(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3630852号
(P3630852)
(45)発行日　平成17年3月23日(2005.3.23)　(24)登録日　平成16年12月24日(2004.12.24)

(51)Int.Cl.[7]	F I	
H01L 21/027	H01L	21/30　５２６Ｂ
G03F 7/20	G03F	7/20　５２１
H01L 21/66	H01L	21/66　Ｊ
	H01L	21/66　Ｙ
	H01L	21/30　５０２Ｇ

請求項の数 11　(全 20 頁)　最終頁に続く

(21)出願番号　特願平8-139610
(22)出願日　平成8年5月9日(1996.5.9)
(65)公開番号　特開平9-36037
(43)公開日　平成9年2月7日(1997.2.7)
審査請求日　平成15年4月25日(2003.4.25)
(31)優先権主張番号　特願平7-141307
(32)優先日　平成7年5月16日(1995.5.16)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

(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　100086818
弁理士　高梨　幸雄
(72)発明者　吉井　実
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
(72)発明者　竹内　誠二
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
(72)発明者　長谷川　雅宣
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】パターン形成状態検出装置及びそれを用いた投影露光装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

物体に塗布された感光体に光学系を介して周期的パターンを感光させることにより形成された感光パターンの形成状態を検出する装置において、

該感光パターンに光束を照射する照射手段と、

該感光パターンからの光束を受光する受光手段と、

該受光手段により受光される光束の偏光状態の変化を検出し、該検出結果に基づき該感光パターンの形成状態を求める処理手段と、を有していることを特徴とするパターン形成状態検出装置。

【請求項２】

前記感光パターンの形成状態は該感光パターンのデューティであることを特徴とする請求項１のパターン形成状態検出装置。

【請求項３】

前記入射光束の波長は前記露光光の波長と異なっていることを特徴とする請求項１のパターン形成状態検出装置。

【請求項４】

物体に塗布された感光体に光学系を介して周期的パターンを感光させることにより形成された感光パターンの形成状態を検出する装置において、

該感光パターンに光束を照射する照射手段と、

該感光パターンからの光束を受光する受光手段と、

該受光手段により受光される光束の波長毎の反射率の変化を検出し、該検出結果に基づき該感光パターンの形成状態を求める処理手段と、を有していることを特徴とするパターン形成状態検出装置。

【請求項５】

露光光で照明した第１物体面上の周期的パターンを投影光学系により感光体を塗布した第２物体面上に投影露光し、感光パターンを形成する投影露光装置において、前記感光パターンの形成状態を検出する請求項１～４のいずれか１項記載のパターン形成状態検出装置を有することを特徴とする投影露光装置。

【請求項６】

異なる複数の露光条件で形成した複数の感光パターンの形成状態を、前記パターン形成状態検出装置で検出することを特徴とする請求項５の投影露光装置。

【請求項７】

前記感光体はレジストであり、前記感光パターンは潜像又は現像処理後に形成されるレジストの凹凸段差であることを特徴とする請求項５又は６記載の投影露光装置。

【請求項８】

前記露光条件は前記第２物体面上への露光量又は／及び該第２物体の前記投影光学系の光軸方向のフォーカス位置であることを特徴とする請求項５～７のいずれか１項記載の投影露光装置。

【請求項９】

異なる複数の露光条件で形成した複数の感光パターンの形成状態を請求項１～４のいずれか１項記載のパターン形成状態検出装置を用いて検出し、前記検出結果を用いて第１物体面上のパターンを前記光学系を介して第２物体面上に投影露光することを特徴とする投影露光方法。

【請求項１０】

前記異なる複数の露光条件とは、前記第２物体面を露光する露光量と前記光学系の光軸方向の位置の少なくとも一方が異なることを特徴とする請求項９の投影露光方法。

【請求項１１】

請求項９又は１０記載の投影露光方法を用いてレチクル面上のパターンを前記光学系によりウエハ面上の感光体に投影露光する工程と、該ウエハを現像処理する工程とを有することを特徴とするデバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】

本発明は、パターン形成状態検出装置及びそれを用いた投影露光装置に関し、例えばＩＣやＬＳＩ等の半導体デバイスやＣＣＤ等の撮像デバイスや液晶パネル等の表示デバイスや磁気ヘッド等のデバイスを製造する工程のうち、リソグラフィー工程において使用される投影露光装置の露光状態を測定し、リアルタイム又は迅速に最適な露光条件を決定し、露光する際に好適なものである。

【０００２】

【従来の技術】

近年、ＩＣ，ＬＳＩ等の半導体デバイスの高集積化がますます加速度を増しており、これに伴う半導体ウエハの微細加工技術の進展も著しい。この微細加工技術としてマスク（レチクル）の回路パターン像を投影光学系（投影レンズ）により感光基板上に形成し、感光基板をステップ＆リピート方式で露光する縮小投影露光装置（ステッパー）が種々と提案されている。

【０００３】

このステッパーにおいては、レチクル上の回路パターンを所定の縮小倍率を持った投影光学系を介してウエハ面上の所定の位置に縮小投影して転写を行い、１回の投影転写終了後、ウエハが載ったステージを所定の量、移動して再び転写を行うステップを繰り返してウエハ全面の露光を行っている。

【０００４】
一般に投影光学系を有したステッパーを用いて微細な回路パターンの転写を行うにはウエハ面への露光量やウエハのフォーカス位置（投影光学系の光軸方向の位置）等の露光条件を適切に設定することが重要になってくる。
【０００５】
この為、従来のステッパーでは量産工程に入る前の試し焼き工程（センドアヘッド）で１ショット毎に露光条件、即ちフォーカス位置と露光量（シャッター時間）の少なくとも一方を変えながら感光基板に焼き付けた後、感光基板を現像して直線上のパターンの線幅を光学顕微鏡や線幅測定装置で計測することで最適な露光条件を決定している。
【０００６】
例えば、ウエハ上のショット領域の配列の横方向についてはフォーカス値を一定にして露光量（シャッター時間）を一定量ずつ変えて露光を行い、ショット配列の縦方向には露光量を一定にしてフォーカス値を一定量ずつ変えて露光している。
【０００７】
そして現像後に形成された各ショット内のライン（Ｌ）＆スペース（Ｓ）のレジストパターン（Ｌ＆Ｓパターン）の線幅を走査型電子顕微鏡（ＳＥＭ）で測長して検出し、これにより投影レンズの最適焦点位置と最適露光量を算出している。
【０００８】
【発明が解決しようとする課題】
従来のステッパーにおいて最適な露光条件（露光量やフォーカス位置）を設定するにはウエハ上に形成したレジストパターンの線幅をＳＥＭ等で計測している為、処理時間が多くかかるという問題点があった。
【０００９】
本発明は、露光によるレジストの感光状態（潜像）あるいは現像後のＬ＆Ｓ等の感光パターンの形成状態を入射光束の変化，例えば反射光の強度の変化や偏光状態の変化を利用して測定し、その測定値から最適な露光条件を決定し、その最適露光条件でウエハを量産露光していくことにより短時間で最適な露光条件を設定することができ、高集積度の投影パターンが容易に得られるパターン形成状態検出装置及びそれを用いた投影露光装置の提供を目的とする。
【００１０】
【課題を解決するための手段】
請求項１の発明のパターン形成状態検出装置は、物体に塗布された感光体に光学系を介して周期的パターンを感光させることにより形成された感光パターンの形成状態を検出する装置において、
該感光パターンに光束を照射する照射手段と、
該感光パターンからの光束を受光する受光手段と、
該受光手段により受光される光束の偏光状態の変化を検出し、該検出結果に基づき該感光パターンの形成状態を求める処理手段と、を有していることを特徴としている。
【００１１】
請求項２の発明は請求項１の発明において、前記感光パターンの形成状態は該感光パターンのデューティであることを特徴としている。
【００１２】
請求項３の発明は請求項１の発明において、前記入射光束の波長は前記露光光の波長と異なっていることを特徴としている。
【００１３】
請求項４の発明のパターン形成状態検出装置は、物体に塗布された感光体に光学系を介して周期的パターンを感光させることにより形成された感光パターンの形成状態を検出する装置において、
該感光パターンに光束を照射する照射手段と、
該感光パターンからの光束を受光する受光手段と、

該受光手段により受光される光束の波長毎の反射率の変化を検出し、該検出結果に基づき該感光パターンの形成状態を求める処理手段と、を有していることを特徴としている。

【００１４】

請求項５の発明の投影露光装置は、露光光で照明した第１物体面上の周期的パターンを投影光学系により感光体を塗布した第２物体面上に投影露光し、感光パターンを形成する投影露光装置において、前記感光パターンの形成状態を検出する請求項１～４のいずれか１項記載のパターン形成状態検出装置を有することを特徴としている。

【００１５】

請求項６の発明は請求項５の発明において、異なる複数の露光条件で形成した複数の感光パターンの形成状態を、前記パターン形成状態検出装置で検出することを特徴としている。

【００１６】

請求項７の発明は請求項５又は６の発明において、前記感光体はレジストであり、前記感光パターンは潜像又は現像処理後に形成されるレジストの凹凸段差であることを特徴としている。

【００１７】

請求項８の発明は請求項５～７のいずれか１項の発明において、前記露光条件は前記第２物体面上への露光量又は／及び該第２物体の前記投影光学系の光軸方向のフォーカス位置であることを特徴としている。

【００１８】

請求項９の発明の投影露光方法は、異なる複数の露光条件で形成した複数の感光パターンの形成状態を請求項１～４のいずれか１項記載のパターン形成状態検出装置を用いて検出し、前記検出結果を用いて第１物体面上のパターンを前記光学系を介して第２物体面上に投影露光することを特徴としている。

【００１９】

請求項１０の発明は請求項９の発明において、前記異なる複数の露光条件とは、前記第２物体面を露光する露光量と前記光学系の光軸方向の位置の少なくとも一方が異なることを特徴としている。

【００２０】

請求項１１の発明のデバイスの製造方法は、請求項９又は１０記載の投影露光方法を用いてレチクル面上のパターンを前記光学系によりウエハ面上の感光体に投影露光する工程と、該ウエハを現像処理する工程とを有することを特徴としている。

【００３８】

【発明の実施の形態】

まず本発明において第１物体（レチクル）面上のパターンを第２物体（ウエハ）に投影露光するときの最適な露光条件の設定方法の特徴について説明する。

【００３９】

本発明ではＬ＆Ｓパターン（周期的パターン）をレジストに転写した場合、

（イ）．最適フォーカス位置

（ロ）．最適露光量

におけるデューティ（レジスト残存部分とレジストのない部分の幅の和、つまりピッチに対するレジストの残存部分の幅の比率）が２：１になる原理を利用している。

【００４０】

そこで本発明ではレチクル（Ｒ）に一方向に周期を持つ、例えばＬ＆Ｓデューティ２：１の露光条件測定用の基準パターン（周期的パターン）を形成したマスクを用いて、その基準パターンの像をウエハ（Ｗ）へ露光量とフォーカスの少なくとも一方の条件を変えてウエハ上に順次露光している。

【００４１】

そして、この露光によりできたウエハ上のレジスト内の潜像（露光により化学変化等を起こして屈折率が変化した部分で構成した像）若しくは現像後の凹凸パターン等の感光パタ

ーンに対し、光束入射手段より入射光束を照射し、該感光パターンからの信号光束を受光手段で受光している。受光手段からの信号を用いて入射光束の変化（入射光束の偏光状態の変化や強度の変化等）を検出し、感光パターンの形成状態を処理手段で求めている。そして処理手段からの信号に基づいて制御手段によりウエハ面への露光条件（露光量やウエハの光軸方向の位置等）を制御している。

【００４２】

次に入射光束の変化として入射光束の偏光状態の変化を用いた場合を例にとり説明する。

【００４３】

感光パターンに対し、所定の波長と所定の偏光状態を持つ光束を所定の入射角でレジストに入射させている。

【００４４】

その光束がレジスト内を透過し、ウエハ基盤上で反射し、更にレジストを再び透過して出射してきた光束及びレジスト表面で直接反射した光束とが合波してできた光束の偏光状態を測定している。

【００４５】

一般に凹凸パターンより成る位相型の回折格子は、そのピッチ以上の波長では回折光を生じず、複屈折特性を持つことが知られている。

【００４６】

本発明の実施形態では反射光を検出する場合を中心に示すが、レジストパターンのピッチが波長より大きいときは回折光を生じ、この回折光でも同様な測定ができる。

【００４７】

次に本発明で用いている偏光解析法について説明する。

【００４８】

今、格子厚をｄ、デューティ比をｔとし、周期以上の波長を持つレーザー光が複屈折素子に垂直に入射したと仮定する。このとき、入射光の偏光状態が格子の溝に平行であるか垂直であるかによって複屈折素子の周期構造部分での屈折率ｎ∥，ｎ⊥は、それぞれ次式で与えられることが知られている（光学の原理ＩＩＩ　：ボルン・ウォルフ著）。今、格子の溝に平行な光に対する屈折率をｎ∥，垂直な光に対する屈折率をｎ⊥とすると、

【００４９】

【数１】

$$n\parallel = \sqrt{(t \cdot n1^{**}2 + (1-t) \cdot n2^{**}2)}$$

$$n\perp = 1 / \sqrt{((t/n1^{**}2) + (1-t)/n2^{**}2))}$$

となる。

【００５０】

ここでｎ１，ｎ２はそれぞれ格子のＬ（ライン部分）とＳ（スペース相当部分）の屈折率である。ライン部分Ｌとスペース部分Ｓはレジストの潜像の場合、Ｌがレジスト、Ｓが露光されたレジストであり、レジストを現像した場合、ＬがレジストでＳが空気等の気体である。

【００５１】

偏光解析のモデルはウエハ基盤上の所定の厚みの複屈折媒質の複屈折率を測定することに相当する。偏光解析法とは、このウエハ基盤上にＰ／Ｓ（Ｐ偏光／Ｓ偏光）の位相差０、振幅比１の直線偏光光を所定の角度θで入射させ、その反射光の位相差（Δ）と振幅比（Ψ）を測定し、予め測定したライン部分Ｌとスペース部分Ｓの屈折率ｎ１，ｎ２及びレジスト厚ｄを用いて屈折率ｎ∥，ｎ⊥を求めることができるものである。この偏光解析法により求まった屈折率ｎ∥，ｎ⊥の値から、上記式を用いてデューティｔを求めている。この偏光解析法は公知であるので詳細は省略する。

【００５２】

本発明の一実施形態ではこのように偏光解析法を利用してレジスト内の潜像パターン、若しくは現像後の凹凸パターンのデューティを測定している。

【００５３】

本発明の一実施形態ではＬ＆Ｓパターンを異なる露光条件で感光体面上に転写して複数の感光パターンを形成する工程と、前記複数の感光パターンに対し、順次前記光束を照射し、その反射光の偏光状態を検出し、前記偏光状態から感光パターンのデューティを算出する工程と、前記デューティが所望になる露光条件を決定する工程と、その露光条件でその後、複数のウエハに焼き付ける工程を含むことを特徴としている。

【００５４】

次に本発明の実施形態を図を用いて説明する。図１は本発明の実施形態１の要部概略図、図２～図６は図１の一部分を抽出したときの説明図である。

【００５５】

本実施形態は感光パターンを介した入射光束の変化として偏光状態の変化を利用した場合である。

【００５６】

図１において１０１は縮小型の投影レンズであり、後述する露光用の光源１０７からの露光光で照明したレチクル１０２面上の回路パターン１０２ａをウエハ１０３上に投影している。１０４はウエハチャックであり、ウエハ１０３を吸着している。１０５は粗微動ステージ（Ｚステージ）であり、ウエハチャック１０４をＺ方向に粗微動させている。１０６はＸＹステージ（ウエハステージ）であり、ＸＹ方向にウエハチャック１０４を移動させている。１０７は露光用の光源である。１０８は構造体であり、光源１０７，レチクル１０２，投影レンズ１０１及びウエハステージ１０６等を支えている。

【００５７】

次に本実施形態で用いているウエハ１０３の投影レンズ１０１の光軸方向の位置、即ちフォーカス位置を検出する為のフォーカス位置制御装置とレチクル１０２を露光光で照明する際の露光量制御装置とを有する制御手段について図４を参照して説明する。

【００５８】

図４において２０１は半導体レーザ等の高輝度の光源である。光源２０１から出たレーザ光は折り曲げミラー２０８により方向を変えられた後、ウエハ１０３の表面に入力する。ウエハ１０３の測定点Ｐ１で反射した後、光束は折り曲げミラー２０９で方向を変えられた後、入射光束の２次元位置を検出する検出素子２０２に入射する。検出素子２０２は、例えばＣＣＤ等から成り、光束の入射位置を検知している。ウエハ１０３の表面のＺ方向（投影レンズ１０１の光軸方向）の位置変化が検出素子２０２上の入射位置の位置ずれとなるようにして検出している。この検出素子２０２からの信号に基づいてフォーカス制御装置２０３はウエハ１０３のＺ方向の位置、即ちフォーカス位置をＺステージ１０５で制御している。

【００５９】

２０６はシャッター開閉機構、２０７はハーフミラー、２０５は照度センサーであり、ハーフミラー２０７で反射した光源１０７からの光束の露光量を検出している。積算露光制御装置２０４は照度センサー２０５からの信号に基づいてシャッター開閉機構２０６を制御して光源１０７からの光束の通過量を制御している。これによりレチクル１０２を照射する露光量が予め設定した値となるように調整している。

【００６０】

本実施形態では、このような露光量制御装置とフォーカス位置制御装置より成る制御手段を利用してレチクル１０２面上のパターンをウエハ１０３面上に投影する際の露光条件を制御している。

【００６１】

次に光源１０７からの露光光で照明したレチクル１０２面上のパターンをウエハ１０３面上に投影する場合について説明する。

【００６２】

図５はレチクル１０２面上の基準パターン（以下「パターン」という）１０２ａの説明図である。パターン１０２ａはライン（Ｌ）とスペース（Ｓ）より成るＬ＆Ｓのパターン１０２１，１０２２を互いに直交させて構成している。

【００６３】

本実施形態ではＬ＆Ｓのパターン１０２１，１０２２より成るパターン１０２ａを描画したレチクル１０２をレチクルステージにセットし、レジストを塗布したウエハ１０３をウエハチャック１０４にセットし、レチクル１０２のパターン１０２ａをステップ＆リピート方式でウエハ１０３上に順次露光していく。このとき前述したフォーカス制御装置２０３及び積算露光制御装置２０４を用いて図６に示すように１ショットである領域１０３１を順次焼き付けパターン１０２１，１０２２の潜像１０３１２及び１０３１１を焼き付ける。

【００６４】

そしてＸ方向のショット位置に応じてｆｏｃｕｓオフセットを予想最適位置を中心に一定量ずつ変えながらステップ移動し、Ｙ方向のショットに対しては同様に、最適露光量（シャッター時間）を中心に露光量を変えながら露光していく。図６の例では説明の都合上、３×３のマトリックスであるが、このショット数は多い方が条件を出しやすくなる。

【００６５】

図７は、このように順次露光したときのウエハ１０３のレジストの断面の説明図である。露光後のウエハ１０３のレジストは図７に示すようにレジスト内に潜像を形成する。潜像は露光光によってレジストが化学変化等で性質が変化して構成されたもので、一般にこの斜線で示した部分は露光した部分であり、この部分は屈折率が変化している。

【００６６】

図７のマトリックス番地は図６のそれぞれに対応した位置での断面であり、（１），（２），（３）はそれぞれのチップのパターン像１０３１２の断面を表している。

【００６７】

次に露光後のウエハ１０３のレジストは図７に示すように潜像をウエハチャック１０４から外すことなく、光源部３０１，受光部３０２，ドライバー３０３，そして偏光処理装置３０４で構成される偏光解析装置３００により入射光に対する反射光の振幅比Ψと位相差Δを測定している。

【００６８】

図３は、このときの図１の偏光解析装置３００の主要部分を抽出した概略図である。図１１は図３の光路を展開した説明図である。図３，図１１において照射手段としての光源部（光束入射手段）３０１は光源３０１１（ウエハ１０３上のＬ＆Ｓピッチ以上の波長でＨｅＮｅレーザや半導体レーザばかりでなく、分光器の単色光でも良い）と偏光素子３０１２（グラムトムソン等）を有している。偏光素子３０１２はウエハ１０３に対し、Ｐ偏光成分（紙面に平行）とＳ偏光成分（紙面に垂直）が等量になるように紙面と偏光面が４５度となるように設置している。従ってこの光束Ｐ，Ｓの位相差Δは０で、振幅比Ψは１である。

【００６９】

受光部（受光手段）３０２は異方性の軸が光束３０５に直交したλ／４波長板３０２４、アナライザーであるところの偏光素子３０２２（グラムトムソン等）、光電変換素子３０２１とを有している。更にλ／４板３０２４は光束３０５方向を回転軸とする回転機構３０２３内に保持され、ドライバー３０３からの指令により一定速度で回転している。

【００７０】

今、光源部３０１からの射出光３０５がウエハ１０３上のレジスト表面とウエハ表面で反射し、その合波光束がウエハ１０３上のレジストの複屈折率ｎ１，ｎ２等に応じてＰ，Ｓ偏光の位相差Δと振幅比Ψが変化する。

【００７１】

その光束を回転するλ／４板３０２４とアナライザー３０２２を通してディテクタ３０２１で検出し、これにより処理手段３０４は位相差Δと振幅比Ψに応じた正弦波の電気信号

を得て、その振幅と直流成分の大きさの正弦波の位相情報から上記Δ，Ψを求めている。

【００７２】

以上のように、偏光解析法を利用して予め測定されているレジストの未露光部分の屈折率ｎ１，被露光部分の屈折率をｎ２，レジストの厚みｄ，及び基盤の複素屈折率ｎｓを与えることによりＬ＆Ｓのレジストパターンを複屈折構造体として屈折率ｎ⊥を求めている。

【００７３】

更にデューティｔ⊥を屈折率ｎ⊥の値から以下の式で求めている。

【００７４】

$$t\perp = n1^{**}2 \cdot (n2^{**}2 - n1^{**}2) \Big/ (n\perp^{**}2 \cdot (n2^{**}2 - n1^{**}2))$$

屈折率ｎ∥の値からデューティｔ∥は

ｔ∥＝（ｎ∥＊＊２－ｎ２＊＊２）／（ｎ１＊＊２－ｎ２＊＊２）

となる。この２値を次のように平均化して精度を高めている。

【００７５】

ｔ１＝（ｔ⊥＋ｔ∥）／２

通常は以上でデューティｔを求めることができるが、レジストむらや下地の構造等による測定値の変動がある場合もあるので、図２の平面図に示すように前記のｘ方向からの偏光解析測定に対し、それに直交した、つまりｙ方向からの第２の偏光解析装置を構成し、第１の偏光解析装置（３０１，３０２）が測定した測定点と略同一点を同時に測定することにより以下のようにして精度向上を図っている。

【００７６】

この場合もデューティｔ１を求めたときと同様に

ｔ２＝（ｔ⊥＋ｔ∥）／２

となり、前述したデューティｔ１を使って、

ｔ＝（ｔ１＋ｔ２）／２

と平均することにより、更にデューティｔの測定精度を高めている。

【００７７】

一方、図８はサンプルのＬ＆Ｓを偏光解析によって得られたデューティとそのサンプルを現像し、ＳＥＭで測定した値を比較することにより最適露光条件を見出す方法の説明図である。これにより偏光解析法で発生する下地の構造等で発生するデューティのオフセットを計り、以降の測定ではこのオフセット値を差し引いた値を補正された正しい測定値としている。このＳＥＭとの比較はプロセス等の条件が変わる最初に一度だけすれば良く、以後はＳＥＭは必要としない。

【００７８】

次に図９，図１０に示す露光条件の最適化のフローチャートを説明する。図９は１枚のウエハに８×６個のチップ露光をし、その偏光解析結果をΔ－Ψマップ上に表した例である。例えば、ライン４１０上の測定点は露光量が一定でｆｏｃｕｓが変化しているものであり、一方ライン４０１上の測定点は逆にｆｏｃｕｓが一定で露光量が変化している場合を示している。

【００７９】

このΔ－Ψのマップ上の四角枠ＡＸ内に示されたショットは、前述したようなＳＥＭ測定との対応により最適なデューティになっている範囲を示している。従って露光ショットを偏光解析法により測定し、Δ，Ψがこの枠ＡＸに入れば最適デューティを示していることになる。

【００８０】

以上をフロー化したのが図１０である。まず、ウエハにレジストをコートする。このときレジストの厚みが分かっていなければ、このとき測定する。次に前述したようにステージをステップ移動しながらｆｏｃｕｓと露光量（シャッター時間）を変えて試し焼きをする。

【００８１】
次にウエハをウエハチャックから取り外すことなく、同様にステージを移動しながら偏光解析法で次々にショットを変えてΔ，Ψを測定する。偏光解析結果が図９で示された所定の範囲ＡＸのΔ，Ψであれば、そのショットを焼き付けた露光条件を量産焼きの最適露光条件とする。
【００８２】
この偏光解析方法によるデューティチェックをウエハの量産焼き付け工程内の途中で随時行い、歩留を上げている。
【００８３】
本実施形態では以上のようにして最適な露光条件を設定した後にウエハを所定の現像処理工程を介して、これにより高集積度のデバイスを製造している。
【００８４】
図１２は本発明の実施形態２の説明図である。本実施形態では実施形態１に比べて露光装置上に物理的制約等がある場合に、偏光解析装置を露光装置のウエハステージ上とは別に設けている点が異なっているだけであり、その他の構成は同じである。
【００８５】
図１３は本発明の実施形態３の説明図である。実施形態１ではウエハ面上のレジストを現像しない潜像のままで偏光解析をしているのに対して、本実施形態ではレジストを現像してから偏光解析をしている点が実施形態１と異なっており、その他の構成は同じである。
【００８６】
図１４は本実施形態に係るレジスト現像後の感光パターンの断面形状の説明図である。図１４から明かのように、本実施形態は実施形態１，２の潜像方式に比べて屈折率ｎ２が略１．０の気体である為、Ｌ＆Ｓの屈折率差が大きく取れるので、デューティの測定精度が有利であり、条件が厳しい場合、この方式が向いている。
【００８７】
本実施形態では現像処理後の感光パターンを偏光解析して最適な露光条件を求めており、これにより従来のＳＥＭを用いた場合に比べて短時間で最適な露光条件を求めている。
【００８８】
図１５は本実施形態のフローチャートである。図１６は本発明の実施形態４の説明図である。本実施形態では実施形態１に比べてレジストの現像とＳＥＭを同居させている点が異なっており、その他の構成は同じである。尚、本実施形態ではＳＥＭは偏光解析法によるデューティ測定の更生用として現像したレジスト像を確認する必要が生じたときに使用している。
【００８９】
図１７は本発明の実施形態５の要部概略図である。本実施形態は感光パターンを介した入射光束の変化として、入射光束の波長を変化させた時の反射光束の強度の変化を用いた場合を示している。ここで入射光束の強度の変化としてレジスト膜の屈折率を用いて求めている。
【００９０】
図１７において図１で示した要素と同一要素には同符番を付している。同図において５０１はモノクロメーターであり、内蔵している不図示の白色光源を回折格子等で波長分散させスリットで切り出すことにより、ウエハ１０３上のレジスト膜の表裏面で干渉できる程度に短波長化した光束を放射している。５０２はレジストパターン（現像／潜像）の表裏面から反射干渉してきた光束の光量を検出する光電検出器である。５０３はモノクロメーター５０１の波長をドライブし、光電検出器５０２からの電気信号からレジストパターンの屈折率を演算し、その結果を中央処理装置１０９に送信するドライバ／処理装置である。ここで５０１は白色光源、５０２は分光反射率を求める分光器でもよい。
【００９１】
次に本実施形態の動作原理を図１８～図２１を用いて説明する。尚、ウエハ１０３上に塗布したレジストの膜厚は予め膜厚計で測定して求めている。又レジストパターンの屈折率

を求めてからパターンのデューティを算出、更にフォーカス、露光量制御をするところは実施形態１と同一であるところから説明を省略する。

【００９２】

まずレジストの屈折率n_2の測定原理について説明する。図１８において媒質の屈折率を光の入射側から順にn_1，n_2，n_3とし、膜厚をｄとする。使用波長（真空中での波長λ_0）の各々の入射角をθ_1，θ_2，θ_3とする。このときの振巾反射率γは次のようになる［参考：Ｍ．Ｂｏｒｎ ａｎｄ Ｅ．Ｗｏｌｆ 著，”Ｐｒｉｎｃｉｐｌｅｓ ｏｆ Ｏｐｔｉｃｓ” ３ｒｄ ｅｄｉｔｉｏｎ，ＰＥＲＧＡＭＯＮ ＰＲＥＳＳ，６２頁］。

【００９３】

【数２】

$$\gamma = \frac{\gamma_{12} + \gamma_{23} e^{2i}}{1 + \gamma_{12}\gamma_{23} e^{2i}} \qquad \cdots\cdots (1)$$

ここでγ_{12}は媒質１と２の境界でのフレネルの反射係数で、γ_{23}は媒質２と３の境界でのフレネルの反射係数であり、βはβ＝（２π／λ_0）・n_2・ｄ・$\cos\theta_2$である。

【００９４】

実際測定可能な量は、反射強度すなわち$R = |\gamma|^2$（通常反射率と呼ぶ）であり、次のようになる。

【００９５】

【数３】

$$R = \frac{\gamma_{12}^2 + \gamma_{23}^2 + 2\gamma_{12}\gamma_{23}\cos 2\beta}{1 + \gamma_{12}^2\gamma_{23}^2 + 2\gamma_{12}\gamma_{23}\cos 2\beta} \qquad \cdots\cdots (2)$$

（２）式より、いま測定しようとする屈折率n_2は次のようになる。

【００９６】

【数４】

$$n_2 = \frac{\lambda_0}{4\pi d\cos\theta_2}\left[2\pi N + \cos^{-1}\frac{R + R\gamma_{12}^2\gamma_{23}^2 - \gamma_{12}^2 - \gamma_{23}^2}{2\gamma_{12}\gamma_{23}(1-R)}\right] \qquad \cdots\cdots (3)$$

ここでＮは整数である。

【００９７】

使用波長λ_0を変化させたときの反射率Ｒとn_2は図１８（Ｂ）及び図１８（Ｃ）のようになる。従って各波長での屈折率n_2の平均値n_{2AV}を屈折率とすることにより、再現性の良い高精度な測定ができる。

【００９８】

屈折率を高精度に測定するには、反射率の測定精度を挙げることが肝要である。本実施形態は反射率の測定精度向上を目的としている。

【００９９】

測定精度の劣化原因として、以下のことが挙げられる。

【０１００】

イ．迷光

ロ．光量検出器の変動
ハ．経時変化
本実施形態は、これらを自動的に補正することにより、測定精度を向上している。
【０１０１】
図１９，図２０，図２１は測定原理の説明図である。図１９は構成を、図２０は処理プロセスを、図２１は図２０の処理プロセスの各プロセスでの信号を示したものである。
【０１０２】
図１９において５００１は分光器、５００２は分光器での試料面からの各波長の反射率相当の出力信号を記憶するＲＡＭ１、５００３はこの出力信号を計算処理するＣＰＵ１、５００４は所定の膜の理想の反射率を計算し、その計算値をデータ処理するＣＰＵ２、５００５はＣＰＵ２の処理後のデータを記憶するＲＡＭ２、５００６はＣＰＵ１とＲＡＭ２の処理データからＲＡＭ１のデータを補正し更に膜厚計算をするＣＰＵ３、そして５００７は膜厚計算結果を出力する出力機器から成り立つ。
【０１０３】
次にその作用について図２０，図２１を使って以下説明する。
【０１０４】
まず分光器からの各波長の反射率測定（図２０のステップ５０１３）のデータすなわちＲＡＭ１のデータを、ＣＰＵ１で高速フーリエ変換等によりデータの平滑化（図２０のステップ５０１４）を行う。すなわち図２１（Ａ）の×印が測定値であり実線のｆ（λ）で示したのが平滑化した曲線である。
【０１０５】
ここでｆは波長λの関数である。次のこのｆ（λ）の極大、極小値及びその中間レベルを求める（図２０のステップ５０１５）。その方法は、まず極大点の点列を結び曲線ｍａｘ（λ）そして極小点の点列を結び曲線ｍｉｎ（λ）を求めそして、その中間レベル
【０１０６】
【数５】

$$ave(\lambda) = \frac{max(\lambda) + min(\lambda)}{2}$$

を求める。
【０１０７】
一方、予め、測定対象の膜の反射率の理論値すなわち各波長の理想反射率をＣＰＵ２で計算（図２０のステップ５０１６）し、その曲線Ｆ（λ）から、極大値を結んだ曲線ＭＡＸ（λ）、極小値を結んだ曲線ＭＩＮ（λ）、そして中間レベルＡＶＥ（λ）を算出しておく（図２０のステップ５０１７）。ＭＡＸ（λ），ＭＩＮ（λ），ＡＶＥ（λ）はＲＡＭ２に入れる。
【０１０８】
以上からＣＰＵ３によってｆ（λ）を次のように修正し、ｆ′（λ）とする。
【０１０９】
【数６】

$$f'(\lambda) = [f(\lambda) - ave(\lambda)] \times \left[\frac{MAX(\lambda) - MIN(\lambda)}{max(\lambda) - min(\lambda)}\right] + AVE(\lambda) \quad \cdots\cdots (4)$$

前記測定精度劣化原因によって生ずる反射率データのゲイン変動を（４）式第１項で修正し（図２０のステップ５０１８）、バイアス変動（図２１（Ｃ）参照）を第２項で修正す

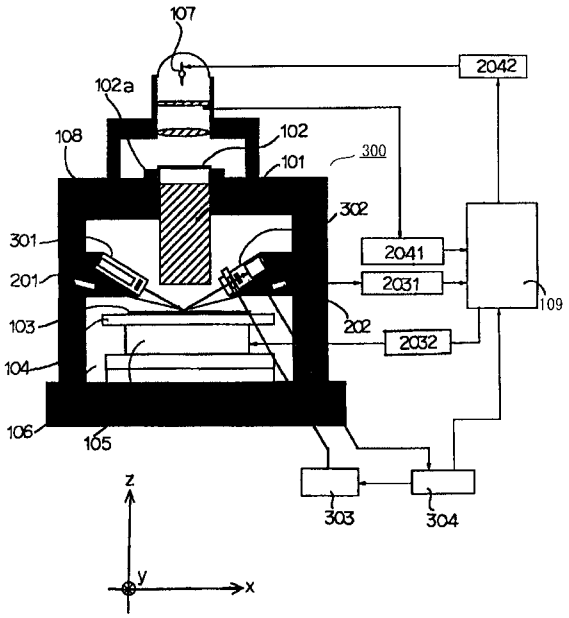
る（図２０のステップ５０１９）。
【０１１０】
更にこの修正されたｆ′（λ）をＲとして前記（３）式により屈折率n_2を算出する（図２０のステップ５０２０）ことにより、反射率の測定を行っている。
【０１１１】
また同様の試料を繰り返し測定する場合は、図２１（Ｄ）に示すように毎回ｍａｘ（λ），ｍｉｎ（λ）そしてａｖｅ（λ）を算出するには時間のロスとなるから、初回に測定した試料のデータを使い、修正することも可能である。
【０１１２】
第Ｎ回目の試料測定f'_N（λ）を次式で計算する。なお添字１又はＮは初回測定又はＮ回目の測定での値を示す。
【０１１３】
【数７】

$$f'_N(\lambda) = [f_N(\lambda) - ave_1(\lambda)] \times \left[\frac{MAX_1(\lambda) - MIN_1(\lambda)}{max_1(\lambda) - min_1(\lambda)}\right] + AVE_1(\lambda)$$

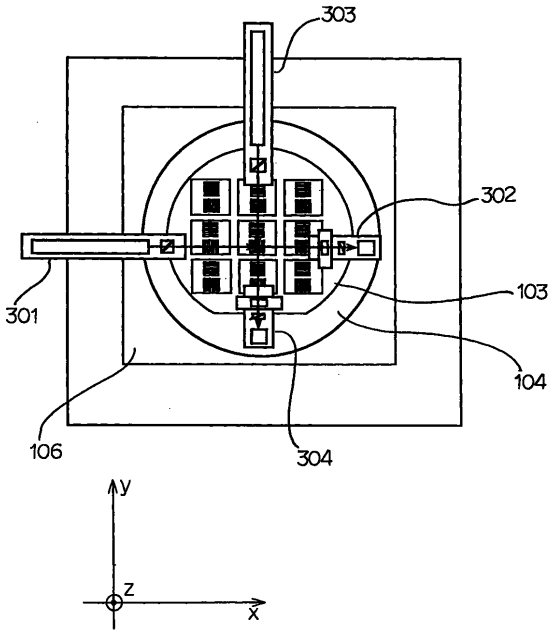
このとき初回の試料は、第Ｎ回目の試料と全く同一である必要はない。すなわちf_N（λ）にゲインとバイアスを与えることができれば良く、測定精度劣化原因の各項目が変動していない範囲であれば良い。
【０１１４】
【発明の効果】
本発明によれば以上のように、露光によるレジストの感光状態（潜像）あるいは現像後のＬ＆Ｓ等の感光パターンの形成状態を入射光束の変化，例えば反射光の強度の変化や偏光状態の変化を利用して測定し、その測定値から最適な露光条件を決定し、その最適露光条件でウエハを量産露光していくことにより短時間で最適な露光条件を設定することができ、高集積度の投影パターンが容易に得られるパターン形成状態検出装置及びそれを用いた投影露光装置を達成することができる。
【０１１５】
特に従来のＳＥＭを用いる方法に比べて、周期性を持つパターン、例えばＬ＆Ｓパターンをレチクルに構成した露光条件測定用のレチクルを用いて、このパターンのレジスト像（現像する場合、若しくは現像しない潜像の場合）のデューティを反射光の情報を用いることにより最適露光条件を、高精度でしかも短時間で得られるという効果がある。
【図面の簡単な説明】
【図１】本発明の実施形態１の要部断面図
【図２】本発明の実施形態１の部分の平面図
【図３】図１の偏光解析装置の一部分の説明図
【図４】露光装置におけるｆｏｃｕｓ検出と露光量制御の一部分の概略図
【図５】露光条件測定用のレチクルパターンの説明図
【図６】露光条件を振って焼いたウエハ上のレジスト潜像の説明図
【図７】図６のウエハのレジスト潜像の断面図
【図８】偏光解析装置による測定値のＳＥＭによる更生の説明図
【図９】Δ－Ψマップ
【図１０】偏光解析法を露光条件設定に適用した場合のフローチャートの説明図
【図１１】偏光解析法構成の説明図
【図１２】偏光解析装置を別置きした実施形態２の説明図
【図１３】レジスト現像工程を入れた実施形態３の説明図
【図１４】レジスト現像後の断面形状の説明図

【図１５】現像工程を入れたフローチャートの説明図
【図１６】ＳＥＭと隣接させた実施形態４の説明図
【図１７】本発明の実施形態５の要部断面図
【図１８】本発明に利用した分光反射率から膜厚を求める基本原理説明図
【図１９】本発明の実施形態の構成を示すブロック図
【図２０】本発明の実施形態の処理プロセスを示す説明図
【図２１】本発明の実施形態の信号状態を示す説明図
【符号の説明】
１０１　縮小型の投影レンズ
１０２　レチクル
１０３　ウエハ
１０４　ウエハチャック
１０５　粗微動チルトＺステージ
１０７　光源
１０８　フレーム
１０９　中央処理装置
２０１　フォーカス検知用光源
２０２　フォーカス検知用光電変換器
２０３１　フォーカス制御装置
２０４１　積算露光量検出回路
２０４２　積算露光量制御回路
３０１　偏光解析光源部
３０２　偏光解析受光部
３０３　回転ステージドライバー
３０４　偏光解析処理装置
５０１　光束入射手段
５０２　受光手段
５０３　処理手段

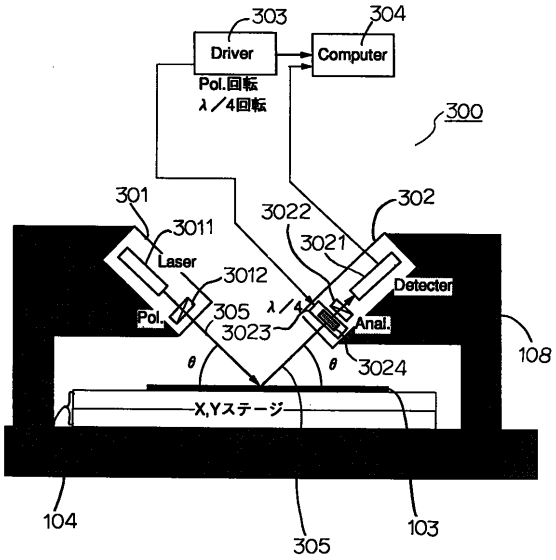
【図１】


107
2042
102a
108
102
101
300
302
301
2041
201
2031
109
103
202
2032
104
106
105
303
304
z
y
x

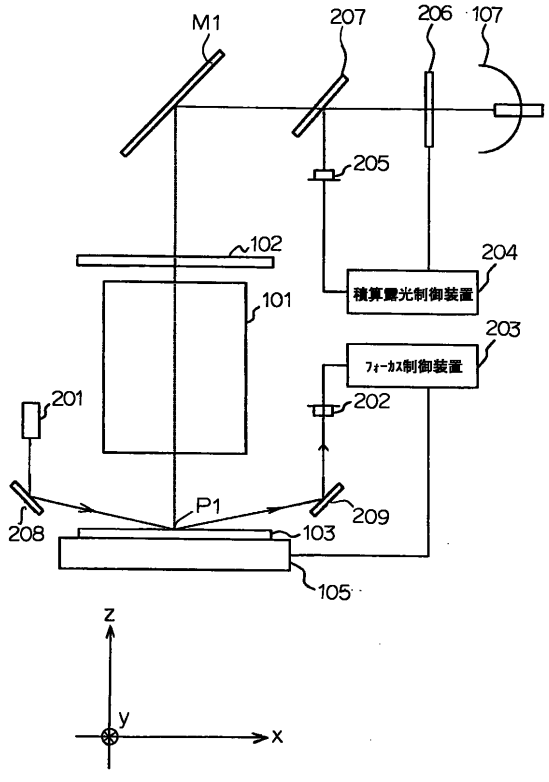
【図２】


303
302
103
301
104
106
304
y
z
x

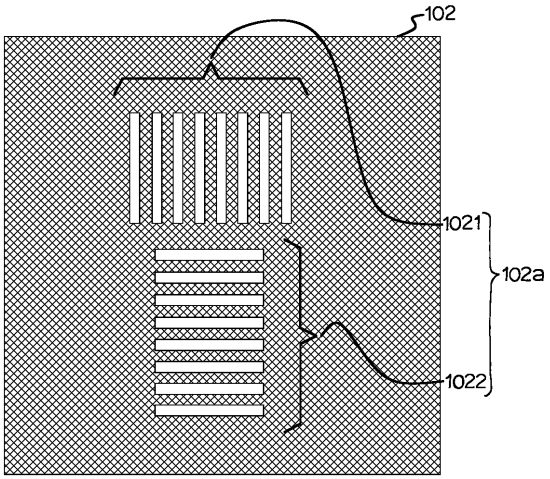
【図３】


303
304
Driver
Computer
Pol.回転
λ／4回転
300
301
3022
302
3011
3021
Laser
3012
Detecter
Pol.
305
λ／4
Anal.
3023
108
θ
θ
3024
X,Yステージ
104
305
103

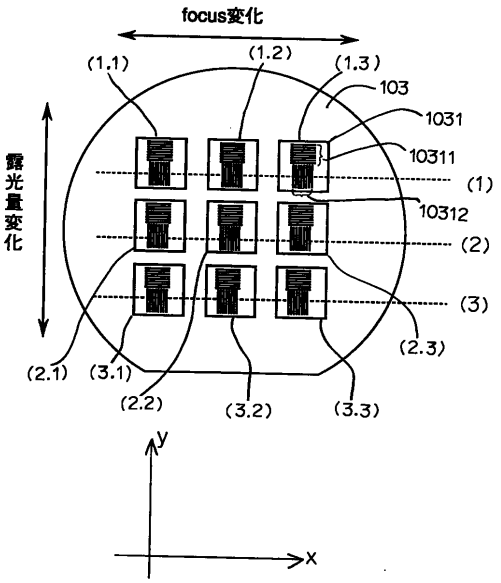
【図４】


M1
207
206
107
205
102
204
積算露光制御装置
101
203
フォーカス制御装置
201
202
208
P1
209
103
105
z
y
x

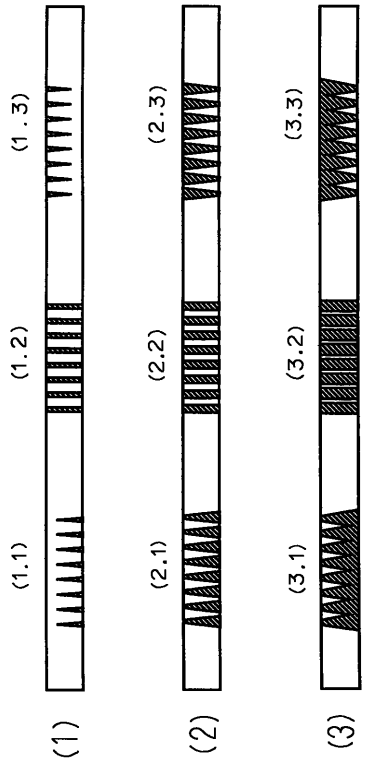
【図５】


102
1021
102a
1022

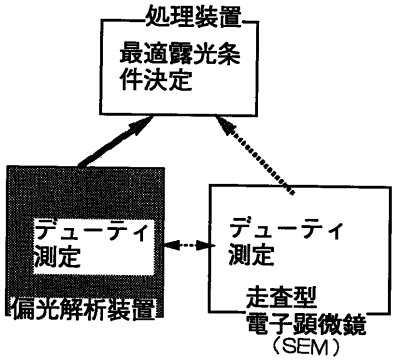
【図６】


focus変化
露光量変化
(1.1)
(1.2)
(1.3)
103
1031
10311
10312
(1)
(2)
(3)
(2.1)
(3.1)
(2.2)
(3.2)
(2.3)
(3.3)
y
x

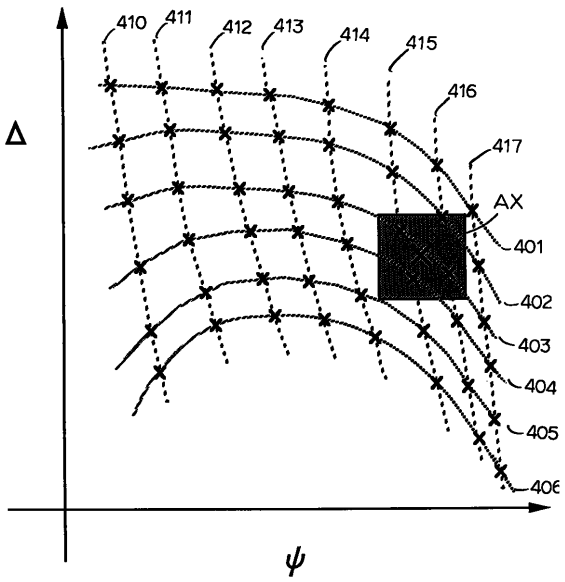
【図７】


(1.1)
(1.2)
(1.3)
(2.1)
(2.2)
(2.3)
(3.1)
(3.2)
(3.3)
(1)
(2)
(3)

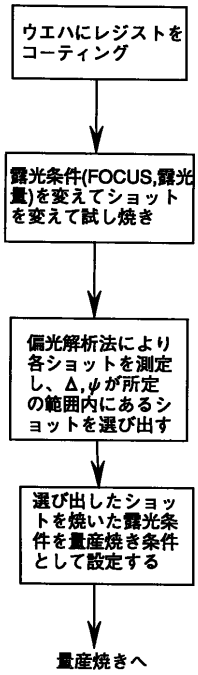
【図８】


処理装置
最適露光条件決定
デューティ測定
偏光解析装置
デューティ測定
走査型電子顕微鏡
(SEM)

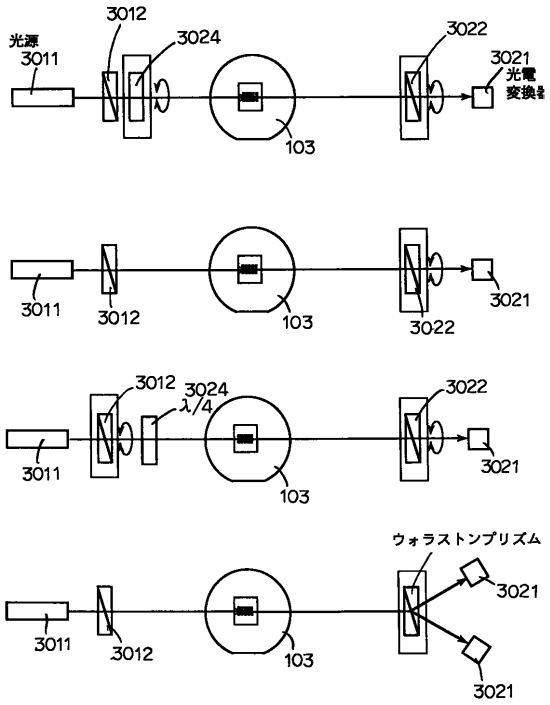
【図９】



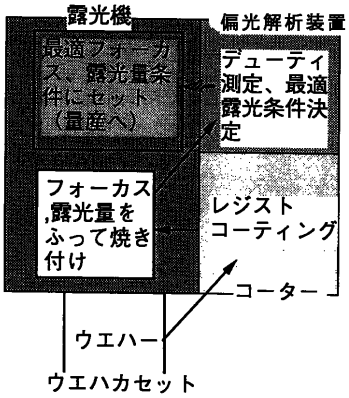
【図１０】



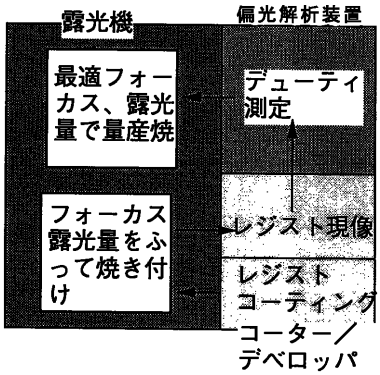
【図１１】



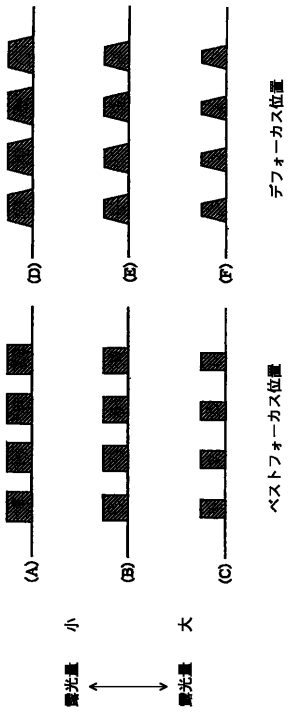
【図１２】



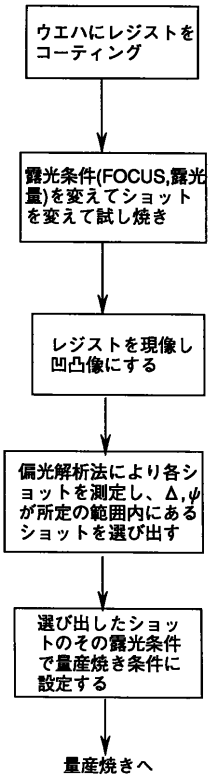
【図１３】



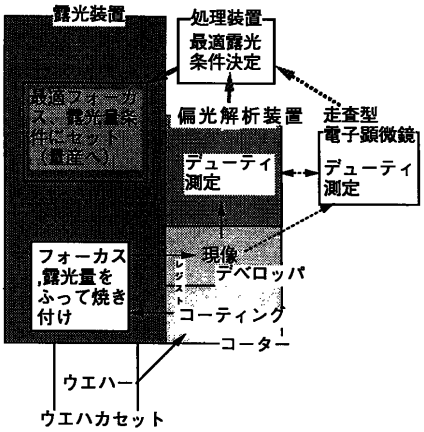
【図１４】



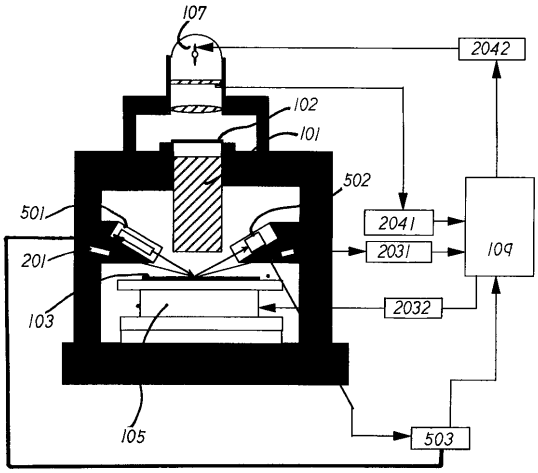
【図１５】



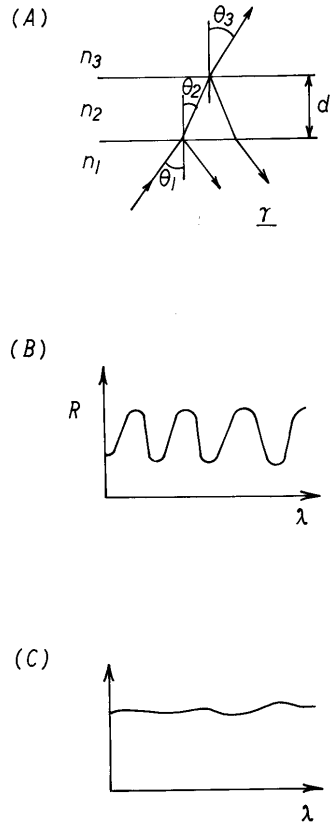
【図１６】



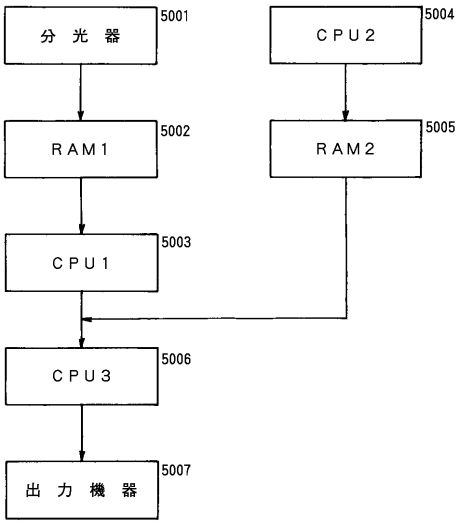
【図１７】



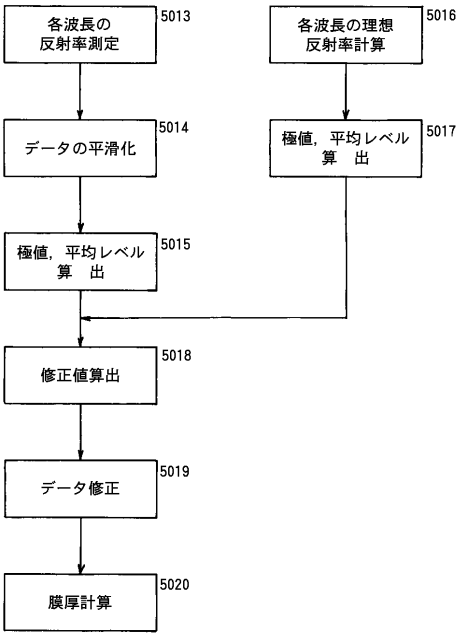
【図１８】



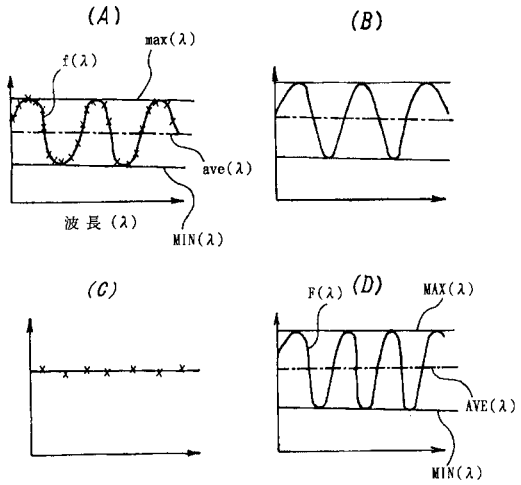
【図１９】



【図２０】



【図２１】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.[7]　　FI
　　H01L 21/30　502V
　　H01L 21/30　516B

(72)発明者　宮崎　恭一
　　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

審査官　岩本　勉

(56)参考文献　特開昭６４－０３２６２３（ＪＰ，Ａ）
　　特開昭５９－１６８６３６（ＪＰ，Ａ）
　　特開平０７－０９１９２６（ＪＰ，Ａ）
　　特開平０６－３１７９１３（ＪＰ，Ａ）
　　特開平０６－１６７３０８（ＪＰ，Ａ）
　　特開平０６－０２０９１３（ＪＰ，Ａ）
　　特開平０４－３１２９４７（ＪＰ，Ａ）
　　特開平０２－０３０１１２（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
　　H01L 21/027
　　G03F　7/20
　　H01L 21/66