

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-294474

(P2005-294474A)

(43) 公開日 平成17年10月20日(2005.10.20)

(51) Int. Cl.⁷

HO 1 L 21/027
GO 1 B 11/00
GO 3 F 9/00

F I

HO 1 L 21/30 5 2 5 W
GO 1 B 11/00 H 5 F O 4 6
GO 3 F 9/00 H
HO 1 L 21/30 5 2 5 R

テーマコード (参考)

2 F O 6 5
5 F O 4 6

審査請求 有 請求項の数 27 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2004-106361 (P2004-106361)
(22) 出願日 平成16年3月31日 (2004.3.31)

(71) 出願人 000001007
キヤノン株式会社
東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(74) 代理人 100076428
弁理士 大塚 康德
(74) 代理人 100112508
弁理士 高柳 司郎
(74) 代理人 100115071
弁理士 大塚 康弘
(74) 代理人 100116894
弁理士 木村 秀二
(72) 発明者 林 望
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

最終頁に続く

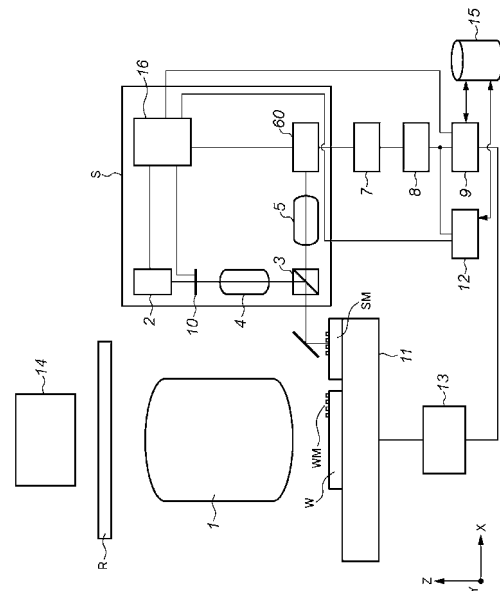
(54) 【発明の名称】 位置計測装置、位置計測方法及び露光装置

(57) 【要約】

【課題】 アライメントにおける計測精度と信頼性の向上を図る。

【解決手段】 精度劣化を抑制した高精度の位置計測技術を提供するマークの位置を計測する位置計測装置は、撮像手段と、撮像手段により得られた画像データのばらつきを求める演算手段と、異なる受光量で撮像手段により得られた複数の画像データに関し前記演算手段によりそれぞれ求めたばらつきに基づき、前記撮像手段の受光量に関するパラメータを設定する設定手段とを備える。

【選択図】 図1 A



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

マークの位置を計測する位置計測装置であって、
撮像手段と、

前記撮像手段により得られた画像データのばらつきを求める演算手段と、

異なる受光量で前記撮像手段により得られた複数の画像データに関し前記演算手段によりそれぞれ求めたばらつきに基づき、前記撮像手段の受光量に関するパラメータを設定する設定手段と

を備えたことを特徴とする位置計測装置。

【請求項 2】

前記演算手段は、前記ばらつきとして、前記画像データの標準偏差およびレンジのいずれかを求めることを特徴とする請求項 1 に記載の位置計測装置。

【請求項 3】

前記設定手段は、前記パラメータとして、前記撮像手段の蓄積時間および受光量トレランスのいずれかを設定することを特徴とする請求項 1 に記載の位置計測装置。

【請求項 4】

前記設定手段は、前記ばらつきが最小となるように前記パラメータを設定することを特徴とする請求項 1 に記載の位置計測装置。

【請求項 5】

前記設定手段は、前記ばらつきが許容値以下となるように前記パラメータを設定することを特徴とする請求項 1 に記載の位置計測装置。

【請求項 6】

前記設定手段は、前記ばらつきが許容値以下となるように、前記パラメータとして、前記撮像手段の受光量トレランスを設定することを特徴とする請求項 1 に記載の位置計測装置。

【請求項 7】

前記演算手段は、前記画像データに基づきマークの各部分間のスパンを抽出する抽出手段を含むとともに、前記ばらつきとして、前記抽出手段により抽出された複数のスパンと、前記複数のスパンにそれぞれ対応した複数の基準スパンとの間の差のばらつきを求めることを特徴とする請求項 1 に記載の位置計測装置。

【請求項 8】

前記演算手段は、前記画像データに基づきマークの各部分の位置を抽出する抽出手段を含むとともに、前記ばらつきとして、前記抽出手段により抽出された複数の位置と、前記複数の位置にそれぞれ対応した複数の基準位置との間の位置ずれのばらつきを求めることを特徴とする請求項 1 に記載の位置計測装置。

【請求項 9】

波長可変の照明手段を備えるとともに、前記設定手段は、前記照明手段の波長毎に前記パラメータを設定することを特徴とする請求項 1 に記載の位置計測装置。

【請求項 10】

基板にパターンを露光する露光装置であって、

請求項 1 に記載の位置計測装置を備えた

ことを特徴とする露光装置。

【請求項 11】

前記位置計測装置により前記基板上的マークの位置を計測することを特徴とする請求項 10 に記載の露光装置。

【請求項 12】

前記基板を支持および移動させるステージを備え、前記位置計測装置により前記ステージ上のマークの位置を計測することを特徴とする請求項 10 に記載の露光装置。

【請求項 13】

前記基板を支持および移動させるステージを備え、前記画像データは、前記撮像手段によ

10

20

30

40

50

り前記ステージ上の基準面を撮像して得られたものであることを特徴とする請求項 10 に記載の露光装置。

【請求項 14】

前記演算手段は、前記画像データに基づきマークの各部分間のスパンを抽出する抽出手段を含むとともに、前記ばらつきとして、前記抽出手段により抽出された複数のスパンと、前記複数のスパンにそれぞれ対応した複数の基準スパンとの間の差のばらつきを求めることを特徴とする請求項 10 に記載の露光装置。

【請求項 15】

前記演算手段は、前記画像データに基づきマークの各部分の位置を抽出する抽出手段を含むとともに、前記ばらつきとして、前記抽出手段により抽出された複数の位置と、前記複数の位置にそれぞれ対応した複数の基準位置との間の位置ずれのばらつきを求めることを特徴とする請求項 10 に記載の露光装置。

10

【請求項 16】

前記マークは、前記基板上のマークであることを特徴とする請求項 14 または 15 に記載の露光装置。

【請求項 17】

前記基板を支持および移動させるステージを備え、前記マークは、前記ステージ上のマークであることを特徴とする請求項 14 または 15 に記載の露光装置。

【請求項 18】

請求項 10 乃至 17 のいずれか 1 項に記載の露光装置を用いて基板にパターンを露光する露光工程を含むことを特徴とするデバイス製造方法。

20

【請求項 19】

マークの位置を計測する位置計測方法であって、
撮像手段により撮像する撮像工程と、
撮像工程において得られた画像データのばらつきを求める演算工程と、
前記撮像工程において異なる受光量で得られた複数の画像データに関し前記演算工程においてそれぞれ求めたばらつきに基づき、前記撮像手段の受光量に関するパラメータを設定する設定工程と
を備えたことを特徴とする位置計測方法。

【請求項 20】

前記演算工程において、前記ばらつきとして、前記画像データの標準偏差およびレンジのいずれかを求めることを特徴とする請求項 19 に記載の位置計測方法。

30

【請求項 21】

前記設定工程において、前記パラメータとして、前記撮像手段の蓄積時間および受光量トレランスのいずれかを設定することを特徴とする請求項 19 に記載の位置計測方法。

【請求項 22】

前記設定工程において、前記ばらつきが最小となるように前記パラメータを設定することを特徴とする請求項 19 に記載の位置計測方法。

【請求項 23】

前記設定工程において、前記ばらつきが許容値以下となるように前記パラメータを設定することを特徴とする請求項 19 に記載の位置計測方法。

40

【請求項 24】

前記設定工程において、前記ばらつきが許容値以下となるように、前記パラメータとして、前記撮像手段の受光量トレランスを設定することを特徴とする請求項 19 に記載の位置計測方法。

【請求項 25】

前記演算工程は、前記画像データに基づきマークの各部分間のスパンを抽出する抽出工程を含み、前記演算工程において、前記ばらつきとして、前記抽出工程において抽出された複数のスパンと、前記複数のスパンにそれぞれ対応した複数の基準スパンとの間の差のばらつきを求めることを特徴とする請求項 19 に記載の位置計測方法。

50

【請求項 26】

前記演算工程は、前記画像データに基づきマークの各部分の位置を抽出する抽出工程を含み、前記演算工程において、前記ばらつきとして、前記抽出工程において抽出された複数の位置と、前記複数の位置にそれぞれ対応した複数の基準位置との間の位置ずれのばらつきを求めることを特徴とする請求項 19 に記載の位置計測方法。

【請求項 27】

前記設定手段は、波長可変の照明手段の波長毎に前記パラメータを設定することを特徴とする請求項 19 に記載の位置計測方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、マーク等の位置を計測する位置計測技術に関するものである。

【背景技術】

【0002】

半導体製造等のための露光装置において、ウエハの各被露光領域の位置を計測する方法として、位置合わせ用の光学系を用いて、所定の波長の光を照射してアライメントマークの反射光を光電変換した結果を利用するものがある。以下、この技術を用いた半導体製造用露光装置の従来例を簡単に説明する。

【0003】

図 5 において示される露光装置において、R は電子回路パターンが形成されている原版（以下、「レチクル」ともいう。）、W は露光基板であるウエハ、そして 1 は投影光学系である。また、S は位置合わせ用光学系を示し、2 は位置合わせ照明装置、3 はビームスプリッタ、4 と 5 は結像光学系、6 は撮像手段である。7 は A/D 変換手段であり、8 は積算装置、9 は位置検出手段である。10 は波長切り替え手段であり、11 は 2 次元に移動可能な X Y ステージであり、13 はステージ制御手段である。ステージ制御手段 13 は、位置検出手段 9 の検出結果に基づき X Y ステージを所定の位置に位置決めすることができる。14 は露光照明光源であり、レチクル R を照明する。ここで図 5 においては X 方向の位置を検出する位置合わせ用光学系 S のみを示しているが、同様に Y 方向（紙面に垂直方向）の位置を検出するための位置合わせ用光学系も露光装置に搭載されているものとする。図 5 に示した半導体の製造に用いられる露光装置はレチクル R とウエハ W の相対的な位置合わせをした後に、露光照明光源 14 から露光光を照射して、レチクル R 上に形成されている電子回路パターンを投影光学系 1 を介して X Y ステージ 11 上に搭載されているウエハ W に投影露光する。

20

30

【0004】

次に、上述の露光装置における位置計測方法について説明する。まず、最初に、ウエハ W 上のアライメントマーク WM を撮像手段 6 の撮像画面内で観察できるように X Y ステージ 11 の位置を調整する。続いて位置合わせ照明装置 2 から非露光光を照射し、波長切り替え手段 10 により波長が切り替えられる。波長が切り替えられた光束は結像光学系 4、ビームスプリッタ 3 を介して、アライメントマーク WM を照明する。照明されたアライメントマーク WM から反射した光束は、ビームスプリッタ 3、結像光学系 5 を介して撮像装置 6 の撮像面上の観察範囲 (WP) に反射により得られたアライメントマークの像を形成する (図 2 (e))。撮像装置 6 はアライメントマーク WM の像を光電変換する。

40

【0005】

その後、撮像装置 6 からの出力は、A/D 変換装置 7 において、2 次元のデジタル信号列に変換される。積算装置 8 は A/D 変換装置 7 の出力である 2 次元信号を 1 次元のデジタル信号列 S1(x) に変換する。1次元のデジタル信号列に変換後、位置計測手段 9 にてアライメントマーク WM の位置を検出する。

【0006】

ここで積算装置 8 による 1 次元のデジタル信号列 S1(x) の作成においては、(1)撮像手段 6 における光電変換および A/D 変換手段 7 における A/D 変換は、それぞれのダイナ

50

ミックレンジ内で行われること、そして、(2)撮像手段6においてアライメントマークWMの位置計測に十分な受光量が確保されること、が必要であり、この2つの条件が満たされていればアライメントマーク位置の計測を正確に行うことが可能になる。

【0007】

ここで、撮像光量が所定の範囲に入っているか否かを判定するとともに、当該判定結果に基づき適切な光量でマークを撮像できるようにした位置計測技術として、特許文献1に開示されているものがある。

【特許文献1】特開2003 092247号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0008】

しかしながら、近年、DRAMに代表される半導体の集積度はますます高くなっており、アライメントマークの位置計測においても要求される計測精度も高くなってきている。撮像手段6の受光量を調節するためには、位置合わせ照明装置2の照明強度を不図示のNDフィルタ等により調節する方法と、撮像手段6の受光時間(CCD等の光電変換装置における電荷蓄積時間等)を調節する方法とがある。しかしながら、撮像手段6による光電変換の結果をA/D変換した後、1次元のデジタル信号列 $S(x)$ を生成し、当該 $S(x)$ のS/N比を求める場合、位置合わせ照明装置2の光源のちらつきによる光学ノイズや、撮像手段6やA/D変換手段7の電気ノイズ等の影響により、同じ受光量になるように調整しても、当該受光量、または照明強度と受光時間との組み合わせによっては、1次元デジタル信号列 $S_1(x)$ のS/N比が異なったものとなってしまう。このことは、同じ受光量でもアライメントマークの位置検出精度が変動することを意味し、よって、場合によりアライメントマークの位置計測精度が悪化してしまうことが懸念され、単に所定トランス内の受光量となるように制御するだけでは不十分な場合があり得ることになる。

20

【0009】

本発明は、上述のような精度劣化を抑制した高精度の位置計測技術を提供することを目的とするものである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記目的を達成する本発明にかかるマークの位置を計測する位置計測装置は、撮像手段と、前記撮像手段により得られた画像データのばらつきを求める演算手段と、異なる受光量で前記撮像手段により得られた複数の画像データに関し前記演算手段によりそれぞれ求めたばらつきに基づき、前記撮像手段の受光量に関するパラメータを設定する設定手段とを備えたことを特徴とする。

30

【0011】

あるいは、本発明にかかる基板にパターンを露光する露光装置は、上記の位置計測装置を備えたことを特徴とする。

【0012】

あるいは、本発明にかかるマークの位置を計測する位置計測方法は、撮像手段により撮像する撮像工程と、撮像工程において得られた画像データのばらつきを求める演算工程と、前記撮像工程において異なる受光量で得られた複数の画像データに関し前記演算工程においてそれぞれ求めたばらつきに基づき、前記撮像手段の受光量に関するパラメータを設定する設定工程とを備えたことを特徴とする。

40

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、上述のような精度劣化を抑制した高精度の位置計測技術を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

50

【0014】

以下、図面を参照しつつ本発明の好適な実施形態を説明する。

【0015】

<実施形態1>

本発明にかかる位置検出方法を露光装置に適用した実施形態を説明する。図1Aは、第1実施形態にかかる露光装置の構成を示す図である。同図において、Rは電子回路パターンが形成されているレチクルであり、Wは露光基板であるウエハ、1は投影光学系である。この投影光学系1は、照明光源14より照射された投影光に基づきレチクルRの電子回路パターン像をウエハWに投影する。

【0016】

Sは位置合わせ用光学系であり、照明装置、ビームスプリッタ、結像光学系、撮像手段、制御ユニットを含む。2は位置検出用の照明光を照射する位置合わせ用の照明装置であり、3はビームスプリッタ、4及び5は結像光学系である。60は照明装置2から照明された光の反射光を受光する受光時間（蓄積時間）の調節が可能な撮像手段である。16は制御ユニットであり、照明装置2が照射する光束の強度を制御したり、撮像手段60が受光する光束の受光時間を撮像評価手段12で評価した結果に基づき撮像手段60に設定したりする。撮像手段60は設定された受光時間に従って照明装置2から照明された光の反射光を受光する。

10

【0017】

7は撮像手段60で処理された結果をデジタル信号に変換するためのA/D変換手段、8はA/D変換手段7と接続し、デジタル信号の演算が可能な積算手段であり、9はデジタル信号に基づき検出対象の位置を検出する位置検出手段である。10は照明装置2から照射された照明光の波長を切り換えるための波長切り替え手段であり、検出対象の位置計測において、位置計測用の照明光を位置検出対象に照射するにあたり、種々の波長の照明光に切り換えることが可能である。波長の切り替えは、制御ユニット16により制御することが可能である。11は2次元に移動可能なXYステージであり、13はステージ制御手段である。XYステージ11は、ウエハWの露光時において、ステージ制御手段13の制御の下に、ウエハWの被露光領域を露光するためにウエハWを移動して位置決めし、位置計測時においては、XYステージ上に載置されたウエハWの各被露光領域の位置を撮像手段60により計測するために必要なXYステージ上に設けられている基準マークSMを、撮像手段60が観察可能な範囲(WP)に位置決めすることができる。

20

30

【0018】

12は撮像評価手段であり、積算手段8による演算結果のばらつきを計測し、標準偏差やレンジ等の統計的な演算処理や最小二乗演算等の誤差評価に関する演算処理を行うことができる。15は位置検出手段9、撮像評価手段12において検出、評価された結果を保存するためのデータベースであり、メモリに格納された状態で書き込み、読み出しが可能である。

【0019】

図1Bは第1実施形態における位置計測処理の流れを説明するフローチャートである。まず、ステップS101において、XYステージ11上の基準マークSMを撮像手段60の撮像画面内(WP)で観察できるように、ステージ制御手段13によりXYステージ11を駆動させて位置調整を行う。ここで、XYステージ11に設けられている基準マークSMは、ステージ上のXY平面内に図2(b)のような矩形のマークを複数配置したものである。WPは撮像手段60における撮像画面を示す観察範囲であり、ステップS101において、XYステージ11の基準マーク(SM)が撮像手段60の観察範囲(WP)内に入り、4本の基準マークを観察することができる位置に調整ができれば、処理をステップS102に進め、位置合わせ用の照明装置2から照明光を照射する。

40

【0020】

ステップS103において、波長切り替え手段10により選択した波長の光束により、結像光学系4、ビームスプリッタ3を介して、XYステージ上の基準マークSMを照明す

50

る。基準マーク S M から反射した光束は、再びビームスプリッタ 3 に戻り、結像光学系 5 を介して撮像装置 6 0 の観察範囲 (W P) 内に基準マーク S M の像を形成する。

【 0 0 2 1 】

ステップ S 1 0 4 において、撮像装置 6 0 は基準マーク S M の像を光電変換し、その後、撮像装置 6 0 からの出力は、 A / D 変換装置 7 に入力され、 A / D 変換装置 7 は光電変換の結果を 2 次元のデジタル信号列に変換する (S 1 0 5)。撮像装置 6 0 が行う受光時間の調節により、受光量 (照明光量 = 光束の強度 × 受光時間) を調節することができる。

【 0 0 2 2 】

ステップ S 1 0 6 において、積算装置 8 は A / D 変換装置 7 の出力である 2 次元信号を Y 方向または X 方向に積算処理をして 1 次元のデジタル信号列 S 1 (x) または S 1 (y) に変換する (図 2 (d) は Y 方向に積算処理して得られた X 方向のデジタル信号列の例を示す図である。)。1 次元のデジタル信号列は、例えば、図 2 (d) に示すように基準マーク S M に対応した 1 次元のデジタル信号列 S 1 (x) であり、この信号列 S 1 (x) のコントラストに基づき (例えば、当該コントラストが最大となることを条件として) 撮像手段 6 0 と基準マーク S M とを互いに共役な位置関係とすることができる (尚、この共役位置関係は、位置合わせ用光学系内の光学要素、撮像手段 6 0 または基準マーク S M の移動等により可能である)。コントラストを求める処理は、位置検出手段 9 により実行させることができる。また、位置検出手段 9 は、積算手段 8 により求められた 1 次元のデジタル信号列 S 1 (x) を、撮像手段 6 0 の観察範囲 (W P) における位置 (x) に関して微分することにより 1 次元のデジタル信号列 S 1 (x) の傾きやその分布を求めたり、撮像手段 6 0 が受光した光束の強度 (Intensity) の最大値や、受光した光束の強度の分布を求めたりすることができる。図 2 (d) において、基準マーク S M 1 ~ S M 4 (図 2 (b)) の位置に対応して、信号レベルにピークが発生する (M 1 ~ M 4)。強度ピークの間隔 $d M 1 \sim d M 3$ と、基準マークの正規の配置間隔 $L M 1 \sim L M 3$ (図 2 (b)) とを合わせることで、撮像手段 6 0 と基準マーク S M とを共役位置関係にすることができる。すなわち、撮像手段 6 0 における受光時間を変化させながら、ピーク位置 M 1 ~ M 4 の正規位置に対するずれのばらつき (標準偏差等) がもっとも小さくなる受光時間を求め、その受光時間で撮像手段 6 0 により撮像を行ない、得られた撮像画像のコントラストに基づき、基準マーク S M と撮像手段 6 0 とを共役位置関係とすることができる。

【 0 0 2 3 】

次に、位置計測用として選択した波長毎の照射光によるちらつきや電氣的なノイズの影響を求める。まず、ステップ S 1 0 7 において、基準マークやパターンのない計測用の領域を位置計測用の照明により照射するために、図 2 (a) のように観察できる領域 (基準マーク S M が存在していない X Y ステージ上の計測領域 (以下、「基準面」ともいう。)) を、撮像手段 6 0 の撮像画面 (W P) 内で観察できるように位置調整する。そして、この基準面に対して、先に説明した基準マーク S M に対する処理と同様に、選択した波長の光束で照射し、その反射光をビームスプリッタ 3、結像光学系 5 を介して撮像手段 6 0 で受光して、基準面からの反射像に関する光電変換を行う。そして、撮像手段 6 0 による光電変換の結果は、その後、 A / D 変換器 7 により A / D 変換され、基準面に対する 1 次元のデジタル信号列が求められる。このようにして、撮像手段 6 0 における受光時間 $t c$ 毎に、基準マーク S M に関する 1 次元のデジタル信号列と、基準面に関する 1 次元のデジタル信号列との相対的な関係 (S / N 比) を求めることができる。

【 0 0 2 4 】

ここで、図 2 (c) は、1 次元のデジタル信号列として、X 方向における 1 次元のデジタル信号列 $S o (x)$ を例示する図である。 $S o (x)$ の分布より、パターンや基準マークのない基準面を観測した場合、位置合わせ用の照明装置 2 の光源のちらつきや撮像装置の電氣的特性により、デジタル信号列は一様ではなく、図 2 (c) のようにばらついていることがわかる。そこで、このばらつき (例えば標準偏差) を撮像評価手段 1 2 で求め、このばらつきに基づき最適な受光時間を決定する (S 1 0 9)。ここで決定された受光時間は、制御ユニット 1 6 が撮像手段 6 0 に設定する。

10

20

30

40

50

【0025】

ここで、最適な受光時間を決定する具体的な処理としては、例えば、図3Aのように横軸に撮像手段60における受光時間 t_{ci} をとり、縦軸に基準面での反射光に基づく1次元デジタル信号列のばらつき（標準偏差やレンジなど、撮像評価手段12により得られたばらつきの指標となる値）をとり（図3Aでは縦軸に標準偏差をとった例を示している。）、両者の関係から1次元デジタル信号列のばらつきがもっとも小さくなるような受光時間 t_{cimin} を求めるものである。受光時間 t_{cimin} は、図3Aに示すように受光時間を変化させながら標準偏差を求め、標準偏差の値がもっとも小さくなる受光時間として特定することができる。この受光時間 t_{cimin} は位置計測用の照明装置2の光源のちらつきや撮像手段60の電気的特性によるばらつきの影響を最も小さくすることを可能にする受光時間であり、撮像手段60によりこの受光時間でアライメントマークを撮像すれば、S/N比を最も高くすることができる。

10

【0026】

以上の処理を波長切り替え手段10で切り換えることが可能な照明光の波長 λ_i すべてに関して実行し、基準面1次元デジタル信号列のばらつきが最も小さくなるような受光時間 t_{cimin} を波長 λ_i 毎に求める。図3Bは波長切り替え手段10により切り換えられる照明光の各波長 λ_i と、受光時間 t_{cimin} との関係を示す図である。選択した波長に応じて、受光時間 t_{cimin} を切り換えることで、照明光のちらつき等の影響を低減することができ、撮像手段60の受光光量をS/N比が最も高くなるように調整することができる。

20

【0027】

図3Bの波長と受光時間との関係は、例えば、メモリ内のデータベース15にルックアップテーブル(LUT)として格納され、露光装置によるウエハWに対するアライメント計測の際、このLUTを参照することにより、選択した波長に応じた受光時間で位置計測を実行することができる。

【0028】

尚、本実施形態において、図2(c)、(d)で示した1次元のデジタル信号列はX軸方向に関するものであったが、Y軸方向のデジタル信号列を用いてもよく、また、当該方向ごとにまたは両方向の信号列のデータに基づき受光時間(t_{cimin})を決定するようにしてもよい。

30

【0029】

<実施形態2>

第1実施形態では最適な受光時間 t_c を求めるために、XYステージ11に設けられた基準マークSMと、基準マークのない面(基準面)とを観察したときの1次元のデジタル信号列のデータに基づいて最小の受光時間(t_{cimin})を決定していたが、本実施形態では、基準マークSMの位置計測結果のみを指標に最適な受光時間を求める。本実施形態において、XYステージ11における基準マークSMに対する1次元のデジタル信号列に基づいて撮像手段60と基準マークSMとを共役位置関係に調整する処理(図1BのステップS101~S106)は、第1実施形態と同様に行うものとする。

【0030】

図1Cは、図1BのステップS106に後続する第2実施形態の具体的な処理の流れを説明するフローチャートである。まず、ステップS201において、位置計測手段9を用いて図2(d)に示す基準マークSMの信号に基づき各矩形マークの位置 $M_1 \sim M_4$ を計測し、ステップS202において、各矩形マーク間の距離(スパン) $d_{M_1} \sim d_{M_4}$ を求める。ここで、各矩形マーク間のスパン $d_{M_1} (= M_2 - M_1) \sim d_{M_4} (= M_4 - M_1)$ のばらつきは、照明装置2の光源のちらつきや撮像装置60の電気的特性などの要因で起こるものである。撮像手段60における受光時間を変化させながら、基準マークSMにおける矩形マーク間のスパン $d_{M_1} \sim d_{M_4}$ を計測し、計測結果に基づきスパンのばらつきを撮像評価手段12が逐次演算する。図3Cは、ある波長 λ_1 の光束に関し、受光時間を t_{c1} 、 t_{c2} 、 t_{c3} 、 \dots 、 t_{cm} と変化させた場合のスパン $d_{M_1} \sim d_{M_4}$ の計測

40

50

結果をデータテーブルとしてまとめた図であり、各受光時間毎にスパン $dM1 \sim dM4$ の標準偏差 () が求められる。また、図 2 (b) に示すように矩形マーク間の規範長さとして $LM1 \sim LM4$ が既知な量として定められている場合には、この規範長さ (LMi) と、計測したマークスパン (dMi) との差分に関して標準偏差等を求めてもよい (ステップ S 2 0 3)。尚、統計的な指標としては、標準偏差の他、計測値の最大値と最小値の幅としてのレンジや最小二乗法を用いて求めた規範長さ (LMi) と計測値 (dMi) との関係 (例えば、当該関係を示す近似直線の傾き等のパラメータ) であってもよい。これらの統計的指標を撮像手段 6 0 が反射光を受光する受光時間を変化させながら求める。そして、ステップ S 2 0 4 において、ステップ S 2 0 3 で求めた統計的指標に基づいて (例えば、マークスパン $dM1 \sim dM4$ に関する標準偏差やレンジ等を最小にする受光時間を最適なものとして) 受光時間を決定する。そして、ここで決定された受光時間は、制御ユニット 1 6 が撮像手段 6 0 に設定する。

10

【 0 0 3 1 】

最適な受光時間を決定するには、たとえば、第 1 実施形態で説明した図 3 A のように、横軸に撮像手段 6 0 における受光時間 t_{ci} をとり、縦軸にマークスパン $dM1 \sim dM4$ に関する標準偏差やレンジなど、撮像評価手段 1 2 により得られた 1 次元デジタル信号列のばらつきを示すデータを取り、1 次元デジタル信号列のばらつきがもっとも小さくなるような受光時間 $t_{cim i n}$ を求めればよい。このようにして得られた受光時間 $t_{cim i n}$ は、位置計測用の照明装置 2 の光源のちらつきや撮像装置の電気的特性によるばらつきの影響を最も小さくする受光時間である。尚、位置計測手段 9 により、位置検出用に切り換えられる光束の波長毎に、受光時間 $t_{cim i n}$ を求めるようにする。また、波長と受光時間との関係は、第 1 実施形態において説明した LUT (図 3 B) と同様に、アライメント計測時において参照可能な状態でメモリ内のデータベース 1 5 に格納される。

20

【 0 0 3 2 】

実際にアライメントマークを計測するときは、計測時の照明波長にあわせて受光時間 $t_{cim i n}$ を変更し、アライメントマークを撮像する。選択した波長に応じて、受光時間 $t_{cim i n}$ を切り換えることで、照明光のちらつき等の影響を排除することができ、また、撮像手段 6 0 の受光光量に関し、S / N 比を最も高くするように調整することができる。よって、位置計測用の照明光の波長を切り換えた場合でも、波長または波長に対応した光源によらず S / N 比の良好な画像ことができる。

30

【 0 0 3 3 】

本実施形態では、基準マーク S M の撮像信号における各矩形マークの間隔 (スパン) の「ばらつき」を最小にする受光時間を決定したが、撮像の対象は、X Y ステージ 1 1 上の基準マーク S M に限定されず、例えば、露光の対象となるウエハ W 上に設けられたウエハマーク W M (図 1 A) であってもよい。ウエハマーク W M を照明装置 2 により照明し得られた撮像結果に基づき、ウエハマーク W M の間隔のばらつきを最小にするものとして受光時間 $t_{cim i n}$ を決定することも可能である。ウエハ W 上のマーク W M を計測に使用するとともに、本実施形態の処理をウエハ W 枚葉に適用すれば、ウエハ毎にウエハ表面状態やマーク形状がばらついていても、それぞれのウエハにおいて最適な受光時間 $t_{cim i n}$ を決定することが可能になる。

40

【 0 0 3 4 】

ウエハマーク W M を基準とする場合、計測対象マークすべてに関して最適な受光時間 $t_{cim i n}$ を求めてもよいが、その場合処理に長時間を要することになるので、例えば、代表的なウエハマーク W M (例えば、1 つのサンプルショットに対応して設けられたウエハマーク) に関して最適な受光時間を求め、他のウエハマークに関しては代表的なウエハマークで求めた受光時間で撮像するようにして、受光時間を求める処理時間を短縮することも可能である。また、ロット内でウエハ表面状態やウエハマークの形状が安定している場合は、ロット内の第 1 ウエハで求めた最適な受光時間 $t_{cim i n}$ を、以降の同一ロット内のウエハで使用することも可能である。

【 0 0 3 5 】

50

以上のように、波長切り換え手段10により切り換えられた照明波長に最適な受光時間とすることにより、より高精度なアライメントマークの位置計測が可能となる。また、ウエハ上のマークの撮像データを指標として受光時間を決定することにより、実際のウエハに最適な受光時間を決定することができる。

【0036】

<実施形態3>

第2実施形態では、最適な受光時間を求めるために、基準マークSMまたはウエハマークWMの撮像信号におけるマークスパンのばらつきを指標としていたが、本実施形態ではXYステージに設けられた基準マークSMの計測位置のばらつきを指標として最適な受光量(受光時間)を決定する。本実施形態において、撮像手段60と基準マークSMとを共役位置関係に調整する処理(図1BのステップS101~S106)は、第1実施形態と同様に実行される。

【0037】

図1Dは、図1BのステップS106に後続する第3実施形態の具体的な処理の流れを説明するフローチャートである。まず、ステップS301において、位置計測手段9を用いて、図2(d)に示す基準マークSMの撮像信号に基づき、各矩形マークの中央位置に対応するピークの位置M1~M4を計測する。ここで、位置M1~M4の各基準位置(各矩形マークの設計上または実際の位置)に対するばらつきは照明光源のちらつきや撮像手段60の電気的特性、さらにはステージやステージの位置を計測する干渉計などの要因で起こるものである。ピークの位置M1~M4は、基準マークSMを撮像した際に得られる1次元のデジタル信号列S1(x)において、例えば、図2(d)のピークの位置として求めることができる。

【0038】

ステップS302において、撮像手段60における受光時間を変えながら、計測位置M1~M4のばらつき(標準偏差等)を求める。尚、ばらつきの統計的な指標としては、第2実施形態と同様に、標準偏差の他、最大値と最小値との差としてのレンジ等を使用してもよい。

【0039】

そして、ステップ303において、ステップS302で求めた位置M1~M4のばらつき(標準偏差やレンジ等)に基づき、(標準偏差等のばらつきの指標を最小にするものとして)受光時間を決定する。ここで決定された受光時間は、制御ユニット16が撮像手段60に設定する。

【0040】

最適な受光時間を決定するには、たとえば、第1実施形態で説明した図3Aのように、横軸に撮像手段60における受光時間 t_{ci} をとり、縦軸に計測値M1~M4に関する標準偏差やレンジなど、撮像評価手段12により得られたばらつきの指標をとり、計測値M1~M4のばらつきがもっとも小さくなるような受光時間 t_{cimn} を求めればよい。この受光時間 t_{cimn} は位置計測用の照明装置2の光源のちらつきや撮像装置の電気的特性等によるばらつきの影響を最も小さくする受光時間である。また、位置計測手段9により、位置検出用に切り換えられる光束の波長毎に、受光時間 t_{cimn} を求めるようにする。波長と受光時間の関係は、第1実施形態において説明したLUT(図3B)のように、アライメント計測時において参照可能な状態でメモリ内のデータベース15に格納される。

【0041】

実際にアライメントマークを計測するときは、計測時の照明波長にあわせて受光時間 t_{cimn} を変更し、アライメントマークを撮像する。選択した波長に応じて、受光時間 t_{cimn} を切り換えることで、照明光のちらつき等の影響を排除することができ、撮像手段60の受光光量に関し、S/N比を最も高くするように調整することができる。よって、波長または波長に対応した光源によらずにS/N比の良好な画像を得ることができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 2 】

本実施形態では、基準マーク S M の撮像信号における各矩形マークの位置の「ばらつき」を最小にする受光時間を決定したが、撮像の対象は、X Y ステージ 1 1 上の基準マーク S M に限定されず、例えば、露光の対象となるウエハ W 上に設けられたウエハマーク W M (図 1 A) であってもよい。ウエハマーク W M を計測に使用にするとともに、ウエハ W に対し枚葉で本実施形態の処理を適用することにより、ウエハ毎にウエハ表面状態やマーク形状がばらついていても、それぞれのウエハにおいて最適な受光時間 $t_{c i m i n}$ を決定することが可能になる。

【 0 0 4 3 】

また、ウエハ上の計測マークすべてに関し最適な受光時間 $t_{c i m i n}$ を求めてもよいが、個別に受光時間を求める場合は処理に長時間を要することになるので、例えば、代表的な 1 つのウエハマーク W M (例えば、1 つのサンプルショットに対応して設けられたウエハマーク) に関して最適な受光時間を求め、他のウエハマークに関しては代表的なウエハマーク W M で求めた受光時間で撮像するようにして、受光時間を決める処理時間を短縮することも可能である。また、ロット内でウエハ表面状態やウエハマークの形状が安定している場合は、ロット内の第 1 ウエハで求めた最適な受光時間 $t_{c i m i n}$ を、以降の同一ロット内のウエハに適用することも可能である。

【 0 0 4 4 】

以上のように、波長切り換え手段 1 0 により切り換えられた照明波長に最適な受光時間とすることにより、より高精度なアライメントマークの位置計測が可能となる。また、ウエハ W 上のマークの撮像信号に基づいて受光時間を決定することにより、実際のウエハに最適な受光時間を決定することができる。

【 0 0 4 5 】

また、上述の受光時間の決定において、ステージの振動や、干渉計の計測誤差の影響も加味してマークの位置を評価する (例えば、受光時間中の複数のステージ位置データに基づき (例えば、ステージ位置を当該複数の位置の平均的な位置として) マーク位置を求める) ことにより、光源のちらつきや撮像手段 6 0 の電気的特性・ノイズのみならず、X Y ステージ 1 1 の振動や、レーザ干渉計 (不図示) の計測誤差の影響をも排除することが可能になる。

【 0 0 4 6 】

< 実施形態 4 >

上述の第 2、第 3 実施形態では、基準マーク S M を構成する矩形マークの間隔 (スパン) や矩形マークの計測位置から最適な受光時間を求めたが、計測精度を確保できる光量トレランスを求めることも可能である。

【 0 0 4 7 】

光量トレランスとは、基準マーク S M やウエハマーク W M の撮像において、撮像手段 6 0 の受光量が計測に適したレベルであるかどうかの判定基準である。光量トレランスを設定し基準マーク等の位置計測時に受光量がこの光量トレランスの範囲内になるように受光時間や照明強度の調整を行うことにより、受光時間を調整するための時間の短縮が可能になる。以下、光量トレランスを求めるための手順を説明する。

【 0 0 4 8 】

本実施形態において、撮像手段 6 0 と基準マーク S M とを共役位置関係に調整する処理 (図 1 B のステップ S 1 0 1 ~ S 1 0 6) は、第 1 実施形態と同様に実行される。

【 0 0 4 9 】

図 1 E は、図 1 B のステップ S 1 0 6 に後続する第 4 実施形態の具体的な処理の流れを説明するフローチャートである。まず、ステップ S 4 0 1 において、位置計測手段 9 を用いて、図 2 (d) に示す基準マーク S M の撮像信号における各矩形マークの位置 M 1 ~ M 4 を計測し、ステップ S 4 0 2 において、当該計測結果に基づいて、各矩形マーク間のスパン $d M 1 (= M 2 - M 1)$ 、 $d M 2 (= M 3 - M 2)$ 、 $d M 3 (= M 4 - M 3)$ 、 $d M 4 (= M 4 - M 1)$ を求める。

10

20

30

40

50

【0050】

ここで、各矩形マーク間のスパン $dM1 \sim dM4$ のばらつきは、先の実施形態でも説明したとおり、照明装置 2 の光源のちらつきや撮像装置 60 の電気的特性などの要因で起こるものである。

【0051】

ステップ S403 において、求めたスパン $dM1 \sim dM4$ のばらつき（標準偏差等）を、光束の波長、撮像手段 60 の受光時間、照明強度を変化させながら、撮像評価手段 12 により逐次演算させる。この結果は第 2 実施形態で説明したように、例えば、図 4 B のようなデータテーブルにまとめられ、データベース 15 に格納される。図 4 B は、位置計測に用いられる光束の波長を λ_i とし、受光量 H_i （照明強度 I 、撮像手段 60 の受光時間 T_c により決まる）を変えた場合のマークスパン $dM1 \sim dM4$ の計測結果と、そのときの標準偏差との関係をテーブル形式にまとめた図である。ここで、波長 λ_i 毎に許容標準偏差 a_i を定めている。この許容標準偏差 a_i は、許容されるばらつきの最大値を示すデータである。

10

【0052】

ステップ S404 において、ステップ S403 の演算結果に基づいて最適な光量トレランスを決定する。最適な光量トレランスを決定する具体的な処理としては、たとえば、図 4 A に示すように、横軸に受光量、縦軸にマークスパンの標準偏差をとり、許容標準偏差 a_i を与える受光量を光量トレランスの下限とする。図 4 A において、斜線で示す部分は、許容標準偏差 a_i 以下のばらつきを与える受光量の範囲となる。この範囲が光量トレランスである。一般的に受光量は撮像手段 60 や A/D 変換手段 7 のダイナミックレンジ内でできるだけ大きなほうがよいが、矩形マークの位置計測精度に悪影響を与えない範囲内（光量トレランス内）ならば小さくてもかまわない。

20

【0053】

図 4 A は所定の波長 λ_i に関して標準偏差と受光量の関係を示す図であり、上述の処理を波長切り替え手段 10 で設定可能な照明波長のそれぞれに関して実行し、照明波長毎にマークスパン $dM1 \sim dM4$ の標準偏差が所定の許容標準偏差以下になることを条件として光量トレランスを求める（S401～S404）。

【0054】

実際にアライメントマークを計測するときは、計測時の照明波長 λ_i に応じて、上述のようにして求めた光量トレランス内の受光量 H_i に切り換えることにより、照明光のちらつき等の影響を排除することができ、撮像手段 60 の受光光量に関し、許容できる S/N 比を確保できるように調整することができる。よって、波長または波長に対応した光源によらず S/N 比の良好な画像を得ることができる。尚、受光量は、照射する光束の強度と撮像手段 60 の受光時間とにより決まるため、制御ユニット 16 は、そのどちらか一方あるいは両方のパラメータを調整することにより、上述の光量トレランスの条件を満たすように、照明手段 2 および / または撮像手段 60 を制御する。

30

【0055】

また、本実施形態では基準マーク SM の矩形マークのスパンのばらつきに基づき光量トレランスを決定したが、ウエハ上のマーク WM の矩形マークのスパンに基づき光量トレランスを決定することも可能である。この場合、ウエハ上のマーク WM を使用するとともに、ウエハ W に対し枚葉で本実施形態の処理を適用することにより、ウエハ毎にウエハ表面状態やマーク形状がばらついていても、それぞれのウエハに応じた光量トレランスを決定することが可能になる。ウエハ上のマーク毎に光量トレランスを求めてもよいが、ウエハ上の代表的なマーク（例えば、1 つのサンプルショット領域に対応して設けられたマーク）により光量トレランスを求め、他のマークに関しては上記代表マークに関し求めた光量トレランスを使用すれば、光量トレランスを求める処理時間を短縮することができる。また、ロット内の第 1 ウエハに関して求めた光量トレランスを以降の同一ロット内のウエハに関して使用することも可能である。

40

【0056】

50

このように照明波長毎に予め求めた光量トレランスの条件を満たすように受光量を制御することにより、より高精度なアライメントマークの位置計測が可能となる。また、また、ウエハW上のマークの撮像データに基づいて光量トレランスを決定することにより、実際のウエハに最適な光量トレランスを決定することができる。

【0057】

<デバイス製造方法の実施形態>

次に上記の露光装置を利用した半導体デバイスの製造プロセスを説明する。図6は、半導体デバイスの全体的な製造プロセスのフローを示す図である。ステップ1（回路設計）では半導体デバイスの回路設計を行なう。ステップ2（マスク作製）では設計した回路パターンに基づいてマスクを作製する。一方、ステップ3（ウエハ製造）ではシリコン等の材料を用いてウエハを製造する。ステップ4（ウエハプロセス）は前工程と呼ばれ、上記のマスクとウエハを用いて、リソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。次のステップ5（組み立て）は後工程と呼ばれ、ステップ4によって作製されたウエハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の組み立て工程を含む。ステップ6（検査）ではステップ5で作製された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行なう。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これを出荷（ステップ7）する。

10

【0058】

図7は、上記ウエハプロセスの詳細なフローを示す図である。ステップ11（酸化）ではウエハの表面を酸化させる。ステップ12（CVD）ではウエハ表面に絶縁膜を成膜する。ステップ13（電極形成）ではウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ14（イオン打込み）ではウエハにイオンを打ち込む。ステップ15（レジスト処理）ではウエハに感光剤を塗布する。ステップ16（露光）では上記の露光装置によって回路パターンをウエハに転写する。ステップ17（現像）では露光したウエハを現像する。ステップ18（エッチング）では現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ19（レジスト剥離）ではエッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行なうことによって、ウエハ上に多重に回路パターンを形成する。

20

【図面の簡単な説明】

【0059】

【図1A】第1実施形態にかかる露光装置の構成を示す図である。

30

【図1B】第1実施形態における位置計測処理の流れを説明するフローチャートである。

【図1C】図1BのステップS106に後続する第2実施形態の具体的な処理の流れを説明するフローチャートである。

【図1D】図1BのステップS106に後続する第3実施形態の具体的な処理の流れを説明するフローチャートである。

【図1E】図1BのステップS106に後続する第4実施形態の具体的な処理の流れを説明するフローチャートである。

【図2】基準面、基準マークの撮像を説明する図である。

【図3A】受光時間とノイズ成分の標準偏差の関係を示す図である。

【図3B】波長切り換え手段10により切り換えられる照明光の各波長 λ_i と、その波長に対する受光時間 $t_{c i m i n}$ の関係を示す図である。

40

【図3C】ある波長 λ_1 の光束に注目し、受光時間を $t_{c 1}$ 、 $t_{c 2}$ 、 $t_{c 3}$ 、 \dots 、 $t_{c m}$ と変化させた場合のスパン $d M 1 \sim d M 4$ の計測結果をデータテーブルとしてまとめた図である。

【図4A】所定の波長 λ_i を固定して考えた場合の標準偏差と受光量の関係を示す図である。

【図4B】位置計測に用いられる光束の波長を λ_i とし受光量 H_i を変えた場合のマークスパン $d M 1 \sim d M 4$ の計測結果と、そのときの標準偏差の関係を示す図である。

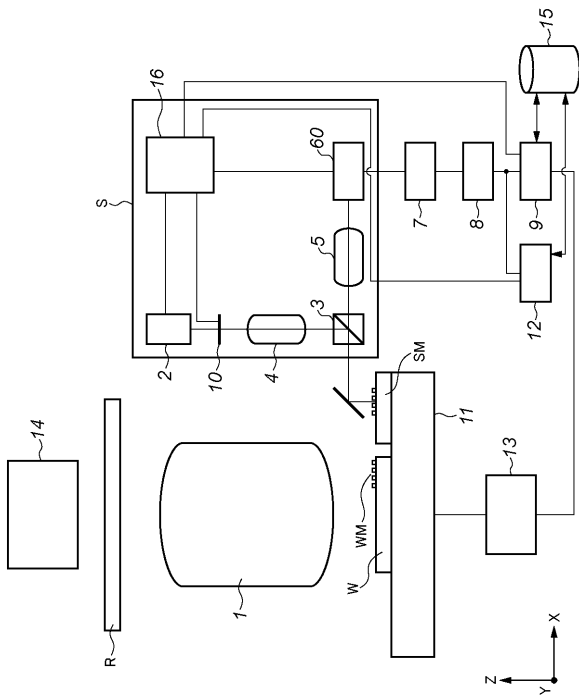
【図5】従来例における露光装置の構成例を示す図である。

【図6】半導体デバイスの全体的な製造プロセスのフローを示す図である。

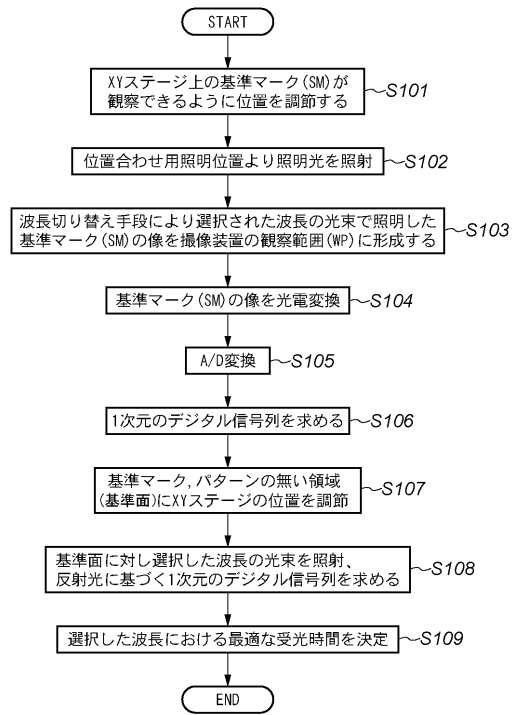
50

【図7】ウエハプロセスの詳細なフローを示す図である。

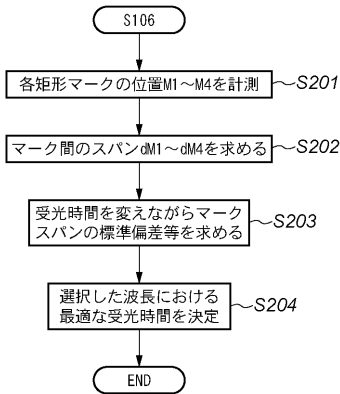
【図1A】



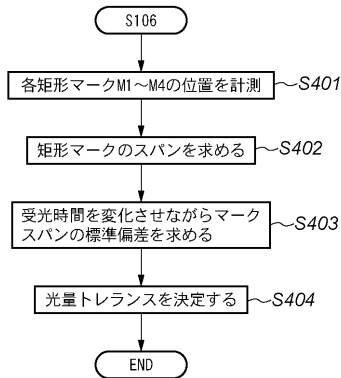
【図1B】



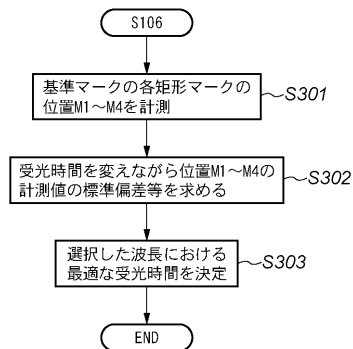
【 図 1 C 】



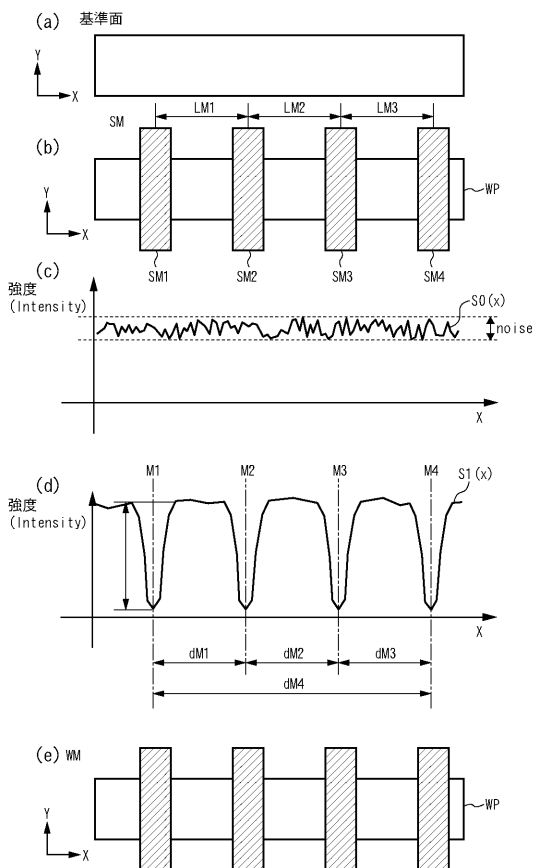
【 図 1 E 】



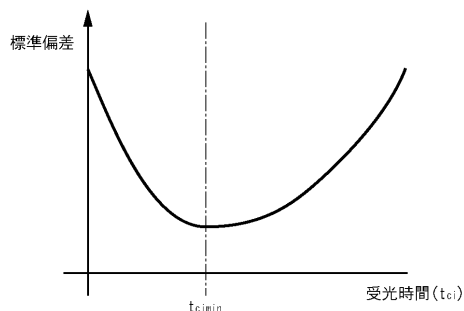
【 図 1 D 】



【 図 2 】



【 図 3 A 】



【 図 3 B 】

波長 λ_i	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_n
受光時間 t_{eimin}	t_{e1min}	t_{e2min}	t_{e3min}	t_{e4min}	t_{enmin}

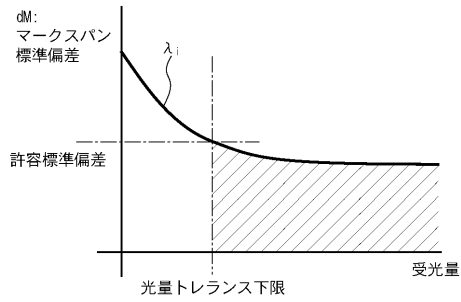
【図3C】

波長	λ_1				
受光時間	t_{c1}	t_{c2}	t_{c3}	-----	t_{cn}
dM1	dM11	dM12	dM13	-----	dM1n
dM2	dM21	dM22	dM23	-----	dM2n
dM3	dM31	dM32	dM33	-----	dM3n
dM4	dM41	dM42	dM43	-----	dM4n
標準偏差 σ	σ_1	σ_2	σ_3	-----	σ_n

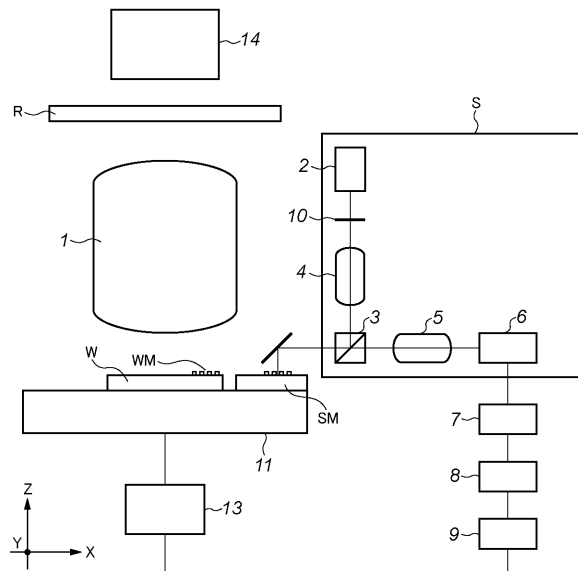
【図4B】

波長	λ_i				
許容標準偏差	σ_{ai}				
受光量	H_1	H_2	-----	H_n	
dM1	dM11	dM12	-----	dM1n	
dM2	dM21	dM22	-----	dM2n	
dM3	dM31	dM32	-----	dM3n	
dM4	dM41	dM42	-----	dM4n	
標準偏差 σ	σ_1	σ_2	-----	σ_n	

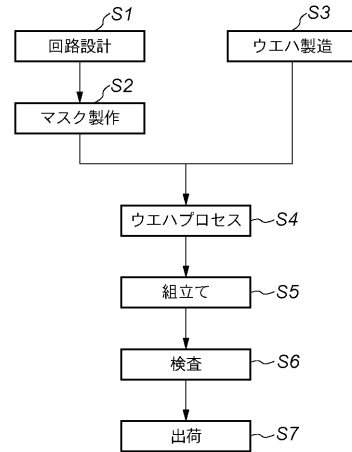
【図4A】



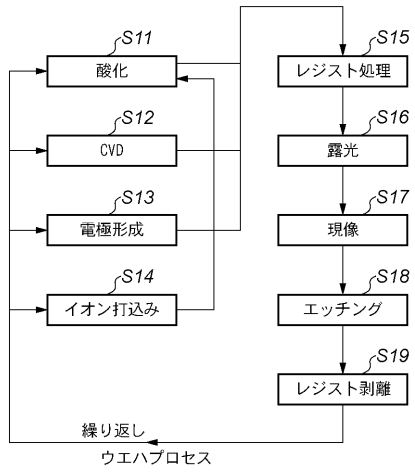
【図5】



【図6】



【 図 7 】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2F065 AA03 AA07 AA14 BB02 BB28 CC19 DD00 DD04 DD09 FF01
FF04 FF61 GG23 GG25 HH04 HH13 JJ03 JJ09 LL12 LL46
MM03 NN02 NN06 NN12 PP12 PP22 QQ03 QQ18 QQ23 QQ25
QQ41 RR06 RR09 UU02 UU05
5F046 EB01 EB03 ED02 FA07 FA10 FA17 FC04