

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5084239号
(P5084239)

(45) 発行日 平成24年11月28日 (2012.11.28)

(24) 登録日 平成24年9月14日 (2012.9.14)

(51) Int. Cl.	F I
H O 1 L 21/027 (2006.01)	H O 1 L 21/30 5 2 6 A
G O 3 F 7/207 (2006.01)	G O 3 F 7/207 H
G O 1 B 11/14 (2006.01)	G O 1 B 11/14 H

請求項の数 5 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2006-329915 (P2006-329915)	(73) 特許権者	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
(22) 出願日	平成18年12月6日 (2006.12.6)	(74) 代理人	100076428 弁理士 大塚 康德
(65) 公開番号	特開2008-147258 (P2008-147258A)	(74) 代理人	100112508 弁理士 高柳 司郎
(43) 公開日	平成20年6月26日 (2008.6.26)	(74) 代理人	100115071 弁理士 大塚 康弘
審査請求日	平成21年12月7日 (2009.12.7)	(74) 代理人	100116894 弁理士 木村 秀二
		(72) 発明者	松本 隆宏 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】 計測装置、露光装置並びにデバイス製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

原版のパターンの像を基板に投影する投影光学系を備える露光装置のデフォーカス量を計測する計測装置であって、

前記露光装置によって基板上に形成された検査マークの像をセンサで撮像し、前記センサで撮像された前記検査マークの像のエッジ間隔を計測する計測手段と、

前記露光装置のデフォーカス量と前記検査マークの像のエッジ間隔との関係を取得する取得手段と、

前記露光装置のデフォーカス量を求める処理手段と、
を有し、

前記計測手段は、前記露光装置の複数のデフォーカス量のそれぞれで前記露光装置によって基板上に形成された前記検査マークの第1の像のエッジ間隔を2つの計測条件のそれぞれで計測し、かつ、前記露光装置のあるデフォーカス量で前記露光装置によって基板上に形成された前記検査マークの第2の像のエッジ間隔を前記2つの計測条件のそれぞれで計測し、

前記取得手段は、前記2つの計測条件のそれぞれについて、前記露光装置のデフォーカス量と前記第1の像のエッジ間隔との間の第1の関係を取得し、

前記2つの計測条件は、前記第1の関係において前記第1の像のエッジ間隔が前記露光装置の互いに異なるデフォーカス量で極値を持つ2つの計測条件であり、

前記処理手段は、前記複数のデフォーカス量のそれぞれと、それに対応する前記第1の

像についての前記 2 つの計測条件での前記エッジ間隔の差分との間の第 2 の関係と、前記第 2 の像についての前記 2 つの計測条件での前記エッジ間隔の差分とに基づいて、前記第 2 の像に係る検査マークを基板上に形成したときの前記露光装置のデフォーカス量を求める、ことを特徴とする計測装置。

【請求項 2】

前記 2 つの計測条件は、前記検査マークの照明に関する条件である、ことを特徴とする請求項 1 に記載の計測装置。

【請求項 3】

前記 2 つの計測条件は、前記検査マークの像のメインローブ間の間隔を計測することによって前記検査マークの像のエッジ間隔を決定する計測条件と、前記検査マークの像のサイドローブ間の間隔を計測することによって前記検査マークの像のエッジ間隔を決定する計測条件とである、ことを特徴とする請求項 1 に記載の計測装置。

10

【請求項 4】

原版のパターンを基板に投影する投影光学系と、
前記原版又は前記基板を保持して位置決めを行うステージと、
請求項 1 乃至 3 のうちいずれか 1 項に記載の計測装置と、
前記計測装置で計測されたデフォーカス量に基づいて、前記投影光学系の光軸の方向における前記ステージの位置を制御する制御手段と、
を有することを特徴とする露光装置。

【請求項 5】

20

請求項 4 に記載の露光装置を用いて基板を露光するステップと、
前記工程で露光された前記基板を現像するステップと、
を含むことを特徴とするデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、例えば、半導体素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等をリソグラフィ工程で製造する際に使用される投影露光装置において、良好な像性能を得るために必要なデフォーカス量及び露光量の計測方法及び計測装置に関する。また、計測されたデフォーカス量及び露光量の制御方法に関する。更に、デフォーカス量及び露光量の計測及び制御が可能な露光装置並びにデバイス製造方法に関する。

30

【背景技術】

【0002】

半導体素子、液晶表示素子又は薄膜磁気ヘッド等をリソグラフィ工程で製造する際に、マスク又はレチクル（以下「レチクル」という。）のパターン像を投影光学系を介して感光基板上に結像する投影露光装置が用いられている。

【0003】

近年、半導体素子の高集積化による加工線幅の微細化に伴って、投影露光装置の投影レンズの高 NA 化、使用光源波長の短波長化、大画角化が進んでいる。これらを達成する手段として、ほぼ正方形に近い露光領域をウエハ上に縮小して一括投影露光するステッパと呼ばれる装置が用いられている。また、露光領域を矩形のスリット形状とし、レチクルとウエハとを相対的に高速走査して、大画面を精度良く露光するスキャナと呼ばれる走査型露光装置が主流になりつつある。このような状況の中で、投影レンズの高 NA 化、露光波長の短波長化により、パターンの許容線幅精度を維持するために、投影露光装置のデフォーカス量や露光量の管理が益々重要となっている。

40

【0004】

従来のデフォーカス量の計測方法としては、以下の 3 つの方法が挙げられる。

(1) 特殊なレチクルを用いて、検査マークをウエハ上に露光転写し、その露光した検査マークの位置を計測する（特許文献 1 及び特許文献 2 を参照）。

(2) LES (Line End Shortening : 線端後退) を利用したライン

50

長を計測する（特許文献 3 及び特許文献 4 を参照）。

（ 3 ）レジストの側壁角の情報を S E M や光 C D 計測器や A F M を用いて計測する（特許文献 5 及び特許文献 6 を参照）。

【 0 0 0 5 】

なお、（ 2 ）及び（ 3 ）に示す方法では、デフォーカス量の他に同一マークを用いて、露光量の計測が可能である。

【特許文献 1】特開 2 0 0 2 - 5 5 4 3 5 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 0 2 - 2 8 9 4 9 4 号公報

【特許文献 3】特開平 1 - 1 8 7 8 1 7 号公報

【特許文献 4】米国特許第 5 , 9 6 5 , 3 0 9 号

【特許文献 5】米国特許第 6 , 1 5 0 , 6 6 4 号

【特許文献 6】特開 2 0 0 3 - 1 4 2 3 9 7 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 6 】

しかしながら、従来の技術では、以下に示す課題があった。

【 0 0 0 7 】

まず、（ 1 ）で示される方法では、検査マークを通過した光がウエハ上で非対称な入射角度分布を作り出す必要がある。例えば、特許文献 1 では、レチクル上の検査マークとして 9 0 度の位相差を施している。また、特許文献 2 では、レチクルの両面にパターンニングする等の特殊なレチクルを用いている。これにより、レチクル上で素子パターンと検査マークとを混在させることが難しく、量産ラインの素子パターンのフォーカス・露光量の計測には適切でなく、投影露光装置の像面湾曲量の定期メンテナンス等に使用されるレベルであった。

【 0 0 0 8 】

また、（ 2 ）で示される方法では、特殊なレチクルを必要とせず、比較的安価な計測器で計測が可能である。しかしながら、計測対象のライン長がベストフォーカス位置を中心に、放物線的な挙動を示す。そのため、デフォーカス量の絶対値は計測できるが、その符号が分からなかった。フォーカスの符号を判定するためには、所定量フォーカスを変えて再度露光、ライン長を計測し、そのライン長の増減から判断する必要がある。

【 0 0 0 9 】

また、（ 3 ）で示される方法では、（ 1 ）及び（ 2 ）で示される方法が、光学式の撮像画像により行われるのに対し、光 C D 計測器や A F M 等の高価な計測器が必要であり、C D（クリティカルディメンジョン）方向の計測である。そのため、パターンの微細化に伴って、計測精度にも問題が発生している。

【 0 0 1 0 】

図 1 8 及び図 1 9 を用いて、従来技術とその課題について詳細に説明する。図 1 8 は、デフォーカス量とパターン長の関係を示す図である。横軸はデフォーカス量を表し、縦軸はパターン長を表す。図 1 9 は、特許文献 3 に開示されているフォーカス量又は露光量の計測方法を説明するための図である。図 1 9 に示されるように、ウエハ上に楔形状の検査マーク R P が露光転写された後、スリット形状のビーム S P で矢印方向にスキャンを行い、その回折光強度からパターン長 L_y を求める。パターン長 L_y は、露光装置のフォーカス位置変化に対して、図 1 8（ a ）に示すように、ベストフォーカスの位置で最大となり、デフォーカスするにつれ減少する 2 次関数的な特性がある。予め、このようなフォーカス特性曲線を取得し、検査対象となる露光ウエハの検査マーク R P のパターン長 L_y を計測する。この段階では、図 1 8（ b ）に示すように、パターン長 $L_y = L_{y1}$ を計測しただけでは、フォーカスの検査値として F_1 、 F_2 の二値があるため、どちらの検査値に対応するかが判定できない。したがって、従来では、図 1 8（ c ）に示すように、第 1 回目の露光から露光装置のフォーカス位置を dF だけシフトさせて検査マークを露光し、再度パターン長 L_y の計測を行う。2 回目のパターン長 L_y が L_{y2} であれば、第 1 回目のフ

フォーカス検査値はF 1であり、Ly 2'であれば、第1回目のフォーカス検査値はF 2であると判定できる。このように、従来のLine End Shorteningを用いた検査方法では、ベストフォーカス位置を極大値とする2次関数的な特性により、1回の露光だけではフォーカスの符号判定ができない。また、パターン長変化の特性が、ベストフォーカス位置を極値とする2次関数であり、ベストフォーカス付近におけるパターン長の変化が少ないため、フォーカス計測の分解能が低下する。

【0011】

このように、半導体製造の量産ラインにおいて、フォーカスや露光量を検査し、経時的な変化に対し適切に補正を行うためのインラインフォーカスモニター（又はインライン露光量モニター）として十分な機能を持つ計測方法及び装置が存在しなかった。

10

【0012】

本発明は、露光装置のデフォーカス量を計測するのに有利な技術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】

【0013】

本発明の第1の側面としての計測装置は、原版のパターンの像を基板に投影する投影光学系を備える露光装置のデフォーカス量を計測する計測装置であって、前記露光装置によって基板上に形成された検査マークの像をセンサで撮像し、前記センサで撮像された前記検査マークの像のエッジ間隔を計測する計測手段と、前記露光装置のデフォーカス量と前記検査マークの像のエッジ間隔との関係を取得する取得手段と、前記露光装置のデフォーカス量を求める処理手段と、を有し、前記計測手段は、前記露光装置の複数のデフォーカス量のそれぞれで前記露光装置によって基板上に形成された前記検査マークの第1の像のエッジ間隔を2つの計測条件のそれぞれで計測し、かつ、前記露光装置のあるデフォーカス量で前記露光装置によって基板上に形成された前記検査マークの第2の像のエッジ間隔を前記2つの計測条件のそれぞれで計測し、前記取得手段は、前記2つの計測条件のそれぞれについて、前記露光装置のデフォーカス量と前記第1の像のエッジ間隔との間の第1の関係を取得し、前記2つの計測条件は、前記第1の関係において前記第1の像のエッジ間隔が前記露光装置の互いに異なるデフォーカス量で極値を持つ2つの計測条件であり、前記処理手段は、前記複数のデフォーカス量のそれぞれと、それに対応する前記第1の像についての前記2つの計測条件での前記エッジ間隔の差分との間の第2の関係と、前記第2の像についての前記2つの計測条件での前記エッジ間隔の差分とに基づいて、前記第2の像に係る検査マークを基板上に形成したときの前記露光装置のデフォーカス量を求める、ことを特徴とする。

20

30

【発明の効果】

【0018】

本発明によれば、露光装置のデフォーカス量を計測するのに有利な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】

【0019】

以下、本発明の好適な実施形態について、添付図面を参照して詳細に説明する。なお、各図において、同様の構成要素については同一の参照番号を付している。

40

（第1の実施形態）

図5は、本発明の好適な第1の実施の形態に係る投影露光装置を示す図である。投影露光装置10は、ステップ・アンド・スキャン方式でレチクル1に形成された回路パターンをウエハなどの基板3上に露光する。投影露光装置10は、サブミクロンやクォーターミクロン以下のリソグラフィ工程に好適である。投影露光装置10は、図5に示すように、照明装置700と、レチクル（原版ともいう）1を載置するレチクルステージRSと、投影光学系2とを備える。投影露光装置10はまた、基板3を載置する基板ステージSSと、フォーカス・チルト検出系33と、その演算処理部400と、アライメント検出光学系15と、その演算処理部としてのアライメント信号処理系402とを有する。制御部11

50

00は、CPUやメモリを有し、照明装置700と、レチクルステージRSと、基板ステージSSと、フォーカス・チルト検出系33と、アライメント検出光学系15と電氣的に接続され、投影露光装置10の各部を制御する。制御部1100はまた、フォーカス・チルト検出系33が基板3の表面位置を検出する際の計測値の補正演算及び制御や、アライメント検出光学系15が基板3の面内方向の位置を検出する際の計測値の補正演算及び制御を行う。

【0020】

照明装置700は、光源800と、照明光学系801とを有し、転写用の回路パターンが形成されたレチクル1を照明する。

【0021】

光源800としては、例えば、レーザーを使用する。レーザーは、約193nmの波長を持つArFエキシマレーザー、約248nmの波長を持つKrFエキシマレーザー等を使用することができる。しかしながら、光源の種類はエキシマレーザーに限られず、例えば、約157nmの波長を持つF₂レーザーや20nm以下の波長を持つEUV(Extreme Ultra Violet)光等を使用してもよい。

【0022】

照明光学系801は、光源800から射出した光束を用いて被照明面を照明する光学系であり、光束を露光に最適な所定の形状の露光スリットに成形し、レチクル1を照明する。照明光学系801は、レンズ、ミラー、オプティカルインテグレーター、絞り等を含み、例えば、コンデンサーレンズ、ハエの目レンズ、開口絞り、コンデンサーレンズ、スリット、結像光学系の順で配置された構成を有する。照明光学系801は、軸上光、軸外光を問わず、使用することができる。オプティカルインテグレーターは、ハエの目レンズや2組のシリンダカルレンズアレイ(又はレンチキュラーレンズ)板を重ねることにより構成されるインテグレーターを含む。しかしながら、光学ロッドや回折光学素子に置換されてもよい。

【0023】

レチクル1は、例えば、石英製であり、その上には転写されるべき回路パターンが形成されている。また、レチクル1は、レチクルステージRSに支持され、所定方向に駆動される。レチクル1を通過した回折光は、投影光学系2を通り、基板3上に投影される。レチクル1と基板3とは、光学的に共役の関係に配置される。レチクル1と基板3とを縮小倍率比の速度比率で走査することによって、レチクル1のパターンを基板3上に転写することができる。なお、投影露光装置10には、光斜入射系のレチクル検出系36が設けられており、レチクル1は、レチクル検出系36によって位置が検出され、所定の位置に配置される。

【0024】

レチクルステージRSは、不図示のレチクルチャックを介してレチクル1を支持し、不図示の移動機構に接続されている。この移動機構は、リニアモーター等で構成され、X方向、Y方向、Z方向及び各軸の回転方向にレチクルステージRSを駆動することにより、レチクル1を移動させることができる。

【0025】

投影光学系2は、物体面からの光束を像面に結像する機能を有し、レチクル1に形成されたパターンを経た回折光を基板3上に結像する。投影光学系2は、複数のレンズ素子のみからなる光学系、複数のレンズ素子と少なくとも一枚の凹面鏡とを有する光学系(カタディオプトリック光学系)、複数のレンズ素子と少なくとも一枚のキノフォーム等の回折光学素子とを有する光学系等を使用できる。色収差の補正が必要な場合には、互いに分散値(アッペ値)の異なるガラス材で形成された複数のレンズ素子を使用したり、回折光学素子をレンズ素子と逆方向の分散が生じるように構成したりする。

【0026】

基板3は、被処理体であり、フォトリソグが表面に塗布されている。なお、本実施形態では、基板3は、フォーカス・チルト検出系33が位置を検出する被検出体でもある。

10

20

30

40

50

基板 3 は、別の実施形態では、液晶基板やその他の被処理体に置き換えることができる。

【 0 0 2 7 】

基板ステージ S S は、不図示のウエハチャックによって基板 3 を支持する。基板ステージ S S は、レチクルステージ R S と同様に、リニアモーターを利用して、X 方向、Y 方向、Z 方向及び各軸の回転方向に基板 3 を移動させる。また、レチクルステージ R S の位置と基板ステージ S S の位置は、例えば、レーザー干渉計 1 0 1 等により監視され、両者は一定の速度比率で駆動される。基板ステージ S S は、例えば、ダンパを介して床等の上に支持されるステージ定盤上に設けられ、レチクルステージ R S 及び投影光学系 2 は、例えば、床等に載置されたベースフレーム上にダンパを介して支持される不図示の鏡筒定盤上に設けられる。

10

【 0 0 2 8 】

フォーカス・チルト検出系 3 3 は、光学的な計測システムを用いて、露光中の基板 3 の表面位置 (Z 方向) の位置情報を検出する。フォーカス・チルト検出系 3 3 は、基板 3 上の複数の計測すべき計測点に光束を入射し、各々の光束を個別のセンサに導き、異なる位置の位置情報 (計測結果) に基づいて露光する面のチルトを検出する。

【 0 0 2 9 】

次に、アライメント検出系について説明する。本実施形態では、アライメント検出系は、アライメント検出のみに用いられるのではなく、フォーカス・露光量検査マークの検出系にも用いられうる。図 2 は、アライメント検出光学系 1 5 の主要構成要素を示す図である。図 2 では、X 方向の位置を検出する光学系の例を示しているが、Y 方向については Z 軸周りに 9 0 度回転したものをを用いればよいので、X 方向の検出系で説明することにする。なお、Y 方向については、X 方向用のマークを Z 軸周りに 9 0 度回転したものをアライメントマークとして用いればよい。また、X 方向用のマーク及び Y 方向用のマークを検出するためにエリアセンサを用いてもよい。

20

【 0 0 3 0 】

アライメント検出光学系 1 5 は、照明系 1 5 i 及び結像光学系 1 5 o で構成され、光源 1 8 からの照明光は、レンズ 1 9 で拡大されて平行光とされ、任意の波長を選択的に透過させる波長選択手段 4 0 を通り、再度レンズ 2 2 で集光される。開口絞り 2 0 を調整することにより照明光のコヒーレンシ () を調整することができる。アパーチャー 2 3 は、基板 3 と共役な位置に置かれ、基板 3 上のアライメントマークの周辺領域に不要な光が照明されないように視野絞りの役割を果たす。レンズ 2 2 により集光された光は、再度レンズ 2 4 で平行光にされ、ビームスプリッタ 2 5 で反射され、レンズ 2 6 を通って基板 3 上のアライメントマーク 5 0 を照明する。アライメントマーク 5 0 からの反射光は、レンズ 2 6、ビームスプリッタ 2 5、レンズ 2 7、2 8 を通り、ラインセンサ 3 0 で受光される。ラインセンサ 3 0 は、アライメント検出方向と垂直方向にパワーを持つ不図示のシリンドリカルレンズにより集光するよう構成されている。

30

【 0 0 3 1 】

基板 3 の表面と共役な位置に設けられた絞り 2 9 により、アライメントマーク 5 0 の所定の領域のみを処理する。アライメントマーク 5 0 は、1 0 0 倍 ~ 4 0 0 倍程度の結像倍率で拡大され、ラインセンサ 3 0 に結像される。

40

【 0 0 3 2 】

波長選択手段 4 0 は、図 3 に示すように、円盤上の同一半径上に 1 0 個のバンドパス干渉フィルタ (F 1 ~ F 1 0) が設けられている。そして、円盤を回転させて、任意のバンドパス干渉フィルタを照明光の光路上に位置決めすることにより、任意の波長をアライメントマークに照明できるよう構成されている。照明波長は、ウエハ上のアライメントの縦構造に応じて最適な波長を選択するように構成されている。アライメントスコープの開口数 (N A) は、0 . 4 ~ 0 . 9 程度であり、使用波長はレジストを感光しない波長とする。

【 0 0 3 3 】

アライメントマーク 5 0 としては、図 1 1 に示す形状のマークを用いる。図 1 1 (a) において、計測方向である X 方向に 4 μ m、非計測方向である Y 方向に 3 0 μ m の幅を持

50

つ矩形のマークをX方向に20 μmピッチで4本並べている。アライメントマーク50は、矩形の輪郭部分を0.6 μmの線幅で囲まれた形状となるようにエッチングされている。なお、実際には、アライメントマーク50上にレジストが塗布されているが、説明を簡略化するため、図示していない。図11(a)のアライメントマーク50を用いた場合、アライメント検出光学系15のレンズのNAに入らない大きな角度で、エッジでの散乱光の発生及び干渉により、ラインセンサ30で撮像された像は、図12のようになる。図11(a)のアライメントマーク50は、凹部が暗くなるか又は明るくなる。これは、明視野画像で多く観察される像である。

【0034】

このように撮像されたアライメントマーク50の画像は、アライメント信号処理系402を用いて、以下のように処理される。アライメントマーク50の位置は、テンプレートマッチング法を用いて算出している。テンプレートマッチング法は、取得した信号(図13のS)と予め装置で持っているテンプレート(図13のT)との相関演算で、最も相関の高い位置を位置合わせマークの中心として検出する。図13のEで示す相関値の関数において、ピーク画素から左右に数画素の領域の重心画素位置を求めることにより、1/10～1/50画素の分解能を達成することができる。テンプレートマッチング法は、数式1に従って行われる。

【0035】

【数1】

$$E(X) = \frac{1}{\sum_{j=k}^k [S(X+J) - T(J)]^2}$$

【0036】

... (数式1)

ここで、Sはセンサで取得した信号、Tはテンプレート、Eは相関結果をそれぞれ示す。信号S、テンプレートT、相関値Eの関係を図示すると、図13のようになる。図13では、4本のアライメントマークのうち、1本のアライメントマーク像についての処理結果を示している。以下、同様に他の3本のアライメントマーク像についても、テンプレートマッチング法により、各マーク像のセンサ上での位置を検出する。テンプレートマッチング法により、4本のアライメントマーク像の位置X1(n)、X2(n)、X3(n)、X4(n)を求める(単位は画素)。ここで、nはテンプレート番号である。その後、数式2に従って各マークの平均位置を算出する。

$$Xa(n) = [X1(n) + X2(n) + X3(n) + X4(n)] / 4 \quad \dots (数式2)$$

各テンプレートで求めたウエハ上のアライメントマーク50の位置ずれXw(n)は、アライメントスコープ等のアライメント検出光学系15の結像倍率をM、エリアセンサのアライメント計測方向の画素ピッチをPxとすると、数式3で表される。

$$Xw(n) = Xa(n) / (Px \cdot M) \quad \dots (数式3)$$

数式3に基づいて、ラインセンサ30で得られたベストフォーカス像信号からのアライメントマークの位置ずれ量X1を求める。

【0037】

以上のように、投影露光装置10では、制御部1100の制御下で、フォーカス・チルト検出系で検出した基板の面位置情報に基づいて、投影光学系2の光軸の方向における、またはチルトに係る、基板ステージSSの位置を制御する。これにより、投影露光装置10の投影光学系のベストフォーカス面に基板位置を合わせる。そして、アライメント検出系で計測したウエハの面内の位置ずれ量に基づいて、位置合わせを実施した後に、レチクル上のパターンをウエハ上に露光転写する。以上が、投影露光装置10の主要部の構成と機能の説明である。

【0038】

次いで、本実施形態におけるフォーカス・露光量の計測方法について説明する。まず、

10

20

30

40

50

図10のフローを用いて、本発明の好適な実施形態に係るデフォーカス量・露光量の計測方法及び補正方法について概略を説明する。

【0039】

ステップST101では、図6に示すようにウエハ上の投影露光装置10のフォーカス値（フォーカス位置）（F）と露光量（E）を変えて、レチクル上の検査マーク（図4）を露光する。そして、FEM（Focus Exposure Matrix）ウエハを作成する。この時使用するレチクルは、実素子パターンとスクライプラインに相当する領域に検査マークを形成し、同時に露光するようにされている。

【0040】

ステップST102では、ウエハ上の実素子パターンを例えばSEMを用いて評価する。そして、実素子パターン形状が設計値となるフォーカス値・露光量又はフォーカス変動及び露光量変動に対して、中心になるフォーカス値・露光量を最適露光条件として、最適フォーカス値 F_o 、最適露光量 E_o を求める。

【0041】

ステップST103では、FEMウエハを投影露光装置10にロードし、アライメント検出系で、各露光量E、フォーカス値Fで露光した検査マークのライン長L（E、F）を計測し、ライン長Lと露光量・フォーカス値との関係式（近似曲線）を算出する。

【0042】

ステップST104では、デバイスパターンと検査マークの描画されたレチクルを使用し、投影露光装置10で露光してウエハ上にデバイスパターン及び検査マークを露光する。

【0043】

ステップST105では、検査マークを計測し、ステップST103で求めた関係式に基づいて、露光量とフォーカス値を決定する。

【0044】

ステップST106では、計測された露光量・フォーカス値の最適露光条件（ E_o 、 F_o ）からのずれ量を補正する方向に、投影露光装置10或いは現像装置、エッチング装置にオフセットを与える。

【0045】

ステップST107では、次に露光するウエハがあるか否かを判断し、ウエハがある場合は、ステップST104に戻り、露光すべきウエハがなくなるまで繰り返す。

【0046】

以下、このフローの詳細な実施内容について説明する。図4は、本発明の好適な実施形態で使用するフォーカス値・露光量の検査マーク55を示す図である。図4に示すように、検査マーク55は、矩形のライン&スペースで構成される。ライン幅・スペース幅は共に、基板上の寸法で $0.15\mu\text{m}$ とし、基板上のライン長Lは $4\mu\text{m}$ の設計値としている。このライン&スペースの本数は10本以上であることが好ましく、矩形パターンの配列方向の長さは、基板上の寸法で $30\mu\text{m}$ としている。ライン&スペースのデューティ比は、0.5であることが好ましいが、これに限定されない。また、ライン幅、スペース幅については、基板上に露光転写すべき最小パターン幅と同等の幅から3倍程度の幅に設定することが好ましい。更に、図4のパターンを、複数配置するようにしてもよい。例えば、図11（b）に示すように、図4に示す検査マーク55をアライメントマークの横方向にピッチを揃えることにより、アライメントマークと共有することもできる。この場合、計測するライン長が増え（図では4つ）、そのライン長の平均値を使用することで計測精度の向上が見込まれる。なお、投影露光装置10の縮小倍率を $1/4$ とすると、レチクル上での寸法は、ライン幅 $0.6\mu\text{m}$ 、ライン長は $16\mu\text{m}$ となる。

【0047】

次いで、検査マーク55の計測方法について説明する。本実施形態では、上述の投影露光装置10のアライメント検出系を用いて計測を行う。投影露光装置10上に検査基板を搭載し、アライメント検出光学系15を用いて、検査マーク55を撮像する。検査マーク

10

20

30

40

50

55は、絞り29で規定された図4に示す有効処理領域56内で、アライメント検出光学系15内のシリンドリカルレンズで集光され、Y方向に積算された信号となる。これにより、図1(a)に示すように、検査マークのラインの両側エッジ(55L、55R)に対応して、少なくとも2つの極値(ピーク又はボトム)を持つ信号波形が得られる。

【0048】

ライン長を求めるためのエッジ位置の計算方法としては、検査マークのエッジに起因する極値の前後数点を関数近似して、極値の位置を求める方法や、極値付近の信号波形に対して、所定のスライスレベルとの交点の2点の中点を求める方法等を使用すればよい。

【0049】

図6に示すように、予め、基板上の投影露光装置10のフォーカス値(F)と露光量(E)を変えて検査マークを露光し、FEM基板を作成する。この時使用するレチクルは、実素子パターンとスクライブラインに相当する領域に検査マークを形成し、同時に露光するようにされている。

【0050】

基板上の実素子パターンを、例えば、SEMを用いて評価する。そして、実素子パターン形状が設計値となるフォーカス値・露光量又はフォーカス変動及び露光量変動に対して、中心になるフォーカス値・露光量を最適露光条件として、最適フォーカス値 F_0 、最適露光量 E_0 を求める。一方、検査マークについては、FEM基板を投影露光装置10にロードし、アライメント検出系で、上述の方法により、各露光量E、フォーカス値Fで露光した検査マークのライン長 $L(E, F)$ を計測する。この時、本実施形態では、アライメント検出光学系15の波長選択手段40を用いて、各フォーカス位置、各露光量に対する検査マークを、照明波長を変えて計測する。すなわち、図1の(a)、(b)に示すように、1つの検査マークに対して、各照明波長毎に異なる信号波形が得られる。例えば、照明波長1によるエッジ間隔(ライン長)の計測値を $L_1(E, F)$ として、照明波長2によるエッジ間隔(ライン長)の計測値を $L_2(E, F)$ とすれば、図7に示すような特性の曲線が得られる。

【0051】

図7において、条件1は照明波長1、条件2は照明波長2にそれぞれ対応する。また、 E_1 、 E_2 はそれぞれ露光量を示す。このように、ライン長 L_1 とライン長 L_2 は、デフォーカス量に対して2次関数的な変動を示すと共に、極大値を示すフォーカス位置が、照明波長に応じて異なることが、発明者の実験及びレジストシミュレーションにより明らかになった。図8は、検査マークの矩形エレメント1本のレジスト形状のシミュレーション結果の鳥瞰図である。投影露光装置10のデフォーカスに対して、-側と+側では、レジストエッジの後退と共にエッジの傾斜角が変化している。

【0052】

上部からこのマークを撮像した場合、エッジ上下面での干渉の影響を受けて信号が形成されるため、極大位置となるフォーカス位置が照明波長により異なる。一方、露光量の変化に対しては、照明波長によらず、ライン長はほぼリニアな変動を示す。

【0053】

次に、このようなフォーカスに対して異なる極大値を持つ、2つのライン長情報(L_1 、 L_2)を使用することに対する効果について、図9を用いて説明する。図7の特性のうち露光量が E_1 のデータを用いて、 L_1 と L_2 の差分、すなわち、 $L_2(E_1, F) - L_1(E_1, F)$ を求めたものが図9である。この差分 $L_2 - L_1$ は、デフォーカス量に対して、線形な関係を有し(L_1 、 L_2 がフォーカスに対して偶関数であったのに対し、奇関数になる)、デフォーカス量を符号付きで求めることができる。更に、通常のフォーカス計測方法では、ベストフォーカス付近で、検査マーク形状の変化が少なくなり、計測分解能が低減していたが、差分値を用いることにより、デフォーカス量に関係なく、同一の計測分解能が得られる。デフォーカス量 $1\mu\text{m}$ に対して、差分値($L_2 - L_1$)は約90nm変化する。したがって、ライン長の計測精度を2nm程度とすると、フォーカス計測分解能は $(1\mu\text{m}/90) \times 2$ により、約20nmとなる。

【 0 0 5 4 】

以下、数式を使って、具体的に、フォーカス値、露光量の計算方法について詳細に説明する。まず、F E M基板を計測して得られた照明波長 λ_1 によるライン長 L_1 と、照明波長 λ_2 によるライン長 L_2 を以下の数式 4 及び数式 5 で近似する。

$$L_1(E, F) = k_1 + k_e \cdot E + k_{f1} \cdot F + k_f \cdot F^2 \quad \dots (\text{数式 4})$$

$$L_2(E, F) = k_2 + k_e \cdot E + k_{f2} \cdot F + k_f \cdot F^2 \quad \dots (\text{数式 5})$$

数式 4 及び数式 5 における各係数は、ライン長計測値 L_1 、 L_2 と F E M基板を作成する時に投影露光装置 10 に与えた露光量変数 E 、フォーカス値 F を用いて、最小二乗法により、容易に求めることができる。また、逆にフォーカス値 F は、数式 5 - 数式 4 により、数式 6 で表される。

10

【 0 0 5 5 】

$$F = \{(L_2 - L_1) - (k_2 - k_1)\} / (k_{f2} - k_{f1}) \quad \dots (\text{数式 6})$$

一方、露光量 E は、数式 6 を数式 4 に代入することにより、数式 7 で表される。

【 0 0 5 6 】

$$E = \{L_1 - (k_1 + k_{f1} \cdot F + k_f \cdot F^2)\} / k_1 \quad \dots (\text{数式 7})$$

したがって、予め F E M基板により、ライン長 $L_1(E, F)$ 、 $L_2(E, F)$ の計測を行い、数式 4 及び数式 5 における各係数を決定しておく。そして、評価対象の基板の検査マークのライン長 L_1m 、 L_2m を計測して、数式 6、7 の L_1 、 L_2 に、それぞれ L_1m 、 L_2m を代入することにより、フォーカス値 Fm と露光量 Em を求めることができる。更に、最適フォーカス値 Fo からの偏差量 ΔF 、最適露光量 EO からの偏差量 ΔE は、以下の数式 8 及び数式 9 で表される。

20

$$F = Fm - Fo \quad \dots (\text{数式 8})$$

$$E = Em - EO \quad \dots (\text{数式 9})$$

このようにして求めた偏差量 ΔF 、 ΔE に基づいて、これらのずれを補正する方向にフォーカスオフセット・露光量オフセットを投影露光装置 10 に与える。これにより、最適な露光条件 (EO 、 Fo) で、レチクル上のパターンが基板上に露光転写されるように補正及び制御を行うことができる。投影露光装置 10 へのフィードバック及びフィードフォワードの方法は、上記の方法に限られない。例えば、露光量やデフォーカス量に対して、最適な露光条件から所定の閾値を設けて、その閾値を超える場合にだけ、投影露光装置 10 にオフセットを与える方法を用いてもよい。また、フィードバック及びフィードフォワードの対象装置及び装置変数としては、現像装置の P E B 温度・時間を用いてもよく、更には、レジスト現像後に使用するエッチング装置のエッチングパラメータを用いてもよい。

30

【 0 0 5 7 】

なお、ライン長 L_1 、 L_2 と露光量 E 、フォーカス値 F の関係式は、先に示した関数に限られない。また、本実施形態においては、図 4 のように矩形パターンが Y 方向に配列したマークを X 方向検出用のアライメントスコープで X 方向のエッジ間隔 (ライン長) を計測する例を示した。これ以外にも、図 4 のマークを 90 度回転させた X 方向に配列したマークを Y 方向検出用のアライメントスコープで、Y 方向のエッジ間隔 (ライン長) を計測してもよい。更に、フォーカス値・露光量の算出においては、X 方向の計測値と Y 方向の計測値の平均値を用いることが望ましい。或いは、露光すべきデバイスパターンの中で最も露光転写精度が厳しいパターンの配列方向にあった検査マークを使用して、フォーカス値・露光量を算出することが望ましい。

40

(第 2 の実施形態)

次に、本発明の好適な第 2 の実施形態について説明する。上述のように、フォーカスに対する検査マークのライン長計測値変化の特性において、異なる計測条件で計測することにより、ライン長の極値 (極大値) を示すフォーカス位置が異なることが分かった。これを達成するための手段として、第 1 実施形態では、計測装置の照明波長を変える方法を示した。これに対し、本実施形態では、照明波長を変えるのではなく、照明のコヒーレンシを変えている。検査マークは第 1 の実施形態と同じものを用いるためその説明は省略する

50

。計測装置も図2で示す投影露光装置10上のアライメントスコープを用いる。図2の絞り20の径を変えることにより、コヒーレンシを変えることができる。本実施形態では、1つの検査マークを図14(a)に示すように $\alpha = 0.9$ と、同図(b)で示すように $\alpha = 0.4$ で計測して、ライン長Lに対応するライン長計測値L1、L2を得ている。このように、照明系のコヒーレンシを変えることにより、図7に示すようにデフォーカス量に対する極大位置をシフトさせることが可能である。すなわち、本実施形態では、図7の条件1が $\alpha = 0.9$ の計測データに対応し、 $\alpha = 0.4$ が条件2に相当する。

【0058】

以下、この計測データL1、L2を用いたフォーカス・露光量の計算方法及び補正方法は先の第1実施形態に示した方法と同じであるので説明を省略する。

10

(第3の実施形態)

次に、本発明の好適な第3の実施形態について説明する。本実施形態では、ライン長の極値(極大値)を示すフォーカス位置を異ならせる手段として、1つの検査マークから取得した信号波形の複数の特徴量を用いて、エッジに依存する2つのライン長計測値L1、L2を算出する。図15は、本実施形態に係る信号波形と、波形特徴量及びライン長の計測位置を説明する図である。図2のアライメント検出系で照明波長や照明系のコヒーレンシを固定した状態で、検査マークを計測する。そして、検査マークのエッジに起因するその信号波形のメインローブの間隔をL1として計測して、サイドローブの間隔をL2として計測する。この場合においても、図7において、条件1がメインローブ間隔、条件2がサイドローブ間隔として、極大値のフォーカス位置のシフトが発生し、先に示した実施形態と同等の効果を得ることができる。なお、本実施形態では、サイドローブ及びメインローブのコントラストが、共に必要となるため、小く化するように(例えば、 $\alpha = 0.4$ 以下)、図2における絞り20を設定することが好ましい。

20

(第4の実施形態)

次に、本発明の好適な第4の実施形態について説明する。本実施形態では、ライン長の極値(極大値)を示すフォーカス位置を異ならせる手段として、検査マークが2つの特性を持つエレメントから構成されるようにしている。本実施形態で使用する検査マークは、第1～第3の実施形態で使った図4の検査マークとは異なり、図16で示すように、ノコシマーク55pとヌキマーク55nの2つにより構成されている。ノコシマーク55pは、基板上でレジスト矩形パターンが配列された形状となっているのに対し、ヌキマーク55nは、レジストパターンの中にヌキの(レジストが無い)矩形パターンが配列された形状となっている。図17は、本実施形態における信号波形と、波形特徴量及びライン長の計測位置を説明する図である。図2のアライメント検出系で照明波長や照明系のコヒーレンシを固定した状態で、検査マークを計測する。そして、検査マーク55のノコシマーク55pのエッジに起因するその信号波形から求めたL1と、検査マークのヌキマーク55nのエッジに起因するその信号波形から求めたL2を計測する。この場合においても、図7において、条件1がノコシマークのライン長L1、条件2がヌキマークのライン長L1として、極大値のフォーカス位置のシフトが発生し、先に示した実施形態と同等の効果を得ることができる。

30

【0059】

以上のように、第1～第4の実施形態により本発明を説明したが、これらの4つの実施形態を組み合わせる実施してもよい。また、2つの異なる計測条件でマーク長情報L1、L2を求める例を示したが、計測条件は最低2つ以上が必要であり、更に計測条件を増やすことも可能である。

40

【0060】

また、計測条件は上述の方法に限られず、ライン長の極値(極大値)を示すフォーカス位置を異ならせるという発明の特徴を満たす条件であれば、異なる偏光の光を使用する方法や明視野・暗視野を使う方法などを用いてもよい。

【0061】

更に、計測装置としては、投影露光装置上のアライメント検出系を用いる例を示したが

50

、専用の計測装置を用いてもよい。また、半導体製造ラインで標準的な検査装置として使用されているオーバーレイ精度を評価する重ね合わせ検査装置を用いることもできる。

【図面の簡単な説明】

【0062】

【図1】本発明の好適な第1の実施形態で取得される信号波形を説明する図である。

【図2】本発明の好適な第1の実施形態で使用する計測装置を説明する図である。

【図3】本発明の好適な第1の実施形態で使用する計測装置の波長可変ユニットの構成を説明する図である。

【図4】本発明で使用するフォーカス・露光量検査マークを説明する図である。

【図5】本発明で使用する投影露光装置のブロック図である。

10

【図6】本発明で使用するFEMウエハ及び最適露光条件からの偏差を説明する図である。

【図7】本発明のポイントである2つの計測条件によるパターン長の違いを示す図である。

【図8】矩形パターンのレジスト形状のデフォーカス特性を示す図である。

【図9】デフォーカス量と2つのライン長計測値の差分値との関係を示す図である。

【図10】本発明のシーケンスを示すフロー図である。

【図11】本発明で使用するアライメントマークの形状を示す図である。

【図12】本発明のアライメント信号波形を示す図である。

【図13】本発明のアライメント信号波形の処理方法を説明する図である。

20

【図14】本発明の好適な第2の実施形態の信号波形を説明する図である。

【図15】本発明の好適な第3の実施形態の信号波形を説明する図である。

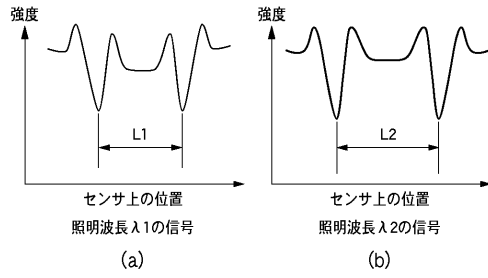
【図16】本発明の好適な第4の実施形態で使用する検査マークを示す図である。

【図17】本発明の好適な第4の実施形態の信号波形を説明する図である。

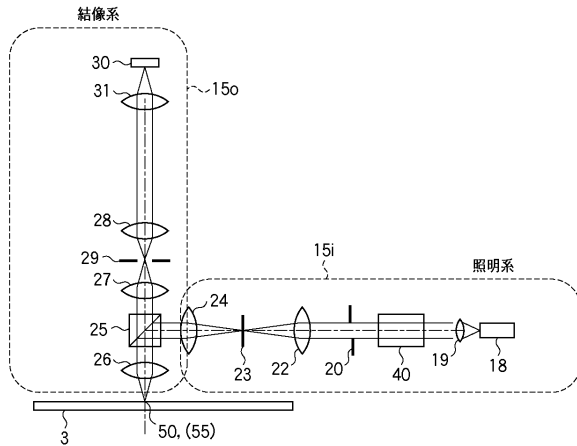
【図18】従来例の課題を説明する図である。

【図19】従来例のフォーカス計測方法を説明する図である。

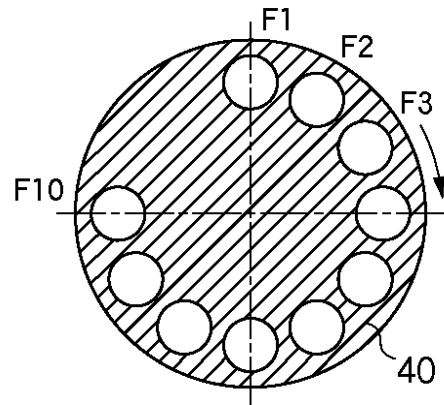
【図 1】



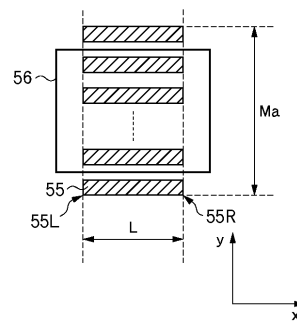
【図 2】



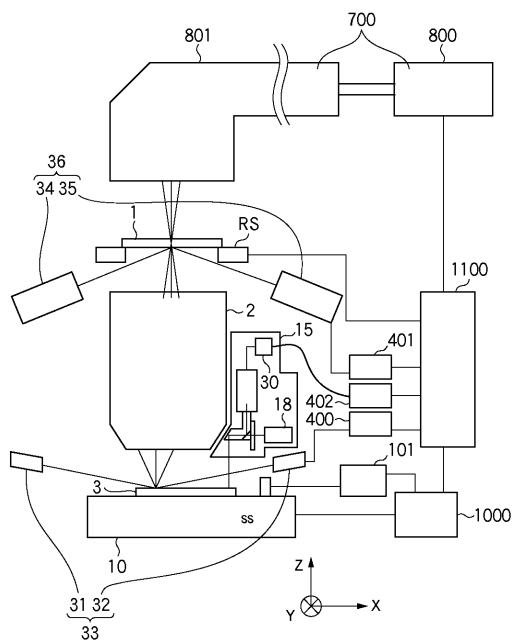
【図 3】



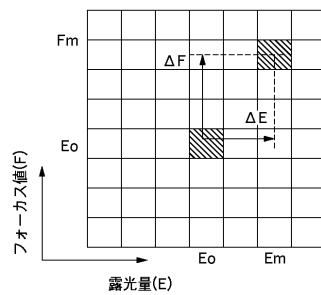
【図 4】



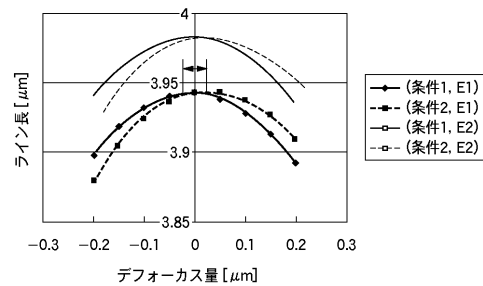
【図 5】



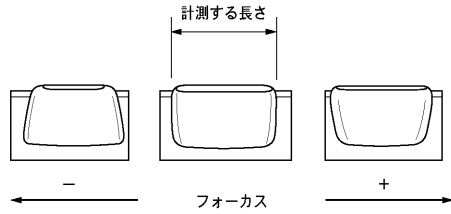
【図 6】



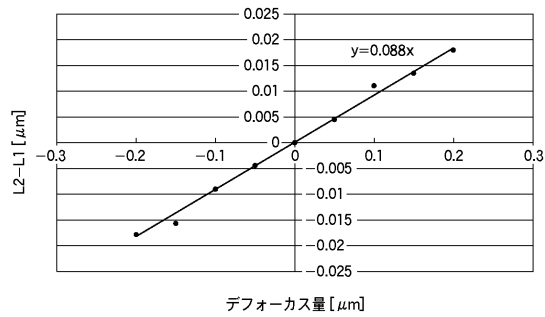
【図 7】



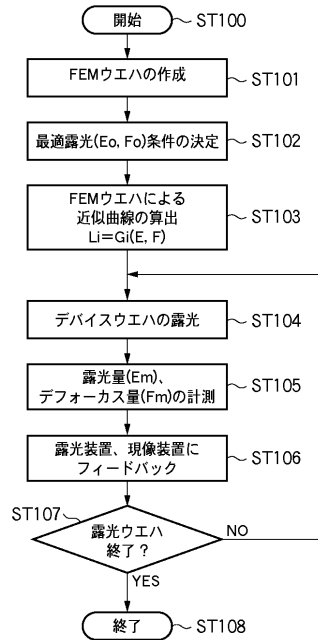
【図 8】



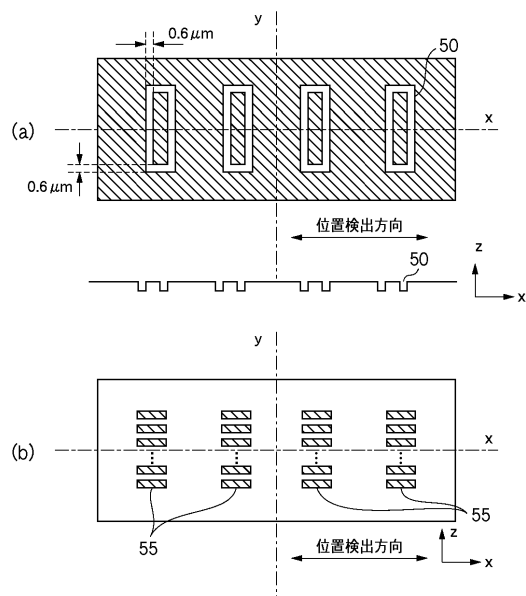
【図 9】



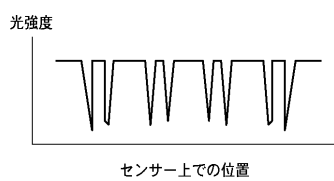
【図 10】



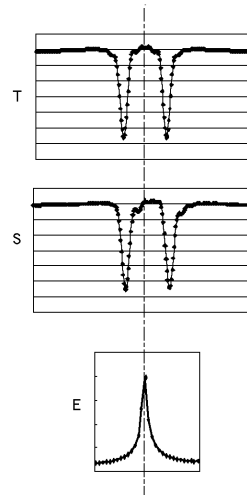
【図 11】



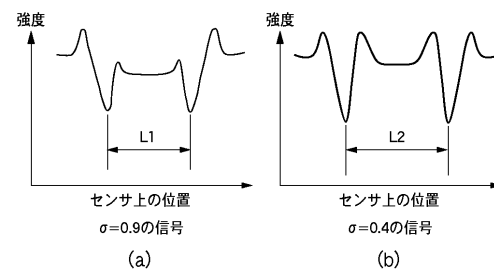
【図 12】



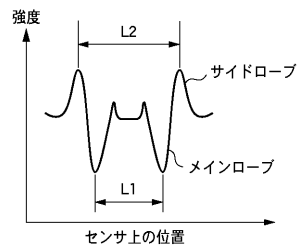
【図 13】



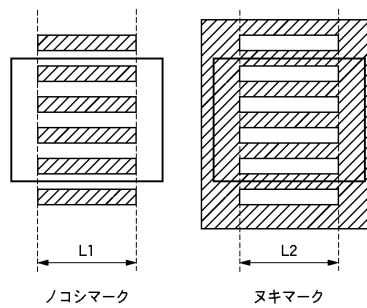
【図 14】



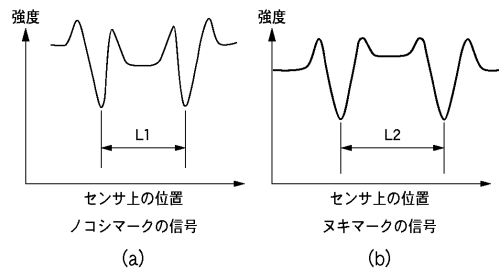
【図 15】



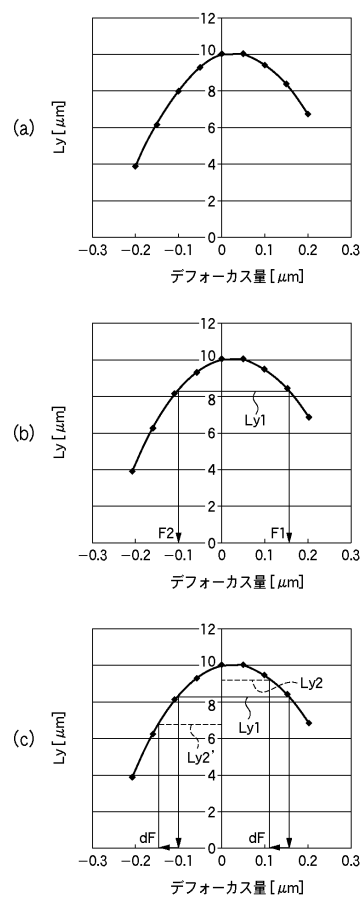
【図 16】



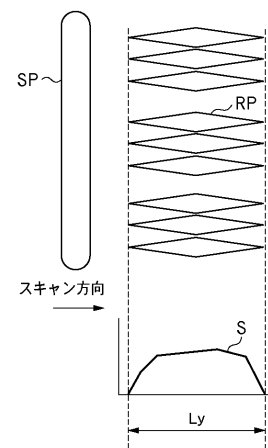
【図 17】



【図 18】



【図 19】



フロントページの続き

審査官 渡戸 正義

- (56)参考文献 特開平08-264409(JP,A)
特開2001-100392(JP,A)
特開2006-186177(JP,A)
特開2006-140375(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L	21/027		
G03F	7/20	-	7/24
G03F	9/00	-	9/02
G01B	11/14		