

(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 1

H01L 21/027 (2006.01)
G03F 7/207 (2006.01)
G01B 11/14 (2006.01)H01L 21/30 526 A
G03F 7/207 H
G01B 11/14 H

請求項の数 5 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2006-329915 (P2006-329915)
 (22) 出願日 平成18年12月6日 (2006.12.6)
 (65) 公開番号 特開2008-147258 (P2008-147258A)
 (43) 公開日 平成20年6月26日 (2008.6.26)
 審査請求日 平成21年12月7日 (2009.12.7)

(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
 (74) 代理人 100076428
 弁理士 大塚 康徳
 (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 松本 隆宏
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ャノン株式会社内

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プ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プ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 N A 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、ほぼ正方形形状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ー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ー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 N A 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SEMや光CD計測器やAFMを用いて計測する（特許文献5及び特許文献6を参照）。

【0005】

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2002-55435号公報

【特許文献2】特開2002-289494号公報

【特許文献3】特開平1-187817号公報

【特許文献4】米国特許第5,965,309号

10

【特許文献5】米国特許第6,150,664号

【特許文献6】特開2003-142397号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、従来の技術では、以下に示す課題があった。

【0007】

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90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。

20

【0008】

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った。

30

【0009】

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CD計測器やAFM等の高価な計測器が必要であり、CD（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。

【0010】

図18及び図19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18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19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19に示されるように、ウエハ上に楔形状の検査マークRPが露光転写された後、スリット形状のビームSP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Lyを求める。パターン長Lyは、露光装置のフォーカス位置変化に対して、図18（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RPのパターン長Lyを計測する。この段階では、図18（b）に示すように、パターン長Ly = Ly1を計測しただけでは、フォーカスの検査値としてF1、F2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18（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Lyの計測を行う。2回目のパターン長LyがLy2であれば、第1回目のフ

40

50

オーカス検査値は F_1 であり、 $L_y 2'$ 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マニター（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

【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。

30

【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、サブミクロンやクオ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と電気的に接続され、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 Ultraviolet)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組のシリンドリカルレンズアレイ(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(アッベ値)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、フォトレジスト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 90 度回転したもの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 90 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 と共に位置に置かれ、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 の表面と共に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20μm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0.6μm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。

$$X_a(n) = [X_1(n) + X_2(n) + X_3(n) + X_4(n)] / 4 \quad \dots \text{(数式2)}$$

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。

$$X_w(n) = X_a(n) / (Px \cdot M) \quad \dots \text{(数式3)}$$

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。

【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F₀、最適露光量E₀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、デバイスピ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ピ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（E₀、F₀）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0.15μmとし、基板上のライン長Lは4μm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30μm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、レチクル上の寸法は、ライン幅0.6μm、ライン長は16μm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Fo、最適露光量Eo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L1(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L2(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、E1、E2はそれぞれ露光量を示す。このように、ライン長L1とライン長L2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(L1、L2)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E1のデータを用いて、L1とL2の差分、すなわち、L2(E1、F) - L1(E1、F)を求めたものが図9である。この差分L2 - L1は、デフォーカス量に対して、線形な関係を有し(L1、L2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1μmに対して、差分値(L2 - L1)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(1μm / 90) × 2により、約20nmとなる。

10

20

30

40

50

【0054】

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、FEM基板を計測して得られた照明波長₁によるライン長L₁と、照明波長₂によるライン長L₂を以下の数式4及び数式5で近似する。

$$L_1(E, F) = k_1 + k_e \cdot E + k_{f1} \cdot F + k_{f2} \cdot F^2 \dots \text{(数式4)}$$

$$L_2(E, F) = k_2 + k_e \cdot E + k_{f2} \cdot F + k_{f1} \cdot F^2 \dots \text{(数式5)}$$

数式4及び数式5における各係数は、ライン長計測値L₁、L₂とFEM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

【0055】

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

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。

【0056】

$$E = \{L_1 - (k_1 + k_{f1} \cdot F + k_{f2} \cdot F^2)\} / k_1 \dots \text{(数式7)}$$

したがって、予めFEM基板により、ライン長L₁(E, F)、L₂(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L₁m、L₂mを計測して、数式6、7のL₁、L₂に、それぞれL₁m、L₂m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F、最適露光量Eoからの偏差量Eは、以下

20

$$F = F_m - F_o \dots \text{(数式8)}$$

$$E = E_m - E_o \dots \text{(数式9)}$$

このようにして求めた偏差量F、E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PEB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

【0057】

なお、ライン長L₁、L₂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 $\gamma = 0.9$ と、同図 (b) で示すように $\gamma = 0.4$ 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できるのである。すなわち、本実施形態では、図 7 の条件 1 が $\gamma = 0.9$ の計測データに対応し、 $\gamma = 0.4$ が条件 2 に相当する。

【 0 0 5 8 】

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プの間隔を L1 として計測して、サイドロープの間隔を 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 がメインロープ間の間隔、条件 2 がサイドロープ間の間隔として、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、サイドロープ及びメインロープのコントラストが、共に必要となるため、小 γ 化するように（例えば、 $\gamma = 0.4$ 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 の実施形態で使用した図 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、検査マークのノコシマーク 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 L2 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

【 0 0 5 9 】

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て実施してもよい。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

【 0 0 6 0 】

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。

【 0 0 6 1 】

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。

【図6】本発明で使用するFEMウェ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。

【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。

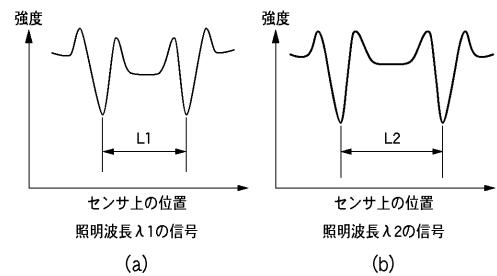
【図18】従来例の課題を説明する図である。

【図19】従来例のフォーカス計測方法を説明する図である。

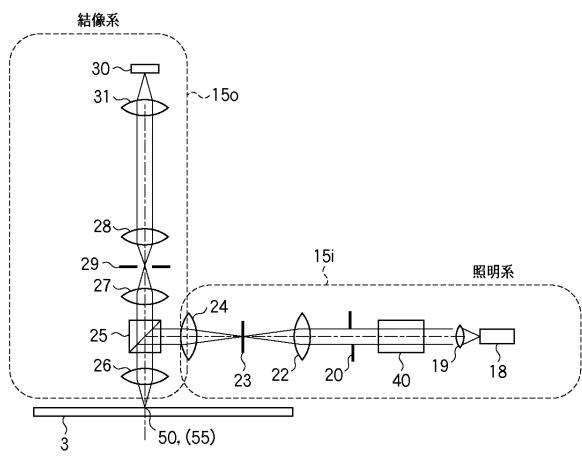
10

20

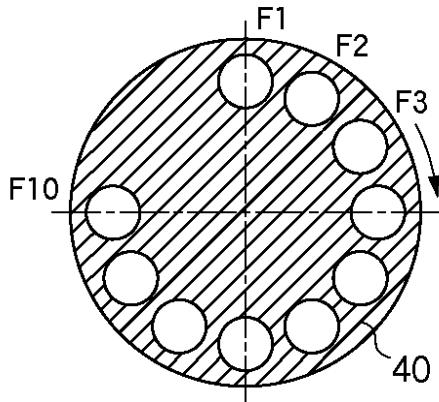
【図1】



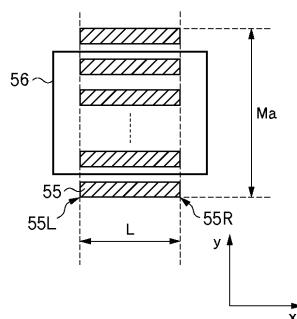
【図2】



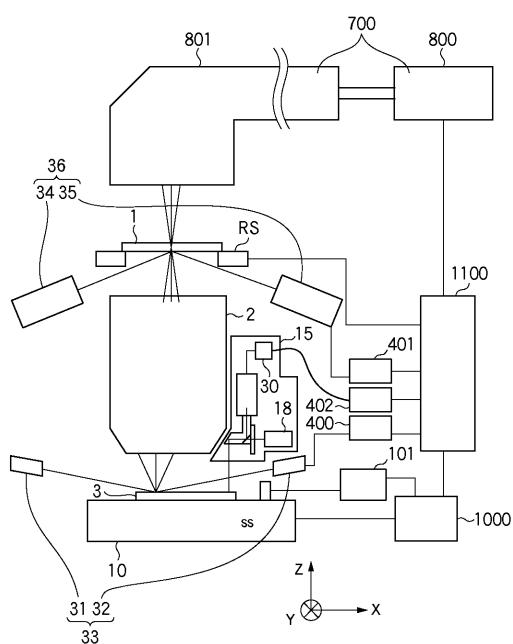
【図3】



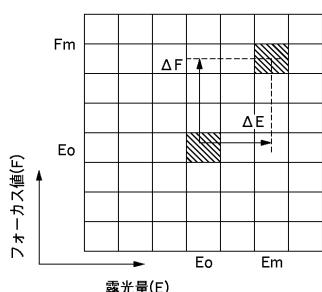
【図4】



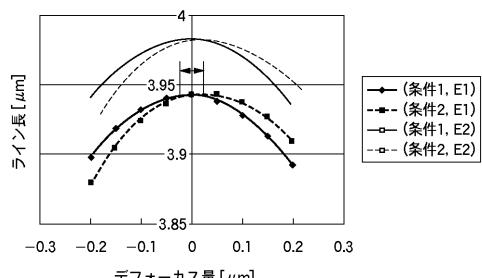
【図5】



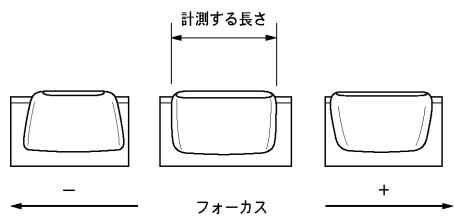
【図6】



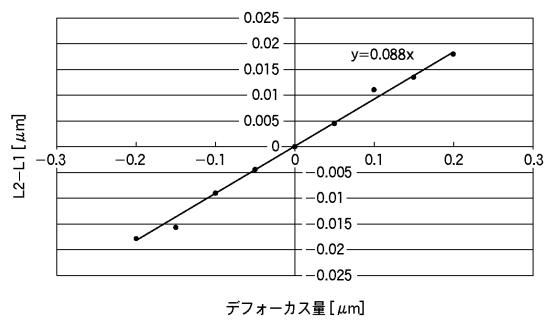
【図7】



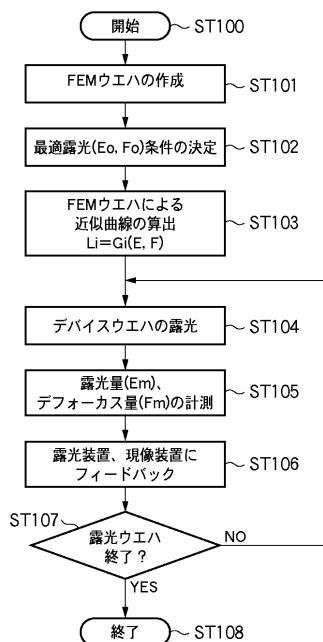
【図 8】



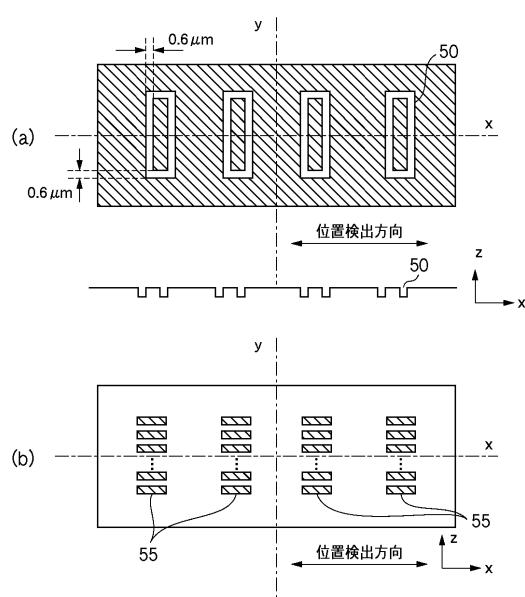
【図 9】



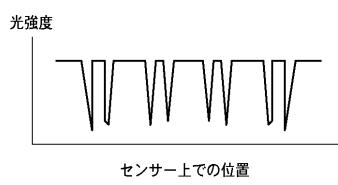
【図 10】



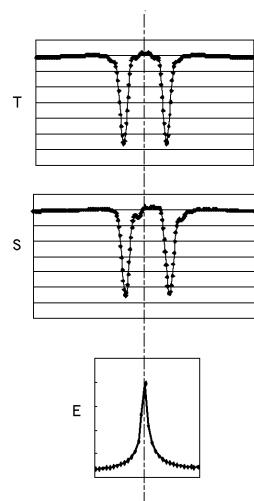
【図 11】



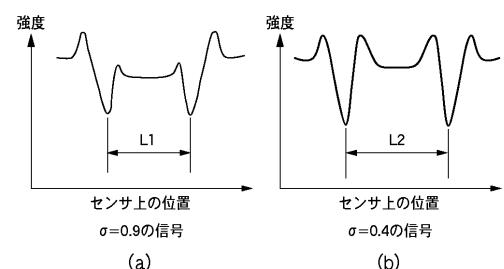
【図 12】



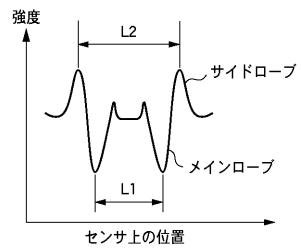
【図 13】



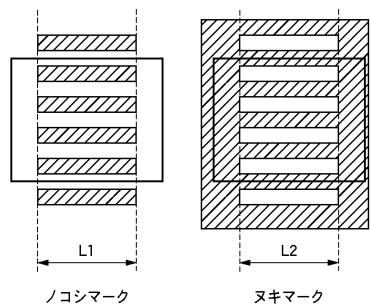
【図 14】



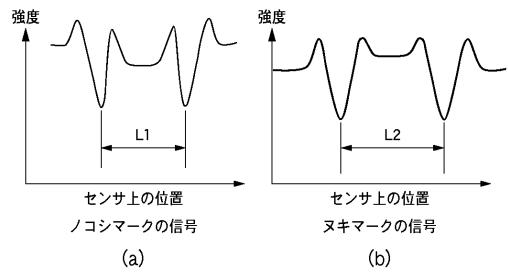
【図15】



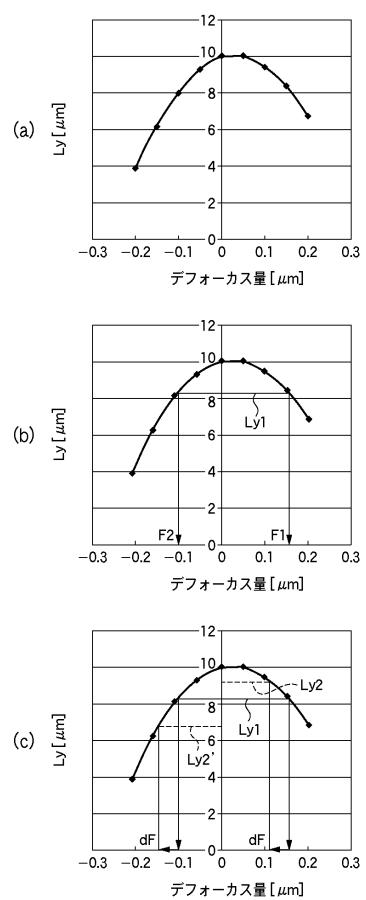
【図16】



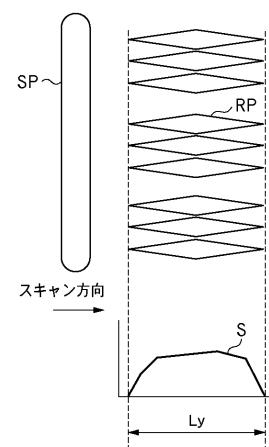
【図17】



【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)

H 01 L	2 1 / 0 2 7		
G 03 F	7 / 2 0	-	7 / 2 4
G 03 F	9 / 0 0	-	9 / 0 2
G 01 B	1 1 / 1 4		