

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4710191号
(P4710191)

(45) 発行日 平成23年6月29日(2011.6.29)

(24) 登録日 平成23年4月1日(2011.4.1)

(51) Int. Cl.		F I			
GO3F	1/08	(2006.01)	GO3F	1/08	A
HO1L	21/027	(2006.01)	GO3F	1/08	S
GO6T	1/00	(2006.01)	HO1L	21/30	502P
GO1B	11/24	(2006.01)	GO6T	1/00	305B
			GO1B	11/24	F

請求項の数 6 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2001-233722 (P2001-233722)
 (22) 出願日 平成13年8月1日(2001.8.1)
 (65) 公開番号 特開2003-43663 (P2003-43663A)
 (43) 公開日 平成15年2月13日(2003.2.13)
 審査請求日 平成20年7月25日(2008.7.25)

(73) 特許権者 000003193
 凸版印刷株式会社
 東京都台東区台東1丁目5番1号
 (72) 発明者 米倉 勲
 東京都台東区台東1丁目5番1号 凸版印刷株式会社内
 (72) 発明者 福島 祐一
 東京都台東区台東1丁目5番1号 凸版印刷株式会社内
 審査官 福島 浩司

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 フォトマスクパターン形状自動計測方法及びその装置及びそのプログラム及びフォトマスク製造方法及び半導体装置の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

フォトマスクパターンの形状を自動計測する方法において、
 (a) 計測するマスクパターンの画像を取得する工程と、
 (b) 前記マスクパターン画像から任意のパターン部分を切り出す工程と、
 (c) 該パターン部と同じ位置の設計データ、又は正常なマスクパターンから正常なパターン部分の画像を取得する工程と、
 (d) 前記正常なパターン部分画像の輪郭を抽出する工程と、
 (e) 前記輪郭の輪郭線からベクトルデータを生成する工程と、
 (f) 前記ベクトルデータから基準ベクトルを決め、該基準ベクトルと前記ベクトルデータ中の各ベクトルの相対角度を用いてパターン信号への変換を行う工程と、
 (g) 前記パターン信号からパターン形状の種類を決定するパターン形状認識をする工程と、
 (h) 前記パターン形状認識によって決定した形状の種類毎にパターン部分の形状特性値を計測する工程と、
 からなる工程を実行することによりマスクパターン画像の所望のパターン部分について自動分類及び形状特性値の自動計測を可能とすることを特徴とするフォトマスクパターン形状自動計測方法。

【請求項2】

フォトマスクパターンの形状を自動計測する装置において、

- (a) 計測するマスクパターンの画像を取得するマスクパターン画像取得処理する手段と
、
(b) 前記マスクパターン画像から任意のパターン部分を切り出すパターン部分切り出す
処理手段と、
(c) 該パターン部と同じ位置の設計データや正常なマスクパターンから正常なパターン
部分の画像を取得する正常なパターン部分画像取得して処理する手段と、
(d) 前記正常なパターン部分画像の輪郭を抽出する輪郭抽出処理する手段と、
(e) 前記輪郭の輪郭線からベクトルデータを生成するベクトルデータ化処理する手段と
、
(f) 前記ベクトルデータからパターン信号を生成するパターン信号化処理する手段と、
(g) 前記パターン信号からパターン形状の種類を決定するパターン形状認識して、処理
する手段と、
(h) 前記パターン形状認識処理によって決定した形状の種類毎にパターン部分の特性値
を計測する形状計測して処理する手段と、
からなることを特徴とするフォトマスクパターン形状自動計測装置。

10

【請求項 3】

フォトマスクパターンの形状を自動計測するプログラムにおいて、

- (a) 計測するマスクパターンの画像を取得するマスクパターン画像取得処理プログラム
と、
(b) 前記マスクパターン画像から任意のパターン部分を切り出すパターン部分切り出し
プログラムと、
(c) 該パターン部と同じ位置の設計データや正常なマスクパターンから正常パターン部
分の画像を取得する正常なパターン部分画像取得処理プログラムと、
(d) 正常なパターン部分画像の輪郭を抽出する輪郭抽出処理プログラムと、
(e) 前記輪郭の輪郭線からベクトルデータを生成するベクトルデータ化処理プログラム
と、
(f) 前記ベクトルデータから基準ベクトルを決め、該基準ベクトルと前記ベクトルデー
タ中の各ベクトルの相対角度を用いてパターン信号を生成するパターン信号化処理プロ
グラムと、
(g) 前記パターン信号からパターン形状の種類を決定するパターン形状認識プログラム
処理と、
(h) 前記パターン形状認識処理によって決定した形状の種類毎にパターン部分の特性値
を計測する形状計測プログラムと、
を具備し、マスクパターン画像の所望のパターン部分について、自動分類及び形状特性値
の自動計測を実行することを特徴とするフォトマスクパターン形状自動計測プログラム。

20

30

【請求項 4】

請求項 3 に記載のフォトマスクパターン形状自動計測プログラムを搭載することを特徴
とするフォトマスクパターン形状自動計測装置。

【請求項 5】

前記請求項 1 記載の方法，又は請求項 2 記載の装置又は請求項 4 記載の装置を用いてフ
ォトマスクパターン形状を計測して、フォトマスクを製造することを特徴とするフォトマ
スク製造方法。

40

【請求項 6】

前記請求項 5 記載のフォトマスク製造方法にて製造されたフォトマスクを用いて半導体
装置を製造することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】

本発明は半導体製造のリソグラフィ工程に用いられるフォトマスクのマスクパターン画像
の所望のパターン部分を自動分類しパターン形状を自動計測するためのフォトマスクパタ

50

ーン形状自動計測方法、およびフォトマスクパターン形状自動計測プログラムならびにフォトマスクパターン形状自動計測装置及びその装置をもちいてフォトマスクを製造する方法及びフォトマスクを用いて半導体装置の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年の半導体LSIパターンの微細化に伴い、パターン原版としてのフォトマスク4も同様に微細化への対応を迫られており、同時に高精度化への要求は非常に厳しい。従来、フォトマスク4品質における重要項目として、欠陥・寸法精度・アライメントの3項目が特に重視されており、半導体の微細化が進む現在ではそれぞれの項目のマスクパターン1の形状特性値10を計測するための高精度なフォトマスク4専用検査装置が開発され使用されている。しかしフォトマスクパターン1の微細化による高精度化への要求は、前記3項目以外のあらゆる品質項目(パターン形状、パターンデータ保証、耐久性、クリーン度等)においても同様になりつつあり、特にマスクパターン形状特性値の精度については直接LSI回路の精度および性能に関わることから、かなり重視されるようになってきた。

10

【0003】

フォトマスク4のパターン形状7は、半導体回路16のマスクレイアウトの設計8において設計図面通りのパターン8が精度良くマスク4上に再現されていることが望ましいのは当然である。しかし、実際にはリソグラフィ技術を用いてガラス上の金属薄膜に微細なパターンを加工しているため、マスクパターン1と設計パターン8、9とは完全に同一形状ではなく、寸法差やコーナー部の丸みなど、微小な違い18が存在する。この違いはマスク4上で数十～数百ナノメートル程度の大きさであることがほとんどであるが、近年の超LSIの微細化の進展によって、これが半導体回路16の特性に影響を与えることが懸念され始めている。すなわち、微細なパターンであるほど、パターン1自体に対して前記のパターン形状の違い18が相対的に大きくなり、半導体装置の特性値17に影響するようになってきたということである。

20

【0004】

また、近年の急激な微細化に伴い、投影露光技術において光学原理を積極的に利用することで前記のパターン形状の問題を改善しようという試みが盛んになってきている。その代表例は光近接効果補正マスク(以下OPCマスクと称する)である。ここでOPCマスクについて説明する。OPCマスクは、ウェハ露光転写時に回路パターン16形状が精度良く転写されるように、本来の回路パターン16に近接あるいは接触するようにして微細な光近接効果補正パターン(以下OPCパターンと称する)が付加されているマスクである。OPCパターンは、投影露光転写時に光学的近接効果が原因で生じる転写パターン形状の劣化に対して、近接するパターン同士の光干渉効果を利用して形状補正し、本来の設計パターン8を精度よく、半導体装置用基板19に転写可能にすることを目的とするパターンであり、本来の回路パターン16の四隅や隣接するパターンと最も近接する部分に配置されることが多い。また最近では回路パターン16全体を複雑に変形させるような種類のOPCパターンも提案されている。ただし、本来の回路パターン16としては不要なため、OPCパターン自身は転写されない程度に微細でなければならない。従って、OPCパターンは従来のパターンよりもかなり微細であるため、マスクパターン1の寸法ルールが従来のマスクよりも飛躍的に微細化することになり、マスク製造技術の点では非常に高度な微細加工技術を必要とする。もちろん、微細化の点では従来型のフォトマスク4も同様に進展していくことは確実であり、やはり高度な微細加工技術が要求されるようになっている。そこでフォトマスク製造及び検査技術の課題として重視されるようになったのが、前述のパターン形状特性値10の精度の問題である。

30

40

【0005】

マスク4品質上の点検項目としてパターン形状7を表す場合、様々な項目がある。例えば、パターンコーナー部の丸み(=コーナーラウンド)、直線パターンエッジ部のギザツキ(=エッジラフネス)、描画時のパターンズレ(=バッティングエラー)、形状歪み、テーパー形状など、パターンのそれぞれの部分ごとにチェックすべき項目がある。なお、括

50

弧内はフォトマスク検査工程で通常使われている項目名である。さらに最近では、微細なパターンを精度良くウェハ19上に転写する上でOPCパターン等の形状の丸みが問題となる場合があり、パターン形状の矩形性なども考慮する必要が出てきている。

【0006】

これらのパターン形状7の精度を確認する手段として従来は、光学顕微鏡やSEMを用いてマスクパターン1の形状7観察を行い、パターン1のエッジのギザつきやパターン1のコーナー部の形状丸み等の項目について異常がないかどうかを検査者の目視観察によって判定していた。またその他の手段として、前述の光学顕微鏡やSEMによるマスクパターン1の観察画像15をコンピュータに画像データとして読み込んだ後、コンピュータの画面上でパターン1形状7と設計パターン8を比較して形状7の善し悪しを判断したり、画像データの濃淡からパターンを判別した上で画像処理ソフトのツール等を使って、パターンコーナーの大きさや角度、パターン幅などをマウス操作により計測して形状の精度を確認していた。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

前記のようなパターン形状7の精度の確認手段において、光学顕微鏡（レーザー顕微鏡や共焦点顕微鏡等の、同様に高倍率での観察を目的とするパターン観察装置も含む）やSEMによる目視観察では、判定は検査者の主観によるため、検査者によってまちまちの判定となるおそれがあった。また、コンピュータの画面1上で設計パターン8と比較する場合も検査者による主観的な判定によるため、同様な問題があった。こうしたパターン1形状7の確認方法の根本的な問題は、客観的に評価するための数値表現ができないこと、つまりパターン1形状7の形状特性値10を定量的に計測し、正確に評価することができないということである。

【0008】

この意味においては、前記の画像処理ソフトのツールを使った従来手段は、形状7を長さや角度などによって数値で表すことができるため、他の手段より優れているといえる。しかしながら前記手段では、画像データ7の濃淡差によってパターンの輪郭を判断した上でマウスの手動操作で計測するため、パターン1のコーナーの大きさや、パターン幅などを計測する際の計測ポイントが測定者によって変わってしまい、正確な計測ができないという問題があった。また、前記手段でパターン1形状7の特性値10として計測できるのは、長さや角度など直接的に計測可能なものだけで、曲線形状などは計測できなかった。また、パターン1形状7の特性値は1つのパターン2に対して1箇所とは限らないため、いくつも手動で計測するのは煩わしいという問題もある。

【0009】

このように従来手段ではパターン1形状7の特性値10を自動的に正確かつ迅速に評価するには不十分であった。本発明は上記の問題点を鑑みてなされたもので、微細なパターンを含むフォトマスク4のパターン1形状を自動分類12し、分類された形状毎14に自動で迅速かつ正確・高精度に計測することを可能にする方法およびソフトウェアならびに装置を提供することを目的とする。

【0010】

【問題を解決するための手段】

上記課題を解決するために請求項1に記載の発明に係るフォトマスクパターンの形状を自動計測する方法において、フォトマスクパターンの形状を自動計測する方法において、

(a) 計測するマスクパターンの画像を取得する工程と、 (b) 前記マスクパターン画像から任意のパターン部分を切り出す工程と、 (c) 該パターン部と同じ位置の設計データ、又は正常なマスクパターンから正常なパターン部分の画像を取得する工程と、 (d) 前記正常なパターン部分画像の輪郭を抽出する工程と、 (e) 前記輪郭の輪郭線からベクトルデータを生成する工程と、 (f) 前記ベクトルデータから基準ベクトルを決め、該基準ベクトルと前記ベクトルデータ中の各ベクトルの相対角度を用いてパターン信号への変換を行う工程と、 (g) 前記パターン信号からパターン形状の種類を決定す

10

20

30

40

50

るパターン形状認識をする工程と、(h)前記パターン形状認識によって決定した形状の種類毎にパターン部分の形状特性値を計測する工程と、からなる工程を実行することによりマスクパターン画像の所望のパターン部分について自動分類及び形状特性値の自動計測を可能とすることを特徴とするフォトマスクパターン形状自動計測方法である。

【0011】

また、請求項2に記載の発明に係るフォトマスクパターンの形状を自動計測する装置において、(a)計測するマスクパターンの画像を取得するマスクパターン画像取得処理する手段と、(b)前記マスクパターン画像から任意のパターン部分を切り出すパターン部分切り出す処理手段と、(c)該パターン部と同じ位置の設計データや正常なマスクパターンから正常なパターン部分の画像を取得する正常なパターン部分画像取得して処理する手段と、(d)前記正常なパターン部分画像の輪郭を抽出する輪郭抽出処理する手段と、(e)前記輪郭の輪郭線からベクトルデータを生成するベクトルデータ化処理する手段と、(f)前記ベクトルデータからパターン信号を生成するパターン信号化処理する手段と、(g)前記パターン信号からパターン形状の種類を決定するパターン形状認識して、処理する手段と、(h)前記パターン形状認識処理によって決定した形状の種類毎にパターン部分の特性値を計測する形状計測して処理する手段と、からなることを特徴とするフォトマスクパターン形状自動計測装置である。

10

【0012】

また、請求項2に記載の発明に係るフォトマスクパターンの形状を自動計測するプログラムにおいて、(a)計測するマスクパターンの画像を取得するマスクパターン画像取得処理プログラムと、(b)前記マスクパターン画像から任意のパターン部分を切り出すパターン部分切り出しプログラムと、(c)該パターン部と同じ位置の設計データや正常なマスクパターンから正常なパターン部分の画像を取得する正常なパターン部分画像取得処理プログラムと、(d)正常なパターン部分画像の輪郭を抽出する輪郭抽出処理プログラムと、(e)前記輪郭の輪郭線からベクトルデータを生成するベクトルデータ化処理プログラムと、(f)前記ベクトルデータから基準ベクトルを決め、該基準ベクトルと前記ベクトルデータ中の各ベクトルの相対角度を用いてパターン信号を生成するパターン信号化処理プログラムと、(g)前記パターン信号からパターン形状の種類を決定するパターン形状認識プログラム処理と、(h)前記パターン形状認識処理によって決定した形状の種類毎にパターン部分の特性値を計測する形状計測プログラムと、を具備し、マスクパターン画像の所望のパターン部分について、自動分類及び形状特性値の自動計測を実行することを特徴とするフォトマスクパターン形状自動計測プログラム。

20

30

【0013】

前記記載の請求項4に係る発明は、請求項3に記載のフォトマスクパターン形状自動計測プログラムを搭載することを特徴とするフォトマスクパターン形状自動計測装置である。

【0014】

前記記載の請求項5に係る発明は、前記請求項1記載の方法、又は請求項2記載の装置又は請求項4記載の装置を用いてフォトマスクパターン形状を計測して、フォトマスクを製造することを特徴とするフォトマスク製造方法である。

40

【0015】

前記記載の請求項6に係る発明は、前記請求項5記載のフォトマスク製造方法にて製造されたフォトマスクを用いて半導体装置を製造することを特徴とする半導体装置の製造方法である。

【0016】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の内容を詳述する。図1はフォトマスクパターン形状自動計測方法のフロー図である。この図に沿ってフォトマスクパターン形状自動計測方法について説明する。

【0017】

50

S 1 は計測するマスクパターン 1 画像 1 5 を取得する手段で検査機やSEM、光学顕微鏡等を用いる。取得したマスクパターン 1 画像はビットマップ 1 1 画像のデータとしてコンピュータに取り込まれる。

【0018】

S 2 は取得したマスクパターン 1 画像から所望のパターン部分 2 を切り出す手段で、マウスなどのポインティングデバイスを利用して任意に選択されたパターン部分 2 矩形領域を切り出す。

【0019】

S 3 は切り出されたパターン部分 2 のビットマップ 1 1 画像のデータである。このビットマップ 1 1 画像のデータは、光透過率を表す画像の濃淡を数値化したデータということも
10
できる。この時、遮光部分と透過部分の数値の差は適宜定めれば良く、遮光部分に相当する数値と透過部分に相当する数値をそれぞれ最小・最大値として、中間階調部分の数値はその間の等分で求められる。

【0020】

S 4 は正常なパターン部分 9 画像を取得する手段で、前記 S 1 のマスクパターン 1 (欠陥パターン画像) を取得処理と同様に検査機やSEM、光学顕微鏡を用いる方法と、S 5 に示すように、設計データ 8 を利用する方法がある。前記マスクパターン 1 より取得を検査機やSEM、光学顕微鏡を用いる場合は、前記マスクパターン 1 より切り出したパターン部分 2 と同じパターンが正常な状態 7 で存在するときのみ利用でき、有効である。設計データ 8 を利用する場合は、切り出したパターン部分の位置座標と領域の大きさの情報を元に
20
、パターン部分 2 に対応するところの設計データ 8 をパターン画像に変換する処理を行う。

【0021】

S 6 は輪郭抽出処理をする手段で、正常なパターン部分 9 画像からパターンの輪郭線 3 を抽出するための処理で、正常なパターン 9 のビットマップ 1 1 画像のデータに画像処理を施すことで行う。画像処理には画像のノイズを除去する平滑化処理や多階調データを 0 または 1 からなる 2 値データに変換する 2 値化処理、パターンと背景部分の境界を抽出するエッジ抽出処理、太さを持つ線の画像を幅が 1、すなわち画像データの最小単位になるまで収縮する細線化処理などがあり、これらの処理を適宜組み合わせることにより、パターンの遮光部と透過部の境界をつなげた輪郭線 3 を抽出することができる。
30

【0022】

S 7 は、正常なパターン部分 9 の輪郭線 3 をベクトルデータ 5 へ変換するベクトルデータ化処理を行う。輪郭線 3 の出発点 (始点) 2 3 から、順番に、輪郭線に沿った方向に大きさ成分の等しいベクトルを配置して、量と方向をもったベクトル 5 をつなげて、輪郭線 3 の終点 2 4 のまでベクトルデータ化処理を行う。これらのベクトルの方向成分のデータをベクトルデータ 5 とする。

【0023】

S 8 は前記ベクトルデータを 1 次元配列の数値データに変換するための、パターン信号化処理を行う。パターン信号 6 はベクトルデータ 5 をもとに生成する。ここでは輪郭線の出発点 2 3 におけるベクトルを基準ベクトル 2 1 とし、各ベクトル 2 2 の基準ベクトル 2 1
40
に対する相対角度 θ に対し $\cos \theta$ を計算して、この値をパターン信号 6 のデータとした。

【0024】

S 9 は正常なパターン部分 9 の形状の種類 1 2 を特定するパターン形状 1 4 認識処理を行う。形状認識 1 4 はパターン信号 6 を微分処理して絶対値をとったデータを利用して行う。

【0025】

S 10 はパターン形状認識処理 1 4 によって分類されたパターン 9 形状毎に、パターン 1 の部分画像 2 に対して形状計測処理を行う。形状計測処理により、種類別パターン形状 1 4 毎個別に自動計測が行われる。

【0026】

10

20

30

40

50

S 1 1では、計測結果である形状特性値のデータが出力される。

【0027】

次に、実施した一事例に付いて説明する。図2の(1)~(5)はデータ処理の手順を示し、図2の(1)に示すように、設計データは矩形図形の頂点の座標データの集まりで構成されている。そのため、ダイトデータベース方式の検査機に使用されているような変換アルゴリズムを用いて、図2の(2)に示す、ビットマップ11画像に変換して正常なパターン部分9画像を得る。

【0028】

図2の(3)は、正常パターン画像9から輪郭線3を抽出した結果である。

【0029】

図2の(4)には、前記輪郭線3からベクトルデータ5に変換したデータの結果を示す。

【0030】

図2の(5)には、基準ベクトル21と各ベクトル22の相対角度を表示する、また図3の(1)には横軸にベクトルデータNoと、例えば一例として、縦軸にCosをとった場合のパターン信号のグラフを示す。このパターン信号6はパターン形状の特徴を1次元の数値データで表したもので、各データは基準ベクトル21に対する相対角度から求められているため、各ベクトル22はパターンの向きに関係なくパターン毎に一意に定まる。なお、パターン信号6のデータはCosに限らず場合に応じてSinや、そのもの、またベクトルデータ5から生成されるその他の数値を利用しても良い。

【0031】

図3の(2)は、図3の(1)のパターン信号6を微分して絶対値をとったデータを示す。

【0032】

図3の(2)のデータではピークの数6個なので、このパターンはハンマーパターンであると認識できる。

【0033】

ここでは、前記のデータ処理の手順によって分類する形状の種類は、次の図4~図6に示すように、パターンエッジと、パターンコーナーと、ライン端と、ホールパターンと、セリフパターンと、ハンマーヘッドの6種類とする。

【0034】

次に、図4~図6には、前記6種類のそれぞれの形状のパターン信号6と、それを微分して、絶対値をとったデータを示す。図4~図6からピーク数は形状の種類によって異なり、そのピーク数はパターンの角数と同じになっていることが分かる。つまり、このピーク数を数えることで、パターン形状の種類12を認識し分類することが可能となる。例えば、図5(1)は(a)は、データ図形によるパターンの種類を表わして、ライン端、(b)は、各ベクトル22の相対角度をCosをとった場合のパターン信号6のグラフを示す、(c)はパターン信号6を微分して絶対値をとったデータを示す。ピークに1、2、3、付けてピークの数を表わしている。

【0035】

図7に示す、形状計測処理は筆者が発明・出願済みの「マスクパターン形状計測方法」特願平11-367669の手順に沿って行う。図7にその処理手順のフローを示す。図7のS11は切り出されたパターン部分9画像の輪郭線3を抽出するための処理で、図7の(1)のパターン部分画像に画像処理を施すことで行う。パターン部分9画像の輪郭線3を抽出する手順の画像処理には、画像のノイズを除去する平滑化処理や、多階調データを0または1からなる2値データに変換する2値化処理と、パターンと背景部分の境界を抽出するエッジ抽出処理、太さを持つ線の画像を幅が1すなわち画像データの最小単位になるまで収縮する細線化処理などがあり、これらの処理を適宜組み合わせることにより、パターンの遮光部と透過部の境界をつなげた輪郭線3を抽出することができる。

【0036】

図7の(2)はパターン部分9画像から輪郭線3を抽出する手順により、輪郭線3を抽出

10

20

30

40

50

したデータの出力結果である。

【0037】

次にパターン9の輪郭線3をベクトルデータへ変換するベクトルデータ化処理SS2を行う。輪郭線3の出発点23から、順番に輪郭線に沿った方向に大きさ成分の等しいベクトルを配置して、量と方向を持ったベクトル5をつなげて輪郭線の終点24までベクトルデータ化の処理を行う。これらのベクトルの方向成分のデータをベクトルデータとする。

【0038】

図7の(3)に輪郭線3データよりベクトルデータ5に変換した結果を示す。

【0039】

次にベクトルデータ5を線図形データ20に変換する連結・合成処理を行う。これは最初のベクトルデータの始点23の座標と、ベクトルデータの個々のx、y成分を順次加算していくことで、パターン輪郭線3の各画素の座標値を算出する処理である。これによって算出された各画素の座標値データはパターンの輪郭に沿って順番に並んでおり、線図形を構成しているため線図形データ20と呼んでいる。図7の(4)に変換された線図形データ20を示す。

【0040】

最後に線図形データ20を用いて、パターン形状の特性値を計測する座標計測処理SS4を行う。座標計測処理SS4のアルゴリズムはパターン形状の種類12毎に異なっており、パターン形状9に応じて異なる形状特性値10を計測することができる。パターン形状の種類12と計測される形状特性値10の詳細を次に述べる。なお、パターン形状の特性値10は以下に述べる以外にもパターン特徴に応じていろいろ考えられるが、ここで得られた前記線図形データ20をもとにして、計測処理のアルゴリズムを変更・追加することによって所望の形状特性値10を得ることが可能である。

【0041】

次に、図8～図13は前記6種類の種類別パターン部14に付いて順番に計測方法について説明する。

【0042】

図8に示す、パターンエッジの計測方法について述べる。パターンエッジはエッジのラフネスを計測する。定量化する特性値は図5(a)に示す平均粗さとラフネス幅： a である。平均粗さを求めるには統計的な計算が必要不可欠であり、従来の画像処理手法ではパターンエッジの平均粗さの計算は困難であった。しかし、本発明においては図8(b)に示すような線図形データ20を生成しx、y座標値をもとに計算を行うため、それが可能となっている。具体的には、パターンのエッジ部分の始点23と始点24間の線図形データ20の座標値をもとにエッジの平均線をもとめ、平均線と各座標値の差 $f(x)$ の絶対値の定積分値を、終点24～始点23間迄の距離で割ることによって算出される。またラフネス幅 a は、線図形データ20の座標値を大小の順番に調べ、幅方向の最小値と最大値の差を求めれば良い。

【0043】

図9に示す、パターンコーナーの計測方法について解説する。パターンコーナーを定量化するための形状特性値10として、図9(a)に示すように、コーナー部分の横方向と縦方向の長さ a 、 b や斜め45度方向の長さ c 、丸みによって本来のパターンから欠けた部分の面積 s 、本来のパターンの面積 S と欠けた部分の面積 s との比によって欠け具合を表す侵食度 s/S などがある。これらの特性値を計測するためには、パターン形状の輪郭線3が曲線的に変化する部分、すなわちコーナーの曲がり始めと曲がり終わりを検知する必要がある。コーナーの曲がり始め曲り終わりは図9(b)に示すように、線図形データ20の始点23から順に、一定数はなれた2点間のx、y成分移動量から直線の傾きを求め、その傾きが所定の閾値以上(もしくは以下)になるところを調べることで検知することが可能である。なお、パターンの輪郭線3にノイズがのっている場合は、ノイズ部分をコーナー曲がり始めと特定してしまうことが考えられるため、本発明ではマスクパターン画像の画像品質によって閾値を調整できるようにしてある。コーナー部分の横方向と縦方向の

10

20

30

40

50

長さ a 、 b はコーナー曲がり始めと曲がり終わりの2点間の x 、 y 成分の差の絶対値を計算することで求められる。コーナーの斜め方向の長さ c は、曲がり始めと終わりの点より直線を延ばして交わる点から、輪郭線までの距離を斜め 45 度方向に計算することで求められる。また、欠けた部分の面積 s は a 、 b を二辺とする長方形 (= 本来のパターン) からコーナー部分の面積を減算してもとめられる。なお、コーナー部分の面積は線図形データ 20 を始点 23 から終点 24 まで辿りながら、列ごとのピクセル数をすべて合計することで算出される。コーナーの欠け具合を表す侵食度は、単純に本来のパターンの面積 S と欠けた部分の面積 s の比すなわち s / S を計算すれば良い。

【 0 0 4 4 】

図 10 に示す、ライン端の計測方法について解説する。ライン端には2つの角があるため、定量化するための特性値として図 10 (a) に示すように、2つのパターンコーナーの横方向と縦方向の長さ a_1 、 a_2 、 a_1 、 b_1 、 b_2 、斜め 45 度方向の長さ c_1 、 c_2 、本来のパターンから欠けた部分の面積 s_1 、 s_2 、ラインの幅 d などがある。特性値の中で d 以外の項目は、パターンコーナーの計測方法と全く同様にして計測することができる。コーナーの曲がり始めと終わりを検知する方法も同様で、図 10 (b) に示すように、線図形データ 20 の始点 23 から順に、一定数はなれた2点間の x y 成分移動量から直線の傾きを求め、その傾きが所定の閾値以上 (もしくは以下) になるところを調べることで行う。ライン幅 d は始点 23 と終点 24 の x 又は y 座標 (図の場合は x 座標) の差の絶対値を計することで求められる。

【 0 0 4 5 】

図 11 に示す、ホールパターンの計測方法について解説する。ホールパターンを定量化するための特性値は、図 11 (a) に示すように、横径と縦径 a 、 b やホール面積 s 、4つのコーナーのへこみ長 (斜め 45 度方向の長さ) $L_1 \sim 4$ 、本来のパターンの面積 S と実際のホールパターンの面積 s との比によってパターンの出来具合を表す忠実度 s / S などがある。ホールパターンの横径は、線図形データの x 方向の最大値と最小値の差を計算することで、縦径は Y 方向の最大値と最小値の差を計算することで求められる。また面積は、線図形データ内に含まれるピクセルの数を算出することで求められる。4つのコーナーのへこみ長 $L_1 \sim 4$ は、図 11 (b) のように線図形データ 20 の最大・最小点からホールパターンの外接矩形 (= 本来のパターン) を生成して、この矩形の各頂点からホールパターンの輪郭線までの距離を計算することによって求める。パターンの出来具合を表す忠実度は、本来のパターン面積 S ($a \times b$) とホールパターン面積 s の比すなわち s / S を計算すれば良い。

【 0 0 4 6 】

図 12 に示す、セリフパターンの計測方法について解説する。セリフパターンを定量化するための特性値としては、図 12 (a) に示すように、横径と縦径 a 、 b 、や斜め径 c 、膨らみの横方向と縦方向の長さ d 、 e 、セリフパターンの面積 S 、各コーナー部のへこみ長 (斜め 45 度方向の長さ) $L_1 \sim 3$ などがある。セリフパターンの特性値は、図 12 (b) に示す予測パターンを元に計測を行う。この予測パターンはセリフパターンの形状から本来のパターンを予測したものである。セリフパターンとベースパターンの交点において、セリフパターンの辺とベースパターンの辺のなす角は設計データでは直角になる。そのため、線図形データの一定数離れた2点間の直線の傾きが、ベースパターンの辺に対して最大となる地点 (直角に最も近くなる) を基準点として検出することで、本来のセリフパターンを予測することができる。セリフパターンの外接矩形で、この2つの基準点を通るものを予測パターンとする。セリフパターンの横径 a 、縦径 b はそれぞれ予測パターンの横径、縦径を算出することで求められる。膨らみ横方向の長さ d はベースパターンの縦辺と予測パターンの縦辺との距離を算出することで、膨らみ縦方向の長さ e はベースパターンの横辺と予測パターンの横辺との距離を算出することで求められる。3つのコーナーのへこみ長 $L_1 \sim 3$ は、予測パターンの頂点からセリフパターンの輪郭線までの距離を計算することで求める。斜め径 c は、予測パターンの縦横径より三平方の定理によって算出した対角線の長さから、 L_1 と L_3 を減算することによって求められる。線図形デ

ータを2つの基準点の間を辿りながら、列ごとのピクセル数を x 方向に進んだときは減算、+ x 方向に進んだときは加算することにより、セリフパターンと重なり部分を合わせた面積が算出される。よって、ここから重なり部分の面積 $[(a - b) \times (b - e)]$ を減算することによって斜線部分のセリフパターン面積が求められる。

【0047】

図13に示す、ハンマーパターンの計測方法について解説する。ハンマーパターンを定量化するための特性値は、図13(a)に示すように、横径と縦径 a 、 b 、やハンマーの突起の長さ c 、 d 、ハンマーの面積 S 、各コーナー部のへこみ長(斜め45度方向の長さ) $L1 \sim 4$ などがある。ハンマーパターンの特性値は、図13(b)に示す予測パターンを元に計測を行う。この予測パターンはハンマーパターンの形状から本来のパターンを予測したものである。ハンマーパターンとベースパターンの交点において、ハンマーパターンの辺とベースパターンの辺のなす角は設計データでは直角になる。そのため、線図形データの一定数離れた2点間の直線の傾きがベースパターンの辺に対して最大となる地点(直角に最も近くなる場所)を基準点として検出することで、本来のハンマーパターンを予測することができる。なお、2つの基準点の位置座標(図10の場合は y 座標)が異なる場合には、2つの平均の位置を算出して微調整し、それを新たな基準点とする。ハンマーパターンの外接矩形で、この2つの基準点を通るものを予測パターンとする。ハンマーパターンの横径 a 、縦径 b はそれぞれ予測パターンの横径、縦径を算出することで求められる。ハンマーの突起の長さ c 、 d はベースパターンの側辺と予測パターンの測辺との距離を両端それぞれにおいて算出することで求められる。4つのコーナーのへこみ長 $L1 \sim 4$ は、予測パターンの頂点からハンマーパターンの輪郭線までの距離を計算することで求める。またハンマーパターンの面積 S は、線図形データを2つの基準点の間を辿りながら、列ごとのピクセル数を x 方向に進んだときは減算、+ x 方向に進んだときは加算することによって求められる。

【0048】

フォトマスク4のパターン形状7は、半導体回路16のマスキレイアウトの設計8において設計図面通りのパターン8が精度良くマスク4上に再現されていることが望ましいのは当然である。しかし、実際にはリソグラフィ技術を用いてガラス上の金属薄膜に微細なパターンを加工しているため、マスクパターン1と設計パターン8、9とは完全に同一形状ではなく、寸法差やコーナー部の丸みなど、微小な違い18が存在する。その課題として、本発明の方法、及び処理の手順を用いて、本発明のソフトウェアの要求するハードウェアの環境を備えたシステム上により、本発明の画像処理ソフトウェアのツール等を用いて検査及びパターン形状の自動計測装置開発提供することにより、微小な違い18を検査及び自動計測をした。

【0049】

次に、フォトマスクパターン1の微細化による高精度化への要求は、欠陥パターンの寸法精度と、各フォトマスク間の重ね合わせ精度、の項目以外のあらゆる品質項目(パターン形状、パターンデータ保証、耐久性、クリーン度等)にも厳しい品質規格の要求になりつつあり、特にマスクパターン形状特性値の精度については直接LSI回路(半導体回路)の精度および性能に関わることから、重視されるようになってきた。半導体装置の製造時において、半導体装置用基板19上に形成する半導体回路は光プロセスの手段を用いて、前記半導体装置用基板19上に感光性レジストの塗布形成と、フォトマスクに形成した回路パターンを露光転写と、現像工程によるレジスト層の現像後に、薄膜導電膜形成、又は腐蝕によるパターン層形成、或いは前記レジストパターンをマスク層としたイオン照射等のプロセス加工が順次繰り返されて、階層構造の回路を形成する為に、複数回工程を実行することが一般的である。又前記半導体回路を形成する為に複数枚のフォトマスクを使用するが、前記工程では半導体回路のパターンを形成にはフォトマスクの精度に大きく依存する為に、本発明で製造したフォトマスクを用いて半導体装置の製造し、又露光転写の精度を検証した。

【0050】

【発明の効果】

以上のようにフォトマスクパターン形状の計測において、本発明のフォトマスクパターン自動計測方法を用いることにより、所望のパターン部分を自動分類し、パターン形状毎に自動的に迅速かつ高精度な形状計測が可能となり、さらに統計手法など多様な計算方法が利用できるため、形状の特徴を正確に定量化することが可能となり、本発明の装置を用いて、高精度のフォトマスクが製造され、また、そのフォトマスクを用いた半導体装置の製造においても高い精度の製品を供給でき、又その他のフォトマスクパターン形状においても同じ形状データを用いて、座標計測処理のアルゴリズムを変更するだけで、形状の特徴を定量化するための自動形状計測が可能となる。

【図面の簡単な説明】

10

【図1】本発明のフォトマスクパターン形状自動計測方法の一実施例の手順S1～S11を示すフローである。

【図2】正常なパターン部分画像を輪郭画像、ベクトルデータおよびパターン信号に変換する手順S4～S8を示す模式図で、(1)は設計データ、(2)は正常なマスクパターン、(3)は輪郭線、(4)はベクトルデータ、(5)はベクトルデータ相対角度を表わした。

【図3】図2の続いての手順を表わすグラフ図であり、(1)はパターン信号のグラフ、(2)は微分したデータである。

【図4】と、と、と、6種類のパターン形状とパターン信号の一実施例であり、(1)は、パターンエッジ(a)は正常なマスクパターンであり、(b)は、Cosのグラフ、(c)は積分値の絶対値グラフである。(2)パターンコーナー

20

【図5】6種類のパターン形状とパターン信号の一実施例であり、(1)は、ライン端(a)は正常なマスクパターンであり、(b)は、Cosのグラフ、(c)は積分値の絶対値グラフである。(2)ホールパターンである。又(a)1、2、は数を表わす。

【図6】6種類のパターン形状とパターン信号の一実施例であり、(1)は、セリフパターン(a)は正常なマスクパターンであり、(b)は、Cosのグラフ、(c)は積分値の絶対値グラフである。(2)ハンマーヘッドである。

【図7】形状計測処理の手順S10を示すフローである。

【図8】前記6種類の内の一実施例で、パターンエッジの特性値である。

30

【図9】前記6種類の内の一実施例で、パターンコーナーの特性値である。

【図10】前記6種類の内の一実施例で、ライン端の特性値である。

【図11】前記6種類の内の一実施例で、ホールパターンの特性値である。

【図12】前記6種類の内の一実施例で、セリフパターンの特性値である。

【図13】前記6種類の内の一実施例で、ハンマーパターンの特性値である。

【符号の説明】

- S1...マスクパターン画像取得処理
- S2...パターン部分切り出し処理
- S3...パターン部分画像
- S4...正常なパターン部分画像取得処理
- S5...設計データ
- S6...輪郭抽出処理
- S7...ベクトルデータ化処理
- S8...パターン信号化処理
- S9...パターン形状認識処理
- S10...形状計測処理
- S11...形状特性値データ
- SS1...輪郭抽出処理
- SS2...ベクトルデータ化処理
- SS3...連結・合成処理

40

50

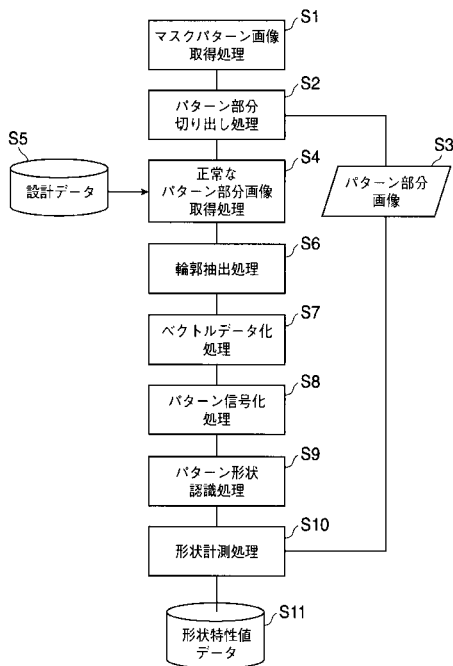
- S S 4 ...座標計測処理
- 1 ... (フォト)マスクパターン
- 2 ... 任意のパターン部
- 3 ... (画像の)輪郭線(抽出)
- 4 ... フォトマスク
- 5 ... ベクトルデータ
- 6 ... パターン信号
- 7 ... フォトマスクのパターン形状
- 8 ... 設計データ
- 9 ... 正常なマスクパターン(マスクデータ)
- 10 ... 形状特性値
- 11 ... ビットマップ画像
- 12 ... パターン形状の種類
- 13 ... 正常なパターン部
- 14 ... 種類別パターン部
- 15 ... 画像
- 16 ... 半導体回路
- 17 ... 半導体装置の特性値
- 18 ... パターン形状の違い(正常なパターン9とマスクパターン1の形状の差)
- 19 ... 半導体装置用基板
- 20 ... 線図形データ
- 21 ... 基準ベクトル
- 22 ... 各ベクトル
- 23 ... 始点
- 24 ... 終点

10

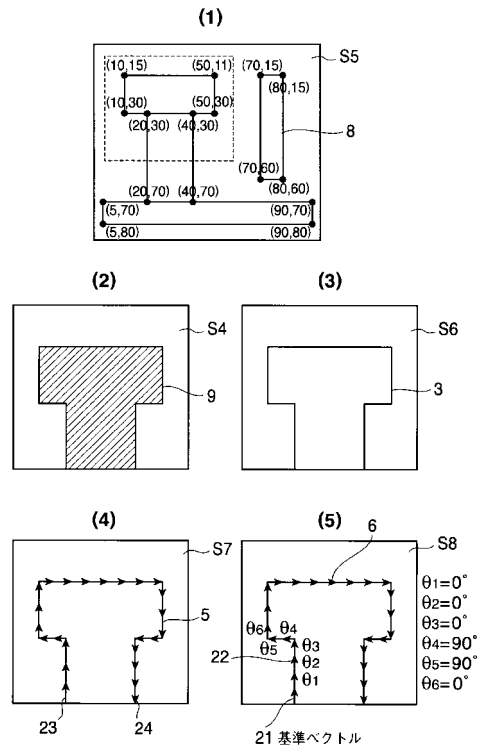
20

【図1】

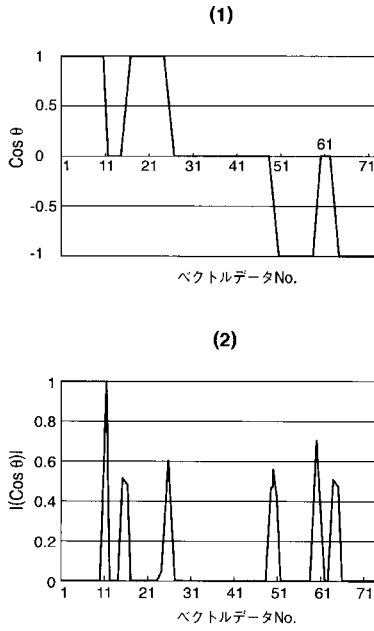
フォトマスクパターン形状自動計測フロー



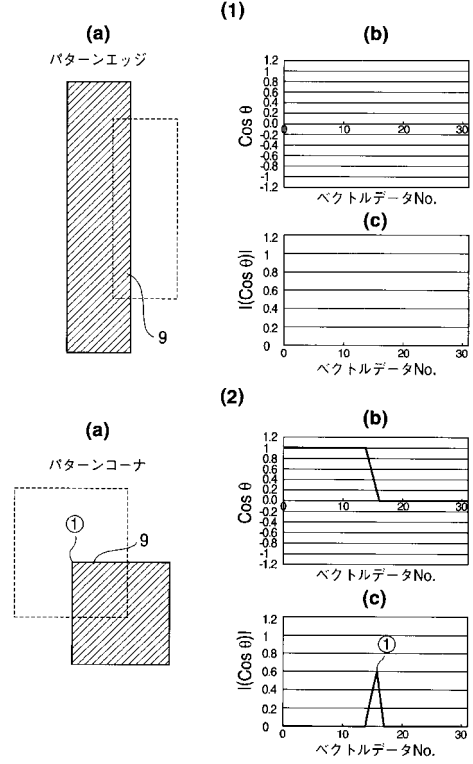
【図2】



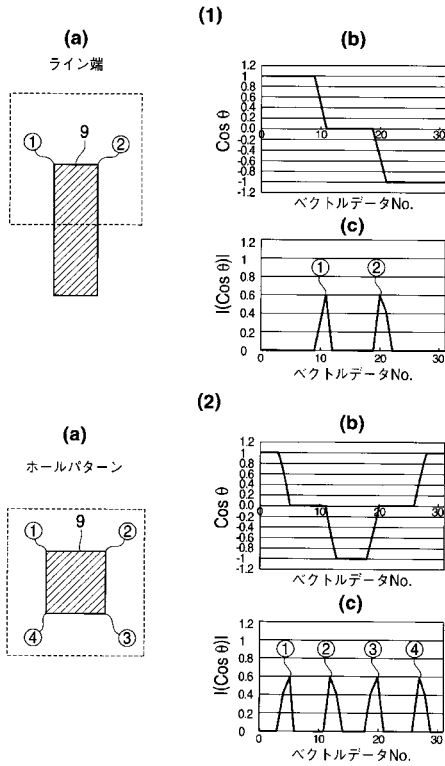
【 図 3 】



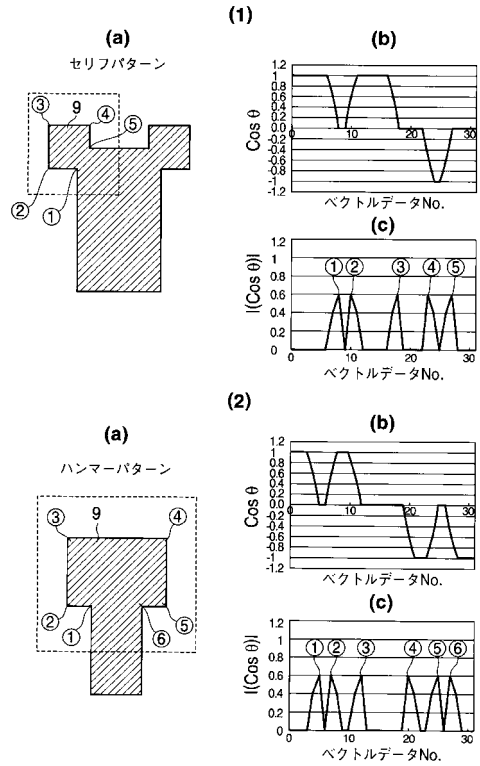
【 図 4 】



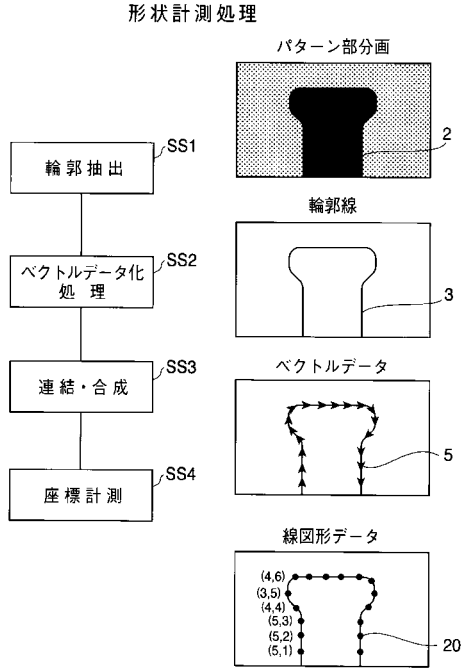
【 図 5 】



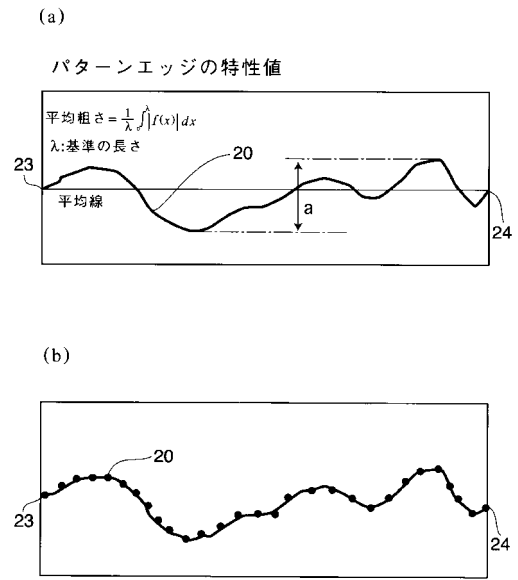
【 図 6 】



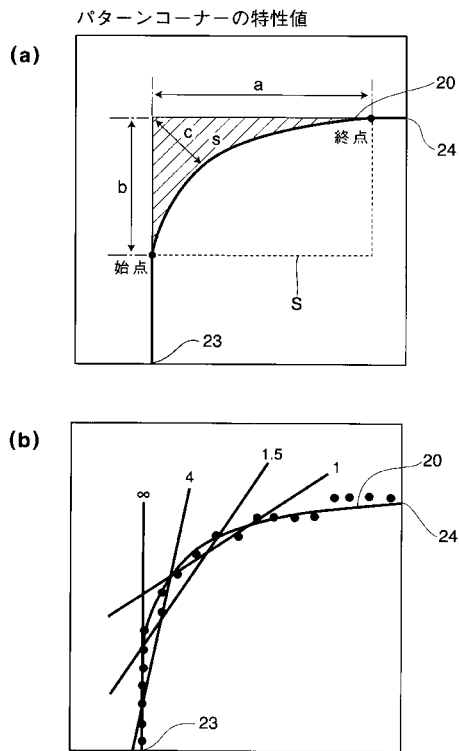
【図7】



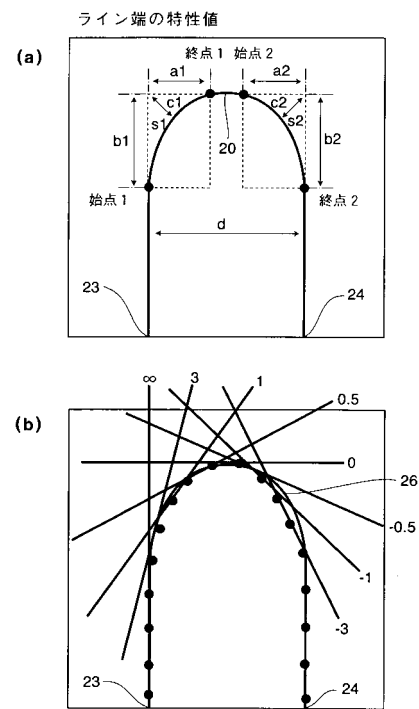
【図8】



【図9】



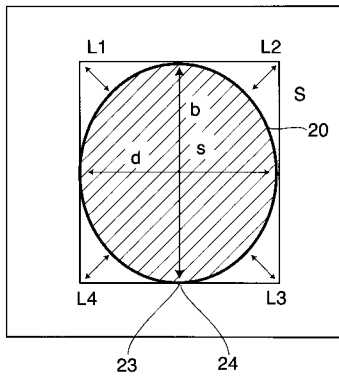
【図10】



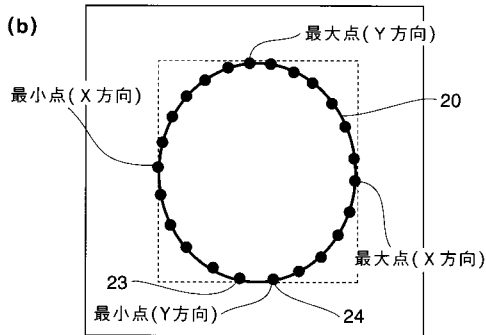
【図11】

ホールパターンの特徴値

(a)



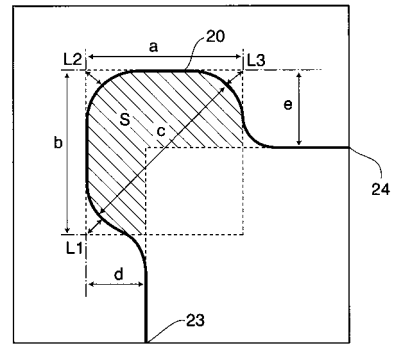
(b)



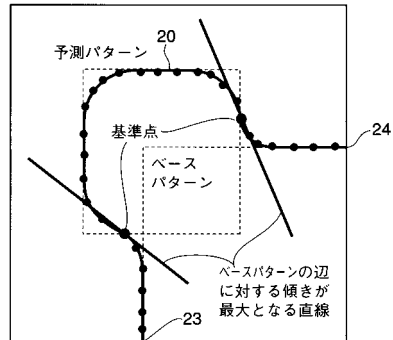
【図12】

セリフパターンの特徴値

(a)



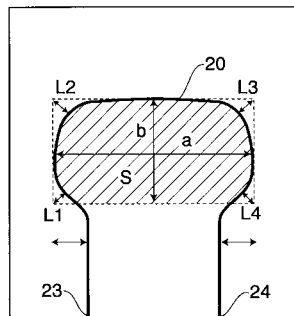
(b)



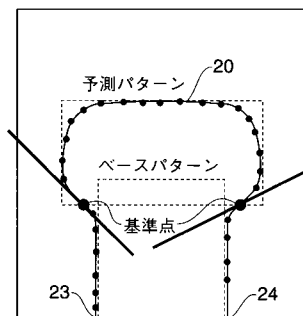
【図13】

ハンマーパターンの特徴値

(a)



(b)



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2001-183810(JP,A)
特開平04-350776(JP,A)
特開2001-183811(JP,A)
特開昭61-022237(JP,A)
特開2001-183116(JP,A)
特開2002-202586(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G03F 1/08
G01B 11/24
G06T 1/00
H01L 21/027