
 【図 4 0】図 3 6 と図 3 8 とを重ね合わせた図である。
 【図 4 1】図 3 6 と図 3 8 とを重ね合わせた図である。
 【図 4 2】(a) は基準パターンの例を示し、(b) は検査対象パターン画像の例を示す図である。

10

【図 4 3】配線の間隔と下地の間隔とが同じ場合の例を示す図である。
 【図 4 4】(a) は基準パターンの例を示し、(b) は(a)の基準パターンと検査対象パターン画像との関係の例を示す図である。
 【図 4 5】マッチングを行った後の検査対象パターン画像のエッジおよび基準パターンのエッジの例を示す図である。
 【図 4 6】(a) は基準パターンのエッジの例を示し、(b) は検査対象パターン画像のエッジの例を示す図である。

20

【図 4 7】方向情報の付与手法の他の例を示す図である。
 【図 4 8】検査対象パターン画像の例を示す図である。
 【図 4 9】輝度値に対する頻度の分布の例を示す図である。
 【図 5 0】(a) は基準パターンのエッジ、および検査対象パターン画像のエッジの例を示し、(b) は(a)に示すエッジ間の $y = y_0$ におけるベクトル $d(x, y_0)$ の x 成分を回帰直線 $D(x)$ で近似した例を示す図である。
 【図 5 1】(a) は基準パターンのエッジ、および検査対象パターン画像のエッジの別の例を示し、(b) は(a)に示すエッジ間の $y = y_0$ におけるベクトル $d(x, y_0)$ の x 成分を回帰直線 $D(x)$ で近似した例を示す図である。

30

【図 5 2】パターンの属性の例について示す図である。
 【図 5 3】先端の位置ずれ量を示す図である。
 【図 5 4】孤立パターンの重心の位置ずれ量を示す図である。
 【図 5 5】(a) は基準パターンのエッジのコーナーの例を示し、(b) は検査対象パターン画像のエッジのコーナーの例を示す図である。
 【図 5 6】プロファイル取得区間の例を示す図である。
 【図 5 7】リソシミュレータで得られた露光パターンの外形を形成する曲線を示す図である。

【図 5 8】図 5 6 の一部(B の部分)を拡大した図である。
 【図 5 9】図 5 8 の一部(C の部分)を拡大した図である。
 【図 6 0】プロファイルの例を示す図である。
 【図 6 1】第 2 のエッジ位置(点)に基づいて曲線近似を行い、第 2 のエッジを求めた例を示す図である。

40

【図 6 2】(a) はプロファイル取得区間の別の例を示し、(b) は検査対象パターン画像の第 1 のエッジと第 2 の基準パターンとの関係の例を示す図である。
 【図 6 3】高倍画像および低倍画像を用いて測長を行う例を示す図である。
 【図 6 4】電子線のスキャン方向を 4 5 度および - 4 5 度とした場合を示す模式図である。

【図 6 5】電子線のスキャン方向を 1 8 度とした場合を示す模式図である。
 【図 6 6】電子線をある領域に走査して所定の形状の画像を生成し、次に隣接した領域に走査して次の所定の形状の画像を生成し、順次これを繰り返し広い領域の 1 つの画像を得る方法を示す模式図である。

50

【図 6 7】基準パターンに基づいて電子線のスキャンの方法を決定するための方法を示す模式図である。

【図 6 8】電子線のスキャン経路を説明する模式図である。

【図 6 9】電子線のスキャン経路を説明する模式図である。

【図 7 0】垂直方向のスキャンに対してフィルタをかけた場合を説明する模式図である。

【図 7 1】エッジのみスキャンする場合を示す模式図である。

【図 7 2】エッジのみスキャンする場合のステップを示すフローチャートである。

【図 7 3】エッジのみスキャンする場合の計測データの取得順序付けの方法を示す図である。

【図 7 4】0 度の画像もしくは 9 0 度の画像を用いて測定されるべき線分、終端、コーナーを分類して、得られた結果を集計する方法を示す図である。

【図 7 5】画素の位置を置き換えることによってのみ回転した画像を得る方法を示す図である。

【図 7 6】画素の位置を置き換えることによってのみ回転した画像を得る方法を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0028】

以下、図面を参照しつつ本発明の好ましい実施形態について詳しく説明する。

図 1 は、本発明のパターン検査装置における画像生成装置の基本構成を示す概略図である。本発明のパターン検査装置における画像生成装置 7 は、照射系装置 3 1 0 と試料室 3 2 0 と 2 次電子検出器 3 3 0 とから構成されている。照射系装置 3 1 0 は、電子銃 3 1 1 と、電子銃 3 1 1 から放出された 1 次電子を集束する集束レンズ 3 1 2 と、電子線（荷電粒子線）を偏向する X 偏向器 3 1 3 および Y 偏向器 3 1 4 と、対物レンズ 3 1 5 とから構成されている。試料室 3 2 0 は X Y ステージ 3 2 1 を備えている。試料室 3 2 0 にはウエーハ搬送装置 3 4 0 によって試料であるウエーハ W が搬出入されるようになっている。照射系装置 3 1 0 においては、電子銃 3 1 1 から放出された 1 次電子は集束レンズ 3 1 2 で集束された後に、X 偏向器 3 1 3 および Y 偏向器 3 1 4 で偏向されつつ対物レンズ 3 1 5 により集束されて試料であるウエーハ W の表面に照射される。

【0029】

ウエーハ W に 1 次電子が照射されるとウエーハ W からは 2 次電子が放出され、2 次電子は 2 次電子検出器 3 3 0 により検出される。集束レンズ 3 1 2 および対物レンズ 3 1 5 はレンズ制御装置 3 1 6 に接続され、このレンズ制御装置 3 1 6 は制御コンピュータ 3 5 0 に接続されている。2 次電子検出器 3 3 0 は画像取得装置 3 1 7 に接続され、この画像取得装置 3 1 7 も同様に制御コンピュータ 3 5 0 に接続されている。前記 X 偏向器 3 1 3 および Y 偏向器 3 1 4 は、偏向制御装置 3 1 8 に接続され、この偏向制御装置 3 1 8 も同様に制御コンピュータ 3 5 0 に接続されている。X Y ステージ 3 2 1 は、X Y ステージ制御装置 3 2 2 に接続され、この X Y ステージ制御装置 3 2 2 は制御コンピュータ 3 5 0 に接続されている。またウエーハ搬送装置 3 4 0 も同様に制御コンピュータ 3 5 0 に接続されている。制御コンピュータ 3 5 0 は、操作コンピュータ 3 6 0 に接続されている。

【0030】

図 2 は、図 1 で示す 2 次電子検出器 3 3 0 で検出した 2 次電子の強度をあらわす模式図である。図 2 は、1 本の電子線を X 方向に走査した場合の 2 次電子検出器 3 3 0 によって得られた 2 次電子の強度をあらわしており、パターン P のエッジ部がエッジ効果により強度が強く、パターン P の中心部の強度が弱くなっている。また、パターン P の左側と右側とでは対称ではなく、電子線の進入側のエッジ（図の左側のエッジ）が、反対側のエッジ（図の右側のエッジ）に比べて信号量が弱く観測される。

【0031】

図 3 は、図 2 に示すパターン P を 9 0 度回転させ、このパターン P のプロファイルを撮像した場合の模式図である。図 3 は、X 方向に複数の電子線を走査することにより 2 次電子の強度を図示したものである。図 3 に示すように、走査方向と平行なエッジ部では図 2

10

20

30

40

50

に比べてエッジ効果を明瞭に得ることが難しい。

【 0 0 3 2 】

図 4 は、本発明のパターン検査装置によりパターン検査を行う場合のスキャンエリアを示す模式図である。図 4 において、実線で書かれている部分は検査対象となるパターン P を示している。一点鎖線で書かれている正方形のブロックは、1 回のスキャンによって取得する領域の範囲（スキャンエリア）を示している。このブロックは、この例においては縦 3 つ横 3 つの計 9 つのブロック B 1 ~ B 9 から構成されている。また、点線で書かれている部分は観察エリア O A である。

【 0 0 3 3 】

図 5 は、横方向（X 方向）のスキャンを行った場合の測定精度を説明するための図である。図 5 に示すように、横方向のスキャンをした場合、図 2 と同様に縦線についての測定精度は良好であるが、横線については良好な測定精度が得られない。

図 6 は、下から上方向に向かって縦方向（Y 方向）のスキャンを行った場合の測定精度を説明するための図である。図 6 に示すように、縦方向のスキャンをした場合、横線についての測定精度は良好であるが、縦線については良好な測定精度が得られない。

図 4 における縦横のパターンがある左下のブロック B 7 においては、縦線と横線の両方について良好な測定精度を得ようとする、図 5 に示す横方向のスキャンと図 6 に示す縦方向のスキャンの 2 回のスキャンを行わなければ良好な測定精度が得られない。その右隣に示す横線のためのブロック B 8 においては、図 6 に示す縦方向のスキャンのみを行えばよい。また、中段 1 番左に示す縦線のためのパターンのブロック B 4 においては、図 5 に示す横方向のスキャンのみを行えばよい。このように、横方向、縦方向にそれぞれスキャンを行う、あるいは横方向および縦方向 2 回のスキャンを行うという方法で、スキャンを制御して所望の画像を得るようにしている。

【 0 0 3 4 】

スキャン方向が 0 度（X 方向）の場合、パターンが X 方向（横方向）に延びているパターンについてのエッジ検出精度が弱く、スキャン方向が 90 度（Y 方向）の場合には、Y 方向（縦方向）に延びているパターンのエッジ検出精度が弱い。従って、良好なエッジ検出精度を得るためには、スキャン方向は 0 度および 90 度の 2 方向のスキャンを行うことが必要である。検出すべき半導体（LSI）や液晶パネルのパターンの大部分は、横方向（X 方向）に延びるパターンと縦方向（Y 方向）に延びるパターンとで構成されているために、これらのパターンを精度良く検出するためには X 方向（0 度）および Y 方向（90 度）の 2 方向のスキャンを行う必要がある。

【 0 0 3 5 】

図 7 は、双方向のスキャンを行う場合の模式図である。図 2 乃至図 6 において、ビームとパターンが交差ししないと、エッジ効果による輝度が得られないので計測精度が悪いことを説明したが、ビームの進入側のエッジ（図 2 の左側のエッジ）が、反対側のエッジ（図 2 の右側のエッジ）に比べて精度が出にくい。そこで、図 7 に示すように、スキャン方向を交互に逆転して画像を取得する。すなわち、0 度と - 180 度の交互のスキャンを行って画像を取得する。スキャン左方向のデータでビームの進入側のエッジを計測し、スキャン右方向のデータで反対側のエッジを計測することにより、いずれのエッジにおいても良好な精度を得ることができる。

【 0 0 3 6 】

本実施形態に係るパターン検査装置は、図 1 に示す画像生成装置により得られた検査対象パターン（例えば、図 9 に示すようなパターン）を、基準パターン（例えば、図 8 に示すようなパターン）と比較して検査する。

【 0 0 3 7 】

図 2 乃至図 7 で説明したように、画像生成装置は、以下の 3 方式のいずれかによって検査対象パターンの画像を得る。

（スキャン 1 方式）0 度、90 度あるいは 180 度などの 1 方向のスキャン

（スキャン 2 方式）0 度と - 180 度の交互のスキャン

10

20

30

40

50

(スキャン 3 方式) 0 度および 90 度の 2 方向のスキャンもしくは 45 度と - 45 度の 2 方向のスキャン

ここで、座標系は、X 軸を右方向、Y 方向を上方向に取り、検査すべきパターンの最頻度の方向を右方向 (0 度方向) にした座標系である。

エッジ方向については、実際得られた角度とプラス 180 度の 2 方向の解釈が可能となる。そこで、右手側がパターン内部になるような方向を定義することによって、一義的に方向を定める。この点について、図 4 を参照して説明すると、例えば、ブロック B 4 の位置では、上下に走るエッジが 2 本あるが、左側のエッジが 90 度、右側のエッジが 270 度と定義される。

次に、基準パターンと検査対象パターンとの比較をして、検査をする場合を説明する。

10

【 0038 】

図 10 は、本実施形態に係るパターン検査装置が行う検査処理の概要を示す図である。検査処理では、まず、検査対象パターンの画像から第 1 のエッジを検出する。

(スキャン 1 方式) 1 方向のスキャンと (スキャン 2 方式) 交互のスキャンでは、1 枚の画像からエッジを検出する。(スキャン 3 方式) 2 方向のスキャンでは、2 枚の画像からエッジを検出し、そのエッジ情報を融合させる。0 度および 90 度の 2 方向のスキャンの場合は、0 度の画像から 45 度から 135 度と、225 度から - 45 度の間のエッジのみを抽出し、90 度の画像から 135 度から 225 度と、- 45 度から 45 度の間のエッジのみを抽出し、両者を合成して 1 画像から得られたエッジとして扱う。

45 度および - 45 度の 2 方向のスキャンの場合は、45 度の画像から 90 度から 180 度と 270 度から 360 度の間のエッジのみを抽出し、- 45 度の画像から 0 度から 90 度と 180 度から 270 度の間のエッジのみを抽出し、両者を合成して、1 画像から得られたエッジとして扱う。

20

【 0039 】

次に、第 1 のエッジと第 1 の基準パターンのエッジとを比較することにより、検査対象パターン画像と基準パターンとのマッチングを行う。マッチングを行った結果、シフト量 S_1 が求まるので、このシフト量 S_1 を用いて第 1 の基準パターンをシフトする。そして、第 1 のエッジとシフトした第 1 の基準パターンのエッジとを比較することにより、検査対象パターン (実パターン) を検査する。この第 1 の検査では、パターン変形量を求めたり、欠陥を検出したりする。パターン変形量の 1 つとしてシフト量 S_2 が求まる。

30

【 0040 】

次に、検査対象パターン画像から第 2 のエッジを検出するため、対応する第 2 の基準パターンをシフト量 $S_1 + S_2$ 分シフトする。シフトした第 2 の基準パターンを用いて、検査対象パターン画像上でプロファイルを求め、第 2 のエッジを検出する。

(スキャン 1 方式) 1 方向のスキャンでは、プロファイルは同一の画像から求める。

(スキャン 2 方式) 0 度、180 度交互のスキャンでは右側のエッジ (180 度から 360 度のエッジ) を得るプロファイルを 0 度の画像から、左側 (0 度から 180 度のエッジ) のエッジを得るプロファイルを 180 度の画像から求める。

(スキャン 3 方式) 2 方向のスキャンでは、45 度から 135 度と、225 度から - 45 度の間のエッジを得るプロファイルを 0 度の画像から、135 度から 225 度と、- 45 度から 45 度の間のエッジを得るプロファイルを 90 度の画像から求める。

40

【 0041 】

具体的には、0 度の画像もしくは 90 度の画像を用いて測定されるべき線分、終端、コーナーを分類して、得られた結果を集計する方法である。本例では、0 度方向の走査による画像から縦方向 (90 度または 270 度の方向)、左上がり (135 度)、右下がり (- 45 度) 方向の線分、終端、コーナーを、90 度方向の走査による画像から横方向 (0 度または 180 度)、右上がり (45 度)、左下がり (225 度) 方向の線分、終端、コーナーを測定すれば良い。

図 74 は、上述の具体的な例を示す図である。

【 0042 】

50

45度および-45度の2方向のスキャンの場合は、90度から180度と270度から360度の間のエッジを得るプロファイルを45度の画像から、0度から90度と180度から270度の間のエッジを得るプロファイルを-45度の画像から求める。

そして、第2のエッジとシフトした第2の基準パターンのエッジとを比較することにより、検査対象パターンを検査する。この第2の検査においても、パターン変形量を求めたり、欠陥を検出したりする。パターン変形量の1つとしてシフト量 S_3 が求まる。

【0043】

画像が45度もしくは-45度傾斜で取得された場合においては、基準パターンと画像の間に回転が存在するので、その回転を補正する作業が必要である。一つの方法としては、基準パターンを回転する方法であるが、基準パターンを回転すると傾斜画像が最終出力となるので見難いという欠点がある。そこで、本実施例では画像を回転する方法を採用した。しかしながら、X、Y方向に均等にサンプリングする走査をした場合に、その画像を回転すると、画素間の内挿値を回転した画像の値として用いなければならない。この場合には、得られた画像が内挿によってぼけたりする弊害があるので、本実施例では内挿を用いずに、画素の位置を置き換えることによってのみ回転した画像を得る方法を採用した。しかしながら、この方法を用いる場合は、通常の縦横同じ間隔でサンプリングする走査方法では回転した画像を得ることは不可能であり、次に述べるような形態のスキャンを採用する必要がある。

【0044】

図75は上述の方法に基づいて作成した画像の具体例を示す図である。左側の45度傾斜走査方法と右側の45度傾斜画像は全く同じものを45度回転して描いてある。最終的に取得しようとする画像は右側の形のものである。図中、碁盤の目の格子点はX、Y方向に均等にサンプリングされて得られるべき画像の位置である。黒丸●については実際にサンプリングされたデータで、無いところではこのスキャン方法では取得できないところである。この右側の形の画像を取得するために左側の走査方法で行なう。この場合は、X方向のサンプリング間隔 S は各々の走査線で同一であるが、Y方向のサンプリング間隔についてはX方向のサンプリング間隔 S の半分である。また奇数行と偶数行では、X方向のサンプリング間隔 S の半分だけずれている。このサンプリング間隔 S は、右側の画素間隔に $\sqrt{2}$ をかけたものになる。そうすると、左側の図を横に寝かせるだけで所望の画像が得られるということになる。この場合は、実際にサンプリングされた順番とは違う順番で値を入れていく作業が必要となる。

図75は45度の角度の場合を示すものであるが、図76は、 $\arctan(2)$ の傾斜の走査方法および回転した画像を示す図である。

【0045】

図11は、本実施形態におけるパターン検査装置のハードウェア構成例を示す図である。本実施形態に係るパターン検査装置は、主制御部1、記憶装置2、入出力制御部3、入力装置4、表示装置5、印刷装置6および、図1に示す画像生成装置7を備える。

【0046】

主制御部1はCPU等により構成され、装置全体を統括的に制御する。主制御部1には記憶装置2が接続されている。記憶装置2は、ハードディスク、フレキシブルディスク、光ディスク等の形態をとることができる。また、主制御部1には、入出力制御部3を介して、キーボード、マウス等の入力装置4、入力データ、計算結果等を表示するディスプレイ等の表示装置5、および計算結果等を印刷するプリンタ等の印刷装置6が接続されている。

【0047】

主制御部1は、OS(Operating System)等の制御プログラム、パターン検査のためのプログラム、および所要データ等を格納するための内部メモリ(内部記憶装置)を有し、これらプログラム等によりパターン検査を実現している。これらのプログラムは、フロッピー(登録商標)ディスク、CD-ROM等に記憶しておき、実行前にメモリ、ハードディスク等に読み込ませて実行されるようにすることができる。

【 0 0 4 8 】

図 1 2 は、本実施形態におけるパターン検査装置の機能ブロック図を示す図である。基準パターン生成部 1 1、検査部 1 2、出力部 1 3 および欠陥種認識部 1 4 はプログラムにより実現されている。基幹データベース 2 1、レシビデータベース 2 2 および欠陥種参照データベース 2 3 は記憶装置 2 内に設けられている。

基幹データベース 2 1 を外部に設け、パターン検査装置が LAN を経由して基幹データベース 2 1 にアクセスするようにしてもよい。

【 0 0 4 9 】

(レシビ)検査の前に、まずレシビと称される検査パラメータの組を設定する。そのパラメータとしては、検査の対象である検査対象パターンの画像の画像取得時におけるピクセルとピクセルとの間の実パターン上での距離(ピクセル間隔)と、 512×512 や 1024×1024 などのピクセル数がある。これらの値から、一度に処理すべき画像の実パターン上での距離(画像サイズ)を把握することができる。また、エッジ検出のためのパラメータと、欠陥を認識するためのパラメータとを設定する。

【 0 0 5 0 】

検査対象パターン画像と比較するデータとしては、設計データが使われる。この設計データとして、たとえば GDS 形式の CAD レイアウトデータに、レイアの融合やフラクチャリングを行ったものが使える。本実施形態では、この処理で得られた線分の束を、画像サイズにステージの誤差分およびパターンの最大平行移動量を加えた長さを一辺とする長方形エリアでクリッピングして基準パターンとし、レシビデータベース 2 2 に予め格納する。ステージ誤差分がパターンの最大平行移動量に比べ無視し得る場合は、パターン変形の絶対座標値が計測できる。本実施形態では、ステージの誤差分およびパターンの最大平行移動量を考慮し、基準パターンを検査対象パターン画像よりも大きくとって処理しているが、代わりに検査対象パターン画像を基準パターンよりも大きくとって処理するようにしてもよい。

【 0 0 5 1 】

基準パターンに対して、コーナーに丸みをつける処理を行ってもよい。図 1 4 に示すように、通常、設計データは、鋭角をもった多角形(図中点線)である一方、実際に形成される回路パターンはコーナーに丸み(図中実線)がつく。そこで、コーナー部分に円、楕円、直線、もしくは他の方法で記述した曲線を適用し、実際のパターンに近くなるように補正してもよい。

【 0 0 5 2 】

基準パターンに設計データを使えば、実現したいパターンとの比較検査を行う欠陥検査になる。この場合は、許容パターン変形量として電気特性に影響しない許容量を設定する。この許容パターン変形量は、配線の属性ごとに設定でき、さらに、パターンの込み入っている場所とそうでない場所とで可変にすることも可能である。

【 0 0 5 3 】

基準パターンにリソシミュレータで得られた露光パターンの外形を形成する曲線(図 5 7 の実線)を使えば、シミュレーションの正当性を検証しながらの欠陥検査が可能になる。リソシミュレータの出力データは、光学的にシミュレートして得られた光強度分布である。この分布から外形の曲線を得る。この場合の許容パターン変形量は、シミュレーションとして許される誤差を設定する。

【 0 0 5 4 】

本実施形態においては、基準パターンに設計データを使っている。

図 1 3 は、本実施形態におけるレシビ登録処理の例を示すフローチャートである。まず、オペレータは、入力装置 4 を介して基準パターン生成部 1 1 に、設計データ検索用パラメータ(ここでは、検査対象サンプルの品種、およびプロセスを指定するパラメータ)、検査モード、画像取得パラメータ(検査領域、画像サイズ、ピクセル数、ウエーハを特定するためのスロット番号、および光学系の調整パラメータ)、ならびにエッジ検出および検査のためのパラメータを入力する(ステップ S 20 2)。

【 0 0 5 5 】

エッジ検出および検査のためのパラメータとしては、以下の情報を設定する。

(R 1) 求めたいパターン変形量

(R 2) 許容パターン変形量の - 側の限界および + 側の限界、ならびにエッジの許容方向差の限界

(R 3) 画質から経験的に決められるエッジ検出パラメータ

(R 4) パターンの属性 (コーナー、直線部分、端点、孤立パターン等) を自動的に認識するための抽出ルール

(R 5) プロファイル取得区間の長さ、プロファイル取得区間とプロファイル取得区間との間隔、プロファイル取得区間内で輝度値を調べる間隔、およびプロファイルをとる方法 (しきい値法を使うかなど)

(R 6) プロファイル取得区間を可変にして測定時に決定するかどうかのフラグ

基準パターン生成部 1 1 は、設計データ検索用パラメータ (検査対象サンプルの品種、およびプロセス) をキーとして基幹データベース 2 1 を検索し、設計データを取り出す (ステップ S 2 0 4)。基幹データベース 2 1 は、検査対象パターン画像に対する設計データ (C A D データ) を格納したデータベースである。

【 0 0 5 6 】

次に、基準パターン生成部 1 1 は、設計データに基づき基準パターンを生成する (ステップ S 2 0 6)。

検査対象パターン画像から検出されるエッジの位置に最も適したように設計データに対し、シュリンク処理 (倍率を変える処理)、サイズ処理 (線幅を変える処理) などを施す必要がある場合がある。また、第 1 のエッジ検出と第 2 のエッジ検出とでは一般的に検出するエッジの位置が異なるので、必要があれば、第 1 エッジ検出用、および第 2 エッジ検出用に基準パターンを 2 種類用意する。

【 0 0 5 7 】

検査は、入力された検査領域を、画像サイズで分割して得られる検査単位領域ごとに行われるので、基準パターンもそれに合わせて生成する。検査には、逐次検査およびランダム検査がある。

【 0 0 5 8 】

図 1 5 は、逐次検査を説明するための図である。検査領域は通常、長方形の和として決定される。すなわち検査領域は、ウエーハ全面を単位として設定されるのではなく、長方形で指定された複数の領域 (図 1 5 のように上側の短い長方形と下側の長い長方形など) として設定されるので、その領域を高速検査するために、検査単位領域ごとの逐次走査を実施する。検査単位領域ごとに基準パターンを作成する。

【 0 0 5 9 】

図 1 6 は、ランダム検査を説明するための図である。ランダム検査においては、ある領域を逐次に検査するのではなく、ピンポイントに検査する。図 1 6 では、検査単位領域 3 0 1 ~ 3 0 4 についてのみ検査を行う。

【 0 0 6 0 】

図 1 7 は基準パターンの例を示す図であり、図 1 8 は図 1 7 の基準パターンをピクセルごとのエッジベクトルに変換した例を示す図である。図 1 7 において、基準パターン (点線) はサブピクセル精度で示されている。通常、基準パターンのエッジ方向は、ピクセルの横方向 (x 方向) または縦方向 (y 方向) に平行である。基準パターンのエッジも、検査対象パターン画像のエッジと同様に、ピクセルごとに開始点 (サブピクセル精度)、方向、および振幅の情報を有する。本実施形態においては、基準パターンのエッジの振幅をすべて 1 にしている。

【 0 0 6 1 】

図 1 9 に示すように、基準パターンに曲線が含まれる場合がある。曲線を含む基準パターンをエッジベクトルに変換するには、例えば、ピクセルの中心 2 6 1 に最も近い基準パターン上の点 2 6 2 での接線 2 6 3 をエッジベクトルにする方法がある。

【 0 0 6 2 】

次に、基準パターン生成部 1 1 は、基準パターン、検査対象サンプルの品種、プロセス、および検査モード、画像取得パラメータ、ならびにエッジ検出および検査のためのパラメータを、レシピデータベース 2 2 に登録する（ステップ S 2 0 8）。これらのデータは、検査用パラメータの組であるレシピと呼ばれ、品種、プロセス、および検査モードをキーにして管理される。

【 0 0 6 3 】

（検査処理）図 2 0 は、本実施形態における検査処理の例を示すフローチャートである。まず、オペレータは、入力装置 4 を介して検査部 1 2 に、レシピ検索用パラメータ（ここでは、品種、プロセスおよび検査モード）を入力する（ステップ S 3 0 2）。

10

【 0 0 6 4 】

検査部 1 2 は、レシピ検索用パラメータをキーとしてレシピデータベース 2 2 を検索し、レシピを取り出す（ステップ S 3 0 4）。そして、検査対象パターン画像（光学画像、電子線画像、フォーカスイオンビーム画像、プローブ顕微鏡画像など）を取得するため、画像生成装置 7 に対して画像取得パラメータを指示し、スロット搬送、アライメント、および光学系の調整を指示する（ステップ S 3 0 6）。アライメントとは、C A D データが使用している座標系と実ウエーハ観察位置を管理する座標値との変換係数を求める機能をいう。これは C A D ナビゲーションで具現化されている。C A D ナビゲーションは、アライメントの後に、C A D データ上の観察したい座標値を実ウエーハの観察位置を管理する座標値に変換し、その位置へ撮像装置の視野を移動させて、その位置の画像を入手する方法で、よく知られているものである。

20

【 0 0 6 5 】

画像生成装置 7 としては、図 1 に示す走査型電子顕微鏡が最も好ましいが、走査型フォーカスイオンビーム顕微鏡、走査型レーザー顕微鏡や走査型プローブ顕微鏡などの各種の走査型顕微鏡もしくは各種顕微鏡を使用することができる。

画像生成装置 7 は、検査単位領域ごとに、検査対象パターン画像（およびその中心位置）を検査部 1 2 に出力する（ステップ S 3 0 8）。

【 0 0 6 6 】

（第 1 のエッジ検出）次に、検査部 1 2 は、検査対象パターン画像から第 1 のエッジ検出を行う（ステップ S 3 1 0）。エッジ検出としては、例えば次の 2 つの手法がある。

30

【 0 0 6 7 】

（A）1 つは、パターン内部と下地との間にコントラストがある場合に適した手法である。このような画像の多くは 2 値化処理でエッジを検出できるが、コントラストが比較的明瞭でない場合は明確にエッジを検出できない。このときにはたとえば、[文献 1] : R. M. Haralick, "Digital step edges from ZERO crossing of second directional derivatives", IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., vol. PAMI-6, No. 1, pp. 58-68, 1984 に開示の方法を応用するなどしてエッジを求めることができる。この方法によれば、エッジ部分の変曲点をピクセル単位の $1 / 10$ 程度の精度で得ることができる。

【 0 0 6 8 】

（B）もう 1 つは、エッジのみが明るく、パターン内部と下地にコントラストがつかない場合に対処可能な手法で、たとえば [文献 2] : "Cartan Steger. An unbiased detector of curvilinear structures", IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., 20(2), February 1998 に開示の方法によりエッジを求めるものである。この方法によれば、エッジ部分の峰をピクセル単位の $1 / 10$ 程度の精度で得ることができる。ただし、この手法ではエッジの方向は $0 \sim 180$ 度の値のみをもつ。すなわちパターンの内部を特定できない。

40

【 0 0 6 9 】

パターン内部と下地との間にコントラストがある画像に微分フィルタ（例えば、S o b e l フィルタやバンドパスフィルタ）をかけて得られたエッジ振幅画像を使って、上記の

50

方法でエッジを求めてもよい。この場合はパターン内部の判別をつけられ、エッジの方向を特定できる。

【 0 0 7 0 】

これらの方法はある程度大きな窓を使った処理であるので、ピクセル単位の $1 / 10$ 程度の精度が得られるだけでなく、エッジの方向も安定している。このことは、エッジを連結して直線近似をする必要が必ずしもないことを意味している。

【 0 0 7 1 】

ステップ S 3 1 0 のエッジ検出では、検査対象パターン画像からピクセル単位でエッジの振幅および方向を求める。振幅は、明確なエッジであるほど大きい値を取る。(A) のパターン内部と下地との間にコントラストがある画像の場合には、例えば上述の文献 1 の方法を用いて、画像の 1 次微分値の絶対値を振幅とし、画像の 2 次微分値のゼロクロス点をエッジ位置とすることができる。一方、(B) のエッジのみが明るい画像の場合には、例えば上述の文献 2 の方法を用いて、画像の 2 次微分値の符号反転値 (絶対値) を振幅とし、画像の 1 次微分値のゼロクロス点をエッジ位置とすることができる。いずれの場合もエッジはサブピクセル精度で得られる。(A) の画像の場合は、0 度から 360 度までの方向を定義できるが、(B) の画像の場合は、0 度から 180 度までの方向のみ定義可能である。これは (B) の画像では、パターンの内部を局所情報から特定できないことが原因である。

【 0 0 7 2 】

図 2 1 は (A) のパターン内部と下地との間にコントラストがある画像 (検査対象パターン画像) の例を示す図であり、図 2 2 は図 2 1 の画像から検出したエッジを示す図である。図 2 1 には、ピクセルごとにその輝度値が示されている。図 2 2 に示すように、エッジはピクセルごとに検出され、ピクセルごとに開始点 (サブピクセル精度)、方向 (0 ~ 360 度)、および振幅の情報が得られる。振幅は、上述のように、明確なエッジであるほど大きい値を取る。

【 0 0 7 3 】

図 2 3 は (B) のエッジのみが明るい画像 (検査対象パターン画像) の例を示す図であり、図 2 4 は図 2 3 の画像から検出したエッジを示す図である。図 2 3 においても、ピクセルごとにその輝度値が示されている。また、図 2 4 に示すように、エッジはピクセルごとに検出され、ピクセルごとに開始点 (サブピクセル精度)、方向 (0 ~ 180 度)、および振幅の情報が得られる。

【 0 0 7 4 】

(マッチング) 次に、検査部 1 2 は、検査対象パターン画像のエッジを膨張させて、膨張エッジを求める (ステップ S 3 1 2)。本実施形態においては、電気特性的に許される許容パターン変形量分膨張させている。この段階では許容パターン変形量は正の整数である。この値は、(R 2) 許容パターン変形量の - 側の限界および + 側の限界の絶対値の大きい方を整数化した値である。許容パターン変形量分膨張させることにより、電氣的に許容される範囲内での形状差を許容してマッチングすることができる。

【 0 0 7 5 】

図 2 5 は 1 次元の検査対象パターン画像のエッジ振幅の例を示す図であり、図 2 6 は図 2 5 のエッジを膨張させた例を示す図である。図 2 5 および図 2 6 では、説明を簡単にするために、1 次元で各ピクセルの持つエッジ振幅がスカラ値を持つ場合の例を示している。許容パターン変形量内の変形を同等に扱う場合は、許容パターン変形量の 2 倍の大きさの窓を持った最大値フィルタをかける。最大値フィルタとは、対象となるピクセルの近傍である窓の中の各ピクセルが持つ値の最大値を求め、その値をフィルタ後のピクセルの値とするものである。図 2 6 では、図 2 5 のエッジを左右に 2 ピクセル分膨張させている。これは許容パターン変形量が 2 ピクセルの場合の例である。

【 0 0 7 6 】

これに対して、基準パターンのエッジが図 2 7 のようであったとする。図 2 6 および図 2 7 からマッチングの評価値 (度合い) を求めると、現在の位置であっても、検査対象パ

10

20

30

40

50

ターン画像が左右に 1 ピクセルまたは 2 ピクセルずれていたとしても、マッチングの評価値は同じになる。

【 0 0 7 7 】

これを回避するには、図 2 8 に示すように、重み付けをして膨張すればよい。これは許容パターン変形量が小さければ小さいほどよいことを意味している。図 2 8 の膨張を実現するには、0.5、0.75、1.0、0.75、0.5 のスムージングフィルタを用いればよい。図 2 8 の場合、検査対象パターン画像が左右に 1 ピクセルでもずれると評価値が下がる。

【 0 0 7 8 】

ここで、図 2 9 に示すように、基準パターンのエッジが 2 ピクセル分広がったとする。図 2 8 および図 2 9 から評価値を求めると、現在の位置であっても、検査対象パターン画像が左右に 1 ピクセルずれていたとしても、同じ評価値となる。

【 0 0 7 9 】

これを回避するには、図 3 0 に示すように重み付けをして膨張すればよい。図 3 0 の膨張を実現するには、0.5、0.9、1.0、0.9、0.5 のスムージングフィルタ（図 3 1）を用いればよい。スムージングフィルタの係数は実験的に求められるべきものである。

【 0 0 8 0 】

以上のことから、図 3 0 に示すような膨張が望ましいが、処理速度やエッジの込み具合などの観点から図 2 6 や図 2 8 に示すような膨張を用いることもできる。

【 0 0 8 1 】

図 3 2 は 2 次元の検査対象パターン画像のエッジの振幅の例を示す図であり、図 3 3 および図 3 4 は図 3 2 のエッジを膨張させた例を示す図である。図 3 2 において、振幅値は、2 0 のところ以外はすべて 0 である。図 3 3 は図 2 6 と同様の膨張を行った場合の結果を示し、図 3 4 は図 3 0 と同様の膨張を行った場合の結果を示す。

【 0 0 8 2 】

図 3 5 は 2 次元の検査対象パターン画像のエッジベクトルの例を示す図であり、図 3 6 および図 3 7 は図 3 5 のエッジベクトルを膨張させた例を示す図である。図 3 6 は図 2 6 と同様の膨張を行った場合の結果を示し、図 3 7 は図 3 0 と同様の膨張を行った場合の結果を示す。膨張は x 、 y 成分ごとに行っている。

【 0 0 8 3 】

検査部 1 2 は、膨張エッジ（検査対象パターン画像のエッジを膨張させたエッジ）と基準パターンのエッジとを比較して、検査対象パターン画像と基準パターンとのピクセル単位でのマッチングを行う（ステップ S 3 1 4）。

【 0 0 8 4 】

本実施形態においては、後で述べるように、サブピクセル精度でのマッチングを行うので、ここでは高速化を目的としてピクセル単位でのマッチングを行う。したがって、図 3 8 は図 1 8 をピクセル単位で表記したものである。

【 0 0 8 5 】

本実施形態におけるマッチングでは、検査対象パターン画像に対して基準パターンをピクセル単位で上下左右にシフトして、評価値 F_0 が最大になる位置をマッチング位置とする（図 3 9）。本実施形態においては、以下のように、基準パターンのエッジが存在するピクセルにおける膨張エッジの振幅の総和を評価値 F_0 としている。

【 0 0 8 6 】

10

20

30

40

【数 1】

$$F_0(xs, ys) = \sum_{x=X_{Ea}}^{X_{Eb}} \sum_{y=Y_{Ea}}^{Y_{Eb}} |E(x, y)| |R(x+xs, y+ys)|$$

$$(X_{Ra} - X_{Ea} \leq xs \leq X_{Rb} - X_{Eb})$$

$$(Y_{Ra} - Y_{Ea} \leq ys \leq Y_{Rb} - Y_{Eb})$$

【0087】

10

ここで、 $E(x, y)$ は、膨張エッジの振幅をその大きさとして持ち、膨張エッジの方向をその方向として持つエッジベクトルである。エッジの存在しない場所では $E(x, y)$ の大きさは 0 である。 $R(x+xs, y+ys)$ は、基準パターンのエッジ方向をその方向として持つエッジベクトルである。ただし、 $R(x+xs, y+ys)$ の大きさは、エッジの存在する場所で 1 であり、エッジの存在しない場所で 0 である。ここで、 (xs, ys) は基準パターンのエッジのシフト量 S_1 である。

【0088】

F_0 の計算において $R(x, y)$ が 0 でないピクセルのみを記憶すれば、高速に計算が行え、記憶領域が少なくてすむ。ピクセル振幅値総和を評価関数として残差逐次検定法 (SSDA: Sequential Similarity Detection Algorithm) で使われている高速計算の打

20

【0089】

図 40 および図 41 は、図 36 と図 38 とを重ね合わせた図である。図 40 において、ピクセル 254 は、図 36 のピクセル 251 および図 38 のピクセル 252 に対応する。図 41 においては、図 40 の状態から検査対象パターン画像を右に 1 ピクセル、下に 1 ピクセルシフトさせて重ね合わせを行っている。したがって、ピクセル 255 は、図 36 のピクセル 251 および図 38 のピクセル 253 に対応する。評価値 F_0 を用いる場合には、エッジの存在するピクセルが重なり合う度合いが大きいほど、評価値が高くなる。評価値 F_0 を用いる場合には、図 32 ~ 図 34 で示したような膨張処理を行えばよい。なお、評価値 F_0 は、(A)、(B) いずれの画像にも適応可能である。

30

【0090】

本実施形態においては、上記評価値 F_0 を用いているが、他の評価値を用いることもできる。例えば、(A) パターン内部と下地との間にコントラストがある画像の場合には、以下の評価値 F_a を用いることが考えられる。

【0091】

【数 2】

$$F_a(xs, ys) = \sum_{x=X_{Ea}}^{X_{Eb}} \sum_{y=Y_{Ea}}^{Y_{Eb}} E(x, y) \cdot R(x+xs, y+ys)$$

$$(X_{Ra} - X_{Ea} \leq xs \leq X_{Rb} - X_{Eb})$$

$$(Y_{Ra} - Y_{Ea} \leq ys \leq Y_{Rb} - Y_{Eb})$$

【0092】

40

また、例えば、(B) エッジのみが明るい画像の場合には、以下の評価値 F_b を用いることが考えられる。

【0093】

【数 3】

$$F_b(xs, ys) = \sum_{x=X_{Ea}}^{X_{Eb}} \sum_{y=Y_{Ea}}^{Y_{Eb}} |E(x, y) \cdot R(x+xs, y+ys)|$$

$$(X_{Ra} - X_{Ea} \leq xs \leq X_{Rb} - X_{Eb})$$

$$(Y_{Ra} - Y_{Ea} \leq ys \leq Y_{Rb} - Y_{Eb})$$

【0094】

10

評価値 F_a または F_b を用いる場合には、図 3 5 ~ 図 3 7 で示したような膨張処理を行えばよい。ただし、図 3 6 に示すような膨張を行う場合は、正の値の最大値および負の値の最大値の双方について膨張を行い、内積の計算でより大きな値をとるものを選択する。

【0095】

評価値 F_0 と評価値 F_a および F_b とを比較した場合、評価値 F_0 はデータがスカラのため高速処理に向く。一方、評価値 F_a および F_b は、例えば、図 4 2 に示すような場合に有効である。すなわち、評価値 F_a および F_b を用いた場合には、基準パターン（図 4 2 (a)）の縦線部分のエッジベクトルと検査対象パターン画像（図 4 2 (b)）の横線部分のエッジベクトルとの内積をとると 0 に近くなるため、101 の部分と 102 の部分とがうまくマッチングする。しかし、評価値 F_0 を用いた場合には、方向は関係なく振幅のみで判断するため、101 の部分と 103 の部分とがマッチングしてしまうおそれがある。

20

【0096】

次に、評価値 F_a と F_b とを比較した場合、例えば、図 4 3 に示すように、配線 111、113 の間隔と下地 112、114 の間隔が同じ場合に F_a を用いると、どちらがラインかの区別がつくので F_b より望ましい結果が得られる。

【0097】

本実施形態においては、検査対象パターン画像のエッジを膨張してマッチングを行っているが、代わりに基準パターンのエッジを膨張してマッチングを行うこともできる。

また、基準パターンのエッジの位置によって重み付けを変えて行うようにすることができる。これは以下の手順で行われる。

30

【0098】

図 4 4 において、(a) は基準パターンの例を示し、(b) は (a) の基準パターン（実線）および検査対象パターン画像（点線）の例を示す。図 4 4 (a) に示す基準パターンは周期的なパターンであるが、1ヶ所隙間がある。このような基準パターンと検査対象パターン画像とのマッチングを行う際に、図 4 4 (b) に示すように、両パターンがずれていても、隙間の部分以外は一致するので、マッチングの評価値は高くなってしまふ。そこで、この隙間の部分の重み付けを大きくして、検査対象パターン画像の隙間と基準パターンの隙間とが一致しない場合にはマッチング評価値が大きく低下するようにすることが考えられる。

40

【0099】

重み付けの手順としては、まず自己相関法でパターンの周期を求める。次に、もとのパターンと一周期ずらしたパターンを比較してもとのパターンにあって一周期ずらしたパターンにないものを求める。そして、求めたパターンをユニークパターンとして認識し、それ以外のパターンよりマッチングに寄与する度合い（重み付け）を強くする。寄与する度合いを表現するために基準パターンの振幅に経験値（1 以上）を使う。この値は固定値もしくは、固定値 ÷ 全パターン中のユニークパターンの比率などが有効である。

【0100】

マッチングを行い、最大の評価値をとるシフト量 $S_1 = (xs, ys)$ が求まったら、 S_1 の分だけ基準パターンをシフトさせる。以後の処理は、このシフトを行った状態で

50

う。

シフト量 S_1 は検査結果として、表示装置 5 および印刷装置 6 に出力することができる。

【0101】

マッチングが終わった後、検査対象パターン画像の 2 値化を行う。2 値化は、エッジ振幅について、レシピ内のエッジ検出パラメータの一つ（しきい値）で有無の判断を付けることにより行う。2 値化の方法としては、基準パターンのエッジに相当するピクセル数 $\times p$ （通常 0.9 ~ 1.1 程度）が 1 になるように、検査対象パターン画像のエッジ画像を 2 値化する方法（ p タイル法）もある。（R3）のパラメータとして、上述のしきい値または p を設定すればよい。

10

【0102】

（第 1 の検査）次に、検査部 12 は、第 1 の検査を行う。具体的には、パターン変形量の計算、および欠陥検出を行う。

検査部 12 は、まず、検査対象パターン画像のエッジと基準パターンのエッジとの対応づけを行う（ステップ S318）。

エッジの位置は、サブピクセル精度で扱われる。したがって、エッジ間の距離もサブピクセル精度で得られる。方向については、たとえば右方向を 0 度として 0 ~ 360 度の値として決定される。

【0103】

基準パターンの各エッジピクセルについて、（R2）に相当する許容パターン変形量の距離内にある検査対象パターン画像のエッジピクセルを探す。そして、検出されたエッジの中で基準パターンのエッジとの方向差が（R2）のエッジの許容方向差以下のものを、許容変形内のエッジとして対応づける。すなわち、本実施形態においては、マッチングを行った検査対象パターン画像のエッジと基準パターンのエッジとの距離、および両エッジの方向を考慮して対応づけを行っている。対応づけた両エッジ間のベクトル $d(x, y)$ は、パターン変形量を求めるのに用いることができる。

20

なお、対応づけの候補が複数存在する場合は、距離が小さく、方向差が小さい候補を優先して対応づける。

【0104】

図 45 は、検査対象パターン画像のエッジと基準パターンのエッジとの対応づけの例を示す図である。図 45 においては、方向を示すために、エッジを矢印で示している。図 45 の例では、基準パターンのエッジを含む各ピクセルにおいて、基準パターンのエッジの中心から、エッジ方向と垂直な方向に検査対象パターン画像のエッジを探していくことにより、対応づけを行っている。距離が許容パターン変形量内であり、かつ、方向の差がエッジの許容方向差以下である検査対象パターン画像のエッジが見つければ、両エッジを対応づける。図 45 においては、対応づけた両エッジ間のベクトル $d(x, y)$ が参考のため示されている。

30

【0105】

図 46 において、（a）は基準パターンのエッジの例を示し、（b）は（a）の基準パターンに対応する検査対象パターン画像のエッジの例を示す。図 46 を用いて、両エッジの対応づけの例を説明する。この例では、許容パターン変形量は 1 ピクセル分とする。また、エッジの許容方向差は 60 度とする。例えば、基準パターンのエッジ 81 に対応する検査対象パターン画像のエッジを探したところ、エッジ 68 がエッジ 81 の許容パターン変形量の距離内にあり、かつ、方向の差がエッジの許容方向差以下であることから、エッジ 81 に対応するエッジと認定される。基準パターンのエッジ 84 についても、対応する検査対象パターン画像のエッジとしてエッジ 70 が認定される。このとき、基準パターンのエッジ 82 について、エッジ 61 は許容パターン変形量の距離内にない。エッジ 64 は、許容パターン変形量の距離内になく、方向差もエッジの許容方向差より大きい。エッジ 66 および 69 は、許容パターン変形量の距離内にはあるが、方向差がエッジの許容方向差より大きい。したがって、エッジ 82 に対応するエッジは見つからない。エッジ 83 に

40

50

についても同様に見つからない。

【0106】

なお、図46の例はパターンの内側か外側かを区別しない方法で、方向が0～180度の値のみをもつ場合であるが、パターン内外を区別する手法とすることも可能である。たとえば、エッジ方向はパターン内側を必ず右手におくように決定しておけば、図46(a)は図47のようになり、対応づけをより厳密に実行することができる。

【0107】

次に、検査部12は、欠陥検出を行う(ステップS320)。欠陥が検出された場合には、欠陥情報(ここでは、欠陥位置、サイズ情報および画像)を欠陥種認識部14に出力する(ステップS322、324)。

10

【0108】

欠陥種認識部14は、欠陥情報および欠陥種参照データベース23の情報に基づいて欠陥種を判定する(ステップS326)。すなわち、与えられた画像から特徴量を求めて、欠陥種参照画像データベースに蓄積された画像の特徴量と照合し、欠陥種を判定する。欠陥種認識部14は、欠陥情報および欠陥種を出力部13を介して表示装置5および印刷装置6に出力する(ステップS328)。ここで、欠陥種参照データベース23は、既に取り得られた画像を欠陥種ごとに登録したものである。

【0109】

欠陥領域を認識する手法としては、対応づけできなかった検査対象パターン画像のエッジから領域を認識し、これを欠陥領域として認識する手法(認識手法A)が考えられる。これは、明確なエッジをもった欠陥検出に有効である。ただし、エッジの不明瞭な欠陥検出に対しては弱いので、このような場合には、対応づけられた検査対象パターン画像のエッジから領域を認識し、その領域におけるピクセル輝度値の分布が非一様である部分を欠陥領域として認識する手法(認識手法B)が適している。すなわち、輝度値分布の異常から欠陥を認識するものである。

20

【0110】

認識手法Aでは、対応づけができなかった検査対象パターン画像のエッジ(例えば、図46(b)のエッジ61～67、69および75)のピクセルは、欠陥として認識される。検査部12は、これらのピクセルを膨張させ、ピクセルどうしを連結する。このようなビットマップ(2値化画像)を膨張させる処理としてモフォロジーと呼ばれる処理が知られている。次に、ラベリング処理で連結されたピクセルを固まり1領域としてそれぞれ認識する。ここで、ラベリング処理とは、4近傍もしくは8近傍で連結しているピクセルに同一の値を書き込み、連結ピクセル群を生成する方法である。連結していないピクセルには別の値を与えることで、連結ピクセル群を区別できる。この固まりの領域として分離できた単位で異物とし、その外形を認識する。外形から内側のピクセルをペイント処理で塗りつぶす。これらのピクセルを欠陥として、欠陥の重心、大きさを計算する。

30

ここで使用するエッジは(スキャン1方式)から(スキャン3方式)に応じて得られたエッジを使用する。

【0111】

認識手法Bでは、対応づけが行われた検査対象パターン画像のエッジを連結して領域とする。その内外領域でそれぞれ、境界(エッジ)を除いた部分をピクセルの固まりとして求める。そのピクセルの固まりの内外領域について、最初に得られた検査対象パターン画像からピクセル輝度値を求める。これらの値は欠陥が無ければ正規分布をなすことが期待できる。すなわち、品質管理的手法を応用して欠陥ピクセルを検出することが可能である。正常な場合は、内領域と外領域のそれぞれにおいて輝度の変動が少ないはずである。よって、検査対象パターン画像における上記領域のうち、輝度の分布が非一様である領域を検出し、該領域を欠陥領域として認識することができる。得られた欠陥ピクセルを固まりとして認識し、重心、大きさを計算する。

40

(スキャン1方式)1方向のスキャンと(スキャン2方式)交互のスキャンでは、1枚の画像に対して当該の処理を施して、欠陥領域として認識する。(スキャン3方式)2方

50

向のスキャンでは、2枚の画像に対して当該の処理を施し、得られた欠陥領域を重ね合わせた領域を欠陥領域として認識する。重ね合わせは通常OR処理を行うが、より欠陥検出を厳密にするためにAND処理を使用することもできる。

【0112】

図48は、検査対象パターン画像の例を示す図である。破線201は検査対象パターン画像のエッジを示す。破線201の両サイドの実線202、203は、エッジを指定幅太らせた線分であり、実線202、203で囲まれた部分をエッジ領域と認識する。下地204とパターン内部205の輝度値は、おおよそ正規分布をなす。

【0113】

図49に示すように、輝度値が $\pm 3\sigma$ 程度を越した部分Dは異物である可能性が高い。Dにはノイズも含まれるが、ノイズは領域内に比較的均一に存在する一方、異物は固まって存在する。Dの輝度値を持つピクセルを1、それ以外の輝度値を持つピクセルを0とした2値化マップを作成する。指定された大きさ（例えば 2×2 ピクセル）以下の1を持ったピクセルの固まり（例えば、図48のピクセルの固まり207）を消去する。メディアアンフィルタやモフォロジーフィルタが利用できる。この大きさは検出したい異物の大きさを考慮した経験値である。残った1を持ったピクセルの固まり（例えば、図48のピクセルの固まり206）を異物とみなす。

【0114】

欠陥種認識部14は、以下のように欠陥種自動分類を行うことができる。すなわち、欠陥と認識されたピクセルの固まりの幾何学的特徴量を得る。これにより、丸い、細長いなど欠陥の形状的特徴を把握することができ、丸ければ異物、細長ければスクラッチなどと判断をつけることができる。欠陥と認識されたピクセルをパターンの内側、外側、境界の3部分に区分する。これらの各部分ごとに、最初に得られた検査対象パターン画像のピクセル輝度値を使った特徴量を得る。ここで得られる特徴量により、たとえば幾何学的特徴量から異物と判断される場合に、その異物が金属片であるか有機物（たとえば人間のあか）であるかなどの判断をつけることができる。すなわち、異物が金属であれば反射が強いので明るく、有機物であれば暗いということで種類を判別することができる。また、パターンの内部にあって異物と認識されたピクセルの輝度の変動が大きい場合は、当該異物がパターンの上に存在している可能性が高いと判断され、逆に、輝度の変動が小さい場合は、当該異物がパターンの下に存在している可能性が高いと判断される。これは、従来のダイ・ツー・ダイ法では困難な処理である。これらの特徴量を使い、良く知られた分類法で欠陥種を判定する。その分類法としては、欠陥種参照画像データベースとの比較をk最短距離法で行って判別する手法が有効である。

【0115】

このような欠陥種自動分類は、従来行われている光学方式、SEM方式のADC（Automatic Defect Classification）に準じた方法であるが、設計データを使う本発明の方法によれば、パターンの内部と外部の区別が明確につくので、各部分の特徴量が正確にとらえられ、分類精度が向上する。

【0116】

次に、検査部12は、対応づけを行った検査対象パターン画像のエッジと基準パターンのエッジとの関係からパターン変形量を求める（ステップS330）。パターン変形量は、欠陥検出の結果、欠陥が検出されなかった部分について求める。そして、パターン変形量を出力部13を介して表示装置5および印刷装置6に出力する（ステップS332）。

【0117】

パターン変形量としては、画像全体から得られるパターン変形量と、パターンの属性ごとに得られるパターン変形量とが考えられる。

画像全体から得られるパターン変形量としては、例えば、位置ずれ量、倍率変動量、および線幅の太り量が考えられる。

【0118】

位置ずれ量は、対応づけられたエッジ間のベクトル $d(x, y)$ の平均値として求めら

10

20

30

40

50

れる。これは $S_1 = (x_s, y_s)$ のサブピクセル精度でのシフト量（補正量） S_2 となる。このシフト量 S_2 に基づいてピクセル単位でのマッチングでシフトさせた基準パターンを補正量分シフトさせることにより、サブピクセル精度でのマッチングを行うことができる。

【0119】

x 方向の倍率変動量を求めるには、縦方向の基準パターンに関するベクトル $d(x, y)$ の x 成分を回帰直線 $D(x)$ で近似して回帰直線を求める。そして、回帰直線の勾配を x 方向の倍率変動量とする。y 方向の倍率変動量についても同様である。

【0120】

図 50 において、(a) は基準パターンのエッジ（破線）、および検査対象パターン画像のエッジ（実線）の例を示し、(b) は (a) に示すエッジ間の $y = y_0$ におけるベクトル $d(x, y_0)$ の x 成分を回帰直線 $D(x)$ で近似した例を示す。ベクトル $d(x, y_0)$ の x 成分を回帰直線 $D(x) = ax + b$ で近似すると、傾き a が倍率変動量に相当する。図 50 (a) の例では、検査対象パターン画像のパターンが基準パターンよりも全体に大きいことがわかる。

10

【0121】

図 51 において、(a) は基準パターンのエッジ（破線）、および検査対象パターン画像のエッジ（実線）の別の例を示し、(b) は (a) に示すエッジ間の $y = y_0$ におけるベクトル $d(x, y_0)$ の x 成分を回帰直線 $D(x)$ で近似した例を示す。図 51 (a) の例では、検査対象パターン画像のパターンが基準パターンよりも全体に大きいことに加えて、線（ライン）の幅が太っている。図 51 (a) において、基準パターンのライン（配線）121、122、123 は、それぞれ検査対象パターン画像のパターンのライン 124、125、126 に対応する。

20

【0122】

x 方向の線幅の太り量は、例えば、 $\text{sign}(x, y_0) \cdot \{d(x, y_0) \text{ の } x \text{ 成分} - D(x)\}$ の平均値として求めることができる。ここで、 $\text{sign}(x, y_0)$ は、 (x, y_0) の位置がラインの左端であれば -1 をとり、ラインの右端であれば 1 をとる。なお、線幅の太り量に関して、 $\text{sign}(x, y_0) \cdot \{d(x, y_0) \text{ の } x \text{ 成分} - D(x)\}$ の分散を求めれば、線幅のばらつき指標が得られる。

【0123】

次に、パターンの属性ごとに得られるパターン変形量について説明する。パターンの属性としては、コーナー 171、長い配線 172、先端 173、孤立パターン 174 などが考えられる（図 52）。パターンの属性に関するパターン変形量としては、例えば、上述の位置ずれ量、倍率変動量、および線幅の太り量のほか、面積、周囲長、円形度、モーメント、曲率半径などの特徴量の変形量が考えられる。

30

【0124】

基準パターンにパターンの属性を自動的に付加することができる。ただし、属性の付加は手動によって行うこともできる。パターンの属性を付加（抽出）するためのルールは、(R4) としてレシピ作成時に設定する。

【0125】

図 53 は、先端の位置ずれ量を示す図である。先端の位置ずれ量は、図 53 (a) に示すように、基準パターンのエッジ 164 から、検査対象パターン画像のエッジ 163 までの距離（基準パターンのエッジに対し垂直方向）である。先端の位置ずれ量として、例えば、検査対象パターン画像のエッジ 163 において基準パターンのエッジ 164 に最も近い点と、基準パターンのエッジ 164 との距離を測定することができる。

40

【0126】

また、図 53 (b) に示すように、任意の幅をもった区間 157 について複数測定した距離の平均値、最大値、最小値、中央値、標準偏差などを、先端の位置ずれ量としてもよい。

【0127】

50

図 5 3 では、先端の位置ずれ量について説明したが、長い配線、コーナー、属性と属性の結合部分などについても、同様に位置ずれ量を測定できる。また、例えばコーナーは、コーナーの成す角度の半分の角度もしくは指定した角度を持つ方向での位置ずれ量を測定することができる。

【 0 1 2 8 】

図 5 4 は、孤立パターンの重心の位置ずれ量を示す図である。重心の位置ずれ量は、（孤立パターンを構成する）基準パターンのエッジ 1 6 0 の重心 1 6 2 と、（孤立パターンを構成する）検査対象パターン画像のエッジ 1 5 9 の重心 1 6 1 との位置ずれ量である。

【 0 1 2 9 】

また、図 5 4 において、孤立パターンの特徴量（面積、周囲長、円形度、モーメントなど）の変形量を測定することが考えられる。すなわち、基準パターンのエッジ 1 6 0 の特徴量と、検査対象パターン画像のエッジ 1 5 9 の特徴量との差異を測定することが考えられる。

【 0 1 3 0 】

図 5 5 において、（ a ）は基準パターンのエッジのコーナーの例を示し、（ b ）は検査対象パターン画像のエッジのコーナーの例を示す。図 5 5 （ a ）に示す基準パターンのエッジ 1 6 6 のコーナーには丸みをつける処理がなされている。コーナーの曲率半径としては、例えば、コーナーの曲線を楕円もしくは円で最小自乗近似して得られた長径、短径もしくは半径を用いることができる。基準パターンのエッジ 1 6 6 のコーナーの曲率半径、および検査対象パターン画像のエッジ 1 6 5 のコーナーの曲率半径を求めることにより、コーナーの曲率半径の変形量を求めることができる。

【 0 1 3 1 】

以上の検査は、一カ所ずつそれぞれ行うのではなく、1 撮像範囲内（視野内）の複数の箇所に対し同時（一度の撮像で）に適応することも可能である。

検査項目は、上述のレシピ項目の（ R 1 ）求めたいパターン変形量に従い選択される。

【 0 1 3 2 】

パターンの属性の抽出ルール（上述の（ R 4 ））は各種あるが、その例を図 5 2 に従い説明する。コーナーは、所定角度（ 9 0 度や 2 7 0 度など）で接触する 2 線分の接点近傍として抽出される。長い配線は、線幅分の間隔離れていて、指定された長さ以上長さを持った並行した 2 線分として抽出される。先端は、線幅の長さをもつ線分で、その両端に所定長さ以上の他の線分が 9 0 度の角度をもって接している部分として抽出される。孤立パターンは、所定面積以下の閉図形として抽出される。

【 0 1 3 3 】

（第 2 のエッジ検出）検査部 1 2 は、欠陥検出の結果、欠陥が検出されなかった部分について、検査対象パターン画像から再度エッジを検出する（ステップ S 3 3 4 ）。

【 0 1 3 4 】

検査対象パターン画像のエッジ検出は、検査対象パターン画像上に、第 2 の基準パターンに基づいてプロファイルを求めることにより行う。ここで、第 2 の基準パターンとしては、図 6 0 の点 Q の位置をエッジと考えた場合の基準パターンを用いる。これに対し、第 1 の基準パターンとしては、例えば、上述の（ B ）エッジのみが明るい画像の場合、点 P の位置をエッジと考えた場合の基準パターンが用いられる。したがって、第 2 の基準パターンと第 1 の基準パターンは一般に異なる。

【 0 1 3 5 】

検査対象パターン画像のエッジ検出を行う前に、上述のシフト量 $S_1 + S_2$ の分だけ第 2 の基準パターンをシフトさせる。以後の処理は、このシフトを行った状態で行う。

【 0 1 3 6 】

プロファイルからエッジ位置を求めるには、しきい値法、直線近似法など各種開示されているが、本実施形態では、その中のしきい値法を用いて、CD - SEMで行っている線幅測長を 2 次元パターン（検査対象パターン画像）に応用している。ただし、しきい値法を、直線近似法など別の方法に置き換えても同様に処理が可能である。ここで、直線近似

法とは、プロファイルを直線で近似し、交点を使ってエッジ位置を特定する方法である。

【 0 1 3 7 】

エッジ検出には、2通りのやり方が考えられる。その1つは、プロファイルを取る方向および位置を、第2の基準パターンに対して予め設定する方法である。

本実施形態において、プロファイル取得区間を予め設定しておく場合には、上述のように、レシピ作成時に行う。この場合、上述のレシピ項目の(R6)プロファイル取得区間を可変にして測定時に決定するかどうかのフラグがオフとしてあり、プロファイル取得区間が、第2の基準パターンに対して予め設定されていることになる。

【 0 1 3 8 】

プロファイルを取得する区間(プロファイル取得区間)は、(R5)のプロファイル取得区間の長さ、およびプロファイル取得区間とプロファイル取得区間との間隔に基づいて、例えば、図56に示すように、第2の基準パターンを中点として、第2の基準パターンの垂直方向に設定される(図中二重線)。図56に示す第2の基準パターンは、すでに図14を用いて説明したように、コーナー部分に丸みをつける補正がなされている。また、上述の第2の基準パターンの代わりに、図57に示すように、リソシミュレータで得られた露光パターンの外形を形成する曲線(図中実線)を使用することも可能である。

【 0 1 3 9 】

第2のエッジ検出処理としては、検査対象パターン画像における上述のプロファイル区間に対応する位置(区間)において、(R5)のプロファイル取得区間で輝度値を調べる間隔に基づいて、プロファイルを作成する。その間隔は通常ピクセル間隔以下の任意の値とし、プロファイル区間の長さはパターンの変形許容量より長い任意の長さとする。プロファイルは、双一次補間、スプライン補間、フーリエ級数などの手法を用いて作成する。

【 0 1 4 0 】

図58は図56の一部(Bの部分)を拡大した図であり、図59は図58の一部(Cの部分)を拡大した図である。図中の二重線がプロファイル取得区間であり、格子の交点はピクセルの位置、黒点は検査対象パターン画像の輝度値を調べる位置を示す。

【 0 1 4 1 】

双一次補間法とは、図示のように(0,0)(0,1)(1,0)(1,1)で示されたピクセルの輝度値 $I(0,0)$ 、 $I(0,1)$ 、 $I(1,0)$ 、 $I(1,1)$ を使って、位置(x,y)、($0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$)にある点の輝度値 $I(x,y)$ を次の計算式で計算するものである。

【 0 1 4 2 】

$$I(x,y) = \{ I(0,0)(1-x) + I(1,0)x \} (1-y) + \{ I(0,1)(1-x) + I(1,1)x \} y$$

【 0 1 4 3 】

これにより得られたプロファイルから、しきい値法を適応して第2のエッジ位置を決定する。図60に示すように、得られたプロファイルの中の最大輝度値Vとその位置Pを求める。その最大輝度値Vに予め指定された係数kをかけた数値をしきい値Tとし、輝度値=しきい値Tの直線とプロファイル曲線との交点を求める。これらの交点で、点Pからパターンの外側方向にあり、最も点Pに近い交点Qを求める。すべてのプロファイルについて、この交点Qを求め、第2のエッジ位置とする。

【 0 1 4 4 】

係数kは第2のエッジ位置を決定する役割を果たす。すなわち、ウエーハに形成された実際の配線の断面形状は台形状をなすので、そのエッジ位置の管理を台形の上辺で行うのか、下辺で行うのか、あるいは中間部で行うのか、係数kにより調整することができる。

【 0 1 4 5 】

上述のエッジを求めたら、それらに基づいて曲線近似(多角形近似を含む)を行い、第2のエッジを求める。最も単純な方法は単に折れ線としてつなぐ方法であるが、最小自乗法を用いて滑らかにつなぐ方法として、例えば以下の方法を用いることができる。すなわ

ち、図 6 1 (a) に示すような、T. Pavlidis and S. L. Horowitz : “ Segmentation of plane curves ” , IEEE Trans. on Computers, vol. C-23, no.8 Aug., 1974 で開示された分割融合法を用いることができる。これ以外にも、図 6 1 (b) に示すような最小自乗法と 2 次元スプライン関数を使った平面データの平滑化による曲線近似を用いることもできる。前者は、高速に処理できるが丸まった形状を多く含むものには柔軟性がない。一方、後者は、高速性を満たし且つ柔軟性をもつ特性がある。これら以外にも、フーリエ記述子による方法など各種の方法が開示されており、これらでも置き換え可能である。

以上のような曲線近似は、第 1 のエッジ検出を行った後にも行うようにすることができる。

【 0 1 4 6 】

10

次に、これとは異なるもう 1 つのやり方として、プロファイル取得区間を可変にしてエッジ検出時に決定する方法がある。すなわち、図 6 2 (a) に示すように、検出された検査対象パターン画像の第 1 のエッジの垂直方向にプロファイル取得区間を設定する方法である。この方法によれば、図 6 2 (b) に示すように、検査対象パターン画像の第 1 のエッジ (実線) が第 2 の基準パターン (点線) からずれていたとしても、プロファイル取得区間を特定し、エッジを検出することができる。この方法は、上述の方法に比べ、パターンの変形に追従しやすい。プロファイル取得区間の設定後は、上述の方法と同様の処理を行う。

【 0 1 4 7 】

20

第 2 のエッジ検出の結果は、表示装置 5 および印刷装置 6 に出力することができる。

検出された第 2 のエッジは、例えば図 1 9 を用いて説明した方法を用いて、ピクセルごとのエッジベクトルにすることができる。このエッジベクトルは第 1 の検査の前で得た 2 値化処理で得たエッジベクトルに相当する。

【 0 1 4 8 】

(第 2 の検査) 以上のような第 2 のエッジ検出の後、検査部 1 2 は、第 2 の検査を行う (ステップ S 3 3 6) 。

この検査は、上述の第 1 の検査と同じ処理であり、欠陥検出を行い、パターン変形量を求める。ここで求められる画像全体に関する位置ずれ量 (シフト量) S_3 は、上述の S_2 に対応する。ここで求めた S_3 に、上述の S_1 および S_2 を加えたものが、第 2 の基準パターンと検査対象パターン画像のパターンとの間の全シフト量となる。

30

【 0 1 4 9 】

検査結果は、出力部 1 3 を介して表示装置 5 および印刷装置 6 に出力される (ステップ S 3 3 8) 。

以上の処理をすべての検査単位領域について行った場合には検査処理を終了し、そうでない場合にはステップ S 3 0 8 に戻る (ステップ S 3 4 0) 。

【 0 1 5 0 】

(その他の検査) 低倍画像の一部分を電磁的に高倍画像で観察できる機能をもった SEM の場合は、高倍画像では入りきらないパターンも測定可能である。すなわち、高倍画像で得たエッジ位置が低倍画像で得たエッジ位置に正確に変換できることを意味する。これと同じ関係を高精度ステージで実現してもよい。例えば、図 6 3 において、検査対象パターン画像のパターン 1 8 1 上の位置 1 8 2、1 8 3 を、それぞれ高倍画像 1 8 4、1 8 5 で求めた後、低倍画像 1 8 7 上の位置に変換して、検査対象パターン画像のパターン 1 8 1 の幅 1 8 6 を求めれば、低倍画像 1 8 7 のみで求めたときよりも、精度よく測長できる。

40

【 0 1 5 1 】

(傾斜、倍率調整) 以上の検査方法においては、パターン変形量の手法を利用して必要に応じ、検査前に、もしくは、検査中の適当な時点で、検査対象パターン画像の傾斜、倍率調整を行うことができる。すなわち、調整に適した部分の検査対象パターン画像と基準パターンを取得する。アフィン変換で、候補となり得る傾斜、倍率の変更を行ったいくつかの検査対象パターン画像を得る。得られた検査対象パターン画像と基準パターンとを比

50

較して最もパターン変形量が小さい検査対象パターン画像を選ぶ。選んだ検査対象パターン画像に対する傾斜、倍率を補正量として登録する。検査対象パターン画像にアフィン変換をかけるのではなく、基準パターンにアフィン変換をかける方法にかえてもよい。

なお、アフィン変換とは a から f の係数を使った 1 次変換を意味する。

【0152】

$$X = a x + b y + c$$

$$Y = d x + e y + f$$

【0153】

図 6 4 は、電子線のスキャン方向を 45 度および -45 度の場合を示す模式図である。

スキャン方向が 0 度、90 度の場合、ほぼ確実に 2 回のスキャンを行う必要があったが、本方式においては、図 6 4 (a) において縦線と横線のためのパターン P 1 については図 6 4 (b) に示す 45 度、もしくは図 6 4 (c) に示す -45 度のスキャンを 1 回行うことによって縦線および横線の計測精度を確保することができる。しかしながら、図 6 4 (a) において 45 度の線 P 2 があった場合、45 度、-45 度の 2 回のスキャンを行う必要があるが、この頻度は縦線・横線のためのパターン P 1 に比べて、1 回のスキャンで済む場合が比較的多いことが想像される。

ここで、スキャン方向 45 度または -45 度といった意味について説明する。図 6 4 (b) において、右下がりのパターンについては 45 度方向のスキャンで精度が得られるが、右上がりのパターンについては走査線方向と検出すべきパターンの方向が一致するので精度が得られない。そのような場合については、図 6 4 (c) に示す -45 度にスキャンして得た画像を用いて、前述のスキャン方向 0 度、90 度で述べたように 2 回のスキャン結果を見て、欠陥検出をする必要がある。しかしながら、この頻度はスキャン方向 0 度、90 度に比べて少ないことが期待される。

【0154】

図 6 5 は、電子線のスキャン方向を 18 度とした場合を示す模式図である。図 6 5 (a) に示すパターン P 1, P 2 は図 6 4 (a) に示すものと同一である。LSI 等のパターンの多くは縦方向の線、横方向の線、もしくは 45 度右下がり、45 度右上がりの方向がほぼ 99% 占められている。この全ての方向についてパターンの計測したいエッジ方向と走査線のある角度で交叉させるために最適な走査線方向として、図 6 5 (b) に示すように 18 度のスキャン方向が考えられる。スキャン方向を 18 度とすることで、縦線・横線・斜め 45 度の線全てに対して、比較的計測精度を得られることが期待される。

なお、角度 18 度は、検査すべきパターンのすべてに対してより垂直になる方向なら他の角度でもかまわない。例えば、22.5 度や、18 度に 45 度を加えた 63 度、18 度に 90 度を加えた 108 度などが使用できる。

【0155】

通常の CD-SEM 等の走査型電子顕微鏡においては、横方向に走査線を取り、正方形の画像を撮るのが一般的である。しかしながら、走査型電子顕微鏡の制御上、歪みなくスキャンできる領域は真円の領域である。従って、図 6 6 (a) に示すように丸い円 400 の内の四角のブロック 401 を使って走査することになる。この場合は、縦横左右方向にスキャンを使える領域ではあるが、スキャンをしない領域が発生しており、より広大な領域を一度にとるためには、少々無駄が発生している。このような場合、重ねながら広い領域をとると、図 6 6 (b) に示すように 9 個の四角形ブロック B1 ~ B9 を重ね合わせたようなスキャンエリアが発生する。一方、図 6 6 (c) の下側に示すように、1 回のスキャンによって取得する領域を四角形ブロックから六角形ブロック 402 にすることにより、より円に近い状態にすることができ、スキャンに使用される部分をより広くとることができる。スキャンの方法としては、図 6 6 (c) の左側に示すように六角形をきちんとスキャンする方法と、図 6 6 (c) の右側に示すように、長方形でスキャンを行い、右上・右下・左上・左下のそれぞれの三角形の部分を計測に使わないようにする方法の、二通りが考えられる。このような方式にすると、図 6 6 (d) に示すように、より広いエリアを少ない回数のスキャン (ブロック B1 ~ B7) で取得することが可能となる。

【 0 1 5 6 】

図 6 7 は、基準パターンに基づいて電子線のスキャンの方法を決定するための方法を示す模式図である。

スキャン方向 0 度、90 度の説明と同様、基準パターンに従って 1 回スキャンをするか 2 回スキャンをするか等の条件を自動的に決定する必要がある。

電子線のスキャンの方法を自動的に決定するための方法としては、次の 3 つの方法が考えられる。

1 つ目は、ブロック (D) に示すように、走査エリアに検査すべきパターンがない場合、そのエリアのパターンをスキップする方法である。2 つ目は、パターンの線幅に応じて、スキャンの条件を決定する方法である。例えば、ブロック (A) のパターン P a とブロック (B) のパターン P b を比較すると、パターン P b の線幅は、パターン P a の線幅に対して 2 倍になっている。通常、スキャンはパターンの線幅分の変動量をとるので、この例においては、ブロック (A) におけるスキャンに対して、ブロック (B) におけるスキャンでは、2 分の 1 の倍率で画像を取得することができる。3 つ目は、基準パターンの方向の分布に合わせて、スキャンの方向の条件を決定する方法である。例えば、ブロック (A) については、パターン P a は縦・横に分布しているので、45 度のスキャンを 1 回行えばよいことが分かり、ブロック (C) については、パターン P c は横と 45 度の 2 方向に分布しているので、2 回のスキャンを行う必要があることが分かる。

【 0 1 5 7 】

図 6 8 および図 6 9 は、電子線のスキャン経路を説明する模式図である。

通常のスキャンにおいて X 偏向については、階段状に走査する。Y 偏向については、ラインごとに階段状に走査する。しかしながら、このような従来の方法においては、走査線の間の情報の取得が出来ないことにより、測定精度の低下が考えられる。図 6 8 に示すように、本発明においては、より走査線の間の情報の取得ができるようにするために、Y 偏向にサイン波のような振幅を持った信号を付加することによって走査線間のデータをとる方法を示している (図 6 8 の左下側部分参照) 。ここで、図示のように 4 点のデータをサンプリングする (図 6 8 の右下側部分参照) 。この場合、サインの一周期の間で Y 偏向について広がったデータが取得できる。この 4 点のデータを加算して一つの画素の情報としてコンピュータに転送するようになっている。

図 6 8 の上側部分に示すように、スキャンのサンプリング周波数に対して、4 倍の周波数を持つ発振器 4 1 0 をカウンタ 4 1 1 に接続する。カウンタ 4 1 1 は、X 偏向発生回路 4 1 2 と Y 偏向発生回路 4 1 3 に接続されている。このような構成によって、スキャンのサンプリング周波数に対して 4 倍の周波数のクロックに対して、X 偏向については階段状の右上がりの波形を生成する。Y 偏向についてはサイン波のように図示のような形の波形を発生させる。サンプリングは 4 倍の周期で 4 点を取得し、その 4 点のデータを加算して実際の画素に対応するサンプリングデータとして生成する。

【 0 1 5 8 】

図 6 9 においては、Y 偏向における図示の波形と、X 偏向における波形を同様に 4 倍のクロックカウンタを用いて生成することによりジグザグ状のスキャン経路を作ることを目的としている。

【 0 1 5 9 】

図 7 0 は、垂直方向のスキャンに対してフィルタをかけた場合を説明する模式図である。A は、横方向に近接する画素であり、検出器、アンプによるスムージング効果がある。一方、B は、縦方向に近接しているが前述のスムージング効果がない。そこで縦方向にスムージングフィルタをかけて縦方向と横方向の画質の違いを低減する。図示では最も単純なフィルタ係数を示しているが、横方向の周波数特性に合うように適宜選択されるものである。

【 0 1 6 0 】

図 7 1 は、エッジのみスキャンする場合を示す模式図であり、図 7 2 は、エッジのみスキャンする場合のステップを示すフローチャートである。図 7 1 に示す例においては、副

10

20

30

40

50

偏向発生回路 450 を設けている。

エッジのみのスキャンを実現する方法として前述の第 2 のエッジを検出するために使用するプロファイルに相当する区間をパターンエッジ検査区間、その中点を計測中央点として登録する。制御コンピュータ 451 が 1 つの検査区間に対する情報を取り込み、計測中央点の位置を X 主偏向発生回路 452 と Y 主偏向発生回路 453 に送る。これにより、実際のビームの中心位置が移動する。次に、検査区間について、方向と送り幅を設定し、開始信号を与えて、発振器 410 に接続されたカウンタ 411 で X 方向と Y 方向のスキャン波形を形成する。これに、X 主偏向と Y 主偏向の位置を加算することにより、図 71 において中央部に示すようなスキャン波形がとられる。このスキャン波形について、図 71 において上右側に示すような 7 点のサンプリングを施すことによって、計測データを得ることが出来る。

10

計測データの取得順序付けは、図 73 (a) に示すように与えられた間引き率で測定点をとばしながら、全計測点を埋めるようにする順序付けや、図 73 (b) に示すように乱数などにより計測点をランダムにとる順序付けがある。この方法により、サンプルのチャージアップによるプロファイルの変形が低減できるので、絶縁物の計測に向いている。サンプルのチャージアップが無視しうる場合は、図形を一周するように順序付けしても良い。

【0161】

上記本発明の検査方法により得られるパターンの変形量、欠陥領域の位置、サイズ、欠陥種、加えてパターン変形量の統計量や画像などの情報を利用すれば、欠陥領域の回路への影響度の解析、前後工程での回路への影響度の解析、露光条件などの最適化パラメータの解析を可能にすることができる。

20

【0162】

本実施形態に係るパターン検査装置は、シフト量を出力する部分に注目すれば、パターンマッチングを行う装置とも考えられる。

【0163】

以上、本発明の一例を説明したが、他にも各種の変形が可能である。たとえば、荷電粒子線（電子線）を検査対象パターンに走査して検査対象パターンの画像を得る画像生成装置として走査型電子顕微鏡を用いたが、走査型フォーカスイオンビーム顕微鏡、走査型レーザー顕微鏡や走査型プローブ顕微鏡などの各種の走査型顕微鏡に应用することができる。また、スキャン方向は 0 度、90 度に限られず、例えば 5 度や 95 度など任意の微小角度を付加してもよい。また、取得済みの画像データを磁気光学ディスクや磁気テープなどの外部入力デバイスを介して、またはイーサネットなどの LAN を経由した、オフライン入力処理式に変形することは容易である。また、本発明の方法でウエーハ中の代表的なダイを検査したのち、他のダイはダイ・ツー・ダイ比較により検査するような混成手法とすることも可能である。またさらに、画像生成法は他の方法でもよいし、設計データは CAD に限らず他のものでもよい。本実施形態においては、検査結果等を表示装置 5 および印刷装置 6 に出力しているが、画像データベース、シミュレータ、記録媒体などに出力するようにしてもよいし、ネットワークを介して他のコンピュータに送信（出力）するようにしてもよい。

30

40

【符号の説明】

【0164】

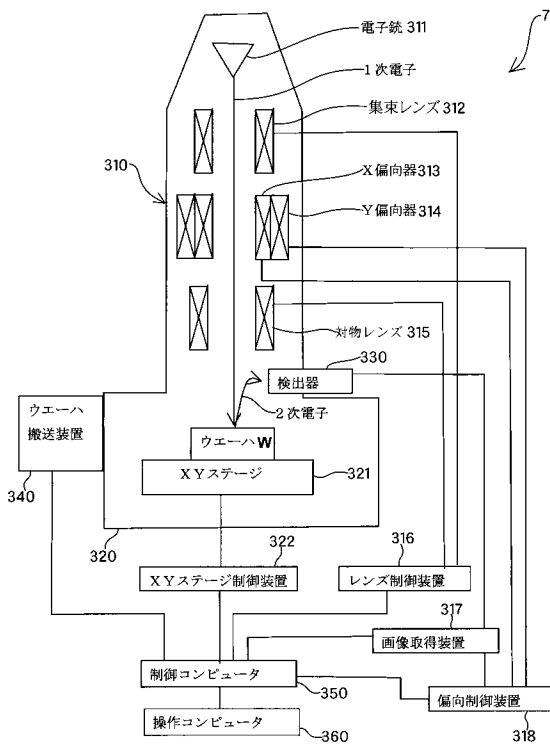
- 1 主制御部
- 2 記憶装置
- 3 入出力制御部
- 4 入力装置
- 5 表示装置
- 6 印刷装置
- 7 画像生成装置
- 11 基準パターン生成部

50

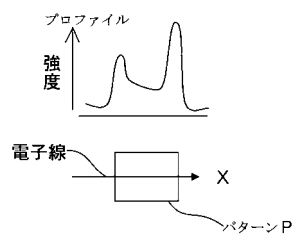
1 2	検査部	
1 3	出力部	
1 4	欠陥種認識部	
2 1	基幹データベース	
2 2	レシピデータベース	
2 3	欠陥種参照データベース	
6 1 ~ 7 0、7 5、8 1 ~ 8 4	エッジ	
1 0 1 ~ 1 0 3	部分	
1 1 1、1 1 3	配線	
1 1 2、1 1 4、2 0 4	下地	10
1 2 1 ~ 1 2 6	ライン	
1 5 1	検査対象パターン画像	
1 5 2	基準パターン	
1 5 7	区間	
1 5 9、1 6 3、1 6 5	検査対象パターン画像のエッジ	
1 6 0、1 6 4、1 6 6	基準パターンのエッジ	
1 6 1	検査対象パターン画像のエッジの重心	
1 6 2	基準パターンのエッジの重心	
1 7 1	コーナー	
1 7 2	長い配線	20
1 7 3	先端	
1 7 4	孤立パターン	
1 8 1	検査対象パターン画像のパターン	
1 8 2、1 8 3	位置	
1 8 4、1 8 5	高倍画像	
1 8 6	検査対象パターン画像のパターンの幅	
1 8 7	低倍画像	
2 0 1	破線	
2 0 2、2 0 3	実線	
2 0 5	パターン内部	30
2 0 6、2 0 7	ピクセルの固まり	
2 5 1 ~ 2 5 5	ピクセル	
2 6 1	ピクセルの中心	
2 6 2	ピクセルの中心に最も近い基準パターン上の点	
2 6 3	接線	
3 0 1 ~ 3 0 4	検査単位領域	
3 1 0	照射系装置	
3 1 1	電子銃	
3 1 2	集束レンズ	
3 1 3	X 偏向器	40
3 1 4	Y 偏向器	
3 1 5	対物レンズ	
3 1 6	レンズ制御装置	
3 1 7	画像取得装置	
3 1 8	偏向制御装置	
3 2 0	試料室	
3 2 1	X Y ステージ	
3 2 2	X Y ステージ制御装置	
3 3 0	2 次電子検出器	
3 4 0	ウエーハ搬送装置	50

350 制御コンピュータ
360 操作コンピュータ

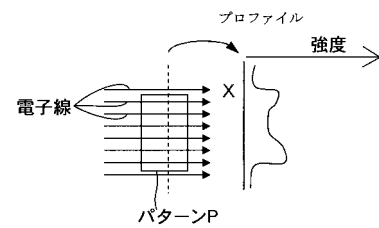
【図1】



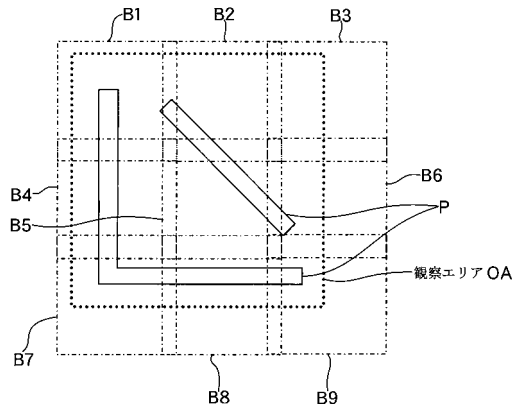
【図2】



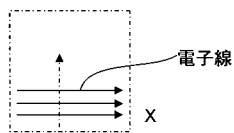
【図3】



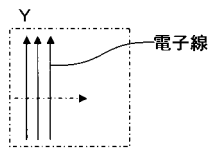
【図 4】



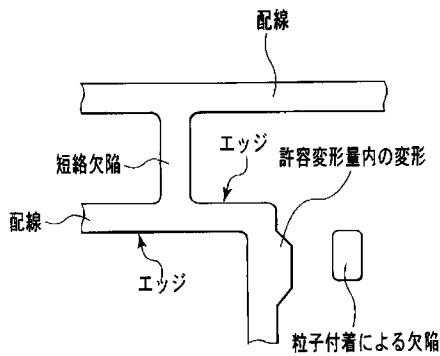
【図 5】



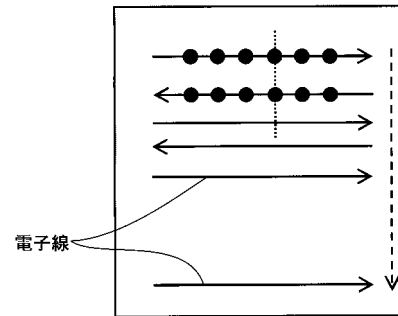
【図 6】



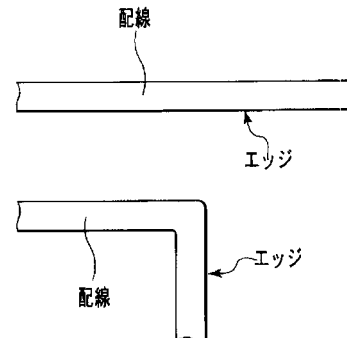
【図 9】



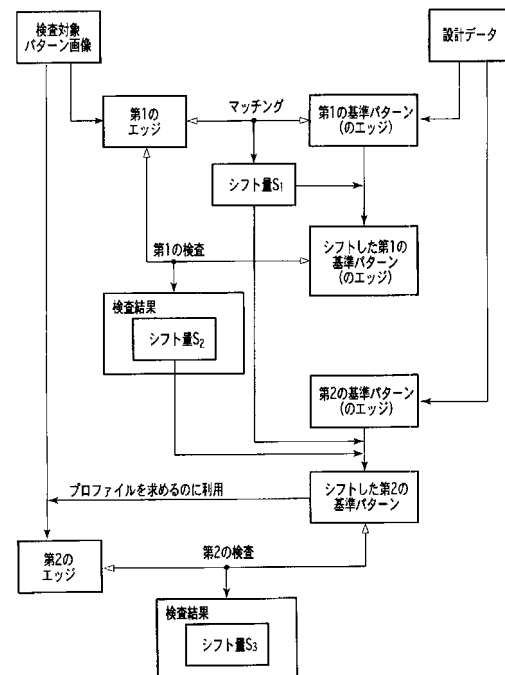
【図 7】



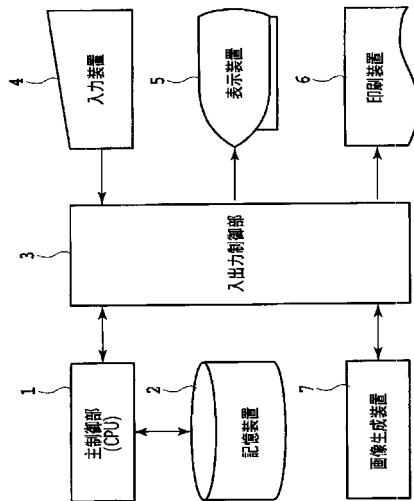
【図 8】



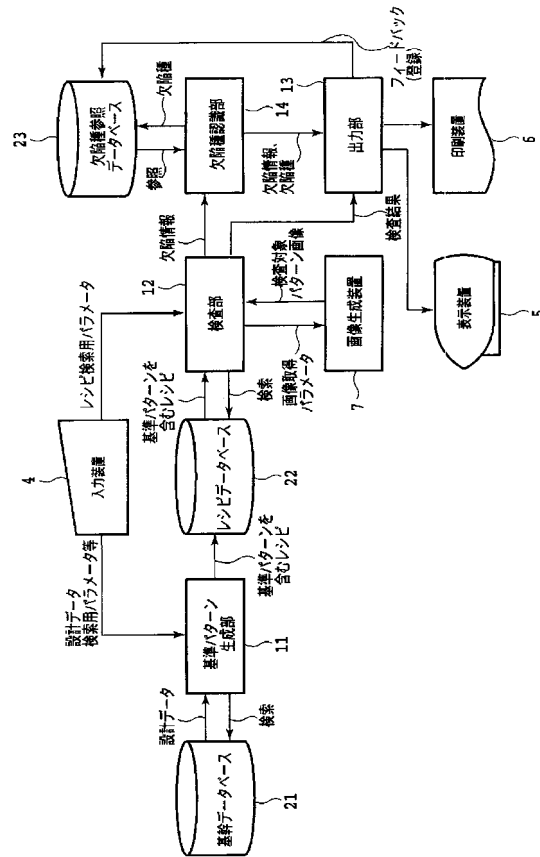
【図 10】



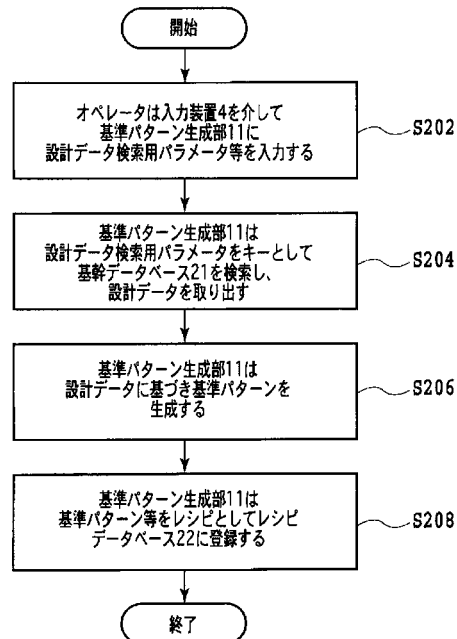
【 図 1 1 】



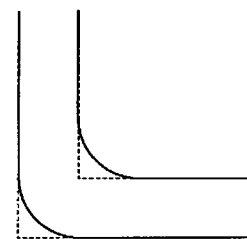
【 図 1 2 】



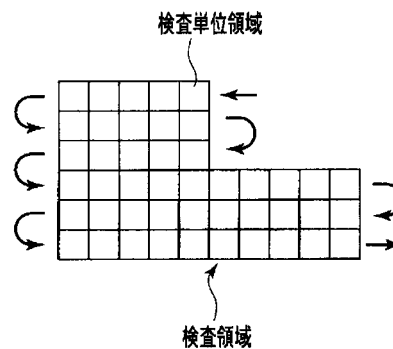
【 図 1 3 】



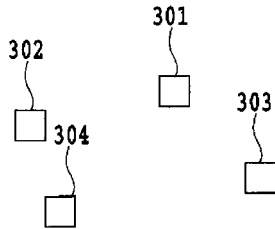
【 図 1 4 】



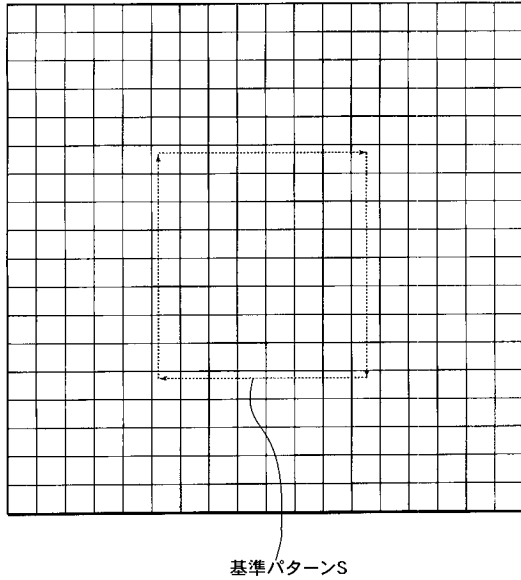
【 図 1 5 】



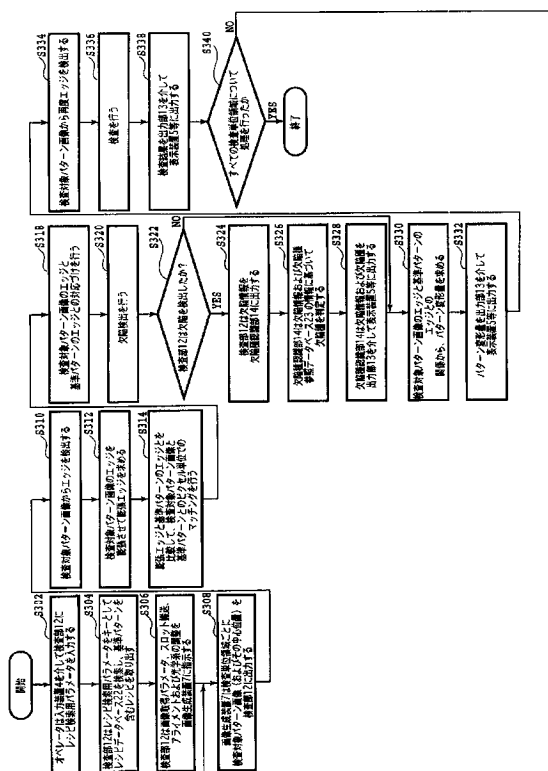
【図 16】



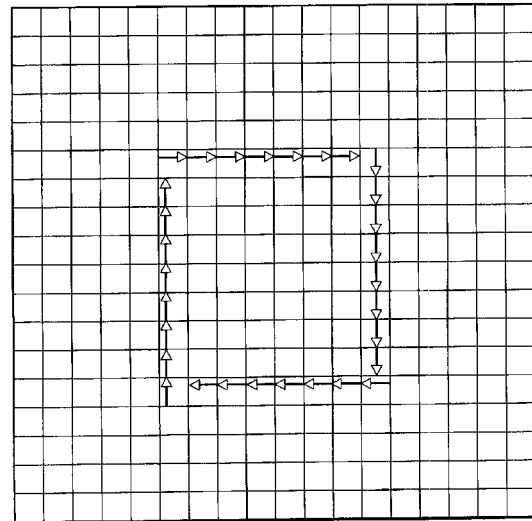
【図 17】



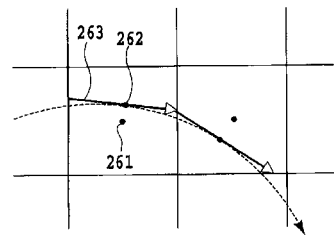
【図 20】



【図 18】



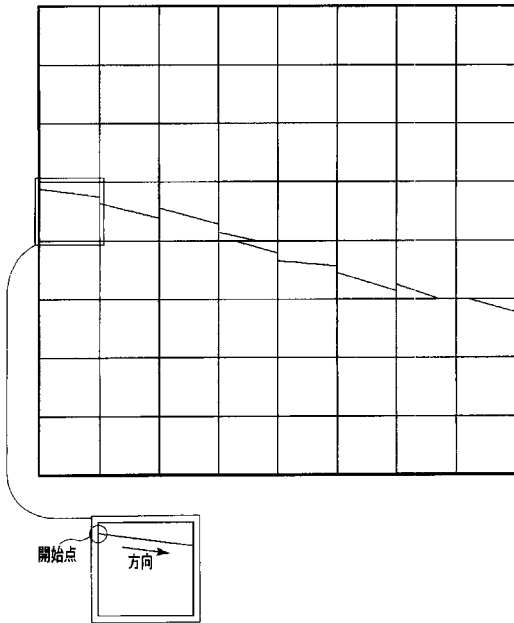
【図 19】



【図 21】

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
80	60	40	20	0	0	0	0
100	100	100	80	60	40	20	0
100	100	100	100	100	100	80	60
100	100	100	100	100	100	100	100
100	100	100	100	100	100	100	100

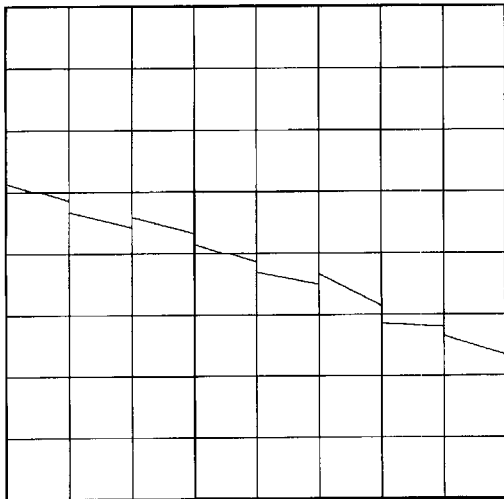
【図 2 2】



【図 2 3】

0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0
85	55	45	15	0	0	0	0
85	100	100	85	55	40	20	0
15	45	55	85	100	100	60	50
0	0	0	15	45	60	90	100
0	0	0	0	0	0	30	50
0	0	0	0	0	0	0	0

【図 2 4】



【図 2 8】

0	10	15	20	15	10	0	0	10	15	20	15	10	0	0
---	----	----	----	----	----	---	---	----	----	----	----	----	---	---

【図 2 9】

0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

【図 3 0】

0	10	18	20	18	10	0	0	10	18	20	18	10	0	0
---	----	----	----	----	----	---	---	----	----	----	----	----	---	---

【図 3 1】

0.5	0.9	1.0	0.9	0.5
-----	-----	-----	-----	-----

【図 2 5】

0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0
---	---	---	----	---	---	---	---	---	---	---	----	---	---	---	---

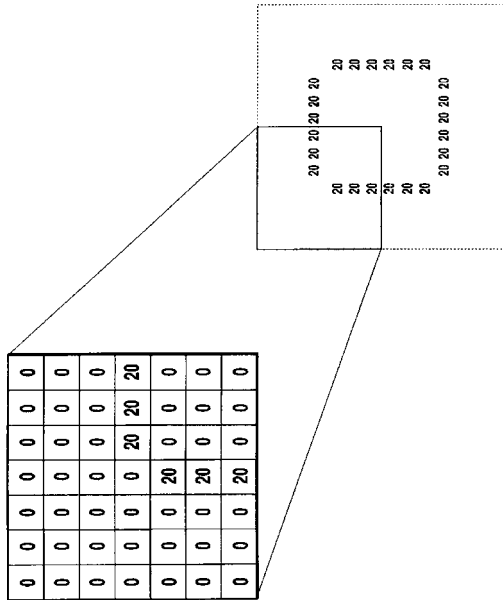
【図 2 6】

0	20	20	20	20	20	0	0	20	20	20	20	20	0	0
---	----	----	----	----	----	---	---	----	----	----	----	----	---	---

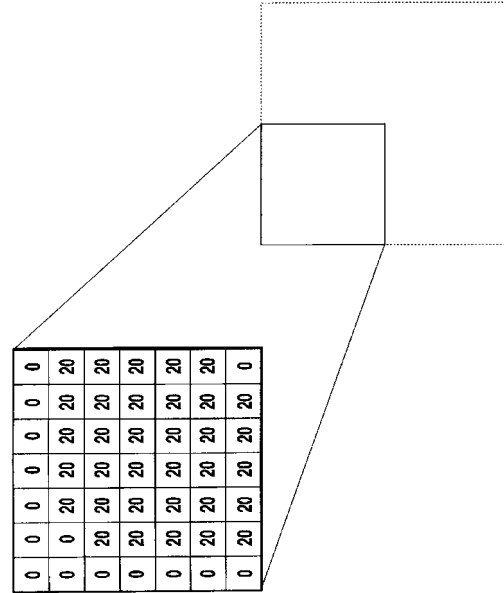
【図 2 7】

0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

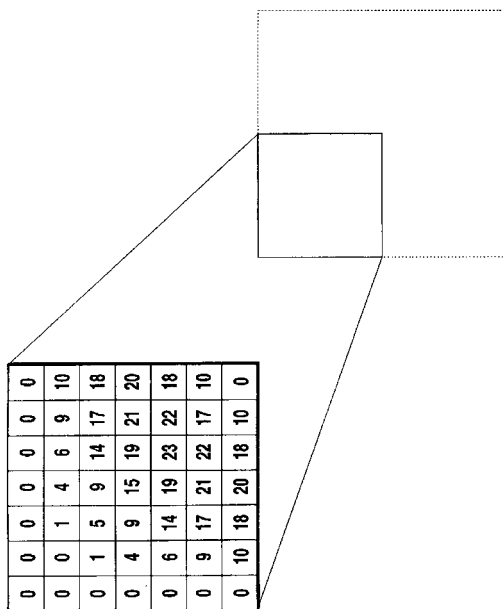
【図 3 2】



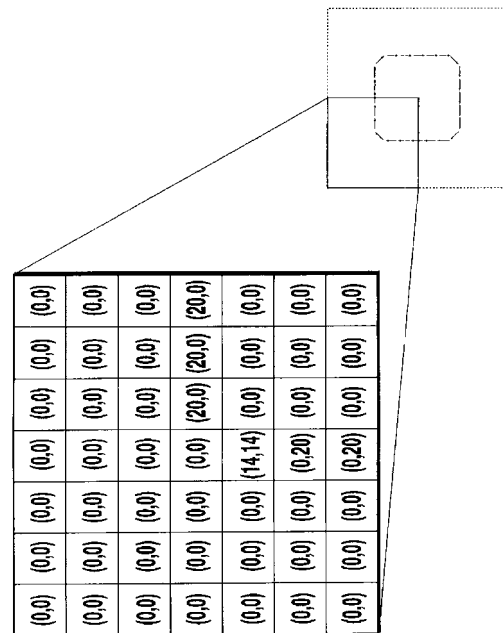
【図 3 3】



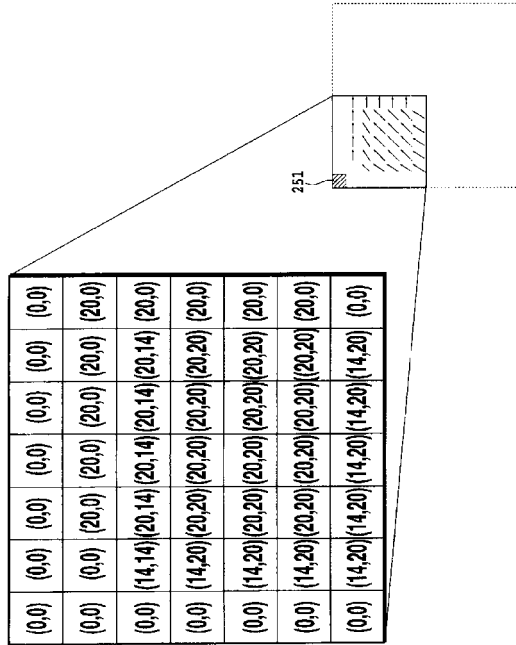
【図 3 4】



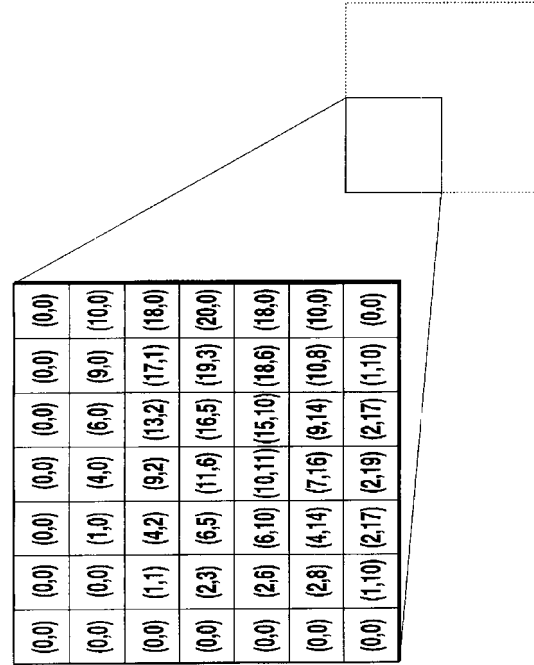
【図 3 5】



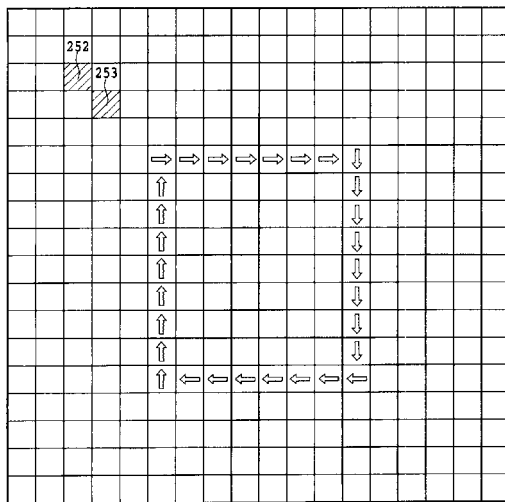
【図 36】



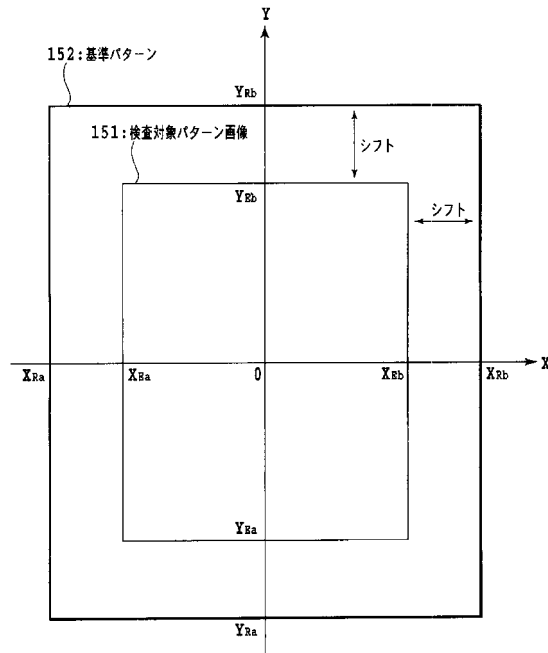
【図 37】



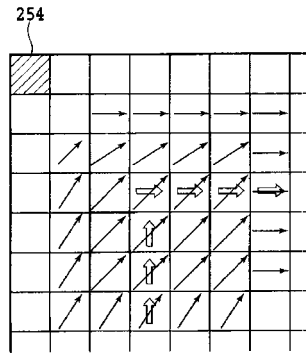
【図 38】



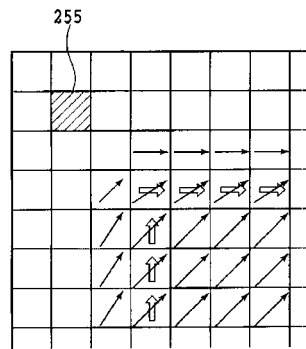
【図 39】



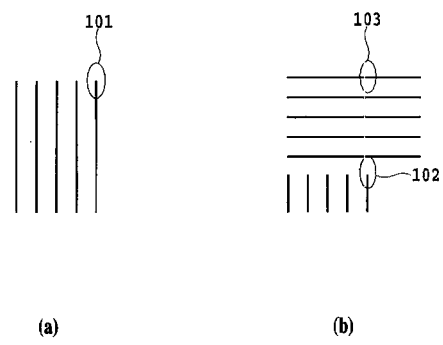
【図 4 0】



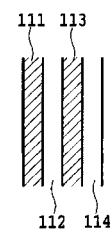
【図 4 1】



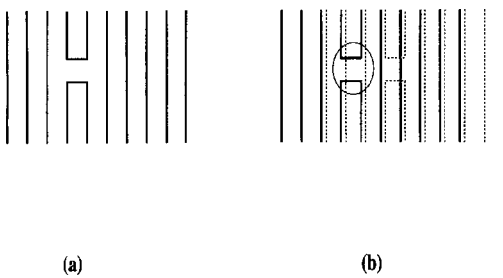
【図 4 2】



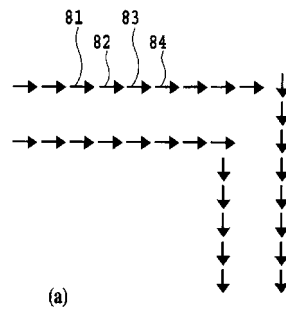
【図 4 3】



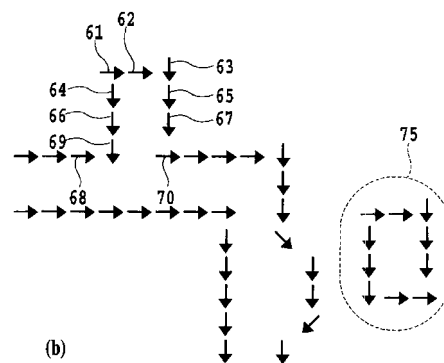
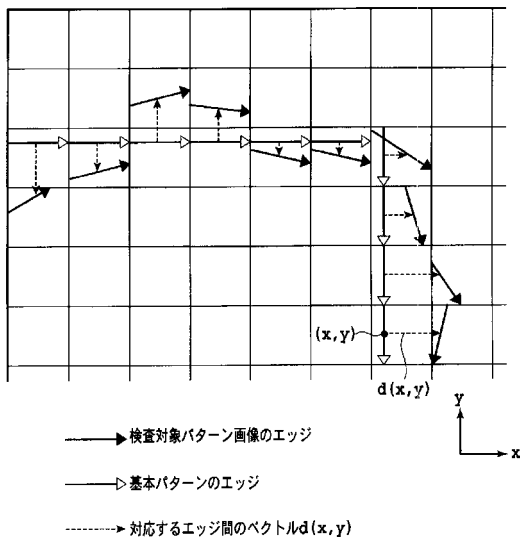
【図 4 4】



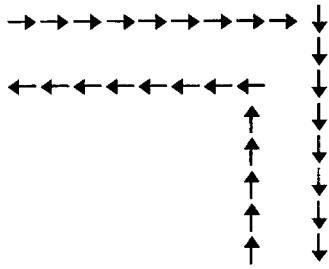
【図 4 6】



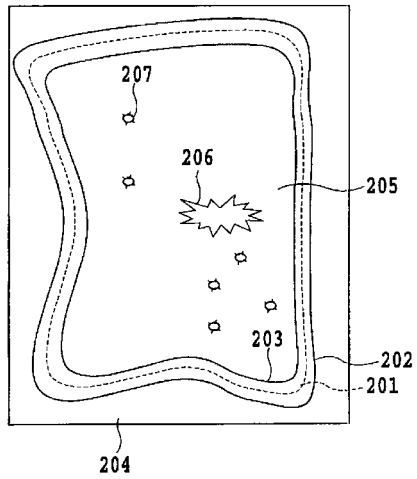
【図 4 5】



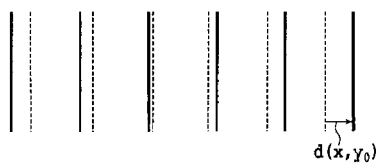
【図 47】



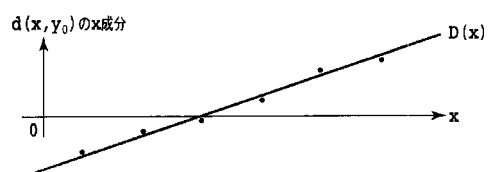
【図 48】



【図 50】

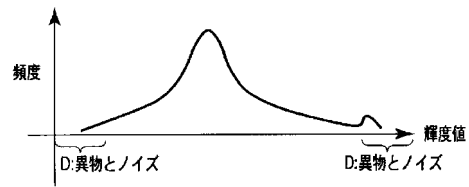


(a)

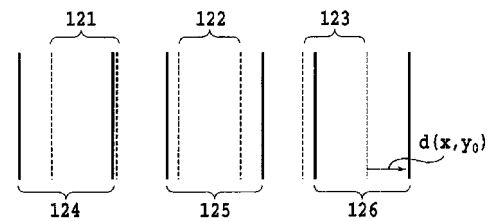


(b)

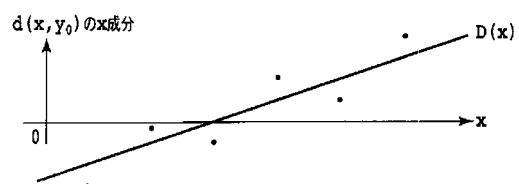
【図 49】



【図 51】

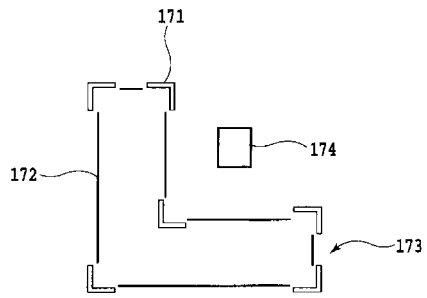


(a)

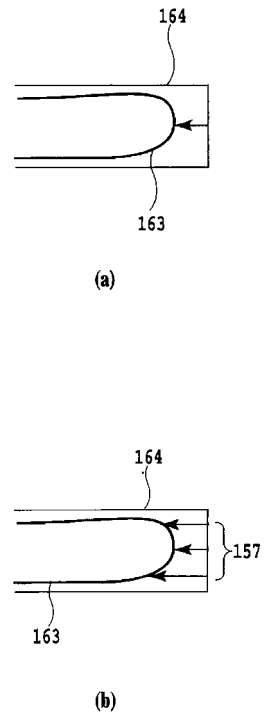


(b)

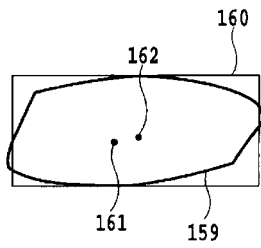
【図 5 2】



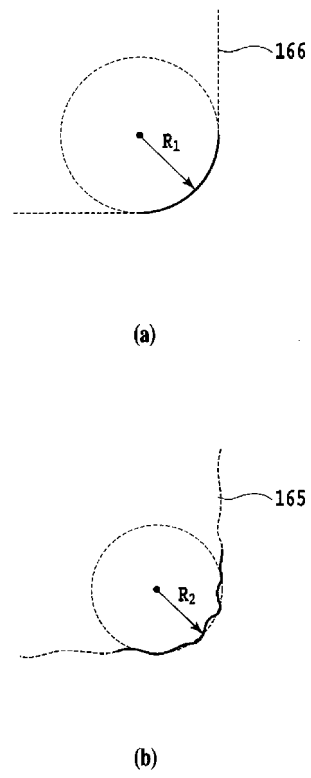
【図 5 3】



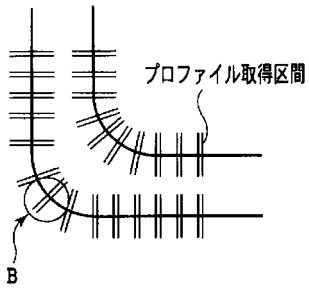
【図 5 4】



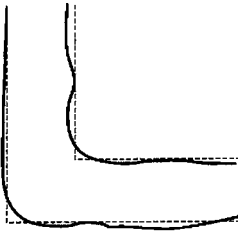
【図 5 5】



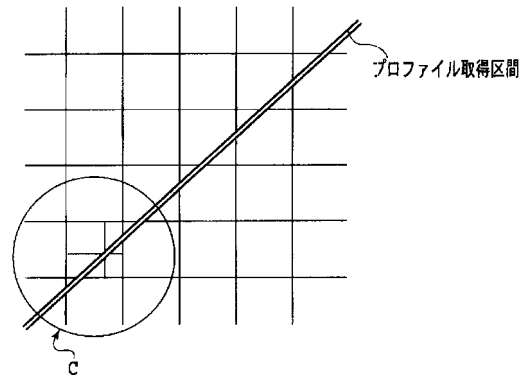
【図 5 6】



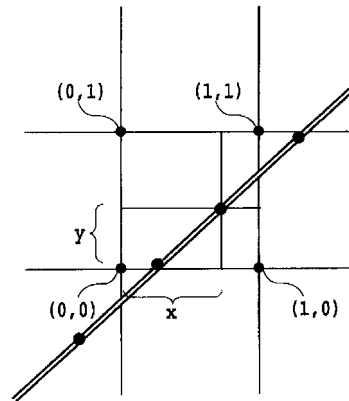
【図 5 7】



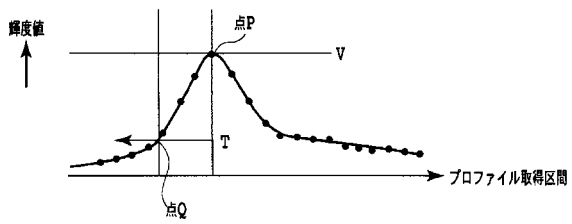
【図 5 8】



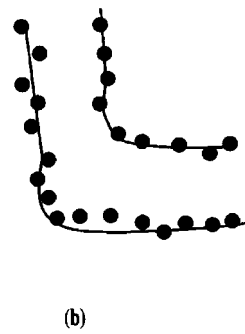
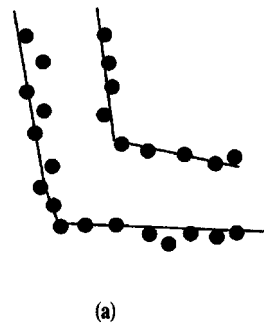
【図 5 9】



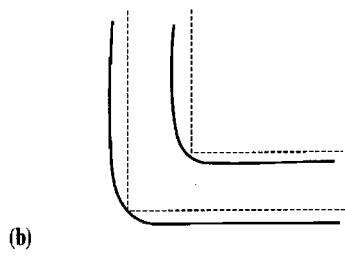
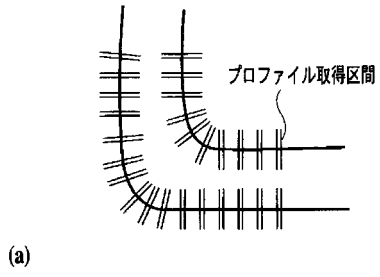
【図 6 0】



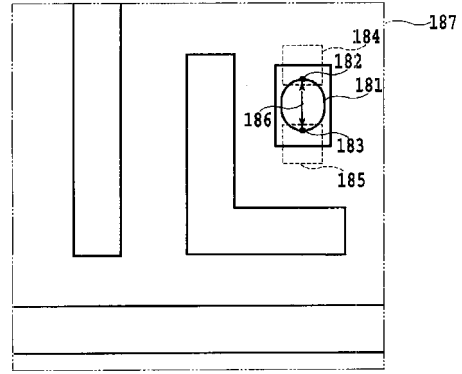
【図 6 1】



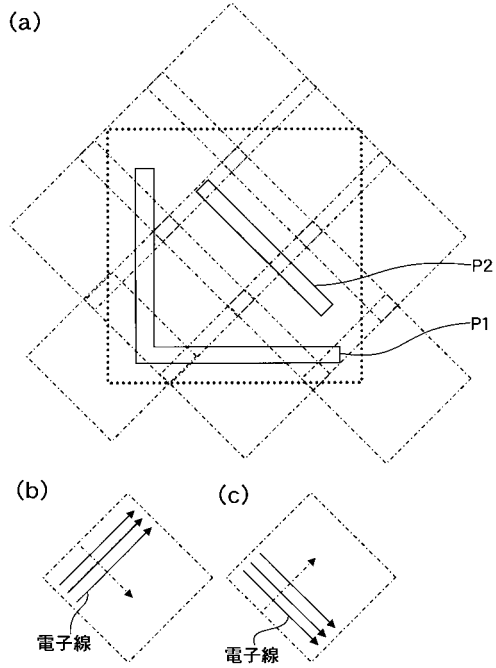
【図 6 2】



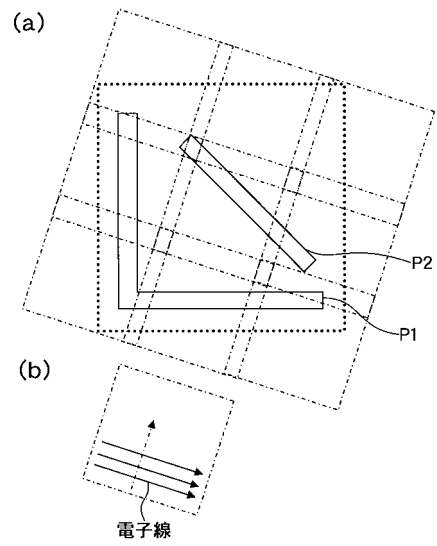
【図 6 3】



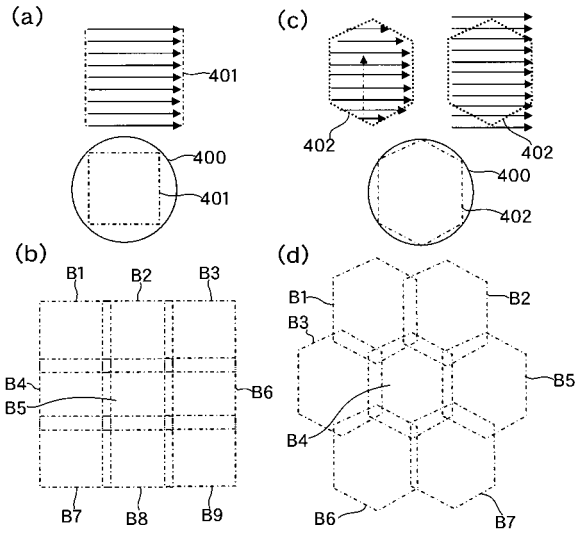
【図 6 4】



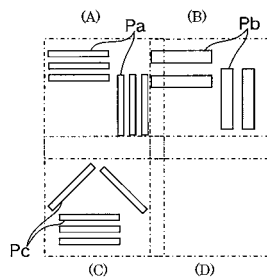
【図 6 5】



【図 6 6】

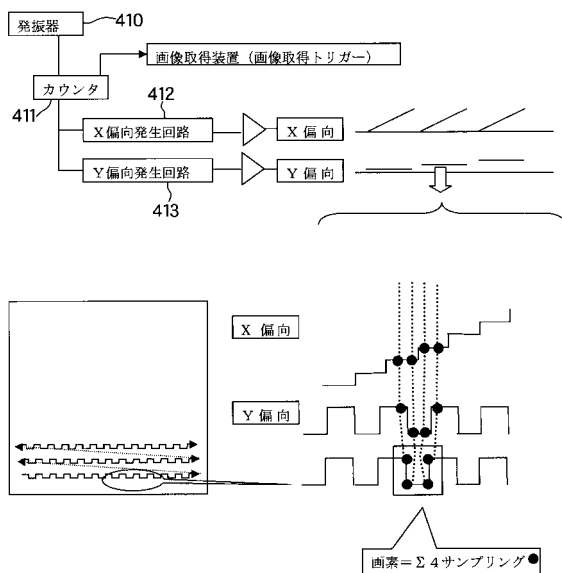


【図 6 7】



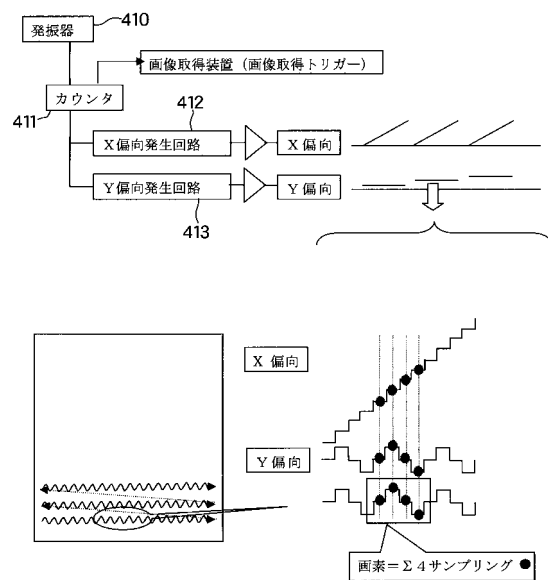
【図 6 9】

矩形波スキャン経路

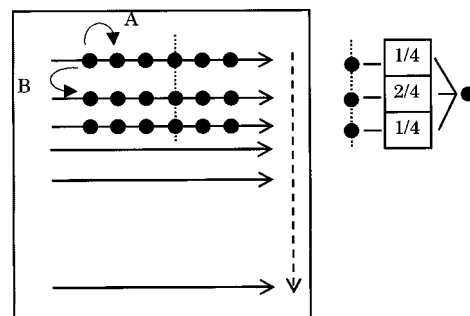


【図 6 8】

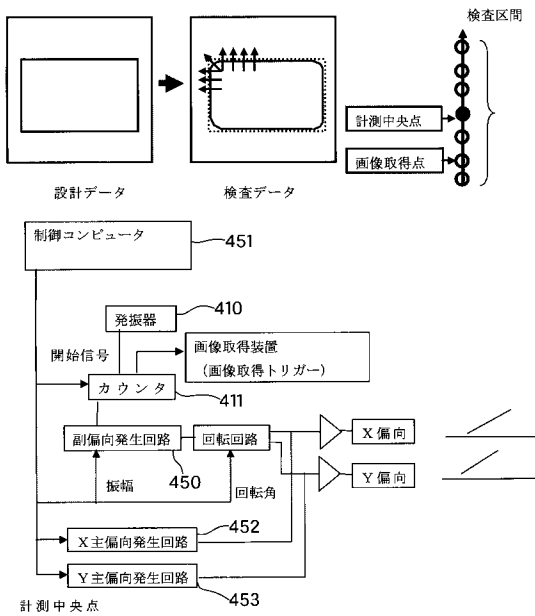
サイン波スキャン経路



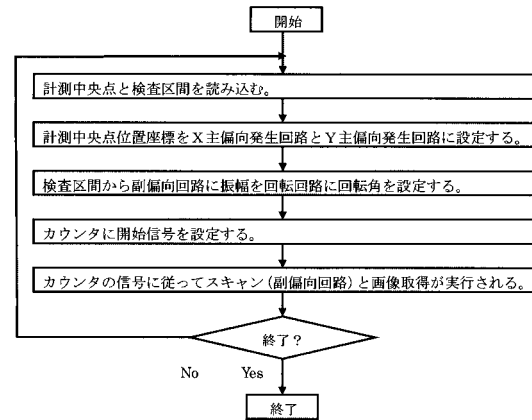
【図 7 0】



【図 7 1】

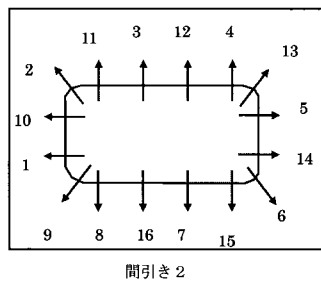


【図 7 2】

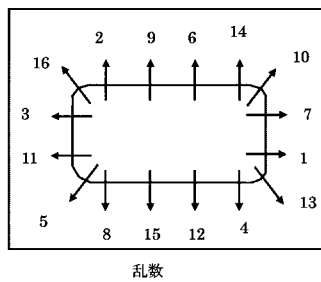


【図 7 3】

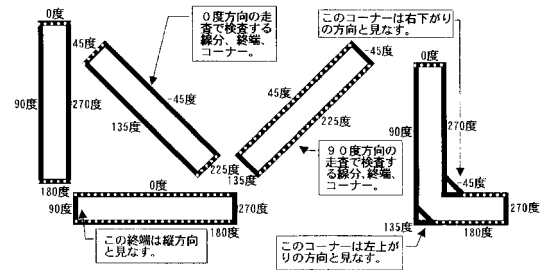
(a)



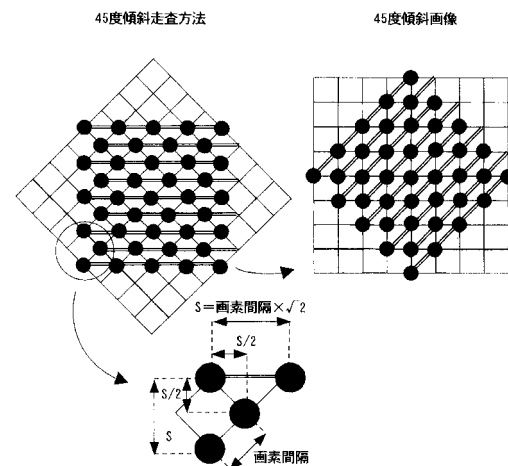
(b)



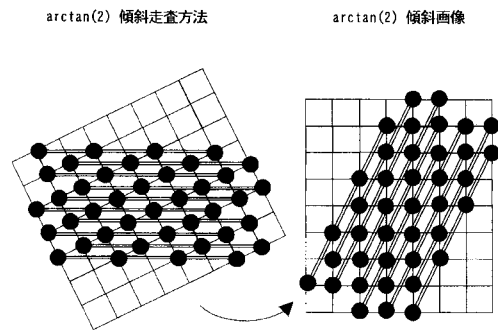
【図 7 4】



【図 7 5】



【図 7 6】



フロントページの続き

(72)発明者 山本 昌宏

神奈川県川崎市高津区坂戸 3 - 2 - 1 株式会社ナノジオメトリ研究所内

Fターム(参考) 2G001 AA03 BA07 CA03 FA03 FA06 GA06 HA05 HA07 HA13 JA11

KA03 LA11 MA05 PA11

4M106 AA01 AA09 BA02 CA39 DB05 DB20 DJ18 DJ20