

(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
2014 年 6 月 26 日(26.06.2014)



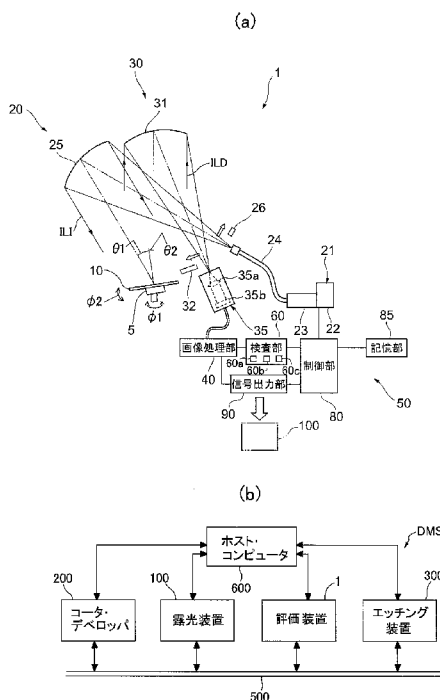
(10) 国際公開番号
WO 2014/098220 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/027 (2006.01) **G02B 17/00** (2006.01)
G01B 11/00 (2006.01) **G02B 19/00** (2006.01)
G02B 7/28 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/084258
- (22) 国際出願日: 2013 年 12 月 20 日(20.12.2013)
- (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 2012-278753 2012 年 12 月 20 日(20.12.2012) 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
1 2 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 1 2 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,
IR, IS, JP, KE, KG, 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, SA, 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 METHOD AND DEVICE, PROCESSING METHOD, AND EXPOSURE SYSTEM

(54) 発明の名称: 評価方法及び装置、加工方法、並びに露光システム



- | | |
|--------------------------|-----------------------|
| 1 Evaluation device | 90 Signal-output unit |
| 40 Image processing unit | 100 Exposure device |
| 60 Inspection unit | 200 Coater/developer |
| 80 Control unit | 300 Etching device |
| 85 Storage unit | 600 Host computer |

(57) Abstract: Using a substrate on which a structure has been provided via processing using a plurality of sets of processing conditions, the present invention evaluates one of said sets of processing conditions with high precision. This evaluation device (1) is provided with the following: an illumination system (20) that uses illuminating light to illuminate a wafer (10) on which a pattern has been provided via exposure using a plurality of sets of exposure conditions, including first exposure conditions and second exposure conditions; a light-reception system (30) and imaging unit (35) that detect light coming from the surface of the wafer (10); and a computation unit (50) that, on the basis of detection results obtained by the imaging unit (35) using first diffraction conditions and second diffraction conditions that differ in terms of illumination conditions and/or detection conditions, estimates the first exposure conditions used when the wafer (10) was exposed.

(57) 要約: 複数の加工条件のもとでの加工により設けられた構造体を有する基板を用いて、その複数の加工条件のうちの一つの加工条件を高精度に評価する。評価装置 1 は、第 1 及び第 2 露光条件を含む複数の露光条件のもとでの露光により設けられたパターンを有するウェハ 10 を照明光で照明する照明系 20 と、ウェハ 10 の表面から発生する光を検出する受光系 30 及び撮像部 35 と、照明条件と検出条件との少なくとも一方が異なる第 1 回折条件及び第 2 回折条件のもとで撮像部 35 により得られた検出結果に基づいて、ウェハ 10 の露光時のその第 1 露光条件を推定する演算部 50 とを備える。

WO 2014/098220 A1

WO 2014/098220 A1



NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI 添付公開書類:

(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, — 国際調査報告 (条約第 21 条(3))
MR, NE, SN, TD, TG).

明 細 書

発明の名称： 評価方法及び装置、加工方法、並びに露光システム
技術分野

[0001] 本発明は、複数の加工条件のもとでの加工により設けられた構造体を有する基板の評価技術、この評価技術を用いる加工技術及び露光技術、並びにその加工技術を用いるデバイス製造技術に関する。

背景技術

[0002] 半導体デバイス等を製造するためのリソグラフィー工程で使用されるスキヤニングステッパー又はステッパー等の露光装置においては、ドーズ量（露光量）、フォーカス位置（投影光学系の像面に対する露光対象の基板のデフォーカス量）、及び露光波長等の複数の露光条件を高精度に管理する必要がある。そのためには、露光装置で基板を露光して、露光された基板に形成されるパターン等を用いて、その露光装置の実際の露光条件を高精度に評価する必要がある。

[0003] 例えば露光装置のフォーカス位置の従来の評価方法として、主光線が傾斜した照明光でレチクルの評価用のパターンを照明し、ステージで基板の高さを変化させながらそのパターンの像をその基板の複数のショットに順次露光し、露光後の現像によって得られたレジストパターンの横ずれ量を計測し、この計測結果から各ショットの露光時のフォーカス位置を評価する方法が知られている（例えば、特許文献1参照）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：米国特許出願公開第2002/0100012号明細書

特許文献2：米国特許出願公開第2007/242247号明細書

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 従来のフォーカス位置の評価方法においては、計測結果にドーズ量のばら

つき等の影響もある程度は含まれている恐れがある。今後、個別の露光条件をより高精度に評価するためには、他の露光条件の影響をできるだけ抑制することが好ましい。

また、従来のフォーカス位置の評価方法では、専用の評価用のパターンを露光する必要があり、実デバイス用のパターンを露光する場合の評価が困難であった。

[0006] 本発明の態様は、このような問題に鑑みてなされたものであり、複数の加工条件（例えば露光条件）のもとでの加工により設けられた構造体を有する基板を用いて、その複数の加工条件のうちの一つの加工条件を高精度に評価することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明の第1の態様によれば、第1及び第2加工条件を含む複数の加工条件のもとでの加工により設けられた構造体を有する基板を照明光で照明する照明部と、その照明光によりその基板の被加工面から発生する光を検出する検出部と、その照明部の照明条件とその検出部の検出条件との少なくとも一方が異なる複数の評価条件のもとでその検出部により得られた検出結果に基づいてその基板の加工時のその第1加工条件とその第2加工条件との少なくとも一方を推定する推定部と、を備える評価装置が提供される。

[0008] また、第2の態様によれば、基板の表面にパターンを露光する投影光学系を有する露光部と、その第1の態様の評価装置と、を備え、その評価装置のその推定部によって推定されるその第1加工条件に応じてその露光部における加工条件を補正する露光システムが提供される。

[0009] また、第3の態様によれば、第1及び第2加工条件を含む複数の加工条件のもとでの加工により設けられた構造体を有する基板を照明光で照明し、その照明光によりその基板の被加工面から発生する光を検出し、その照明光の照明条件とその被加工面から発生する光の検出条件との少なくとも一方が異なる複数の評価条件のもとでその被加工面から発生する光を検出して得られた検出結果に基づいてその基板の加工時のその第1加工条件とその第2加工

条件との少なくとも一方を推定する評価方法が提供される。

[0010] また、第４の態様によれば、基板の表面に加工によりパターンを設け、その第３の態様の評価方法を用いてその基板のその第１加工条件を推定し、その評価方法によって推定されるその第１加工条件に応じてその基板の露光時の加工条件を補正する加工方法が提供される。

また、第５の態様によれば、基板の表面にパターンを設ける加工工程を有するデバイス製造方法であって、その加工工程で第４の態様の加工方法を用いるデバイス製造方法が提供される。

また、第６の態様によれば、基板の表面にパターンを設ける加工工程を有するデバイス製造方法であって、その加工工程で第４の態様の加工方法を用い、製造対象のデバイスに応じてその第２加工条件の変化に対する変化量を抑制するために施す演算式を記憶するデバイス製造方法が提供される。

発明の効果

[0011] 本発明の態様によれば、複数の加工条件のもとでの加工により設けられた構造体を有する基板を用いて、その複数の加工条件のうちの一つの加工条件を高精度に評価できる。

図面の簡単な説明

[0012] [図１]（ａ）は実施形態に係る評価装置の全体構成を示す図、（ｂ）はデバイス製造システムを示すブロック図である。

[図２]（ａ）は光路上に偏光フィルタが挿入された評価装置を示す図、（ｂ）は半導体ウェハの表面のパターンの一例を示す平面図である。

[図３]（ａ）は繰り返しパターンの凹凸構造を示す拡大斜視図、（ｂ）は直線偏光の入射面と繰り返しパターンの周期方向（又は繰り返し方向）との関係を示す図である。

[図４]評価条件を求める方法（条件出し）の一例を示すフローチャートである。

[図５]ドーズ量の評価方法を示すフローチャートである。

[図６]（ａ）は条件振りウェハ１０の一例を示す平面図、（ｂ）は一つのショ

ットを示す拡大図、（c）はショット中の複数の設定領域の配列の一例を示す拡大図である。

[図7]複数の回折条件で撮像されたウェハの像を示す図である。

[図8]（a）は複数のフォーカス変化曲線を示す図、（b）は複数のドーズ変化曲線を示す図である。

[図9]（a）及び（b）はそれぞれ2つの回折条件で計測されたフォーカス変化曲線及びドーズ変化曲線を示す図である。

[図10]（a）はフォーカス位置の残差を示す図、（b）はドーズ量の差分を示す図である。

[図11]（a）はウェハ面のドーズ量の分布の一例を示す図、（b）はウェハ面のフォーカス値の分布の一例を示す図である。

[図12]（a）は条件出しの他の例の要部を示すフローチャート、（b）はフォーカス値の評価方法の要部を示すフローチャートである。

[図13]（a）及び（b）はそれぞれ2つの回折条件で計測されたドーズ変化曲線及びフォーカス変化曲線を示す図である。

[図14]（a）はウェハの要部を示す拡大断面図、（b）は別のウェハの要部を示す拡大断面図、（c）は図14（b）の後工程のウェハを示す拡大断面図、（d）はウェハに形成されたパターンの一部を示す拡大断面図、（e）は2つのスペーサ変化曲線及びその残差を示す図、（f）は2つのエッチング変化曲線及びその差分を示す図である。

[図15]（a）は第2の実施形態の条件出しの一例を示すフローチャート、（b）は第2の実施形態のエッチングの評価方法を示すフローチャートである。

[図16]半導体デバイス製造方法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

[0013] 〔第1の実施形態〕

以下、本発明の好ましい第1の実施形態につき図1～図11を参照して説明する。図1（a）は本実施形態に係る評価装置1を示し、図1（b）は本

実施形態に係るデバイス製造システムDMSを示す。図1（b）において、デバイス製造システムDMSは、半導体基板である半導体ウェハ（以下、単にウェハという。）の表面（ウェハ面）に薄膜を形成する薄膜形成装置（不図示）、ウェハ面に対するレジスト（感光材料）の塗布及び現像を行うコータ・デベロッパ200、レジストが塗布されたウェハ面に半導体デバイス等の回路パターンを露光する露光装置100、並びに露光及び現像後にウェハ面に形成される構造体を用いて加工条件としての露光装置100における露光条件を評価する評価装置1を備えている。露光装置100としては、例えば参照として援用する特許文献2等に記載されている液浸型のスキャニングステッパー（走査型の投影露光装置）が使用される。さらに、デバイス製造システムDMSは、現像後のウェハを加工するエッチング装置、これらの装置間でウェハを搬送する搬送系500、及びこれらの装置間での制御情報の仲介等を行うホスト・コンピュータ600を備えている。

[0014] 図1（a）において、評価装置1は、略円板形のウェハ10を支持するステージ5を備え、図1（b）の搬送系500によって搬送されてくるウェハ10は、ステージ5の上面（載置面）に載置され、例えば真空吸着によって固定保持される。ステージ5は、ステージ5の中心軸を回転軸とする角度 ϕ_1 を制御する第1駆動部（不図示）と、例えばステージ5の上面を通り、図1（a）の紙面に垂直な軸を回転軸とする傾斜角であるチルト角 ϕ_2 （ウェハ10の表面のチルト角）を制御する第2駆動部（不図示）とを介してベース部材（不図示）に支持されている。

[0015] 評価装置1はさらに、ステージ5に支持されたウェハ10の表面（ウェハ面）に照明光ILLIを平行光として照射する照明系20と、照明光ILLIの照射を受けたウェハ面から射出する光（反射光又は回折光等）を集光する受光系30と、受光系30により集光された光を受けてウェハ面の像を検出する撮像装置35と、撮像装置35から出力される画像信号の処理等を行う演算部50と、を備えている。撮像装置35は、ウェハ面の像を形成する結像レンズ35aと、CCD又はCMOS型の2次元の撮像素子35bとを有し

、撮像素子 35 b はウェハ 10 の全面の像を一括して撮像して画像信号を出力する。演算部 50 は、撮像装置 35 から入力されたウェハ 10 の画像信号に基づいてウェハ 10 のデジタル画像（画素毎の輝度、ショット毎に平均化された輝度、又はショットより小さい領域毎に平均化された輝度等）の情報を生成する画像処理部 40 と、画像処理部 40 から出力される画像情報を処理する演算部 60 a, 60 b, 60 c を含む検査部 60 と、画像処理部 40 及び検査部 60 の動作等を制御する制御部 80 と、画像に関する情報等を記憶する記憶部 85 と、得られる露光条件の評価結果をホスト・コンピュータ 600 を介して露光装置 100 内の制御部（不図示）に出力する信号出力部 90 とを備えている。なお、演算部 50 を全体としてコンピュータより構成し、検査部 60 及び制御部 80 等をコンピュータのソフトウェア上の機能としてもよい。

[0016] 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面に向けて平行光として反射する照明側凹面鏡 25 とを有する。照明ユニット 21 は、メタルハライドランプ又は水銀ランプ等の光源部 22 と、制御部 80 の指令により光源部 22 からの光のうち所定の波長（例えば波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 等）の光を選択しその強度を調節する調光部 23 と、調光部 23 で選択され強度が調節された光を所定の射出点から照明側凹面鏡 25 へ射出する導光ファイバ 24 とを有する。一例として、波長 λ_1 は 248 nm、 λ_2 は 265 nm、 λ_3 は 313 nm である。この場合、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いるため、照明側凹面鏡 25 で反射される照明光 IL は平行光束となってウェハ面に照射される。ウェハ 10 に対する照明光の入射角 θ_1 は、制御部 80 の指令によりステージ 5 のチルト角 ϕ_2 を制御することにより調整可能である。

[0017] また、導光ファイバ 24 と照明側凹面鏡 25 との間には、制御部 80 の指令に基づき不図示の駆動部により照明側偏光フィルタ 26 が光路上へ挿抜可能に設けられている。図 1 (a) に示すように、照明側偏光フィルタ 26 を

光路上から抜去した状態では、ウェハ 10 からの回折光 I L D を利用した検査（以下、便宜的に回折検査という。）が行われる。一方、図 2（a）に示すように、照明側偏光フィルタ 26 を光路上に挿入した状態では、偏光（構造的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 P E R 検査という）が行われる。照明側偏光フィルタ 26 は、例えば回転角が制御可能な直線偏光板である。なお、回折検査時においても、照明光 I L I がウェハ 10 の表面に対して S 偏光（入射面に対して垂直な方向の直線偏光）となるように照明側偏光フィルタ 26 を光路上に配置することも可能である。S 偏光を用いた回折検査ではウェハ 10 の下地層の影響を受けにくく最上層の状態を検出できる。

[0018] 受光系 30 は、ステージ 5（ウェハ 10）に対向して配置された受光側凹面鏡 31 を有し、撮像装置 35 の入射部は受光側凹面鏡 31 の焦点面に配置されている。このため、ウェハ面から射出する平行光は受光側凹面鏡 31 により撮像装置 35 に集光され、撮像装置 35 の撮像素子 35 b の撮像面にウェハ 10 の像が結像される。

また、受光側凹面鏡 31 と撮像装置 35 との間には、制御部 80 の指令に基づき不図示の駆動部により受光側偏光フィルタ 32 が光路へ挿脱可能に設けられている。図 1（a）に示すように、受光側偏光フィルタ 32 を光路から取り出した状態で回折検査が行われる。一方、図 2（a）に示すように、受光側偏光フィルタ 32 を光路に挿入した状態で P E R 検査が行われる。受光側偏光フィルタ 32 も、照明側偏光フィルタ 26 と同様に、例えば回転角が制御可能な直線偏光板である。P E R 検査において通常、受光側偏光フィルタ 32 の偏光方向は、照明側偏光フィルタ 26 の偏光方向に対して直交したクロスニコル状態に設定される。

[0019] 制御部 80 の指令により検査部 60 は、最も基本的な動作として、画像処理部 40 から供給されるウェハ 10 のデジタル画像と、記憶部 85 に記憶されている良品ウェハの画像データとを比較して、ウェハ面における欠陥（異常）の有無を検査する。そして、検査部 60 による検査結果及びそのときの

ウェハ面の画像が図示しない画像表示装置で出力表示される。本実施形態では、検査部60は、後述のようにウェハ面の画像を処理して、ウェハ10を露光した露光装置100のドーズ量（露光量又は露光エネルギー）、フォーカス位置（露光面の投影光学系の光軸方向の位置）、露光波長（中心波長及び／又は半値幅）、及び液浸法で露光する場合の投影光学系とウェハとの間の液体の温度等の複数の露光条件のうちの所定の露光条件を評価する。その露光条件の評価結果は露光装置100内の制御部（不図示）に供給され、その評価結果に応じて露光装置100はその露光条件の補正（例えばオフセット又はばらつき等の補正）を行うことができる。

[0020] また、ウェハ10は、露光装置100により最上層のレジストに対して所定のパターンが投影露光され、コート・デベロッパ200による現像後、搬送系500により、評価装置1のステージ5上に搬送される。このとき、ウェハ10は、搬送途中で不図示のアライメント機構によりウェハ10のショット内のパターン、ウェハ面のマーク（例えばサーチアライメントマーク）、又は外縁部（ノッチやオリエンテーションフラット等）を基準としてアライメントが行われた状態で、ステージ5上に搬送される。ウェハ面には、図2（b）に示すように、複数のショット（ショット領域）11が直交する2つの方向（X方向及びY方向とする。）にそれぞれ所定間隔で配列され、各ショット11中には、半導体デバイスの回路パターンとしてラインパターン又はホールパターン等の凹凸の繰り返しパターン12が形成されている。なお、XY面に垂直な軸をZ軸とする。繰り返しパターン12は例えばレジストパターンでもよい。なお、一つのショット11中には複数のチップ領域が含まれていることが多いが、図2（b）では分かりやすく一つのショット中に一つのチップ領域があるものとしている。

[0021] 以上のように構成される評価装置1を用いて、ウェハ面の回折検査（ウェハ10からの回折光ILDを検出して行う検査）を行うには、制御部80が記憶部85に記憶されたレシピ情報（検査条件や手順等）を読み込み、以下の処理を行う。まず、図1（a）に示すように照明側偏光フィルタ26及び

受光側偏光フィルタ 32 を光路から取り出し、搬送系 500 により、ウェハ 10 をステージ 5 上に搬送する。なお、搬送途中で不図示のアライメント機構により得られたウェハ 10 の位置情報に基づいて、ウェハ 10 はステージ 5 上の所定の位置に所定の方向で載置される。

[0022] 次に、ウェハ面における照明光 I L I の入射面の方向（照明方向）と、各ショット 11 内の繰り返しパターン 12 の周期方向（又は繰り返し方向）とが一致するように（ラインパターンの場合、ラインに対して直交するように）ステージ 5 の角度 $\phi 1$ を調整する。また、繰り返しパターン 12 のピッチを P、ウェハ 10 に入射する照明光 I L I の波長を λ 、照明光 I L I の入射角を $\theta 1$ 、ウェハ面から射出する検出対象の n 次（n は 0 以外の整数）の回折光 I L D の回折角を $\theta 2$ としたとき、次の数式（数 1）を満足するようにステージ 5 のチルト角 $\phi 2$ を調整する。

[0023] [数 1]

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

[0024] 次に、照明ユニット 21 からの所定の選択された波長の照明光 I L I の射出を開始する。これにより、導光ファイバ 24 から射出される照明光 I L I が照明側凹面鏡 25 で反射され、平行光となってウェハ面に照射される。ウェハ面で回折した回折光 I L D は、受光側凹面鏡 31 により撮像装置 35 に集光され、撮像装置 35 の撮像面にウェハ 10 の全面の像（回折像）が結像される。撮像装置 35 はその像の画像信号を画像処理部 40 に出力し、画像処理部 40 はウェハ面のデジタル画像を生成し、その画像の情報を検査部 60 に出力する。この場合、上記数式（数 1）の条件を満たすことによって、その撮像面に回折光 I L D によるウェハ面の像が形成される。

[0025] そして、そのウェハ面の像から得られるデジタル画像の個々の画像信号のレベル（対応する部分の画像の輝度）が平均的にある強度（輝度）以上となるときの、照明光 I L I の波長 λ 及びステージ 5 のチルト角 $\phi 2$ （入射角 $\theta 1$ 又は回折角 $\theta 2$ ）の組み合わせを一つの回折条件と呼ぶ。そして、複数の回折条件が上記のレシピ情報に含まれている。なお、実際には、得られるデ

デジタル画像の対応する部分の画像の輝度が平均的にある輝度以上となるように、ステージ5のチルト角 ϕ 2を調整してもよい。このようなチルト角 ϕ 2の調整方法は回折条件サーチとも呼ぶことができる。

[0026] 次に、評価装置1によるウェハ面のP E R検査（反射光の偏光状態の変化に基づく検査）につき説明する。この場合、図2（b）のウェハ面の繰り返しパターン12は、図3（a）に示すように、複数のライン部2Aがその短手方向である配列方向（ここではX方向）に沿って、スペース部2Bを挟んで一定のピッチ（周期）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。ライン部2Aの配列方向（X方向）を、繰り返しパターン12の周期方向（又は繰り返し方向）とも呼ぶ。

[0027] ここで、繰り返しパターン12におけるライン部2Aの線幅 D_A の設計値をピッチPの $1/2$ とする。設計値通りに繰り返しパターン12が形成された場合、ライン部2Aの線幅 D_A とスペース部2Bの線幅 D_B は等しくなり、ライン部2Aとスペース部2Bとの体積比は略1：1になる。これに対して、繰り返しパターン12を形成する際の露光装置100におけるフォーカス位置がベストフォーカス位置（適正值）から外れると、ピッチPは変わらないが、ライン部2A及びスペース部2Bの線幅 D_A 、 D_B が設計値と異なってしまい、ライン部2Aとスペース部2Bとの体積比が略1：1から外れる。

[0028] P E R検査は、上記のような繰り返しパターン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反射光の偏光状態の変化を利用して、繰り返しパターン12の状態（良否等）の検査を行うものである。なお、説明を簡単にするため、理想的な体積比（設計値）を1：1とする。体積比の変化は、フォーカス位置の適正值からのずれ等に起因し、ウェハ10のショット11ごとに、さらにはショット11内の複数の領域ごとに現れる。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。

[0029] 本実施形態の評価装置1を用いて、ウェハ面のP E R検査を行うには、制御部80が記憶部85に記憶されたレシピ情報（検査条件や手順等）を読み込み、以下の処理を行う。まず、図2（a）に示すように、照明側偏光フィ

ルタ 26 及び受光側偏光フィルタ 32 が光路上に挿入される。そして、図 1 (b) の搬送系 500 により、ウェハ 10 をステージ 5 上に搬送する。なお、搬送途中で不図示のアライメント機構により得られたウェハ 10 の位置情報に基づいて、ウェハ 10 はステージ 5 上の所定の位置に所定の方向で載置される。また、PER 検査を行うとき、ステージ 5 のチルト角は、受光系 30 でウェハ 10 からの正反射光 ILR を受光できるように、すなわち入射する照明光 ILI の入射角 (図 2 (a) では角度 $\theta 3$) に対して受光系 30 で受光する光のウェハ面に対する反射角が等しくなるように設定される。さらに、ステージ 5 の回転角は、ウェハ面における繰り返しパターン 12 の周期方向が、図 3 (b) に示すように、ウェハ面における照明光 (図 3 (b) では P 偏光の直線偏光の光 L としている) の振動方向に対して、45 度で傾斜するように設定される。繰り返しパターン 12 からの反射光の信号強度を最も高くするためである。また、周期方向とその振動方向との角度を 22.5 度や 67.5 度とすることによって検出感度 (露光条件の変化に対する検出信号の変化の比率) が高くなる場合には、その角度を変更してもよい。なお、その角度はこれらに限らず、任意角度に設定可能である。

[0030] 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 (方向) に設定され、透過軸に応じて照明ユニット 21 からの光から偏光成分 (直線偏光) を抽出する (透過させる)。本実施形態では、一例として、導光ファイバ 24 から射出された光は、照明側偏光フィルタ 26 及び照明側凹面鏡 25 を介し P 偏光の直線偏光 L (図 3 (b) 参照) となってウェハ面に照射される。

[0031] このとき、ウェハ面に入射する照明光 ILI (ここでは直線偏光の光 L) が P 偏光であるため、図 3 (b) に示すように、繰り返しパターン 12 の周期方向が光 L の入射面 (ウェハ面における光 L の進行方向) に対して 45 度の角度に設定された場合、ウェハ面における光 L の振動方向と繰り返しパターン 12 の周期方向とのなす角度も、45 度に設定される。言い換えると、直線偏光の光 L は、ウェハ面における光 L の振動方向が繰り返しパターン 1

2の周期方向に対して45度傾いた状態で、繰り返しパターン12を斜めに横切るようにして入射する。

[0032] ウェハ面で反射した平行光の正反射光 I_{LR} は、受光系30の受光側凹面鏡31により集光されて受光側偏光フィルタ32を介して撮像装置35の撮像面に達する。このとき、繰り返しパターン12での構造的複屈折により正反射光 I_{LR} （ここでは直線偏光の光 L ）の偏光状態が例えば楕円偏光に変化する。受光側偏光フィルタ32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（クロスニコルの状態に）設定されている。従って、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光 L と振動方向が略直角な偏光成分が抽出されて、撮像装置35に導かれる。その結果、撮像装置35の撮像面には、ウェハ10からの正反射光のうち光 L に対して振動方向が略直角な偏光成分（光 L が P 偏光であれば S 偏光成分）によるウェハ面の像が形成される。なお、楕円偏光の短軸方向が光 L の偏光方向と直交していない場合は、受光側偏光フィルタ32の透過軸をその楕円偏光の短軸方向に合わせるようにしてもよい。これによって、検出感度（露光条件の変化に対する検出信号の変化の比率）が向上する場合がある。

[0033] そして、撮像装置35はそのウェハ面の像の画像信号を画像処理部40に出力し、画像処理部40はウェハ面のデジタル画像を生成し、その画像の情報を検査部60に出力する。検査部60はその画像の情報をを用いてウェハ10の繰り返しパターン12を形成する際に使用された露光装置における露光条件等を評価する。なお、照明側偏光フィルタ26を回転してウェハ面に入射する照明光 I_{LI} の偏光方向を P 偏光からずらすことも可能である。ただし、この場合でも、受光側偏光フィルタ32の偏光方向は照明側偏光フィルタ26に対してクロスニコル状態に設定される。そのようにデジタル画像を生成したときに、照明光 I_{LI} の波長 λ 及び照明側偏光フィルタ26の角度の組み合わせを一つの偏光条件と呼ぶ。なお、例えば照明光 I_{LI} の入射角 θ_3 （すなわち反射角 θ_3 ）を変更する機構を設けることも可能であり、こ

のように入射角を変更する場合には、入射角も一つの偏光条件に含まれる。
そして、複数の偏光条件が上記のレシピ情報に含まれている。

[0034] 次に、本実施形態において、評価装置 1 を用いてウェハ面のパターンからの光を検出して、そのパターンを形成する際に使用した露光装置 100 の露光条件を評価する方法の一例につき図 5 のフローチャートを参照して説明する。また、その評価に際して予め評価条件を求める必要があるため、その評価条件を求める方法（以下、条件出しとも呼ぶ。）の一例につき図 4 のフローチャートを参照して説明する。ここでは、一例として評価装置 1 を用いてウェハ面の回折検査（ウェハ 10 からの回折光 I L D を検出して行う検査）を行うものとする。このため、図 1（a）に示すように、評価装置 1 の光路から照明側偏光フィルタ 26 及び受光側偏光フィルタ 32 が取り出される。さらに、露光装置 100 のドーズ量及びフォーカス位置を含む複数の露光条件のうち、ドーズ量の評価を行うものとする。

[0035] まず、条件出しのために、図 4 のステップ 102（条件振りウェハの作成）において、図 6（a）に示すように、一例としてスクライブライン領域 S L を挟んで N 個（N は例えば数 10 ～ 100 程度の整数）のショット S A n（ $n = 1 \sim N$ ）が配列されるウェハ 10 a が用意される。そして、レジストを塗布したウェハ 10 a を図 1（b）の露光装置 100 に搬送し、露光装置 100 によって、ウェハ 10 a の例えば走査露光時の走査方向（ショットの長手方向）に配列されたショット間ではフォーカス位置が次第に変化し、走査方向に直交する非走査方向（ショットの短辺方向）に配列されたショット間ではドーズ量が次第に変化するように、露光条件を変化させながら各ショット S A n に同じ実デバイス用のレチクル（不図示）のパターンを露光する。この際に、フォーカス位置及びドーズ量の制御精度を高めるために、例えば走査露光時の走査速度を遅くしてもよい。その後、露光済みのウェハ 10 a を現像することによって、各ショット S A n に異なる露光条件のもとで繰り返しパターン 12 が形成されたウェハ（以下、条件振りウェハという。）10 a が作成される。

[0036] なお、通常、実デバイス用のレチクルには複数のピッチで周期方向が同一又は直交する複数のパターンが形成されており、各ショット SAn にもピッチ P の繰り返しパターン 12 の外に異なるピッチのパターンも形成される。さらに、例えばピッチ P の繰り返しパターンをそれよりも大きいピッチ $P1$ ($>P$) で配列したパターンブロックがある場合、このパターンブロックからはピッチ $P1$ のパターンから発生する回折光と同じ回折光が発生するため、実質的にピッチ $P1$ のパターンがあるとみなして回折検査を行うことも可能である。

[0037] 以下では、フォーカス位置として、ベストフォーカス位置（ベストフォーカス位置は、土にフォーカスを振った時に線幅の変動が最も小さくなる位置を言う。ただし、本明細書内では、露光装置 100 に設定されているベストフォーカス位置を指す。）に対するデフォーカス量（ここではフォーカス値と呼ぶ。）を用いるものとする。フォーカス位置に関しては、一例としてフォーカス値が 30 nm 刻みで -60 nm, -30 nm, 0 nm, +30 nm, +60 nm の 5 段階に設定される。後述の図 8 (a) の横軸のフォーカス値の番号 1~5 は、その 5 段階のフォーカス値 (-60~+60 nm) に対応している。なお、フォーカス値を例えば 50 nm 刻みで複数段階に設定することも可能であり、フォーカス値を例えば 25 nm 刻みで -200 nm~+200 nm の 17 段階等に設定することも可能である。

[0038] そして、ドーズ量は、一例として、1.5 mJ 刻みで 9 段階 (10.0 mJ, 11.5 mJ, 13.0 mJ, 14.5 mJ, 16.0 mJ, 17.5 mJ, 19.0 mJ, 20.5 mJ, 22.0 mJ) に設定される。後述の図 8 (b) の横軸のドーズ量の番号 1~9 は、その 9 段階のドーズ量 (10.0~22.0 mJ) に対応している。なお、実際の半導体デバイス用のパターンの露光に要する最適な露光量（ベストドーズ）は、パターンによって 5 mJ~40 mJ 程度であり、ドーズ量はそのパターンのベストドーズを中心として 0.5 mJ~2.0 mJ 程度の間隔で変化させることが望ましい。

[0039] 本実施形態の条件振りウエハ 10a は、ドーズ量（露光量又は露光エネルギー）

ギー)とフォーカス位置とをマトリックス状に振って露光し現像したいいわゆるFEMウェハ(Focus Exposure Matrixウェハ)である。なお、フォーカス値の段階数にドーズ量の段階数を掛けて得られる露光条件の組み合わせの異なるショットの個数が、条件振りウェハ10aの全面のショット数よりも多い場合には、条件振りウェハ10aを複数枚作成してもよい。

[0040] 逆に、例えばショットSAnの走査方向の配列数がフォーカス値の変化の段階数よりも大きい場合、及び／又は非走査方向の配列数がドーズ量の変化の段階数よりも大きい場合には、走査方向及び／又は非走査方向に配列されたショットの一部のショットのみを露光してもよい。ただし、この場合、フォーカス値及びドーズ量を変化させて露光した複数のショットを、走査方向又は非走査方向に複数組設け、フォーカス値及びドーズ量が同じショットに関して得られる計測値を平均化してもよい。また、例えばウェハの中心部と周辺部とのレジストの塗布むらの影響、及び走査露光時のウェハの走査方向(図2(b)の+Y方向又は-Y方向)の相違の影響等を軽減するために、フォーカス値及びドーズ量が異なる複数のショットをランダムに配列してもよい。

[0041] 条件振りウェハ10aを作成すると、条件振りウェハ10aを図1(a)の評価装置1のステージ5上に搬送する。そして、制御部80は記憶部85のレシピ情報から複数の回折条件を読み出す。複数の回折条件としては、一例として照明光ILLの波長 λ が上記の λ_1 、 λ_2 、 λ_3 のいずれかとなり、ステージ5のチルト角 ϕ_2 が上記数式(数1)を満たす5つの角度 $D_1 \sim D_5$ のいずれかになる15($=3 \times 5$)個の条件を想定する。ここでは、波長 λ が λ_n ($n=1 \sim 3$)で、チルト角 ϕ_2 が D_m ($m=1 \sim 5$)になる回折条件を図8(a)及び(b)の($n-D_m$)で表す。

[0042] そして、回折条件をその15個の条件のうちの $n=1$ で $m=1 \sim 5$ 、 $n=2$ で $m=1 \sim 5$ 、 $n=3$ で $m=1 \sim 5$ の条件に順次設定し、各回折条件のもとで、照明光ILLを条件振りウェハ10aの表面に照射し、撮像装置35が条件振りウェハ10aの回折光の像を撮像して画像信号を画像処理部40

に出力する（ステップ104）。なお、このとき、回折条件サーチを利用して回折条件を求めてもよい。図7は、その15個の回折条件（ $n - Dm$ ）で撮像された条件振りウエハ10aの像A1～A15の輝度分布の一例を示す。

[0043] 次に、画像処理部40は、撮像装置35から入力された条件振りウエハ10aの画像信号に基づいて、複数（ここでは15個）の回折条件のそれぞれに関して条件振りウエハ10aの全面のデジタル画像を生成する。そして、その複数の回折条件に関して、それぞれ対応するデジタル画像を用いて、条件振りウエハ10aのスクライブライン領域SLを除いた全部のショットSA_n（図6（b）参照）内の全部の画素の信号強度を平均化した平均信号強度を算出し、算出結果を検査部60に出力する（ステップ106）。なお、その平均信号強度をショット平均輝度（又はショット内平均輝度）とも呼ぶ。このようにショット平均輝度を算出するのは、露光装置100の投影光学系の収差の影響等を抑制するためである。なお、その収差の影響等をさらに抑制するために、例えば図6（b）のショットSA_nの中央部の部分領域CA_n内の全部の画素の信号強度を平均化した平均信号強度（平均輝度）を算出してもよい。

[0044] ただし、予め投影光学系の収差の影響（デジタル画像に与える誤差分布）を求めておき、デジタル画像の段階でその収差の影響を補正することも可能である。この場合には、ショット平均輝度の代わりに、ショットSA_n内の1個（1は例えば数10の整数）の長方形等の設定領域16（図6（c）参照）毎に平均信号強度（平均輝度）を算出し、例えばショットSA_n内で同じ位置にある設定領域16の平均輝度を用いてこれ以降の処理を行うようにしてもよい。設定領域16の配列は、例えば走査方向に6行で非走査方向に5列であるが、その大きさ及び配列は任意である。

[0045] そして、検査部60内の第1演算部60aは、その複数の回折条件（ $n - Dm$ ）のそれぞれに関して得られる条件振りウエハ10aの全部のショット平均輝度から、露光条件中のドーズ量が同じでフォーカス値が5段階に変化

するときの平均輝度の変化特性をフォーカス変化曲線として抽出し、記憶部 85 に記憶する（ステップ 108）。図 8（a）は、そのうちでドーズ量がベストドーズであるときに回折条件（ $n-Dm$ ）で得られる複数（ここでは 15 個）のフォーカス変化曲線を示す。図 8（a）、（b）の縦軸はショット平均輝度の相対値、図 8（a）の横軸は第 1 段階～第 5 段階のフォーカス値（ $-100 \sim +100 \text{ nm}$ ）である。

[0046] また、その第 1 演算部 60a は、その複数の回折条件（ $n-Dm$ ）のそれぞれに関して得られる全部のショット平均輝度から、露光条件中のフォーカス値が同じでドーズ量が 9 段階に変化するときの平均輝度の変化特性をドーズ変化曲線として抽出し、記憶部 85 に記憶する（ステップ 110）。図 8（b）は、そのうちでフォーカス値が 0（ベストフォーカス位置）であるときに回折条件（ $n-Dm$ ）で得られる複数のドーズ変化曲線を示す。図 8（b）の横軸は第 1 段階～第 9 段階のドーズ量（ $10.0 \sim 22.0 \text{ mJ}$ ）である。

[0047] その後、その第 1 演算部 60a は、上記の複数の回折条件から、フォーカス変化曲線が同じ傾向（例えばフォーカス値が増加するときに両方のショット平均輝度がほぼ同じように増減する特性）を持ち、ドーズ変化曲線が逆の傾向（例えばドーズ量が増加するときに一方のショット平均輝度がほぼ増加して他方のショット平均輝度がほぼ減少する特性）を持つ第 1 及び第 2 の回折条件を選択し、選択された 2 つの回折条件を記憶部 85 に記憶する（ステップ 112）。本実施形態では、そのような第 1 及び第 2 の回折条件として（ $n=1$, $m=2$ ）の（ $1-D2$ ）及び（ $n=3$, $m=3$ ）の（ $3-D3$ ）を選択する。図 9（a）は、図 8（a）の 15 個のフォーカス変化曲線のうち、回折条件（ $1-D2$ ）及び（ $3-D3$ ）のもとで得られた 2 つのフォーカス変化曲線 B2 及び B13 を示し、図 9（b）は、図 8（b）の 15 個の変化曲線のうち、回折条件（ $1-D2$ ）及び（ $3-D3$ ）のもとで得られた 2 つのドーズ変化曲線 C2 及び C13 を示す。フォーカス変化曲線 B2 及び B13 は同じ傾向で変化しており、ドーズ変化曲線 C2 及び C13 は逆の傾

向で変化していることが分かる。

[0048] そして、第1演算部60aは、第1の回折条件(1-D2)で得られたフォーカス変化曲線B2をゲインa(任意の倍率又は比例係数)及びオフセットbで補正した曲線B2A(図10(a)参照)と、第2の回折条件(3-D3)で得られたフォーカス変化曲線B13とが一致するように、すなわち補正後の曲線B2Aとフォーカス変化曲線B13との差分(以下、フォーカス残差という。)ΔBが最小になるようにゲインa及びオフセットbを決定し、これらのゲインa及びオフセットbを記憶部85に記憶する(ステップ114)。なお、図10(a)の右側の縦軸がフォーカス残差ΔBの値である。この場合、一例として、フォーカス変化曲線B2、B13のフォーカス値が F_i ($i=1\sim5$)のときの値を $LB2(F_i)$ 、 $LB13(F_i)$ として、次の差分の自乗和である誤差が最小になるようにゲインa及びオフセットbを決定してもよい。図9(a)の場合、曲線B2の値は曲線B13よりも大きいため、ゲインaは1より小さい値になる。下記数式(数2)中の積算はフォーカス値 F_i ($i=1\sim5$)に関して実行される。

[0049] [数2]

$$\text{誤差} = \sum \{ LB13(F_i) - (a \cdot LB2(F_i) + b) \}^2$$

[0050] なお、ゲインa及びオフセットbは、露光対象のレチクルのパターン毎にそれらの値を決定して記憶してもよい。

また、第2の回折条件(3-D3)で得られたフォーカス変化曲線B12をゲインa'(比例係数又は倍率)及びオフセットb'で補正した曲線と、第1の回折条件(1-D2)で得られたフォーカス変化曲線B2とが一致するようにゲインa'及びオフセットb'を決定してもよい。さらに、曲線B2A及びフォーカス変化曲線B13をフォーカス値 F_i に関する高次多項式(例えば4次の多項式)で近似し、これらの差分の自乗和が最小になるようにa、bの値を決定してもよい。また、ゲインa又はオフセットbのみを使用して、一方のフォーカス変化曲線を補正し、この補正後の曲線が他方のフォーカス変化曲線とできるだけ一致するようにa又はbの値を決定してもよい。

い。さらに、例えばフォーカス値 F_i ごとに、補正後の差分が 0 になるように一方のフォーカス変化曲線に掛ける係数 c_{fi} を独立に決定してもよい。

なお、2つのフォーカス変化曲線の特性が相反する傾向（例えばフォーカス値 F_x の変化に対して、一方の曲線 F_{A1} が凸状に変化して他方の曲線 F_{B1} が凹状に変化すること）を持ち、ドーズ変化曲線の特性が同じ傾向（例えばドーズ量の変化に対して、2つの曲線 D_{A1} , D_{A2} がほぼ単調に増加又は減少すること）を持つ2つの回折条件を用いることも可能である。この場合、一方の曲線 F_{A1} を関数 $(f_a(F_x) + f_{b1})$ (f_b は定数) とすると、他方の曲線 F_{B1} はほぼ関数 $(-f_{b1} \cdot f_a(F_x) + f_{b2})$ (f_{b1} , f_{b2} は定数で、 f_{b1} は正) となり、曲線 F_{B1} を曲線 F_{A1} に合わせるためのゲイン a_1 は $-1 / f_{b1}$ という負の値になる。このため、上記数式(数2)の右辺の括弧内の演算は、ゲイン a_1 に関しては、曲線 F_{A1} と、曲線 F_{B1} に定数 $(1 / f_{b1})$ を掛けた値との和になる。

[0051] 次に、第1演算部60aは、図9(b)の第1の回折条件 $(1 - D_2)$ で得られたドーズ変化曲線 C_2 をステップ114で算出されたゲイン a 及びオフセット b で補正した曲線 C_{2A} (図10(b)参照) と、第2の回折条件 $(3 - D_3)$ で得られたドーズ変化曲線 C_{13} との差分(ドーズ差分)をドーズ量の関数で表した曲線(以下、基準ドーズ曲線という。) SD_1 を算出し、算出された図10(b)の基準ドーズ曲線 SD_1 を記憶部85に記憶する(ステップ116)。なお、図10(b)の右側の縦軸がドーズ差分の値である。また、基準ドーズ曲線 SD_1 もドーズ量に関する1次式又は高次多項式で近似してもよい。以上の動作によって、露光装置100の露光条件を評価する際に使用する評価条件である第1及び第2の回折条件を求める条件出しが終了したことになる。

[0052] 次に、実際のデバイス製造工程において露光装置100による露光によってパターンが形成されたウェハに対して、評価装置1によって上記の条件出しで求められた2つの回折条件 $(1 - D_2)$ 及び $(3 - D_3)$ を用いる回折検査を行うことによって、露光装置100の露光条件中のドーズ量を以下の

ように評価する。この評価動作はドーズモニターと呼ぶこともできる。まず、図5のステップ120において、図6(a)と同じショット配列を持ち、レジストを塗布した実露光用のウェハ10を図1(b)の露光装置100に搬送し、露光装置100によって、ウェハ10の各ショットSA_n (n=1~N) に実デバイス用のレチクル(不図示)のパターンを露光し、露光後のウェハ10を現像する。この際の露光条件は、全部のショットにおいて、ドーズ量に関してはそのレチクルに応じて定められているベストドーズであり、フォーカス位置に関してはベストフォーカス位置である。

[0053] しかしながら、実際には露光装置100における走査露光時のスリット状の照明領域内の例えば非走査方向における僅かな照度むら等の影響によって、ウェハ10のショットSA_n毎に、さらに各ショットSA_n内の複数の設定領域16毎にドーズ量にばらつき等が生じる可能性があるため、そのドーズ量の評価を行う。さらに、露光装置100における振動等の影響によって、ショットSA_n毎に、さらに各ショットSA_n内の複数の設定領域16毎にフォーカス位置にもばらつき等が生じる可能性がある。この場合、単に回折検査を行うとその検査結果にはドーズ量の外にフォーカス位置に起因する部分も含まれているため、そのフォーカス位置の影響を以下のようにして排除する。

[0054] 露光及び現像後のウェハ10は、不図示のアライメント機構を介して図1(a)の評価装置1のステージ5上にロードされる(ステップ122)。そして、制御部80は記憶部85のレシピ情報から上記の条件出しで決定された第1及び第2の回折条件(1-D2)及び(3-D3)を読み出す。そして、回折条件を順次その第1及び第2の回折条件に設定し、各回折条件のもとで、それぞれ照明光I_Lをウェハ10の表面に照射し、撮像装置35がウェハ10の回折光の像を撮像して画像信号を画像処理部40に出力する(ステップ124)。

なお、上述の図4の条件出し工程中のステップ104において、複数の回折条件のもとで得られた図7に示す条件振りウェハの像A1~A13のうち

、その第1の回折条件（ $1-D_2$ ）のもとで得られた像が像A2であり、その第2の回折条件（ $3-D_3$ ）のもとで得られた像が像A13である。このため、その第1及び第2の回折条件のもとで撮像されたウェハ10の各部分の像の輝度は、それぞれ像A2及びA13中で、ウェハ10の当該部分のドーズ量及びフォーカス値が条件振りウェハ中でほぼ同じになる部分の像の輝度とほぼ同じになる。

[0055] 次に、画像処理部40は、撮像装置35から入力されたウェハ10の画像信号に基づいて、第1及び第2の回折条件のそれぞれに関してウェハ10の全面のデジタル画像を生成する。そして、その第1及び第2の回折条件に関して、それぞれ対応するデジタル画像を用いて、ウェハ10の全部のショットSA_n内の1個の設定領域16（図6（c）参照）毎に平均信号強度（平均輝度）を算出し、算出結果を検査部60に出力する（ステップ126）。なお、その設定領域16の代わりに撮像装置35の撮像素子の各画素に対応する領域を使用してもよい。ここで、第1及び第2の回折条件のもとでn番目のショット内のi番目の設定領域16で得られる平均輝度をそれぞれ L_{1ni} 及び L_{2ni} とする（ $n=1\sim N$ ， $i=1\sim I$ ）。これらの平均輝度にはそれぞれフォーカス変化曲線及びドーズ変化曲線の2つの値が含まれている。

[0056] そして、検査部60内の第3演算部60cは、ウェハ10の全部の設定領域16毎に、第1の回折条件（ $1-D_2$ ）で得られた平均輝度 L_{1ni} を上記のステップ114で算出されたゲインa及びオフセットbで補正した輝度 L_{1ni}' から、第2の回折条件（ $3-D_3$ ）で得られた平均輝度 L_{2ni} を減算して平均輝度の差分 Δn_i を算出し、算出結果を記憶部85に記憶する（ステップ128）。この差分 Δn_i からは、図10（a）の補正後のフォーカス変化曲線B2A，B13に対応する成分がほぼ除去されており、図10（b）の補正後のドーズ変化曲線C2A，C13の差分に対応する成分のみがほぼ残されている。

[0057] そこで、第3演算部60cは、ウェハ10の全部の設定領域16毎に、上

記のステップ116で記憶した図10(b)の基準ドーズ曲線SD1に上記の平均輝度の差分 Δn_i を当てはめて対応するドーズ量 $D n_i$ を算出又は推定し、算出結果又は推定結果を記憶部85に記憶する(ステップ130)。このように算出又は推定されるドーズ量 $D n_i$ からはフォーカス位置に起因する成分が除去されている。その後、制御部80がドーズ量 $D n_i$ を例えば明るさ(又は色を変化させてもよい)に換算してウェハ10の全面のドーズ分布(例えば図11(a)の画像で表される分布)を表示装置(不図示)に表示する(ステップ132)。さらに、制御部80の制御のもとで信号出力部90からホスト・コンピュータ600を介して露光装置100に、ウェハ10の全面のドーズ分布の情報が提供される(ステップ134)。これに応じて露光装置100の制御部(不図示)では、例えばそのドーズ分布とベストドーズとの差分の分布を求め、この差分の分布が所定の許容範囲を超えている場合に、例えば走査露光時の照明領域の走査方向の幅の分布の補正等を行う。これによって、その後の露光時にドーズ分布の誤差が低減される。

[0058] この実施形態によれば、実デバイス用のパターンが形成されたウェハ10を用いて2つの回折条件のもとで回折検査を行うことによって、そのパターンの形成時に使用された露光装置100の露光条件中のドーズ量をフォーカス位置の影響を除去して高精度に推定又は評価できる。

上述のように、本実施形態の評価装置1は、ドーズ量及びフォーカス位置(第1及び第2露光条件)を含む複数の露光条件のもとでの露光により設けられた凹凸の繰り返しパターン12(構造体)を有するウェハ10を照明光で照明する照明系20と、その照明光によりウェハ10の表面(露光面)から発生する光を検出する受光系30及び撮像部35(検出部)と、その照明系20の照明条件(波長 λ 等)とその受光系30及び撮像部35の検出条件(ステージ5のチルト角 ϕ 2等)との少なくとも一方が異なる第1及び第2の回折条件(評価条件)のもとで撮像部35により得られた検出結果に、そのフォーカスの変化に対する変化量を抑制する演算を施して得られる演算結果から、ウェハ10の露光時のドーズ量を算出又は推定する演算部50と、

を備えている。

[0059] また、評価装置 1 を用いる評価方法は、ウェハ 10 を照明光で照明し、その照明光によりウェハ 10 の繰り返しパターン 12 が形成された表面から発生する光を検出するステップ 124 と、その照明光の照明条件とウェハ 10 の表面から発生する光の検出条件との少なくとも一方が異なる第 1 及び第 2 の回折条件のもとでその表面から発生する光を検出して得られた検出結果に、フォーカス位置の変化に対する変化量を抑制する演算を施して得られる演算結果から、ウェハ 10 の露光時のドーズ量を算出又は推定するステップ 128, 130 と、を有する。

[0060] この実施形態によれば、複数の加工条件としての複数の露光条件のもとでの露光により設けられた凹凸の繰り返しパターン 12 を有するウェハ 10 を用いて、その複数の露光条件のうちのドーズ量をフォーカス位置の影響を抑制した状態で高精度に推定又は評価できる。また、別途計測用のパターンを使用する必要がなく、実デバイスのパターンが形成されたウェハからの光を検出することによって露光条件が評価できるため、実際に露光するパターンに関する露光条件を効率的に、かつ高精度に評価できる。

[0061] また、その評価方法は、ドーズ量及びフォーカス位置の少なくとも一方を変えながら評価用のウェハを露光し、このウェハの表面の複数のショットに繰り返しパターン 12 を設けて条件振りウェハ 10a（評価用基板）を作成するステップ 102 と、ウェハ 10a の繰り返しパターン 12 が設けられた表面を照明光で照明し、その照明光によりその表面から発生する光を検出するステップ 104, 106 と、その照明光の照明条件とウェハ 10a の表面から発生する光の検出条件との少なくとも一方が異なる第 1 及び第 2 の回折条件のもとで、条件振りウェハ 10a に関してその表面から発生する光を検出して得られた複数の検出結果を用いて、フォーカス位置の変化に対する変化量を抑制可能な検出結果を生じるその第 1 及び第 2 の回折条件を予め求めて記憶するステップ 108～112 と、その第 1 及び第 2 の回折条件のもとで得られた 2 つの検出結果に施す演算式の係数（ゲイン a 及びオフセット b

）を求めて記憶するステップ114と、を有する。

[0062] 従って、予めその第1及び第2の回折条件を求めておくことにより、この後は2回の計測を行うだけで効率的に実デバイスのパターンが形成されたウェハに関して露光条件を効率的に評価できる。

また、本実施形態のデバイス製造システムDMS（露光システム）は、ウェハの表面にパターンを露光する投影光学系を有する露光装置100（露光部）と、本実施形態の評価装置1と、を備え、評価装置1の演算部50によって推定される第1の露光条件（第1の加工条件）に応じて露光装置100における露光条件（加工条件）を補正している。

[0063] また、本実施形態の露光方法（加工方法）は、ウェハの表面に露光によりパターンを設け（ステップ120）、本実施形態の評価方法を用いてウェハの第1の露光条件を推定し（ステップ122～130）、その評価方法によって推定される第1の露光条件に応じてウェハの露光時の露光条件を補正している（ステップ134）。

このように、評価装置1又はこれを用いる評価方法によって推定される第1の露光条件に応じて露光装置100による露光条件を補正することによって、実際にデバイス製造のために使用されるウェハを用いて、効率的に、かつ高精度に露光装置100における露光条件を目標とする状態に設定できる。

[0064] なお、上記の実施形態では、フォーカス位置の影響を抑制してドーズ量を評価しているが、図12（a）、（b）の変形例の要部のフローチャートで示すように、ドーズ量の影響を抑制してフォーカス位置を評価することも可能である。この評価動作はフォーカスマニターと呼ぶこともできる。この変形例では、図4のステップ110に続いて図12（a）のステップ112Aにおいて、図1（a）の検査部60の第2演算部60bが、上記の複数の回折条件から、ドーズ変化曲線が同じ傾向を持ち、フォーカス変化曲線が逆の傾向を持つ第1及び第2の回折条件を選択し、選択された2つの回折条件を記憶部85に記憶する。そのような第1及び第2の回折条件として、（ $n =$

1, $m=3$) の $(1-D3)$ 及び ($n=1$, $m=4$) の $(1-D4)$ を選択する。

なお、上述の図4の条件出し工程中のステップ104において、複数の回折条件のもとで得られた図7に示す条件振りウェハの像A1～A13のうち、その第1の回折条件 $(1-D3)$ のもとで得られた像が像A3であり、その第2の回折条件 $(1-D4)$ のもとで得られた像が像A4である。このため、その第1及び第2の回折条件のもとで撮像されたウェハ10の各部分の像の輝度は、それぞれ像A3及びA4中で、ウェハ10の当該部分のドーズ量及びフォーカス値が条件振りウェハ中でほぼ同じになる部分の像の輝度とほぼ同じになる。

[0065] 図13(a)は、図8(b)の15個のドーズ変化曲線のうち、回折条件 $(1-D3)$ 及び $(1-D4)$ のもとで得られた2つのドーズ変化曲線C2及びC4を示し、図13(b)は、図8(a)の15個の変化曲線のうち、回折条件 $(1-D3)$ 及び $(1-D4)$ のもとで得られた2つのフォーカス変化曲線B3及びB4を示す。ドーズ変化曲線C2及びC4は同じ傾向で変化しており、フォーカス変化曲線B3及びB4は逆の傾向で変化していることが分かる。なお、フォーカス値が小さい範囲ではフォーカス変化曲線B3の負の傾きの絶対値がフォーカス変化曲線B4の負の傾きの絶対値よりも大きいため、フォーカス値の全部の範囲内で、曲線B3の傾きは曲線B4の傾きよりも小さくなり、曲線B3, B4は逆の傾向で変化しているとみなすことができる。

[0066] そして、第2演算部60bは、第1の回折条件 $(1-D3)$ で得られたドーズ変化曲線C3をゲインa及びオフセットbで補正した曲線（不図示）と、第2の回折条件 $(1-D4)$ で得られたドーズ変化曲線C4とが一致するように、すなわち補正後の曲線とドーズ変化曲線C4との残差 ΔC の自乗和が最小になるようにゲインa及びオフセットbを決定し、これらのゲインa及びオフセットbを記憶部85に記憶する（ステップ114A）。なお、図13(a)の右側の縦軸が残差 ΔC の値である。

[0067] 次に、第2演算部60bは、図13(b)の第1の回折条件(1-D3)で得られたフォーカス変化曲線B3をステップ114Aで算出されたゲインa及びオフセットbで補正した曲線(不図示)と、第2の回折条件(1-D4)で得られたフォーカス変化曲線B4との差分(フォーカス差分)をフォーカス値の関数で表した曲線(以下、基準フォーカス曲線という。)SF1を算出し、算出された基準フォーカス曲線SF1を記憶部85に記憶する(ステップ116A)。なお、図10(b)の右側の縦軸がフォーカス差分の値である。また、基準フォーカス曲線SF1もフォーカス値に関する1次式又は高次多項式で近似してもよい。

[0068] そして、露光装置100の露光及び現像後のウェハの回折検査によってそのウェハの露光条件であるフォーカス位置を評価する場合には、図5のステップ124では、ステップ112Aで選択された第1及び第2の回折条件(1-D3)及び(1-D4)のもとでウェハ10の像が撮像され、図5のステップ128では、ステップ114Aで記憶されたゲインa及びオフセットbを用いて、ウェハ10の設定領域毎に、その第1及び第2の回折条件のもとで得られた2つの平均輝度の差分 Δn_i が算出される。そして、ステップ128に続いて、図12(b)のステップ130Aにおいて、検査部60の第3演算部60cは、ウェハ10の全部の設定領域16毎に、上記のステップ116Aで記憶した図13(b)の基準フォーカス曲線SF1に上記の平均輝度の差分 Δn_i を当てはめて対応するフォーカス値 $F n_i$ を算出又は推定する。算出結果又は推定結果を記憶部85に記憶する。このように算出又は推定されるフォーカス値 $F n_i$ からはドーズ量に起因する成分が除去されている。

[0069] その後、制御部80がフォーカス値 $F n_i$ を例えば明るさ(又は色を変化させてもよい)に換算してウェハ10の全面のフォーカス分布(例えば図11(b)の画像で表される分布)を表示装置(不図示)に表示する(ステップ136)。さらに、制御部80の制御のもとで信号出力部90から露光装置100に、ウェハ10の全面のフォーカス分布の情報が提供される(ステ

ップ134A)。これに応じて露光装置100の制御部（不図示）では、例えばそのフォーカス分布とベストフォーカス位置との差分の分布を求め、この差分の分布が所定の許容範囲を超えている場合に、例えばオートフォーカス機構（不図示）の調整等（補正）を行う。これによって、その後の露光時にフォーカス分布の誤差が低減される。

[0070] なお、上記の実施形態では、2つの回折条件のもとで得られたウェハの画像から得られる平均輝度に一方の露光条件の影響を抑制するための演算を施している。この外に、例えば3個以上の回折条件のもとで得られたウェハの画像から得られる3個以上の輝度に、一方の露光条件の影響を抑制するための演算を施し、この演算結果から他方の露光条件を求めるようにしてもよい。

[0071] さらに、上記の実施形態では、評価装置1によるウェハ面の回折検査を用いて露光条件を検査しているが、評価装置1によるウェハ面のPER検査（反射光の偏光状態の変化に基づく検査）を用いて露光条件を検査してもよい。

また、上記の実施形態では、複数の回折条件（又は偏光条件）から、例えばフォーカス変化曲線が同じ傾向を持ち、ドーズ変化曲線が逆の傾向を持つ第1及び第2の回折条件（又は偏光条件）を選択しているため、第1及び第2の回折条件（又は偏光条件）の選択が容易である。これ以外に、複数の回折条件（又は偏光条件）から、これらの条件のもとでの検出結果の例えばフォーカス値の変化に対する差分（又は差分の自乗和）よりもドーズ量の変化に対する差分（又は差分の自乗和）が大きくなるように、第1及び第2回折条件（又は偏光条件）を選択するようにしてもよい。

さらに、上記の実施形態では、露光条件としてドーズ量及びフォーカス位置を評価しているが、露光条件として、露光装置100における露光光の波長、照明条件（例えばコヒーレンスファクタ（ σ 値）、投影光学系PLの開口数、又は液浸露光時の液体の温度等を評価するために上記の実施形態の回折検査又はPER検査を使用してもよい。

[0072] 〔第2の実施形態〕

第2の実施形態につき図14（a）～図15（b）を参照して説明する。本実施形態においても、図1（b）のデバイス製造システムDMSを使用し、加工条件を評価するために図1（a）の評価装置1を使用する。また、本実施形態では、いわゆるスペーサ・ダブルパターニング法（又はサイドウォール・ダブルパターニング法）で微細なピッチの繰り返しパターンが形成されたウェハの加工条件を評価する。

[0073] スペーサ・ダブルパターニング法では、まず、図14（a）に示すように、ウェハ10dの例えばハードマスク層17の表面に、レジストの塗布、露光装置100によるパターンの露光、及び現像によって、複数のレジストパターンのライン部2AをピッチPで配列した繰り返しパターン12が形成される。本実施形態では、ピッチPが露光装置100の解像限界に近いとする。この後、図14（b）に示すように、ライン部2Aをスリミングによって線幅が $1/2$ のライン部12Aにし、不図示の薄膜形成装置でライン部12Aを覆うようにスペーサ層18を堆積する。その後、エッチング装置300でウェハ10dのスペーサ層18だけをエッチングした後、エッチング装置300でライン部12Aのみを除去することで、図14（c）に示すように、ハードマスク層17上に線幅がほぼ $P/4$ の複数のスペーサ部18Aをピッチ $P/2$ で配列した繰り返しパターンが形成される。その後、複数のスペーサ部18Aをマスクとしてハードマスク層17をエッチングすることによって、図14（d）に示すように、線幅がほぼ $P/4$ のハードマスク部17Aをピッチ $P/2$ で配列した繰り返しパターン17Bが形成される。この後、一例として、繰り返しパターン17Bをマスクとして、ウェハ10dのデバイス層10daのエッチングを行うことで、露光装置100の解像限界のほぼ $1/2$ のピッチの繰り返しパターンが形成できる。さらに、上記の工程を繰り返すことによって、ピッチが $P/4$ の繰り返しパターンを形成することも可能である。

[0074] また、評価装置1を用いて回折検査を行う場合、回折が起こるためには繰

り返しパターンのピッチが評価装置 1 の照明光 I_L の波長 λ の $1/2$ 以上でなければならない。そのため、照明光として波長が 248 nm の光を用いた場合、ピッチ P が 124 nm 以下の繰り返しパターン 12 では回折光 I_L D が発生しなくなる。このため、図 14 (a) の場合のように、ピッチ P が露光装置 100 の解像限界に近いと、回折検査は次第に困難になる。さらに、図 14 (d) の場合のように、ピッチが $P/2$ (さらには $P/4$) の繰り返しパターン 17 B に関しては、正反射光 I_L R のみが発生するため、回折検査は困難である。ただし、繰り返しパターン 17 B がより大きいピッチで配列されたパターンブロックが存在する場合には、このパターンブロックからの回折光を検出することにより、回折検査も可能である。

[0075] 本実施形態では、図 14 (d) のように、回折光が発生しない繰り返しパターン 17 B が各ショットに形成されたウェハ 10 d からの光を検出して、繰り返しパターン 17 B の加工条件を評価するために、評価装置 1 によるウェハ面の P E R 検査 (反射光の偏光状態の変化に基づく検査) を行う。以下、図 15 (a) のフローチャートを参照して、P E R 検査を行うときに使用する複数の偏光条件を選択する条件出しにつき説明し、図 15 (b) のフローチャートを参照して、その選択された偏光条件を用いて P E R 検査を行って、デバイス製造システム D M S の加工条件を評価する方法につき説明する。なお、図 15 (a)、(b) において、図 4 及び図 5 に対応するステップには同一又は類似の符号を付して、その説明を省略又は簡略化する。

[0076] ここでは、評価装置 1 を用いてウェハ 10 d のピッチ $P/2$ の繰り返しパターン 17 B が形成された表面の P E R 検査を行うため、図 2 (a) に示すように、評価装置 1 の光路に照明側偏光フィルタ 26 及び受光側偏光フィルタ 32 が挿入され、ウェハ 10 d が載置されるステージ 5 のチルト角は、照明系 20 からの照明光 I_L が照射されたウェハ 10 d からの正反射光 I_L R を受光系 30 で受光できるように設定される。また、ステージ 5 の回転角は、繰り返しパターン 17 B の周期方向と、照明光 I_L の入射方向とが例えば 45 度で交差するように設定される。そして、複数の偏光条件としては

、一例として、照明光 $|L|$ の波長 λ_a （上記の $\lambda_1 \sim \lambda_3$ のいずれか）と、照明側偏光フィルタ26の角度 θ_b （例えば繰り返しパターンの周期方向に対する偏光軸の回転角度、回転角 $35^\circ + 5^\circ \times b$ （ $b = 0 \sim 4$ ））との組み合わせである15の条件（ λ_a, θ_b ）（ $a = 1 \sim 3, b = 0 \sim 4$ ）を想定する。ただし、照明側偏光フィルタ26の角度が切り換えられたときには、受光側偏光フィルタ32の角度も、照明側偏光フィルタ26に対してクロスニコル状態を維持するように切り換えられる。さらに、本実施形態では、デバイス製造システムDMSによる繰り返しパターン17Bの加工条件として、図14（b）のスペーサ層18の堆積時間 t_s （薄膜堆積量）及びスペーサ層18のエッチング時間 t_e （エッチング量）を想定し、このうちのエッチング時間 t_e を堆積時間 t_s の影響を抑制しながら評価するものとする。

[0077] まず、条件出しのために、図15のステップ102Aにおいて、図14（a）～（d）のスペーサ・ダブルパターンング・プロセスを、5種類の堆積時間 t_s （ $t_{s3} \sim t_{s7}$ ）及び5種類のエッチング時間 t_e （ $t_{e3} \sim t_{e7}$ ）を組み合わせた25（ $= 5 \times 5$ ）回のプロセスで実行して、25枚の条件振りウェハ（不図示）の各ショットにそれぞれ繰り返しパターン17Bを形成する。なお、堆積時間 t_{s5} がベスト堆積時間（適正量）であり、エッチング時間 t_{e5} がベストエッチング時間（適正エッチング量）であるとする。この場合、エッチング時間 t_{e3} 、 t_{e4} はエッチング不足であり、エッチング時間 t_{e6} 、 t_{e7} はエッチング過剰である。

[0078] 作成された複数（ここでは25枚）の条件振りウェハは順次、図2（a）の評価装置1のステージ5上に搬送される。そして、複数の条件振りウェハのそれぞれにおいて、上記の複数（ここでは15個）の偏光条件（ λ_a, θ_b ）のもとで照明光 $|L|$ を条件振りウェハの表面に照射し、撮像装置35が条件振りウェハからの正反射光 $|LR|$ による像を撮像して画像信号を画像処理部40に出力する（ステップ104A）。ここでは25枚の条件振りウェハに関してそれぞれ15個の像が撮像されるため、画像処理部40におい

て、全部で375 ($= 25 \times 15$) 個のデジタル画像が得られる。

[0079] さらに、画像処理部40は、その複数の偏光条件に関して、それぞれ対応するデジタル画像を用いて、条件振りウエハの全部のショット（又はショットの中央部の領域）内の全部の画素の信号強度を平均化した平均信号強度（平均輝度）を算出し、算出結果を検査部60に出力する（ステップ106A）。

そして、検査部60内の第1演算部60aは、その複数の偏光条件（ λ_a , θ_b ）のそれぞれに関して得られる全部の条件振りウエハの平均輝度から、加工条件中のエッチング量（エッチング時間 t_e ）が同じで堆積量（堆積時間 t_s ）が5段階に変化するときの平均輝度の変化特性をスペーサ変化曲線（不図示）として抽出し、記憶部85に記憶する（ステップ108A）。また、その第1演算部60aは、その複数の偏光条件（ λ_a , θ_b ）のそれぞれに関して得られる全部の平均輝度から、加工条件中の堆積量が同じでエッチング量が5段階に変化するときの平均輝度の変化特性をエッチング変化曲線（不図示）として抽出し、記憶部85に記憶する（ステップ110A）。

[0080] その後、その第1演算部60aは、上記の複数の偏光条件（ λ_a , θ_b ）から、スペーサ変化曲線が同じ傾向（例えば堆積時間 t_s が増加するときに両方の平均輝度がほぼ同じように増減する特性）を持ち、エッチング変化曲線が逆の傾向（例えばエッチング時間 t_e が増加するときに一方の平均輝度がほぼ増加して他方の平均輝度がほぼ減少する特性）を持つ第1及び第2の偏光条件を選択し、選択された2つの偏光条件を記憶部85に記憶する（ステップ112B）。図14（e）は、15個のスペーサ変化曲線のうち、第1及び第2の偏光条件のもとで得られた2つの変化曲線Bk1及びBk2を示し、図14（f）は、15個のエッチング変化曲線のうち、第1及び第2の偏光条件のもとで得られた2つの変化曲線Ck1及びCk2を示す。変化曲線Bk1及びBk2は同じ傾向で変化しており、変化曲線Ck1及びCk2は逆の傾向で変化している。

[0081] そして、第1演算部60aは、第1の偏光条件で得られたスペーサ変化曲線Bk1をゲインa及びオフセットbで補正した変化曲線（不図示）と、第2の偏光条件で得られたスペーサ変化曲線Bk2とが一致するように、すなわち補正後の曲線と曲線Bk2との差分 ΔBk が最小自乗法で最小になるようにゲインa及びオフセットbを決定し、これらのゲインa及びオフセットbを記憶部85に記憶する（ステップ114B）。なお、図14（e）の右側の縦軸が差分 ΔBk の値である。なお、部分的に差分 ΔBk の値が比較的大きくなってしまう場合は、その部分だけ異なるゲインa'及びオフセットb'とすることも出来る。

[0082] 次に、第1演算部60aは、図14（f）の第1の偏光条件で得られたエッチング変化曲線Ck1をステップ114Bで算出されたゲインa及びオフセットbで補正した曲線（不図示）と、第2の偏光条件で得られたエッチング変化曲線Ck2との差分をエッチング時間 t_e （エッチング量）の関数で表した曲線（以下、基準エッチング曲線という。）SE1を算出し、算出された基準エッチング曲線SE1を記憶部85に記憶する（ステップ116B）。なお、図14（f）の右側の縦軸が基準エッチング曲線SE1の値である。また、基準エッチング曲線SE1もエッチング時間 t_e に関する1次式又は高次多項式で近似してもよい。以上の動作によって、加工条件を評価する際に使用する評価条件である第1及び第2の偏光条件を求める条件出しが終了したことになる。

[0083] 次に、実際のデバイス製造工程においてデバイス製造システムDMSによって繰り返しパターン17Bが形成されたウェハ10dに対して、評価装置1によって偏光検査を行うことによって、加工条件中のエッチング量を以下のように評価する。この評価動作はエッチングモニターと呼ぶこともできる。まず、図15（b）のステップ138において、デバイス製造システムDMSにおいて、図14（a）～（d）を参照して説明したスペーサ・ダブルパターンニング・プロセスを実行することによって、各ショットに繰り返しパターン17Bが形成されたウェハ10dを製造する。この際の加工条件は、

全部のショットにおいて、スペーサの堆積量（堆積時間 t_s ）に関してはベスト堆積時間（適正量）であり、エッチング量（エッチング時間 t_e ）に関してはベストエッチング量（適正量）である。しかしながら、実際には薄膜形成装置（不図示）における膜厚むらによりスペーサの堆積量のばらつきが生じる恐れがあり、エッチング装置 300 におけるエッチングむらによってエッチング量のばらつきが生じる恐れがある。この場合、単に偏光検査を行うと、その検査結果にはエッチング量の外にスペーサの堆積量に起因する部分も含まれているため、そのスペーサの堆積量の影響を以下のようにして排除する。

[0084] 製造されたウェハ 10 d は、不図示のアライメント機構を介して図 2（a）の評価装置 1 のステージ 5 上にロードされる（ステップ 122 A）。そして、評価装置 1 において、上記の条件出しで決定された第 1 及び第 2 の偏光条件のもとで、ウェハ 10 d の像を撮像して画像信号を画像処理部 40 に出力する（ステップ 124 A）。

次に、画像処理部 40 は、第 1 及び第 2 の偏光条件のそれぞれに関してウェハ 10 d の全面のデジタル画像を生成する。そして、その第 1 及び第 2 の偏光条件に関して、それぞれ対応するデジタル画像を用いて、ウェハ 10 d の全部のショット内の複数の設定領域 16（図 6（c）参照）毎に平均信号強度（平均輝度）を算出し、算出結果を検査部 60 に出力する（ステップ 126）。そして、検査部 60 内の第 3 演算部 60 c は、ウェハ 10 d の全部の設定領域 16 毎に、第 1 の偏光条件で得られた平均輝度を上記のステップ 114 B で算出されたゲイン a 及びオフセット b で補正した輝度から、第 2 の偏光条件で得られた平均輝度を減算して平均輝度の差分 Δn_i を算出し、算出結果を記憶部 85 に記憶する（ステップ 128）。この差分 Δn_i からは、図 14（e）のスペーサ変化曲線 B_{k1} 、 B_{k2} に対応する成分がほぼ除去されており、図 14（f）のエッチング変化曲線 C_{k1} 、 C_{k2} の補正後の差分に対応する成分のみがほぼ残されている。

[0085] そこで、第 3 演算部 60 c は、ウェハ 10 d の全部の設定領域 16 毎に、

上記のステップ 116 B で記憶した図 14 (f) の基準エッチング曲線 S E 1 に上記の平均輝度の差分 Δn_i を当てはめて対応するエッチング量 (エッチング時間) t_{en_i} を算出又は推定し、算出結果又は推定結果を記憶部 85 に記憶する (ステップ 140)。このように算出又は推定されるエッチング量 t_{en_i} からはスペーサの堆積時間に起因する成分が除去されている。その後、制御部 80 がエッチング量 t_{en_i} を例えば明るさ (又は色を変化させてもよい) に換算してウェハ 10 d の全面のエッチングむらを表示装置 (不図示) に表示する (ステップ 142)。さらに、制御部 80 の制御のもとで信号出力部 90 からホスト・コンピュータ 600 を介してエッチング装置 300 に、ウェハ 10 の全面のエッチングむらの情報が提供される (ステップ 144)。これに応じてエッチング装置 300 の制御部 (不図示) では、例えばそのエッチングむらと適正エッチング量との差分の分布を求め、この差分の分布が所定の許容範囲を超えている場合に、例えばエッチング部の調整等の補正を行う。これによって、その後のステップ 138 (スペーサ・ダブルパターニング・プロセス) の実行時にエッチングむらが減少し、ピッチ $P/2$ の繰り返しパターン 17 B を高精度に製造できる。

[0086] この実施形態によれば、実デバイス用の繰り返しパターン 17 B が形成されたウェハ 10 d を用いて 2 つの偏光条件のもとで P E R 検査を行うことによって、そのパターンの形成時に使用されたエッチング装置 300 におけるエッチング量をスペーサの堆積量の影響を除去して高精度に推定又は評価できる。

なお、同様にして、2 つの偏光条件のもとで P E R 検査を行うことによって、スペーサの堆積量をエッチング量の影響を除去して高精度に推定又は評価することもできる。

[0087] また、ダブルパターニング・プロセスでの加工条件としては、エッチング量及びスペーサの堆積量の外に、例えば露光装置 100 における露光時のドーズ量及びフォーカス位置等を考慮することもできる。

また、上述の実施形態において、露光装置 100 は液浸露光法を用いるス

キャニングステッパーとしたが、露光装置 100 としてドライ型のスキャニングステッパー又はステッパー等の露光装置を使用する場合にも上述の実施形態を適用して同様の効果が得られる。さらに、露光装置 100 として、露光光として波長が 100 nm 以下の EUV 光 (Extreme Ultraviolet Light) を使用する EUV 露光装置、又は露光ビームとして電子ビームを用いる電子ビーム露光装置を使用する場合にも上述の実施形態が適用できる。

[0088] また、図 16 に示すように、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 221)、この設計工程に基づいたマスク (レチクル) を製作するマスク製作工程 (ステップ 222)、シリコン材料等からウェハ用の基板を製造する基板製造工程 (ステップ 223)、デバイス製造システム DMS 又はこれを用いたパターン形成方法によりウェハにパターンを形成する基板処理工程 (ステップ 224)、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、及びパッケージ工程等を含む組立工程 (ステップ 225)、並びにデバイスの検査を行う検査工程 (ステップ 226) 等を経て製造される。その基板処理工程 (ステップ 224) では、デバイス製造システム DMS によりウェハにレジストを塗布する工程、デバイス製造システム DMS 内の露光装置 100 によりレチクルのパターンをウェハに露光する露光工程、及びウェハを現像する現像工程を含むリソグラフィ工程、並びに評価装置 1 によりウェハからの光を用いて露光条件等を評価する評価工程が実行される。

[0089] このような半導体デバイス製造方法において、前述の評価装置 1 を用いて露光条件等を評価し、例えばこの評価結果に基づいてその露光条件等を補正することによって、製造工程が良好な状態となり、最終的に製造される半導体の歩留まりを向上できる。

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、例えば液晶パネルや磁気ディスクなどの半導体材料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。

[0090] なお、本発明は上述の実施形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得る。

符号の説明

[0091] 1…評価装置、5…ステージ、10…ウェハ、10a…条件振りウェハ、20…照明系、30…受光系、35…撮像部、40…画像処理部、50…演算部、60…検査部、85…記憶部、100…露光装置、DMS…デバイス製造システム

請求の範囲

- [請求項1] 第1及び第2加工条件を含む複数の加工条件のもとでの加工により設けられた構造体を有する基板を照明光で照明する照明部と、
前記照明光により前記基板の被加工面から発生する光を検出する検出部と、
前記照明部の照明条件と前記検出部の検出条件との少なくとも一方が異なる複数の評価条件のもとで前記検出部により得られた検出結果に基づいて前記基板の加工時の前記第1加工条件と前記第2加工条件との少なくとも一方を推定する推定部と、
を備える評価装置。
- [請求項2] 前記複数の評価条件は第1及び第2評価条件を含み、
前記推定部は、前記第1評価条件で得られた前記検出結果と第2評価条件で得られた前記検出結果の差分から前記第1加工条件と前記第2加工条件との少なくとも一方を推定する請求項1に記載の評価装置。
- [請求項3] 前記第1評価条件で得られた前記検出結果と前記第2の評価条件で得られた前記検出結果との少なくとも一方の検出値に、オフセットを加える処理と任意の倍率を与える処理との少なくとも一方を行った後の差分である請求項2に記載の評価装置。
- [請求項4] 前記基板の加工は投影光学系を介して前記基板を露光することを含み、
前記第1及び第2加工条件の一方は、前記基板の露光時の露光量であり、
前記第1及び第2加工条件の他方は、前記基板の露光時の前記投影光学系に対する合焦状態である請求項1から3のいずれか一項に記載の評価装置。
- [請求項5] 前記検出部は、前記基板の前記被加工面から発生する回折光を検出し、

前記複数の評価条件は、回折条件が異なる請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の評価装置。

[請求項6] 前記検出部は、前記基板の前記被加工面で反射される前記照明光の偏光成分を検出し、

前記複数の評価条件は、前記基板に入射する前記照明光の偏光状態及び入射角の少なくとも一方が異なる請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の評価装置。

[請求項7] 基板の表面にパターンを露光する投影光学系を有する露光部と、
請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の評価装置と、を備え、
前記評価装置の前記推定部によって推定される前記第 1 加工条件に応じて前記露光部における加工条件を補正する露光システム。

[請求項8] 第 1 及び第 2 加工条件を含む複数の加工条件のもとでの加工により設けられた構造体を有する基板を照明光で照明し、
前記照明光により前記基板の被加工面から発生する光を検出し、
前記照明光の照明条件と前記被加工面から発生する光の検出条件との少なくとも一方が異なる複数の評価条件のもとで前記被加工面から発生する光を検出して得られた検出結果に基づいて前記基板の加工時の前記第 1 加工条件と前記第 2 加工条件との少なくとも一方を推定する評価方法。

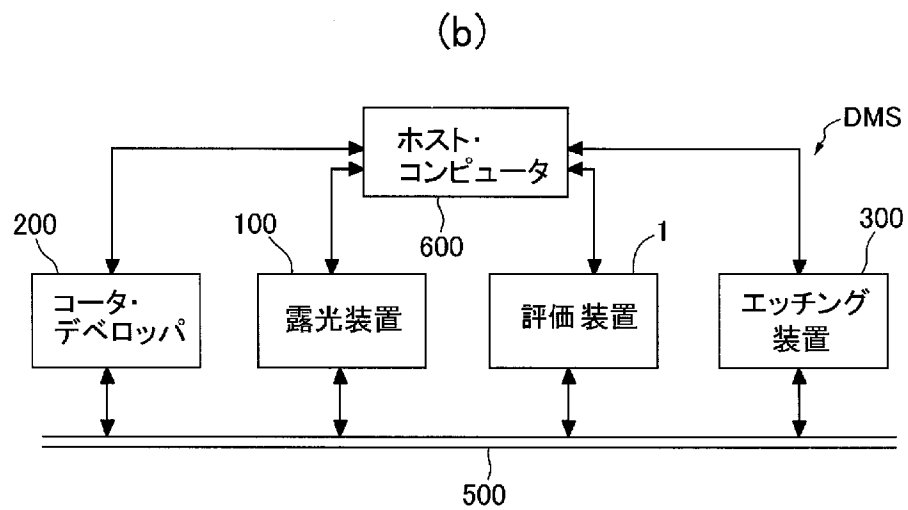
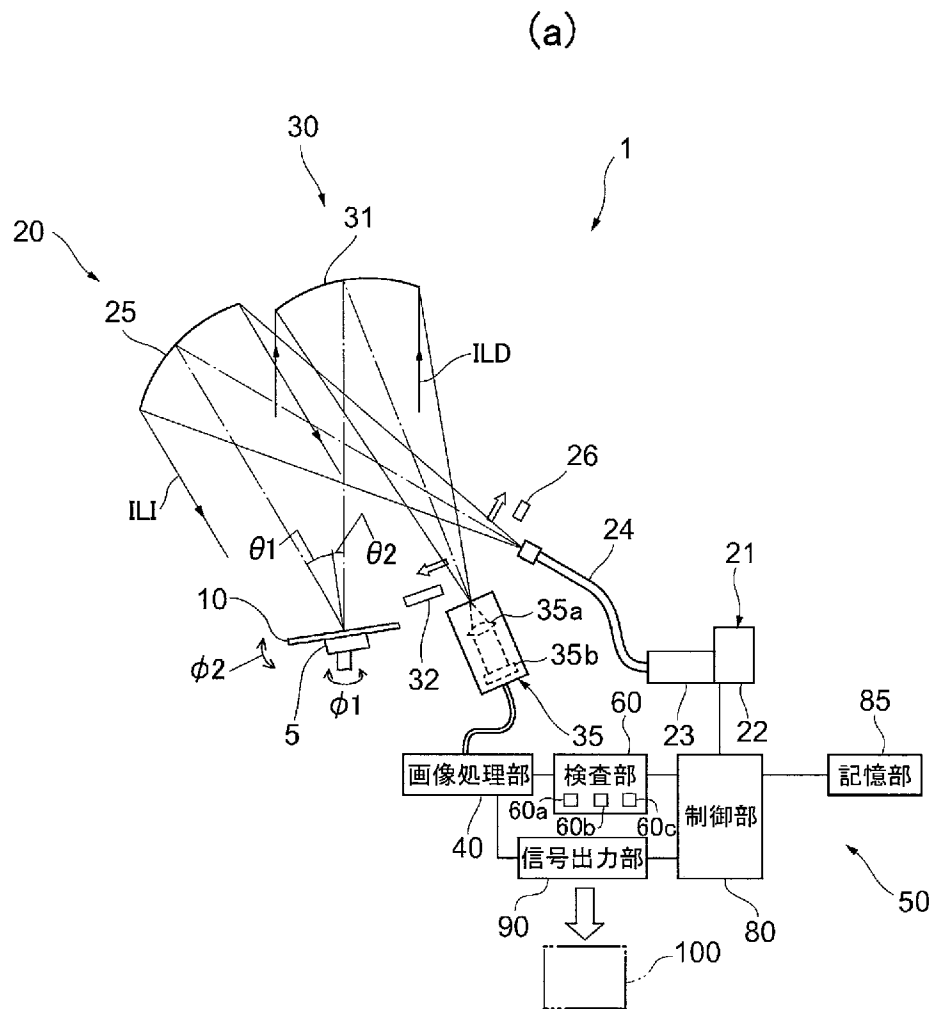
[請求項9] 前記複数の評価条件は第 1 及び第 2 評価条件を含み、
前記推定をするときに、前記第 1 評価条件で得られた前記検出結果と前記第 2 評価条件で得られた前記検出結果の差分から前記第 1 加工条件と前記第 2 加工条件との少なくとも一方を推定する請求項 8 に記載の評価方法。

[請求項10] 前記第 1 評価条件で得られた前記検出結果と第 2 の評価条件で得られた前記検出結果との少なくとも一方の検出値に、オフセットを加える処理と任意の倍率を与える処理との少なくとも一方を行った後の差分である請求項 9 に記載の評価方法。

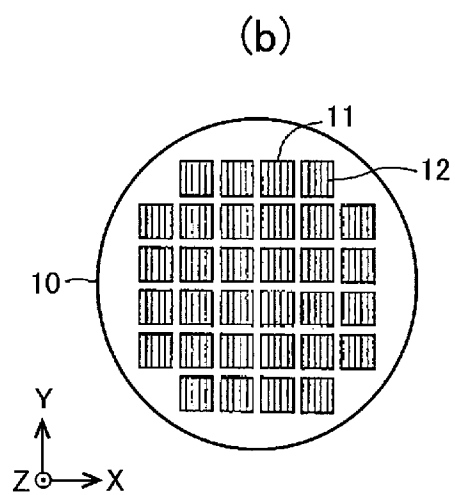
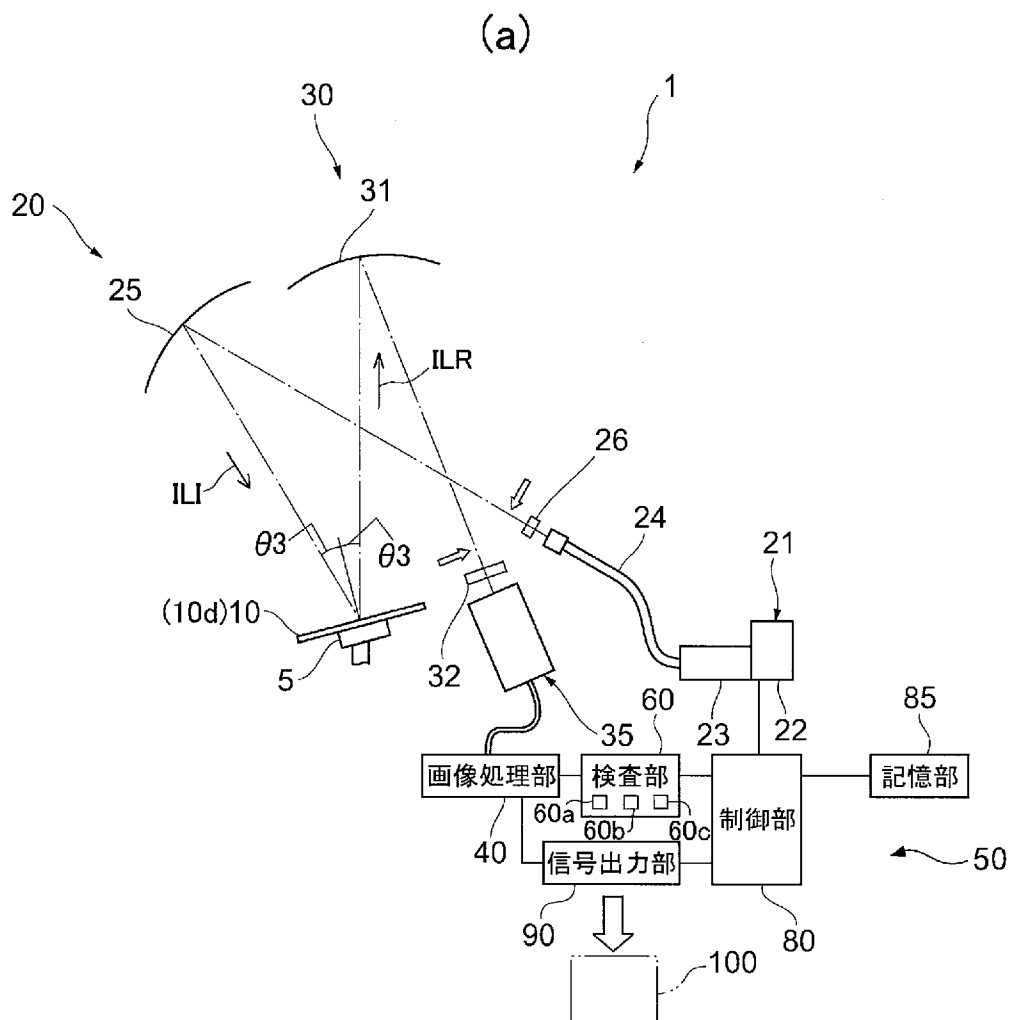
- [請求項11] 前記基板の加工は投影光学系を介して前記基板を露光することを含み、
前記第1及び第2加工条件の一方は、前記基板の露光時の露光量であり、
前記第1及び第2加工条件の他方は、前記基板の露光時の前記投影光学系に対する合焦状態である請求項8から10のいずれか一項に記載の評価方法。
- [請求項12] 前記基板の被加工面から発生する光を検出するときに、前記被加工面から発生する回折光を検出し、
前記複数の評価条件は、回折条件が異なる請求項8から11のいずれか一項に記載の評価方法。
- [請求項13] 前記基板の被加工面から発生する光を検出するときに、前記被加工面で反射される前記照明光の偏光成分を検出し、
前記複数の評価条件は、前記基板に入射する前記照明光の偏光状態及び入射角の少なくとも一方が異なる請求項8から11のいずれか一項に記載の評価方法。
- [請求項14] 前記第1及び第2加工条件の少なくとも一方を変えながら評価用基板を加工して、前記評価用基板の被加工面の複数の領域に前記構造体を設け、
前記評価用基板の前記被加工面を前記照明光で照明し、
前記照明光により前記評価用基板の前記被加工面から発生する光を検出し、
前記照明光の照明条件と前記評価用基板の前記被加工面から発生する光の検出条件との少なくとも一方が異なる複数の条件のもとで、前記評価用基板に関して前記被加工面から発生する光を検出して得られた複数の検出結果を用いて、前記第2加工条件の変化に対する変化量を抑制可能な検出結果を生じる前記複数の評価条件を予め求めて記憶する請求項8から13のいずれか一項に記載の評価方法。

- [請求項15] 前記複数の評価条件を予め求めて記憶するときに、前記複数の評価条件のもとで前記基板の前記被加工面から発生する光を検出して得られる検出結果に、前記第2加工条件の変化に対する変化量を抑制するために施す演算式を求めて記憶する請求項14に記載の評価方法。
- [請求項16] 基板の表面に加工によりパターンを設け、
請求項8から15のいずれか一項に記載の評価方法を用いて前記基板の前記第1加工条件を推定し、
前記評価方法によって推定される前記第1加工条件に応じて前記基板の露光時の加工条件を補正する加工方法。
- [請求項17] 基板の表面にパターンを設ける加工工程を有するデバイス製造方法であって、
前記加工工程で請求項16に記載の加工方法を用いるデバイス製造方法。
- [請求項18] 基板の表面にパターンを設ける加工工程を有するデバイス製造方法であって、
前記加工工程で請求項16に記載の加工方法を用い、
製造対象のデバイスに応じて前記第2加工条件の変化に対する変化量を抑制するために施す演算式を記憶するデバイス製造方法。

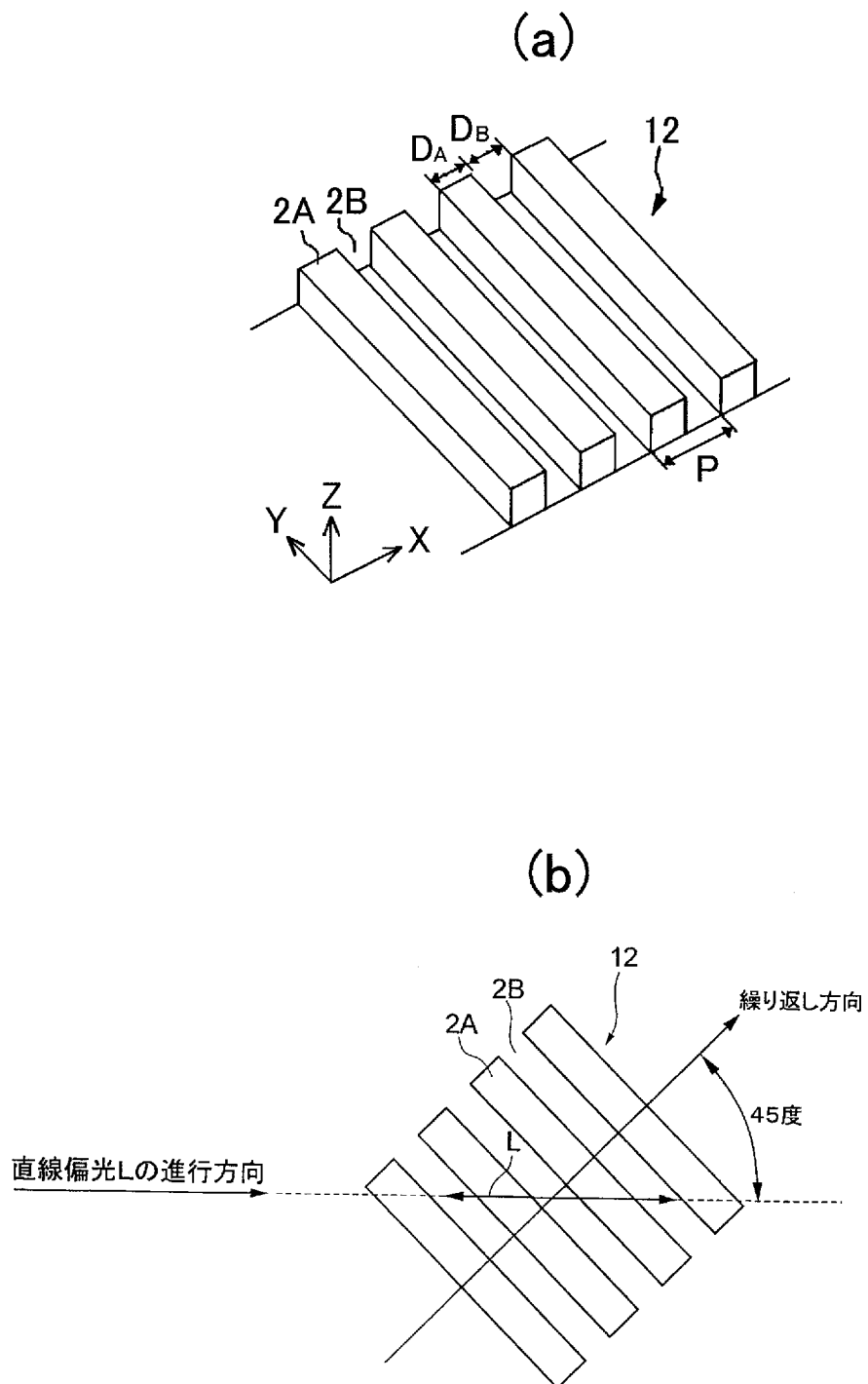
[図1]



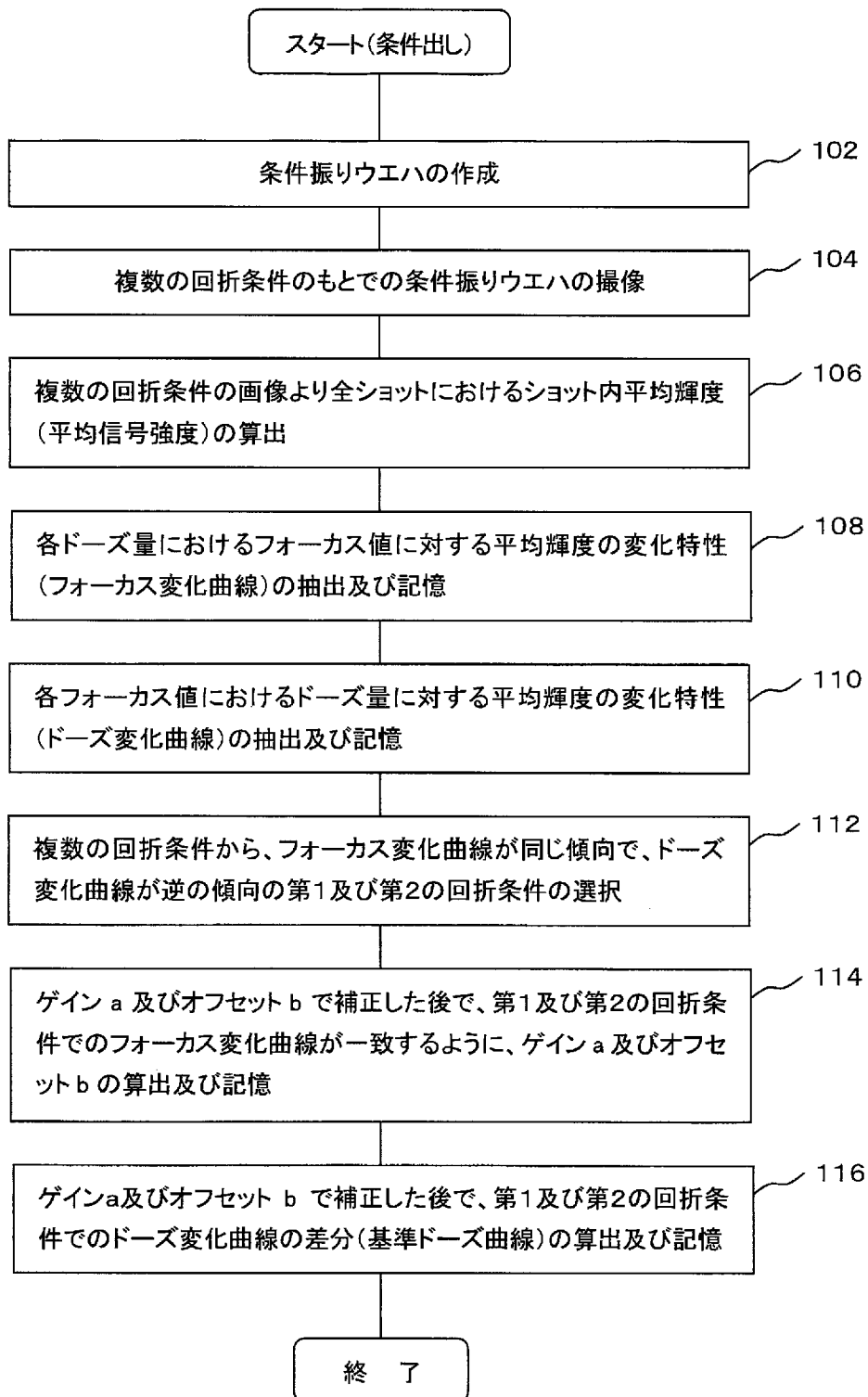
[図2]



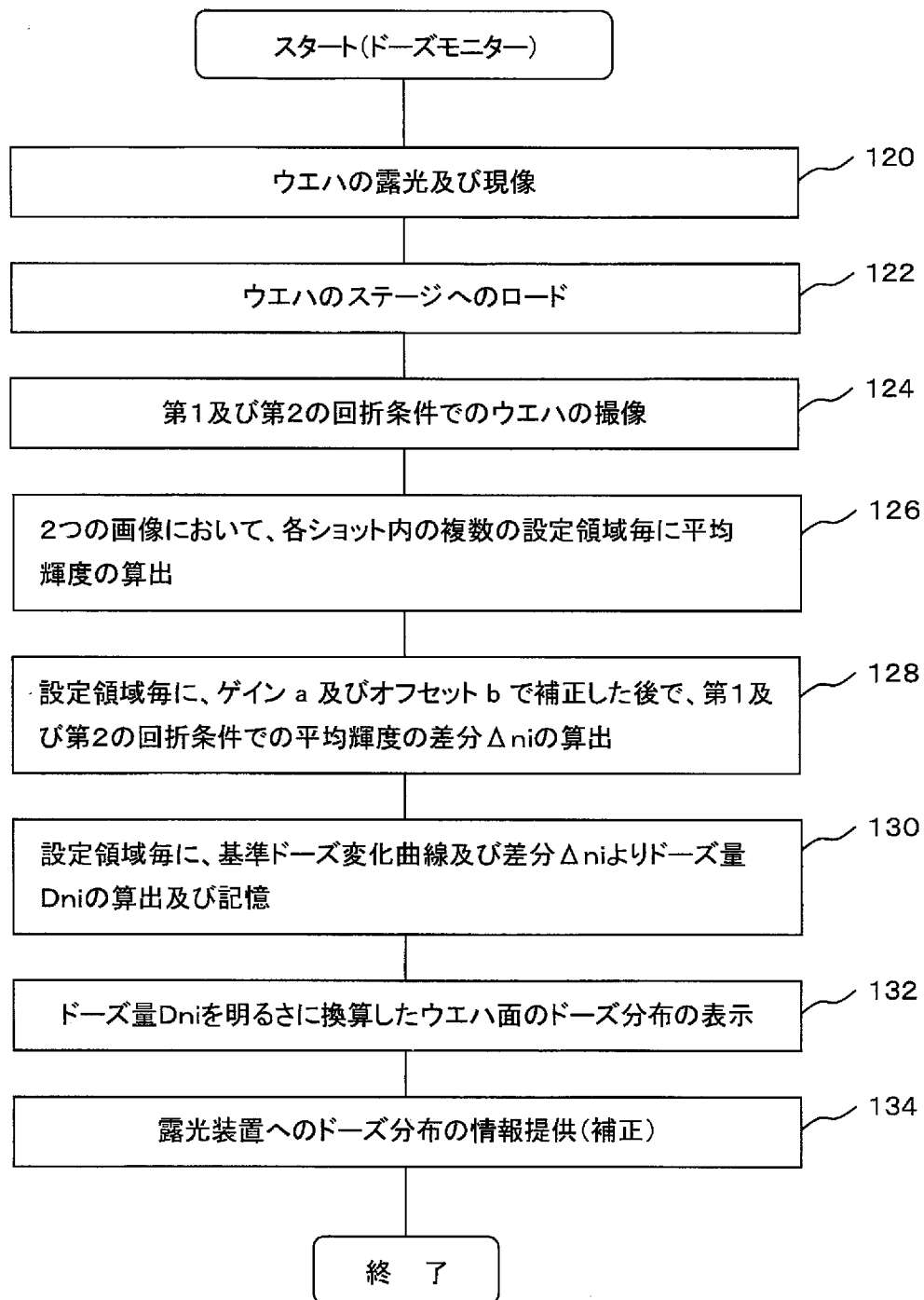
[図3]



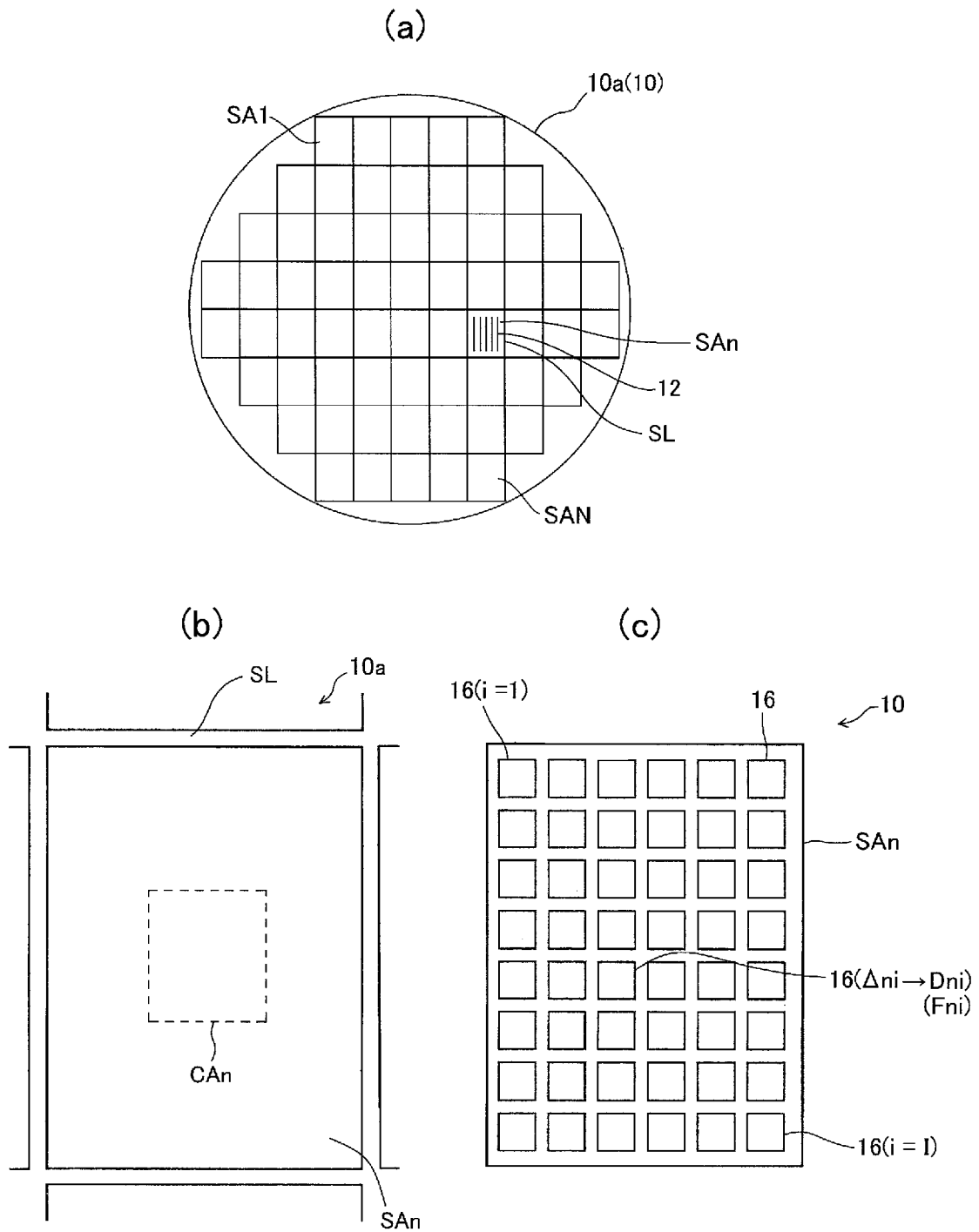
[図4]



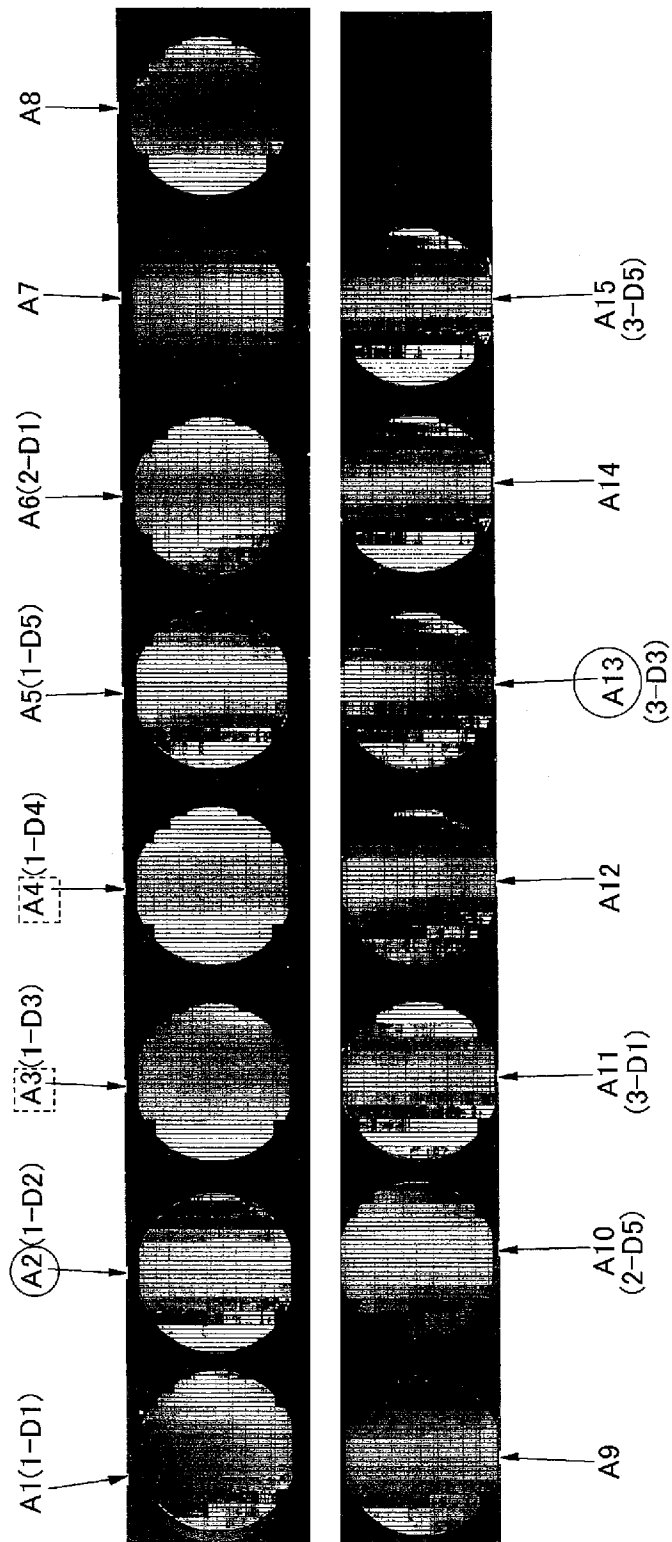
[図5]



[図6]

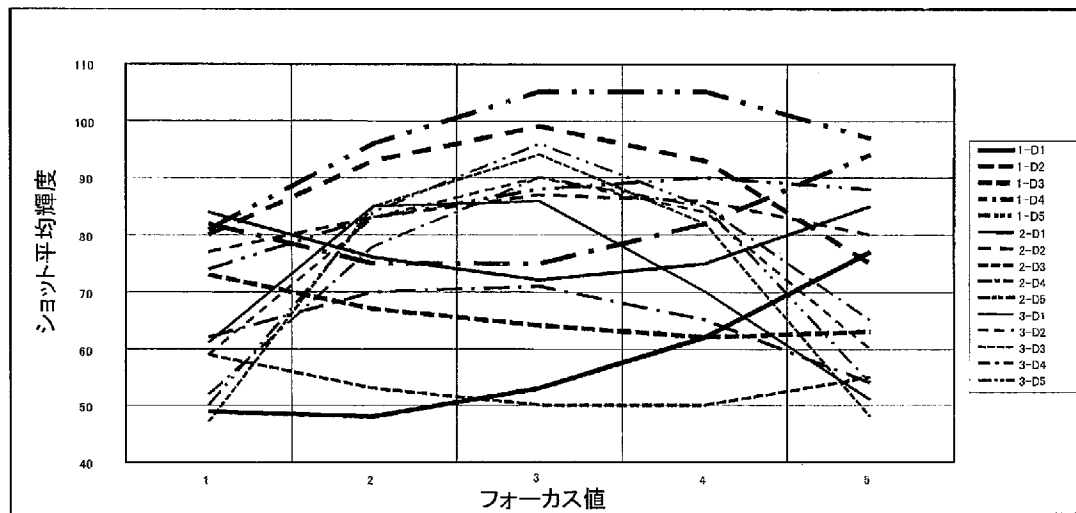


[図7]

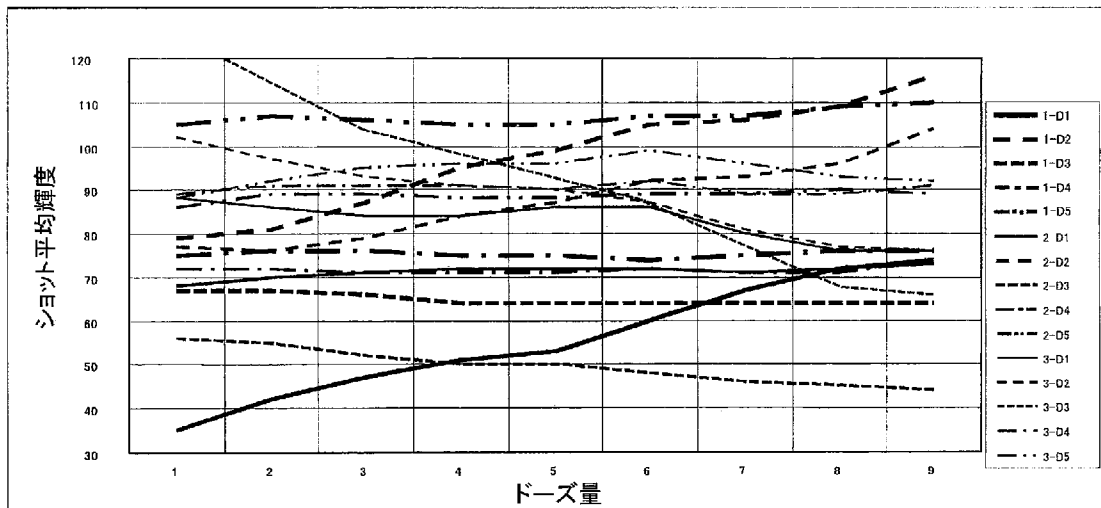


[図8]

(a)

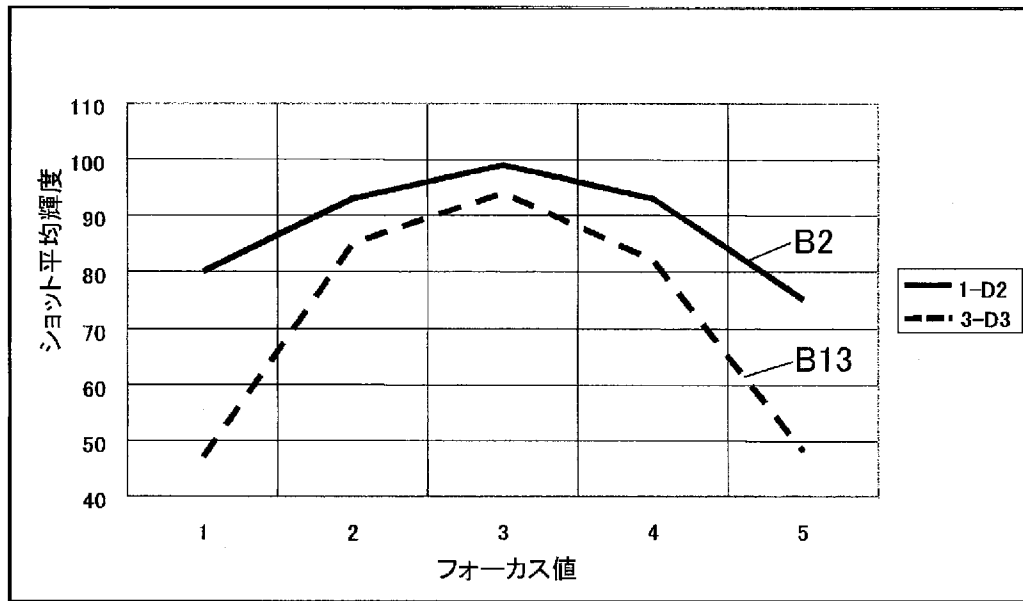


(b)

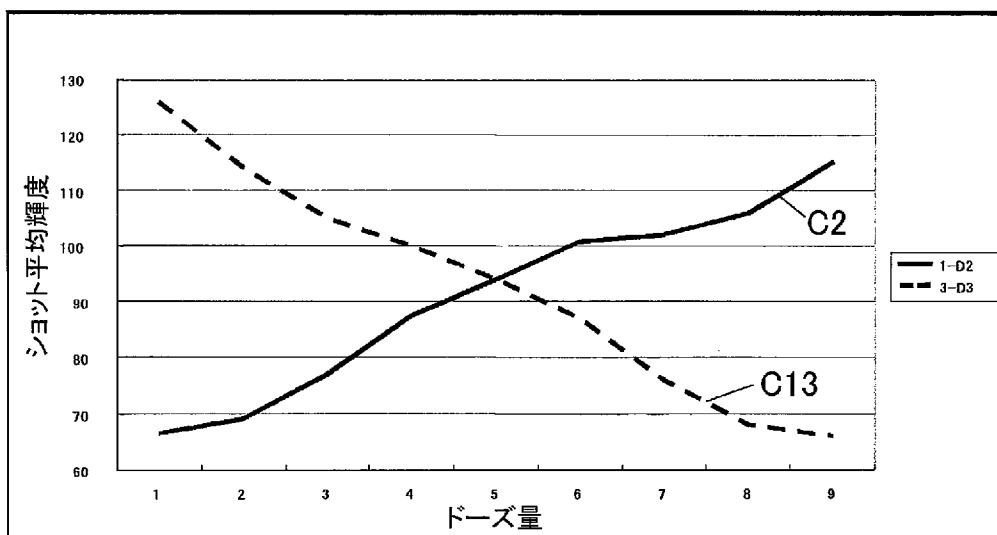


[図9]

(a)

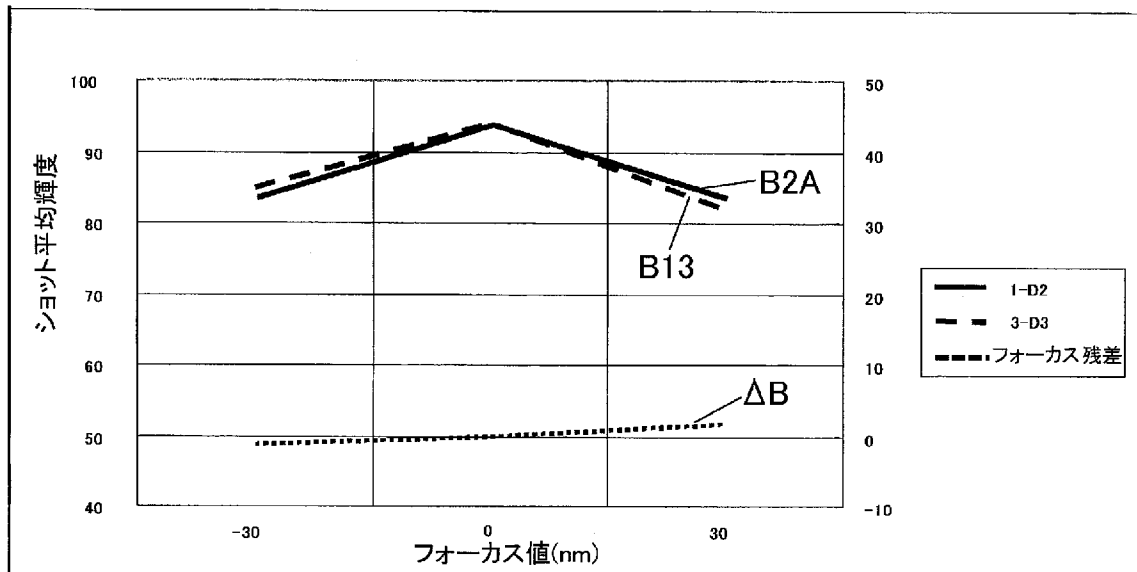


(b)

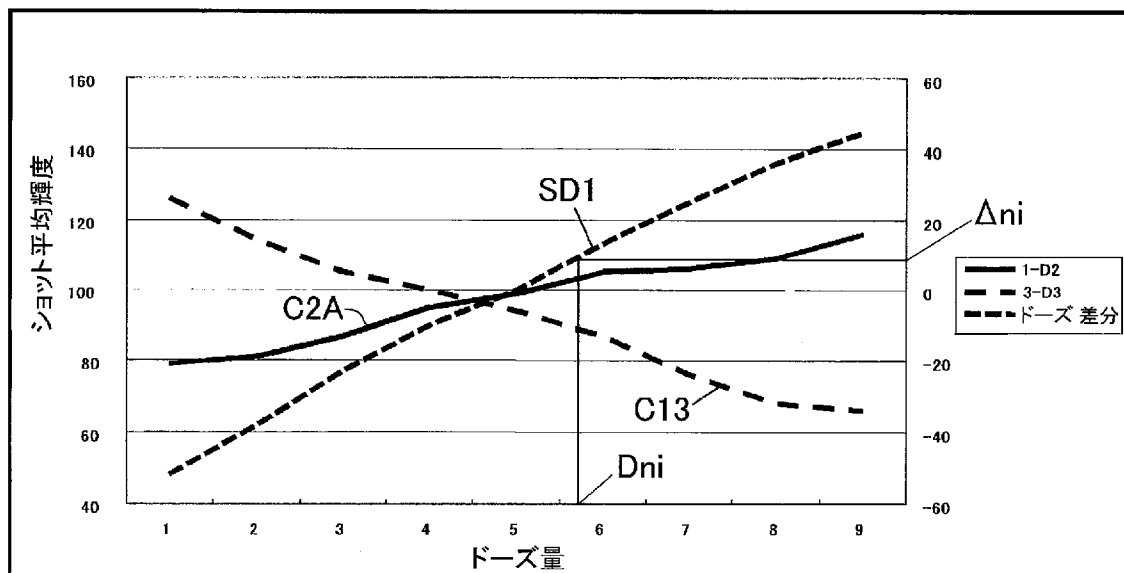


[図10]

(a)

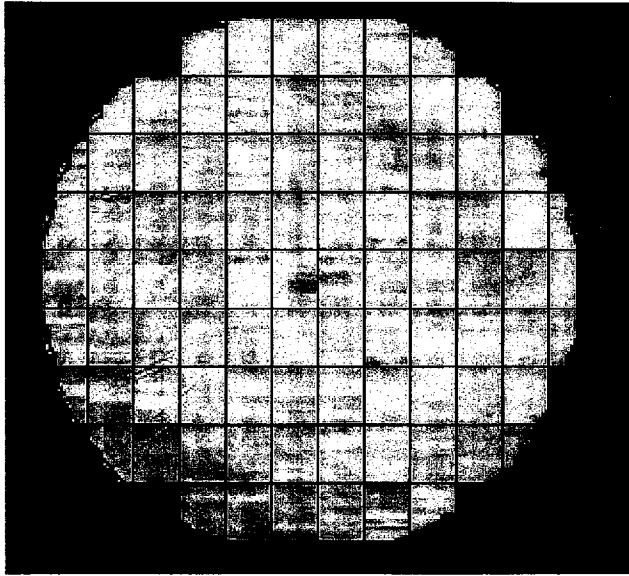


(b)

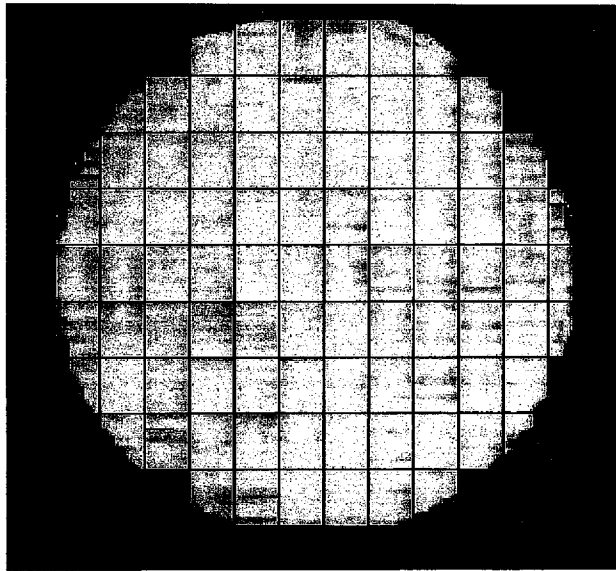


[図11]

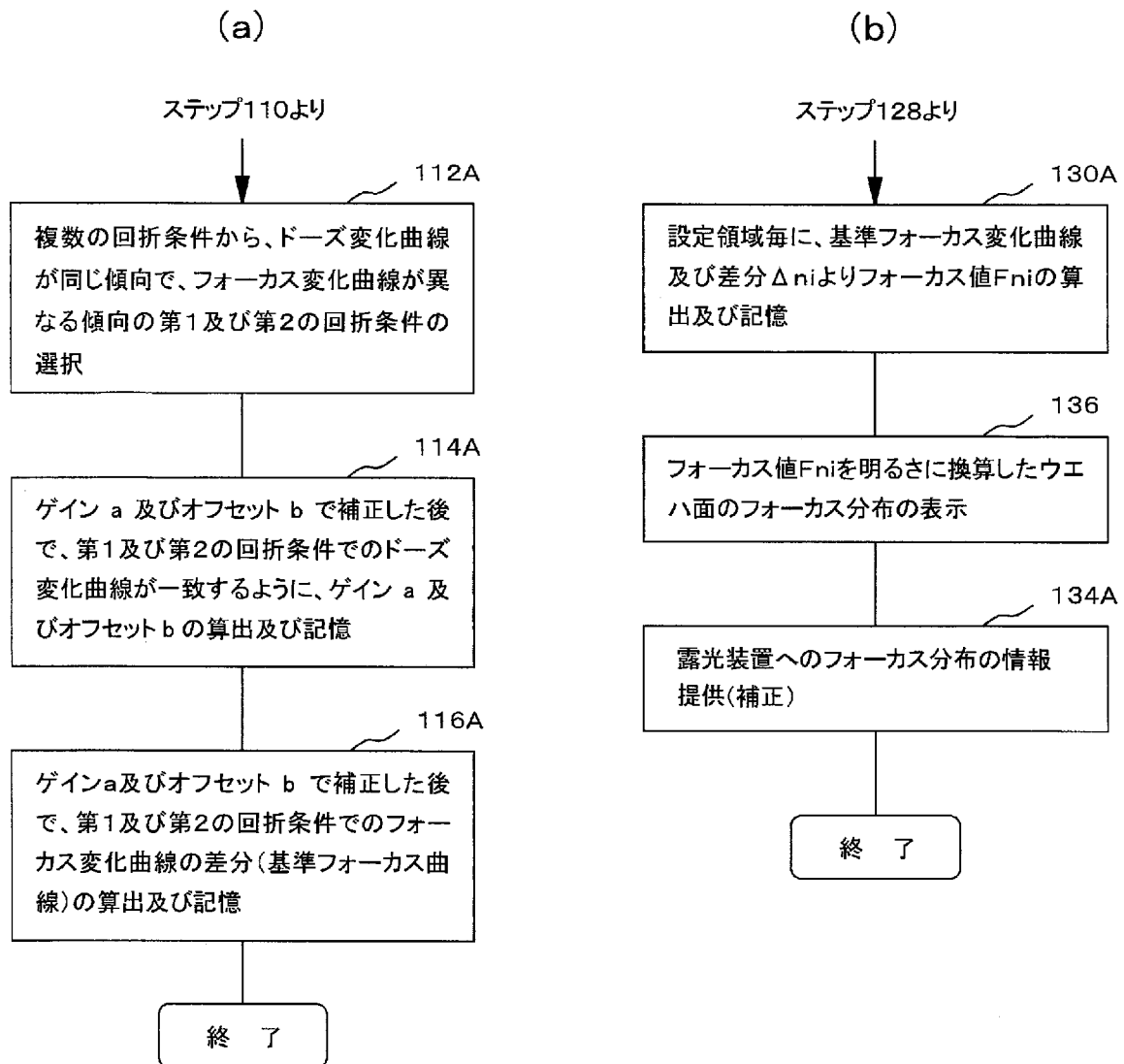
(a)



(b)

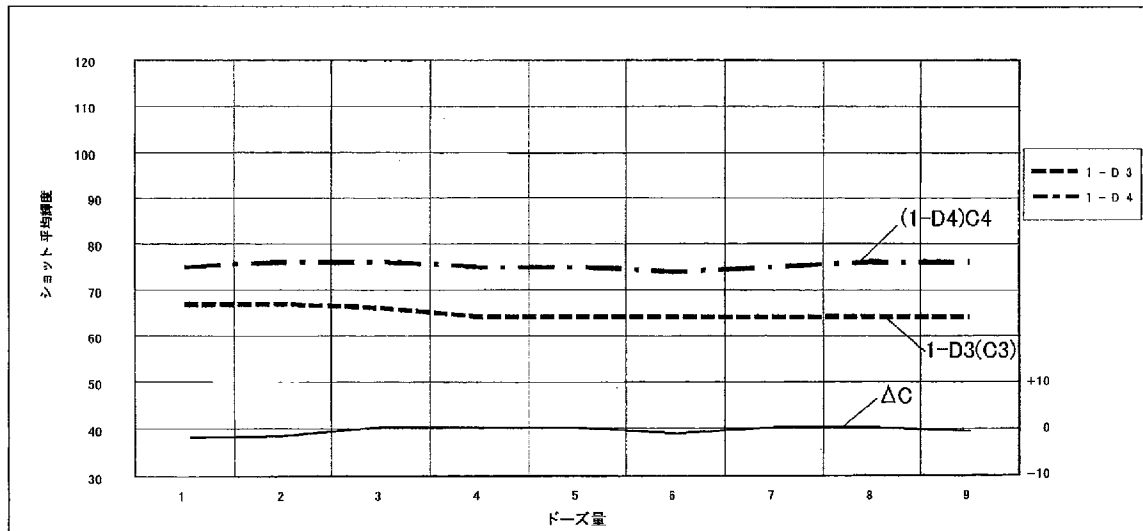


[図12]

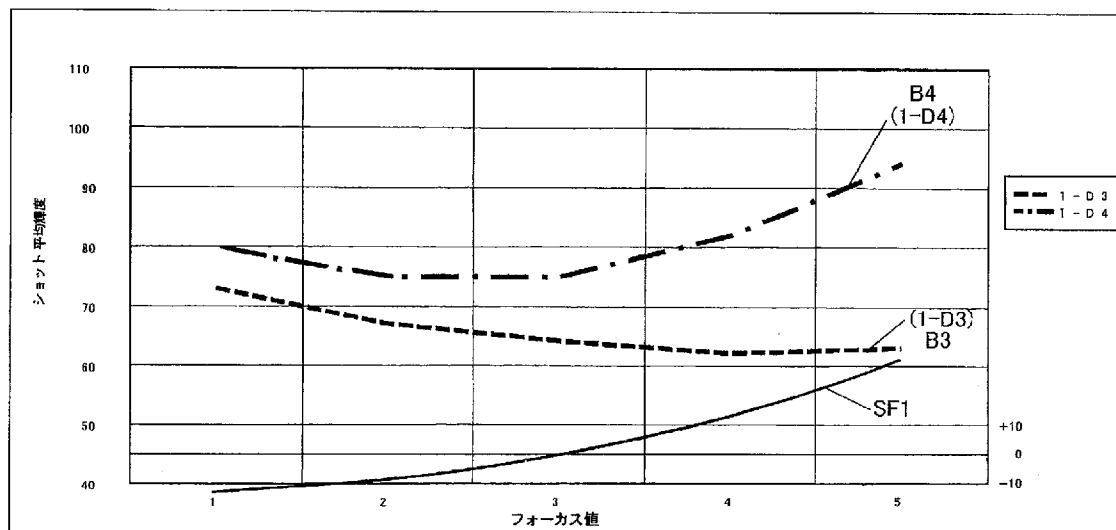


[図13]

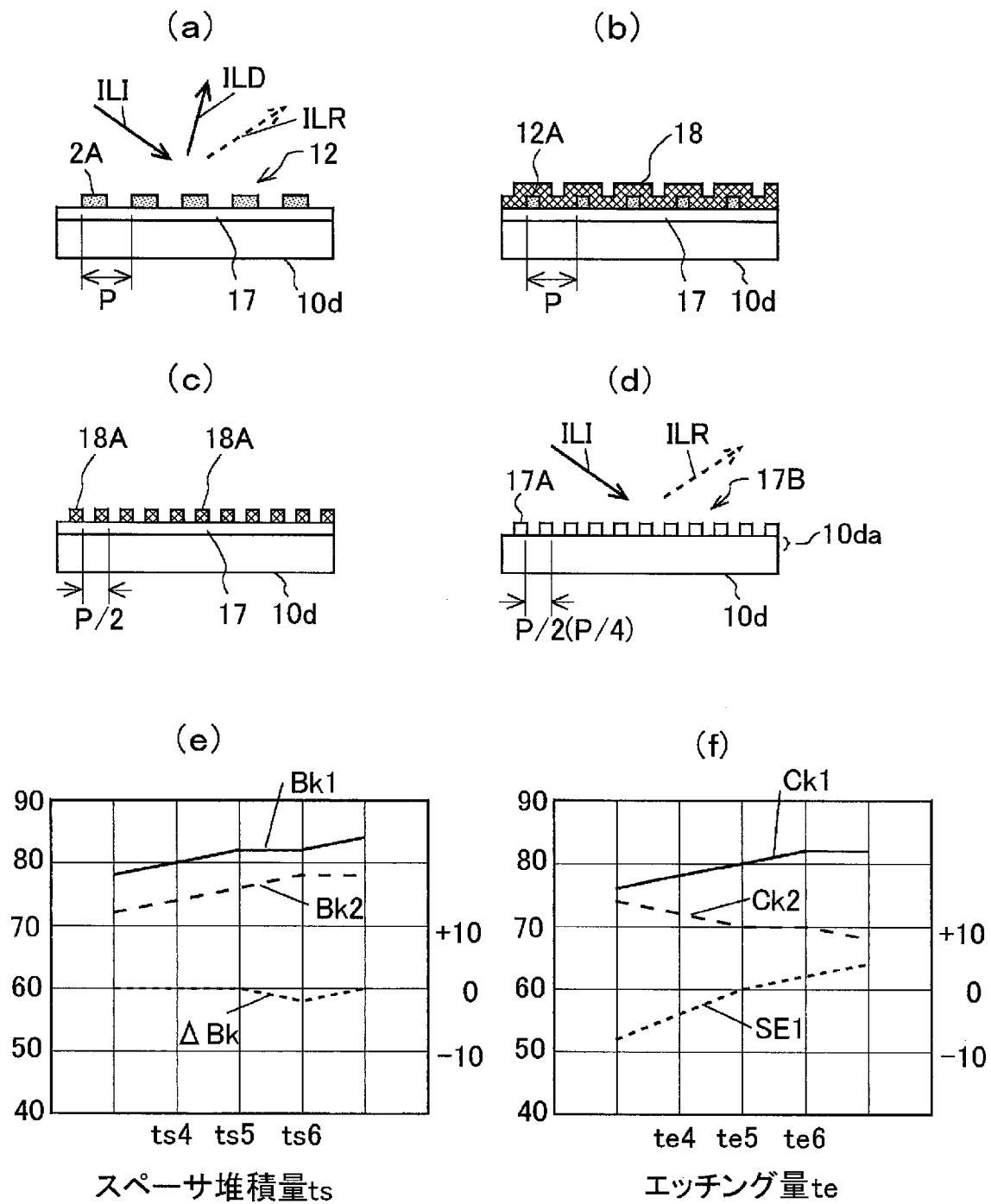
(a)



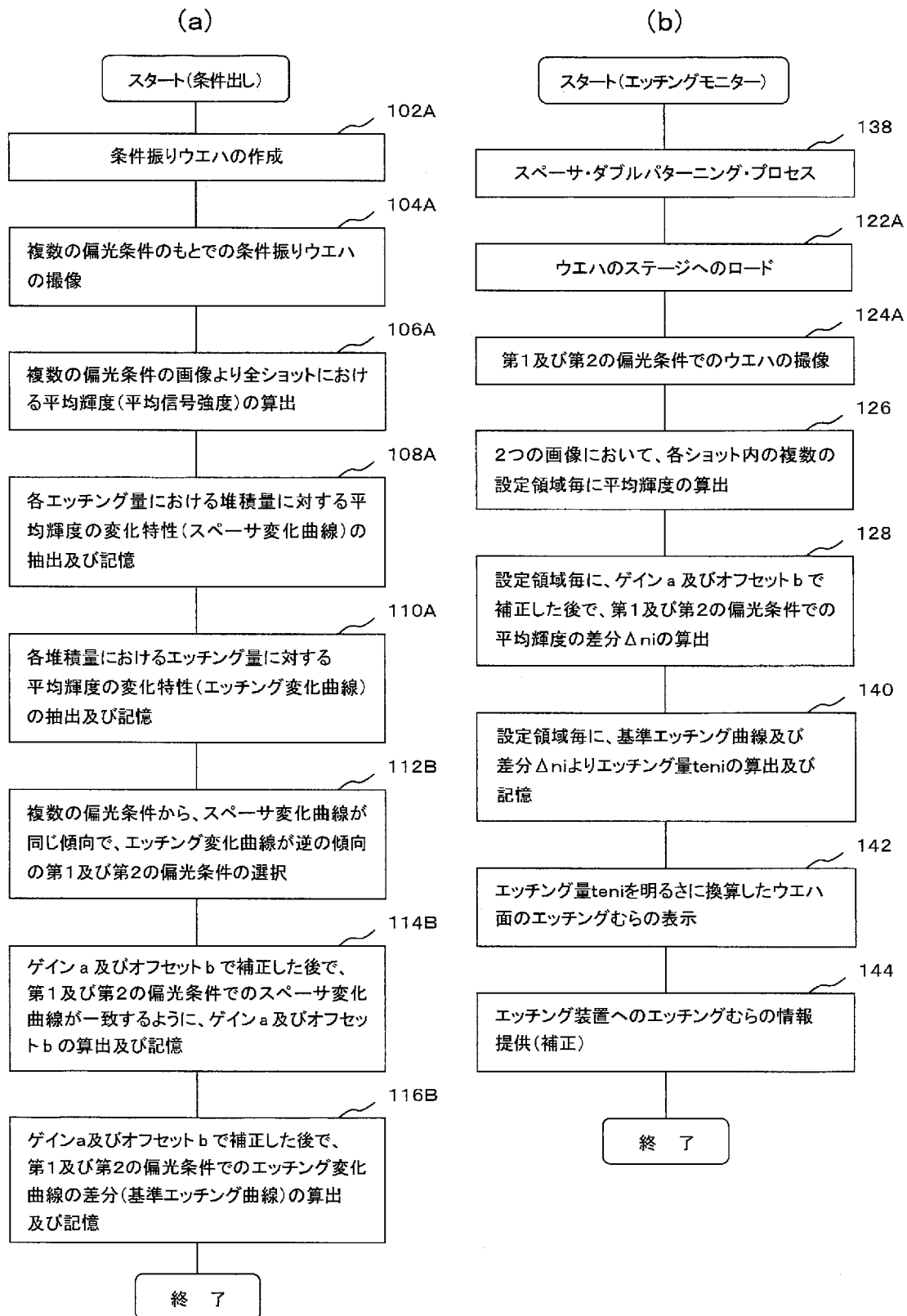
(b)



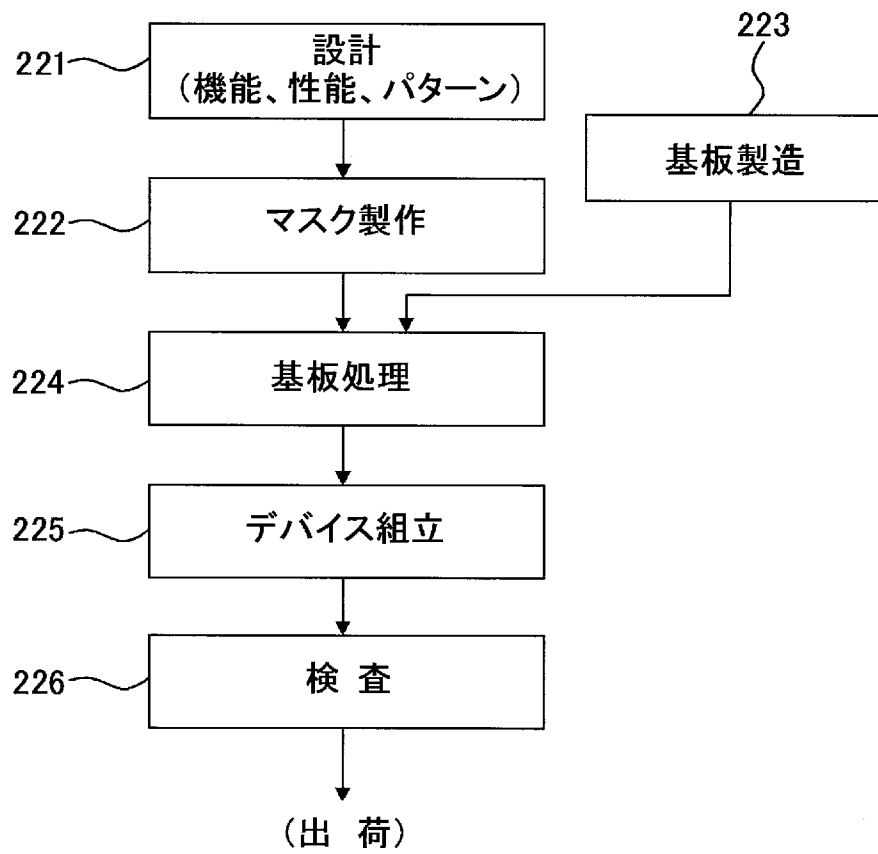
[図14]



[図15]



[図16]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/084258

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/027(2006.01)i, G01B11/00(2006.01)i, G02B7/28(2006.01)i, G02B17/00(2006.01)i, G02B19/00(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, G02B7/28, G02B17/00, G02B19/00

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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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	JP 2008-147258 A (Canon Inc.), 26 June 2008 (26.06.2008), claim 11; paragraphs [0038] to [0058]; fig. 1 to 10 & US 2008/0137052 A1 & US 8537334 B2 & TW 2008/42520 A & KR 2008/052397 A & JP 5084239 B2	1, 2, 4, 7-9, 11, 16, 17
X	JP 2007-335610 A (Canon Inc.), 27 December 2007 (27.12.2007), claim 1; paragraphs [0034] to [0127]; fig. 1 to 6 (Family: none)	1, 4, 6-8, 11, 13, 16, 17

☒ 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
11 March, 2014 (11.03.14)

Date of mailing of the international search report
25 March, 2014 (25.03.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/084258

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2012/056601 A1 (Nikon Corp.), 03 May 2012 (03.05.2012), paragraphs [0043] to [0143]; fig. 1 to 25 & US 2013/0217154 A1 & TW 2012/17770 A & CN 103283002 A & KR 2013/136999 A	1-18
A	WO 2011/001678 A1 (Nikon Corp.), 06 January 2011 (06.01.2011), claim 1; paragraphs [0019] to [0045]; fig. 2 to 8 & US 2012/099120 A1 & TW 2011/15624 A & CN 102473600 A & KR 2012/030150 A & EP 2450944 A1	1-18
A	JP 10-22205 A (Canon Inc.), 23 January 1998 (23.01.1998), paragraphs [0065] to [0119]; fig. 1 to 15 & JP 03618907 B2 & US 2002/093656 A1 & US 6594012 B2 & KR 1998/011724 A & KR 277110 B & TW 368682 A & EP 816926 A2	1-18

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L21/027(2006.01)i, G01B11/00(2006.01)i, G02B7/28(2006.01)i, G02B17/00(2006.01)i, G02B19/00(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（I P C））

Int.Cl. H01L21/027, G01B11/00, G02B7/28, G02B17/00, G02B19/00

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 4 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	JP 2008-147258 A (キャノン株式会社) 2008.06.26, [請求項 1 1], [0 0 3 8] ~ [0 0 5 8], 図 1 ~ 図 1 0 & US 2008/0137052 A1 & US 8537334 B2 & TW 2008/42520 A & KR 2008/052397 A & JP 5084239 B2	1, 2, 4, 7-9, 11, 16, 17
X	JP 2007-335610 A (キャノン株式会社) 2007.12.27, [請求項 1], [0 0 3 4] ~ [0 1 2 7], 図 1 ~ 図 6 (ファミリーなし)	1, 4, 6-8, 11, 13, 16, 17

☒ 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

1 1 . 0 3 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

2 5 . 0 3 . 2 0 1 4

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
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）

植木 隆和

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 7 4

2 M

3 7 0 6

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	WO 2012/056601 A1 (株式会社ニコン) 2012.05.03, [0 0 4 3]～[0 1 4 3], 図 1 ～図 2 5 & US 2013/0217154 A1 & TW 2012/17770 A & CN 103283002 A & KR 2013/136999 A	1-18
A	WO 2011/001678 A1 (株式会社ニコン) 2011.01.06, [請求項 1], [0 0 1 9] ～[0 0 4 5], 図 2 ～図 8 & US 2012/099120 A1 & TW 2011/15624 A & CN 102473600 A & KR 2012/030150 A & EP 2450944 A1	1-18
A	JP 10-22205 A (キヤノン株式会社) 1998.01.23, [0 0 6 5]～[0 1 1 9], 図 1 ～図 1 5 & JP 03618907 B2 & US 2002/093656 A1 & US 6594012 B2 & KR 1998/011724 A & KR 277110 B & TW 368682 A & EP 816926 A2	1-18