(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2012-191177
(P2012-191177A)
(43)公開日　平成24年10月4日(2012.10.4)

(51)Int.Cl.		F I			テーマコード（参考）
H01L 21/027	(2006.01)	H01L	21/30	525H	5F146
G03F 9/00	(2006.01)	H01L	21/30	525W	
		G03F	9/00	H	

審査請求 有　請求項の数 15　OL　外国語出願　（全 21 頁）

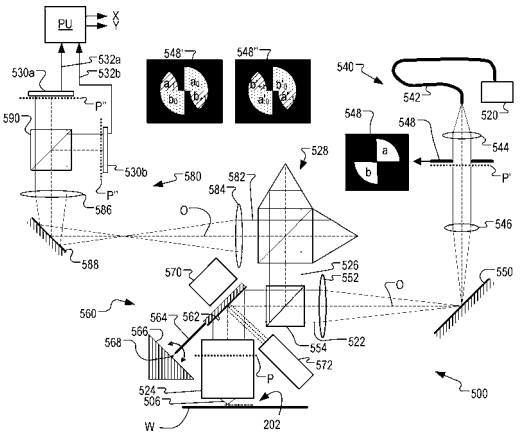
(21)出願番号　特願2012-27626 (P2012-27626)
(22)出願日　平成24年2月10日 (2012.2.10)
(31)優先権主張番号　61/444,373
(32)優先日　平成23年2月18日 (2011.2.18)
(33)優先権主張国　米国 (US)
(31)優先権主張番号　61/468,208
(32)優先日　平成23年3月28日 (2011.3.28)
(33)優先権主張国　米国 (US)

(71)出願人　504151804
エーエスエムエル　ネザーランズ　ビー．ブイ．
オランダ国　ヴェルトホーフェン　５５０４　ディー　アール，デ　ラン　６５０１
(74)代理人　100079108
弁理士　稲葉　良幸
(74)代理人　100109346
弁理士　大貫　敏史
(72)発明者　デン　ボーフ，アリー，ジェフリー
オランダ国，ヴァールレ　エヌエル－５５８１　エヌエー，エイケンラーン　１８

最終頁に続く

(54)【発明の名称】測定方法、測定装置、リソグラフィ装置及びデバイス製造方法

(57)【要約】　（修正有）
【課題】アライメントセンサのスループットを低下させることなく、正確な測定を可能にする。
【解決手段】測定光学システムは、マーク２０２を放射スポットで照明する照明サブシステムと、マークによって回折した放射を検出する検出サブシステム５８０とを備える。基板と測定光学システムは互いに対して第１の速度（v_W）で移動して、放射スポットを測定光学システムの基準フレームに対して第２の速度（v_{SPOT}）で同期させて移動させながらマークをスキャンする。スポットは、第１の速度より低い第３の速度で（v_{EFF}）でマークをスキャンして正確な位置測定値を取得するより多くの時間を提供する。対物レンズ５２４は基準フレームとの関係で固定され、一方可動光学素子５６２は基準フレームに対する放射スポットの移動を与える。
【選択図】図５



【特許請求の範囲】
【請求項１】
光学装置内の基板上のマークの位置を測定する方法であって、
前記基板上にマークを提供すること、
前記マークを放射スポットで照明する照明サブシステムと、前記マークによって回折した放射を検出する検出サブシステムとを備える測定光学システムを提供すること、
スキャン動作において、前記基板と前記測定光学システムとを互いに対して第１の速度で移動させて、前記マークを前記放射スポットでスキャンしながら、前記回折放射を表す信号を検出し処理して前記測定光学システムの基準フレームに対する前記マークの位置を計算すること、及び
前記放射スポットを前記測定光学システムの前記基準フレームに対して第２の速度で前記スキャン動作に同期して移動させることを含み、
前記第１及び第２の速度が、前記信号が検出されている間に前記第１の速度より低い第３の速度で前記スポットが前記マークをスキャンする関係にある、方法。
【請求項２】
前記放射スポットは、前記測定光学システムの前記基準フレームとの関係で固定された対物レンズを介して前記基板に送達される、請求項１に記載の方法。
【請求項３】
前記測定光学システムの前記基準フレームに対する前記放射スポットの移動は、前記測定光学システム内の可動光学素子によって与えられる、請求項２に記載の方法。
【請求項４】
前記可動光学素子は実質的に単振動で揺動するように装着且つ駆動され、前記スキャン動作が前記単振動の比較的直線的部分で実行される、請求項３に記載の方法。
【請求項５】
前記照明サブシステムは、測定光学システムの光軸を中心に円対称ではなく、１８０°の回転非対称を示す照明パターンを与える、請求項１乃至４のいずれかに記載の方法。
【請求項６】
基板上のマークの位置を測定する装置であって、
前記マークを放射スポットで照明する照明サブシステムと、前記マークによって回折した放射を検出する検出サブシステムとを備える測定光学システムと、
前記基板と測定光学システムの動きを互いに対して第１の速度で制御して、前記マークを前記放射スポットでスキャンしながら、前記回折放射を表す信号を検出し処理して前記測定光学システムの基準フレームに対する前記マークの位置を計算する第１の位置決めサブシステムと、
前記放射スポットを前記測定光学システムの前記基準フレームに対して第２の速度で移動させるために前記第１の位置決めサブシステムに同期して動作可能な第２の位置決めサブシステムとを備え、
前記第１及び第２の速度が、前記信号が検出されている間に前記第１の速度より低い第３の速度で前記スポットが前記マークをスキャンする関係にある、装置。
【請求項７】
動作時に前記第１及び第２の速度が並列であり、前記第２の速度が前記第１の速度より低く、前記第３の速度が前記第１の速度から前記第２の速度を引いたものに等しい、請求項６に記載の装置。
【請求項８】
前記測定光学システムは、前記放射スポットを前記基板へ送達する対物レンズを含み、前記対物レンズが前記測定光学システムの前記基準フレームとの関係で固定されている、請求項６又は７に記載の装置。
【請求項９】
前記第２の位置決めサブシステムは、前記測定光学システムの前記基準フレームに対する前記放射スポットの移動を与える前記測定光学システム内の可動光学素子を備える、請

求項８に記載の装置。
【請求項１０】
前記可動光学素子は、軸を中心に傾斜するように装着されたミラーであり、前記軸が少なくとも前記ミラーの平面と前記対物レンズの瞳面とのほぼ交点にある、請求項９に記載の装置。
【請求項１１】
前記可動光学素子は、前記第２の速度に実質的に匹敵する共振周波数で揺動するように装着される、請求項９又は１０に記載の装置。
【請求項１２】
前記照明サブシステムは、前記測定光学システムの光軸を中心に円対称ではなく、１８０°の回転非対称を示す照明パターンを与える、請求項６から１１のいずれかに記載の装置。
【請求項１３】
前記検出サブシステムは、前記測定光学システムの共役瞳面内で検出された１次回折放射を用いて前記マークの位置を計算するように構成される、請求項１２に記載の装置。
【請求項１４】
前記測定光学システムは、前記回折放射の２つの部分を回転させ再結合する自己参照型干渉計を含む、請求項６から１３のいずれかに記載の装置。
【請求項１５】
パターニングデバイスから基板上にパターンを転写するように構成されたリソグラフィ装置であって、
基板を保持する基板テーブルと、前記リソグラフィ装置の基準フレームに対する前記基板上のマークの位置を測定するアライメントセンサとを備え、
前記アライメントセンサが、請求項６から１４のいずれかに記載の測定装置を備え、
前記リソグラフィ装置が、前記測定装置を用いて測定される前記基板上のマークの位置を基準にして前記基板上へのパターンの転写を制御するように構成された、リソグラフィ装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
[0001] 本発明は、測定方法、リソグラフィ装置、基板及びデバイス製造方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
[0002] リソグラフィ装置は、所望のパターンを基板に、通常は基板のターゲット部分に適用する機械である。リソグラフィ装置は、例えば、集積回路（ＩＣ）の製造に使用可能である。このような場合、代替的にマスク又はレチクルとも呼ばれるパターニングデバイスを使用して、ＩＣの個々の層上に形成すべき回路パターンを生成することができる。このパターンを、基板（例えばシリコンウェーハ）上のターゲット部分（例えば１つ又は幾つかのダイの一部を含む）に転写することができる。パターンの転写は通常、基板に設けた放射感応性材料（レジスト）の層への結像により行われる。一般的に、１枚の基板は、順次パターンが与えられる隣接したターゲット部分のネットワークを含んでいる。従来のリソグラフィ装置は、パターン全体をターゲット部分に１回で露光することによって各ターゲット部分が照射される、いわゆるステッパと、基板を所与の方向（「スキャン」方向）と平行あるいは逆平行に同期的にスキャンしながら、パターンを所与の方向（「スキャン」方向）に放射ビームでスキャンすることにより、各ターゲット部分が照射される、いわゆるスキャナとを含む。パターンを基板にインプリントすることによっても、パターニングデバイスから基板へとパターンを転写することが可能である。
【０００３】
[0003] リソグラフィ工程を制御してデバイスフィーチャを正確に基板上に配置するために、基板上には一般にアライメントマークが提供され、リソグラフィ装置は基板上のマー

クの位置を正確に測定するための１つ又は複数のアライメントセンサを含む。これらの測定にかかる時間は、リソグラフィ装置のスループットを最大限にする必要性と矛盾する。その他の点では、デバイス生産のコスト効率が低下する。例えば、ＵＳ６２９７８７６号（Bornebroek）、ＵＳ６９６１１１６号（den Boef）及び公開特許出願ＵＳ２００９１９５７６８Ａ号（Bijnen他）に開示されたアライメントセンサ及びマークを含む様々なタイプのアライメントセンサ及びマークが知られている。これらの例の各々で、位置測定値は、基板とアライメントセンサとを停止させることなく基板とアライメントセンサとを互いに対して移動させることで捕捉される。アライメントセンサの（既知の）位置に対するマークの位置は、マークを光学スポットでスキャンすることで光学的に測定される。（基板が停止している間にセンサが移動するか、又は基板が移動するか、又は両方が移動するかは問題ではない。）アライメントセンサは最適なスループットを目指して可能な限り迅速にマークをスキャンするはずであるが、この速度への要求によって、得られる位置測定の精度が制約される。短時間に位置を正確に把握することは本来より困難である。さらに、測定それ自体が完璧に正確であったとしても短時間に得た測定値は、基板及びアライメントセンサの位置決め時の動的な位置決めエラー（振動、サーボエラーなど）による外乱の影響を受けやすい。

【発明の概要】

【０００４】

[0004] 本発明の一態様における目的は、アライメントセンサのスループットを低下させることなく、基板位置のより正確な測定を可能にすることである。本発明者らは、アライメント工程全体の動作を遅らせることなく個々の測定ごとに取得時間を増加させることが可能であると認識した。

【０００５】

[0005] 本発明の第１の態様によれば、光学装置内の基板上のマークの位置を測定する方法であって、

基板上にマークを提供すること、

マークを放射スポットで照明する照明サブシステムと、マークによって回折した放射を検出する検出サブシステムとを備える測定光学システムを提供すること、

スキャン動作において、基板と測定光学システムとを互いに対して第１の速度で移動させて、マークを放射スポットでスキャンしながら、回折放射を表す信号を検出し処理して測定光学システムの基準フレームに対するマークの位置を計算すること、及び

放射スポットを測定光学システムの基準フレームに対して第２の速度でスキャン動作に同期して移動させることを含み、

第１及び第２の速度が、信号が検出されている間に第１の速度より低い第３の速度でスポットがマークをスキャンする関係にある、方法が提供される。

【０００６】

[0006] 低減された第３の速度は測定位置の取得時間を増加させ、一方、より高い第１の速度は多数の位置測定の全体のスループットを維持することができる。

【０００７】

[0007] 測定光学システムの基準フレームに対する放射スポットは、測定光学システム内において低質量可動素子によって与えられることができる。

【０００８】

[0008] 本発明はさらに、基板上のマークの位置を測定する装置であって、

マークを放射スポットで照明する照明サブシステムと、マークによって回折した放射を検出する検出サブシステムとを備える測定光学システムと、

基板と測定光学システムの動きを互いに対して第１の速度で制御して、マークを放射スポットでスキャンしながら、回折放射を表す信号を検出し処理して測定光学システムの基準フレームに対するマークの位置を計算する第１の位置決めサブシステムと、

放射スポットを測定光学システムの基準フレームに対して第２の速度で移動させるために第１の位置決めサブシステムに同期して動作可能な第２の位置決めサブシステムとを備

え、
　第１及び第２の速度が、上記信号が検出されている間に第１の速度より低い第３の速度でスポットがマークをスキャンする関係にある、装置を提供する。
【０００９】
[0009]　本発明はさらに、パターニングデバイスから基板上にパターンを転写するように構成されたリソグラフィ装置であって、基板を保持するように構築された基板テーブルと、リソグラフィ装置の基準フレームに対する基板上のマークの位置を測定するアライメントセンサとを備え、アライメントセンサが上記の本発明による測定装置を備え、リソグラフィ装置が上記測定装置を用いて測定される基板上のマークの位置を基準にして基板上へのパターンの転写を制御するように構成された、リソグラフィ装置を提供する。
【００１０】
[0010]　本発明はさらに、リソグラフィ工程を用いてパターニングデバイスから基板上にパターンを転写し、基板上へのパターンの転写が上記の本発明の方法を用いて測定される基板上のマークの位置を基準にして制御されるデバイス製造方法を提供する。
【００１１】
[0011]　下記の本発明の実施形態は、上記の本発明の第１の態様の測定装置以外の装置内に用途がある特定の方法で構成された傾斜光学素子を含む。本出願者らは、本出願又は本出願から優先権を得る出願を問わず、この構成を独立して請求する権利を留保する。
【図面の簡単な説明】
【００１２】
　対応する参照符号が対応する部分を示す添付の概略図を参照しながら以下に本発明の実施形態について説明するが、これは単に例示としてのものに過ぎない。
【図１】本発明のある実施形態による測定装置を形成するアライメントセンサを含む例示的なリソグラフィ装置を示す図である。
【図２】図２（ａ）及び図２（ａ）を含み、図１の装置内の基板上に提供できる様々な形態のアライメントマークを示す。
【図３】アライメントマークをスキャンする既知のアライメントセンサの概略ブロック図である。
【図４】図４（ａ）及び図４（ｂ）を含み、本発明のある実施形態におけるアライメントマークをスキャンする新規のアライメントセンサの動作を示す。
【図５】図１のリソグラフィ装置内の新規のアライメントセンサの光学システムを示すより詳細な例示的概略図である。
【図６】図５のアライメントセンサのスキャンサブシステム内の可動ミラーの具体的な幾何学的構成を示す。
【図７】図５～図６のアライメントセンサのスキャンサブシステム内のミラーの傾斜角対時間のグラフである。
【図８】図５の装置内の可動ミラーに関連付けられた傾斜センサの概略図である。
【図９】本発明の代替実施形態の測定装置を形成する別の新規のアライメントセンサの概略図である。
【図１０】図１０（ａ）及び図１０（ｂ）を含み、本発明の代替実施形態の測定装置を形成するさらに別の新規のアライメントセンサの概略図である。
【発明を実施するための形態】
【００１３】
[0012]　図１は、本発明の一実施形態によるリソグラフィ装置を概略的に示したものである。この装置は、
－　放射ビームＢ（例えばＵＶ放射又はＥＵＶ放射）を調節するように構成された照明システム（イルミネータ）ＩＬと、
－　パターニングデバイス（例えばマスク）ＭＡを支持するように構築され、特定のパラメータに従ってパターニングデバイスを正確に位置決めするように構成された第１のポジショナＰＭに接続された支持構造（例えばマスクテーブル）ＭＴと、

－　基板（例えばレジストコートウェーハ）Ｗを保持するように構築され、特定のパラメータに従って基板を正確に位置決めするように構成された第２のポジショナＰＷに接続された基板テーブル（例えばウェーハテーブル）ＷＴａ又はＷＴｂと、
－　パターニングデバイスＭＡによって放射ビームＢに与えられたパターンを基板Ｗのターゲット部分Ｃ（例えば１つ又は複数のダイを含む）に投影するように構成された投影システム（例えば屈折投影レンズシステム）ＰＳとを備える。

【００１４】

[0013]　照明システムは、放射の誘導、整形、又は制御を行うための、屈折型、反射型、磁気型、電磁型、静電型等の光学コンポーネント、又はその任意の組合せなどの種々のタイプの光学コンポーネントを含んでいてもよい。

【００１５】

[0014]　支持構造は、パターニングデバイスを支持、すなわちその重量を支えている。支持構造は、パターニングデバイスの方向、リソグラフィ装置の設計等の条件、例えばパターニングデバイスが真空環境で保持されているか否かに応じた方法で、パターニングデバイスを保持する。この支持構造は、パターニングデバイスを保持するために、機械式、真空式、静電式等のクランプ技術を使用することができる。支持構造は、例えばフレーム又はテーブルでよく、必要に応じて固定式又は可動式でよい。支持構造は、パターニングデバイスが例えば投影システムなどに対して確実に所望の位置にくるようにできる。本明細書において「レチクル」又は「マスク」という用語を使用した場合、その用語は、より一般的な用語である「パターニングデバイス」と同義と見なすことができる。

【００１６】

[0015]　本明細書において使用する「パターニングデバイス」という用語は、基板のターゲット部分にパターンを生成するように、放射ビームの断面にパターンを与えるために使用し得る任意のデバイスを指すものとして広義に解釈されるべきである。ここで、放射ビームに与えられるパターンは、例えばパターンが位相シフトフィーチャ又はいわゆるアシストフィーチャを含む場合、基板のターゲット部分における所望のパターンに正確には対応しないことがある点に留意されたい。一般的に、放射ビームに与えられるパターンは、集積回路などのターゲット部分に生成されるデバイスの特定の機能層に相当する。

【００１７】

[0016]　パターニングデバイスは透過性又は反射性でよい。パターニングデバイスの例には、マスク、プログラマブルミラーアレイ、及びプログラマブルＬＣＤパネルがある。マスクはリソグラフィにおいて周知のものであり、これには、バイナリマスク、レベンソン型(alternating)位相シフトマスク、ハーフトーン型(attenuated)位相シフトマスクのようなマスクタイプ、さらには様々なハイブリッドマスクタイプも含まれる。プログラマブルミラーアレイの一例として、小さなミラーのマトリクス配列を使用し、そのミラーは各々、入射する放射ビームを異なる方向に反射するよう個々に傾斜することができる。傾斜したミラーは、ミラーマトリクスによって反射する放射ビームにパターンを与える。

【００１８】

[0017]　本明細書において使用する「投影システム」という用語は、例えば使用する露光放射、又は液浸液の使用や真空の使用などの他の要因に合わせて適宜、例えば屈折型光学システム、反射型光学システム、反射屈折型光学システム、磁気型光学システム、電磁型光学システム及び静電型光学システム、又はその任意の組合せを含む任意のタイプの投影システムを網羅するものとして広義に解釈されるべきである。本明細書において「投影レンズ」という用語を使用した場合、これはさらに一般的な「投影システム」という用語と同義と見なすことができる。

【００１９】

[0018]　本明細書で示すように、本装置は透過タイプである（例えば透過マスクを使用する）。あるいは、装置は反射タイプでもよい（例えば上記で言及したようなタイプのプログラマブルミラーアレイを使用する、又は反射マスクを使用する）。

【００２０】

[0019] リソグラフィ装置は、２つ（デュアルステージ）又はそれ以上の基板テーブル（及び／又は２つ以上のマスクテーブル）を有するタイプでよい。このような「マルチステージ」機械においては、追加のテーブルを並行して使用するか、１つ又は複数の他のテーブルを露光に使用している間に１つ又は複数のテーブルで予備工程を実行することができる。図１０を参照しながら一例について説明する。本明細書に開示された本発明は自立して使用できるが、本発明は特にシングル又はマルチステージ装置の露光前測定ステージに追加の機能を提供できる。

【００２１】

[0020] リソグラフィ装置は、投影システムと基板との間の空間を充填するように、基板の少なくとも一部を水などの比較的高い屈折率を有する液体で覆うことができるタイプでもよい。液浸液は、例えばマスクと投影システムの間など、リソグラフィ装置の他の空間に適用することもできる。液浸技術は、投影システムの開口数を増加させるために当技術分野で周知である。本明細書で使用する「液浸」という用語は、基板などの構造を液体に沈めなければならないという意味ではなく、露光中に投影システムと基板の間に液体が存在するというほどの意味である。

【００２２】

[0021] 図１を参照すると、イルミネータＩＬは放射源ＳＯから放射ビームを受ける。放射源とリソグラフィ装置とは、例えば放射源がエキシマレーザである場合に、別々の構成要素であってもよい。このような場合、放射源はリソグラフィ装置の一部を形成すると見なされず、放射ビームは、例えば適切な誘導ミラー及び／又はビームエクスパンダなどを備えるビームデリバリシステムＢＤの助けにより、放射源ＳＯからイルミネータＩＬへと渡される。他の事例では、例えば放射源が水銀ランプの場合は、放射源がリソグラフィ装置の一体部分であってもよい。放射源ＳＯ及びイルミネータＩＬは、必要に応じてビームデリバリシステムＢＤとともに放射システムと呼ぶことができる。

【００２３】

[0022] イルミネータＩＬは、放射ビームの角度強度分布を調整するアジャスタＡＤを備えていてもよい。通常、少なくともイルミネータの瞳面における強度分布の外側及び／又は内側半径範囲（一般にそれぞれ、σ-outer及びσ-innerと呼ばれる）を調整することができる。また、イルミネータＩＬは、インテグレータＩＮ及びコンデンサＣＯなどの他の種々のコンポーネントを備えていてもよい。イルミネータＩＬを用いて放射ビームを調節し、その断面にわたって所望の均一性と強度分布とが得られるようにしてもよい。

【００２４】

[0023] 放射ビームＢは、支持構造（例えば、マスクテーブルＭＴ）上に保持されたパターニングデバイス（例えば、マスクＭＡ）に入射し、パターニングデバイスによってパターン形成される。マスクＭＡを横断した放射ビームＢは、投影システムＰＳを通過し、投影システムＰＳは、ビームを基板Ｗのターゲット部分Ｃ上に合焦させる。第２の位置決めデバイスＰＷ及び位置センサＩＦ（例えば、干渉計デバイス、リニアエンコーダ又は容量センサ）の助けにより、基板テーブルＷＴａ／ＷＴｂを、例えば、様々なターゲット部分Ｃを放射ビームＢの経路に位置決めするように正確に移動できる。同様に、第１の位置決めデバイスＰＭと別の位置センサ（図１には明示されていない）を用いて、マスクライブラリからの機械的な取り出し後又はスキャン中などに放射ビームＢの経路に対してマスクＭＡを正確に位置決めできる。一般に、マスクテーブルＭＴの移動は、第１の位置決めデバイスＰＭの部分を形成するロングストロークモジュール（粗動位置決め）及びショートストロークモジュール（微動位置決め）の助けにより実現できる。同様に、基板テーブルＷＴａ／ＷＴｂの移動は、第２のポジショナＰＷの部分を形成するロングストロークモジュール及びショートストロークモジュールを用いて実現できる。ステッパの場合（スキャナとは対照的に）、マスクテーブルＭＴをショートストロークアクチュエータのみに接続するか、又は固定してもよい。マスクＭＡ及び基板Ｗは、マスクアライメントマークＭ１、Ｍ２及び基板アライメントマークＰ１、Ｐ２を使用して位置合わせすることができる。図示のような基板アライメントマークは専用のターゲット部分を占有するが、ターゲット

部分の間の空間に位置してもよい（スクライブレーンアライメントマークとして知られている）。同様に、マスクＭＡ上に複数のダイを設ける状況では、マスクアライメントマークをダイ間に配置してもよい。

【００２５】

[0024] 図示のリソグラフィ装置は、以下のモードのうち少なくとも１つにて使用可能である。

１．ステップモードにおいては、マスクテーブルＭＴ及び基板テーブルＷＴａ／ＷＴｂは、基本的に静止状態に維持される一方、放射ビームに与えたパターン全体が１回でターゲット部分Ｃに投影される（すなわち単一静的露光）。次に、別のターゲット部分Ｃを露光できるように、基板テーブルＷＴａ／ＷＴｂがＸ方向及び／又はＹ方向に移動される。ステップモードでは、露光フィールドの最大サイズによって、単一静的露光で像が形成されるターゲット部分Ｃのサイズが制限される。

２．スキャンモードにおいては、マスクテーブルＭＴ及び基板テーブルＷＴａ／ＷＴｂは同期的にスキャンされる一方、放射ビームに与えられるパターンがターゲット部分Ｃに投影される（すなわち単一動的露光）。マスクテーブルＭＴに対する基板テーブルＷＴａ／ＷＴｂの速度及び方向は、投影システムＰＳの拡大（縮小）及び像反転特性によって求めることができる。スキャンモードでは、露光フィールドの最大サイズによって、単一動的露光におけるターゲット部分の（非スキャン方向における）幅が制限され、スキャン動作の長さによってターゲット部分の（スキャン方向における）高さが決まる。

３．別のモードでは、マスクテーブルＭＴはプログラマブルパターニングデバイスを保持して基本的に静止状態に維持され、基板テーブルＷＴａ／ＷＴｂを移動又はスキャンさせながら、放射ビームに与えられたパターンをターゲット部分Ｃに投影する。このモードでは、一般にパルス状放射源を使用して、基板テーブルＷＴａ／ＷＴｂを移動させる毎に、又はスキャン中に連続する放射パルスの間で、プログラマブルパターニングデバイスを必要に応じて更新する。この動作モードは、以上で言及したようなタイプのプログラマブルミラーアレイなどのプログラマブルパターニングデバイスを使用するマスクレスリソグラフィに容易に適用できる。

【００２６】

[0025] 上述した使用モードの組合せ及び／又は変形、又は全く異なる使用モードも利用できる。

【００２７】

[0026] リソグラフィ装置ＬＡは、２つの基板テーブルＷＴａ及びＷＴｂと基板テーブルをその間で交換できる２つのステーション（露光ステーション及び測定ステーション）とを有するいわゆるデュアルステージタイプである。露光ステーションで一方の基板テーブル上の１つの基板が露光されている間に、測定ステーションで他方の基板テーブル上に別の基板を装着でき、したがって、様々な準備ステップを実行できる。準備ステップは、レベルセンサＬＳを用いた基板表面のマッピングと、アライメントセンサＡＳを用いた基板上のアライメントマーカの位置の測定とを含んでいてもよい。これによって装置のスループットが大幅に増大する。位置センサＩＦが基板テーブルが測定ステーション及び露光ステーションにあるときの基板テーブルの位置を測定できない場合、第２の位置センサを提供して両方のステーションで基板テーブルの位置の追跡を可能にすることができる。

【００２８】

[0027] この装置は、本明細書に記載する様々なアクチュエータ及びセンサのすべての移動及び測定を制御するリソグラフィ装置制御ユニットＬＡＣＵを含む。ＬＡＣＵは、また装置の動作に関連する所望の計算を実施する信号処理及びデータ処理能力を含む。実際、制御ユニットＬＡＣＵは、各々が装置内のサブシステム又はコンポーネントのリアルタイムデータ取得、処理及び制御を扱う多数のサブユニットのシステムとして実現されるであろう。例えば、１つの処理サブシステムを基板ポジショナＰＷのサーボ制御専用にしてもよい。別々のユニットを用いて粗動及び微動アクチュエータ、又は異なる軸を扱ってもよい。別のユニットを位置センサＩＦの読み出し専用にしてもよい。装置の全体の制御を上

記サブシステム処理ユニットと通信する中央制御ユニットによって実行させ、オペレータとその他の装置をリソグラフィ製造工程に従事させることができる。

【００２９】

[0028] 図２は、Ｘ位置及びＹ位置をそれぞれ測定する基板Ｗ上に提供されたアライメントマーク２０２、２０４の例を示す。この例の各々のマークは、基板に与えられるか又はエッチングされる製品層又はその他の層に形成される一連のバーを含む。Ｘ方向のマーク２０２上のバーはＹ軸に平行で、Ｙ方向のマーク２０４上のバーはＸ軸に平行である。アライメントセンサＡＳ（図１に示す）は、放射スポット２０６、２０８で各々のマークを光学的にスキャンして装置に対する基板Ｗの位置を測定する。スキャン運動は太い矢印で概略的に示され、スポット２０６又は２０８の漸進的位置が点線で示されている。アライメントパターン内のバーのピッチは、通常、基板上に形成される製品フィーチャのピッチよりもはるかに大きく、アライメントセンサＡＳは、基板にパターンを付与するのに使用される露光放射よりもはるかに長い放射波長（又は普通複数の波長）を使用する。しかし、多数のバーによって繰り返しパターンの位相を正確に測定できるため、微細位置情報を得ることができる。

【００３０】

[0029] 粗及び微細マークを提供でき、したがって、アライメントセンサはパターンのどの周期が所与の位置にあるか、またその周期内の正確な位置（位相）を計算できる。このために異なるピッチのマークを使用することができる。これらの技術も当業者には周知であり、本明細書では詳述しない。そのようなセンサの設計及び動作は当技術分野で周知であり、各々のリソグラフィ装置は専用に設計されたセンサを有する。本発明の説明では、アライメントセンサＡＳはＵＳ６，９６１，１１６号（den Boef）に記載の形態のアライメントシステムを備える。図２（ｂ）は、１回のスキャンＸ及びＹ位置が得られる同様のアライメントシステムと併用する改良されたマークを示す。マーク２１０は、Ｘ軸及びＹ軸の両方に対して４５度の角度に配置されたバーを有する。その内容が参照により本明細書に組み込まれている公開特許出願ＵＳ２００９１９５７６８Ａ号（Bijnen他）に記載されている技術を用いてこのＸ軸及びＹ軸方向の組合せ測定を実行できる。なお、ＵＳ’７６８は、Ｘ－Ｙアライメントマークが本出願で新しく提示されるマークにやや類似した、異なるピッチの部分を有する幾つかの実施形態を開示している。しかし、図２（ｂ）に示すより簡単なマークが商用実施形態で通常使用される形態であり、ＵＳ’７６８の実施形態の異なるピッチ間で観察できるモアレ効果は固定し、工程性能の尺度を提供しない。

【００３１】

[0030] 図３は、アライメントセンサＡＳの概略ブロック図である。照明源２２０は、対物レンズ２２４を通して基板Ｗ上に位置するマーク２０２などのマークに向けられる１つ又は複数の波長の放射ビーム２２２を提供する。図２に概略を示すように、上記のＵＳ６９６１１１６号に基づく本発明のアライメントセンサの例では、それによってマーク２０２が照明される照明スポット２０６は、マーク自体の幅よりも直径がわずかに小さくてもよい。

【００３２】

[0031] マーク２０２によって散乱された放射は対物レンズ２２４によって集められ、コリメートされて情報搬送ビーム２２６になる。自己参照型干渉計２２８は、ビーム２２６を処理し、センサアレイ２３０上に別々のビームを出力する。センサグリッド２３０内の個々のセンサからの強度信号２３２が処理ユニットＰＵに提供される。ブロック２２８内の光学処理とユニットＰＵ内の演算処理との組合せによって、センサに対する基板上のＸ及びＹ位置の値が出力される。処理ユニットＰＵは図１に示す制御ユニットＬＡＣＵとは別個のものであってもよく、又は設計選択及び便宜の問題として、同じ処理ハードウェアを共用していてもよい。ユニットＰＵが別個の場合、信号処理の一部がユニットＰＵ内で実行され、別の部分がユニットＬＡＣＵ内で実行されてもよい。

【００３３】

[0032] 上記のように、図示の特定の測定は、マークの１つのピッチに対応する一定範囲

内にマークの位置を固定する。これに関連して粗測定技術が使用され、正弦波のどの周期がマークされた位置を含む周期であるかが識別される。粗及び／又は微細レベルでの同じ工程を異なる周波数で繰り返して精度を高め、マークの製造材料又はマークの下の材料とは無関係にマークの検出を堅牢にすることができる。各波長を光学的に多重化及び多重分離して同時に処理できるようにし、及び／又は各波長を時分割多重化してもよい。本開示内の例は１つの波長での１回の測定のみについて述べているが、当業者であればその教示を拡張して局所区域的で堅牢な測定装置（アライメントセンサ）を提供するのに必要な変更を容易に理解できよう。

【００３４】

[0033] 測定工程を詳細に説明すると、図３のv_Wの標識を付けた矢印は、スポット２０６がマーク２０２の全長Ｌを横断するスキャン速度を示す。この例では、アライメントセンサＡＳとスポット２０６とは実際には静止しているが、速度v_Wで移動するのは基板Ｗである。よってアライメントセンサは堅固に且つ正確に基準フレームＲＦ（図１）に装着でき、基板Ｗの移動方向と逆の方向にマーク２０２を効率的にスキャンできる。基板は、この移動において基板テーブルＷＴ上への装着と基板位置決めシステムＰＷとによって制御される。最初に説明したように、高価なリソグラフィ装置に要求される高い生産性要件では、基板上の多数の位置のアライメントマークの測定をできるだけ迅速に実行することが要求される。これは、スキャン速度v_Wが高速で、各々のマーク位置の取得に使用できる時間T_{ACQ}がそれに応じて短いということを意味する。単純化した用語では、式$T_{ACQ}=L/v_W$が適用される。

【００３５】

[0034] 残念なことに、取得時間が短いため、測定位置ｘ及びｙの精度は低下する。これは測定工程自体が困難であるというだけでなく、取得時間が基板テーブルＷＴ及びその上に支持される基板Ｗの移動時の動的位置決めエラーを取り除くには短すぎるということにもよる。単純には振動と考えられ得るこれらの動的位置決めエラーは、当技術分野でＭＳＤエラー（ＭＳＤは移動標準偏差を表す）と呼ばれる。これらのＭＳＤエラーを除去するために、測定を繰り返して平均の結果を使用してもよいが、測定時間全体が増加するため、スループットを増大させるという目的にそぐわない。要するに、既知のタイプのスキャンアライメントセンサで達成可能な精度を制限する競合する要因が存在する。本明細書で開示される新規の構成では、スポット２０６がアライメントセンサと基準フレームに対してスキャン運動をする。したがって、動作全体を低速化することなく取得時間を延ばすことができる。この技術について以下に詳述する。

【００３６】

[0035] 図４に、好都合には上記と同じマークであるマーク２０２上の改良型アライメントセンサＡＳのスキャン動作の開始（ａ）と終了（ｂ）とを示す。マークの全長はここでもＬで、基板Ｗはここでも速度v_Wでアライメントセンサの下を移動する。しかし、この改良動作では、照明スポット４０６、又はより一般的には、スキャン動作中の任意の所与の瞬間にアライメントセンサによって読み出されるマーク２０２上の地点が速度v_{SPOT}で基準フレームＲＦに対して移動するよう制御される。このスポット速度v_{SPOT}は基板速度v_Wより幾分小さい。スポット４０６のこの光学スキャン運動の効果は、基板速度v_Wとスポット速度v_{SPOT}との間の差分であるスキャンの有効速度v_{EFF}が基板速度自体よりもはるかに小さいということである。したがって、取得時間$T_{ACQ}=L/v_{EFF}$は、全体スキャン速度の意味するところよりも長い。これによって、マーク２０２上の位置測定の精度が上がり、特に全体の測定時間を増加させることなくＭＳＤエラーを除去することができる。

【００３７】

[0036] 取得時間を長くすることの効果がどれだけ大きく達成可能か又は所望されるかに限界があることは当然である。これらの限界は第１に、スキャン運動全体をカバーするのに十分な幅の視界（ＦＯＶ，Field of View）を有する必要があり、また全スポット位置で一定の均一性、安定性及び／又は応答予測可能性を有する必要があるアライメントセン

サ光学システムの光学特性に依存する。図５を参照しながら実際の構成について説明する。

【００３８】

[0037] 図５は、その動作原理を図４を参照しながら上に図示し説明したスキャンスポットを実施する改良型アライメントセンサの光学システム５００を示す。光学システム５００は、上記の先行公開であるＵＳ６，９６１，１１６号に記載のシステムの改良版である。特に本出願に関連する第１の改良は、上記のスキャン照明スポットである。第２の改良は、とりわけ精度向上のためにアライメントマークのピッチの低減を可能にさせ、また、個別のスキャトロメータ装置ではなく、アライメントセンサでスキャトロメトリタイプの測定を実行できる、特定のセグメント化照明モードの使用である。上記のＵＳ２００９／１９５７６８号の開示に基づいてさらに改良を加えることができ、Ｘ及びＹ位置の同時測定が可能である。本説明の目的としては、位置測定は一方向のみとする。

【００３９】

[0038] 図３の概略図との比較を容易にするために、光学システム５００の幾つかの部品は図３で使用したのに類似する参照符号を付けているが、プレフィックスは「２」ではなく「５」である。したがって、光源５２０、照明ビーム５２２、対物レンズ５２４、情報搬送ビーム５２６、干渉計５２８及び検出器５３０ａ及び５３０ｂが示されている。これらの検出器からの信号５３２ａ及び５３２ｂは、下記の新規の特徴を適宜実施するために改良された処理ユニットＰＵによって処理される。幾つかの枝を有する光軸Ｏは、光学システム５００を通り抜ける破線によって示されている。この詳細概略図に示す追加のコンポーネントは以下の通りである。照明サブシステム５４０では、光源５２０からの放射が、光ファイバ５４２を介してレンズ５４４及び５４６を備える光学システムに進入する地点へ送達される。各々のレンズが単一の素子で概略的に示されている場合、実際の実施形態は現実には素子のグループを含んでもよく、又は反射光学素子が使用されてもよいことは当然である。レンズ５４４と５４６との間では、ビームは平行で、対物レンズ５２４の瞳面Ｐの逆投影である平面Ｐ’を通過する。この平面には、固定式又は構成可能な照明アパーチャ５４８が提供され、図５に示す対称のセグメント化照明パターンなどの特定の照明モードを可能にしている。ａ及びｂとラベル付けられた２つの直径方向に対向する象限がこのアパーチャパターン内では明るい（透明である）が、他方の２つの象限は暗い（不透明である）。このタイプのアパーチャは本発明者らの特許出願ＵＳ２０１０／２０１９６３号のスキャトロメトリ装置で既知である。この改良型照明アパーチャの利点は以下にされに説明される。固定ミラー５５０による回折とレンズ５５２によるコリメーションの後で、照明ビーム５２２は照明サブシステム５４０からビームスプリッタ５５４へ送達され、ビームスプリッタ５５４は既知の装置におけるのと同様、照明ビーム５２２を情報搬送ビーム５２６から分離する。

【００４０】

[0039] しかし、既知のアライメントセンサとは異なり、照明ビーム５２２と情報搬送ビーム５２６とは、直接対物レンズ５２４を通して基板Ｗまで固定した形で基板Ｗとの間を往復しない。むしろ、この改良型装置では、スキャンサブシステム５６０が対物レンズ５２４と光学システム５００の残りの部分との間に介在して、照明スポット５０６に基板Ｗ自体のスキャン運動に加えてスキャン運動を実施させる。このスキャン運動は、図４の概略図でスポット４０６について示す速度v_{SPOT}を持つ運動である。この実施形態のスキャンサブシステム５６０は、ビーム５２２及び５２６を小さい可変角度で偏向させる可動、具体的には傾斜ミラー５６２に基づいている。ミラー５６２は、ヒンジ点５６８で支持体５６６に接続されたアーム５６４上に装着されて、ある角度範囲内の所望の角度まで枢動する。ミラー５６２又はその支持体への機械的接触を有しない磁気アクチュエータなどのアクチュエータ５７０によって、ミラー５６２は所望の角度まで移動してスポット５０６をスキャン運動のための所望の位置まで移動させる。この実施形態では、アーム５６４とヒンジ点５６８は、以下に詳述する固有共振周波数を有する質量スプリング振動系を、ミラー５６２を用いて実施する。そのような実施形態では、アクチュエータ５７０は、

比較的明確な周波数でのミラーの平滑な揺動を引き起こすように、適当な周波数での極めてわずかなエネルギー入力のみを提供することができる。光学測定によって傾斜角を正確にモニタする傾斜センサ５７２が提供される。アクチュエータ５７０は、傾斜センサ５７２からの信号も受信し、位置決めサブシステムＰＷによる基板テーブルＷＴのスキャン運動を含む通常アライメントセンサの測定動作に同期したコントローラ（ユニットＰＵの一部であってもよい）の制御下にある。

【００４１】

[0040] スキャンサブシステム５６０について図６～図８を参照しながら以下に詳述する。情報搬送ビーム５２６の処理について説明すると、これはＵＳ６，９６１，１１６号の既知のアライメントセンサと同様に干渉計５２８内に進入する。干渉計５２８は、簡略化された２次元構成で示されているが、実際には上記先行特許に記載するようにプリズムとその他の素子の３次元構成を備える。同様に、干渉計の一部である偏光素子はここでは図を見やすくするために省略されている。自己参照型干渉計５２８の機能は、既知の例と同様、情報搬送ビーム５２６を受光し、それを２つの等しい部分に分割し、それらの部分を互いに１８０度回転させ、それらの部分を再度組み合わせて出射ビーム５８２を形成する。ビーム５８２は、検出サブシステム５８０へ誘導される。レンズ５８４及び５８６は、固定偏向ミラー５８８と共に、このビームを偏光ビームスプリッタ５９０を介して検出器５３０ａ及び５３０ｂへ送達する。

【００４２】

[0041] ビームスプリッタ５９０は、互いに逆相の２つの干渉パターンを生成する。したがって、干渉計５２８が検出器５３０ａ上の一地点で破壊的な干渉を生成すると、検出器５３０ｂの対応する地点に同時に建設的干渉が生成される。２つの検出器から信号を減算することで、共通モード強度雑音の影響を低減し、アライメントセンサから全体としてより高精度の出力を得ることができる。

【００４３】

[0042] 図３の既知のアライメントセンサでは、検出器２３０は基板Ｗの平面に対応する像平面に配置される一方、改良型光学システム５００内の検出器５３０ａ及び５３０ｂは対物レンズ５２４の瞳面Ｐと共役の平面Ｐ”内に配置されている。この例の各々の検出器５３０ａ及び５３０ｂは、画像センサ、例えばＣＣＤカメラセンサである。代替実施形態では、画像センサの代わりに個別の地点検出器を配備してもよい。いずれにせよ、平面Ｐ”の放射電磁界は基板の像ではなく、照明アパーチャ５４８と共役のマーク２０２の回折スペクトルである。このタイプの検出システムでは、マーク２０２の位置情報を得るのに必要なアライメント信号は依然として取得可能であるが、さらに、検出器５３０ａ及び５３０ｂによって検出される瞳面の像を用いて基板Ｗ上のマーク又はその他の特徴の追加の特徴を解析してスキャトロメトリを実行できる。例えば、アライメント及び／又はオーバレイターゲットの対称性を解析でき、それによって例えばデバイス層間のオーバレイエラーの測定が容易になる。別個の装置ではなくアライメントセンサを用いてターゲットの対称性を測定することの利益は、アライメントセンサとオーバレイ測定装置との間の位置決めエラーが解消されるということである。

【００４４】

[0043] アパーチャ５４８によって提供される照明パターンが図５でａ及びｂとラベルされた明るい象限を有する一方で、アライメントマーク２０２のラインによる所与の方向の回折から発生する回折パターンが５４８’のパターンによって表されている。このパターンでは、a_0及びb_0とラベル付けられたゼロ次反射に加えて、a_{-1}、a_{+1}、b_{-1}及びb_{+1}とラベル付けられた可視１次回折信号が存在する。照明アパーチャのその他の象限は暗いため、またより一般的には照明パターンが１８０°回転対称を有するため、回折次数a_{-1}及びb_{+1}は「フリー」(“free”)状態である。これは、それらの次数がゼロ次数又は照明アパーチャの他の部分からの高次信号と重ならないということを意味する。セグメント化された照明パターンのこの特性を活用して、従来の円形対称照明アパーチャを使用した場合に結像可能な最小ピッチの半分のピッチを有する回折格子（アライメン

トマーク）から明瞭な１次信号を得ることができる。この回折パターン５４８’とそれをスキャトロメトリに活用できる方法が、既知の出願ＵＳ２０１０／２０１９６３号に記載されている。アライメントセンサ光学システム５００の干渉計５２８では、図５に示され５４８”とラベル付けられた回折パターン５４８’の回転コピーも形成され、パターン５４８’と混合される。これらのパターンは、アライメントマーク２０２のスキャン中に互いに干渉して、位置信号を提供する。

【００４５】

[0044] スキャンサブシステム５６０に関して、ここに示す特定の形態のスキャンサブシステムは、以下に説明する幾つかの有利な特徴を有する。

【００４６】

[0045] 図５及び図６に示すように、傾斜ミラー５６２の取付のジオメトリは、枢動ポイント５６８が対物レンズ５２４の瞳面Ｐと同じ平面内に位置する。ミラー５６２の前後の傾斜は、ビーム５２２が対物レンズ５２４に進入するビームの方向の偏向を引き起こし、その結果、所望の速度v_{SPOT}でのスポット５０６の前後のスキャン運動が実行される。より具体的には、ミラー５６２はミラーの本体内にはなく、ミラー５６２の平面と対物レンズ５２４の瞳面Ｐとが交差する線内の、又はその付近の軸を中心に傾斜するように装着される。背景として、逆投影された平面Ｐ’の照明アパーチャが移動することなく、照明スポット５０６を形成する光線の方向が移動してスキャン速度v_{SPOT}を実施することが望ましい。例えば、傾斜ミラーが一般にそうであるように、ミラー５６２がその中心軸を中心に傾斜した場合、照明源は逆投影された瞳面Ｐ’内を前後に移動し、基板上の照明スポットの平均入射角が変動することになるであろう。

【００４７】

[0046] 基板上の正常な入射角を維持することでアライメントの精度が向上する。これを達成するための従来の解決策は、光学システムの共役瞳面内に傾斜ミラーを配置して、照明スポット又は視界のスキャン運動を達成することであろう。しかし、ここに示すアライメントセンサなどの実際の装置では、市販の対物レンズ５２４は、通常、小型で自立型のサブアセンブリ内に収容され、傾斜ミラー又はその他の可動素子を介在させるスペースは瞳面Ｐ内には存在しない。瞳面内に傾斜ミラーを含むようにカスタム設計アセンブリを作ることができ、又は追加の光学素子を提供して光学経路内の混雑していない地点に共役瞳面を生成できるが、アセンブリのコストは以前よりもはるかに高くなり、精度が低下する可能性がある。

【００４８】

[0047] 図６を参照すると、光線５２２及びミラー表面５６２のジオメトリが、第１にミラーの中央又は中間位置（５６２（０）とラベルされている）に関して、次に対物レンズ５２４の瞳面Ｐと同じ平面にある枢動ポイント５６８を中心に回転するミラーが入射波５２２から角度θだけ離れて傾いた偏向位置５６２（θ）に関して、示されている。この例でのミラーの静止位置は、瞳面と入射光線の方向に対して４５°である。角移動θが一方向に示されている一方、同じ運動を逆方向に（光線５２２の光源のより近くに）ミラーに付与してもよい。これは、ミラー５６２が角度範囲θだけ前後に揺れ動いているからである。破線の円内の拡大図は、光線５２２が静止位置及び偏向位置のミラー５６２によって反射する領域内のジオメトリを示す。実際の実施形態でミラーが偏向する角度範囲θは数ミリラド又は数十ミリラド程度であってもよく、ミラーの傾斜によって引き起こされる光学経路の変化を計算するときに「微小角近似」(“small angle approximation”)を適用できる。図に示すように、瞳面Ｐ及び入射光線５２２の経路は距離Ｄだけ離間しているが、ミラー５６２のデフォルト位置は光線５２２を直角に偏向させる４５°である。ミラーが角度θ傾斜するとき、偏向した光線５２２’は角度２θ傾斜するが、ミラーとの交差点も距離２θＤ左に移動する。したがって、偏向した光線５２２が瞳面Ｐと交差する地点６００は、少なくともほぼ、ミラーの傾斜角θから独立している。このことから、照明アパーチャ５４８の有効位置は変化しないが、光線の方向、したがって照明スポット５０６の位置は角度θに応じて前後に移動する。（線速度v_{SPOT}は対物レンズ５２４の倍率掛

ける角度２θに関連する。）この例のミラーの中央位置は４５°であるが、同じ基本ジオメトリで別の角度も可能であり、そのため光学コンポーネントのレイアウトの柔軟性が拡大する。しかし、４５°の場合には、地点６００の小さい移動に対して最大傾斜範囲を提供するので有利である。

【００４９】

[0048] 同じ幾何学的構成を適用して光学システム内に傾斜ミラーを具備させ、リソグラフィ装置のアライメントセンサ以外の用途のためのスキャン運動を実施することができる。この一例は例えば共焦顕微鏡である。ミラーがミラー表面の平面と光学システムの瞳面との交点に沿った軸を中心に傾斜するように構成される簡単な原理を適用して、様々な用途範囲で非可動式照明の利益を得ることができ、またこの原理を別の請求項にすることができる。

【００５０】

[0049] 図７は、例示的実施形態での時間ｔにわたるミラー５６２の傾斜角θの変化を表す正弦曲線７００を示す。トレース７００は、上述したように、傾斜角５６２とその取付物が共振振動子として駆動されるため、通常、正弦形状を持つ。言い換えれば、ミラーは単振動(simple harmonic motion)で傾斜する。ミラーの揺動の期間はT_{OSC}とラベル付けられ、揺動の角度θで表す振幅はθ_{OSC}である。この駆動モードの利点は、最小のエネルギー入力を必要とし、したがって、アクチュエータとミラー機構内の最小の熱放散を必要とするということである。この駆動モードの欠点は、所望の速度と方向のスキャン運動、が特定の間隔で、且つ運動の限られた直線性しか伴わずに実行されるということである。しかし、このミラーの揺動を基板Ｗにわたる一連のアライメントマーク２０２のスキャン中に基板が移動する方法と同期化させる処理を含む測定工程の慎重な設計によって、アライメントマーク位置の測定を図７にてＭ１、Ｍ２、Ｍ３とラベルされた期間実行できるようにミラー揺動の周期を選択できる。これらは、ミラーの運動、及びよってアライメントマーク２０２に沿ったスポット５０６の運動が比較的直線的で予測可能であるトレース７００の部分である。スキャン測定が実行される角度範囲はθ_Mとラベルされ、スポット５０６のスキャン運動を用いて１回又は複数回の測定を実行できる時間ウィンドウはT_Mとラベルされている。装置は、この期間中に１つのアライメントマークを測定する動作に限定されず、基板Ｗ上のその位置と基板テーブルＷＴ上の基板の運動とに応じて、幾つかのマークを測定できる。

【００５１】

[0050] 図８は、傾斜センサ５７２の構造と動作原理を概略的に示す。図５に関連して述べたように、傾斜センサは、常時、傾斜５６２の正確な測定値を提供するために提供される。この測定値は、ユニットＰＵ又はその他のコントローラによって、スキャン運動、アクチュエータ５７０による駆動、測定期間Ｍ１、Ｍ２、Ｍ３などにおける非直線性の補正及び適宜その他の測定を必要に応じて制御し同期化するために、用いられることができる。この例では、傾斜センサ５７２は、周知の位相格子検出器に基づいている。放射源８０２からの放射ビーム８００は、ピッチP_{IN}を有する第１の位相格子によって回折させられる。図で＋１及び－１とラベル付けられた１次光線だけが任意の強度で伝送されるように、位相格子を使用できる。これらの光線は、図示のように発散している。傾斜センサ光学システム８０６は光線が平行になるようにコリメートし、したがって、＋１次及び－１次光線は距離ｄだけ離間した別個の地点でミラー５６２の表面に入射する。（例えば、この距離ｄは数ミリメートル程度であってもよい。）回折した光線は光学システム８０６を通して反射し、検出格子８０８上に合焦する。検出格子８０８は、入力格子８０４のピッチの半分のピッチP_{det}を有する。ミラー５６２内の傾斜角は、＋１及び－１回折次数について異なる経路長を生じさせ、これは、それらが格子８０８で再度結合されるときにそれらの位相に影響する。検出器８１０は、検出格子８０８を通過する回折放射を受光する。ミラーが一方向、次に他の方向に傾斜すると、８１０で検出される放射強度の急速な変動は、傾斜角の微小な変動のカウントを可能ならしめる。これらの変動をカウントする（フリンジカウント）ことで、比較的広範囲の傾斜角にわたって傾斜の極めて高い解像度

の測定値を得ることができる。傾斜角の絶対的知識を得るために、幾つかの異なる格子システム８０４、８０８及び検出器８１０をピッチを変えて並列に提供することができる。この曖昧性解消方法は当業者には周知であり、詳細な説明は割愛する。

【００５２】

代替実施形態

[0051] 例示的実施形態の検出器５３０ａ及び５３０ｂはその領域にわたってピクセルを有する画像センサとして記述されているが、検出器が瞳像平面Ｐ”の一定の地点にだけ提供される代替実施形態も可能である。特に、１次回折照明が予想される周辺位置に数個の検出器を配置することでアライメント信号を入手できる。瞳像の周辺全体に一組の検出器を離間させることができ、マーク２０２がＸ方向かＹ方向か、又は図２（ｂ）に示すタイプのＸ－Ｙマークかに従って、位置測定値生成を処理する実行するために適当な検出器からの信号を選択することができる。

【００５３】

[0052] 図９は、スキャンスポット９０６を用いるアライメントセンサの代替実施態様を示す。センサ光学システム９００は、図３～図５に示すセンサとは異なる機構に基づく。光源９２０は、ファイバ９４２を介してアライメントセンサ光学システムに結合している。傾斜ミラー９６２を含むスキャン照明システム９６０は、スキャン照明光線９２２をスポット９０６内、及びターゲットアライメントマーク２０２上に送達するために使用される。マーク２０２は、他の実施形態同様、その最も簡単な形態で検出格子を備える。情報搬送ビーム９２６は、ビームスプリッタ９５４を介して照明ビーム９２２から分離される。マーク２０２によって回折した光はコリメートされ、対物レンズ９２４の共役瞳面Ｐ”は検出器のアレイ上に結像される。この例の検出器アレイは、検出器９８６、９８８へ通じる２つの光ファイバ９８２、９８４のみによって表される。実際の実施形態では、より多くのファイバ及び検出器を提供して、様々な状況での使用のために選択し及び／又は組み合わせるようにしてもよい。

【００５４】

[0053] 平面Ｐ”内の放射は互いに干渉する重畳回折次数を含む。アライメントマーク２０２が測定スポット９０６に対してスキャンされると、重畳次数の間の周期的強度変動が発生する。センサ９００の下の基板Ｗのスキャン運動と同期したスキャン運動でスポット９０６を移動させる傾斜ミラー９６２を用いることで、主として対物レンズ９２４の視界によって制約される、増加した取得時間を得ることができる。

【００５５】

[0054] この実施形態では、センサ光学システム９００内の基準ブランチ９７２を用いて傾斜が正確に測定される。この基準ブランチは基本的に検出サブシステム９８０のコピーであるが、アライメントマーク２０２は固定式の安定した基準格子９７４に置き換えられている。この例では、基準格子は透過型格子であるが、勿論反射型格子も使用できる。検出器９７６、９７８は、アライメントマーク２０２内の格子に対する測定スポットの位置を測定する。４つの検出器９７６、９７８、９８６、９８８からの情報を組み合わせることで、固定基準格子９７４に対するアライメントマーク２０２の位置を正確に測定できる。さらなる改良点として、白色光源９２０を使用し、検出器をスペクトロメータで置き換えることができる。これによって、高い測定スループットを維持しながらスペクトル分解情報が得られる。あるいは、光学システムハードウェア内で多重化又は多重分離された幾つかの個別の波長の光を使用できる。（同様の変更が図５～図８の実施形態でも考えられる。）

【００５６】

[0055] 図１０は、スキャンスポットを備えたアライメントセンサの代替実施態様を示す。この例では、アライメントセンサ光学システムは、干渉計１０２８を備える本体１００２に収容された固定部と、サブシャーシ１００４内に収容された可動部とに分割される。この例では、アライメントセンサ１０００の機能は図３及び図５の機能とほぼ同じであるが、照明スポット１００６のスキャンは対物レンズ１０２４を可動サブシャーシ１００４

内に収容することで達成される。光学システムの可動部と固定部への細分割によって、可動部の質量、したがって、潜在的な振動源、熱放散などをアライメントセンサ光学システム全体のそれよりも小さくすることができる。可動部は板ばねによって固定部に接続してもよく、圧電又はローレンツアクチュエータなどのアクチュエータを用いてサブシャーシ１００４を所望のスキャン速度V_{SPOT}で移動させることができる。

【００５７】

[0056] 別の代替実施形態と同様、センサ１０００の固定部に対する可動部の正確な位置を認識し制御することは重要になっている。したがって、リソグラフィ装置の基準フレームＲＦに接続された固定シャーシ１００２に対する可動サブシャーシ１００４の自然平行移動(“natural translation”)とスプリアス回転(“spurious rotation”)とを測定し制御する幾つかの位置エンコーダが提供される（図１）。図５に示す特別のセグメント化照明アパーチャは、この実施形態では特に有用になることに留意されたい。これは、図３の既知のアライメントセンサの一部であるゼロ次ストップの正確な位置決めを維持する必要がないからである。

【００５８】

[0057] 当業者であれば、本発明の範囲を逸脱することなく上記の各実施形態の多数の修正及び変更を容易に思い付くであろう。上記のように、例えば、図示のアライメントセンサを図２（ｂ）のマークと併用するように構成させてＸ及びＹ方向の位置情報を同時に入手することができる。そのような実施形態でセグメント化照明アパーチャ５４８を使用したい場合、マーク２１０（図２（ｂ））の格子線が４５°に配置されているのと同様に、明るいセグメントａ及びｂがＸ及びＹ軸の両方に対して４５°の角度をなすように照明アパーチャ５４８を回転させる必要がある。

【００５９】

[0058] この簡単な例では、揺動ミラー５６２はスポットを一方向にしか移動させず、マークの一方向だけが低減された有効速度でスキャンできる。２次元スキャンを所望する場合、直交する枢動軸を備えた２つの別々のミラーか、又は２つの直交枢動軸の周囲で傾斜可能な１つのミラーを使用できる。当業者であれば、いずれかの方法でこの例を２次元にまで拡張できる。

【００６０】

[0059] 冒頭部分などで述べたように、スキャン照明スポット４０６、５０６などを備えたアライメントセンサの文脈で開示されたある特定の特徴を他の用途で独立して使用できる。図５の実施形態の特徴である共役瞳面内の検出と組み合わせたセグメント化アパーチャを、スキャンサブシステム５６０を用いずに、アライメントセンサで使用してもよい。上述したように、そのようなアパーチャの使用によって、アライメントマーク内でより高密度の格子線を使用でき、位置精度を高め、及び／又はマークが必要とする基板領域を低減する可能性が生まれる。

【００６１】

[0060] 同様に、枢動軸が変位されてミラーとこのミラーが使用される光学システムの瞳面と同じ平面に位置する揺動ミラーの提供は、照明源の見かけ上の位置を動かすことなく、基板平面内で照明スポットを偏向させることができる。

【００６２】

[0061] アライメントセンサを制御する処理ユニットＰＵは、検出した信号を処理し、これらの信号からリソグラフィパターニング工程を制御する際に使用するのに好適な位置測定値を計算し、詳述はしないがある種のコンピュータアセンブリを一般に含むことを理解されたい。コンピュータアセンブリは装置外部の専用コンピュータであってもよく、アライメントセンサ専用の１つ又は複数の処理ユニットであってもよく、又は、リソグラフィ装置全体を制御する中央制御ユニットＬＡＣＵであってもよい。コンピュータアセンブリは、コンピュータ実行可能コードを含むコンピュータプログラムプロダクトを読み込むように構成されていてもよい。これによって、コンピュータプログラムプロダクトがダウンロードされると、コンピュータアセンブリはリソグラフィ装置とアライメントセンサＡＳ

の上記併用を制御することができる。

【００６３】

[0062] 本文ではＩＣの製造におけるリソグラフィ装置の使用に特に言及しているが、本明細書で説明するリソグラフィ装置には他の用途もあることを理解されたい。例えば、これは、集積光学システム、磁気ドメインメモリ用誘導及び検出パターン、フラットパネルディスプレイ、液晶ディスプレイ（ＬＣＤ）、薄膜磁気ヘッドなどの製造である。こうした代替的な用途に照らして、本明細書で「ウェーハ」又は「ダイ」という用語を使用している場合、それぞれ、「基板」又は「ターゲット部分」という、より一般的な用語と同義と見なしてよいことが、当業者には認識される。本明細書に述べている基板は、露光前又は露光後に、例えばトラック（通常はレジストの層を基板に塗布し、露光したレジストを現像するツール）、メトロロジーツール及び／又はインスペクションツールで処理することができる。適宜、本明細書の開示は、以上及びその他の基板処理ツールに適用することができる。さらに基板は、例えば多層ＩＣを生成するために、複数回処理することができ、したがって本明細書で使用する基板という用語は、既に複数の処理済み層を含む基板も指すことができる。

【００６４】

[0063] 光リソグラフィの分野での本発明の実施形態の使用に特に言及してきたが、本発明は文脈によってはその他の分野、例えばインプリントリソグラフィでも使用することができ、光リソグラフィに限定されないことを理解されたい。インプリントリソグラフィでは、パターニングデバイス内のトポグラフィが基板上に作成されたパターンを画定する。パターニングデバイスのトポグラフィは基板に供給されたレジスト層内に刻印され、電磁放射、熱、圧力又はそれらの組合せを印加することでレジストは硬化する。パターニングデバイスはレジストから取り除かれ、レジストが硬化すると、内部にパターンが残される。

【００６５】

[0064] 本明細書で使用する「放射」及び「ビーム」という用語は、イオンビーム又は電子ビームなどの粒子ビームのみならず、紫外線（ＵＶ）放射（例えば、３６５ｎｍ、２４８ｎｍ、１９３ｎｍ、１５７ｎｍ若しくは１２６ｎｍ、又はこれら辺りの波長を有する）及び極端紫外線（ＥＵＶ）放射（例えば、５ｎｍ～２０ｎｍの範囲の波長を有する）を含むあらゆるタイプの電磁放射を網羅する。

【００６６】

[0065] 「レンズ」という用語は、状況が許せば、屈折型、反射型、磁気型、電磁型及び静電型光学コンポーネントを含む様々なタイプの光学コンポーネントのいずれか一つ、又はその組合せを指すことができる。

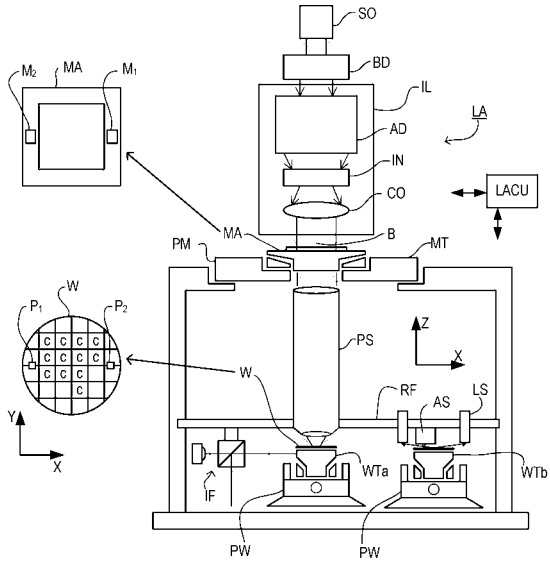
【００６７】

[0066] 以上、本発明の特定の実施形態を説明したが、説明とは異なる方法でも本発明を実践できることが理解される。例えば、本発明は、上記で開示したような方法を述べる機械読み取り式命令の１つ又は複数のシーケンスを含むコンピュータプログラム、又はこのようなコンピュータプログラムを内部に記憶したデータ記憶媒体（例えば半導体メモリ、磁気又は光ディスク）の形態をとることができる。

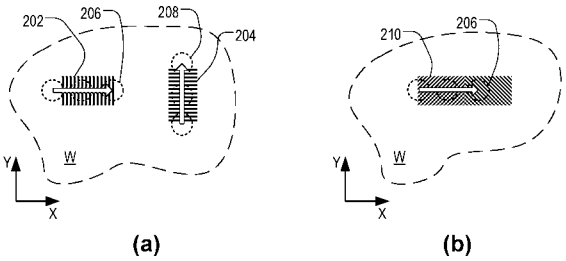
【００６８】

[0067] 上記の説明は例示的であり、限定的ではない。それ故、添付の特許請求の範囲から逸脱することなく、記載されたような本発明を変更できることが当業者には明白である。

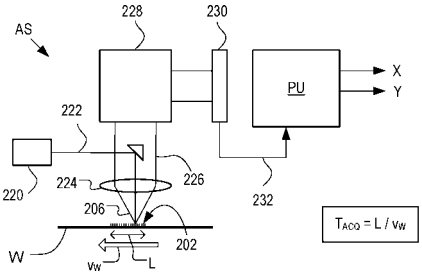
【図１】



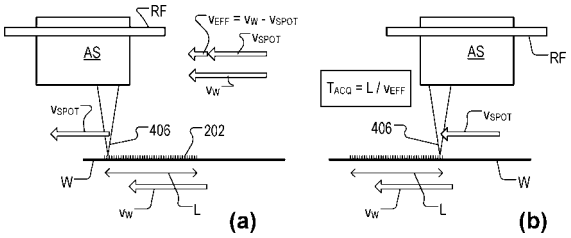
【図２】



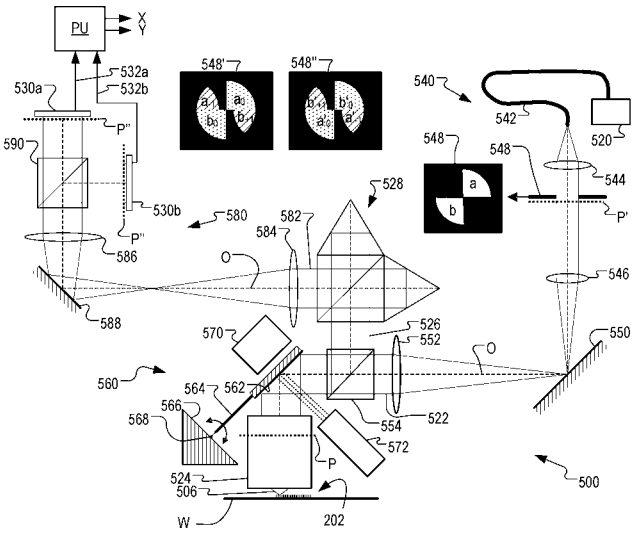
【図３】



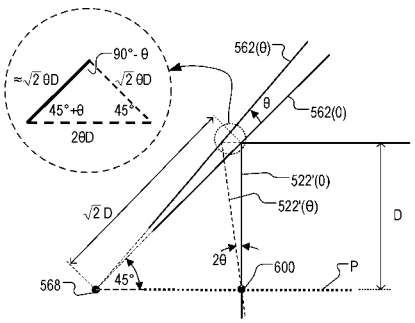
【図４】



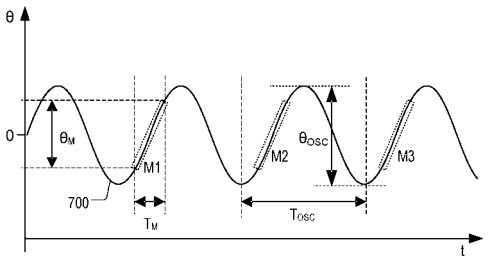
【図５】



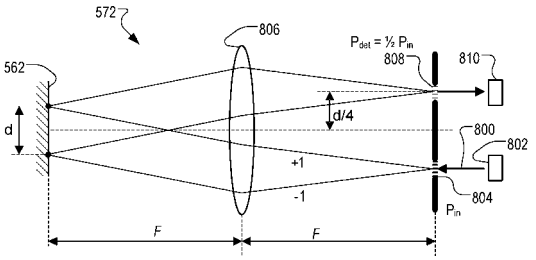
【図６】



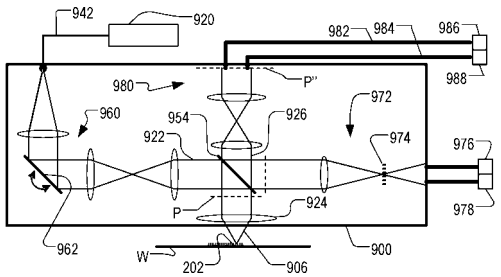
【図７】



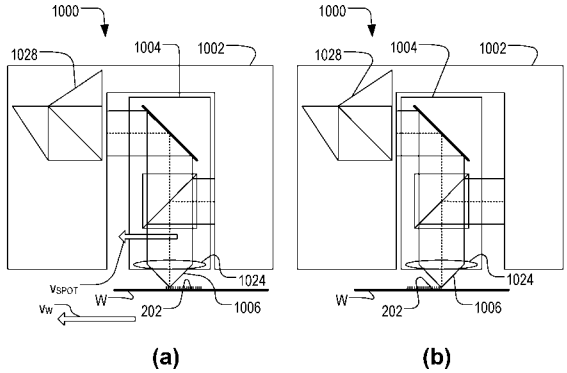
【図８】



【図９】



【図１０】


1000
1028
1004
1002
1024
VSPOT
W
202
VW
1006
(a)
1000
1028
1004
1002
1024
W
202
1006
(b)

フロントページの続き

(72)発明者　ビームス，マーセル，ヘンドリカス，マリア
オランダ国，ヴェルトホーフェン　エヌエル－５５０８　イーケイ，ランセルバーグ　３７
(72)発明者　カデー，セオドルス，ペトルス，マリア
オランダ国，フリーデン　エヌエル－５７５６　ビージェイ，バイズ　バロットストラート　１４
(72)発明者　ラファーレ，レイモンド，ウィルヘルムス，ルイス
オランダ国，ヘルモント　エヌエル－５６０７　ジェイエス，ミデレルセルフ　４

Ｆターム(参考) 5F146 FA04　FC04

【外国語明細書】
2012191177000001.pdf