

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6285666号  
(P6285666)

(45) 発行日 平成30年2月28日(2018.2.28)

(24) 登録日 平成30年2月9日(2018.2.9)

(51) Int. Cl.	F I
<b>G 0 1 B 11/00 (2006.01)</b>	G O 1 B 11/00 H
<b>H O 1 L 21/027 (2006.01)</b>	H O 1 L 21/30 5 O 2 D
<b>B 2 9 C 59/02 (2006.01)</b>	H O 1 L 21/30 5 2 5 U
	H O 1 L 21/30 5 2 2
	G O 1 B 11/00 G
請求項の数 21 (全 24 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号	特願2013-182473 (P2013-182473)	(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25年9月3日(2013.9.3)	(74) 代理人	100076428 弁理士 大塚 康德
(65) 公開番号	特開2015-49197 (P2015-49197A)	(74) 代理人	100112508 弁理士 高柳 司郎
(43) 公開日	平成27年3月16日(2015.3.16)	(74) 代理人	100115071 弁理士 大塚 康弘
審査請求日	平成28年8月31日(2016.8.31)	(74) 代理人	100116894 弁理士 木村 秀二
		(74) 代理人	100130409 弁理士 下山 治
		(74) 代理人	100134175 弁理士 永川 行光
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 検出装置、リソグラフィ装置、物品の製造方法及び検出方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

被検物の位置を検出する検出装置であって、  
前記被検物に設けられたマークと、  
前記マークを暗視野照明する照明光学系と、  
暗視野照明された前記マークからの光をセンサに導き、前記センサにより検出される第1方向の光強度分布に基づいて前記マークの前記第1方向の位置を検出する検出光学系と  
を有し、  
前記マークは、前記第1方向において2つのエッジを有する1つのマーク要素を含み、  
該1つのマーク要素が前記光強度分布において1つのピークとして検出されるように、  
前記1つのマーク要素の前記第1方向の幅が設定されており、  
前記照明光学系からの光の波長を、前記検出光学系の開口数をNA、前記マーク要素の前記第1方向の最大の幅をWmax1とすると、

$$W_{max1} < \lambda / NA$$

を満たすことを特徴とする検出装置。

【請求項2】

被検物の位置を検出する検出装置であって、  
前記被検物に設けられたマークと、  
前記マークを暗視野照明する照明光学系と、  
暗視野照明された前記マークからの光をセンサに導き、前記センサにより検出される第

1方向の光強度分布に基づいて前記マークの前記第1方向の位置を検出する検出光学系と、を有し、

前記マークは、前記第1方向に周期的に配列された複数の第1マーク要素を有する第1マークを含み、

該第1マークが前記センサにより検出される前記光強度分布において前記複数の第1マーク要素のうち前記第1方向の両端に配列された2つの第1マーク要素のみがピークとして検出されるように、前記複数の第1マーク要素の前記第1方向のピッチが設定されていることを特徴とする検出装置。

【請求項3】

前記マークは、前記第1マークに加えて、前記第1方向において1つの第2マーク要素を有する第2マークを含み、

該1つの第2マーク要素が前記センサにより検出される前記第1方向の光強度分布において1つのピークとして検出されるように、前記1つの第2マーク要素の前記第1方向の幅が設定されていることを特徴とする請求項2に記載の検出装置。

【請求項4】

前記マークは、前記第1マークに加えて、前記第1方向に周期的に配列された複数の第3マーク要素を有する第3マークを含み、

該第3マークが前記センサにより検出される前記光強度分布において前記第1方向の両端のみがピークとして検出されるように、前記複数の第3マーク要素の前記第1方向のピッチが設定され、

前記複数の第1マーク要素の前記第1方向のピッチと前記複数の第3マーク要素の前記第1方向のピッチとは互いに異なることを特徴とする請求項2に記載の検出装置。

【請求項5】

前記複数の第1マーク要素のそれぞれは、前記第1方向に直交する第2方向に周期的に配列され、

前記センサにより検出される光強度分布において前記第2方向の両端のみがピークとして検出されるように、前記複数の第1マーク要素の前記第2方向のピッチが設定され、

前記センサにより検出される光強度分布において前記第2方向に配列された前記複数の第2マーク要素のうち前記第2方向の両端に配列された2つの第2マーク要素のみがピークとして検出されるように、前記複数の第2マーク要素の前記第2方向のピッチが設定されていることを特徴とする請求項3に記載の検出装置。

【請求項6】

前記照明光学系からの光の波長を $\lambda$ 、前記検出光学系の開口数をNA、前記第1マーク要素の前記第1方向の最大のピッチを $P_{max1}$ 、前記第2マーク要素の前記第1方向の最大の幅を $W_{max1}$ とすると、

$$P_{max1} < \lambda / NA、且つ、W_{max1} < \lambda / NA$$

を満たすことを特徴とする請求項3に記載の検出装置。

【請求項7】

前記照明光学系からの光の波長を $\lambda$ 、前記検出光学系の開口数をNA、前記第1マーク要素の前記第1方向の最大のピッチを $P_{max1}$ 、前記第3マーク要素の前記第1方向の最大のピッチを $P_{max3}$ とすると、

$$P_{max1} < \lambda / NA、且つ、P_{max3} < \lambda / NA$$

を満たすことを特徴とする請求項4に記載の検出装置。

【請求項8】

前記照明光学系からの光の波長を $\lambda$ 、前記検出光学系の開口数をNA、前記第1マーク要素の前記第2方向の最大のピッチを $P_{max1'}$ 、前記第2マーク要素の前記第2方向の最大の幅を $W_{max1'}$ とすると、

$$P_{max1'} < \lambda / NA、且つ、W_{max1'} < \lambda / NA$$

を満たすことを特徴とする請求項5に記載の検出装置。

【請求項9】

10

20

30

40

50

前記照明光学系は、前記マークを前記第 1 方向及び前記第 2 方向から暗視野照明することを特徴とする請求項 5 に記載の検出装置。

【請求項 10】

前記センサにより検出される前記第 1 方向の光強度分布に基づいて、前記検出光学系からの光の前記検出光学系の光軸方向に垂直な方向の非対称性を求める処理部を更に有することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の検出装置。

【請求項 11】

前記センサにより検出される前記第 1 マークからの光及び前記第 2 マークからの光から前記第 1 マークの前記第 1 方向の位置及び前記第 2 マークの前記第 1 方向の位置を求め、前記第 1 マークの前記第 1 方向の位置と前記第 2 マークの前記第 1 方向の位置との差分に基づいて、前記検出光学系からの光の前記検出光学系の光軸方向に垂直な方向の非対称性を求める処理部を更に有する請求項 3 に記載の検出装置。

10

【請求項 12】

前記検出光学系からの光の前記検出光学系の光軸方向に垂直な方向の非対称性は、前記検出光学系のコマ収差を含むことを特徴とする請求項 10 又は 11 に記載の検出装置。

【請求項 13】

前記検出光学系を構成する光学素子を駆動する駆動部を更に有し、

前記処理部は、前記検出光学系からの光の前記検出光学系の光軸方向に垂直な方向の非対称性に基づいて、前記駆動部による前記光学素子の駆動量を決定することを特徴とする請求項 10 乃至 12 のうちいずれか 1 項に記載の検出装置。

20

【請求項 14】

前記センサにより検出される前記第 1 マークからの光及び前記第 3 マークからの光に基づいて、前記検出光学系からの光の前記検出光学系の光軸方向の非対称性を求める処理部を更に有する請求項 4 に記載の検出装置。

【請求項 15】

前記処理部は、前記第 1 マーク及び前記第 3 マークのそれぞれをデフォーカスさせながら前記センサにより前記第 1 マークからの光及び前記第 3 マークからの光のそれぞれを検出し、前記第 1 マークからの光のコントラストカーブにおけるピークの位置と前記第 3 マークからの光のコントラストカーブにおけるピークの位置との差分に基づいて、前記検出光学系からの光の前記検出光学系の光軸方向の非対称性を求めることを特徴とする請求項 14 に記載の検出装置。

30

【請求項 16】

前記検出光学系からの光の前記検出光学系の光軸方向の非対称性は、前記検出光学系の球面収差、軸上収差、像面湾曲及び非点収差の少なくとも 1 つを含むことを特徴とする請求項 14 又は 15 に記載の検出装置。

【請求項 17】

パターンを基板に形成するリソグラフィ装置であって、

前記基板を保持して移動するステージと、

前記基板の位置を検出する請求項 1 乃至 16 のうちいずれか 1 項に記載の検出装置と、

前記検出装置によって検出された前記基板の位置に基づいて、前記ステージを制御する制御部と、

40

を有することを特徴とするリソグラフィ装置。

【請求項 18】

前記制御部は、前記ステージに保持された前記基板上にモールドを用いてインプリント材のパターンを形成するインプリント処理を制御することを特徴とする請求項 17 に記載のリソグラフィ装置。

【請求項 19】

請求項 17 又は 18 に記載のリソグラフィ装置を用いてパターンを基板に形成する工程と、

前記工程で前記パターンを形成された前記基板を処理する工程と、

50

を有することを特徴とする物品の製造方法。

【請求項 20】

被検物の位置を検出する検出方法であって、  
前記被検物に設けられたマークを暗視野照明し、前記マークからの光を検出光学系で検出して得られる第 1 方向の光強度分布に基づいて前記マークの前記第 1 方向の位置を検出する工程を有し、

前記マークは、前記第 1 方向において 2 つのエッジを有する 1 つのマーク要素を含み、  
該 1 つのマーク要素が前記光強度分布において 1 つのピークとして検出されるように、  
前記 1 つのマーク要素の前記第 1 方向の幅が設定されており、

前記マークを暗視野照明する光の波長を  $\lambda$ 、前記検出光学系の開口数を NA、前記マーク要素の前記第 1 方向の最大の幅を  $W_{max1}$  とすると、

$$W_{max1} < \lambda / NA$$

を満たすことを特徴とする検出方法。

【請求項 21】

被検物の位置を検出する検出方法であって、  
前記被検物に設けられたマークを暗視野照明し、前記マークからの光をセンサで検出して得られる第 1 方向の光強度分布に基づいて前記マークの前記第 1 方向の位置を検出する工程を有し

前記マークは、前記第 1 方向に周期的に配列された複数の第 1 マーク要素を有する第 1 マークを含み、

該第 1 マークが前記センサにより検出される前記光強度分布において前記複数の第 1 マーク要素のうち前記第 1 方向の両端に配列された 2 つの第 1 マーク要素のみがピークとして検出されるように、前記複数の第 1 マーク要素の前記第 1 方向のピッチが設定されていることを特徴とする検出方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、検出装置、リソグラフィ装置、物品の製造方法及び検出方法に関する。

【背景技術】

【0002】

インプリント技術は、パターンが形成された型（モールド）を用いて、基板の上に微細なパターンを形成する技術である。例えば、インプリント技術の 1 つとして、光硬化法がある。光硬化法を用いたインプリント技術では、まず、基板のショット領域（インプリント領域）にインプリント材としての樹脂（光硬化性樹脂）を供給する。次いで、基板上の樹脂にモールドのパターンを押し付けた（押印した）状態で樹脂に光を照射することによって樹脂を硬化させる。そして、硬化した樹脂からモールドを引き離す（離型する）ことによって、樹脂のパターンを基板上に形成する。

【0003】

基板上の樹脂にモールドを押印する際には、基板とモールドとの正確な位置合わせ（アライメント）を必要とする。インプリント装置においては、モールドに形成されたマーク（モールド側マーク）と基板のショット領域ごとに形成されたマーク（基板側マーク）とを検出することによって基板とモールドとの位置合わせを行う、所謂、ダイバイダイ方式が知られている。

【0004】

インプリント装置では、モールド側マークを通して基板側マークを検出するスルー・ザ・モールド（TTM）アライメントが採用されている。また、TTMアライメントでは、モールド側マーク及び基板側マークで生じた回折光を検出する暗視野検出系が用いられている（特許文献 1 参照）。暗視野検出系は、モールドの近傍に配置するとよいが、暗視野検出系とモールド上部のメカ干渉が懸念される。従って、基板上の樹脂に光を照射する際に、暗視野検出系を退避させる必要がある。このようなメカ干渉を回避するために、位置

10

20

30

40

50

合わせ用のマークを投影する結像光学系を用いることが知られている。結像光学系を用いることで、基板上の樹脂に光を照射する際に、暗視野検出系を退避させる必要がなくなるため、インプリント装置の生産性を向上させることができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2007-42965号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、結像光学系を用いたTTMアライメントでは、結像光学系によって投影された位置合わせ用のマークを検出するため、結像光学系の収差がアライメント誤差となる。ここで、アライメント誤差は、コマ収差などの像の非対称性が主要因であることが知られている。アライメント誤差を小さくするためには、暗視野検出系の収差及び結像光学系の収差を小さくする必要がある。露光装置において光学系の収差を測定する際には、一般的に、干渉計が用いられているが、装置コストのアップや干渉計を配置するスペースの確保による装置サイズ的大型化を招いてしまう。

【0007】

特許文献1では、位相パターンの像を用いてコマ収差や球面収差を測定する技術が開示されているが、収差に対する敏感度が低く、測定精度が低い。また、暗視野検出系では、散乱光や回折光を用いているため、明視野検出系と比較して光量が少ない。従って、光電変換素子などのセンサの電気ノイズによる誤差の比率も大きくなってしまう。

【0008】

本発明は、このような従来技術の課題に鑑みてなされ、被検光学系の収差を求めるのに有利な技術を提供することを例示的目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記目的を達成するために、本発明の一側面としての検出装置は、被検物の位置を検出する検出装置であって、前記被検物に設けられたマークと、前記マークを暗視野照明する照明光学系と、暗視野照明された前記マークからの光をセンサに導き、前記センサにより検出される第1方向の光強度分布に基づいて前記マークの前記第1方向の位置を検出する検出光学系と、を有し、前記マークは、前記第1方向において2つのエッジを有する1つのマーク要素を含み、該1つのマーク要素が前記光強度分布において1つのピークとして検出されるように、前記1つのマーク要素の前記第1方向の幅が設定されており、前記照明光学系からの光の波長を、前記検出光学系の開口数をNA、前記マーク要素の前記第1方向の最大の幅を $W_{max1}$ とすると、 $W_{max1} < \lambda / NA$ を満たすことを特徴とする。

【0010】

本発明の更なる目的又はその他の側面は、以下、添付図面を参照して説明される好ましい実施形態によって明らかにされるであろう。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、例えば、被検光学系の収差を求めるのに有利な技術を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】インプリント装置の基本的な構成を示す概略図である。

【図2】検出系の構成の一例を示す図である。

【図3】検出系の構成の一例を示す図である。

【図4】照明光学系の瞳面に形成された光強度分布（有効光源）と、検出光学系の検出開

10

20

30

40

50

口との関係を示す図である。

【図5】モアレ縞の発生の原理を説明するための図である。

【図6】モアレ縞を発生させるための格子パターンの一例を示す図である。

【図7】検出系によってモアレ縞を検出する原理を説明するための図である。

【図8】モアレ縞を発生させるための格子パターンの一例を示す図である。

【図9】モアレ縞を発生させるための格子パターンの一例を示す図である。

【図10】インプリント装置の構成を示す概略図である。

【図11】明視野検出系による像の非対称性の検出を説明するための図である。

【図12】暗視野検出系による像の非対称性の検出を説明するための図である。

【図13】基準マークと、かかる基準マークを検出系で検出した結果（検出波形）を示す図である。 10

【図14】基準マークと、かかる基準マークを検出系で検出した結果（検出波形）を示す図である。

【図15】基準マークの検出波形の位置ずれと検出系や結像光学系のコマ収差との関係を示す図である。

【図16】基準マークと、かかる基準マークを検出系で検出した結果（検出波形）を示す図である。

【図17】基準マークと、かかる基準マークを検出系で検出した結果（検出波形）を示す図である。

【図18】基準マークと、かかる基準マークを検出系で検出した結果（検出波形）を示す図である。 20

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、添付図面を参照して、本発明の好適な実施の形態について説明する。なお、各図において、同一の部材については同一の参照番号を付し、重複する説明は省略する。

【0014】

図1は、インプリント装置1の基本的な構成を示す概略図である。インプリント装置1は、半導体デバイスなどのデバイスの製造に使用され、ウエハなどの基板8の上の未硬化状態の樹脂（インプリント材）9をモールド（型）7で成形し、樹脂9のパターンを基板8の上に形成するリソグラフィ装置である。インプリント装置1は、光硬化法を採用するものとする。また、以下では、基板8の表面に平行な面内に互いに直交するX軸及びY軸をとり、X軸及びY軸に垂直な方向にZ軸をとっている。インプリント装置1は、照射部2と、検出系3と、モールド保持部4と、基板ステージ5と、樹脂供給部（ディスペンサ）6と、を有する。 30

【0015】

照射部2は、モールド7と基板8の上の樹脂9とを接触させる押型処理の後、樹脂9を硬化させるために、モールド7と樹脂9とを接触させた状態でモールド7を介して、樹脂9に対して紫外線を照射する。照射部2は、例えば、光源と、光源から射出される紫外線をモールド7のパターン面7aに対して所定の形状で均一に照射するための複数の光学素子と、を含む。照射部2による紫外線の照射領域は、パターン面7aの表面積と同程度、或いは、パターン面7aの表面積よりも僅かに大きくなるように設定される。これは、紫外線の照射領域を必要最低限とすることで、紫外線の照射による熱に起因してモールド7や基板8が膨張し、樹脂9に転写されるパターンに位置ずれや歪みが発生することを抑えるためである。また、基板8などで反射された紫外線が樹脂供給部6に到達し、樹脂供給部6の樹脂吐出部に残留した樹脂9を硬化させてしまうことで、樹脂供給部6の動作に異常が生じることを防止するためでもある。 40

【0016】

照射部2の光源としては、例えば、高圧水銀ランプ、各種エキシマランプ、エキシマレーザー、発光ダイオードなどが採用可能である。照射部2の光源は、樹脂9の特性に応じて適宜選択される。但し、本発明は、照射部2の光源の種類、数、波長などによって限定 50

されるものではない。

【0017】

モールド7は、基板8に対向するパターン面7aに、所定のパターン（例えば、回路パターンなどの凹凸パターン）が3次元状に形成された型である。モールド7は、照射部2からの紫外線を透過させることが可能な材質、例えば、石英などで構成される。

【0018】

モールド保持部4は、真空吸着力や静電力によってモールド7を保持するモールドチャックと、モールド7を樹脂9に押し付けるためにモールドチャックをZ軸方向に移動させる移動機構とを含む。更に、モールド保持部4は、モールド7をX軸方向及びY軸方向に変形させて樹脂9に転写されるパターンの歪みを補正する補正機構を含む。

10

【0019】

モールド7と基板8とは、XYZ座標系において、Z軸方向に間隔を有して配置されている。インプリント装置1における押印及び離型の各動作は、モールド7をZ軸方向に移動させることで実現してもよいし、例えば、基板ステージ5をZ軸方向に移動させることで実現してもよい。また、モールド7と基板ステージ5の両方を移動させることで実現してもよい。

【0020】

基板ステージ5は、例えば、基板8を真空吸着によって保持してXY平面内を移動する。基板8は、例えば、単結晶シリコンウエハであって、基板8の表面には、モールド7によって成形される紫外線硬化性の樹脂9が供給（塗布）される。

20

【0021】

検出系3は、被検物としてのモールド7と基板8との相対的な位置関係を検出する。検出系3は、モールド7及び基板8のそれぞれに配置されたマーク10及び11を光学的に検出して両者の相対位置を検出する。検出系3は、検出系3の光軸が基板8の表面に対して垂直になるように配置されている。検出系3は、モールド7及び基板8のそれぞれに配置されたマーク10及び11の位置に応じて、X軸方向及びY軸方向に移動可能なように構成されている。また、検出系3は、マーク10及び11の位置に光学系の焦点を合わせるために、Z軸方向にも移動可能なように構成されている。検出系3で検出されたモールド7と基板8との相対的な位置に基づいて、基板ステージ5やモールド7を変形させる補正機構などが制御される。

30

【0022】

樹脂供給部6は、基板8の上に未硬化状態の樹脂9を供給する。樹脂9は、紫外線を受光することによって硬化する性質を有する光硬化性の樹脂であって、半導体デバイスの種類などに応じて適宜選択される。樹脂供給部6は、インプリント装置1の内部に配置せず、インプリント装置1の外部に配置して、予め樹脂9を塗布した基板8をインプリント装置1の内部に搬入してもよい。この場合、インプリント装置1の内部での塗布処理がなくなるため、インプリント装置1での処理の迅速化が可能となる。また、樹脂供給部6が不要となるため、インプリント装置1の全体としての製造コストを抑えることができる。

【0023】

インプリント装置1によるインプリント処理について説明する。まず、制御部12は、基板搬送部によって基板8をインプリント装置1の内部に搬入し、かかる基板8を基板ステージ5に保持させる。次いで、制御部12は、基板ステージ5を樹脂供給部6の樹脂供給位置に移動させ、樹脂供給部6によって基板8の所定のショット領域（インプリント領域）に樹脂9を供給（塗布）する。次に、制御部12は、基板8の所定のショット領域がモールド7の直下に位置するように、基板ステージ5を移動させる。

40

【0024】

次いで、制御部12は、モールド保持部4の移動機構によってモールド7を移動させ、基板8の上の樹脂9にモールド7を押印する（押印処理）。この際、樹脂9は、モールド7の押印によってモールド7のパターン面7aに沿って流動する。また、かかる状態において、制御部12は、検出系3によってモールド7及び基板8のそれぞれに配置されたマ

50

ーク10及び11を検出し、基板ステージ5の移動によるモールド7と基板8との位置合わせや補正機構によるモールド7の変形を行う。樹脂9のパターン面7aへの流動、モールド7と基板8との位置合わせ及びモールド7の変形が十分に行われた段階で、制御部12は、照射部2によってモールド7の背面(上面)から紫外線を照射する。これにより、モールド7を透過した紫外線によって樹脂9が硬化する(硬化処理)。この際、検出系3は、照射部2からの紫外線の光路を遮断しないように退避させる。次に、制御部12は、モールド保持部4の移動機構によってモールド7と樹脂9との間隔を広げて、基板8の上の樹脂9からモールド7を離型させる(離型処理)。これにより、基板8の上にモールド7のパターンが転写される。

#### 【0025】

ここで、検出系3やモールド7及び基板8のそれぞれに配置されたマーク10及び11の詳細を説明する。図2は、検出系3の構成の一例を示す図である。検出系3は、検出光学系21及び照明光学系22で構成されている。照明光学系22は、光源23からの光を、プリズム24などを介して、検出光学系21と同じ光軸上に導き、マーク10及び11を同時に斜めから照明する。

#### 【0026】

光源23には、例えば、ハロゲンランプやLEDなどが用いられ、樹脂9を硬化させる紫外線以外、例えば、可視光線や赤外線を射出する。検出光学系21と照明光学系22とは、それらを構成する光学素子の一部を共有するように構成されている。プリズム24は、検出光学系21及び照明光学系22の瞳面、又は、その近傍に配置されている。マーク10及び11のそれぞれは、格子パターンで構成されている。検出光学系21は、照明光学系22によって照明されたマーク10及び11で回折された回折光同士の干渉によって生じる干渉光(干渉縞やモアレ縞)を撮像素子25の撮像面に結像する。撮像素子25としては、CCDセンサやCMOSセンサなどが用いられる。

#### 【0027】

プリズム24は、貼り合わせ面において、照明光学系22の瞳面の周辺部分の光を反射するための反射膜24aを有する。また、反射膜24aは、検出光学系21の瞳の大きさ(又は検出光学系21の開口数 $NA_0$ )を規定する開口絞りとしても機能する。プリズム24は、貼り合わせ面に半透膜を有するハーフプリズムであってもよいし、表面に反射面を有する板状の光学素子に置換されてもよい。

#### 【0028】

プリズム24が配置される位置は、検出光学系21及び照明光学系22の瞳面やその近傍でなくてもよい。この場合、検出光学系21及び照明光学系22は、図3に示すように、それぞれの瞳面に個別の開口絞り26及び27を有する。また、プリズム24には、貼り合わせ面に半透膜を有するハーフプリズムなどが用いられる。

#### 【0029】

図4は、照明光学系22の瞳面に形成された光強度分布(有効光源)IL1乃至IL4と、検出光学系21の検出開口DETとの関係を示す図である。図4では、照明光学系22の有効光源IL1乃至IL4、及び、検出光学系21の検出開口DETの大きさを開口数(NA)で示している。照明光学系22は、瞳面において、第1極IL1と、第2極IL3と、第3極IL2と、第4極IL4と、を含む有効光源を形成する。第1極IL1、第2極IL3、第3極IL2及び第4極IL4は、いずれも $NA_{pm} \times NA_{pa}$ の矩形形状を有する。第1極IL1の中心及び第3極IL2の中心は、座標(0,0)から、それぞれY軸のプラス方向とマイナス方向に $NA_{i1}$ だけ離れた位置に配置されている。第2極IL3の中心及び第4極IL4の中心は、座標(0,0)から、それぞれX軸のプラス方向とマイナス方向に $NA_{i1}$ だけ離れた位置に配置されている。このように、照明光学系22は、マーク10及び11を斜めから照明するように構成されている。照明光学系22からの光のマーク10及び11への入射角度は、以下の式(1)で表される。

#### 【0030】

$$= \sin^{-1}(NA_{i1}) \quad \dots (1)$$

10

20

30

40

50



検出光学系 2 1 の検出開口 DET は、座標 ( 0 , 0 ) を中心とし、一辺が  $2 \times NA_0$  の正方形形状を有する。照明光学系 2 2 及び検出光学系 2 1 は、 $NA_0$ 、 $NA_{pa}$  及び  $NA_{i1}$  が以下の式 ( 2 ) を満たすように構成される。換言すれば、検出系 3 は、マーク 1 0 及び 1 1 からの正反射光 ( 0 次回折光 ) を検出しない暗視野の構成を有する ( マーク 1 0 及び 1 1 を暗視野照明する ) 。

【 0 0 3 1 】

$$NA_0 < NA_{i1} - NA_{pa} / 2 \quad \dots ( 2 )$$

モアレ縞の発生の原理、及び、モアレ縞を用いたモールド 7 と基板 8 との相対的な位置の検出について説明する。図 5 ( a ) 及び図 5 ( b ) に示すように、格子ピッチが僅かに異なる格子パターン 3 1 と格子パターン 3 2 とを重ねると、2 つの格子パターン 3 1 及び 3 2 からの回折光同士が干渉する。これにより、図 5 ( c ) に示すように、格子ピッチの差を反映した周期を有する干渉縞 ( モアレ縞 ) が発生する。モアレ縞は、格子パターン 3 1 と格子パターン 3 2 との相対的な位置関係に応じて、明暗の位置 ( 縞の位相 ) が変化する。例えば、格子パターン 3 1 及び 3 2 のうちの一方を X 方向にずらすと、図 5 ( c ) に示すモアレ縞は、図 5 ( d ) に示すモアレ縞に変化する。モアレ縞は、格子パターン 3 1 と格子パターン 3 2 との間の実際の位置ずれ量を拡大し、大きな周期の縞として発生するため、検出光学系 2 1 の解像力が低くても、格子パターン 3 1 と格子パターン 3 2 との相対的な位置関係を高精度に検出することができる。

【 0 0 3 2 】

モアレ縞を検出するために、格子パターン 3 1 及び 3 2 を明視野で検出しようとする ( 格子パターン 3 1 及び 3 2 を垂直方向から照明し、格子パターン 3 1 及び 3 2 で垂直方向に回折される回折光を検出する ) 場合を考える。この場合、検出系 3 は、格子パターン 3 1 からの 0 次回折光や格子パターン 3 2 からの 0 次回折光も検出してしまふ。格子パターン 3 1 及び 3 2 のうちの一方からの 0 次回折光は、モアレ縞のコントラストを低下させる要因になる。そこで、検出系 3 は、上述したように、0 次回折光を検出しない暗視野の構成を有する。暗視野の構成でもモアレ縞を検出できるように、マーク 1 0 及び 1 1 のうちの一方を図 6 ( a ) に示すような千鳥格子状の格子パターンとし、マーク 1 0 及び 1 1 のうちの他方を図 6 ( b ) に示すような格子パターンとする。モールド 7 に配置されたマーク 1 0 及び基板 8 に配置されたマーク 1 1 のどちらを千鳥格子状の格子パターンとしても基本的に同一である。但し、以下では、マーク 1 0 を図 6 ( a ) に示す千鳥格子状の格子パターン 1 0 a とし、マーク 1 1 を図 6 ( b ) に示す格子パターン 1 1 a とする。

【 0 0 3 3 】

格子パターン 1 0 a 及び 1 1 a のそれぞれは、モールド 7 と基板 8 の X 軸方向 ( 第 1 方向 ) に関する相対位置を検出するためのマークである。格子パターン 1 0 a は、X 軸方向に  $P_{mm}$ 、Y 軸方向に  $P_{mn}$  の格子ピッチを有する。格子パターン 1 1 a は、X 軸方向のみに、 $P_{mm}$  と異なる  $P_w$  の格子ピッチを有する。

【 0 0 3 4 】

図 7 ( a ) 乃至図 7 ( d ) を参照して、格子パターン 1 0 a と格子パターン 1 1 a とを重ねた状態において、検出系 3 によってモアレ縞を検出する原理について説明する。図 7 ( a ) 及び図 7 ( b ) は、格子パターン 1 0 a 及び 1 1 a のそれぞれを X 軸方向及び Y 軸方向から見た状態を示す図である。X 軸方向に関するモールド 7 と基板 8 との相対的な位置を検出するためのモアレ縞は、照明光学系 2 2 の瞳面において Y 軸上に配置された第 1 極 ( の光強度分布 )  $IL1$  と第 3 極 ( の光強度分布 )  $IL3$  とによって発生する。格子パターン 1 0 a 及び 1 1 a による回折角  $\theta_m$  は、格子ピッチを  $d$ 、照明光学系 2 2 からの光の波長を  $\lambda$ 、回折次数を  $n$  とし、以下の式 ( 3 ) で表される。

【 0 0 3 5 】

$$\sin \theta_m = n \lambda / d \quad \dots ( 3 )$$

従って、格子パターン 1 0 a による X 軸方向及び Y 軸方向のそれぞれの回折角を  $\theta_{mm}$  及び  $\theta_{mn}$  とし、格子パターン 1 1 a による回折角を  $\theta_w$  とすると、以下の式 ( 4 )、式 ( 5 ) 及び式 ( 6 ) が成り立つ。

10

20

30

40

50

【0036】

sin θ<sub>mm</sub> = n / P<sub>mm</sub> . . . (4)

sin θ<sub>mn</sub> = n / P<sub>mn</sub> . . . (5)

sin θ<sub>w</sub> = n / P<sub>w</sub> . . . (6)

図7(a)を参照するに、格子パターン10a及び11aは、照明光学系22の瞳面において、非計測方向であるY軸上に配置された第1極IL1及び第3極IL3によって、Y軸方向(非計測方向)に沿って斜めに照明される。格子パターン10a及び11aで正反射した光(0次回折光)D1及びD1'は、検出系3が式(2)を満たすために、検出光学系21には入射しない。

【0037】

10

D2及びD2'は、格子パターン10aでのみ±1次で回折した回折光を示し、D3は、格子パターン10aで+/-1次で回折し、格子パターン11aで-/+1次で回折した回折光を示している。D3は、検出系3によって、モールド7と基板8との相対位置の検出に用いられる回折光である。Y軸方向にP<sub>mn</sub>の格子ピッチを有する格子パターン10aによってθ<sub>mn</sub>の角度だけ回折した回折光D2、D2'及びD3は、Y軸に対して、検出光学系21により検出される角度で射出する。

【0038】

0次回折光を除く回折光のうち、回折強度が強い、即ち、格子パターン10aで+/-1次で回折し、格子パターン11aで-/+1次で回折した回折光D3を検出するために、P<sub>mn</sub>、NA<sub>o</sub>、NA<sub>i1</sub>及びNA<sub>pa</sub>は、以下の式(7)を満たす。換言すれば、検出系3は、式(7)を満たす範囲の波長λでY軸方向への回折光を検出することができる。

20

【0039】

|NA<sub>i1</sub> - |sin θ<sub>mn</sub>|| = |NA<sub>i1</sub> - n / P<sub>mn</sub>| < NA<sub>o</sub> + NA<sub>pa</sub> / 2 . . . (7)

検出系3が最も効率的に回折光D3を検出することができるのは、回折光D3がY軸方向に垂直になる場合である。そこで、光源23からの光の中心波長をλ<sub>c</sub>とすると、以下の式(8)を満たすように、照明光学系22の照明条件や格子パターン10aの格子ピッチP<sub>mn</sub>が調整されているとよい。

【0040】

30

NA<sub>i1</sub> - λ<sub>c</sub> / P<sub>mn</sub> = 0 . . . (8)

このように、Y軸方向(非計測方向)に関しては、格子パターン10aが斜めから照明され、格子パターン10aによって非計測方向に回折した回折光が検出される。

【0041】

次に、計測方向であるX軸方向に関する回折光について説明する。図7(b)を参照するに、照明光学系22の瞳面においてY軸上に配置された第1極IL1及び第3極IL2は、X軸に垂直な方向から格子パターン10a及び11aに入射する。Y軸方向の場合と同様に、+/-1次の回折光を考えると、格子パターン10aで+/-1次で回折し、格子パターン11aで-/+1次で回折した回折光D3は、P<sub>mm</sub>とP<sub>w</sub>とが近いために、X軸に対して小さな角度で検出光学系21に入射する。

40

【0042】

図7(c)は、回折光D3の回折の様子を示している。実線の矢印は、格子パターン10aで+/-1次で回折し、格子パターン11aで-/+1次で回折して、モールド7を透過した回折光を示している。また、点線の矢印は、格子パターン10aを透過して、格子パターン11aで-/+1次で回折し、格子パターン10aで+/-1次で回折した回折光を示している。この際、回折角θは、以下の式(9)で表される。

【0043】

sin θ = λ × |P<sub>w</sub> - P<sub>mm</sub>| / (P<sub>mm</sub> P<sub>w</sub>) . . . (9)

式(9)において、|P<sub>w</sub> - P<sub>mm</sub>| / (P<sub>mm</sub> P<sub>w</sub>) = 1 / P とすると、sin θは、以下の式(10)で表される。

50

## 【 0 0 4 4 】

$$\sin \theta = \lambda / P \quad \dots (10)$$

式(10)は、回折光D3によって周期がPの干渉縞が現れることを意味する。かかる干渉縞がモアレ縞であり、その周期は、格子パターン10aの格子ピッチと格子パターン11aの格子ピッチとの差に依存する。但し、格子パターン10aは千鳥格子状の格子パターンであるため、発生するモアレ縞の周期は、 $P/2$ となる。この際、モールド7と基板8との相対的な位置ずれはモアレ縞の明暗の位置ずれに拡大されるため、検出光学系21の解像力が低い場合であっても、高精度で位置合わせを行うことができる。

## 【 0 0 4 5 】

図7(b)を参照するに、格子パターン10aのみで1次回折した回折光D2及びD2'、或いは、格子パターン11aのみで1次回折した回折光D4及びD4'は、 $\theta_m$ 又は $\theta_w$ の角度で射出する。回折光D2、D2'、D4及びD4'は、モアレ縞を発生させずにノイズとなるため、検出光学系21で検出しないようにする必要がある。そのため、以下の式(11)及び式(12)を満たすように、格子パターン10aの格子ピッチ $P_m$ 、格子パターン11aの格子ピッチ $P_w$ 、及び、検出系3の検出開口DETの開口数 $NA_0$ が設定されている。

## 【 0 0 4 6 】

$$NA_0 + NA_{p_m} / 2 < |\sin \theta_m| = \lambda / P_m \quad \dots (11)$$

$$NA_0 + NA_{p_m} / 2 < |\sin \theta_w| = \lambda / P_w \quad \dots (12)$$

格子パターン10a及び11aのいずれでもX軸方向に回折しなかった光(0次回折光、即ち、図7(b)に示すD1及びD1')は、X軸に対して、検出光学系21で検出される角度で射出する。格子パターン11aで回折せず、基板8での反射の前後において格子パターン10aでそれぞれX軸方向に+/-n次と-/+n次で回折した(トータルで0次の)回折光D5及びD5'も、X軸に対して、検出光学系21で検出される角度で射出する。回折光D5及びD5'は、モアレ縞を発生させずに、モアレ縞のコントラストを低下させる要因となる。但し、格子パターン10aは千鳥格子状の格子パターンであるため、隣接する格子からの回折光D5及びD5'の位相がずれ、互いに打ち消し合う。従って、回折光D5及びD5'の強度は抑制され、コントラストに優れたモアレ縞を検出することができる。図7(d)は、図7(a)及び図7(b)を3次元で表した図である。図7(d)では、回折光D5及びD5'については強度が抑制されるため、図示していない。

## 【 0 0 4 7 】

以上、モールド7と基板8とのX軸方向に関する相対位置を求めるためのモアレ縞の検出について説明した。但し、モールド7と基板8とのY軸方向に関する相対位置を求めるためのモアレ縞の検出についても、格子パターンを照明する方向をX軸とY軸で入れ替えるだけで基本的に同一である。具体的には、モールド7に配置されたマーク10には、図8(a)に示すように、X軸方向に $P_{m_n}$ 、Y軸方向に $P_{m_m}$ の格子ピッチを有する千鳥格子状の格子パターン10bを用いる。また、基板8に配置されたマーク11には、図8(b)に示すように、Y軸方向のみに $P_{m_m}$ とは異なる $P_w$ の格子ピッチを有する格子パターン11bを用いる。また、Y軸方向に関する相対位置を求めるためのモアレ縞は、照明光学系22の瞳面においてY軸上に配置された第2極IL3及び第4極IL4によって格子パターン10b及び11bを照明することで発生する。

## 【 0 0 4 8 】

これまで、格子パターン10aと格子パターン10bの格子ピッチがそれぞれ同じであり、格子パターン11aと格子パターン11bの格子ピッチがそれぞれ同じである場合について説明したが、これに限定されるものではない。例えば、格子パターン10aと格子パターン10bの格子ピッチがそれぞれ異なってもよいし、また、格子パターン11aと格子パターン11bの格子ピッチがそれぞれ異なってもよい。更に、検出光学系21の光軸から第1極IL1の中心及び第3極IL2の中心までの距離、及び、検出光学系21の光軸から第2極IL3の中心及び第4極IL4の中心までの距離は、それぞれ

異なってもよい。

【0049】

検出系3は、1つのモアレ縞を検出ために、位置合わせ用のマークを2つの方向に沿って斜めから照明し、かかるマークで垂直方向に反射された光を検出している。従って、位置合わせ用のマークを1つの方向のみに沿って斜めから照明し、かかるマークで垂直方向に反射された光を検出する場合と比較して、検出系3は2倍の光量を確保することができる。これにより、検出系3は、モールド7と基板8との相対的な位置を高精度に検出することができる。検出系3では、上述したように、式(7)を満たす範囲の波長で回折光を検出できるが、かかる波長の範囲は可能な限り広くするとよい。

【0050】

また、基板8に配置されたマーク11は、基板8の表面に剥き出しになっていることは少なく、数層から数十層積層されたプロセスの内部に位置している場合が多い。マーク11の上部に透明な物質からなる層が形成されている場合、薄膜干渉によって、マーク11を照明する波長によってはマーク11からの光の強度が非常に弱くなることがある。但し、マーク11を照明する光の波長を変えることで、薄膜干渉の条件から外れ、マーク11からの光の強度を維持することが可能である。従って、検出系3においても光源23からの光の波長を広い範囲で可変とし、基板8のプロセスに応じて、マーク11を検出できる条件を設定できるとよい。かかる条件は、マーク11の格子ピッチ、開口数 $NA_0$ 、第1極及び第2極の中心位置、マーク11を照明する光の波長範囲や中心波長などを含む。マーク11を照明する光の波長については、ハロゲンランプなどの広帯域に波長を有する光源を光源23として用いてバンドパスフィルタなどで所定の波長帯域を抽出してもよいし、LEDのような単色光源で中心波長の異なる複数の光源を切り替えてもよい。

【0051】

図9に示すように、格子パターン10aと格子パターン11a、格子パターン10bと格子パターン11bとをそれぞれ重ねた状態で、図4に示すような第1極IL1、第2極IL3、第3極IL2及び第4極IL4を含む有効光源で照明する。そして、検出開口DETを有する検出系3の視野40に入れる。これにより、X軸方向及びY軸方向に関する位置合わせのためのモアレ縞を1つの検出系3によって同時に検出することができる。換言すれば、検出系3(検出光学系21及び照明光学系22)によって、2つの方向の相対位置情報を、比較的安価、且つ、簡易な構成で同時に検出することができる。

【0052】

<第1の実施形態>

図1を参照して、インプリント装置1の基本的な構成について説明したが、インプリント装置1では、照射部2、検出系3及びモールド保持部4のメカ干渉が懸念される。このようなメカ干渉を回避する構成として、図10を参照して、インプリント装置20について説明する。インプリント装置20は、インプリント装置1の構成に加えて、結像光学系13と、ダイクロミラー14と、基準マーク15とを有する。

【0053】

結像光学系13は、モールド7に配置されたマーク10及び基板8に配置されたマーク11によって生成されたモアレ縞を投影面16に投影(結像)する。検出系3は、投影面16に投影されたモアレ縞を光学的に検出して、モールド7と基板8との相対的な位置を検出する。照射部2は、紫外線を、結像光学系13の一部(の光学素子)及びモールド7を介して、基板8の上の樹脂9に照射する。ダイクロミラー14は、照射部2と検出系3とを合成するために用いられている。インプリント装置20では、照射部2からの光(紫外線)の波長と検出系3からの光の波長とが異なるため、ダイクロミラー14を用いているが、ハーフミラーなどに置換することも可能である。インプリント装置20では、照射部2、検出系3及びモールド保持部4のメカ干渉を回避することができる。また、インプリント装置20では、樹脂9への紫外線の照射と、モールド7と基板8との相対位置の検出とを同時に行うことが可能となるため、モールド7と基板8との相対位置の検出後に検出系3を退避させる必要がなくなり、生産性を向上させることができる。基準マーク15

10

20

30

40

50

は、インプリント装置 20 の全体で使用するマークを含み、例えば、検出系 3 で検出可能なマークを含む。

【0054】

検出系 3 は、結像光学系 13 を介してモアレ縞を検出し、モールド 7 と基板 8 との相対的な位置を検出するが、検出系 3 (検出光学系 21 及び照明光学系 22) や結像光学系 13 の残収差によってはアライメント誤差が発生する。アライメント誤差を低減するためには、検出系 3 や結像光学系 13 の収差を低減する必要がある。例えば、結像光学系 13 は、1 つのショット領域 (インプリント領域) で収差を保証する必要がある。検出系 3 よりも画角が大きく、収差を保証することが難しい。インプリント装置 20 において、検出系 3 及び結像光学系 13 の収差を計測するために、干渉計を用いることが考えられるが、装置コストのアップや干渉計を配置するスペースの確保による装置サイズの大型化を招いてしまう。検出系 3 や結像光学系 13 の組み立て時においては、それら単体で収差を保証することは可能である。但し、インプリント装置 20 において検出系 3 や結像光学系 13 の収差を計測できないと、検出系 3 や結像光学系 13 をインプリント装置 20 に取り付けた後の収差の変化を計測することができない。また、アライメント誤差が発生した場合に、そのアライメント誤差が検出系 3 の収差に起因しているのか、或いは、結像光学系 13 の収差に起因しているかを判定することができない。

10

【0055】

そこで、本実施形態では、インプリント装置 20 において、検出系 3 や結像光学系 13 における像の非対称性を高精度に求めることを可能とする。この際、制御部 12 は、検出系 3 の検出結果に基づいて、検出系 3 や結像光学系 13 における像の非対称性を求める処理部として機能する。

20

【0056】

明視野検出系を有する露光装置では、図 11 (a) に示すような基準マーク RM を用いて、像の非対称性を求める方法が知られている。図 11 (a) は、基準マーク RM の構成を示す図である。基準マーク RM は、マーク要素 110 からなる第 1 マークと、マーク要素 110 とは線幅 (計測方向の幅) が異なるマーク要素 111 からなる第 2 マークとを含む。ここでは、マーク要素 110 及び 111 は、基板 201 の上に形成された段差であり、マーク要素 110 及び 111 の材質及び基板 201 の材質は、Si である。但し、マーク要素 110 及び 111 の材質及び基板 201 の材質は、Si に限定されるものではなく、SiO<sub>2</sub> であってもよい。また、基板 201 の材質をガラスとし、マーク要素 110 及び 111 の材質を Cr としてもよい。

30

【0057】

マーク要素 110 及び 111 を理想的な (即ち、収差のない) 明視野検出系で検出した結果 (検出波形) を図 11 (b) に示す。図 11 (b) に示す検出波形において、マーク要素 110 に対応する波形は、そのエッジに対応する波形 112 及び 113 を含み、マーク要素 111 に対応する波形は、そのエッジに対応する波形 114 及び 115 を含む。マーク要素 110 及び 111 のエッジでは散乱が発生し、明視野検出系で検出される光の光量が減少するため、図 11 (b) に示す検出波形が得られる。但し、明視野検出系にコマ収差が存在する場合、図 11 (b) に示す波形が歪み、図 11 (c) に示す検出波形が得られる。図 11 (c) に示す検出波形において、マーク要素 110 に対応する波形は、そのエッジに対応する波形 116 及び 117 を含み、マーク要素 111 に対応する波形は、そのエッジに対応する波形 118 及び 119 を含む。図 11 (c) に示す検出波形は、図 11 (b) に示す検出波形と比較して、マーク要素 110 及び 111 のそれぞれのエッジで検出される光量比率 (ピーク光量比率) が変化している。かかる光量比率から、明視野検出系のコマ収差を求めることができる。

40

【0058】

また、図 12 (a) に示す基準マーク RM を、理想的な暗視野照明系で検出した結果 (検出波形) を図 12 (b) に示す。図 12 (a) に示す基準マーク RM は、図 11 (a) に示す基準マーク RM と同一である。暗視野検出系では、明視野検出系とは異なり、マ

50

ク要素 1 1 0 及び 1 1 1 のそれぞれのエッジでの散乱光を検出することになる。従って、図 1 2 ( b ) に示す検出波形において、マーク要素 1 1 0 に対応する波形は、そのエッジに対応する波形 ( ピーク ) 1 2 0 及び 1 2 1 を含み、マーク要素 1 1 1 に対応する波形は、そのエッジに対応する波形 ( ピーク ) 1 2 2 及び 1 2 3 を含む。また、暗視野検出系にコマ収差が存在する場合、図 1 2 ( c ) に示す検出波形が得られる。図 1 2 ( c ) に示す検出波形において、マーク要素 1 1 0 に対応する波形は、そのエッジに対応する波形 ( ピーク ) 1 2 4 及び 1 2 5 を含み、マーク要素 1 1 1 に対応する波形は、そのエッジに対応する波形 ( ピーク ) 1 2 6 及び 1 2 7 を含む。暗視野検出系にコマ収差が存在する場合も、明視野検出系と同様に、マーク要素 1 1 0 及び 1 1 1 のそれぞれのエッジで検出される光量比率 ( ピーク光量比率 ) が異なっている。従って、上述したように、かかる光量比率から、暗視野検出系のコマ収差を求めることも可能である。但し、この場合には、コマ収差の検出精度が低い。例えば、暗視野検出系の条件によって多少は異なるが、数百 m のコマ収差に対して、1 % 乃至 2 % 程度の光量比率の変化しか得ることができない。暗視野検出系では、散乱光や回折光を検出しているため、明視野検出系と比較して、検出光量が少ない。従って、撮像素子などのセンサの電気ノイズによる誤差の比率も大きくなってしまいうため、上述した方法では、暗視野検出系のコマ収差を高精度に求めることができない。

10

#### 【 0 0 5 9 】

そこで、本実施形態では、図 1 3 ( a ) 乃至図 1 3 ( d ) に示すように、検出光学系 2 1 の解像力以下の線幅を有するマーク要素を含むマークや検出光学系 2 1 の解像力以下のピッチで配列された複数のマーク要素を含むマークを基準マーク 1 5 として用いる。これにより、暗視野検出系であっても、像の非対称性を高精度に求めることが可能となる。

20

#### 【 0 0 6 0 】

図 1 3 ( a ) 乃至図 1 3 ( d ) は、基準マーク 1 5 と、かかる基準マーク 1 5 を検出系 3 で検出した結果 ( 検出波形 ) を示す図である。図 1 3 ( a ) は、計測方向である X 軸方向 ( 計測方向、第 1 方向 ) において 1 つのマーク要素 M E を含む基準マーク 1 5 と、かかる基準マーク 1 5 を検出系 3 で検出した結果 ( 検出波形 ) を示している。図 1 3 ( b ) は、X 軸方向に周期的に配列された 3 つのマーク要素 M E を有するマーク ( 第 1 マーク ) を含む基準マーク 1 5 と、かかる基準マーク 1 5 を検出系 3 で検出した結果 ( 検出波形 ) を示している。図 1 3 ( c ) は、X 軸方向に周期的に配列された 5 つのマーク要素 M E を有するマークを含む基準マーク 1 5 と、かかる基準マーク 1 5 を検出系 3 で検出した結果 ( 検出波形 ) を示している。図 1 3 ( d ) は、X 軸方向に周期的に配列された 9 つのマーク要素 M E を有するマークを含む基準マーク 1 5 と、かかる基準マーク 1 5 を検出系 3 で検出した結果 ( 検出波形 ) を示している。

30

#### 【 0 0 6 1 】

図 1 3 ( b ) 乃至図 1 3 ( d ) に示す基準マーク 1 5 において、マーク要素 M E は、検出系 3 ( 検出光学系 2 1 ) の解像力以下のピッチ 1 3 2 を有する。従って、本実施形態では、照明光学系 2 2 からの光の波長を  $\lambda$ 、検出系 3 ( 検出光学系 2 1 ) の開口数を N A、ピッチ 1 3 2 の最大のピッチを  $P_{max}$  (  $P_{max1}$ 、 $P_{max3}$  ) とすると、以下の式 ( 1 3 ) を満たす。

40

#### 【 0 0 6 2 】

$$P_{max} < \lambda / NA \quad \dots (13)$$

また、図 1 3 ( a ) に示す基準マーク 1 5 において、マーク要素 M E は、検出系 3 ( 検出光学系 2 1 ) の解像力以下の線幅 1 3 3 を有する。マーク要素 M E の線幅  $W_{max}$  < マーク要素 M E のピッチ 1 3 2 が明らかであるため、マーク要素 M E の最大の線幅を  $W_{max}$  (  $W_{max1}$  ) とすると、以下の式 ( 1 4 ) を満たす。

#### 【 0 0 6 3 】

$$W_{max} < P_{max} < \lambda / NA \quad \dots (14)$$

また、検出系 3 は基準マーク 1 5 を暗視野照明するが、基準マーク 1 5 を照明する光に対して、 $\pm 1$  次回折光が検出系 3 で検出できるようにマーク要素 M E のピッチを設定する

50

。これにより、マーク要素MEのエッジの散乱光ではなく、回折光を検出することが可能となり、検出系3で検出される光の光量が増加する。例えば、照明光学系22からの光の波長を $\lambda$ 、有効光源に含まれる極の入射方向のサイズを $NA_{pa}$ 、入射角度を $NA_{i1}$ 、検出開口DETの開口数を $NA_o$ 、マーク要素MEのピッチ132をP、回折次数をnとする。この場合、マーク要素MEのピッチ132が以下の式(15)を満たすことで、検出系3での光量を増加させることが可能となり、検出精度を向上させることができる。

【0064】

$$n / (NA_{i1} - NA_{pa} / 2 + NA_o) < P < n / (NA_{i1} + NA_{pa} / 2 - NA_o) \quad \dots (15)$$

ここで、回折次数はnとしているが、検出系3での光量が最も大きくなる $n = 1$ であるとよい。式(14)及び式(15)を満たすように、マーク要素MEのピッチ132を設定することで、暗視野検出系である検出系3でも高精度に像の非対称性を求めることが可能となる。以下では、複数のマーク要素MEを有するマークを含む基準マーク15は、式(13)及び式(15)を満たし、1つのマーク要素MEを含む基準マーク15は、式(14)を満たすものとして説明する。

【0065】

図13(a)乃至図13(d)に示す基準マーク15の検出波形において、図13(a)に示す基準マーク15に対応する波形は波形130aであり、図13(b)に示す基準マーク15に対応する波形は波形130bである。また、図13(c)に示す基準マーク15に対応する波形は波形130cであり、図13(d)に示す基準マーク15に対応する波形は波形130dである。マーク要素MEのピッチ132が検出系3の解像力以下であるため、図13(b)乃至図13(d)に示すように、波形130b乃至130dでは、マーク要素EMのエッジのみではなく、エッジ間でも光量を検出されている。X軸方向の両端に配列された2つのマーク要素EMのエッジでは散乱光が多くなるため、波形130b乃至130dでは、それに対応するピーク134が現れる。

【0066】

図14(a)乃至図14(d)を参照して、図13(c)に示す基準マーク15を検出系3で検出したときの検出波形について詳細に説明する。図14(a)に示す基準マーク15は、図13(c)に示す基準マーク15と同一である。検出系3は、結像光学系13を介して、図14(a)に示す基準マーク15を暗視野照明し、かかる基準マーク15からの回折光や散乱光を、結像光学系13を介して検出する。検出系3や結像光学系13にコマ収差がない場合、図14(a)に示す基準マーク15を検出すると、図14(b)に示す検出波形が得られる。一方、検出系3や結像光学系13に小さなコマ収差が存在する場合、図14(a)に示す基準マーク15を検出すると、図14(c)に示す検出波形が得られる。また、検出系3や結像光学系13に大きなコマ収差が存在する場合、図14(a)に示す基準マーク15を検出すると、図14(d)に示す検出波形が得られる。なお、図14(b)乃至図14(d)は、図14(a)に示す基準マーク15を暗視野照明して得られる検出波形のモデルを示しており、実際の検出波形は更に複雑に変化している。検出系3や結像光学系13の残収差が大きくなると、図14(b)乃至図14(d)に示すように、検出波形は、そのピーク134の近傍において、非対称性が大きくなる。図14(b)乃至図14(d)に示す検出波形に対して、波形の位置ずれを算出することで、検出系3や結像光学系13のコマ収差の量を求めることが可能である。

【0067】

図15は、図13(a)乃至図13(d)に示す基準マーク15の検出波形の位置ずれと検出系3や結像光学系13のコマ収差との関係を示す図である。図15では、検出系3や結像光学系13にコマ収差がある場合のコマ収差の量を横軸に採用し、検出波形の位置ずれを縦軸に採用している。図13(a)乃至図13(d)に示す波形130a乃至130dのそれぞれが、図15に示す131a乃至131dに対応している。図15に示すように、検出系3や結像光学系13のコマ収差に対する検出波形の位置ずれは、線形で表すことができる。また、基準マーク15を構成するマーク要素MEの数に応じて、検出系3

10

20

30

40

50

や結像光学系 13 のコマ収差に対する検出波形の位置ずれの敏感度が異なっていることがわかる。かかる敏感度は、1つのマーク要素MEを含む基準マーク15と、複数のマーク要素MEを含む基準マーク15とでは、符号が異なっている。基準マーク15が複数のマーク要素MEを含む場合には、マーク要素MEの数が多いと敏感度が高い。但し、基準マークMEを構成するマーク要素MEの数を増やしていくと、敏感度はある値で飽和する。

【0068】

このような特性を用いて、図16(a)に示す基準マーク15を検出系3で検出すると、像の非対称性を高精度に求めることができる。図16(a)に示す基準マーク15は、1つのマーク要素MEを有するマーク140(第2マーク)と、5つのマーク要素MEを有するマーク(第1マーク)141と、1つのマーク要素を有するマーク142と、を含む。図16(a)に示す基準マーク15を検出系3で検出すると、図16(b)に示すように、マーク140から検出波形143が得られ、マーク141から検出波形144が得られ、マーク142から検出波形145が得られる。図15を参照して説明したように、検出系3や結像光学系13にコマ収差が存在する場合、検出波形の位置ずれが発生する。上述したように、マーク140及び142と、マーク141とでは、コマ収差に対する敏感度の符号が異なっている。従って、検出波形143の位置ずれと検出波形145の位置ずれとの平均値と、検出波形144の位置ずれとの差分を求めることで、コマ収差に対する検出波形の位置ずれの敏感度が高くなり、像の非対称性を高精度に求めることが可能となる。

【0069】

図16(a)に示す基準マーク15では、像の非対称性の計測方向に対してマーク要素MEを配列している。但し、計測方向だけではなく、計測方向に直交する非計測方向であるY軸方向(第2方向)に対しても、マーク要素MEを配列してもよい。図17(a)に示す基準マーク15では、複数のマーク要素MEが計測方向及び非計測方向に式(14)及び式(15)を満たしながら配列されている。換言すれば、複数のマーク要素MEの非計測方向の最大のピッチを $P_{max1'}$ とすると、 $P_{max1'} < \lambda / NA$ を満たす。また、マーク要素MEの非計測方向の最大の線幅を $W_{max1'}$ とすると、 $W_{max1'} < \lambda / NA$ を満たす。図17(a)では、X軸方向が計測方向であり、Y軸方向が非計測方向である。マーク146及び148では、計測方向に1つのマーク要素MEが配列され、非計測方向に4つのマーク要素MEが配列されている。また、マーク147では、計測方向に5つのマーク要素MEが配列され、非計測方向に4つのマーク要素MEが配列されている。図4に示す暗視野照明の条件であれば、第2極IL3及び第4極IL4が計測方向に対して入射角度を有し、第1極IL1及び第3極IL2が非計測方向に対して入射角度を有することになる。図16(a)に示す基準マーク15では、マーク要素MEが非計測方向に配列されていないため、第1極IL1及び第3極IL2については、マーク要素MEのエッジの散乱光しか検出することができない。一方、図17(a)に示す基準マーク15では、第1極IL1及び第3極IL2についても、回折光を検出することが可能となり、図4に示す有効光源(4重極照明)の場合、検出系3で検出可能な光量を増やすことができる。これにより、像の非対称性の計測精度も向上する。図17(a)に示す基準マーク15を検出系3で検出すると、図17(b)に示すように、マーク146から検出波形143が得られ、マーク147から検出波形144が得られ、マーク148から検出波形145が得られる。検出系3は、CCDやCMOSセンサなどの2次元センサを撮像素子25として用いているため、2次元の検出波形を得ることができるが、図17(b)では、非計測方向の検出波形を積算して計測方向のみの検出波形を示している。図17(a)に示す基準マーク15から得られる検出波形は、図16(b)に示す検出波形と殆ど変わらず、検出系3や結像光学系13のコマ収差に対して検出波形の位置ずれが発生する。

【0070】

ここまでは、明視野検出系である検出系3を有するインプリント装置20において、検出系3や結像光学系13の収差に起因する像の非対称性を高精度に求めるための基準マーク15について説明した。次に、かかる基準マーク15を用いて、検出系3の収差に起因



する像の非対称性と結像光学系 13 の収差に起因する像の非対称性を求める方法について説明する。

【0071】

結像光学系 13 を介して基準マーク 15 を検出系 3 で検出すると、検出系 3 と結像光学系 13 とのトータル像の非対称性が得られる。そこで、結像光学系 13 の投影面 16 に、キャリブレーションマークを配置する。かかるキャリブレーションマークは、メカ的に投影面 16 に搬送可能にしてもよいし、キャリブレーションマークを使用する際に投影面 16 に配置するようにしてもよい。検出系 3 からの光で投影面 16 に配置されたキャリブレーションマークを暗視野照明し、その回折光や散乱光を検出系 3 で検出する。この場合、像の非対称性は、検出系 3 の収差に起因するものである。従って、基準マーク 15 を用いて得られた像の非対称性からキャリブレーションマークを用いて得られた像の非対称性を減算することで、結像光学系 13 の収差に起因する像の非対称性を求めることができる。キャリブレーションマークは、マーク間による誤差を除去するために、基準マーク 15 と同じマークとするとよい。また、基準マーク 15 を基板 8 に形成し、基板ステージ 5 を移動させて、検出系 3 で検出可能な位置に基板 8 に形成した基準マーク 15 を配置してもよい。この場合、基板ステージ 5 の軽量化が可能になる。

10

【0072】

インプリント装置 20 では、ショット領域ごとに形成されたマーク（アライメントマーク）を検出するダイバイダイ方式が採用されている。従って、ショット領域の倍率や回転を求めるために、検出系 3 は、ショット領域内で複数のマークを検出する必要がある。図 10 に示すように、インプリント装置 20 が複数の検出系 3 を有することで、検出系 3 を移動させながら複数のマークを検出する必要がなくなるため、生産性を向上させることができる。また、結像光学系 13 は、画角が大きく、検出系 3 を移動させることで、結像光学系 13 の複数の像高で像の非対称性を求めることが可能となる。この場合、複数の検出系 3 によって、結像光学系 13 の同一像高を検出することが可能であるため、複数の検出系 3 のそれぞれで検出された検出結果を平均することで、ランダム成分の誤差を平均化することができる。また、結像光学系 13 の同一像高、例えば、中心像高を複数の検出系 3 で検出した値を基準として、結像光学系 13 の各像高の値を出力することもできる。

20

【0073】

インプリント装置 20 では、検出系 3 や結像光学系 13 における像の非対称性に基づいて、検出系 3 や結像光学系 13 を個別に調整することができる。具体的には、検出系 3 や結像光学系 13 における像の非対称性に基づいて、検出系 3 を構成する光学素子や結像光学系 13 を構成する光学素子を駆動する駆動部による光学素子の駆動量を決定することで、検出系 3 や結像光学系 13 を自動で調整することができる。また、上述したように、本実施形態では、アライメント誤差が発生した場合に、検出系 3 の収差に起因するのか、或いは、結像光学系 13 の収差に起因するのかを判定することもできる。

30

【0074】

本実施形態では、結像光学系 13 を有するインプリント装置 20 について説明してきたが、結像光学系 13 を有していないインプリント装置 1 であっても、基準マーク 15 を用いることで、検出系 3 の像の非対称性を求めることができる。

40

【0075】

また、本実施形態では、検出系 3 や結像光学系 13 における像の非対称性としてコマ収差を例に説明したが、コマ収差以外であっても、像の非対称性を発生させる成分であれば求めることが可能である。

【0076】

以上説明したように、本実施形態では、検出系 3 により基準マーク 15 からの光を検出したときにマーク要素 ME の X 軸方向における 2 つのエッジが 1 つのピークとして検出されるように、マーク要素 ME の X 軸方向の幅が設定されている。或いは、検出系 3 により基準マーク 15 からの光を検出したときに、複数のマーク要素 ME のうち X 軸方向の両端に配列された 2 つのマーク要素 ME のみがピークとして検出されるように、複数のマーク

50

要素MEのX軸方向のピッチが設定されている。また、マーク要素MEは、X軸方向に直交するY軸方向に周期的に配列してもよい。この際、検出系3により基準マーク15からの光を検出したときに、マーク要素MEのうちY軸方向の両端に配列された2つのマーク要素MEのみがピークとして検出されるように、複数のマーク要素MEのY軸方向のピッチが設定されている。

#### 【0077】

従って、インプリント装置20では、検出系3のコマ収差（検出光学系21からの光の光軸方向に垂直な方向の非対称性）や結像光学系13のコマ収差を高精度に求めることができる。これにより、検出系3や結像光学系13の収差を高精度に調整することも可能となり、半導体デバイスの生産性を向上させることができる。

10

#### 【0078】

##### <第2の実施形態>

第2の実施形態では、基準マーク15を用いて、検出系3や結像光学系13における像の光軸方向の非対称性を求める場合について説明する。図18(a)は、マーク(第1マーク)150と、2つのマーク要素MEを有するマーク(第3マーク)151と、を含む基準マーク15を示す図である。マーク150では、3つのマーク要素MEが2セット配列され、そのピッチ152は、式(13)及び式(15)を満たしている。また、マーク151は、2つのマーク要素MEが2セット配列され、そのピッチ153は、式(13)及び式(15)を満たしている。ピッチ152とピッチ153とは互いに異なり、本実施形態では、ピッチ152 > ピッチ153となっている。

20

#### 【0079】

図18(a)に示す基準マーク15を検出系3で検出すると、図18(b)に示すように、マーク150から検出波形154aが得られ、マーク151から検出波形154bが得られる。マーク150及び151は、検出系3の解像力以下のピッチで構成されているため、図18(b)に示す検出波形が得られる。図18(a)に示す基準マーク15をデフォーカスさせながら検出系3で検出したときの、検出波形154aのコントラストの変化(コントラストカーブ)と検出波形154bのコントラストの変化を図18(c)に示す。なお、基準マーク15のデフォーカスは、基板ステージ5を光軸方向に移動させることで実現してもよいし、検出系3のピント調整レンズ(不図示)を駆動することで実現してもよい。図18(c)では、デフォーカスを横軸に採用し、コントラストを縦軸に採用している。コントラストカーブ155aは検出波形154aのコントラストの変化に対応し、コントラストカーブ155bは検出波形154bのコントラストの変化に対応している。ピッチ152 > ピッチ153であるため、コントラストカーブ155aは、コントラストカーブ155bよりも緩い曲線となる。ここで、検出系3や結像光学系13に球面収差が存在する場合、図18(d)に示すように、コントラストカーブ155aはコントラストカーブ156aに変化し、コントラストカーブ155bはコントラストカーブ156bに変化する。図18(c)及び図18(d)を参照するに、検出系3や結像光学系13の球面収差によって、コントラストカーブのピーク的位置が変化していることがわかる。かかるピーク的位置の変化は、ピッチ152やピッチ153の影響を受けるため、図18(d)に示す差分159のように、コントラストカーブ156aとコントラストカーブ156bとではピーク的位置の差が発生する。コントラストカーブ156aのピーク的位置とコントラストカーブ156bのピーク的位置との差分159は、検出系3や結像光学系13の球面収差に線形に変化するため、かかる差分159から、検出系3や結像光学系13の球面収差を求めることができる。

30

40

#### 【0080】

このように、ピッチの異なる2つのマークを含む基準マーク15を用いることによって、検出系3や結像光学系13における像の光軸方向の非対称性を求めることができる。

#### 【0081】

本実施形態では、検出系3や結像光学系13における像の光軸方向の非対称性として球面収差を例に説明したが、球面収差以外であっても、像の光軸方向の非対称性を発生させ

50

る成分であれば求めることが可能である。かかる成分は、軸上収差、像面湾曲及び非点収差の少なくとも1つを含む。

【0082】

本実施形態では、検出系3の球面収差（検出光学系21からの光の光軸方向の非対称性）や結像光学系13の球面収差を高精度に求めることができる。これにより、検出系3や結像光学系13の収差を高精度に調整することも可能となり、半導体デバイスの生産性を向上させることができる。

【0083】

<第3の実施形態>

本発明の実施形態における物品の製造方法は、例えば、半導体デバイスなどのマイクロデバイスや微細構造を有する素子などの物品を製造するのに好適である。かかる製造方法は、インプリント装置20を用いて、基板にパターンを形成する工程と、パターンを形成された基板を処理する工程を含む。また、上記形成工程につづけて、かかる製造方法は、他の周知の工程（酸化、成膜、蒸着、ドーピング、平坦化、エッチング、レジスト剥離、ダイシング、ボンディング、パッケージングなど）を含みうる。本実施形態における物品の製造方法は、従来に比べて、物品の性能、品質、生産性及び生産コストの少なくとも1つにおいて有利である。

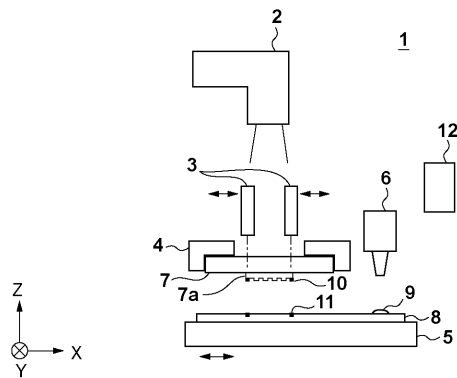
【0084】

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されないことはいうまでもなく、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

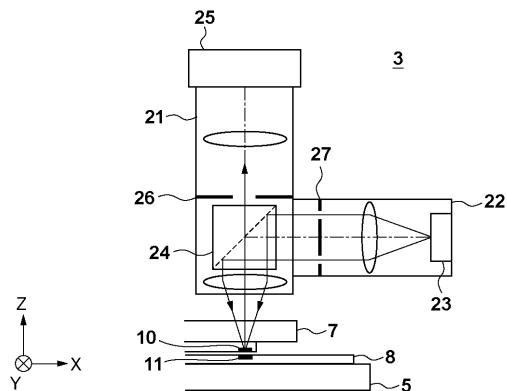
10

20

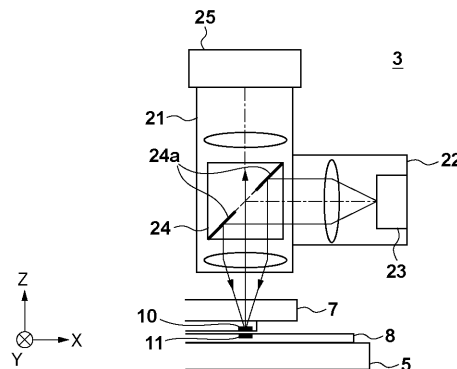
【図1】



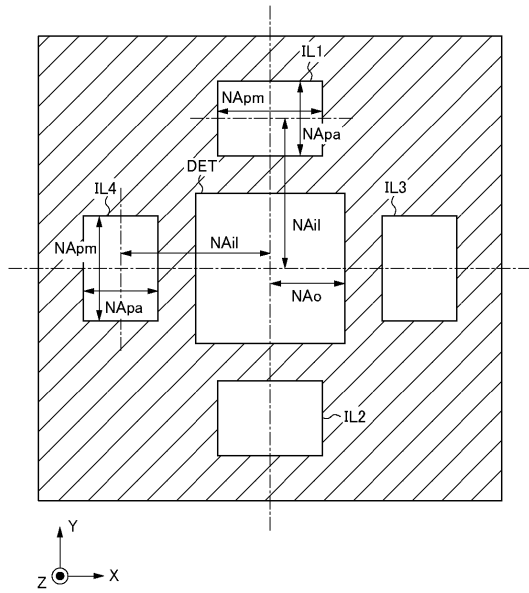
【図3】



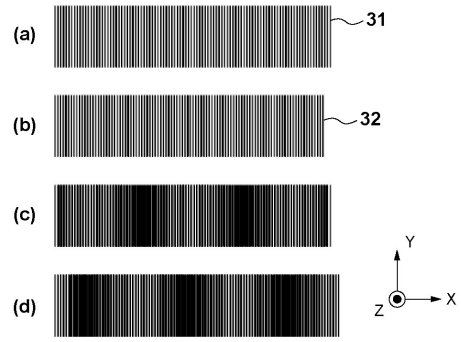
【図2】



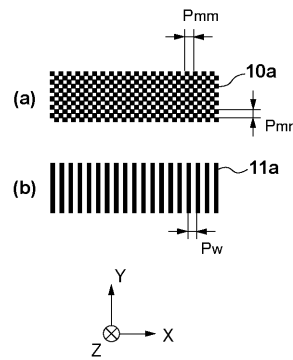
【 図 4 】



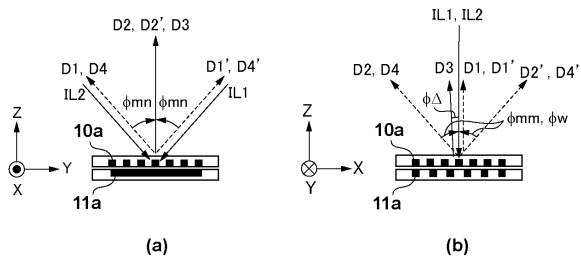
【 図 5 】



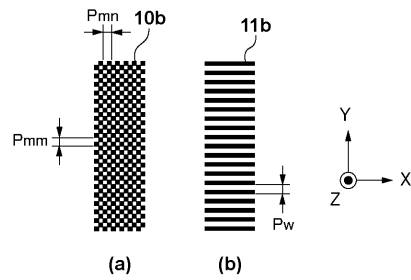
【 図 6 】



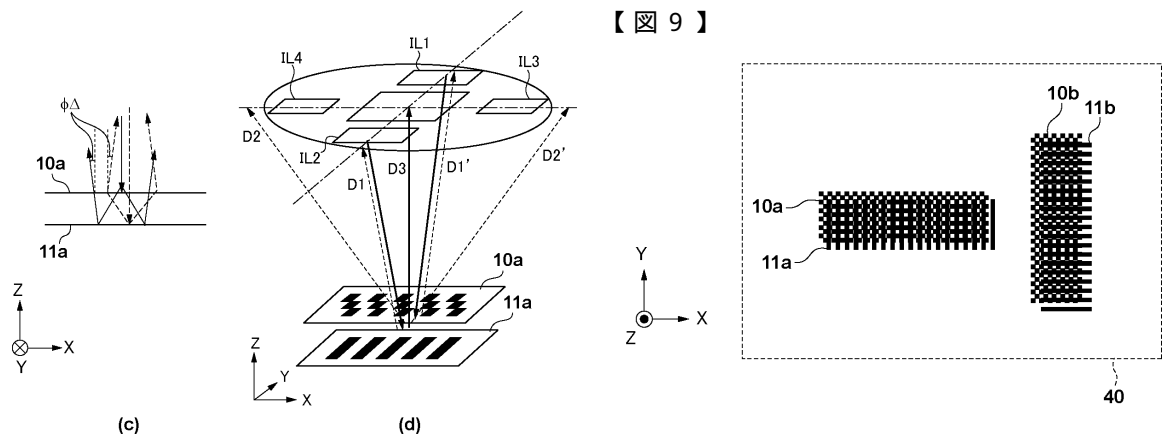
【 図 7 】



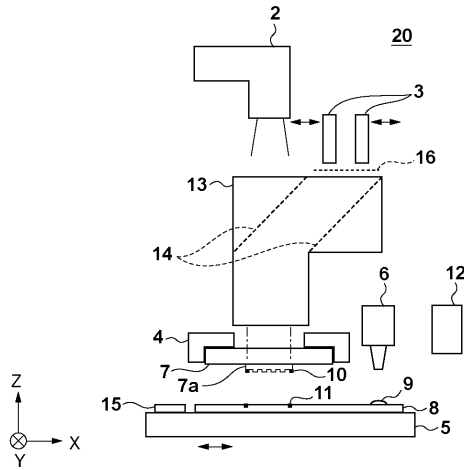
【 図 8 】



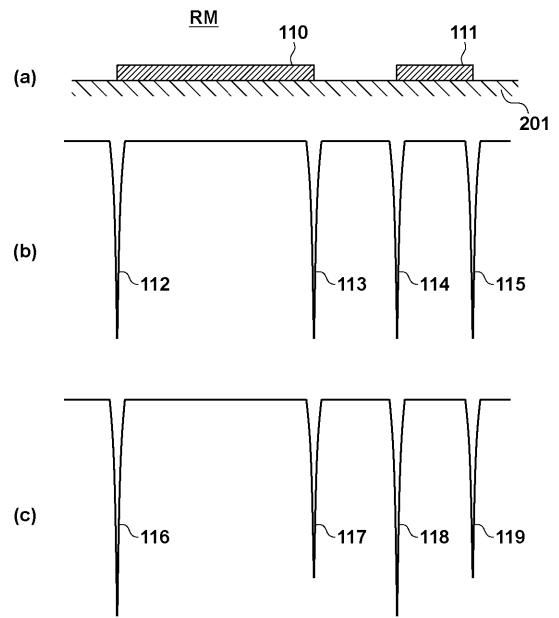
【 図 9 】



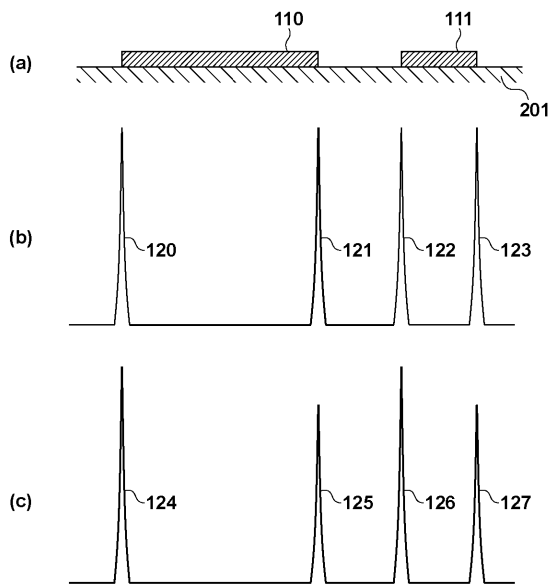
【 10 】



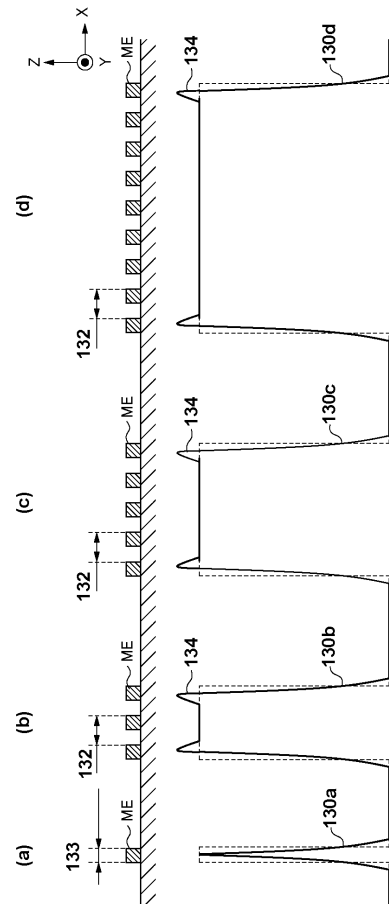
【 11 】



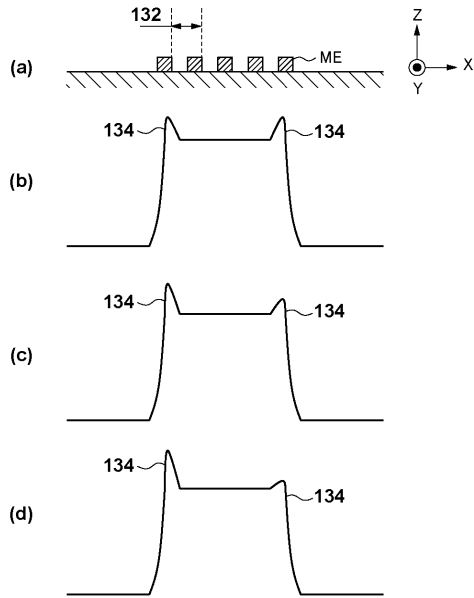
【 12 】



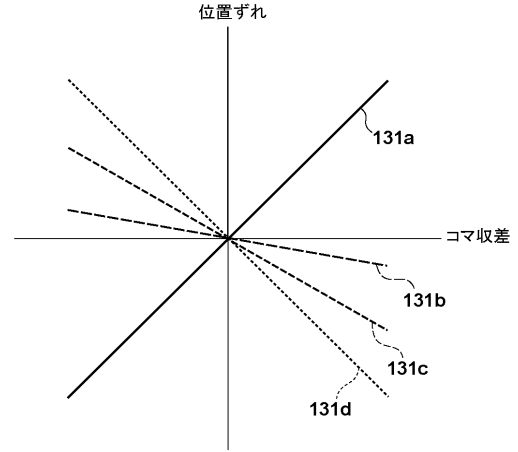
【 13 】



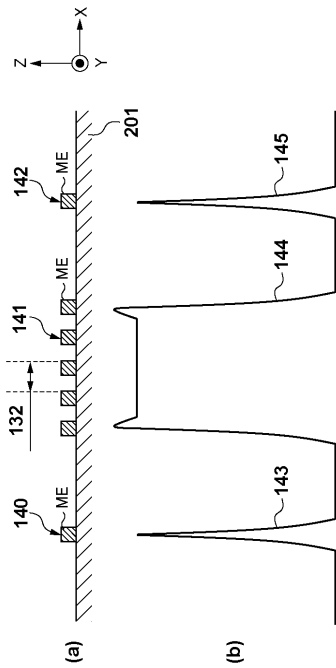
【 図 1 4 】



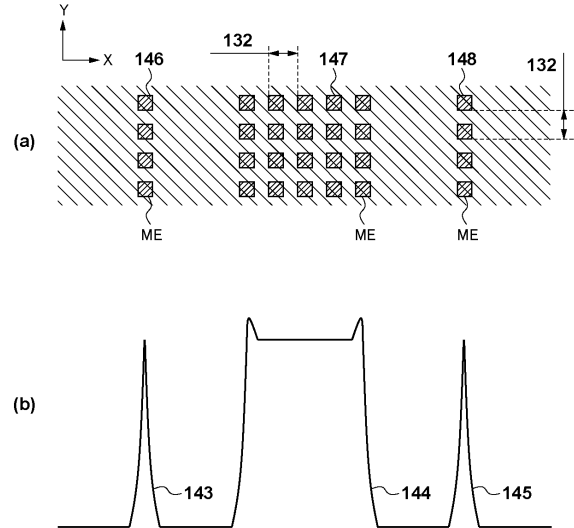
【 図 1 5 】



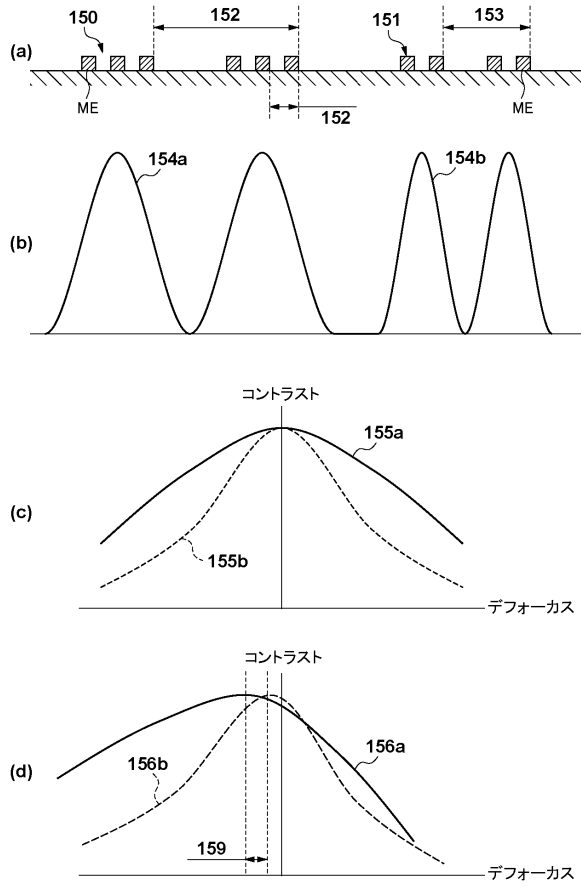
【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



【 図 18 】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
B 2 9 C 59/02 Z

(72)発明者 宮春 隆文  
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 三島 和彦  
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 神谷 健一

(56)参考文献 特開平01-299402(JP,A)  
特開平08-064500(JP,A)  
特開2000-315642(JP,A)  
特開平09-022864(JP,A)  
特開2002-093691(JP,A)  
米国特許出願公開第2013/0208279(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 1 B 1 1 / 0 0 - 1 1 / 3 0  
G 0 1 M 1 1 / 0 0 - 1 1 / 0 8  
G 0 2 B 7 / 0 2 - 7 / 1 6  
G 0 3 F 7 / 2 0 - 7 / 2 4  
G 0 3 F 9 / 0 0 - 9 / 0 2  
H 0 1 L 2 1 / 0 2 7  
H 0 1 L 2 1 / 3 0  
H 0 1 L 2 1 / 4 6