(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
2013 年 8 月 29 日(29.08.2013)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2013/125591 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 21/027 (2006.01) *G03F 7/20* (2006.01)
G01B 11/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2013/054202

(22) 国際出願日: 2013 年 2 月 20 日(20.02.2013)

(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 2012-037539 2012 年 2 月 23 日(23.02.2012) JP

(71) 出願人: 株式会社ニコン(NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区有楽町一丁目１２番１号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 深澤　和彦(FUKAZAWA, Kazuhiko); 〒1008331 東京都千代田区有楽町一丁目１２番１号　株式会社ニコン　知的財産本部内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 川北　喜十郎, 外(KAWAKITA, Kijuro et al.); 〒1600022 東京都新宿区新宿一丁目５番４号　ＹＫＢマイクガーデン 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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, 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, JP, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, 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,

[続葉有]

(54) **Title**: EVALUATION DEVICE, EVALUATION METHOD, AND DEVICE MANUFACTURING METHOD

(54) 発明の名称 : 評価装置、評価方法、およびデバイス製造方法

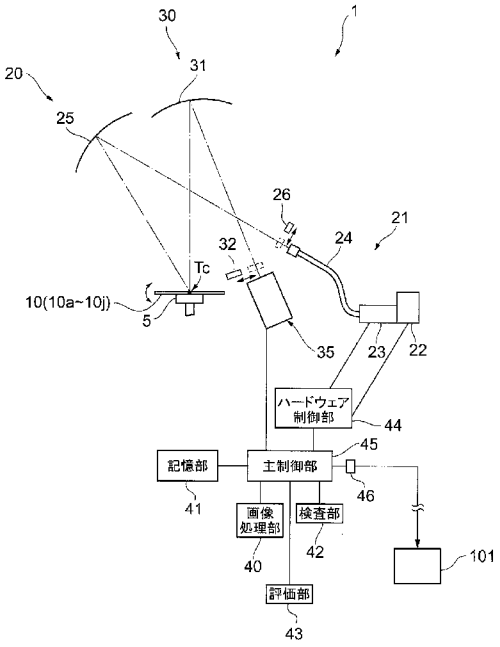


FIG. 1:
40 Image processor
41 Memory
42 Detector
43 Evaluation unit
44 Hardware controller
45 Main controller

(57) **Abstract**: Provided is a device capable of determining the best focus position of a light exposure device in a short time. A screen detection device (1) is provided with an illumination system (20) for illuminating the surface of a wafer having a pattern provided by exposure light, an imaging device (35) for imaging a diffracted light pattern by diffracted light from a pattern illuminated by the illumination system (20), and an evaluation unit (43) to determine the allowed focusing range of a light exposure device (101) based on the image signal of the diffracted light pattern imaged by the imaging device (35) and to determine the best focus position of the light exposure device (101) based on the allowed focusing range that was determined.

(57) 要約:　露光装置のベストフォーカス位置を短時間で求めることが可能な装置を提供する。　表面検査装置１は、露光により設けられたパターンを有するウェハの表面を照明する照明系２０と、照明系２０により照明されたパターンからの回折光による回折光パターンを撮像する撮像装置３５と、撮像装置３５により撮像された回折光パターンの画像信号に基づいて、露光装置１０１のフォーカスの許容範囲を求め、求めたフォーカスの許容範囲に基づいて、露光装置１０１のベストフォーカス位置を求める評価部４３とを備えている。

WO 2013/125591 A1

NL, NO, PL, PT, RO, RS, 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 ： 評価装置、評価方法、およびデバイス製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、露光装置の合焦状態を求める装置および方法に関する。また、この方法を用いたデバイス製造方法に関する。

背景技術

[0002] 半導体製造工程で用いられる露光装置は、マスクパターンおよび投影レンズ（投影光学系）を介してレチクルに設けられたマスクパターンを縮小投影することにより、半導体ウェハに対して１ショット分の露光を行うようになっている。

[0003] このような露光装置においては、フォーカス（ウェハ面若しくはレジスト表面と投影光学系の焦点面の位置関係）の管理が非常に重要である。露光装置ではフォーカスの制御として幾つかの手法があるが、ここでは投影光学系を固定して、パターンの投影対象である基板（基板上のレジスト表面）を投影光学系の光軸方向に移動（投影光学系と基板との相対位置関係を変更）する方法を対象とする。この光軸方向の移動量はフォーカスオフセットと呼ばれ、最も良好な合焦状態を得られるフォーカスオフセットはベストフォーカスと呼ばれる。ベストフォーカスを計測する方法として、種々の方法を採用することができる。例えば、フォーカスオフセットを変化させて露光・現像したパターンの線幅をＳＥＭ（走査型電子顕微鏡）により測定し、フォーカスオフセットの変化に対する線幅の変化が最も小さくなるフォーカスオフセットをベストフォーカスとして求める方法がある。また、別の方法として専用のパターンを用いた投影により基板上にレジストパターンを作製し、パターンを計測することによりベストフォーカスを求める方法もある。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：米国特許第６７０１５１２号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、ＳＥＭによりベストフォーカスを求めるのには長時間を要している。

[0006] 本発明は、このような問題に鑑みてなされたものであり、露光装置のベストフォーカスを短時間で求めることが可能な装置および方法を提供することを目的とする。また、この方法を用いたデバイス製造方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] このような目的達成のため、本発明に係る評価装置は、投影光学系を介して該投影光学系の焦点位置との相対位置を変えた複数回の投影によりそれぞれ設けられたパターンを表面に有する基板を照明する照明部と、前記表面で反射した照明光を検出する検出部と、１回の前記投影範囲内で検出される検出結果のバラツキ量が、所定の条件を超える前記相対位置に基づいて、前記基板と前記投影光学系との最適相対位置を求める演算部とを備える。

[0008] また、本発明に係る評価方法は、投影光学系を介して該投影光学系の焦点位置との相対位置を変えた複数回の投影によりそれぞれ設けられたパターンを表面に有する基板を照明し、前記表面で反射した照明光を検出し、１回の前記投影範囲内で検出される検出結果のバラツキ量が、所定の条件を超える前記相対位置に基づいて、前記基板と前記投影光学系との最適相対位置を求める。

[0009] また、本発明に係るデバイス製造方法は、投影光学系を用いて基板の表面にパターンを露光するリソグラフィー工程を有したデバイスの製造方法であって、本発明に係る評価方法を用いて、前記基板と前記投影光学系との最適相対位置を求め、該最適相対位置に基づいて前記基板と前記投影光学系を調整し、該調整された状態で前記基板の表面にパターンを露光する。

発明の効果

[0010] 本発明によれば、露光装置のベストフォーカスを短時間で求めることができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]表面検査装置の概要構成図である。

[図2]半導体ウェハの表面の外観図である。

[図3]直線偏光の入射面と繰り返しパターンの繰り返し方向との傾き状態を説明する図である。

[図4]露光装置のベストフォーカス位置を求める方法を示すフローチャートである。

[図5]フォーカスカーブの一例を示すグラフである。

[図6]フォーカスカーブの一例を示すグラフである。

[図7]フォーカスカーブの一例を示すグラフである。

[図8]フォーカスカーブの一例を示すグラフである。

[図9]フォーカスカーブとともに露光装置のフォーカスの許容範囲を示すグラフである。

[図10]露光システムの概要構成図である。

[図11]露光システムにおけるベストフォーカスのフィードバックを示すフローチャートである。

[図12]半導体デバイス製造方法を示すフローチャートである。

[図13]リソグラフィー工程を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、図面を参照して本発明の実施形態について説明する。本願に係る評価装置の一例として表面検査装置を図１に示す。本実施形態の表面検査装置１は、半導体ウェハ１０（以下、ウェハ１０と称する）を支持するステージ５と、照明系２０と、受光系３０と、撮像装置３５と、画像処理部４０と、記憶部４１と、検査部４２と、評価部４３と、ハードウェア制御部４４および主制御部４５とを備えている。

[0013] ステージ５は、ウェハ１０の回転対称軸（ステージ５の中心軸）を中心に

、不図示の回転機構がウェハ１０を回転可能に支持する。この回転対称軸を中心とした円を考えた時に、中心から円周上の点に向かう線分と円周上の基準点と中心を結ぶ線分とのなす角を方位角と呼ぶ。ウェハの場合、外周部に設けられたノッチの切り欠き中心位置やオリエンテーションフラットの中心位置を基準として方位角が規定され、ウェハ方位角度と称される。ウェハ１０は、不図示の搬送装置により外部から搬送されてステージ５上に載置され、真空吸着によってステージ５上に固定保持される。また、ステージ５は、不図示の傾動機構により、ウェハ１０を支持する支持面と平行でウェハ表面を通る軸Ｔｃを中心に図１に双矢印に示されるように、ウェハ１０とともに傾動可能に構成されており、照明光の入射角を調整できるようになっている。

[0014] 照明系２０は、照明光を射出する照明ユニット２１と、照明ユニット２１から射出された照明光をウェハ１０の表面に向けて反射させる照明側凹面鏡２５とを有し、ステージ５に支持されたウェハ１０の表面全面に照明光として平行光を照射する。照明ユニット２１は、光源部２２と、調光部２３と、導光ファイバ２４とを有して構成される。光源部２２には、メタルハライドランプや水銀ランプ等が用いられる。調光部２３は、バンドパスフィルタやＮＤフィルタを備えており、光源部２２からの光のうち所定の波長を有する光の選択と強度調節を行う。導光ファイバ２４は、調光部２３からの光を照明光として照明側凹面鏡２５へ導く。導光ファイバ２４の射出部が照明側凹面鏡２５の焦点面に配置されており、照明光は照明側凹面鏡２５で反射されることより平行光束となってステージ５に支持されたウェハ１０の表面に照射される。なお、ウェハ１０に対する照明光の入射角と射出角との関係は、ステージ５を傾動させてウェハ１０の載置角度を変化させることにより調整可能である。

[0015] また、導光ファイバ２４と照明側凹面鏡２５との間には、照明側偏光フィルタ２６が光路上へ挿抜可能に設けられる。図１の実線で示すように、照明側偏光フィルタ２６を光路上から抜去した状態で回折光を利用した検査（以

下、便宜的に回折検査と称する）が行われる。一方、図１の破線で示すように、照明側偏光フィルタ２６を光路上に挿入した状態で偏光（構造性複屈折による偏光状態の変化）を利用した検査（以下、便宜的にＰＥＲ検査と称する）が行われる（照明側偏光フィルタ２６の詳細については後述する）。

[0016] 受光系３０は、ステージ５に対向して配設された受光側凹面鏡３１を有し、照明光の照射を受けたときのウェハ１０の全面からの射出光（反射光や回折光等）を集光する。受光側凹面鏡３１により集光された射出光は、不図示の撮像光学系により撮像装置３５の撮像面上に達し、ウェハ１０の像が結像される。

[0017] また、受光側凹面鏡３１と撮像装置３５との間には、受光側偏光フィルタ３２が光路上へ挿抜可能に設けられる。図１の実線で示すように、受光側偏光フィルタ３２を光路上から抜去した状態で回折検査が行われる。一方、図１の破線で示すように、受光側偏光フィルタ３２を光路上に挿入した状態でＰＥＲ検査が行われる（受光側偏光フィルタ３２の詳細については後述する）。

[0018] 撮像装置３５は、撮像面上に形成されたウェハ１０の像を光電変換して生画像信号を生成し、主制御部４５に送る。主制御部４５は、撮像装置３５から送られた生画像信号を受け、画像処理部４０に送る。なお、主制御部４５が一旦生画像信号を撮像装置３５から受け取った後、画像処理部４０に送るように構成されていてもよいが、主制御部４５からの指令に基づき、撮像装置３５が直接、画像処理部４０に生画像信号を送るように構成されていてもよい。以下の説明においても同様である。画像処理部４０は、撮像装置３５から送られた生画像信号に基づいて、ウェハ１０のデジタル画像を生成する。ウェハ１０のデジタル画像は、主制御部４５により画像処理部４０から検査部４２および評価部４３に送られる。記憶部４１には、良品ウェハのデジタル画像が予め記憶されており、検査部４２は、ウェハ１０のデジタル画像と良品ウェハのデジタル画像とを受け取り比較して、ウェハ１０の表面における欠陥（異常）の有無を検査する。検査部４２による検査結果およびその

ときのウェハ１０のデジタル画像は、主制御部４５により不図示の画像表示装置で出力表示される。

[0019] なお、検査部４２によるウェハ１０の検査結果およびデジタル画像は、主制御部４５により記憶部４１に送られて記憶してもよい。また、検査結果およびデジタル画像は、主制御部４５により出力部４６から外部（例えば、半導体製造ラインの管理システムや露光装置等）へ出力することも可能である。評価部４３は、ウェハのデジタル画像を利用して、露光装置１０１のフォーカスオフセットの許容範囲（デフォーカスによりパターンの倒れやショートなどの欠陥が発生しない範囲）と、露光装置１０１のベストフォーカス（露光装置の投影光学系とウェハ１０との最適相対位置）を求める（詳細は後述する）。なお、主制御部４５、評価部４３、検査部４２、記憶部４１、画像処理部４０のそれぞれは、装置内に配置することもできるが、有線／無線の通信手段によって互いに通信可能に構成されていれば装置とは独立に配置することもできる。例えば、主制御部４５、評価部４３、検査部４２、記憶部４１、画像処理部４０の少なくとも１つを中央監視室に配置し工場内ＬＡＮで通信することもできる。

[0020] 主制御部４５は、ハードウェア制御部４４を介して、照明ユニット２１やステージ５の作動を制御する。ハードウェア制御部４４は、照明ユニット２１の光源部２２と調光部２３を制御し、照明光の波長および強度を調節する。また、ハードウェア制御部４４は、ステージ５の回転機構部（図示せず）を制御し、ウェハ方位角度を調整する。また、ハードウェア制御部４４は、ステージ５の傾動機構（図示せず）を制御し、照明光の入射角および射出角を調整する。

[0021] ウェハ１０の最上層にはレジスト膜が設けられており、露光装置１０１により所定のマスクパターンが投影光学系を介して投影露光され、現像装置（図示せず）によって現像される。現像後のウェハ１０は、前述のように、不図示の搬送装置により、不図示のウェハカセットまたは現像装置からステージ５上に搬送される。なおこのとき、ウェハ１０は、ウェハ１０のパターン

もしくは外縁部の基準マーク（ノッチやオリエンテーションフラット等）が検出される。ステージ５上に搬送されたウェハ１０は、搬送中に検出されたパターンもしくは基準マークの位置に基づいてステージ５の回転機構によりウェハ１０のアライメントが行われる。ウェハ１０の表面には、図２に示すように、複数のチップ領域（１つの半導体デバイスの製品を構成する範囲）１１が縦横に（図２におけるＸＹ方向に）配列される。各チップ領域１１の中には、半導体パターンとしてラインパターンまたはホールパターン等の繰り返しパターン１２が形成されている。露光の１ショット（マスクパターン１枚分の露光）には、複数のチップ領域が含まれることが多いが、図２では分かりやすさのために、１チップ分の領域を１ショット分の領域としている。

[0022] また、露光装置１０１は、例えばステップ・アンド・スキャン方式の露光装置であり、ケーブル等を介して本実施形態の表面検査装置１の出力部４６と電気的に接続され、表面検査装置１からのデータ（信号）に基づいて露光制御の調整を可能となっている。なお、露光装置１０１と表面検査装置１の出力部４６とは、必ずしも電気的に接続されていなくてもよく、有線／無線の通信手段によって通信可能に構成されていてもよい。

[0023] 以上のように構成される表面検査装置１を用いて、ウェハ１０表面の回折検査を行うには、まず、図１に示すように照明側偏光フィルタ２６および受光側偏光フィルタ３２を光路上から抜去し、ウェハ１０をステージ５上に搬送する。

[0024] 次に、基準マークの検出結果に基づき、ステージ５の回転機構により所定の位置に所定の方向で載置することによりウェハ１０のアライメントが行われる。なお、ウェハ１０の方向調整は、搬送途中で行っても良い。このアライメントにより、ウェハ１０の表面上における照明光の入射方向とパターンの繰り返し方向とが一致（ラインパターンの場合、ラインに対して直交）する。さらに、パターンのピッチをＰとし、ウェハ１０の表面に照射する照明光の波長をλとし、照明光の入射角をθ１とし、ｎ次回折光の射出角をθ２

としたとき、次の数式１を満足するように傾動の設定を行う。このとき、ハードウェア制御部４４により、照明ユニット２１の光源部２２と調光部２３や、ステージ５の傾動機構（図示せず）等が制御される。

[0025] [数1]

$$P = n \times \lambda / \{\sin(\theta 1) - \sin(\theta 2)\}$$

[0026] 次に、照明系２０により照明光をウェハ１０の表面に照射する。このような条件で照明光をウェハ１０の表面に照射する際、照明ユニット２１における光源部２２からの光は調光部２３を通過し、所定の波長（例えば、２４８ｎｍの波長）を有する所定の強度の照明光に調整される。調整された照明光が導光ファイバ２４から照明側凹面鏡２５へ射出され、照明側凹面鏡２５で反射した照明光が平行光束となってウェハ１０の表面に照射される。ウェハ１０表面の繰り返しパターンで回折した回折光は、受光側凹面鏡３１により集光されて撮像装置３５の撮像面上に達し、ウェハ１０の像（回折光による像）が結像される。以降説明のため、ウェハ方位角度、照明光の波長、傾動角度、回折次数などの組み合わせで決まる回折光の条件を回折条件と称する。なお、上記実施例で不図示の傾動機構によりウェハ１０を傾動させたが、ウェハ１０を固定して照明系２０の照明光の入射角と受光系３０の受光角を変更して上記回折条件を満たすようにしても良い。

[0027] なお、ウェハ１０の回折光パターン（ウェハ１０の回折光が撮像面で光の強度信号として得られる画）が図示しない画像表示装置で出力表示される。

[0028] 次に、表面検査装置１によりウェハ１０表面のＰＥＲ検査を行う場合について説明する。なお、ＰＥＲ検査で検査する繰り返しパターン１２は、図３に示すように、複数のライン部２Ａがその短手方向（Ｘ方向（図２参照））に沿って一定のピッチＰで配列されたレジストパターン（ラインパターン）であるものとする。また、隣り合うライン部２Ａ同士の間は、スペース部２Ｂである。また、ライン部２Ａの配列方向（Ｘ方向）を「繰り返しパターン１２の繰り返し方向」と称することにする。

[0029] ＰＥＲ検査は、繰り返しパターン１２におけるライン部２Ａとスペース部

２Ｂとの体積比の変化に伴う構造性複屈折の変化を利用して、繰り返しパターン１２の異常検査を行うものである。なお、説明を簡単にするため、ライン部２Ａとスペース部２Ｂとの理想的な体積比（設計値）を１：１とする。なお、体積比を断面形状の面積比と言い換えることもできる。

[0030] ＰＥＲ検査では、図１の破線で示すように、照明側偏光フィルタ２６および受光側偏光フィルタ３２が光路上に挿入される。なお、偏光フィルタは１方向の偏光成分を有する光を透過させるフィルタであり、透過できる方向を透過軸と呼ぶ。照明側偏光フィルタ２６は、導光ファイバ２４と照明側凹面鏡２５との間に配設されるとともに、その透過軸が所定の方位（例えば、ｐ偏光が得られる方位）に設定される。

[0031] 受光側偏光フィルタ３２は、受光側凹面鏡３１と撮像装置３５との間に配設され、その透過軸の方位は、上述した照明側偏光フィルタ２６の透過軸に対して直交するように設定される（クロスニコルの状態）。したがって、受光側偏光フィルタ３２により、ウェハ１０（繰り返しパターン１２）からの正反射光のうち直線偏光Ｌと振動方向が略直角な偏光成分（例えば、ｓ偏光の成分）を通過させて、撮像装置３５に導くことができる。なお、受光側偏光フィルタ３２を光軸中心に回動可能とし、透過軸の角度を調整することで、感度を向上させることができる。

[0032] 表面検査装置１によりウェハ１０表面のＰＥＲ検査を行うには、回折検査と同様に搬送の途中で基準マークが検出され、ウェハ１０をステージ５上の所定の位置に所定の方向で載置することができる。

[0033] 次に、図３に示すように、繰り返しパターン１２の繰り返し方向がウェハ１０の表面における照明光（直線偏光Ｌ）の振動方向に対して４５度だけ斜めになるように、ステージ５を回転させる。さらに、照明光が照射されたウェハ１０からの正反射光を受光系３０で受光できる傾動角度に、ステージ５を傾動させる。

[0034] 次に、照明系２０により照明光をウェハ１０の表面に照射する。照明光は直線偏光Ｌとなり、ウェハ１０の表面全体に照射される。このとき、直線偏

光Ｌは平行光束なので、ウェハ１０の各点における直線偏光Ｌの入射角度は互いに同じとなる。

[0035] ＰＥＲ検査では、繰り返しパターン１２の構造性複屈折により直線偏光Ｌの偏光状態が変化し、正反射光のうち直線偏光Ｌと振動方向が略直角な偏光成分を通過させて、直線偏光Ｌと振動方向が略直角な偏光成分によるウェハ１０の反射像が撮像素子により撮像される。撮像されたウェハ１０の偏光画像は外部に出力されると共に、図示しない画像表示装置で出力表示される。

[0036] なお、信号強度とは、撮像装置３５の撮像素子で検出される光の強度に応じた信号強度であり、照明光強度、パターンによる回折効率、撮像装置の感度などにより決まるものである。本実施形態においては、信号強度は画像輝度として観測されるので、この２つの言葉は実質的に同じものを指す。

[0037] また、上述した回折検査およびＰＥＲ検査に限らず、ウェハ１０表面からの正反射光に基づく検査（以下、便宜的に正反射検査と称する）を行うことも可能である。

[0038] ここで、フォーカスオフセットの許容範囲およびベストフォーカスを求める原理を説明する。パターン倒れ（例えば、繰り返しパターン１２におけるライン部２Ａの倒れ）や、パターンショート（例えば、繰り返しパターン１２におけるライン部２Ａ同士の接触）が発生しない場合、ショット内で回折光の強度はほぼ一定である。これに対して、本願の発明者は、パターン倒れ又はパターンショート（以下パターン倒れとパターンショートをまとめてパターン崩れと呼ぶことがある）が発生すると、パターン崩れを起こした部分では回折光の強度が極端に低下する（バラツキが発生）ことを発見した。

[0039] 本願の発明者の知見によれば、この現象は次のように考えることができる。ベストフォーカスの状態で露光装置によりライン状のマスクパターンが露光され現像されたレジストのパターン形状は、それぞれのパターンのエッジが直角な直方体となっていると考えられる。一方、フォーカスオフセットがベストフォーカスから外れる（デフォーカスになる）と、直方体形状のエッジがだれると共に側面部が波打つようになると考えられている。さらにデフ

ォーカスが大きくなるとパターンが倒れてしまう。パターンが倒れてしまうとその部分では回折光が発生しなくなる（言い換えると、回折光の強度が著しく減少する）。そのため、正常なパターンに合わせた回折条件で回折光パターンを取得すると、デフォーカスでパターンが倒れてしまった部分では回折光が発生しないため信号が無くなる（又は回折光の強度が著しく小さくなるため、信号強度が著しく減少する）。

[0040] 一方、露光装置の投影光学系の結像面とレジスト面との相対的な傾きを持つ場合を考える。露光範囲の全面がフォーカスオフセット許容範囲に入っていれば、パターン倒れは発生せず全てのパターンから回折光が発生するため、回折光の強度のバラツキは小さい。しかし前述のように結像面とレジスト面との相対的な傾きがあると、１ショット（露光領域）の一部においてフォーカスオフセット許容から外れパターン倒れが発生する。この状態ではフォーカスオフセット許容範囲内の部分では回折光が発生し、フォーカスオフセット許容範囲から外れた部分では回折光が発生せず、１ショット内で回折光の強度のバラツキが大きくなる。

[0041] このように、１ショット内での回折光の強度のバラツキからフォーカスの許容範囲を求めることができる。また、フォーカスの許容範囲からベストフォーカスとなるフォーカスオフセットを求めることができる（詳細は後述する）。

[0042] 次に、上記原理を用いてフォーカスオフセットの許容範囲およびベストフォーカスを求める例を説明する。図４は露光装置１０１のベストフォーカス（最も良好な合焦状態を得られるフォーカスオフセット）を求める方法を示すフローチャートである。まず、露光装置１０１のフォーカスオフセット（既知）をウェハごとに変化させて繰り返しパターンを露光し現像した複数のウェハ（例えば、フォーカスオフセット量が０ｎｍ，±３０ｎｍ，±６０ｎｍ，±９０ｎｍ，±１２０ｎｍ，＋１５０ｎｍである１０枚のウェハ）を作製する（ステップＳＴ１０１）。ここで、便宜上、フォーカスオフセットが異なる１０枚のウェハを評価用ウェハ１０ａ～１０ｊと称することにする。

[0043] 次に、評価用ウェハ１０ａ～１０ｊの回折光パターンをそれぞれ撮像取得する（ステップＳＴ１０２）。このとき、回折検査の場合と同様に、評価用ウェハ１０ａ～１０ｊの回折光パターンを生成する。またこのとき、評価用ウェハ１０ａ～１０ｊについて、露光したマスクパターンの情報または回折条件サーチ（後述）を利用して回折条件を求め、回折光が得られるように回折検査の場合と同様の設定を行う。回折条件サーチとは、正反射以外の角度範囲でステージ５の傾動角度を段階的に変化させてそれぞれの傾動角度で画像を取得し、画像が明るくなる、すなわち回折光が得られる傾動角度を求める機能のことを指す。そして、複数の回折条件における評価用ウェハ１０ａ～１０ｊの回折光パターンをそれぞれ撮像取得する。なお、回折条件サーチは、上述の他、瞳空間での明るさ分布に基づいて傾動角度を求めてもよく、レジスト上のパターンの配置情報をフーリエ変換して回折条件を求めても良い。

[0044] 次に、画像処理部４０は、評価用ウェハ１０ａ～１０ｊの回折光パターンにおいて、各評価用ウェハ１０ａ～１０ｊのそれぞれのウェハ内において全てのショットの対応する部分の画素の信号強度の平均化（以降適宜ウェハ内平均化と称する）を行う（ステップＳＴ１０３）。この平均化により、中央部と外周部によるレジスト膜厚の差や露光装置の光軸方向の駆動制御バラツキによる誤差を低減することができる。なお、信号強度の平均値ではなく最頻値を用いることもできる。また、全てのショットの平均ではなく、回折検査の結果ショット内の欠陥のあるショットについては、除外しても良い。次に、画像処理部４０は、ウェハ内平均化によって得られた（すなわち、互いにフォーカスオフセットの異なる）全てのショットについて、図６の右上の囲み部分で示すようにショット内に複数のエリア（小さな長方形で囲んだ領域）Ａ１～Ａ６を設定する。次に、各エリア内で信号強度の平均化（以下、適宜「エリア内平均化」と称する）によって得られた値（以下、適宜「エリア内平均輝度」と称する）をそれぞれ求める。なお、ショット内平均化やエリア内平均化は、評価用ウェハ１０ａ～１０ｊについて回折条件ごとにそれ

ぞれ行われる。ここまでの処理で、複数の回折条件において、フォーカスオフセットを１０段階に振ったそれぞれのウェハのエリア内平均輝度が設定領域Ａ１～Ａ６ごとに得られる。

[0045] 次に、画像処理部４０はエリア内平均化されたデータを主制御部４５を介して評価部４３に送る。評価部４３は、図６～図８に示すように、設定領域Ａ１～Ａ６ごとに、エリア内平均輝度とフォーカスオフセットとの関係を示すグラフ（１軸にエリア内平均輝度をもう１軸にフォーカスオフセットをとった２次元グラフ、以下、フォーカスカーブと称する）を求める（ステップＳＴ１０４）。このとき、評価部４３は、フォーカスカーブを関数で近似した近似曲線を求めてもよい。なお、この近似曲線の関数には、４次関数（４次式）を用いることができる。また、４次関数は次の数式２のように表される。

[0046] [数2]

$$y = a x^4 + b x^3 + c x^2 + d x + e$$

[0047] ここで、ｘはフォーカスオフセットであり、ｙは信号強度（エリア内平均輝度）であり、ａ，ｂ，ｃ，ｄ，ｅは係数である。最小二乗法などを用いて、フォーカスカーブを近似するための最適な係数ａ，ｂ，ｃ，ｄ，ｅを求めることにより、近似関数が得られる。

[0048] 次に、評価部４３は、複数の回折条件について求めた各フォーカスカーブにおいて、１つ又は複数のエリアのエリア内平均輝度が他のエリアのエリア内平均輝度に対して大きくばらつくフォーカスオフセットを求める（ステップＳＴ１０５）。大きくばらつくとは、あるフォーカスオフセットで各エリア内平均輝度を見たときに、少なくとも１つのエリア内平均輝度が他のエリア内平均値と比較して大きく異なることを示す。ここで、ばらつきの評価の一例として偏差値を用いることができる。例えば、１つのエリア内平均輝度の偏差値が４０以下で、他のエリア内平均輝度の偏差値が４５以上である場合にばらつくと判定することができる。また、ばらつきの評価の別の一例として、全エリアのエリア内平均輝度の平均値（以下、適宜「エリア間平均値

」と称する）と標準偏差σの３倍の値（３σ）を求め、各エリアのエリア内平均輝度とエリア間平均値との差と３σとを比べ、３σを超える差をもつエリアがある場合は大きなバラツキがあると判断することができる。また、ばらつきの評価のさらに別の一例として、上述の近似曲線の関数でフォーカスオフセットに対応する輝度と、そのフォーカスオフセットにおけるエリア内平均輝度を比較して、近似曲線の関数から求まる輝度に対して１５％以上小さいエリア内平均輝度がある場合に大きなバラツキがあると判断することもできる。また、他の統計手法によりばらつきが大きいかを判断してもよい。

[0049] 図５に各エリア平均値の平均値によるフォーカスカーブを示す。このフォーカスカーブの右側において極小点が表れているが、フォーカスカーブの左側において極小点が現れずに信号強度（平均輝度）が大きく低下している。発明者の知見によれば、これはパターン崩れを起こしているエリアの平均輝度が極めて低いため他のエリアの平均輝度との平均を取った場合に本来現れるべき極小点に対応する変曲点が現れないものと考えることができ、パターン崩れが発生している可能性がある。

[0050] 図６～図８に示すフォーカスカーブは、図５の場合と異なるパターンのフォーカスカーブであり、互いに回折条件が異なるものである。図６に示す第１回折条件のフォーカスカーブでは、フォーカスオフセットがー９０ｎｍのときに、第１～第６設定領域Ａ１～Ａ６のうち第１設定領域Ａ１のエリア内平均輝度が他に比べて大きく低下しており、第１設定領域Ａ１においてパターン崩れが発生していることがわかる。同様に、図７に示す第２回折条件のフォーカスカーブでは、フォーカスオフセットがー９０ｎｍのときに、第１設定領域Ａ１のエリア内平均輝度が他に比べて大きく低下しており，また、フォーカスオフセットが＋９０ｎｍのときに、第２設定領域Ａ２および第４設定領域Ａ４の信号強度が他に比べて大きく低下している。同様に、図８に示す第３回折条件のフォーカスカーブでは、フォーカスオフセットがー１２０ｎｍのときに、第５設定領域Ａ５のエリア内平均輝度が他に比べて大きく低下しており，また、フォーカスオフセットが＋９０ｎｍのときに、第１設

定領域Ａ１のエリア内平均輝度が他に比べて大きく低下している。

[0051] このように、ショットの一部で信号強度（エリア内平均輝度）が大きく低下するフォーカスオフセット、すなわち、第１～第６設定領域Ａ１～Ａ６のフォーカスカーブのうちいずれかが近似曲線（図５～図８では“ＡＬＬ”となっている）と大きく乖離するフォーカスオフセットを、フォーカスオフセットの許容範囲の境界外として求める。図６に示す第１回折条件のフォーカスカーブでは、評価部４３で求まる境界外値（フォーカスオフセット）がマイナス側で－９０ｎｍとなる。図７に示す第２回折条件のフォーカスカーブでは、評価部４３で求まる境界外値がマイナス側で－９０ｎｍ、プラス側で＋９０ｎｍとなる。図８に示す第３回折条件のフォーカスカーブでは、評価部４３で求まる境界外値がマイナス側で－１２０ｎｍ、プラス側で＋９０ｎｍとなる。このように、回折条件によってフォーカスの許容限界（境界値）が異なることがわかる。

[0052] 次に、評価部４３は、先に求めた境界値（フォーカスオフセット）から露光装置１０１のフォーカスオフセットの許容範囲を求める（ステップＳＴ１０６）。このとき、評価部４３は、複数の回折条件においていずれもパターン崩れが発生しない範囲を求める。ここで、図９は図６～図８のフォーカスカーブをそれぞれ重ねて示したものである。図６～図９の例では、評価部４３で求まるフォーカスオフセットの許容範囲が－６０ｎｍ～＋６０ｎｍとなる。なお、本実施形態において、図９の領域Ａ、領域Ｂに示されるように、－９０ｎｍ以下、及び＋９０ｎｍ以上ではパターン崩れが発生していると考えられるため、許容できない。よって、許容範囲は－６０ｎｍ～＋６０ｎｍと求まる。

[0053] そして、評価部４３は、先に求めたフォーカスオフセットの許容範囲の中央の位置（フォーカスオフセット量）を露光装置１０１のベストフォーカスとして求める（ステップＳＴ１０７）。図９の例では、－６０ｎｍ～＋６０ｎｍのフォーカスオフセットの許容範囲の中央に位置する０ｎｍのフォーカスオフセットがベストフォーカスとなる。評価部４３で求められた露光装置

１０１のベストフォーカスに関するデータは、主制御部４５から出力部４６を介して露光装置１０１に出力され、露光装置１０１の設定にフィードバックされる。

[0054] 近年の微細なパターンにおいては、露光時のフォーカスがベストフォーカスからある程度変化しても、パターンが変形しにくく、あるフォーカス量を超えるとパターン倒れやパターンショートが発生する。線幅に関してもフォーカスの変化に対する線幅変化量が少ないことから、線幅基準ではなく、パターン崩れの観点からベストフォーカスを求めることができる。なおこの場合、初めにベストフォーカスを求めてから、ベストフォーカスの状態でドーズ量を変えて最適な線幅を得るドーズをベストドーズとして求めることになる。このようにして線幅管理としてベストドーズを求めることで、線幅を管理することができる。

[0055] このように、本実施形態によれば、評価用ウェハ１０ａ～１０ｊの画像信号（検出信号）に基づいて、露光装置１０１のフォーカスオフセットの許容範囲を求め、このフォーカスオフセットの許容範囲に基づいて、露光装置１０１のベストフォーカス（ウェハと投影光学系との最適相対位置）を求める。そのため、露光装置１０１のベストフォーカスを短時間で求めることができる。

[0056] また、フォーカスの許容範囲における中間（中央）のフォーカス位置をベストフォーカス位置として求めることで、フォーカスがある程度変化しても変形しにくいパターンに対するベストフォーカス位置を精度よく求めることができる。なお、ＳＥＭ等を用いてー側許容範囲と＋側許容範囲に対するベストフォーカス位置が分かっていれば、その情報に基づいてベストフォーカスを求めることもできる。例えば、ー側許容範囲がー３０ｎｍで＋側許容範囲が＋６０ｎｍとする。一方、ＳＥＭから得られたベストフォーカス位置が、ー側許容範囲から＋側許容範囲への許容範囲内を２：１（ベストフォーカスからー側の許容範囲が２に対してベストフォーカスから＋側許容範囲が１）に内分する点であることが分かっているとする。この場合、フォーカスオ

フセット＋３０ｎｍがベストフォーカスとなる。

[0057] また、パターン崩れが発生するとショット内の回折強度のバラツキが大きくなるので、フォーカスカーブを用いてフォーカスオフセットの許容範囲を容易に求めることができる。

[0058] なお、ロジックＩＣにおいては、複数種のパターンの線幅をＳＥＭ（走査型電子顕微鏡）等で計測すると、多くの時間が必要となるが、本実施形態によれば、回折条件を変えて評価用ウェハ１０ａ～１０ｊの回折光パターンを撮像取得し、演算を行えばよいので、露光装置１０１のフォーカスの許容範囲およびベストフォーカス位置を短時間で求めることができる。

[0059] なお、上述の実施形態では、ウェハ内平均化処理を行ったが、平均化せずにウェハ面内の分布を求めることもできる。この場合、分布は露光装置のオートフォーカスの制御誤差を示すことがある。何らかの理由によりオートフォーカスの結果、ウェハの中央寄りでは投影レンズの結像面がレジスト表面よりも＋方向にずれている場合を考える。この場合、上述の方法で求めたベストフォーカスは、ウェハの中央寄りでは周辺に比べてーにずれることからオートフォーカスの制御誤差を知ることができる。

[0060] また、スキャン露光でパターンを作製した場合、正方向のスキャンと逆方向のスキャンとでＺ方向の駆動誤差が生じる場合がある。このようなスキャン方向によるＺ方向の駆動誤差を求めるために、まず正方向のスキャンで露光したショット（正方向ショット）と逆方向のスキャンで露光したショット（逆方向ショット）に分ける。ついで、正方向ショットの全てのショットについて対応する画素の信号強度の平均化（ショット間平均化）を行う。同様に逆方向ショットについてもショット間平均化を行う。得られた正方向ショットのショット間平均化の結果から求めたベストフォーカスと逆方向ショットのショット間平均化の結果から求めたベストフォーカスを比較することで、露光時の正方向のスキャンと逆方向のスキャンそれぞれのフォーカス状態の相違を知ることができる。

[0061] また、ウェハ内の全てのショットが同じフォーカスオフセットでパターン

の露光を行った評価用ウェハを作製したが、縦方向の段ごとにドーズ量を変化させ、横方向の列ごとにフォーカスオフセットを変化させたウェハ（所謂ＦＥＭウェハ）を１枚用いてベストフォーカスを求めることができる。次にＦＥＭウェハを用いてベストフォーカスを求める手順を説明する。まず、前述のように露光条件を振ってＦＥＭウェハを露光し、現像を行う。次いで、ＦＥＭウェハを用いて複数の回折条件で回折光パターンを取得する。得られた回折光パターンの各ショットについてエリア内平均化を行う。回折条件ごとにフォーカスカーブを求め、前述と同様にしてフォーカスオフセットの許容範囲およびベストフォーカスを求める。

[0062] 上述の実施形態において、フォーカスに敏感でフォーカスマージンが少ないクリティカルパターンが経験から分かっている場合は、このクリティカルパターンからの回折光を回路デザインから求め、クリティカルパターンからの回折光に基づいて露光装置１０１のベストフォーカス位置を求めるようにしてもよい。このようにすれば、より適切なベストフォーカス位置を求めることができる。

[0063] 上述の実施形態において、ドーズ量がベストドーズと異なるように（例えば、オーバードーズに近い状態に）露光装置１０１の設定を行って、評価用ウェハ１０ａ～１０ｊのパターンを露光・現像するようにしてもよい。このようにすれば、パターン崩れが発生しやすくなることから、フォーカスオフセットの許容限界（境界値）の検出感度を高めることができる。

[0064] 上述の実施形態において、マスクパターンの像面が少し傾くように露光装置１０１の設定を行って、評価用ウェハ１０ａ～１０ｊのパターンを露光・現像するようにしてもよい。例えば、ショット中央に対して右側（Ｘ方向＋側）を、フォーカスオフセットを＋にずらしたのと同様な効果を有するように像面を傾けておく。このようにすれば、フォーカスオフセットを＋に振っていくと、まずショット右側でパターン崩れが発生しやすくなる。したがって、フォーカスオフセットを＋に振っていき、右側のパターンの回折強度が小さくなりショット内の回折強度のバラツキが大きくなった場合は、正しく

フォーカスオフセットの許容範囲が検出できていると判断できる。一方、右側以外ので回折強度が小さくなりショット内の回折強度のバラツキが大きくなった場合は、デフォーカスによるパターン崩れ以外の要因により回折強度が小さくなった可能性があるので、正しくフォーカスオフセットの許容範囲が求められないと判断する。このように間違った判断を排除できることから、フォーカスオフセットの許容限界（境界値）の信頼性を高めることができる。なお、マスクパターンの像面を傾ける代わりに、ウェハ（ウェハ上のレジスト膜）を少し傾けた状態で保持しても良い。いずれの場合も、フォーカス状態が許容範囲を超えればパターン崩れが発生し、その部分の回折反射強度は低下する。

[0065] なお、ステップ・アンド・スキャン方式の露光装置の場合は、スキャン方向に像面を傾けてもスキャンにより上記のような効果が期待できない。そのため、スキャン方向と直交する方向（一般にスリット像の長手方向）の像面を傾けることになる。

[0066] 上述の実施形態において、１０枚の評価用ウェハ１０ａ～１０ｊを作製しているが、これに限られるものではなく、フォーカスオフセットの刻みと範囲を適宜設定しうる。例えば、フォーカスオフセットを１５ｎｍ刻みで－１２０ｎｍ～＋１５０ｎｍの１９段階に振った１９枚の評価用ウェハを作製するようにしてもよい。このように、フォーカスオフセットの刻みを小さくすることにより、フォーカスの許容限界（境界値）の検出感度を高めることができる。

[0067] 上述の実施形態において、評価用ウェハ１０ａ～１０ｊの繰り返しパターンに下地層がある場合がある。このような場合は、下地層の上に設けられている反射防止層（ＢＡＲＣ層）の吸収波長である紫外光（例えば、２４８ｎｍや３１３ｎｍ等）を照明光として使用すると、下地パターンからの回折光の影響を低減することができる。このように、下地パターンからの回折光の影響を低減すると、より精度を高くすることができる。

[0068] なお、下地パターンからの回折光の影響を全て排除できない場合は、正負

のフォーカスオフセットを大きく振り、上層の繰り返しパターンから回折光が発生しない状態で下地パターンからの回折光を検出するようにしてもよい。このように、下地層からの回折強度（信号強度）をモニターすることで、下地の影響を予め知ることができる。次に許容範囲内のフォーカスオフセットでパターンを作製し、得られる回折強度から予め求めた下地の影響を引いて上層のパターンからだけの回折強度を求めることができる。

[0069] 上述の実施形態において、繰り返しパターン１２は、図３に示すようなラインパターンに限らず、ホールパターンであってもよい。

[0070] 上述の実施形態において、評価用ウェハ１０ａ～１０ｊの回折光パターンに加え、評価用ウェハ１０ａ～１０ｊの偏光画像（ＰＥＲ画像）を利用して、前述の場合と同様の方法により、ウェハ方位角度や照明波長などで決まる複数の偏光条件においてフォーカスカーブを求め、これらのフォーカスカーブから、露光装置１０１のフォーカスの許容範囲を求めるようにしてもよい。これにより、回折光パターンだけの場合と比べて検出条件が増えるため、露光装置１０１のフォーカスの許容範囲およびベストフォーカス位置を精度よく求めることができる。

[0071] また、上述の表面検査装置１では、評価部４３で求めたベストフォーカスに関するデータを、主制御部４５により出力部４６を介して露光装置１０１に出力し、露光装置１０１の設定にフィードバックすることができる。そこで、上述の実施形態に係る表面検査装置１を備えた露光システムについて、図１０を参照しながら説明する。この露光システム１００は、露光装置１０１と、上述の表面検査装置１とを備えている。露光装置１０１は、レジストが塗布されたウェハ１０の表面に所定のマスクパターン（繰り返しパターン）の像を投影してウェハ１０上のレジストを露光する。表面検査装置１は、前述したように、露光装置１０１による露光工程および現像装置（図示せず）による現像工程等を経て、表面に繰り返しパターン１２が形成されたウェハ１０の検査を行う。

[0072] 露光装置１０１は、図１０に示すように、マスクＭを光ＥＬで照明する照

明光学系１１０と、マスクＭを保持して移動可能なマスクステージ１２０と、光ＥＬで照明されたマスクＭのパターンの像を所定の縮小倍率でウェハ１０に投影する投影光学系１３０と、ウェハ１０を保持して移動可能な基板ステージ１５０と、露光装置１０１の各要素及び全体の動作を制御する制御装置２００とを備えている。これらの構成により、ウェハ１０を保持した基板ステージ１５０とマスクＭを保持したマスクステージ１２０とを１次元方向に同期移動させて、マスクＭのパターンの像をウェハ１０に順次投影する動作を繰り返し、ウェハ１０の表面に塗布されたレジストを露光していく。

[0073] 以上の露光装置１０１による露光工程が実施されると、現像装置（図示せず）による現像工程等を経た後、上述の実施形態に係る表面検査装置１は、表面に繰り返しパターン１２が形成されたウェハ１０の検査を行う。また、表面検査装置１は、保守点検時や、所定ロットのウェハ１０の露光が行われる毎に、前述のようにして露光装置１０１のベストフォーカスを求め、求めたベストフォーカスに関するデータを露光装置１０１に出力する。そして、露光装置１０１の制御装置２００に設けられた補正処理部２１０は、表面検査装置１から入力されたベストフォーカスに関するデータに基づいて、ウェハ１０の表面に対する露光時のフォーカス状態がベストフォーカスとなるように、露光装置１０１のフォーカスに関する各種設定パラメータや光学素子の配置状態を補正する。

[0074] これにより、本実施形態の露光システム１００によれば、表面検査装置１から出力されたベストフォーカス（ウェハ１０と投影光学系１３０との最適相対位置）に関するデータに基づいて、露光装置１０１のフォーカスの設定を調整するため、短時間で精度よく計測されたベストフォーカスに基づいた調整が可能となり、露光装置１０１のフォーカスの設定をより適切に行うことができる。

[0075] 本実施形態の露光システム１００において、表面検査装置１によりベストフォーカスを求めて露光装置１０１にフィードバックするフローについて、図１１を参照しながら説明する。保守点検時や、所定ロットのウェハ１０の

露光が行われる毎に、表面検査装置１を用いて前述のように露光装置１０１のベストフォーカスを求める（ステップＳＴ２０１）。次に、表面検査装置１で求めたベストフォーカスに関するデータを、露光装置１０１に出力する（ステップＳＴ２０２）。そして、表面検査装置１から出力されたベストフォーカスに関するデータに基づいて、露光装置１０１のフォーカスの設定を調整する（ステップＳＴ２０３）。

[0076] 続いて、このような露光システム１００を用いたデバイス製造方法について説明する。ここでは、一例としてデバイスに半導体材料を使用した半導体デバイスの製造方法について図１２を参照しながら説明する。半導体デバイス（図示せず）は、デバイスの機能・性能設計を行う設計工程（ステップＳＴ３０１）、この設計工程に基づいたマスクを製作するマスク製作工程（ステップＳＴ３０２）、シリコン材料からウェハを製作するウェハ製作工程（ステップＳＴ３０３）、露光等によりマスクのパターンをウェハに転写する（露光工程、現像工程等を含む）リソグラフィー工程（ステップＳＴ３０４）、デバイスの組み立てを行う（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程等を含む）組立工程（ステップＳＴ３０５）、デバイスの検査を行う検査工程（ステップＳＴ３０６）等を経て製造される。

[0077] ここで、リソグラフィー工程の詳細について、図１３を参照しながら説明する。まず、ウェハを用意（ステップＳＴ４０１）し、不図示のスピンコータ等の塗布装置を用いて、ウェハ表面にレジストを所定の厚さとなるように塗布する（ステップＳＴ４０２）。このとき、塗布の終了したウェハに対し、塗布装置内の乾燥装置でレジストの溶剤成分を蒸発させ、成膜を行う。レジストが成膜されたウェハを不図示の搬送装置により露光装置１０１に搬送する（ステップＳＴ４０３）。露光装置１０１に搬入されたウェハは、露光装置１０１に備わっているアライメント装置によりアライメントされる（ステップＳＴ４０４）。アライメントの終了したウェハに、マスクのパターンを縮小露光する（ステップＳＴ４０５）。露光の終了したウェハを露光装置１０１から不図示の現像装置に移送し、現像を行う（ステップＳＴ４０６）

。現像の終了したウェハを表面検査装置１でセットし、前述のようにウェハの検査を行う（ステップＳＴ４０７）。検査で予め決められた基準以上に不良（異常）が発生しているウェハはリワーク（再生処理）に回され、不良（異常）が基準未満のウェハは、エッチング処理等の後処理をされる。なお、保守点検時や、所定ロットのウェハ１０の露光が行われる毎に、表面検査装置１により露光装置１０１のベストフォーカスが求められる。表面検査装置１により求められたベストフォーカスに関するデータは、露光装置１０１に出力され、露光装置１０１のフォーカスの設定が調整される（ステップＳＴ４０８）。

[0078] 本実施形態のデバイス製造方法では、リソグラフィー工程において、前述の実施形態に係る露光装置１０１を用いてパターンの露光を行う。保守点検時や、所定ロットのウェハ１０の露光が行われる毎に、表面検査装置１により求められたベストフォーカスに関するデータに基づいて、露光装置１０１のフォーカスの設定が調整される。フォーカス設定が調整された後に、フォーカス状態が調整された露光装置によりパターンの露光が行われる。このように、本実施形態のデバイス製造方法によれば、露光装置１０１のベストフォーカス（ウェハ１０と投影光学系１３０との最適相対位置）を短時間で精度よく計測することができるので、露光装置１０１のフォーカスの設定をより適切に行うことが可能となり、高集積度のデバイスを生産性良く製造することができる。また、本実施形態の製造方法では、良好なフォーカス状態で露光するため、信頼性の高い半導体デバイスを得ることができる。

[0079] なお、本実施形態のデバイス製造方法では、特に半導体デバイスの製造方法について説明したが、本実施形態のデバイス製造方法は、半導体材料を使用したデバイスの他、例えば磁気ディスクなどの半導体以外の材料を使用したデバイスの製造にも適用することができる。

なお、上述の各実施形態の要件は、適宜組み合わせることができる。また、一部の構成要素を用いない場合もある。また、法令で許容される限りにおいて、上述の各実施形態及び変形例で引用した評価装置などに関する全ての公

開公報及び米国特許の開示を援用して本文の記載の一部とする。

符号の説明

[0080]

１　表面検査装置
５　ステージ
１０　ウェハ（１０ａ～１０ｊ　評価用ウェハ）
２０　照明系（照明部）
３０　受光系
３５　撮像装置（検出部）
４０　画像処理部
４１　記憶部
４２　検査部
４３　評価部（演算部）
４４　ハードウェア制御部
４５　主制御部
１０１　露光装置

請求の範囲

[請求項1] 投影光学系を介して該投影光学系の焦点位置との相対位置を変えた複数回の投影によりそれぞれ設けられたパターンを表面に有する基板を照明する照明部と、

前記表面で反射した照明光を検出する検出部と、

１回の前記投影範囲内で検出される検出結果のバラツキ量が、所定の条件を超える前記相対位置に基づいて、前記基板と前記投影光学系との最適相対位置を求める演算部とを備える評価装置。

[請求項2] 前記投影光学系の結像面と前記基板表面とが相対的に傾斜した状態で前記パターンが投影されている請求項１に記載の評価装置。

[請求項3] 前記照明部が前記基板を照明する照明角と、前記検出部が検出する反射光の反射角度との少なくとも一方を可変する角度調整部をさらに備え、

前記検出部が前記パターンで回折した光を検出する請求項１または２に記載の評価装置。

[請求項4] 前記照明部が平行光によって前記基板を照明する請求項１から３のいずれか一項に記載の評価装置。

[請求項5] 前記最適相対位置を外部に出力する出力部をさらに備える請求項１から４のいずれか一項に記載の評価装置。

[請求項6] 前記照明部は、前記基板を照明する照明光の光路上に挿抜可能に設けられた第１の偏光フィルタを有し、

前記検出部は、前記表面で反射した照明光の光路上に挿抜可能に設けられた第２の偏光フィルタを有する請求項１から５のいずれか一項に記載の評価装置。

[請求項7] 投影光学系を介して該投影光学系の焦点位置との相対位置を変えた複数回の投影によりそれぞれ設けられたパターンを表面に有する基板を照明し、

前記表面で反射した照明光を検出し、

１回の前記投影範囲内で検出される検出結果のバラツキ量が、所定の条件を超える前記相対位置に基づいて、前記基板と前記投影光学系との最適相対位置を求める評価方法。

[請求項8] 前記所定の条件が、前記投影光学系の結像面と前記基板表面との相対的な傾斜に対応する請求項７に記載の評価方法。

[請求項9] 前記パターンで回折した回折光を検出する請求項７または８に記載の評価方法。

[請求項10] 前記パターンで回折した複数の次数の回折光を検出し、それぞれの次数の回折光の検出結果のバラツキが前記所定の条件を超える前記相対位置を求める請求項９に記載の評価方法。

[請求項11] 前記所定の条件を超える前記相対位置を、前記最適相対位置を挟む両側で求める請求項７から１０のいずれか一項に記載の評価方法。

[請求項12] 前記両側で求められる相対位置が、お互いに異なる反射条件で検出される検出結果に基づいて求められる請求項１１に記載の評価方法。

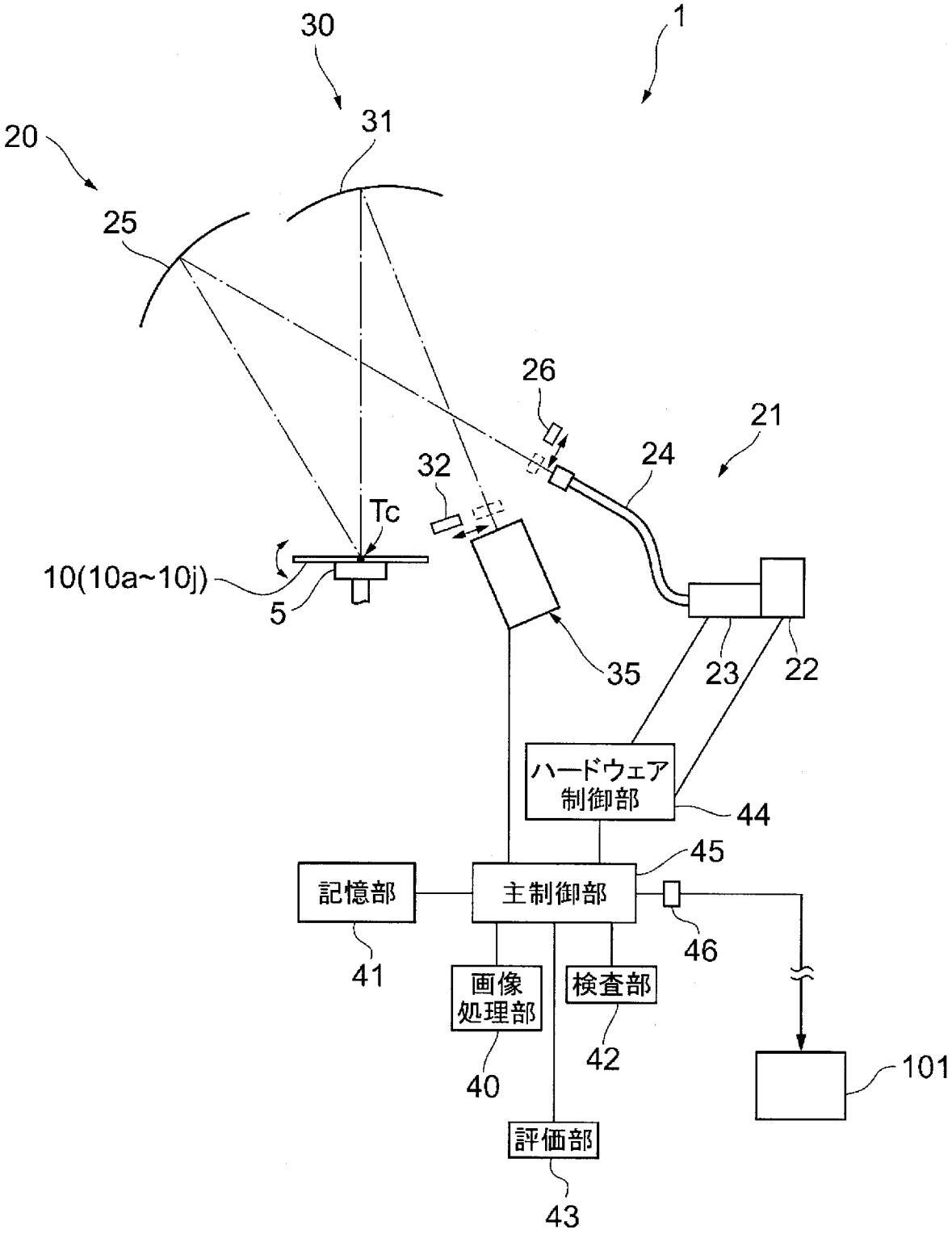
[請求項13] 投影光学系を用いて基板の表面にパターンを露光するリソグラフィー工程を有したデバイス製造方法であって、

請求項７から１２のいずれか一項に記載の評価方法を用いて、前記基板と前記投影光学系との最適相対位置を求め、

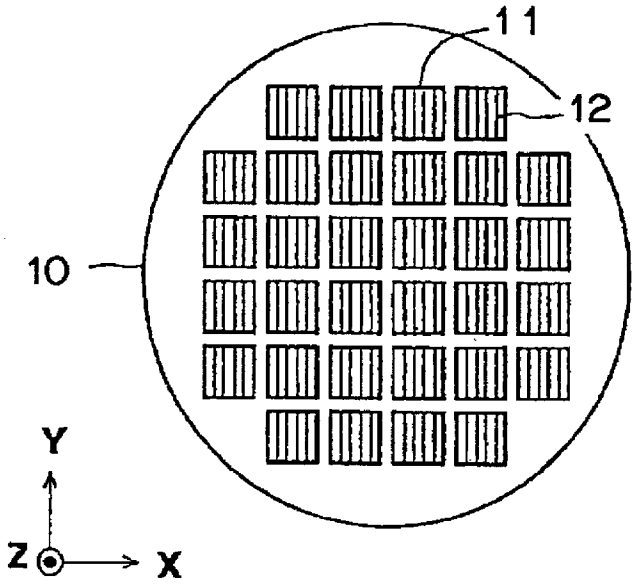
該最適相対位置に基づいて前記基板と前記投影光学系を調整し、

該調整された状態で前記基板の表面にパターンを露光するデバイス製造方法。

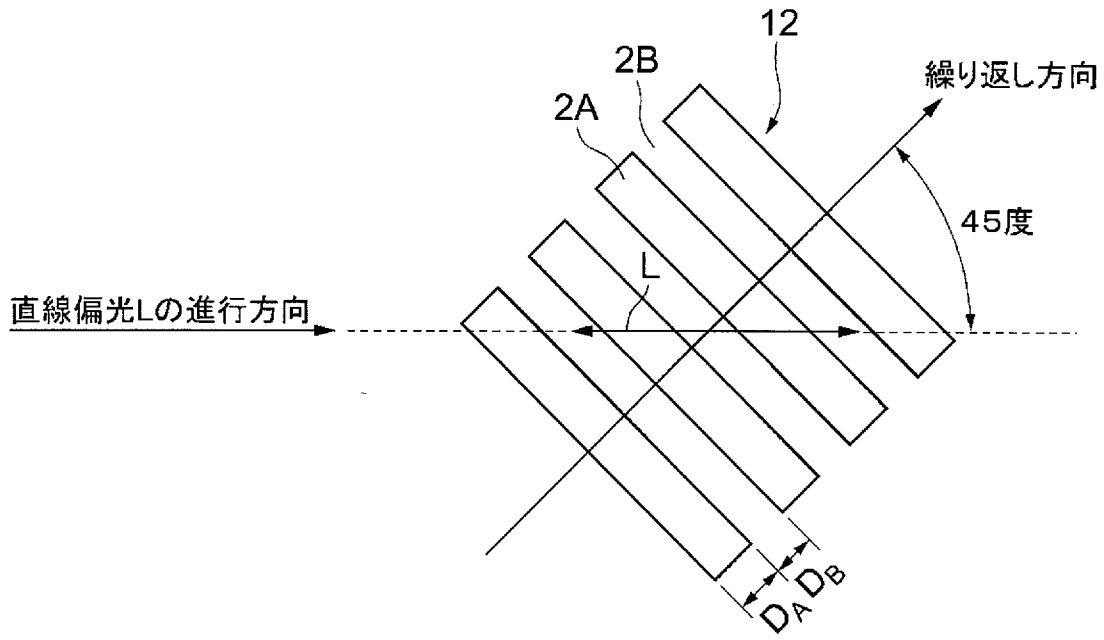
[図1]


30
1
31
20
25
26
21
24
32
Tc
10(10a~10j)
5
35
23
22
ハードウェア
制御部
44
45
記憶部
主制御部
46
41
画像
処理部
検査部
42
40
101
評価部
43

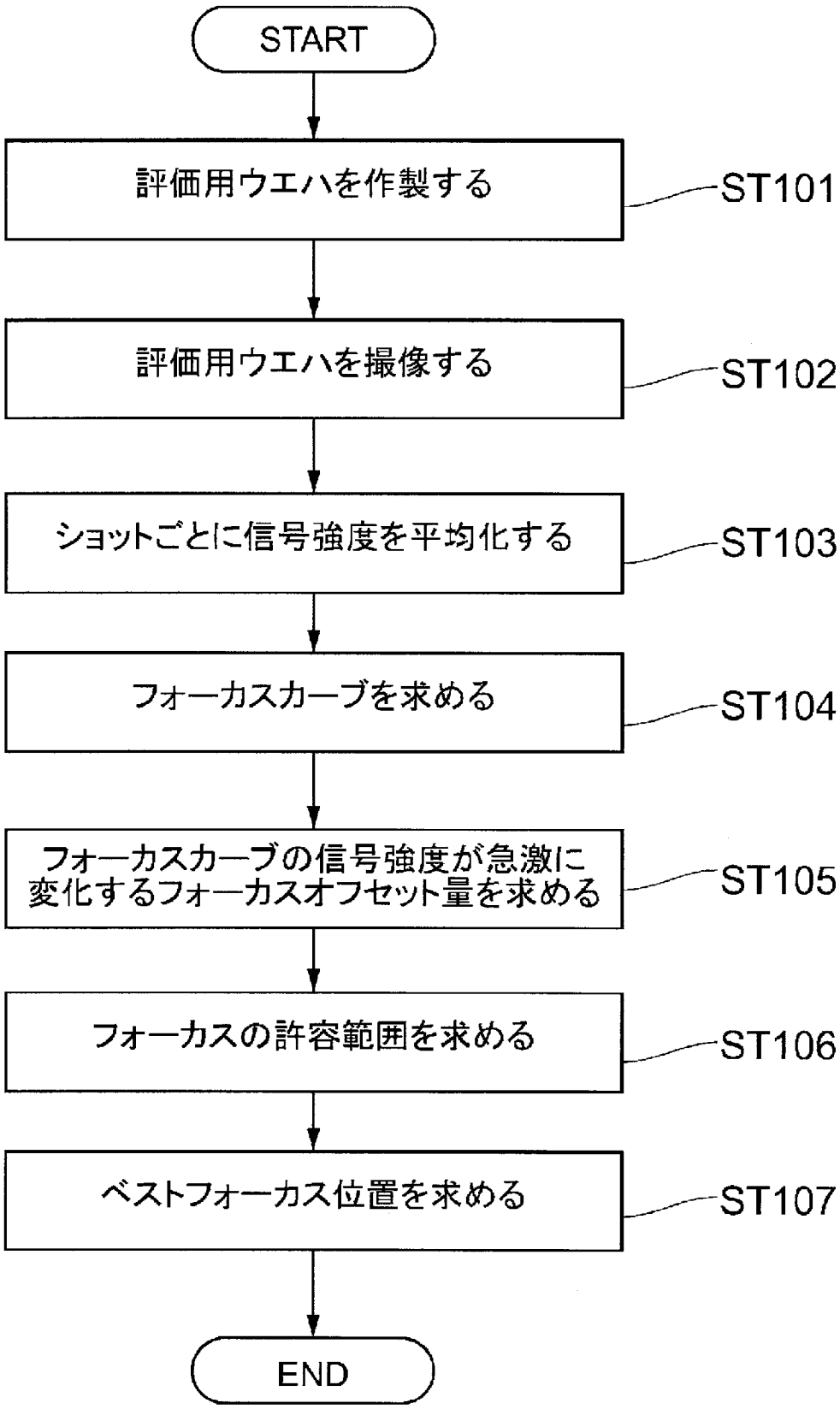
[図2]



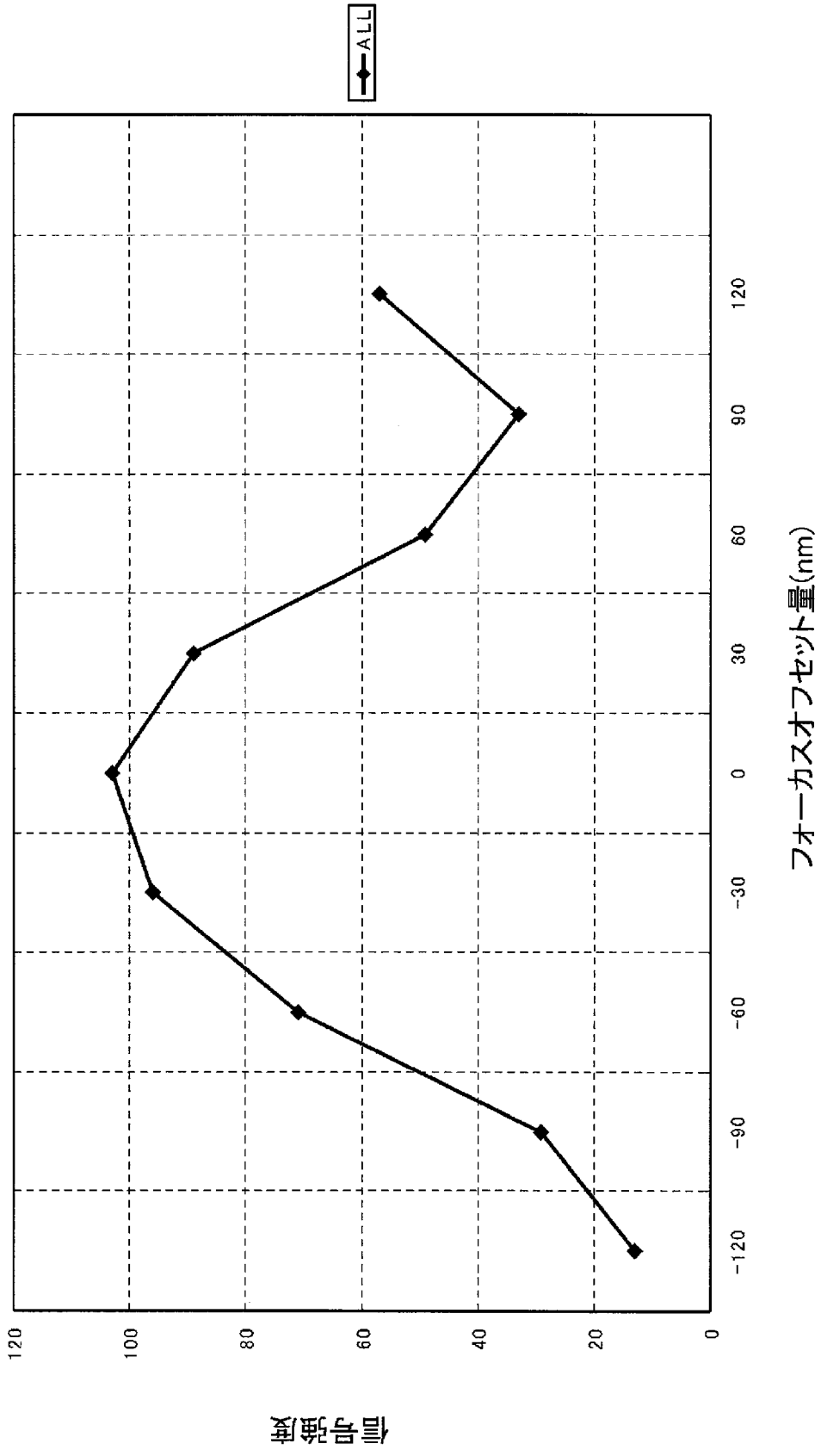
[図3]



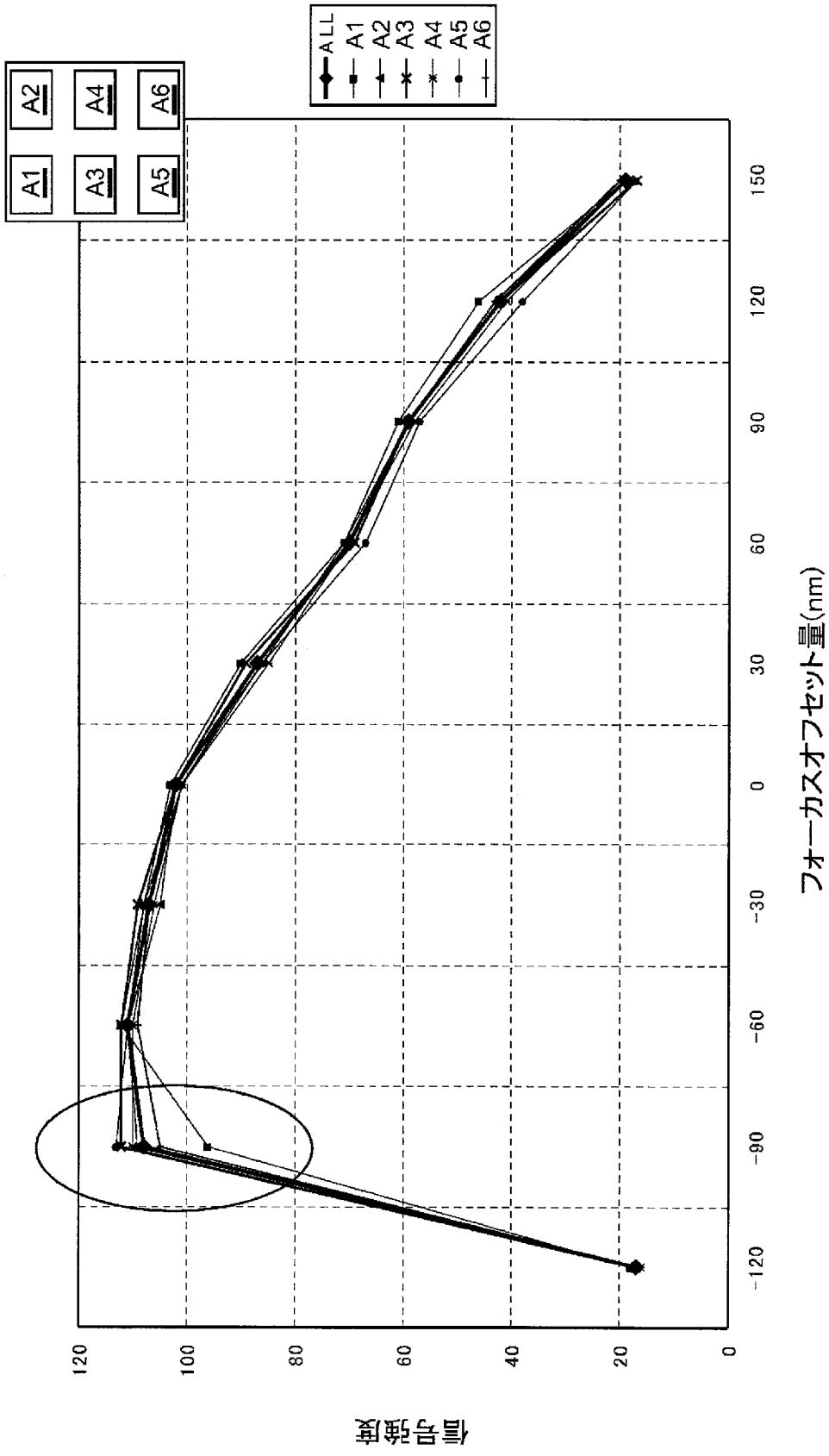
[図4]


START
評価用ウエハを作製する
ST101
評価用ウエハを撮像する
ST102
ショットごとに信号強度を平均化する
ST103
フォーカスカーブを求める
ST104
フォーカスカーブの信号強度が急激に変化するフォーカスオフセット量を求める
ST105
フォーカスの許容範囲を求める
ST106
ベストフォーカス位置を求める
ST107
END

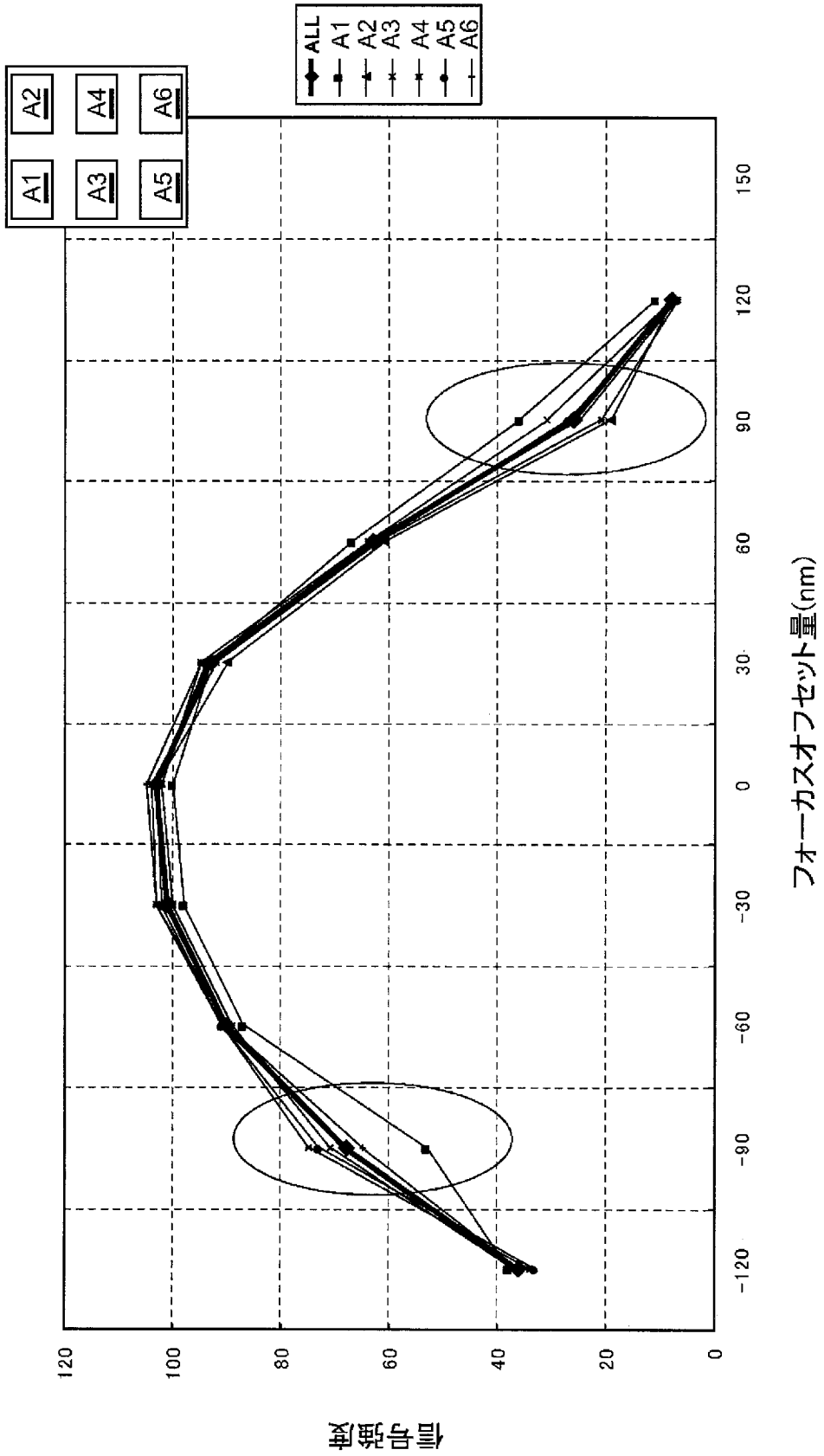
[図5]


ALL
信号強度
120
100
80
60
40
20
0
120
90
60
30
0
-30
-60
-90
-120
フォーカスオフセット量(nm)

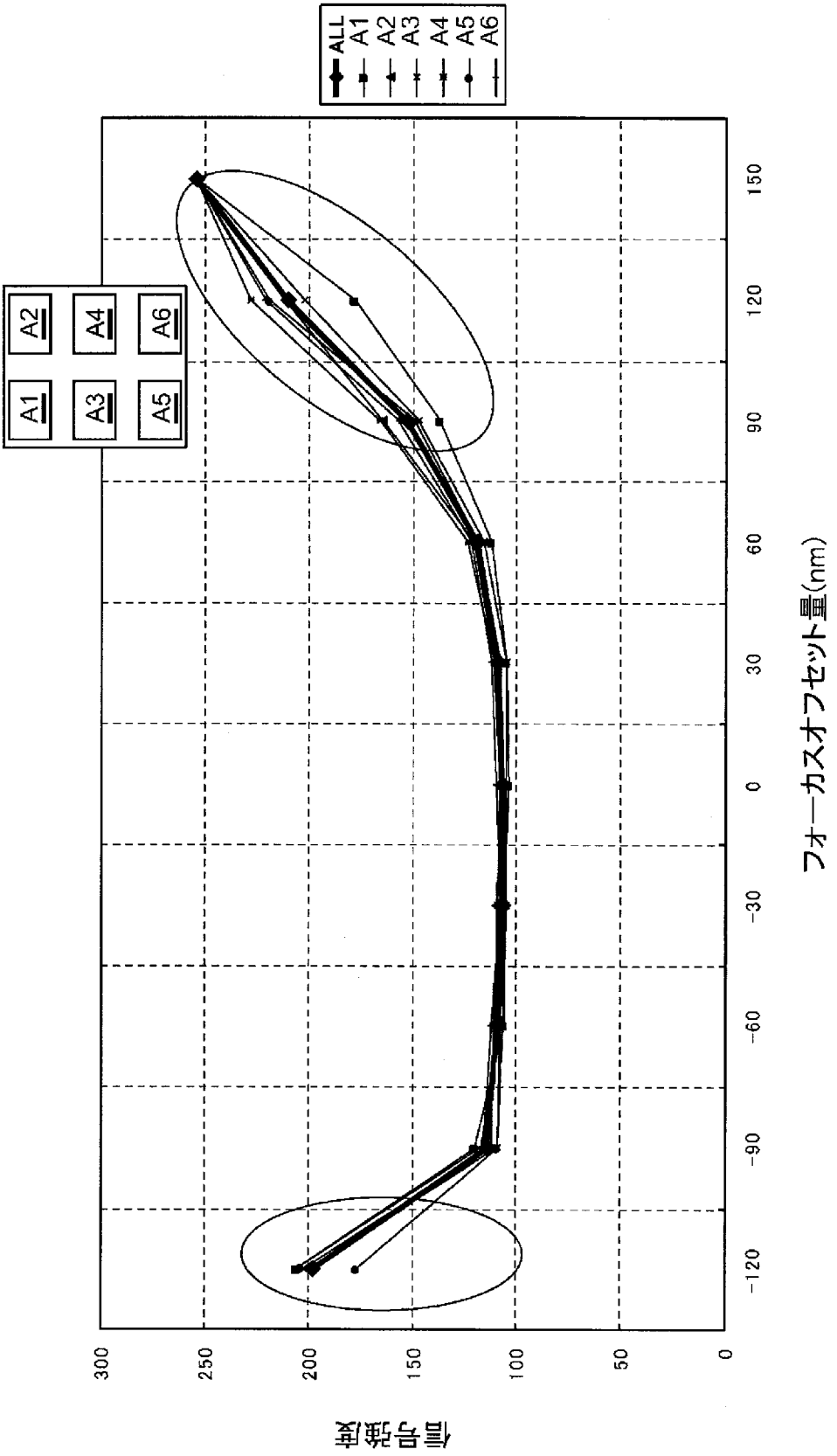
[図6]


A1
A2
A3
A4
A5
A6
ALL
A1
A2
A3
A4
A5
A6
信号強度
0
20
40
60
80
100
120
フォーカスオフセット量(nm)
150
120
90
60
30
0
-30
-60
-90
-120

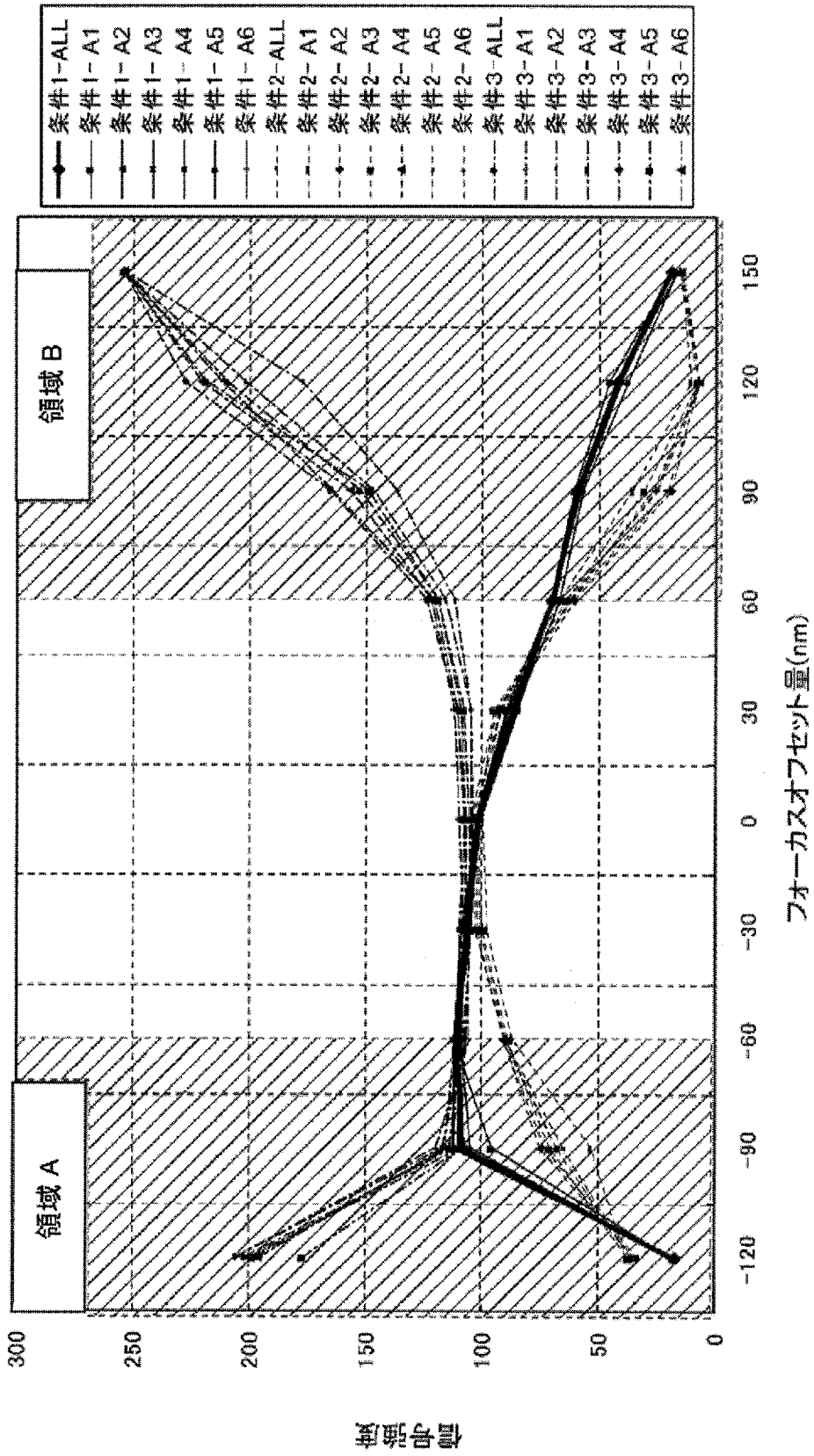
[図7]


ALL
A1
A2
A3
A4
A5
A6
A1
A2
A3
A4
A5
A6
信号強度
120
100
80
60
40
20
0
フォーカスオフセット量(nm)
150
120
90
60
30
0
-30
-60
-90
-120

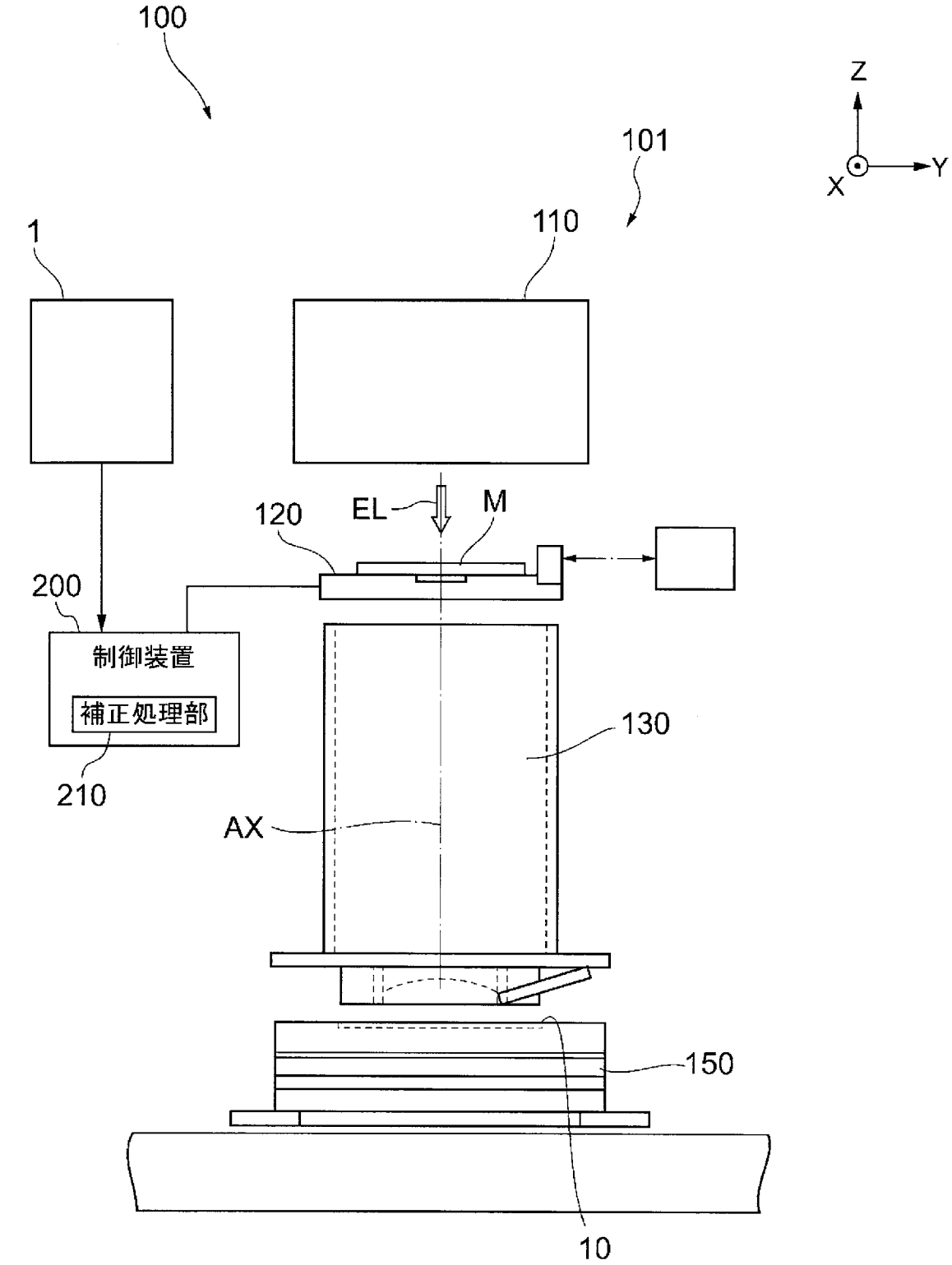
[図8]


ALL
A1
A2
A3
A4
A5
A6
A1
A2
A3
A4
A5
A6
信号強度
300
250
200
150
100
50
0
フォーカスオフセット量(nm)
150
120
90
60
30
0
-30
-60
-90
-120

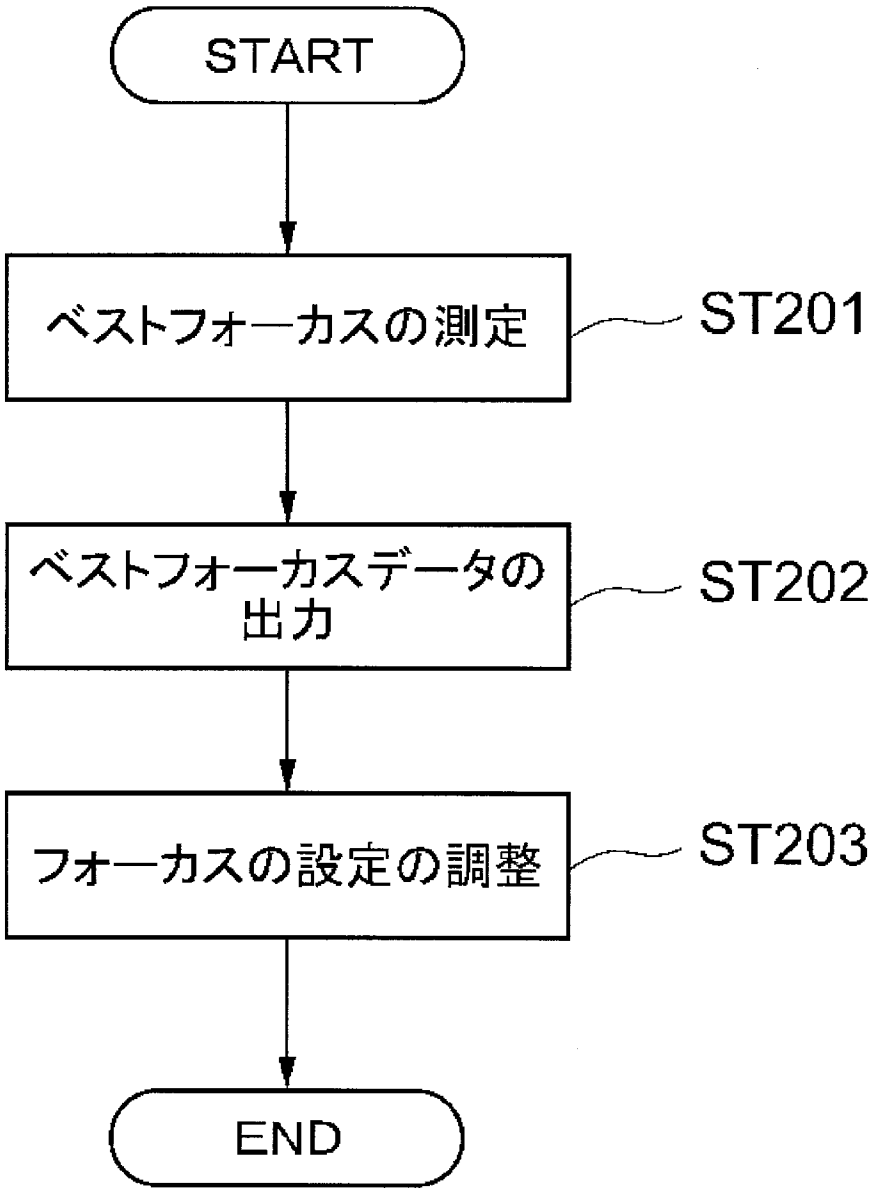
[図9]


条件1-ALL
条件1-A1
条件1-A2
条件1-A3
条件1-A4
条件1-A5
条件1-A6
条件2-ALL
条件2-A1
条件2-A2
条件2-A3
条件2-A4
条件2-A5
条件2-A6
条件3-ALL
条件3-A1
条件3-A2
条件3-A3
条件3-A4
条件3-A5
条件3-A6
領域 B
領域 A
300
250
200
150
100
50
0
150
120
90
60
30
0
-30
-60
-90
-120
信号強度
フォーカスオフセット量(nm)

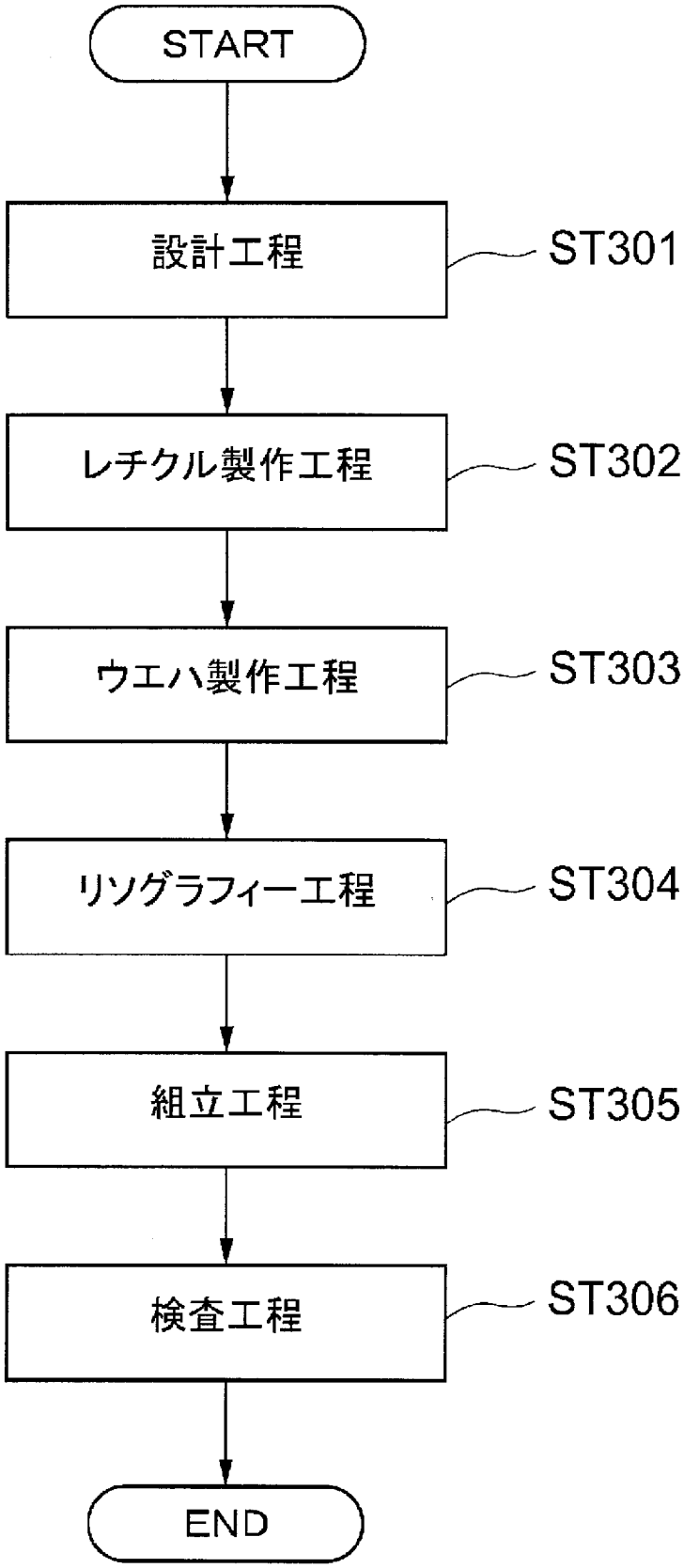
[図10]



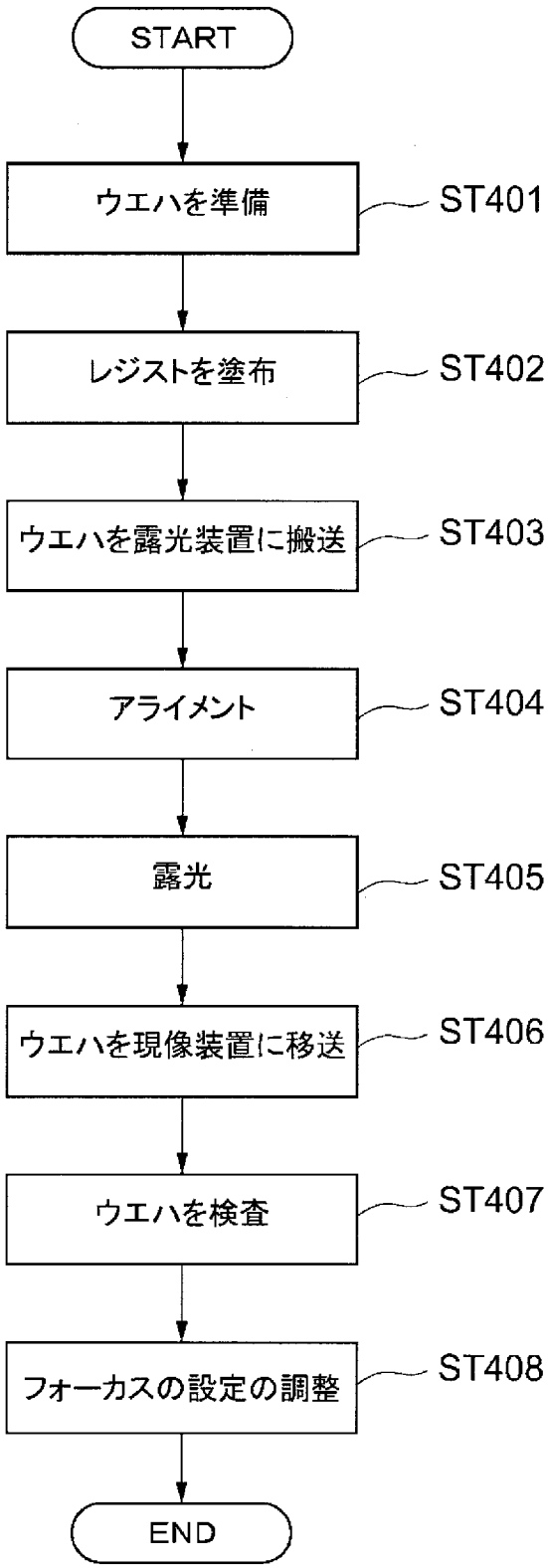
[図11]


START
ベストフォーカスの測定
ST201
ベストフォーカスデータの出力
ST202
フォーカスの設定の調整
ST203
END

[図12]


START
設計工程
ST301
レチクル製作工程
ST302
ウエハ製作工程
ST303
リソグラフィー工程
ST304
組立工程
ST305
検査工程
ST306
END

[図13]


START
ウエハを準備
ST401
レジストを塗布
ST402
ウエハを露光装置に搬送
ST403
アライメント
ST404
露光
ST405
ウエハを現像装置に移送
ST406
ウエハを検査
ST407
フォーカスの設定の調整
ST408
END

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2013/054202

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01L21/027(2006.01)i, *G01B11/00*(2006.01)i, *G03F7/20*(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)
H01L21/027, G01B11/00, G03F7/20

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	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

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.
X Y	WO 2011/001678 A1 (Nikon Corp.), 06 January 2011 (06.01.2011), claim 5; paragraphs [0019] to [0045]; fig. 1 to 12 & US 2012/099120 A1 & EP 2450944 A1 & KR 2012/030150 A & CN 102473600 A & TW 2011/15624 A	1-5,7-12 6,13
Y	JP 2011-40433 A (Nikon Corp.), 24 February 2011 (24.02.2011), paragraphs [0018] to [0022]; fig. 1, 2 (Family: none)	6
Y	JP 2011-40434 A (Nikon Corp.), 24 February 2011 (24.02.2011), paragraphs [0015] to [0019]; fig. 1, 2 (Family: none)	6

☒ 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	Date of mailing of the international search report
10 May, 2013 (10.05.13)	21 May, 2013 (21.05.13)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2013/054202

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2002-93697 A (Tokyo Electron Ltd.), 29 March 2002 (29.03.2002), claim 1; paragraphs [0071] to [0076]; fig. 1, 2, 11 & US 2002/05496 A1 & US 6657215 B2 & KR 2002/06454 A & KR 803483 B1 & TW 0230390 B	13
A	JP 2008-112889 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 15 May 2008 (15.05.2008), paragraphs [0018] to [0071]; fig. 1 to 7 (Family: none)	1-13
A	JP 2002-203768 A (Toshiba Corp.), 19 July 2002 (19.07.2002), paragraph [0013]; fig. 6, 7 & US 2002/087943 A1 & US 6741334 B2	1-13

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１３／０５４２０２

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01L21/027(2006.01)i, G01B11/00(2006.01)i, G03F7/20(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.　H01L21/027, G01B11/00, G03F7/20

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	１９７１－２０１３年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１３年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１３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
X	WO 2011/001678 A1（株式会社ニコン）2011.01.06, ［請求項５］, ［００１９］～［００４５］,図１～図１２ & US 2012/099120 A1 & EP 2450944 A1 & KR 2012/030150 A & CN 102473600 A & TW 2011/15624 A	1-5,7-12
Y		6,13
Y	JP 2011-40433 A（株式会社ニコン）2011.02.24, ［００１８］～［００２２］, 図１, 図２(ファミリーなし)	6

☑　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 １０．０５．２０１３	国際調査報告の発送日 ２１．０５．２０１３
国際調査機関の名称及びあて先 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	特許庁審査官（権限のある職員）　2M　３７０６ 植木　隆和 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２７４

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
Y	JP 2011-40434 A (株式会社ニコン) 2011.02.24, ［００１５］～［００１９］, 図１, 図２(ファミリーなし)	6
Y	JP 2002-93697 A (東京エレクトロン株式会社) 2002.03.29, ［請求項１］, ［００７１］～［００７６］,図１, 図２, 図１１ & US 2002/05496 A1 & US 6657215 B2 & KR 2002/06454 A & KR 803483 B1 & TW 0230390 B	13
A	JP 2008-112889 A (松下電器産業株式会社) 2008.05.15, ［００１８］～［００７１］,図１～図７(ファミリーなし)	1-13
A	JP 2002-203768 A (株式会社東芝) 2002.07.19, ［００１３］, 図６, 図７ & US 2002/087943 A1 & US 6741334 B2	1-13