(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2010 年 8 月 5 日(05.08.2010)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/087149 A1

(51) 国際特許分類:
G01B 15/00 (2006.01) *H01J 37/22* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2010/000423

(22) 国際出願日: 2010 年 1 月 26 日(26.01.2010)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2009-016550 2009 年 1 月 28 日(28.01.2009) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社日立ハイテクノロジーズ (**HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目２４番１４号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 宍戸千絵 (**SHISHIDO, Chie**) [JP/JP]; 〒2440817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町２９２番地株式会社日立製作所生産技術研究所内 Kanagawa (JP). 宮本敦 (**MIYAMOTO, Atsushi**) [JP/JP]; 〒2440817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町２９２番地株式会社日立製作所生産技術研究所内 Kanagawa (JP). 岩▲崎▼真由香 (**IWASAKI, Mayuka**) [JP/JP]; 〒2440817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町２９２番地株式会社日立製作所生産技術研究所内 Kanagawa (JP). 西浦朋史 (**NISHIURA, Tomofumi**) [JP/JP]; 〒2440817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町２９２番地株式会社日立製作所生産技術研究所内 Kanagawa (JP). 上瀧剛 (**KOTAKI, Go**) [JP/JP]; 〒2440817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町２９２番地株式会社日立製作所生産技術研究所内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: ポレール特許業務法人 (**Polaire I.P.C.**); 〒1040032 東京都中央区八丁堀二丁目７番１号 Tokyo (JP).

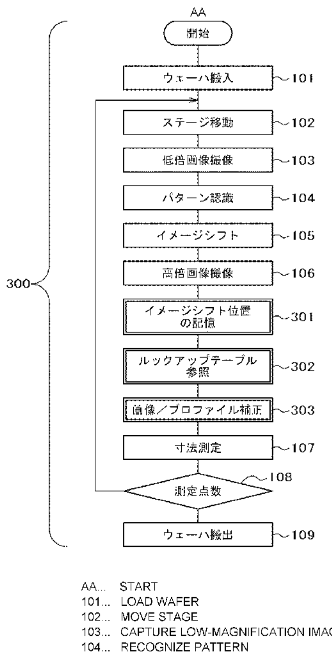
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO,

[続葉有]

(54) Title: CHARGED PARTICLE BEAM DEVICE

(54) 発明の名称 : 荷電粒子線装置

図1



AA... START
101... LOAD WAFER
102... MOVE STAGE
103... CAPTURE LOW-MAGNIFICATION IMAGE
104... RECOGNIZE PATTERN
105... SHIFT IMAGE
106... CAPTURE HIGH-MAGNIFICATION IMAGE
301... STORE POSITION OF IMAGE SHIFT
302... REFERENCE LOOKUP TABLE
303... CORRECT IMAGE/PROFILE
107... MEASURE DIMENSIONS
108... NUMBER OF MEASUREMENT POINTS
109... UNLOAD WAFER

(57) Abstract: A charged particle beam device enabling prevention of degradation of reproducibility of measurement caused by an increase of the beam diameter attributed to an image shift and having a function of dealing with device-to-device variation. The charged particle beam device is used for measuring the dimensions of a pattern on a specimen using a line profile obtained by detecting secondary charged particles emitted from the specimen when the specimen is scanned with a primary charged particle beam converged on the specimen. A lookup table in which the position of image shift and the variation of the beam diameter are associated is prepared in advance by actual measurement or calculation and registered. When the dimensions are measured, image processing is carried out so as to correct the line profile for the variation of the beam diameter while the lookup table is referenced, and thereby the situation where the beam diameter is effectively equal is produced irrespective of the position of the image shift. With this, measurement by the charged particle beam excellent in reproducibility can be carried out.

(57) 要約: イメージシフトよって生じるビーム径の増大が引き起こす計測再現性の低下を防止し，機差の発生に対処する機能を有する荷電粒子線装置を提供する。 試料上に収束した一次荷電粒子線を走査して，試料から放出される二次荷電粒子を検出して得られるラインプロファイルを用いて試料上のパターン寸法を計測する荷電粒子線装置において，予めイメージシフト位置とビーム径変化を関連づけるルックアップテーブルを実測あるいは計算により求めて登録しておき，寸法計測時には，ルックアップテーブルを参照してラインプロファイルに対してビーム径変化分を補償するような画像処理を施すことで，イメージシフト位置によらず，実効的にビーム径が等しい状況を作り出す。これによって再現性の優れた荷電粒子線測定を行うことが出来る。

WO 2010/087149 A1

CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

明 細 書

発明の名称 ： 荷電粒子線装置

技術分野

[0001] 本発明は微少な寸法を計測するための荷電粒子線装置，特に，半導体デバイスのパターン寸法を計測する装置に関する。

背景技術

[0002] 非特許文献１に述べられているように，半導体製造工程でのパターン寸法管理には，走査電子顕微鏡（ＳＥＭ）を半導体専用に特化した測長ＳＥＭが用いられている。図２に測長ＳＥＭの原理を示す。電子銃０１０から放出された一次電子ビームは収束レンズ０１１で細く絞られ，偏向器０１２（走査コイル）により試料上を２次元的に走査される。

[0003] 対物レンズ０１３によって試料０２０の表面に焦点を合わせた電子ビームを照射することによって試料０２０から発生した二次電子を検出器０１４で捕らえることで，電子線像が得られる。二次電子はパターンエッジ部でより多く発生するため，電子線像は，パターンエッジに相当する部分が明るい画像となる。１連の動作は制御装置０１５によって行なわれる。

[0004] 走査像の倍率は，ＣＲＴ上の走査幅（一定）と，試料上の電子ビームの走査幅（可変）の比で任意に変えられる。図２において、ＳＥＭの倍率をＭ、画面上のパターン寸法をＩ、とした場合、実際の寸法ＳはＩ／Ｍで現される。測長ＳＥＭでは走査像で寸法を計測する場所を指定し，その部分の信号波形を用いて倍率より演算して寸法を測定する。

[0005] 信号波形を用いた自動寸法計測方法は種々の方法が提案されているが，代表的な方法である「しきい値法」を図３に示す。前述のように，二次電子はパターンエッジ部でより多く発生する。左右のパターンエッジに相当する信号量が大きい部分を，それぞれ左ホワイトバンド（左ＷＢ），右ホワイトバンド（右ＷＢ）と記すことにする。しきい値法は，左右ＷＢそれぞれで，Ｍａｘ値，Ｍｉｎ値を求め，これらからしきい値を算出し，しきい値を信号波

形が横切るポジションをエッジ位置として検出し，左右エッジ間の距離を寸法（ＣＤ値）とするものである。なお、図３におけるしきい値はユーザーが任意に決めることが出来る。

[0006] 図４に一般的な自動寸法計測のシーケンスを示す。ウェーハを搬入し（ステップ１０１），寸法計測箇所付近にステージを移動し（ステップ１０２），10000倍程度の低倍で画像を撮像する（ステップ１０３）。登録画像をテンプレートとするパターン認識により，寸法計測箇所の正確な位置を求める（ステップ１０４）。求めた位置を中心とするより狭い範囲に一次電子ビームの走査範囲を限定することにより（ステップ１０５），150000倍程度の高倍の画像を撮像し（ステップ１０６），寸法を計測する（ステップ１０８）。

[0007] ステージ移動を行わず，一次電子ビームの走査位置を変えることで画像撮像位置を変更する上記の動作をイメージシフトと呼ぶことにする。最初から高倍の画像を撮像せずに，低倍の画像を撮像した後にイメージシフトにより高倍の画像を撮像するのは，一般に，ステージの停止精度の不足から，高倍画像内に計測対象パターンを含めるのが困難だからである。

[0008] 半導体パターンの微細化により，測長ＳＥＭの計測精度に対する要求は年々厳しさを増しており，従来からの装置単体の計測再現性に対する要求に加え，その処理能力と半導体生産量との関係から複数台の装置が併用されることが多いことから，装置間の計測寸法差（機差）低減も重要な課題となっている。

先行技術文献

非特許文献

[0009] 非特許文献1：社団法人　日本半導体製造装置協会（ＳＥＡＪ）　平成15年度半導体製造装置技術ロードマップに関する調査研究報告書　第５編　計測

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] 上記，背景技術ではイメージシフトを行って高倍画像を取得しているが，

一般的な電子光学系の特性として，イメージシフト量が大きいほど分解能は低下する。これは，イメージシフトを行うことによって収差が発生し，実効的なビーム径が増大するためである。

[0011] 図５において，ｘ方向のイメージシフトをｄｘ，ｙ方向のイメージシフトをｄｙとすると，位置Ｉ（ｄｘ＝ｄｙ＝０）で撮像されたラインパターン像による寸法計測値（図５（ｂ））と，位置ＩＩ（｜ｄｘ｜＞０，｜ｄｙ｜＞０）で撮像されたラインパターン像による寸法計測値（図５（ｃ））を比較すると，位置ＩＩの方がビーム径が大きいため，寸法計測値が大きくなる。前述のように，ステージの停止位置は一定精度内でばらつくため，それに伴ってイメージシフト量が変動し，それが，寸法計測値の変動を招く。

[0012] 同じ対象物を複数回計測した場合，イメージシフト量が毎回変化すれば，寸法計測値が毎回変化するため，計測再現性が低下する。また，イメージシフトに伴うビーム径の増大の仕方に装置間差があれば，機差（寸法計測値の装置間差）の要因ともなりうる。

[0013] 本発明の目的は，イメージシフトよって生じるビーム径の増大が引き起こす計測再現性の低下を防止し，機差の発生に対処する機能を有する荷電粒子線装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0014] 上記の目的を達成するため，本発明は，試料上に収束した一次荷電粒子線を走査して，試料から放出される二次荷電粒子を検出して得られるラインプロファイルを用いて試料上のパターン寸法を計測する荷電粒子線装置において，イメージシフト位置と一次荷電粒子線のビーム径変化を関連づけるルックアップテーブルを作成し保有する手段と，ラインプロファイル取得時のイメージシフト位置を記憶する手段と，該記憶されたイメージシフト位置を前記ルックアップテーブルに当てはめることによりラインプロファイル取得時のビーム径変化を算出する手段と，該算出されたビーム径変化を寸法計測処理に反映する手段，を有するようにしたものである。

発明の効果

[0015] 本発明によれば，イメージシフトによって生じるビーム径の変化が補償されるため，ビーム径の変化によって生じていた計測再現性の低下，機差が改善される。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]本発明の第１の実施の形態を説明するフロー図。

[図2]本説明にかかる荷電粒子線装置の説明図。

[図3]従来の技術の説明図。

[図4]従来の技術の説明図。

[図5]本発明の第１の実施の形態の説明図。

[図6]本発明の第１の実施の形態を説明するフロー図。

[図7]本発明の第１の実施の形態の説明図。

[図8]本発明の第１の実施の形態の説明図。

[図9]本発明の第１の実施の形態の説明図。

[図10]本発明の第２の実施の形態を説明するフロー図。

[図11]本発明の第１の実施の形態の説明図。

[図12]本発明の第１の実施の形態の説明図。

[図13]本発明の第１の実施の形態の説明図。

[図14]本発明の第１の実施の形態を説明するフロー図。

[図15]本発明の第２の実施の形態の説明図。

[図16]本発明の第４の実施の形態の説明図。

[図17]本発明の第４の実施の形態の説明図。

[図18]本発明の第５の実施の形態の説明図。

[図19]本発明の第５の実施の形態の説明図。

[図20]本発明の第６の実施の形態を説明するフロー図。

[図21]本発明の第６の実施の形態の処理フローを示す図。

[図22]本発明の第６の実施の形態の説明図。

[図23]本発明の第７の実施の形態の説明図。

発明を実施するための形態

[0017] 本発明は，各種の荷電粒子線装置（ＳＥＭ，ＦＩＢ（Ｆｏｃｕｓｅｄ Ｉｏｎ Ｂｅａｍ）等）に適用可能であるが，以下の実施例では代表としてＳＥＭを対象に説明する。

実施例 1

[0018] 本発明に係る荷電粒子線装置における寸法計測のフローを図１に示す。ウェーハ搬入（ステップ１０１），ステージ移動（ステップ１０２），低倍画像撮像（ステップ１０３），パターン認識（ステップ１０４），イメージシフト（ステップ１０５），高倍画像撮像（ステップ１０６）の各ステップは背景技術で述べた通りである。

[0019] 本発明においては，高倍画像撮像時のイメージシフト位置（ｄｘ，ｄｙ）を記憶し（ステップ３０１），記憶したイメージシフト位置に応じて，イメージシフト位置と画像ないしプロファイルの補正係数の対応関係が記載されたルックアップテーブルを参照して（ステップ３０２），画像ないしプロファイルの補正を行う（ステップ３０３）。そして，補正済みの画像あるいはプロファイルを用いて，寸法計測を行う（ステップ１０７）。

[0020] 以下，ステップ３０２で用いるルックアップテーブルの作成方法，及び，ステップ３０３の補正方法について詳述する。ステップ３０２で用いるルックアップテーブル作成のフローを図６に示す。ルックアップテーブルには，専用のウェーハを用いて計測したイメージシフトｖｓビーム径変化の実測値に基づく，イメージシフト位置と画像ないしプロファイルの補正係数の対応関係が記載されている。

[0021] 専用ウェーハとしては，図７（ａ）に示したような，同一の断面形状が連続しているようなパターンを有するものが適している。図７（ｂ）に示すように，イメージシフトなし（イメージシフト位置Ｉ）及び，イメージシフトあり（イメージシフト位置II）にて画像を撮像し，これらの画像間のラインプロファイルの勾配の違いを定量化することで（方法は後述）ビーム径の違いを求める。

[0022] この際，イメージシフト位置ＩとIIとで，パターンの断面形状に違いがあ

ると，上記の定量化された結果には，ビーム径の違いだけでなく，パターンの断面形状の違いの要素が含まれてしまうため，パターンの断面形状，特にテーパ角は均一であることが望ましい。

[0023] 通常のリソグラフィ工程によりパターンを形成すると，ラインエッジラフネスの発生が避けられないため，例えば，図８（ａ）のように材質Ａと材質Ｂを交互に成膜し，これを切り出し（図８（ｂ）），材質Ａのみを選択的にエッチングし（図８（ｃ）），これをウェーハ上にマウントするという方法にて形成されたパターンが適している。

[0024] この方法で形成されたパターンは，ラインエッジラフネスが小さい上，パターンエッジのテーパ角がどこでも一定（鉛直）となる。あるいは，単結晶ウェーハを用い，結晶面に従った選択的エッチングを行うことで，テーパ角が等しいパターンを形成してもよい。Ｓｉウェーハの場合，１１０面を表面とするウェーハを用いれば，鉛直なテーパを持つパターンの形成が可能である。

[0025] また，より厳密に，パターンの断面形状の違いの影響を排除するには，パターンの使用箇所をずらして，多数箇所で画像を撮像し，それぞれで得られた定量化の結果の平均値を用いることが有効である。例えば，図９はパターンの使用箇所を４箇所（４１０～４１３）とした場合である。一旦撮像した箇所にはコンタミが付着するため，図９のように使用箇所は互いに重なり合わないようにする必要がある。

[0026] 図６に戻って，ルックアップテーブル作成のフローを説明する。上記の専用ウェーハを搬入し（ステップ２０１），加速電圧やビーム開き角などの撮像条件を指定する（ステップ２０２）。画像撮像箇所にステージを移動し（ステップ２０３），低倍で画像を撮像し（ステップ２０４），パターン認識により，ラインパターンの配置を求め，Ｎ個のイメージシフト位置を算出する（ステップ２０５）。

[0027] 例えば，横方向に±３箇所，縦方向に±３箇所のイメージシフト位置にて画像を撮像するならば，Ｎは４９個（横７×縦７）である。算出結果に基づ

きイメージシフトを行い（ステップ２０６），高倍画像を取得（ステップ２０７）することを繰り返す。画像撮像の終了後，各画像にてラインプロファイルから特徴量を求める（ステップ２０８）。

[0028] 特徴量の算出方法を図１０にて説明する。ラインプロファイル００２は，電子線画像００１の断面波形である。ノイズを低減のため，ｊ方向にライン加算を行い，ノイズが十分に低減されたＮライン加算後のラインプロファイル００３を求める。図１０（ｂ）は，ラインプロファイル００３の左側ホワイトバンド（ＷＢ）部を拡大したものである。

[0029] ビーム径とラインプロファイルの勾配との間には，ビーム径が小さいほど，ラインプロファイルの勾配が大きいという関係があるので，特徴量としては，（ａ）i1とi2間の平均勾配，（ｂ）i1とi2間の最大勾配が考えられる。あるいは，ＷＢ部の勾配が変化すると，結果的にＷＢ幅が変化するので，（ｃ）ＷＢ幅（i3-i1），（ｄ）外側ＷＢ幅（i2-i1）を用いてもよい。（ｃ）（ｄ）の場合は，（ａ）（ｂ）とは逆に，ビーム径が小さいほど，特徴量の値は小さくなる。

[0030] 図６の次ステップ２０９では，各画像で求めた特徴量を，図１のステップ３０３で用いる補正係数に変換する。このため，まず始めに，Ｎ個の特徴量を比較し，イメージシフト範囲内のどこでビーム径が最大であるかを調べる。すなわち，特徴量（ａ）ないし（ｂ）を使用している場合には特徴量が最小となるイメージシフト位置を，特徴量（ｃ）ないし（ｄ）を使用している場合には特徴量が最大となるイメージシフト位置を求める。

[0031] 補正係数の具体的な算出方法を図１１に示す。図１１（ａ）のように，ビーム径が最大となるイメージシフト位置で撮像された画像img_{max}のラインプロファイル$prof_{max}$から算出された特徴量をf_{max}とする。各イメージシフト位置で撮像された画像img_{n}のラインプロファイル$prof_{n}$に対して，図１１（ｂ）のように，様々なσ値のガウス関数を畳み込み特徴量を求める。σ値が大きいのは，ビーム径が大きいことと同様なので，σ値の増加によって，特徴量（ａ）ないし（ｂ）は値が小さくなり，特徴量（ｃ）ないし（ｄ）は値が大

きくなる。

[0032] 図１１（ｃ）は特徴量（ｃ）ないし（ｄ）を用いた場合のσ値と特徴量の関係を示している。画像ｉｍｇ$_n$が撮像されたイメージシフト位置の補正係数は，図１１（ｃ）のσ_{ans}（単位はｎｍ）の値とする。このようにして求められる補正係数の値は，ビーム径が最大の位置では0（nm），ビーム径が小さい位置ほど大きな値となる。

[0033] 上記の手順を言い換えると、まず、所定のイメージシフト位置において、プロファイル$prof_n$を測定する。このプロファイル$prof_n$に対して種々の補正量σを畳み込んで各場合の特徴量ｆを計算する。図１１（ｃ）は所定の位置において補正量σを変えた場合の特徴量の変化の関係を示すものである。図１１（ｃ）において、あらかじめ調べてある、ビーム径が最大となる位置における特徴量f_{max}と同じ特徴量になる補正量σ_{ans}が所定の位置における補正量となる。すなわち、図１１（ｃ）のグラフは測定位置すべてについて作成する必要がある。

[0034] この補正係数は，ビーム強度分布をガウス関数とみなした場合の，ｉｍｇ$_n$を撮像した位置でのビーム径bw_nとｉｍｇ$_{max}$を撮像した位置でのビーム径bw_{max}の二乗差の平方根（$(bw_{max}^2 - bw_n^2)^{1/2}$）に他ならない。$bw_{max}$と$bw_n$のみの関数であり，特徴量として（ａ）～（ｄ）のいずれを用いようとも，あるいは，使用するウェーハによっても値は変化しない。

[0035] 図６の次ステップ２１０にて，イメージシフト各位置における補正係数を撮像条件と共にルックアップテーブルとして登録する。図１２にルックアップテーブルの構造を示す。この例では，縦横６ミクロン間隔で，±１８ミクロンの範囲の各イメージシフト位置（図１２（ａ）の破線の交差位置）における補正係数が登録されている。イメージシフトに伴うビーム径変化の傾向は，加速電圧やビーム開き角といった撮像条件によって異なるため，ルックアップテーブルは撮像条件ごとに作成し登録する。

[0036] 本発明に係る荷電粒子線装置は，ルックアップテーブルを表示する機能を有する（図６ステップ２１１）。その時点で登録されているルックアップテ

ーブルの一覧から，所望のルックアップテーブルを選択すると（図１３（ａ））， イメージシフト位置と補正係数の関係が表示される（図１３（ｂ））。なお、図１３（ａ）のテーブルにおいて、加速電圧は電子顕微鏡の陽極電圧であり、モードは、電子ビームの集束のモードを言う。すなわち、モードHはＨｉｇｈ　ｒｅｓｏｌｕｔｉｏｎモードであり、ＬはＬｏｗ　ｒｅｓｏｌｕｔｉｏｎモードである。

[0037]　図１３（ｂ）はイメージシフト位置と補正係数の関係が等高線で表現されたたものである。ルックアップテーブルの表示は，ルックアップテーブルの内容確認の他，光学系の再調整の要否の判断にも利用可能である。すなわち，所定のイメージシフト範囲内で，補正係数が規定値を超えている場合には，光学系の再調整が必要と判断される。あるいは，図１３（ｂ）のように，イメージシフトゼロがビーム径最小位置と一致していない場合は，これらが一致するよう，ビーム偏向系の座標系をずらしてもよい。

[0038]　次に，図１のステップ３０３で行われる，画像ないしプロファイルの補正について説明する。ステップ３０１で記憶したイメージシフト位置（ｄｘ，ｄｙ）に応じて，ルックアップテーブルを参照する（ステップ３０２）。なお，図１２のように，ルックアップテーブルに登録されているのは離散的なイメージシフト位置における補正係数であるため，（ｄｘ，ｄｙ）における補正係数は，近傍４箇所のイメージシフト位置における補正係数を補間して求める。

[0039]　プロファイルを補正する方法を図１４に示す。プロファイルの補正は図１４（ｂ）に示すように，それぞれのイメージシフト位置に応じて，ルックアップテーブルに登録されているσ値のガウス関数を畳み込むことにより実現される。

[0040]　図１４（ａ）において，イメージシフト位置Ｉにおけるビーム径に比べてイメージシフト位置IIにおけるビーム径が大きい場合，補正前のラインプロファイはIIの方がなまっており，IIの寸法計測値はＩの寸法計測値よりも大きくなる。IIに対してはσ値の小さなガウス関数を，Ｉに対してはσ値の大

きなガウス関数を畳み込むという補正が行われることによって，畳み込み後のラインプロファイルは同一となり，従って，寸法計測値も等しくなる。ガウス関数の畳み込みは，上記のように，一旦ラインプロファイルを生成した後にラインプロファイルに対して行ってもよいし，画像に対してガウス関数を畳み込んだ後に，ラインプロファイルを生成してもよい。

[0041] 本発明によれば，イメージシフト位置によらず寸法計測結果が等しくなるので，従来の装置で問題となっていた，ステージ停止位置誤差が引き起こす寸法計測値ばらつきが改善され，計測再現性が向上する。

実施例 2

[0042] 第１の実施の形態においては，プロファイルあるいは画像を補正する補正係数を求めたが，補正係数の代わりに，各イメージシフト位置における寸法計測値の変化量を予め調べておき，その結果をルックアップテーブルに登録するようにしてもよい。図１５にルックアップテーブルの構造を示す。ルックアップテーブルに記載されているのは，寸法計測結果を加減するオフセット値である。

[0043] 上記，第１の実施の形態でのルックアップテーブルが撮像条件ごとの登録であるのに対し，寸法計測値の変化量は計測対象パターンによって異なるため，撮像条件（加速電圧，ビーム開き角など）ごと，計測対象パターンごとに登録しておく必要があるが，計測対象パターン種が少ない場合は本実施の形態は有効である。

実施例 3

[0044] 第1の実施の形態においては，イメージシフト位置とビーム径変化の関係を，図６に示すフローにて実測で求めたが，各イメージシフト位置におけるビーム径を電子光学系シミュレータにより計算で求め，その結果を補正係数に変換してルックアップテーブルに登録するようにしてもよい。

[0045] すなわち，本実施例においては、該当イメージシフト位置のビーム径がガウス関数換算でbw_n，イメージシフト範囲内での最大ビーム径がガウス関数換算でbw_{max}とすると，イメージシフト各位置における補正係数σ_nをσ_n＝（bw_{max}^2

－ $bw_n{}^2$）$^{1/2}$により算出する。この計算結果を，第１の実施の形態と同様に図１２に示したようなルックアップテーブルに登録し，第１の実施の形態と同様に図１４（ｂ）に示す方法で，プロファイルあるいは画像の補正を行う。

実施例 4

[0046] 第1の実施の形態においては，縦ラインパターンを用いてイメージシフト位置とビーム径変化の関係を求め，補正係数として１次元のガウス関数のσ値を用いた。本実施の形態においては，図１６に示したような，縦，横，斜め（例えばπ／４＝45°）の３方向のラインパターンを用い，補正係数として図１７（ａ）に示す，σ値の長径ａ，σ値の短径ｂ，角度θの３パラメータで表現される２次元のガウス関数を用いる。

[0047] a，ｂ，θは次のようにして求める。

(1)図６に示すフローを縦，横，斜めの各パターンにて行い，それぞれで補正係数σ_0，$\sigma_{\pi/2}$，$\sigma_{\pi/4}$を求める(図１６参照)。

(2)図１７（ｂ）の連立方程式を解くことで，未知数a，ｂ，θを求める。なお，第２式のπ/2は横パターンのパターン方向であり，第３式のπ／４は斜めパターンのパターン方向である。この連立方程式を解析的に解くのは困難であるが，数値計算を行えばa，ｂ，θは一意に求まる。

[0048] 第1の実施の形態において用いたルックアップテーブルには，イメージシフト位置ごとに１個の補正係数が登録されるが（図１２参照），本実施の形態では，a，ｂ，θの３個からなる補正係数が登録される。

[0049] 図１のステップ３０３の補正処理は，（１）画像に対してa，ｂ，θで表現される２次元のガウス関数を畳み込むか，あるいは，（２）ラインプロファイルに対して，その方向φに応じて，図１７（ｃ）にて算出されるσ値を有する１次元ガウス関数を畳み込むことで実現される。

[0050] 本実施の形態によれば，イメージシフトによるビーム径の変化が等方的でないようなケース，例えば，横方向と縦方向とでビーム径の変化傾向が異なるようなケースへの対応が可能となる。縦ラインパターンが計測対象の場合には第１の実施の形態で問題ないが，ホールパターン計測，あるいは様々な

方向のパターンが混在しているような計測対象の場合には，本実施の形態が有効である。

実施例 5

[0051] 第1の実施の形態においては，ビーム径変化よって生じるラインプロファイルの勾配の変化を定量化して補正係数を求めたが，本実施の形態は図１８に示す方法で補正係数を求める。

[0052] 本実施の形態では，モンテカルロシミュレーションによりビーム径ゼロにおける二次電子信号波形４３０を求め，これと実ＳＥＭ像から求めたラインプロファイル４３１とから，４３０にガウス関数４３２を畳み込んだときに４３１に最も一致するようなガウス関数のσ値を求める。

[0053] イメージシフト位置ｎにおいて上記のようしにして求めたガウス関数のσ値をs_n，イメージシフト範囲内でのσ値の最大値をs_{max}とすると，イメージシフト各位置における補正係数σ_nは，$\sigma_n=(s_{max}{}^2-s_n{}^2)^{1/2}$により算出される。この計算結果を，第１の実施の形態と同様に図１２に示したようなルックアップテーブルに登録し，第１の実施の形態と同様に図１４（ｂ）に示す方法で，プロファイルあるいは画像の補正を行う。

[0054] あるいは，補正係数を求める代わりに，上記s_nを各イメージシフト位置におけるビーム径とみなして，図１９に示した非特許文献（J. S. Villarrubia, A. E. Vladar, J. R. Lowney, and M. T. Postek, “Scanning electron microscope analog of scatterometry,” Proc. SPIE 4689, pp. 304-312 (2002)）の方法を使用してもよい。図１９は、ビームプロファイルによって、、あらかじめ作成されているライブラリを用い、段差のコーナーＲおよび傾斜を推定するものである。

[0055] これを本実施例に応用する場合は、イメージシフトの位置毎に、ビームプロファイルと補正量のライブラリを作成しておき、ライブラリを参照することによって補正量を決めることになる。

実施例 6

[0056] 第1の実施の形態においては，図７に示したような，連続ラインパターンを

用いたが，本実施の形態においては，１本のパターンエッジを用い，ステージ移動→１本のパターンエッジ上の複数箇所で画像を撮像（図２０（ａ））→ステージ移動→１本のパターンエッジ上の複数箇所で画像を撮像（図２０（ｂ））→・・・を繰り返すことで，種々のイメージシフト位置における画像を撮像する。全体フローを図２１に示す。図２１のフローは、１本のパターンエッジを測定する毎にステージを移動する他は、図６で説明したフローと同様である。

[0057] ステージの停止位置は一定精度内でばらつくため，得られるデータセットは第１の実施の形態のようにイメージシフト範囲内で均一ピッチというわけにはいかず，図２２（ａ）の○マークで示したように，不均一ピッチのデータとなる。近傍のデータを用いた内挿/外挿処理により，図２２（ｂ）のように，均一ピッチのデータに変換した後にルックアップテーブルに登録する。登録されたルックアップテーブルの用い方は，第１の実施の形態と同様である。

[0058] 第１の実施の形態の説明で述べたように，場所によるパターンの断面形状の違いは，イメージシフト位置とビーム径の関係を求める際の誤差要因となる。本実施の形態は，ステージ移動が必要なため，ルックアップテーブル作成に要する時間が増加するというデメリットがある一方，上記の誤差要因が減少するというメリットがある。

実施例 7

[0059] 第１～第６の実施の形態においては，１台の装置においてイメージシフト位置によって寸法計測値が異なることに対処したが，本実施の形態では，機差，すなわち，装置間の寸法計測値の差異に対処する。

[0060] 図２３に示すように，同一の専用ウェーハを用いて，各装置において，図６あるいは図２１に示すシーケンス２００を実施し，全装置の全イメージシフト位置でのビーム径最大値を見いだし，全装置の全イメージシフト位置におけるラインプロファイルがそれと等しくなるような補正係数を設定する。

[0061] 本実施の形態によれば，全装置の全イメージシフト位置における寸法計測

値を等しくすることが可能である。

符号の説明

[0062] ００１…電子線画像、 ００２…ラインプロファイル、 ００３…Ｎライン加算後のラインプロファイル、 ０１０…電子銃、 ０１１…集束レンズ、 ０１２…偏向器、 ０１３…対物レンズ、 ０１４…検出器、 ０１５…制御装置、 ０２０…試料。

請求の範囲

[請求項1] 試料上に収束した一次荷電粒子線を走査して，試料から放出される二次荷電粒子を検出して得られるラインプロファイルを用いて前記試料上のパターン寸法を計測する荷電粒子線装置であって，

イメージシフト位置と前記一次荷電粒子線のビーム径変化を関連づけるルックアップテーブルを作成し保有する手段と，

前記ラインプロファイル取得時の前記イメージシフト位置を記憶する手段と，

前記記憶されたイメージシフト位置を前記ルックアップテーブルに当てはめることにより前記ラインプロファイル取得時のビーム径変化を算出する手段と，

前記算出されたビーム径変化を寸法計測処理に反映する手段とを有することを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項2] 試料上に収束した一次荷電粒子線を走査して，試料から放出される二次荷電粒子を検出して得られるラインプロファイルを用いて試料上のパターン寸法を計測する荷電粒子線装置であって，

イメージシフト位置と前記一次荷電粒子線のビーム径変化を関連づけるルックアップテーブルを作成し保有する手段と，

前記ルックアップテーブルを参照して，前記イメージシフト位置と前記一次荷電粒子線のビーム径変化の関係が，規定の条件を満たすか否かの判断する手段を有することを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項3] 請求項１ないし２に記載の荷電粒子線装置であって，前記ルックアップテーブルが撮像条件とリンクしていることを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項4] 請求項１ないし２に記載の荷電粒子線装置であって，

前記イメージシフト位置と前記一次荷電粒子線のビーム径変化を関連づけるモデルを作成し保有する手段は，

種々のイメージシフト位置にてステップエッジを有する試料のライ

ンプロファイルを取得し，前記ラインプロファイル上の試料のエッジ部に相当する箇所の波形の急峻さを定量化した特徴量と前記イメージシフト位置を関連づけたものであることを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項5] 請求項１ないし２に記載の荷電粒子線装置であって，前記ビーム径変化が二次元のガウス関数で表現されることを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項6] 請求項１に記載の荷電粒子線装置であって，前記ビーム径変化を寸法計測処理に反映する手段は，前記ラインプロファイルに対して，前記ビーム径の変化を補償するガウス関数の畳み込みにより実施されることを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項7] 複数の荷電粒子線装置からなる測定システムにおいて，

前記荷電粒子線装置は、試料上に収束した一次荷電粒子線を走査して，試料から放出される二次荷電粒子を検出して得られるラインプロファイルを用いて前記試料上のパターン寸法を計測する荷電粒子線装置であって，

イメージシフト位置と前記一次荷電粒子線のビーム径変化を関連づけるルックアップテーブルを作成し保有する手段と，

前記ラインプロファイル取得時の前記イメージシフト位置を記憶する手段と，

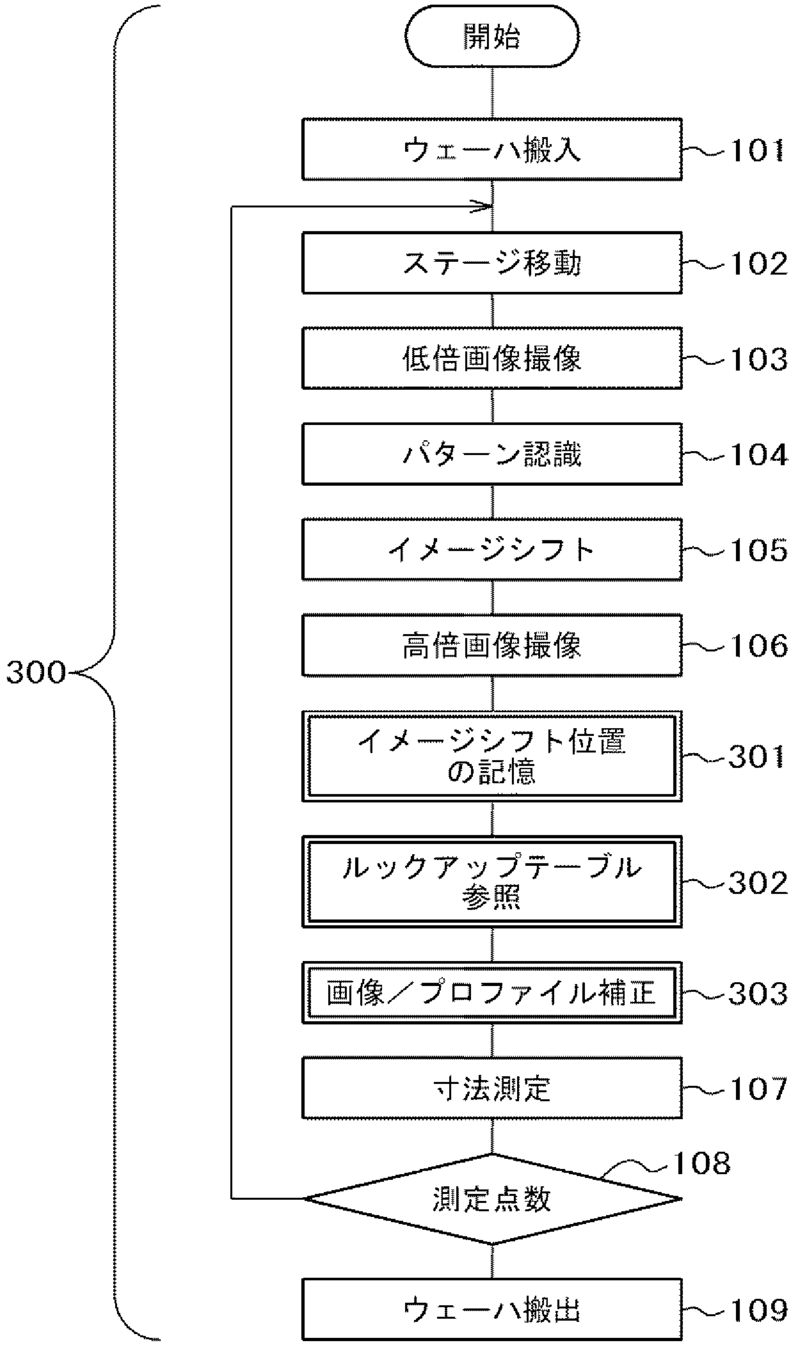
前記記憶された前記イメージシフト位置を前記ルックアップテーブルに当てはめることにより前記ラインプロファイル取得時のビーム径変化を算出する手段と，

前記算出されたビーム径変化を寸法計測処理に反映する手段とを有し、

前記ルックアップテーブルは複数の前記荷電粒子線装置の寸法計測値を共通に補正するものであることを特徴とする測定システム。

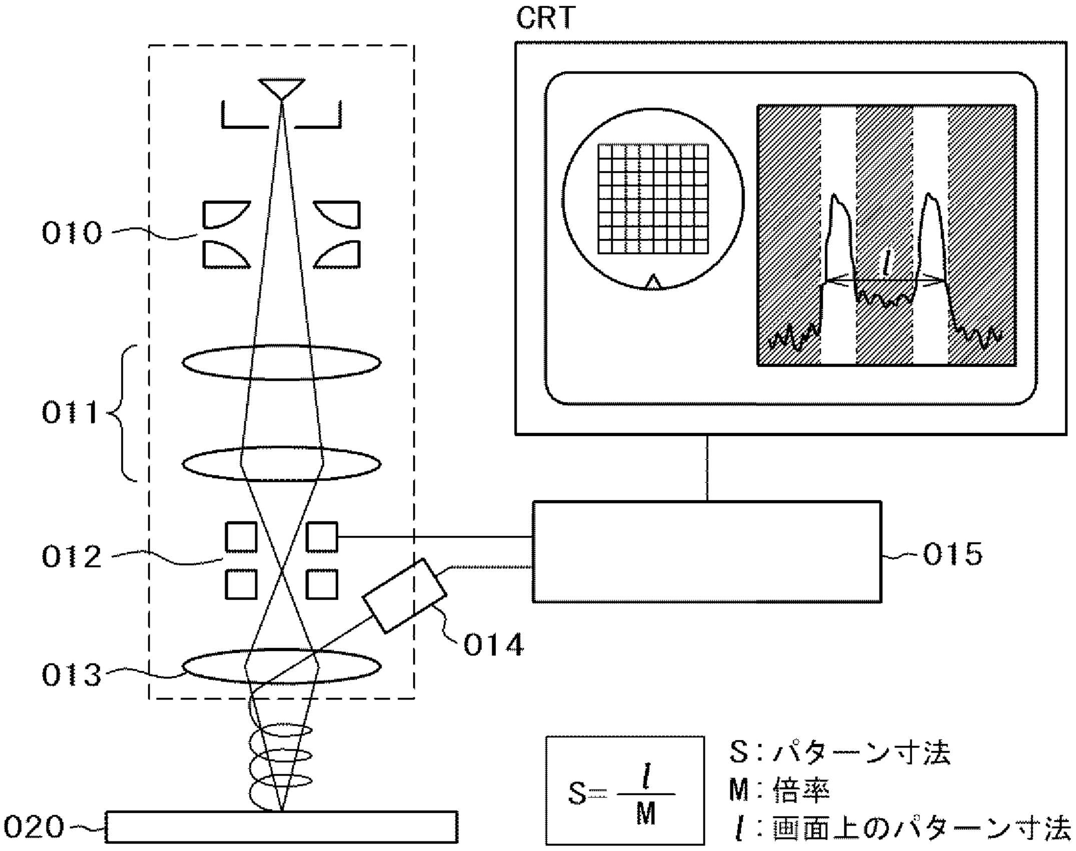
[図1]

図 1


開始
ウェーハ搬入
101
ステージ移動
102
低倍画像撮像
103
パターン認識
104
イメージシフト
105
高倍画像撮像
106
イメージシフト位置の記憶
301
ルックアップテーブル参照
302
画像／プロファイル補正
303
寸法測定
107
測定点数
108
ウェーハ搬出
109
300

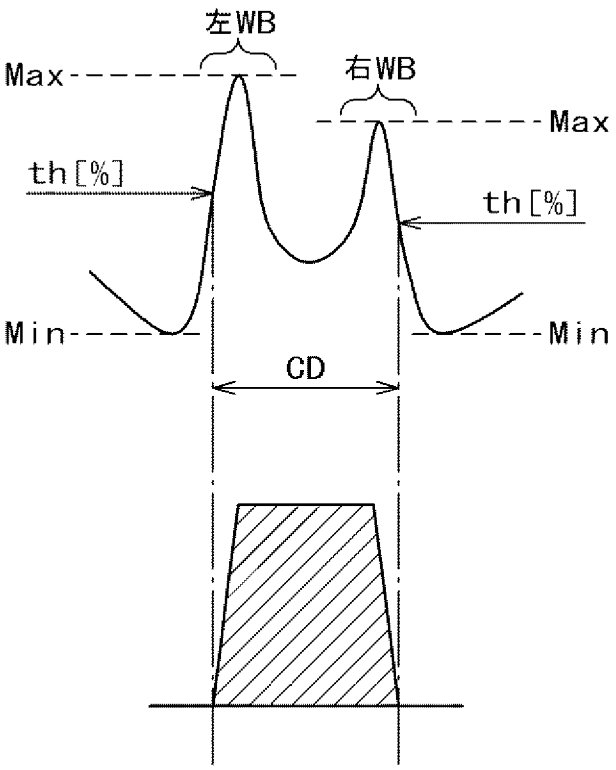
[図2]

図２



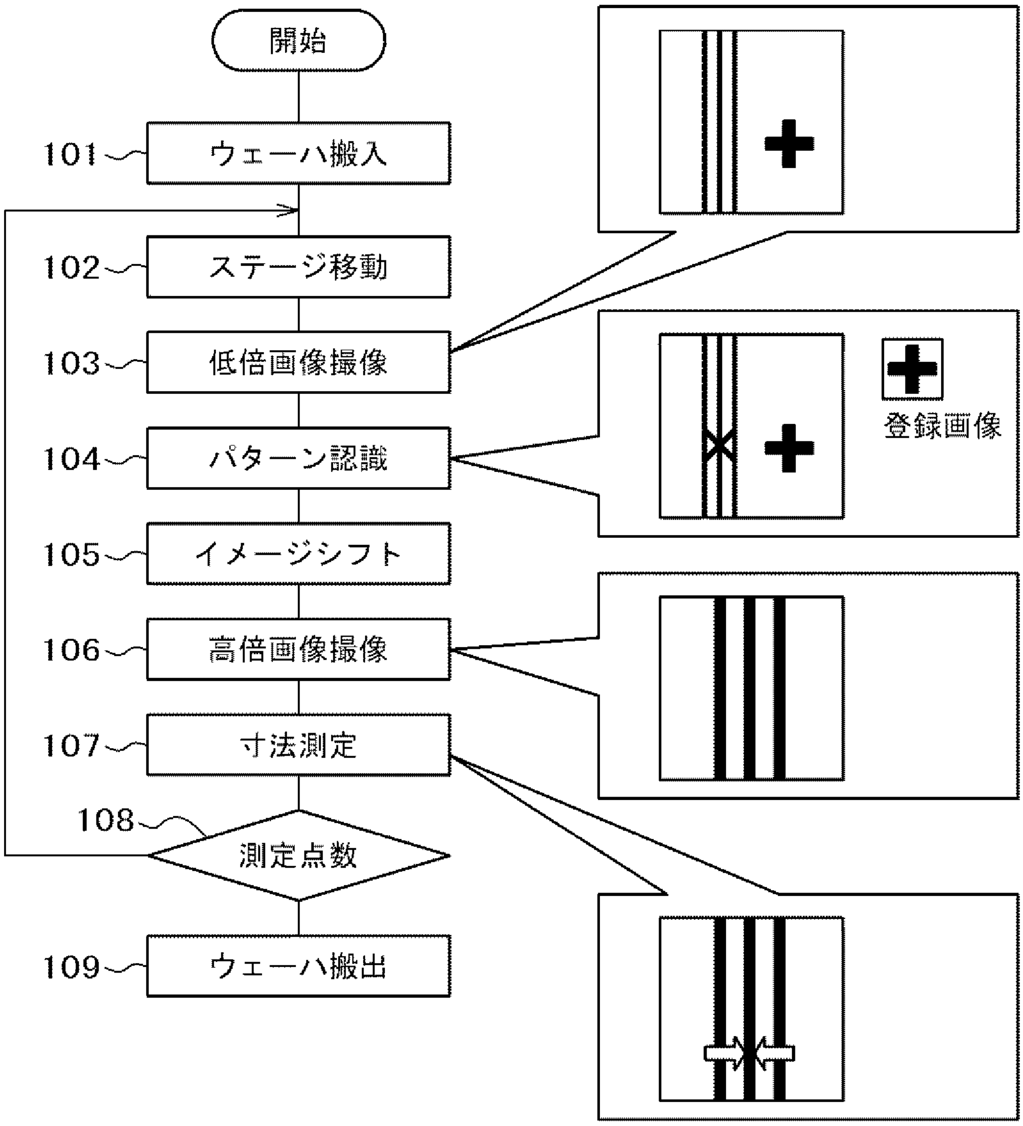
[図3]

図３



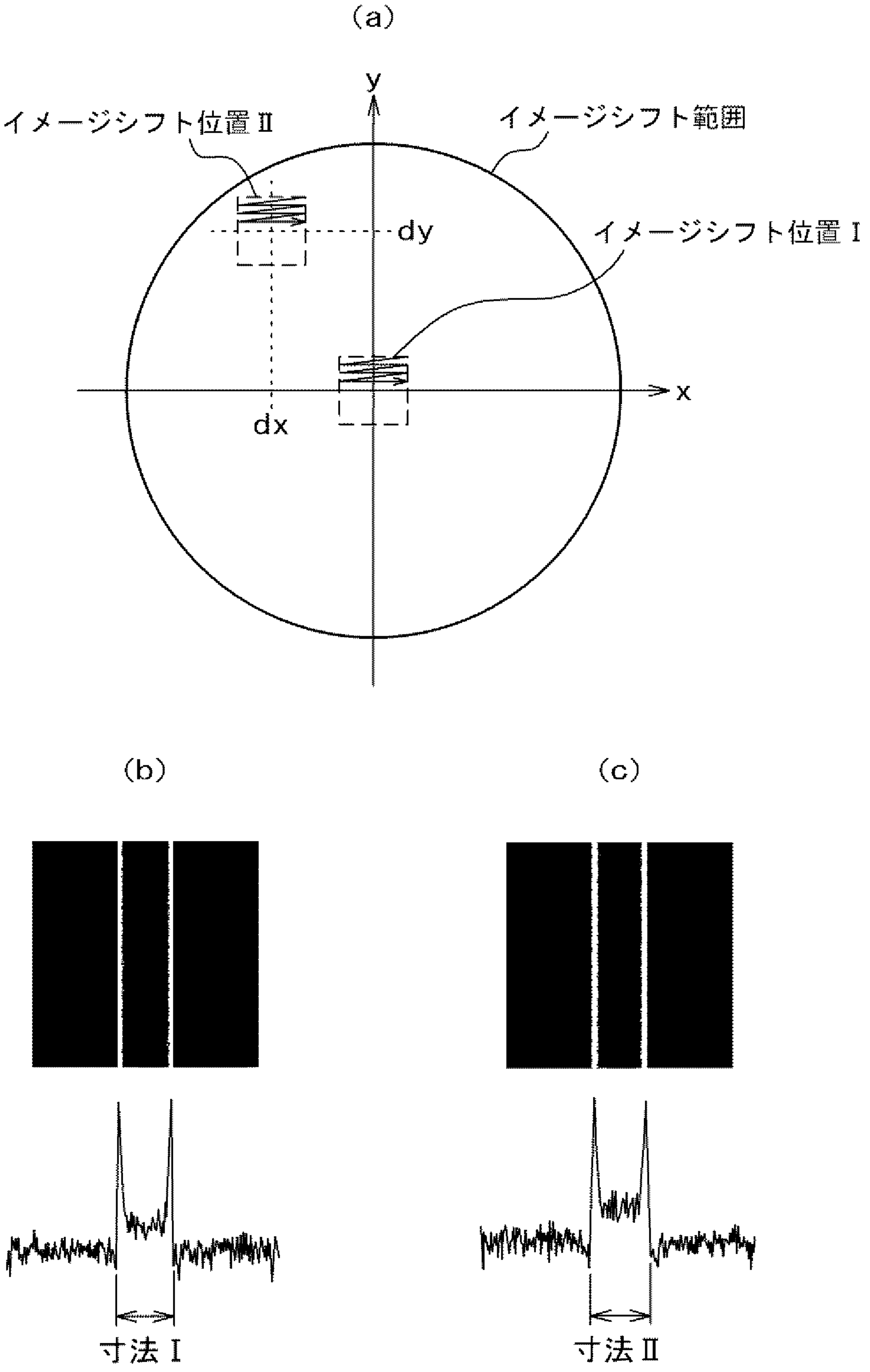
[図4]

図４


開始
101
ウェーハ搬入
102
ステージ移動
103
低倍画像撮像
104
パターン認識
登録画像
105
イメージシフト
106
高倍画像撮像
107
寸法測定
108
測定点数
109
ウェーハ搬出

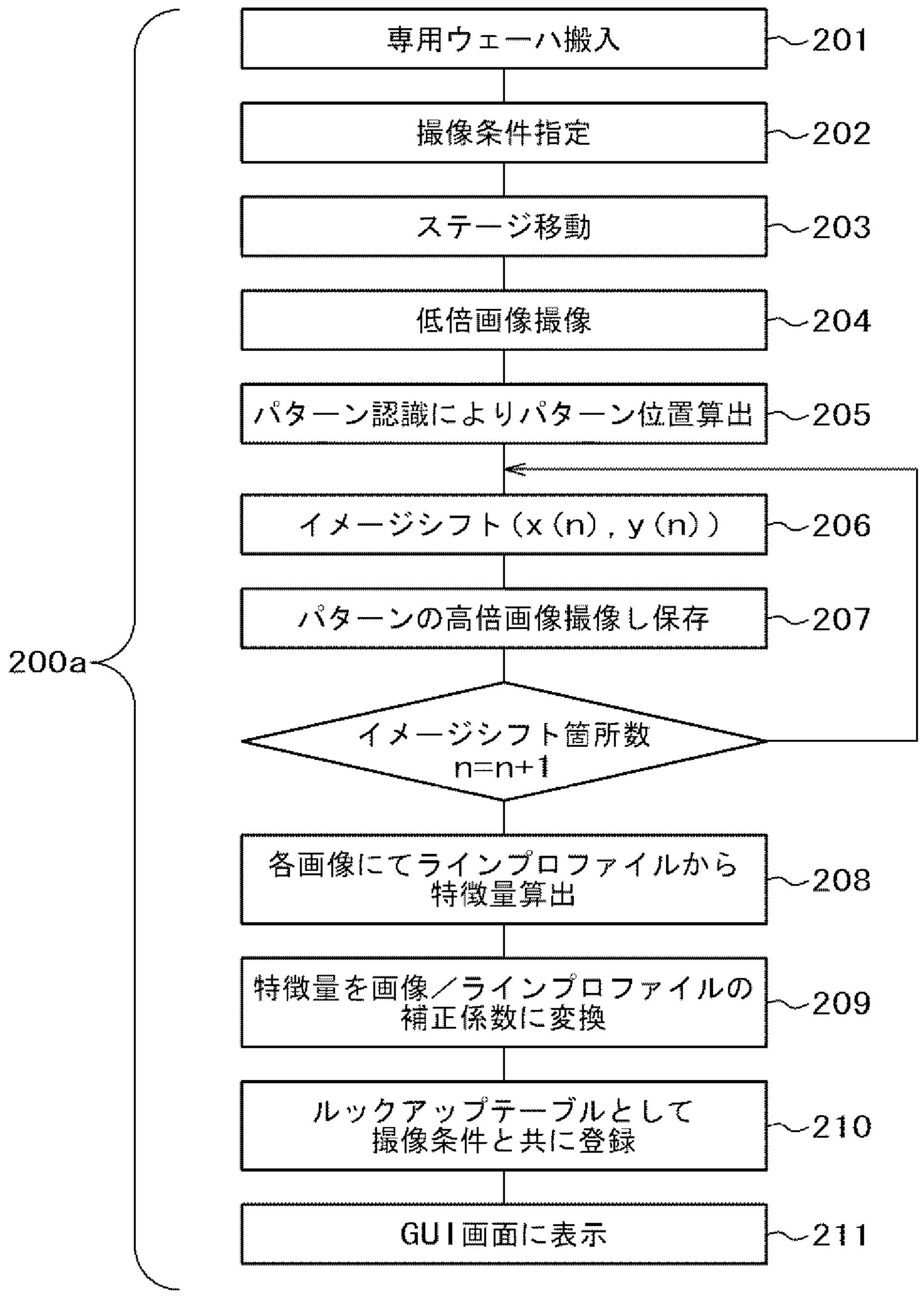
[図5]

図５



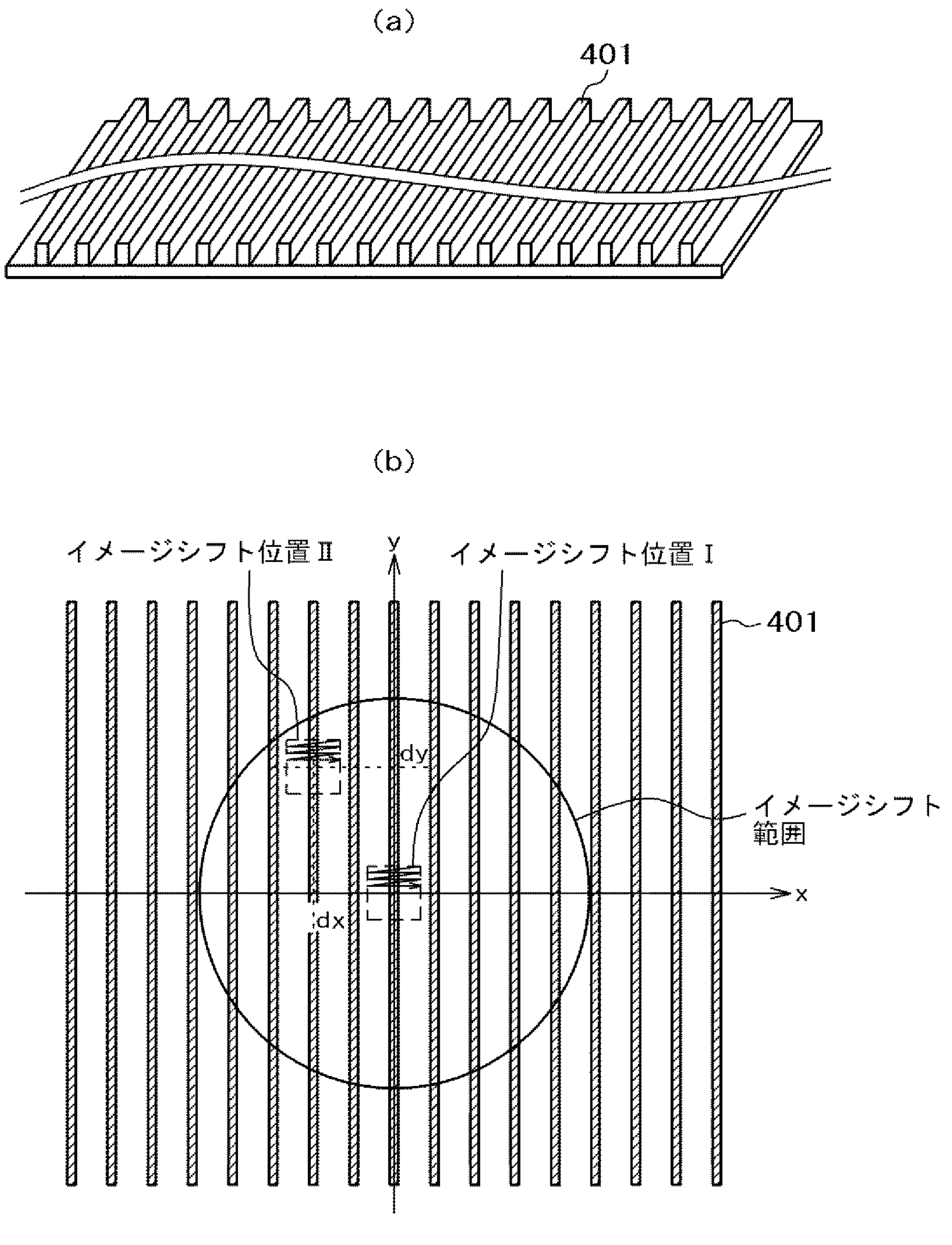
[図6]

図６


専用ウェーハ搬入
201
撮像条件指定
202
ステージ移動
203
低倍画像撮像
204
パターン認識によりパターン位置算出
205
イメージシフト（x（n），y（n））
206
パターンの高倍画像撮像し保存
207
イメージシフト箇所数
n=n+1
各画像にてラインプロファイルから
特徴量算出
208
特徴量を画像／ラインプロファイルの
補正係数に変換
209
ルックアップテーブルとして
撮像条件と共に登録
210
GUI画面に表示
211
200a

[図7]

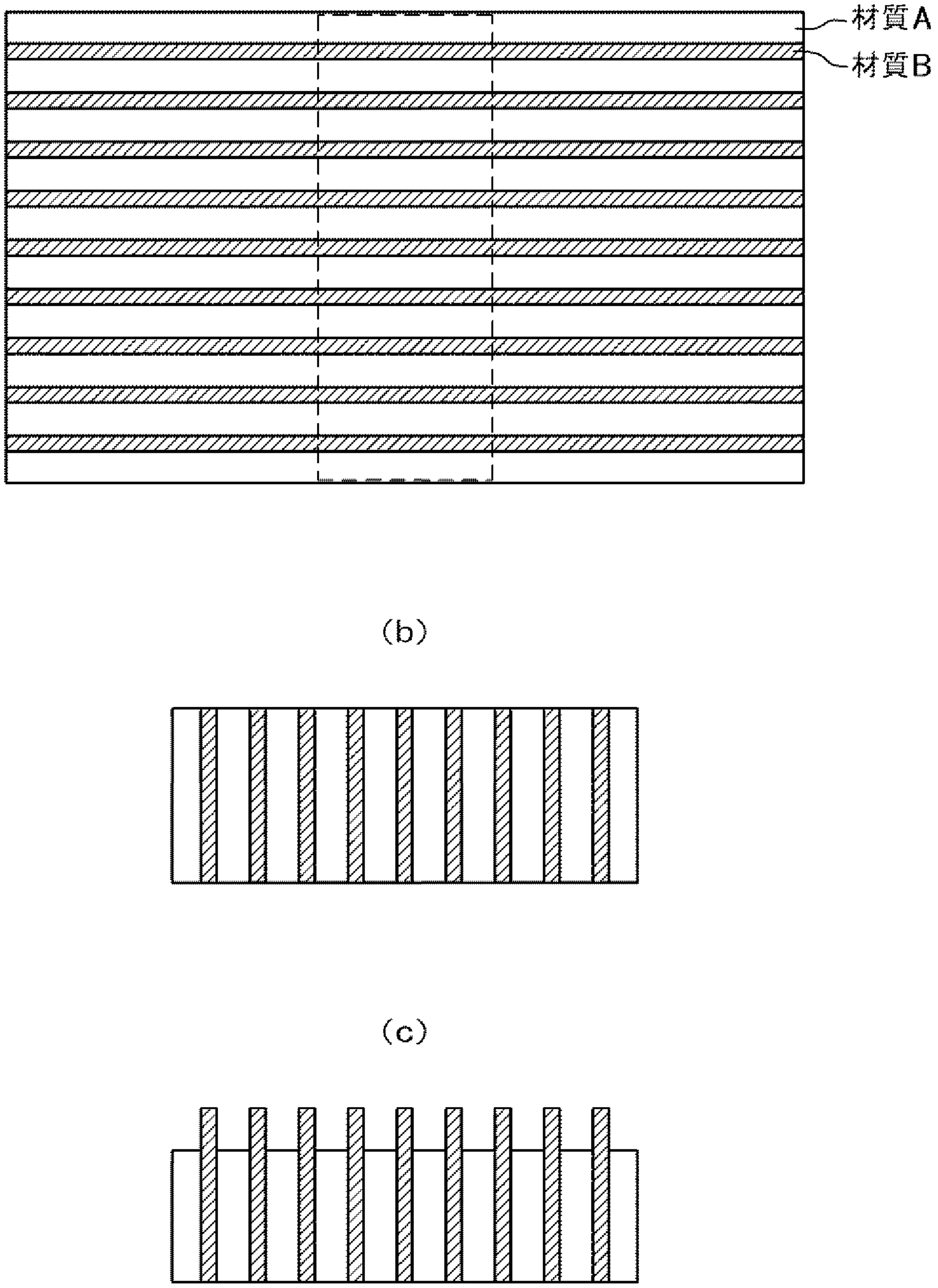
図 7



[図8]

図８

（a）

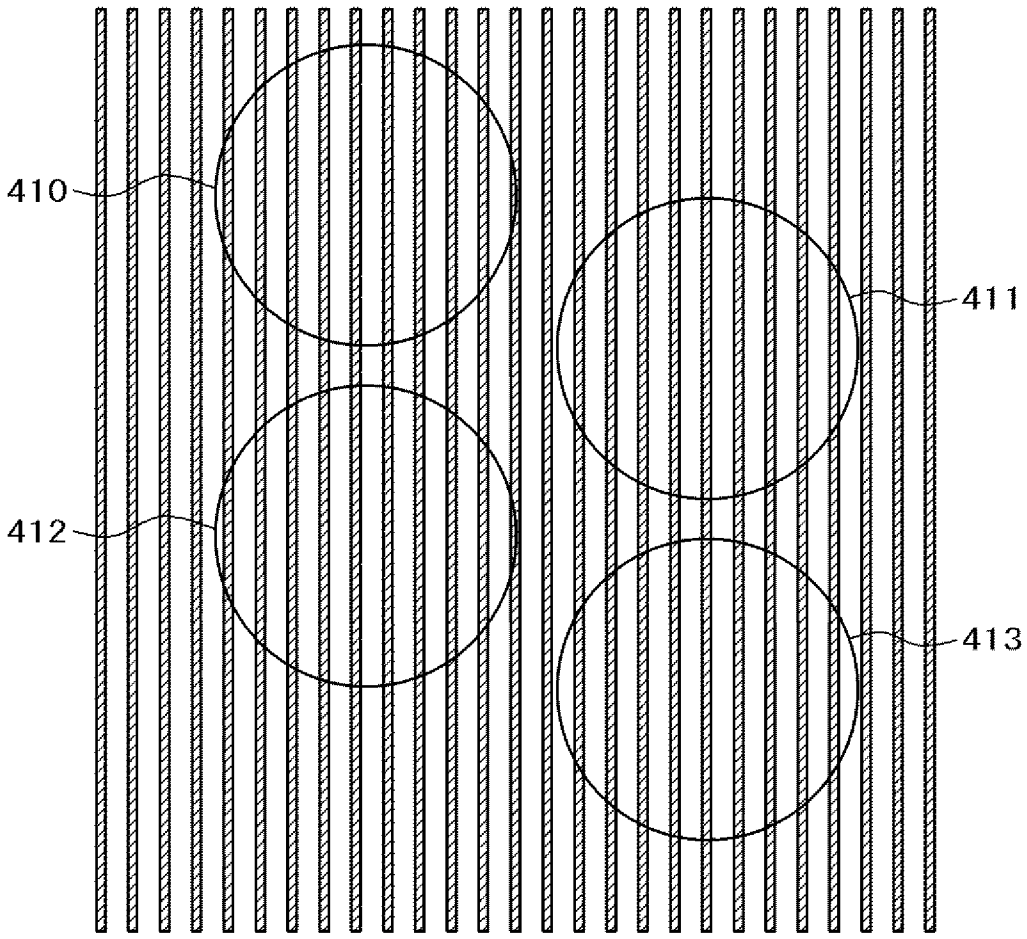


（b）

（c）

[図9]

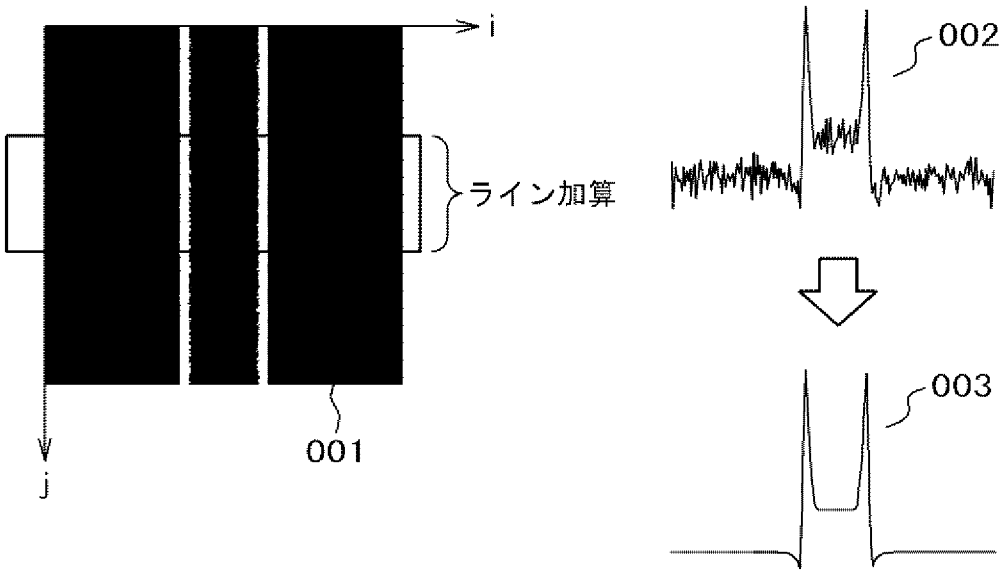
図９



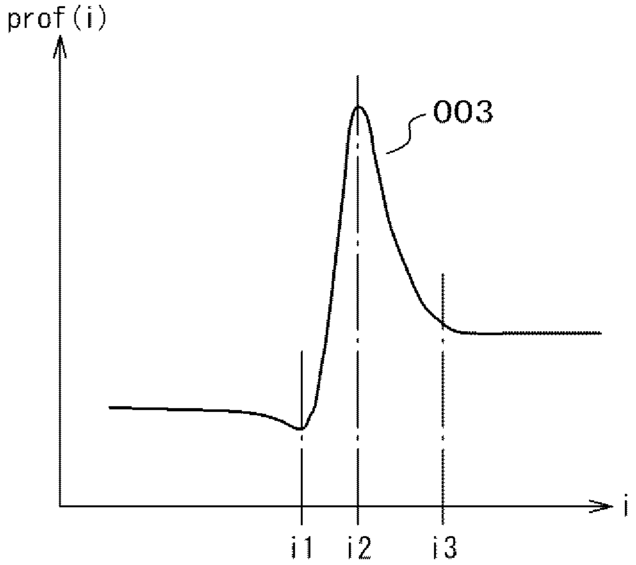
[図10]

図１０

（a）

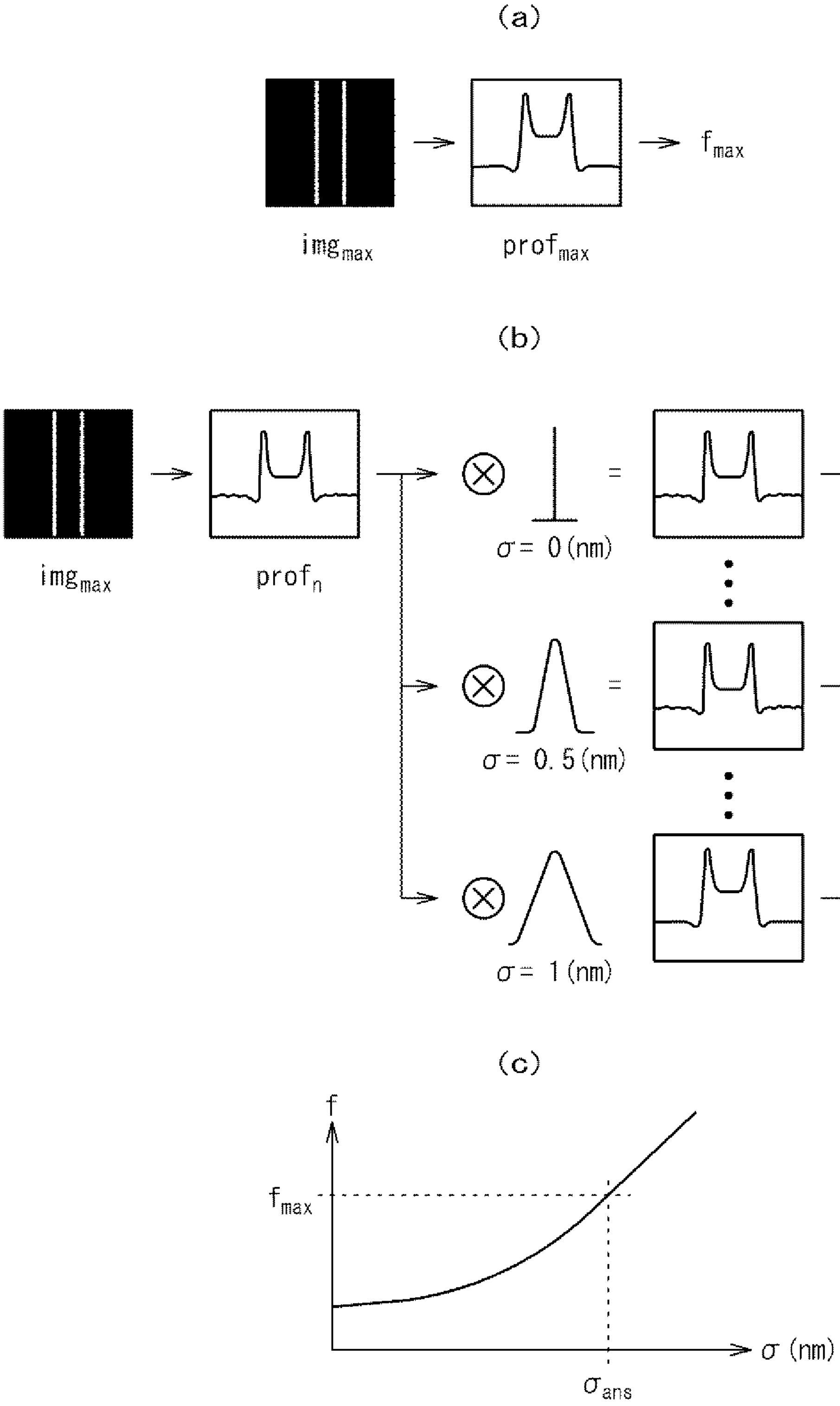


（b）



[図11]

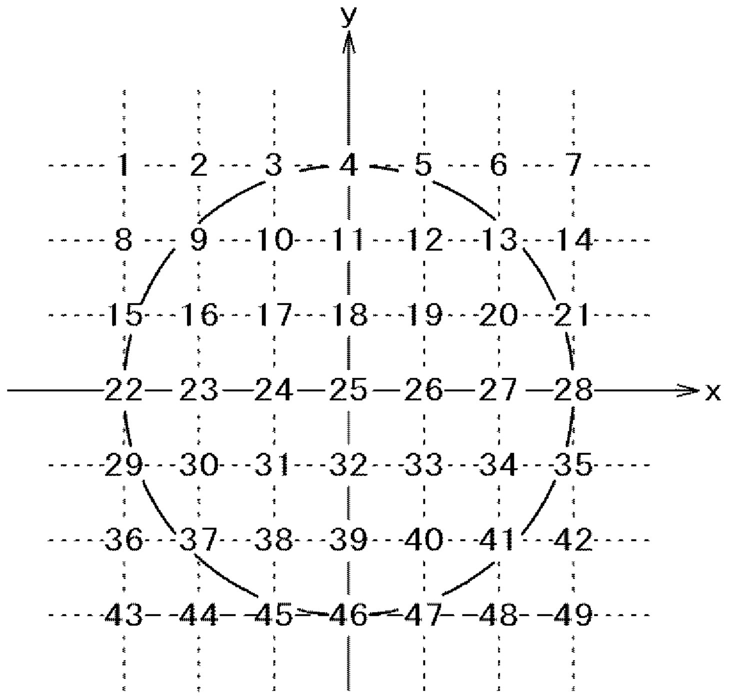
図１１


(a)
f_max
img_max
prof_max
(b)
σ= 0 (nm)
=
f (σ=0)
img_max
prof_n
σ= 0.5 (nm)
=
f (σ=0.5)
σ= 1 (nm)
f (σ=1.0)
(c)
f
f_max
σ (nm)
σ_ans

[図12]

図１２

（a）



（b）

通し番号	x座標(dx)(μm)	y座標(dy)(μm)	σ値(nm)
1	-18	-18	0.02
2	-12	-18	0.03
3	-6	-18	0.04
4	0	-18	0.05
:	:	:	:
24	-6	0	0.29
25	0	0	0.32
26	6	0	0.27
:	:	:	:
49	18	18	0.05

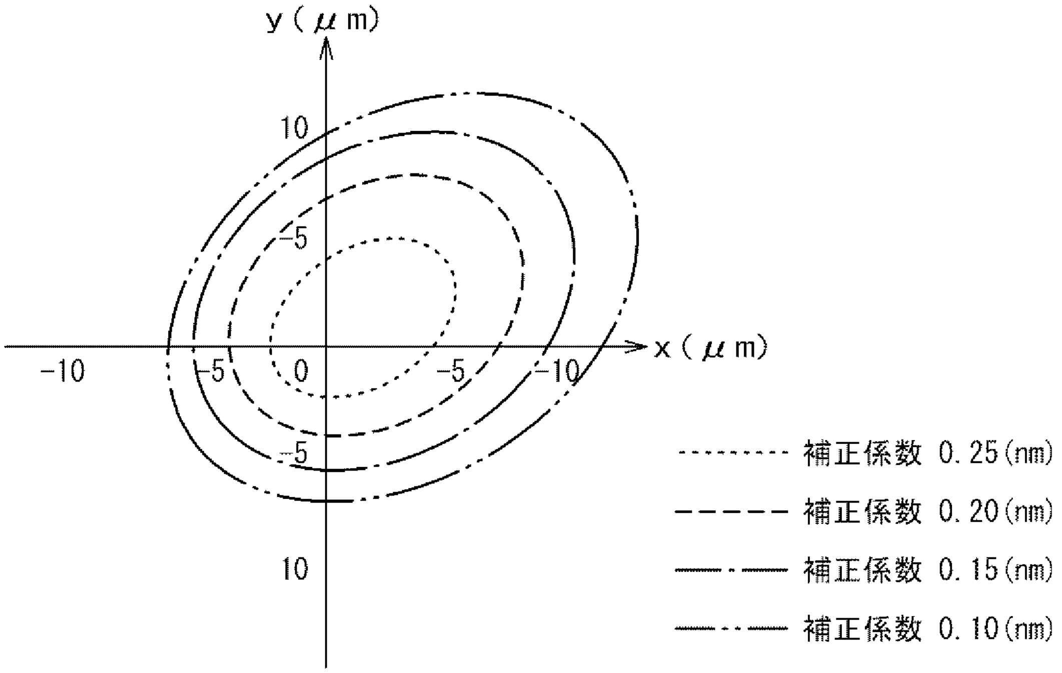
[図13]

図１３

（a）

	No.	加速電圧(V)	モード	データ取得日	使用ウェーハ	コメント
	1	1600	H	2008.5.23	Wafer A0	作業者：X
✓	2	800	H	2008.9.4	Wafer A0	作業者：Y
	3	500	L	2008.10.10	Wafer A1	作業者：Z
	4	···	···	···	···	···
	5	···	···	···	···	···
	6	···	···	···	···	···

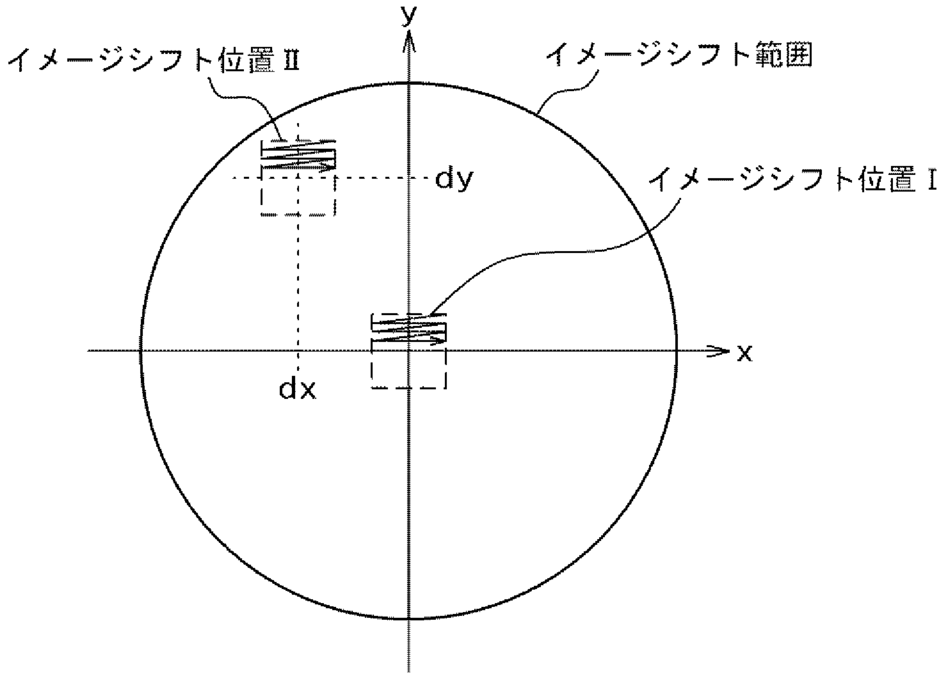
（b）



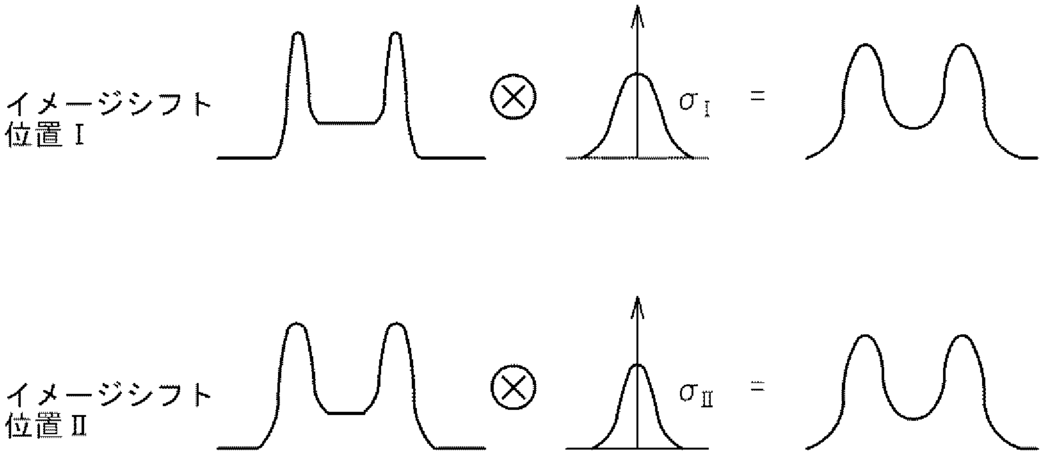
[図14]

図１４

（a）


y
イメージシフト位置Ⅱ
イメージシフト範囲
dy
イメージシフト位置Ⅰ
x
dx

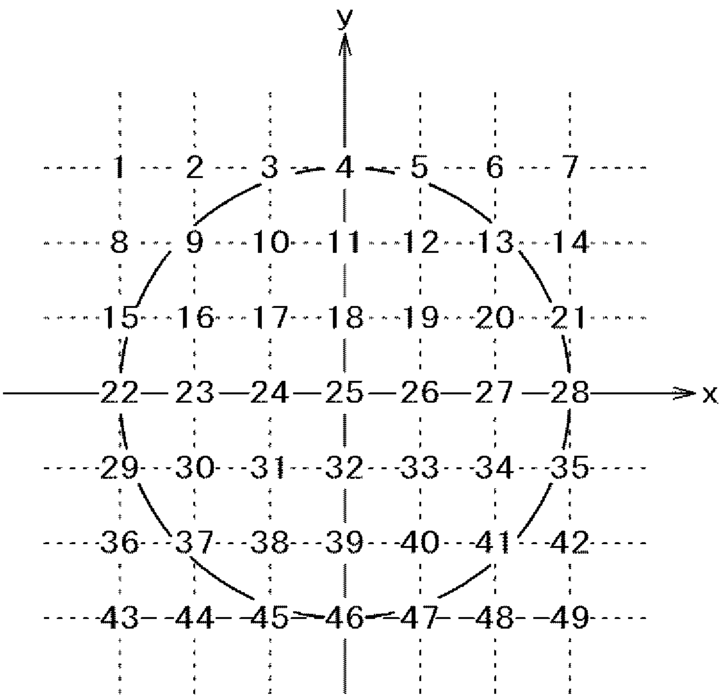
（b）


イメージシフト
位置Ⅰ
σ_{I}
=
イメージシフト
位置Ⅱ
σ_{II}
=

[図15]

図１５

（a）

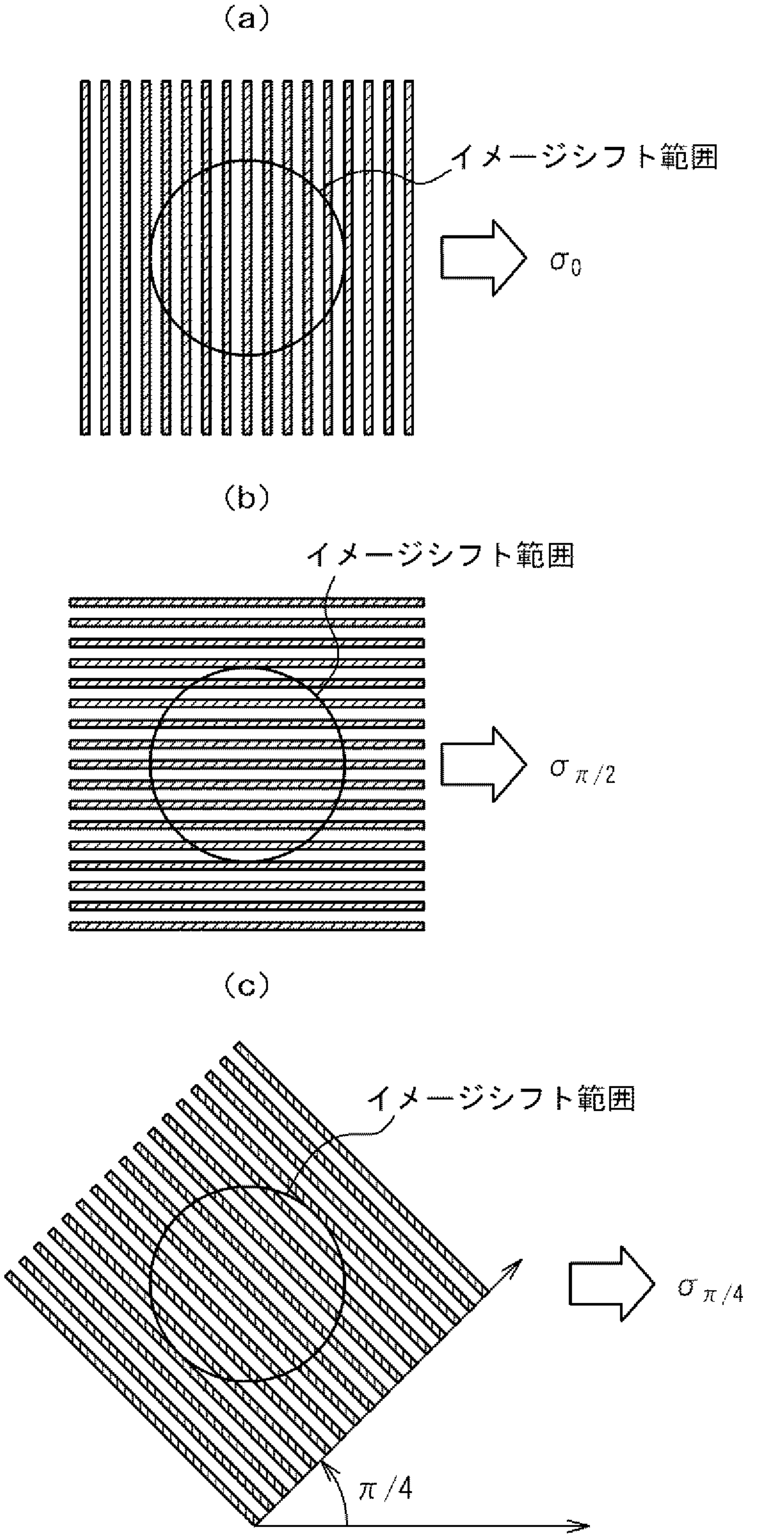


（b）

通し番号	x座標(dx)（μm）	y座標(dy)（μm）	寸法オフセット値(nm)
1	−18	−18	−0.6
2	−12	−18	−0.55
3	−6	−18	−0.4
4	0	−18	−0.3
⋮	⋮	⋮	⋮
24	−6	0	−0.01
25	0	0	0
26	6	0	−0.02
⋮	⋮	⋮	⋮
49	18	18	−0.5

[図16]

図１６

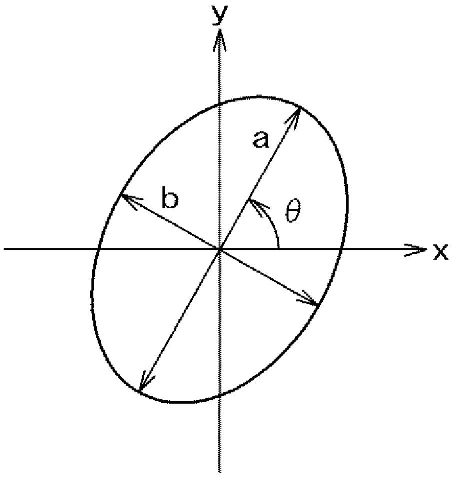

(a)
イメージシフト範囲
σ_0
(b)
イメージシフト範囲
$\sigma_{\pi/2}$
(c)
イメージシフト範囲
$\sigma_{\pi/4}$
$\pi/4$

[図17]

図１７

（a）

２次元ガウスの算出方法



（b）

$$a^2\cos^2\theta + b^2\sin^2\theta = \sigma_0^2$$

$$a^2\cos^2(\theta + \frac{\pi}{2}) + b^2\sin^2(\theta + \frac{\pi}{2}) = \sigma_{\pi/2}^2$$

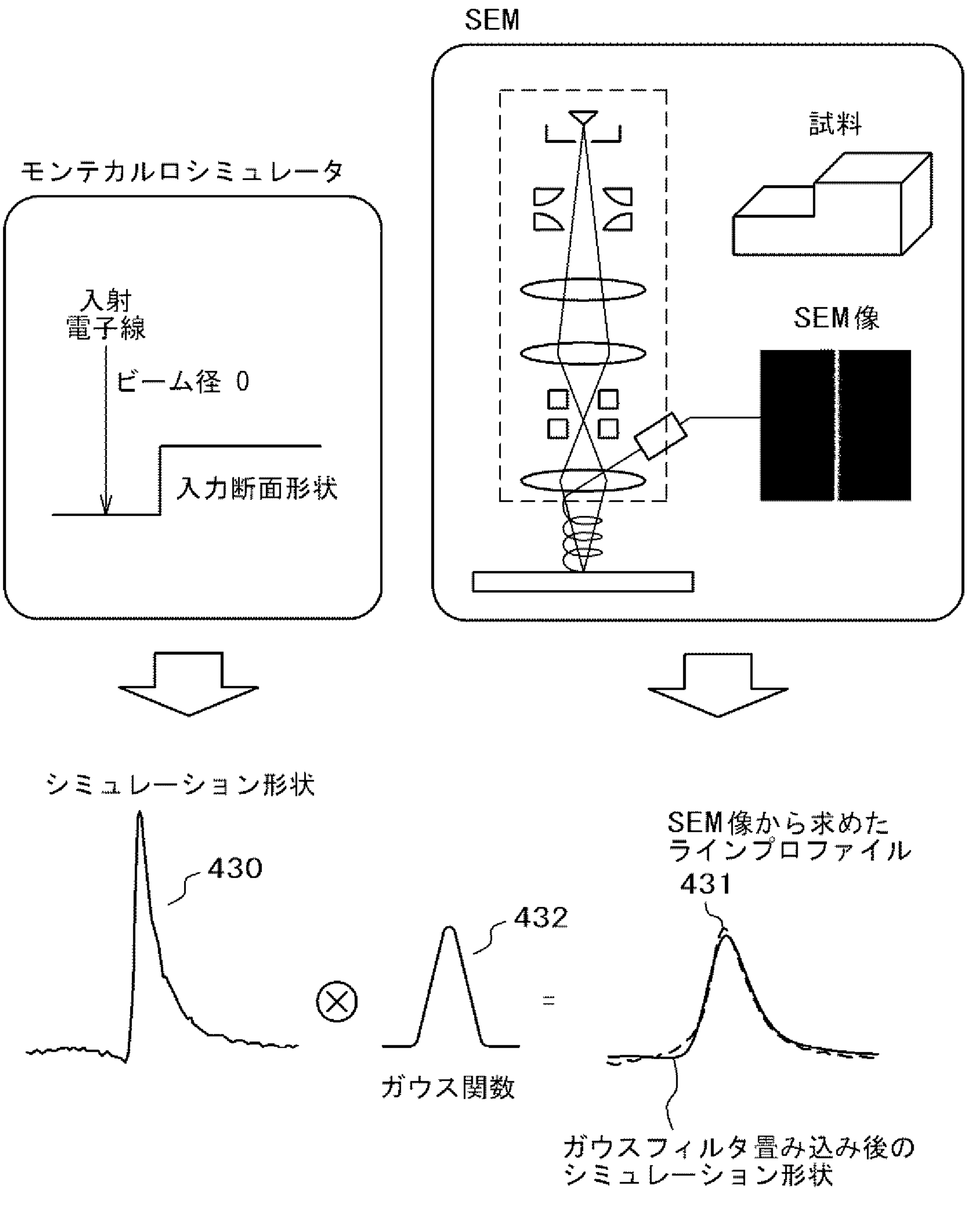
$$a^2\cos^2(\theta + \frac{\pi}{4}) + b^2\sin^2(\theta + \frac{\pi}{4}) = \sigma_{\pi/4}^2$$

（c）

$$\sigma_\phi = a^2\cos^2(\phi - \theta) + b^2\sin(\phi - \theta)$$

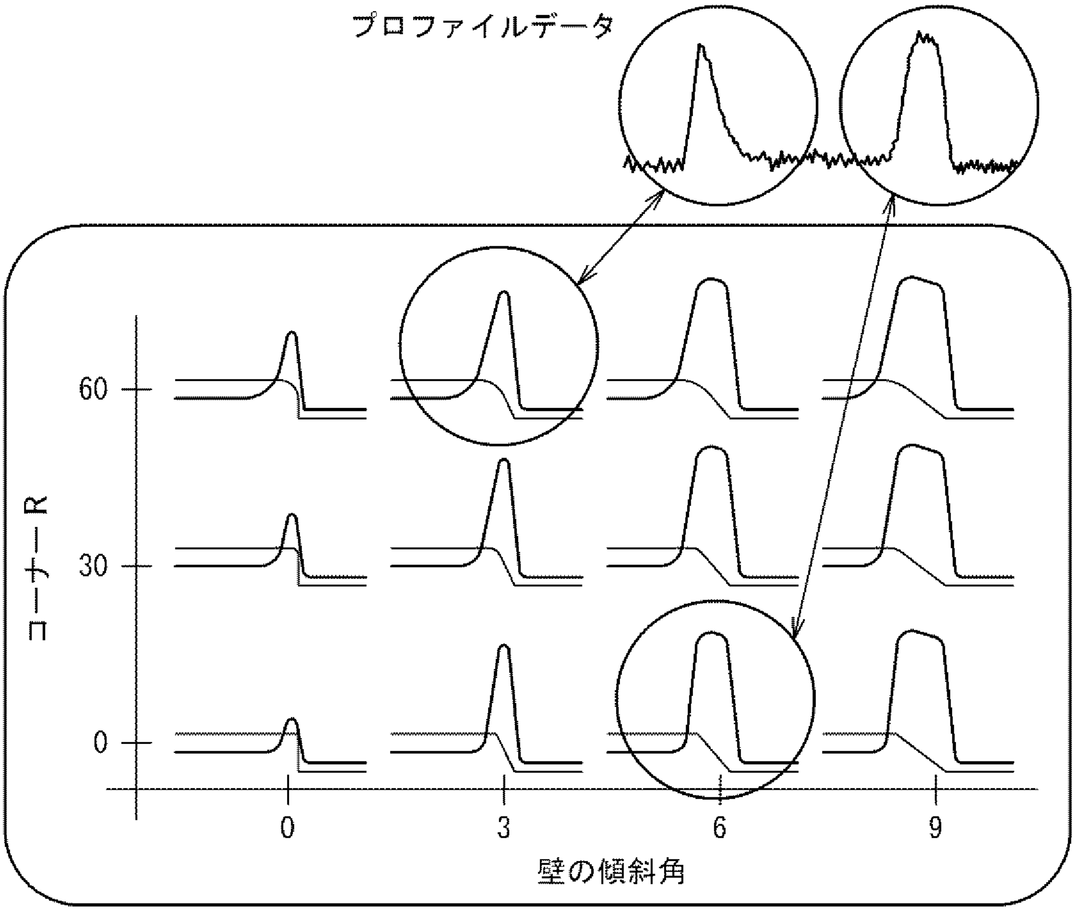
[図18]

図１８


SEM
試料
SEM像
モンテカルロシミュレータ
入射
電子線
ビーム径 0
入力断面形状
シミュレーション形状
430
432
ガウス関数
SEM像から求めた
ラインプロファイル
431
ガウスフィルタ畳み込み後の
シミュレーション形状

[図19]

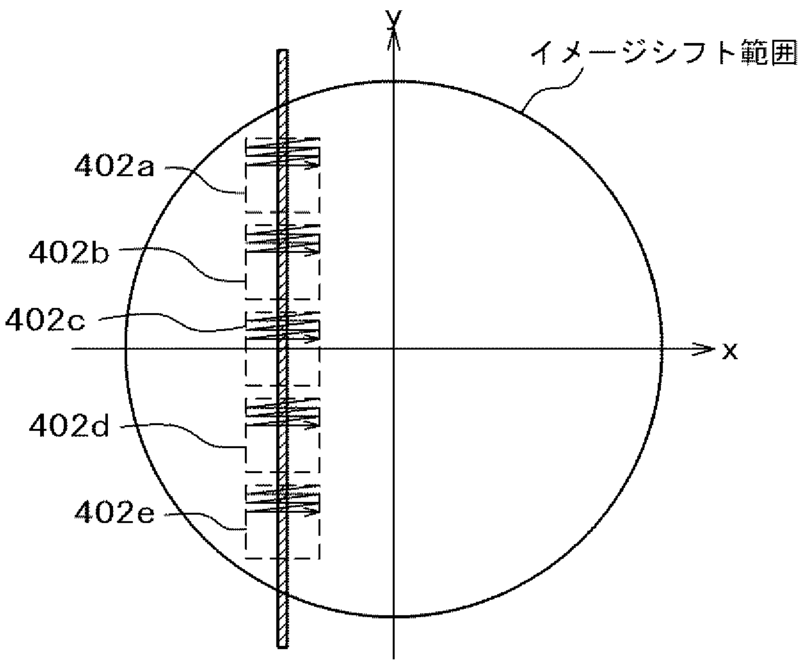
図１９



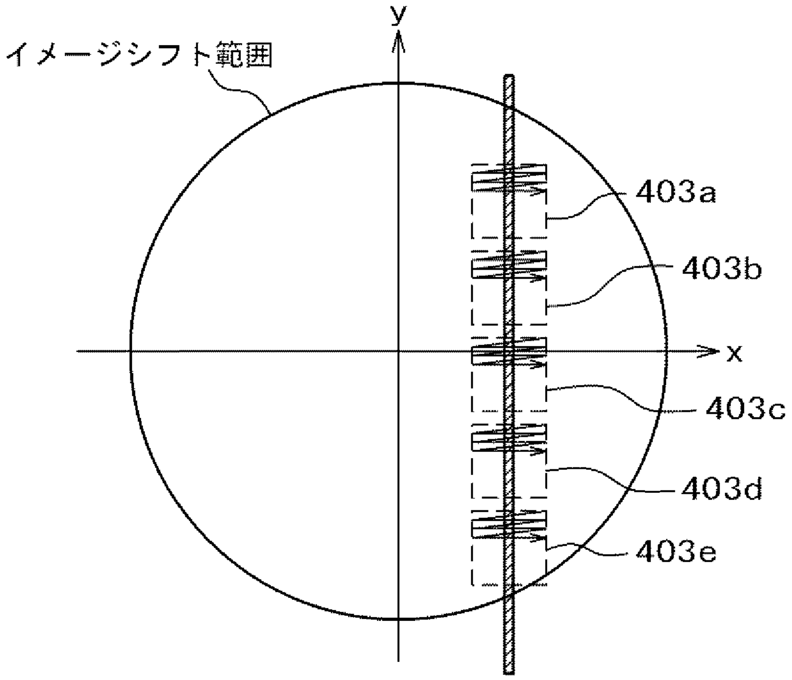
[図20]

図２０

（a）

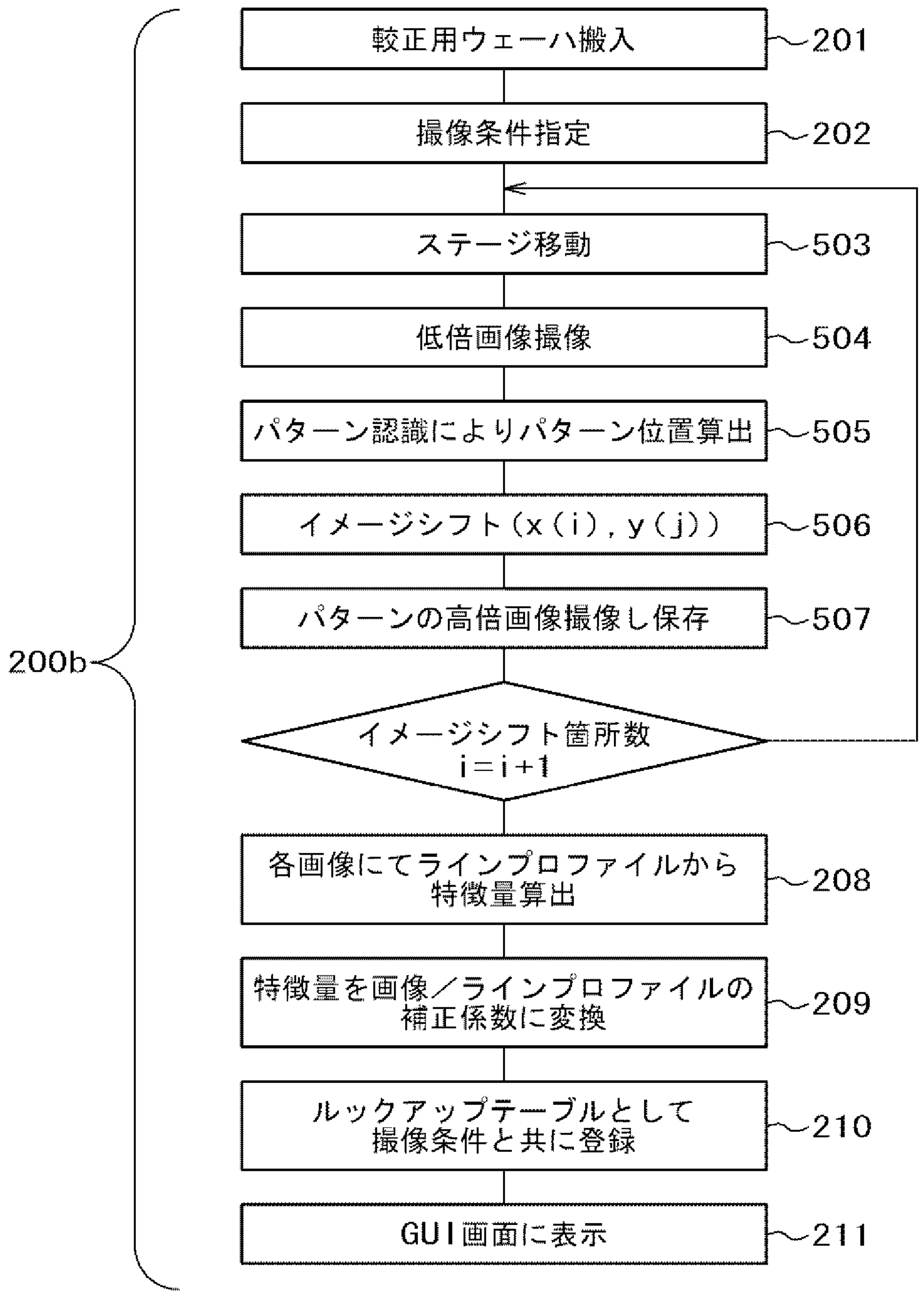

y
イメージシフト範囲
402a
402b
402c
402d
402e
x

（b）


y
イメージシフト範囲
403a
403b
x
403c
403d
403e

[図21]

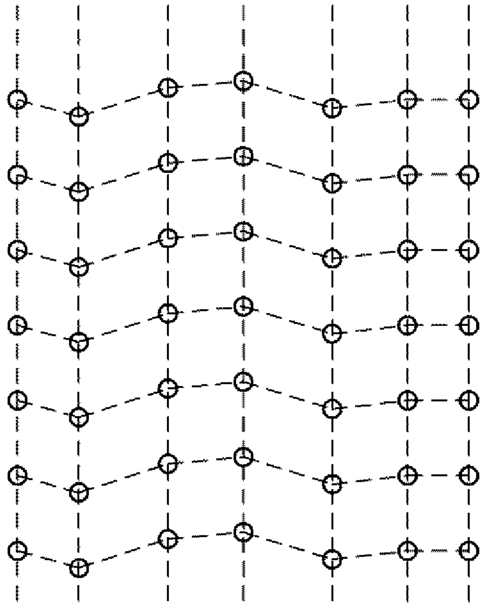
図２１


較正用ウェーハ搬入
201
撮像条件指定
202
ステージ移動
503
低倍画像撮像
504
パターン認識によりパターン位置算出
505
イメージシフト（x（i），y（j））
506
パターンの高倍画像撮像し保存
507
200b
イメージシフト箇所数
i＝i＋1
各画像にてラインプロファイルから
特徴量算出
208
特徴量を画像／ラインプロファイルの
補正係数に変換
209
ルックアップテーブルとして
撮像条件と共に登録
210
GUI画面に表示
211

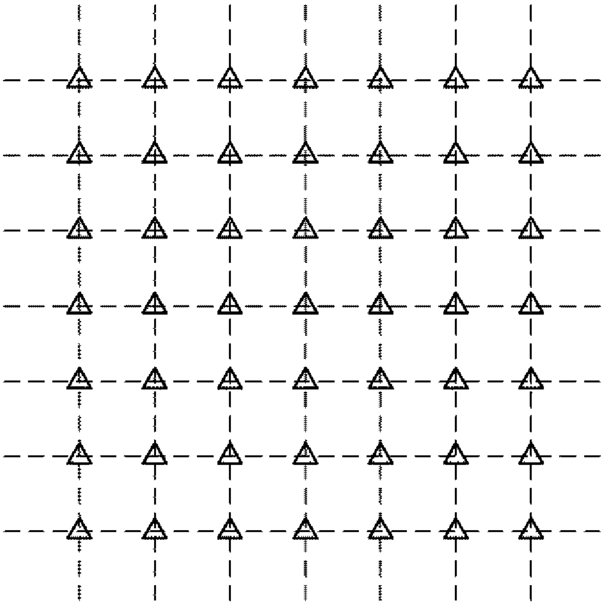
[図22]

図２２

（a）

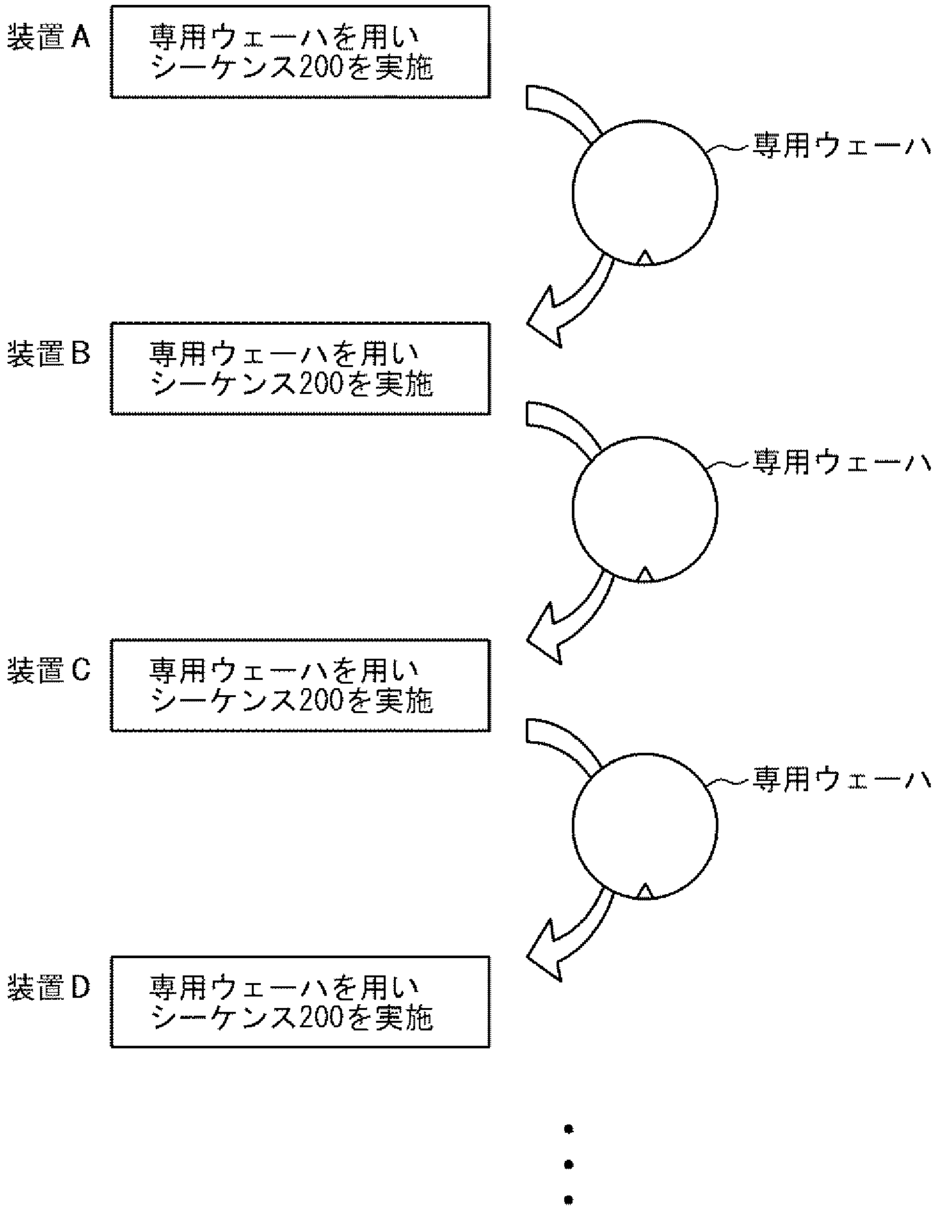


（b）



[図23]

図２３


装置A
専用ウェーハを用い
シーケンス200を実施
専用ウェーハ
装置B
専用ウェーハを用い
シーケンス200を実施
専用ウェーハ
装置C
専用ウェーハを用い
シーケンス200を実施
専用ウェーハ
装置D
専用ウェーハを用い
シーケンス200を実施

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2010/000423

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01B15/00(2006.01)i, *H01J37/22*(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01B15/00-15/08, H01J37/00-37/36, G01N23/00-23/227

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2005-322423 A (Hitachi High-technologies Corp.), 17 November 2005 (17.11.2005), entire text; all drawings & US 2005/0247860 A1	1-7
A	JP 2006-153837 A (Hitachi High-technologies Corp.), 15 June 2006 (15.06.2006), entire text; all drawings & US 2006/0091309 A1	1-7
A	JP 2003-121132 A (Hitachi High-technologies Corp.), 23 April 2003 (23.04.2003), entire text; all drawings & US 2003/0071214 A1 & EP 1302972 A2	1-7

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 17 February, 2010 (17.02.10)	Date of mailing of the international search report 02 March, 2010 (02.03.10)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2010/000423

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2005-156436 A (Hitachi, Ltd.), 16 June 2005 (16.06.2005), entire text; all drawings & US 2005/0116182 A1	1-7
A	JP 2009-16181 A (Fujitsu Ltd.), 22 January 2009 (22.01.2009), entire text; all drawings (Family: none)	1-7
A	JP 1-293478 A (Hitachi, Ltd.), 27 November 1989 (27.11.1989), entire text; all drawings (Family: none)	1-7
A	JP 2007-194007 A (Hitachi High-technologies Corp.), 02 August 2007 (02.08.2007), entire text; all drawings (Family: none)	1-7
A	JP 2005-285746 A (Hitachi High-technologies Corp.), 13 October 2005 (13.10.2005), entire text; all drawings & US 2005/0194533 A1	1-7
A	JP 6-110397 A (International Business Machines Corp.), 22 April 1994 (22.04.1994), entire text; all drawings & US 5285074 A	1-7
A	JP 10-106469 A (Toshiba Corp.), 24 April 1998 (24.04.1998), entire text; all drawings (Family: none)	1-7

国際調査報告	国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１０／０００４２３

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl. G01B15/00(2006.01)i, H01J37/22(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl. G01B15/00-15/08, H01J37/00-37/36, G01N23/00-23/227

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１０年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１０年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１０年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 2005-322423 A（株式会社日立ハイテクノロジーズ）2005.11.17, 全文，全図 & US 2005/0247860 A1	1-7
A	JP 2006-153837 A（株式会社日立ハイテクノロジーズ）2006.06.15, 全文，全図 & US 2006/0091309 A1	1-7

☑ Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー

「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献

「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
１７．０２．２０１０	０２．０３．２０１０

国際調査機関の名称及びあて先	特許庁審査官（権限のある職員）	２Ｓ	３９０１
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 郵便番号１００－８９１５ 東京都千代田区霞が関三丁目４番３号	八島　剛 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２５８		

C（続き）．　関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2003-121132 A（株式会社日立ハイテクノロジーズ）2003.04.23, 全文，全図 & US 2003/0071214 A1 & EP 1302972 A2	1-7
A	JP 2005-156436 A（株式会社日立製作所）2005.06.16, 全文，全図 & US 2005/0116182 A1	1-7
A	JP 2009-16181 A（富士通株式会社）2009.01.22, 全文，全図 （ファミリーなし）	1-7
A	JP 1-293478 A（株式会社日立製作所）1989.11.27, 全文，全図 （ファミリーなし）	1-7
A	JP 2007-194007 A（株式会社日立ハイテクノロジーズ）2007.08.02, 全文，全図 （ファミリーなし）	1-7
A	JP 2005-285746 A（株式会社日立ハイテクノロジーズ）2005.10.13, 全文，全図 & US 2005/0194533 A1	1-7
A	JP 6-110397 A（インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コーポレイション）1994.04.22, 全文，全図 & US 5285074 A	1-7
A	JP 10-106469 A（株式会社東芝）1998.04.24, 全文，全図 （ファミリーなし）	1-7