

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5732257号
(P5732257)

(45) 発行日 平成27年6月10日(2015.6.10)

(24) 登録日 平成27年4月17日(2015.4.17)

(51) Int.Cl.	F I
HO 1 L 21/027 (2006.01)	HO 1 L 21/30 5 3 1 A
GO 3 F 7/20 (2006.01)	HO 1 L 21/30 5 1 5 D
	HO 1 L 21/30 5 1 6 E
	GO 3 F 7/20 5 2 1

請求項の数 15 外国語出願 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2011-1569 (P2011-1569)	(73) 特許権者	504151804 エーエスエムエル ネザーランズ ビー. ブイ. オランダ国 ヴェルトホーフエン 550 O エーエイチ, ビー. オー. ボックス 324
(22) 出願日	平成23年1月7日(2011.1.7)	(74) 代理人	100079108 弁理士 稲葉 良幸
(65) 公開番号	特開2011-146703 (P2011-146703A)	(74) 代理人	100109346 弁理士 大貫 敏史
(43) 公開日	平成23年7月28日(2011.7.28)	(72) 発明者	ループストラ, エリック, ルーロフ オランダ国, アイントホーフエン エヌエ ル-5613 イーエス, ラーケンストラ ート 32-34
審査請求日	平成26年1月6日(2014.1.6)		
(31) 優先権主張番号	61/295,294		
(32) 優先日	平成22年1月15日(2010.1.15)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		
(31) 優先権主張番号	61/309,565		
(32) 優先日	平成22年3月2日(2010.3.2)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 リソグラフィ装置、デバイス製造方法およびコンピュータ読取可能媒体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

放射ビームを調整し、前記放射ビームをパターンニングデバイス上に誘導し、かつ前記パターンニングデバイスからのパターンを基板上に投影する光学システムを含むリソグラフィ装置であって、

前記光学システムは、反射面の裏面に設けられた突起を備えるリフレクタと、前記リフレクタの前記突起を冷却するクーラおよび前記リフレクタの前記突起を加熱するヒータを含む熱アクチュエータとを含み、

前記リソグラフィ装置は、前記リフレクタに力を加えるために、前記リフレクタの前記突起に加えられる加熱および冷却の相対量を変更するために前記熱アクチュエータを制御する制御システムを有する、リソグラフィ装置。

【請求項 2】

前記突起は細長いリッジまたはブリッジである、請求項 1 に記載のリソグラフィ装置。

【請求項 3】

前記突起は、前記リフレクタの基板または本体と一体的に形成されている、請求項 1 または 2 に記載のリソグラフィ装置。

【請求項 4】

前記リフレクタの前記突起は、前記リフレクタの前記突起の熱膨張係数より高い熱膨張係数を有する材料層がその上に設けられている、請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載のリソグラフィ装置。

10

20

【請求項 5】

前記クーラは前記リフレクタと機械的接触していない、請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載のリソグラフィ装置。

【請求項 6】

前記熱アクチュエータは、前記リフレクタに対する前記クーラの位置を調節する位置決めデバイスを含む、請求項 5 に記載のリソグラフィ装置。

【請求項 7】

前記熱アクチュエータは、前記リフレクタに対する前記クーラの前記位置を検出する位置センサおよび前記リフレクタに対して一定の位置を維持するために前記位置決めデバイスを制御する位置制御システムをさらに含む、請求項 6 に記載のリソグラフィ装置。

10

【請求項 8】

前記ヒータは放射ヒータである、請求項 1 ~ 7 のいずれかに記載のリソグラフィ装置。

【請求項 9】

前記ヒータは前記リフレクタの前記突起と熱接触する抵抗電気(resistive electrical)ヒータを含む、請求項 1 ~ 8 のいずれかに記載のリソグラフィ装置。

【請求項 10】

前記ヒータは前記クーラと熱接触する抵抗電気ヒータを含む、請求項 1 ~ 9 のいずれかに記載のリソグラフィ装置。

【請求項 11】

前記ヒータは前記クーラと熱接触するペルティエ素子を含む、請求項 1 ~ 7 のいずれかに記載のリソグラフィ装置。

20

【請求項 12】

デバイスを製造するリソグラフィ方法であって、前記方法は、放射ビームを調整し、前記放射ビームをパターンングデバイス上に誘導し、かつ前記パターンングデバイスからのパターンを基板上に投影するために光学システムを使用することを含み、

前記光学システムは、反射面の裏面に設けられた突起を備えるリフレクタと、前記リフレクタの前記突起を冷却するクーラおよび前記リフレクタの前記突起を加熱するヒータを含む熱アクチュエータとを含み、

前記放射ビームは前記リフレクタの反射面を通り抜け、前記方法は、

前記リフレクタの前記突起を加熱することと、

前記リフレクタの前記突起を冷却することと、

前記突起の前記加熱および/または前記突起の前記冷却の比率を調節して前記突起の温度を変化させ、かつ前記リフレクタに力を及ぼして前記反射面の形状を変化させることを含む、方法。

30

【請求項 13】

前記調節は、前記反射面の不均一な加熱に起因する、予想される又は測定された前記反射面の形状の変化に応じて実行され、前記リフレクタへ及ぼす力は、不均一な加熱に起因する形状の変化を少なくとも改善するのに効果的である、
請求項 12 に記載の方法。

【請求項 14】

放射ビームを調整し、前記放射ビームをパターンングデバイス上に誘導し、かつ前記パターンングデバイスからのパターンを基板上に投影する光学システムを含むリソグラフィ装置を制御するための命令を記憶するコンピュータ読取可能メモリを含むコンピュータ読取可能媒体であって、前記光学システムは、反射面の裏面に設けられた突起を備えるリフレクタと、前記リフレクタの前記突起を冷却するクーラおよび前記リフレクタの前記突起を加熱するヒータを含む熱アクチュエータとを含み、
前記命令は、

40

前記突起の前記加熱および/または前記突起の前記冷却の比率を調節して前記突起の温度を変化させ、かつ前記リフレクタに力を及ぼして反射面の形状を変化させることを含む方法を実行するために効果的である、コンピュータ読取可能媒体。

50

【請求項 15】

反射面の裏面に設けられた突起を備えるリフレクタと、
前記リフレクタの前記突起を冷却するクーラおよび前記リフレクタの前記突起を加熱するヒータを含む熱アクチュエータと、

前記リフレクタに力を加えるために、前記リフレクタの前記突起に加えられる加熱および冷却の相対量を変更するために前記熱アクチュエータを制御する制御システムと、
を有する、放射源コレクタモジュール。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

[0001] 本発明は、リソグラフィ装置およびデバイスを製造する方法に関する。

【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上、通常、基板のターゲット部分上に付与する機械である。リソグラフィ装置は、例えば、集積回路（IC）の製造に用いることができる。その場合、ICの個々の層上に形成される回路パターンを生成するために、マスクまたはレチクルとも呼ばれるパターンニングデバイスを用いることができる。このパターンは、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、ダイの一部、または1つ以上のダイを含む）に転写することができる。通常、パターンの転写は、基板上に設けられた放射感応性材料（レジスト）層上への結像によって行われる。一般には、単一の基板が、連続的にパターンニングさ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。

【0003】

[0003] リソグラフィは、ICや他のデバイスおよび/または構造の製造における重要なステップの1つとして広く認識されている。しかしながら、リソグラフィを使用して作られるフィーチャの寸法が小さくなるにつれ、リソグラフィは、小型ICあるいは他のデバイスおよび/または構造を製造できるようにするための最も重要な要因になりつつある。

【0004】

[0004] パターンプリンティングの限界の理論的な推測は、式（1）で示される解像度についてのレイリー基準によって与えられ得る：

【数1】

$$CD = k_1 * \frac{\lambda}{NA} \quad (1)$$

上の式で、 λ は、使用される放射の波長であり、NAは、パターンを印刷するために使用される投影システムの開口数である。k1は、レイリー定数とも呼ばれているプロセス依存調整係数であり、CDは、プリントされたフィーチャのフィーチャサイズ（またはクリティカルディメンジョン）である。式（1）から、フィーチャの最小印刷可能サイズの縮小は、3つの方法：露光波長を短くすることによって、開口数NAを大きくすることによって、あるいはk1の値を小さくすることによって達成することができる、と言える。

【0005】

[0005] 露光波長を縮小するため、したがって、最小印刷可能サイズを縮小させるためには、極端紫外線（EUV）放射原を使用することが提案されている。EUV放射は、10～20nmの範囲内、例えば13～14nmの範囲内の波長を有する電磁放射である。さらに、10nmより小さい波長、例えば6.7nmまたは6.8nmといったように5～10nmの範囲内の波長を有するEUV放射が使用されてもよいことが提案されている。このような放射を極端紫外線または軟X線と呼ぶことがある。可能な放射源としては、例えば、レーザ生成プラズマ源、放電プラズマ源または電子蓄積リングによって提供されるシンクロトロン放射に基づく放射源が挙げられる。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 6 】

[0006] E U V放射は、プラズマを用いて生成することができる。E U V放射を生成するための放射システムは、プラズマを提供するために燃料を励起するレーザと、プラズマを収容する放射源コレクタモジュールを含んでよい。プラズマは、例えば、適切な材料(例えば、スズ)の粒子などの燃料にレーザビームを向けることによって、あるいはXeガスまたはLi蒸気などの適切なガスまたは蒸気の流れにレーザビームを向けることによって生成することができる。結果として生じるプラズマは、放射、例えばE U V放射を放出し、これは、放射コレクタを用いて集光される。放射コレクタは、放射を受けてその放射をビームへと集束させるミラー(mirrored)法線入射放射コレクタであってよい。放射源コレクタモジュールは、プラズマを支持するために真空環境を提供するように構成された筐体構造またはチャンバを含んでよい。そのような放射システムを、一般的にレーザ生成プラズマ(L P P)源と呼ぶ。

10

【 0 0 0 7 】

[0007] E U Vを投影ビームとして用いるリソグラフィ装置では、E U Vを透過する適切な材料がないため、照明ビームを成形するかまたはパターン付けしたビームを基板上に投影するために透過型光学要素を使用することはできない。したがって、E U V放射用の公知の照明および投影システムは、かすめ入射ミラーまたは法線入射多層ミラー(ブラッグリフレクタとしても知られている)のいずれかであるリフレクタを含む。このタイプのミラーは、各リフレクタによってかなりの量のエネルギーが吸収されるように100%よりかなり低い反射率を有する。多くのリフレクタにおいては、ビーム強度はリフレクタにわたって均一に分配されず、リフレクタの不均一な加熱に繋がる。リフレクタの基板は、非常に低い熱膨張係数(C T E)を有する、Z e r o d u r(登録商標)またはU L E(登録商標)などの材料からなり得るが、不均一な加熱はリフレクタの基板および反射面の望ましくない歪曲(distortion)へと繋がり得る。

20

【 0 0 0 8 】

[0008] レンズ加熱として知られている類似の状態が、D U Vを露光放射として用いるリソグラフィ装置で起きる。温度制御されたガスによってレンズシステムをフラッシュすることによって能動冷却することと、レンズにおける均一な温度分布を確実にするためにビームによって加熱されていないレンズ部分を加熱することと、レンズの端に設置されたローレンツ・アクチュエータを用いてレンズを機械的に歪曲させることを含む、D U Vリソグラフィ装置におけるレンズ加熱に取り組む様々な方法が提案されてきた。しかしながら、これらの方法を容易にE U Vリフレクタに移すことはできない。E U V光学システムは真空中で維持されているため、リフレクタの反射面をガスで冷却することができない一方、裏面の能動冷却は温度変動を除去するのに効果的ではなく許容できない機械障害を導入し得る。リフレクタ上の均一な熱負荷を確実にするためにさらなる熱を加えることは、真空中で光学システムを冷却する困難性により望ましくない。利用可能であるアクチュエータは、一般的なE U Vリフレクタに十分な力を加えてその形状を修正することができないことが分かった。

30

【 発明の概要 】

【 0 0 0 9 】

[0009] 例えば放射ビームからの不均一な熱負荷にもかかわらず正確な表面形状を維持することが可能であるE U Vリフレクタを有するリソグラフィ装置を提供することが望ましい。

40

【 0 0 1 0 】

[0010] 本発明の一態様によると、放射ビームを調整し、放射ビームをパターンングデバイス上に誘導し、かつパターンングデバイスからのパターンを基板上に投影するように構成された光学システムを含むリソグラフィ装置が提供される。光学システムはリフレクタを有しており、リフレクタは、リフレクタの一部を冷却するように構成されたクーラおよびリフレクタの一部を加熱するように構成されたヒータを含む熱アクチュエータを含む。リソグラフィ装置は、リフレクタに力を加えるために、リフレクタの一部に加え

50

られる加熱および冷却の相対量を変更するために熱アクチュエータを制御するように構成された制御システムをさらに有する。

【0011】

【0011】 本発明の一態様によると、デバイスを製造するリソグラフィ方法が提供される。方法は、放射ビームを調整し、放射ビームをパターンングデバイス上に誘導し、かつパターンングデバイスからのパターンを基板上に投影するために光学システムを使用することを含む。光学システムはリフレクタを有しており、リフレクタは、リフレクタの一部分を冷却するように構成されたクーラおよびリフレクタの一部分を加熱するように構成されたヒータを含む熱アクチュエータを含む。光学システムの使用時、放射ビームはリフレクタの反射面を通り抜け、方法は、リフレクタの一部分を加熱することと、リフレクタの一部分を冷却することと、一部分の加熱および/または一部分の冷却の比率を調節して一部分の温度を変化させ、かつリフレクタに力を及ぼして反射面の形状を変化させることとを含む。

10

【0012】

【0012】 本発明の一態様によると、放射ビームを調整し、放射ビームをパターンングデバイス上に誘導し、かつパターンングデバイスからのパターンを基板上に投影するように構成された光学システムを含むリソグラフィ装置を制御するための命令を記憶するコンピュータ読取可能メモリを含むコンピュータ読取可能媒体が提供される。光学システムはリフレクタを有しており、リフレクタは、リフレクタの一部分を冷却するように構成されたクーラおよびリフレクタの一部分を加熱するように構成されたヒータを含む熱アクチュエータを含むリフレクタを有する。命令は、一部分の加熱および/または一部分の冷却の比率を調節して一部分の温度を変化させ、かつリフレクタに力を及ぼして反射面の形状を変化させることを含む方法を実行するために効果的であるように構成される。

20

【図面の簡単な説明】

【0013】

【0013】 本発明のいくつかの実施形態を、単なる例として、添付の概略図を参照して以下に説明する。これらの図面において同じ参照符号は対応する部分を示す。

【0014】

【図1】 【0014】 図1は、本発明の一実施形態によるリソグラフィ装置を示す。

【図2】 【0015】 図2は、図1の装置のより詳細な図である。

30

【図3】 【0016】 図3は、図1および図2の装置の放射源コレクタモジュールのより詳細な図である。

【図4】 【0017】 図4は、熱アクチュエータを示す、本発明の一実施形態によるリフレクタの一部分を示す。

【図5】 【0018】 図5は、本発明の一実施形態における別のリフレクタを示す。

【図6】 【0019】 図6は、本発明の一実施形態における制御システムを示す。

【図7】 【0020】 図7は、本発明の一実施形態によるリフレクタの一部分を示す。

【図8】 【0021】 図8は、本発明の一実施形態によるリフレクタの一部分を示す。

【発明を実施するための形態】

【0015】

40

図1は、本発明の一実施形態による放射源コレクタモジュールSOを含むリソグラフィ装置100を概略的に示す。このリソグラフィ装置は、放射ビームBを調整し、放射ビームBをパターンングデバイスMA上に誘導し、かつパターンングデバイスMAからのパターンを基板W上に投影するように構成された光学システムを含む。光学システムは、放射ビームB（例えば、EUV放射）を調整するように構成された照明システム（イルミネータ）ILと、パターンングデバイス（例えば、マスクまたはレチクル）MAを支持するように構成され、かつパターン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ポジションナPMに連結されたサポート構造（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成され、かつ基板を正確に位置決めするように構成された第2ポジションナPWに連結された基板テーブル（例えば、ウ

50

エーハテーブル) W T と、パターニングデバイス M A によって放射ビーム B に付けられたパターンを基板 W のターゲット部分 C (例えば、1つ以上のダイを含む) 上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) P S とを備える。

【0016】

[0022] 照明システムとしては、放射を誘導し、整形し、または制御するために、屈折型、反射型、磁気型、電磁型、静電型、またはその他のタイプの光コンポーネント、あるいはそれらのあらゆる組合せなどのさまざまなタイプの光コンポーネントを含むことができる。

【0017】

[0023] サポート構造 M T は、パターニングデバイスの向き、リソグラフィ装置の設計、および、パターニングデバイスが真空環境内で保持されているか否かなどの他の条件に応じた態様で、パターニングデバイス M A を保持する。サポート構造は、機械式、真空式、静電式またはその他のクランプ技術を使って、パターニングデバイスを保持することができる。サポート構造は、例えば、必要に応じて固定または可動式にすることができるフレームまたはテーブルであってもよい。サポート構造は、パターニングデバイスを、例えば、投影システムに対して所望の位置に確実に置くことができる。

10

【0018】

[0024] 「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内にパターンを作り出すように、放射ビームの断面にパターンを与えるために使用できるあらゆるデバイスを指していると、広く解釈されるべきである。放射ビームに付けたパターンは、集積回路などのターゲット部分内に作り出されるデバイス内の特定の機能層に対応することができる。

20

【0019】

[0025] パターニングデバイスは、透過型であっても、反射型であってもよい。パターニングデバイスの例としては、マスク、プログラミブルミラーアレイ、およびプログラミブル LCD パネルが含まれる。マスクは、リソグラフィでは公知であり、バイナリ、レベソソソ型(alternating)位相シフト、およびハーフトーン型(attenuated)位相シフトなどのマスク型、ならびに種々のハイブリッドマスク型を含む。プログラミブルミラーアレイの一例では、小型ミラーのマトリックス配列が用いられており、各小型ミラーは、入射する放射ビームを様々な方向に反射させるように、個別に傾斜させることができる。傾斜されたミラーは、ミラーマトリックスによって反射される放射ビームにパターンを付ける。

30

【0020】

[0026] 投影システムは、照明システムのように、使われている露光放射にとって、あるいは真空の使用といった他の要因にとって適切な、屈折型、反射型、磁気型、電磁型、静電型、またはその他のタイプの光コンポーネント、あるいはそれらのあらゆる組合せなどのさまざまなタイプの光コンポーネントを含むことができる。他のガスは放射を吸収しすぎることがあるので、EUV放射に対しては真空を使用することが望ましい場合がある。したがって、真空壁および真空ポンプを用いてビームパス全体に真空環境を提供することができる。

【0021】

[0027] 本明細書に示されているとおり、リソグラフィ装置は、反射型のもの(例えば、反射型マスクを採用しているもの)であってもよい。

40

【0022】

[0028] リソグラフィ装置は、2つ(デュアルステージ)以上の基板テーブル(および/または2つ以上のマスクテーブル)を有する型のものであってもよい。そのような「マルチステージ」機械においては、追加のテーブルは並行して使うことができ、または予備工程を1つ以上のテーブル上で実行しつつ、別の1つ以上のテーブルを露光用に使うこともできる。

【0023】

[0029] 図1を参照すると、イルミネータ I L は、放射源コレクタモジュール S O から

50

極端紫外線放射ビームを受ける。EUV光を生成する方法としては、材料を、EUV範囲内の1つ以上の輝線を有する、例えばキセノン、リチウムまたはスズなどの少なくとも1つの元素を有するプラズマ状態に変換することが挙げられるが必ずしもこれに限定されない。そのような一方法では、レーザ生成プラズマ(「LPP」と呼ばれることが多い)の所要のプラズマを、所要の線発光元素(line-emitting element)を有する材料の小滴、流れまたはクラスタなどの燃料をレーザビームで照射することによって生成することができる。放射源コレクタモジュールSOは、燃料を励起するレーザビームを提供するためである、図1に図示されていないレーザを含むEUV放射システムの一部であってもよい。結果として生じるプラズマは、例えばEUV放射などの出力放射を放出し、これは、放射源コレクタモジュールに配置された放射コレクタを用いて集光される。例えば、燃料励起のためのレーザビームを提供するためにCO₂レーザが使用される場合、レーザと放射源コレクタモジュールは、別個の構成要素であってもよい。

10

【0024】

[0030] そのような場合には、レーザは、リソグラフィ装置の一部を形成しているとはみなされず、また放射ビームは、レーザから放射源コレクタモジュールへ、例えば、適切な誘導ミラーおよび/またはビームエキスパンダを含むビームデリバリシステムを使って送られる。その他の場合においては、例えば、放射源がDPP源と呼ばれることが多い放電生成プラズマEUVジェネレータである場合、放射源は、放射源コレクタモジュールの一体部分とすることもできる。

【0025】

20

[0031] イルミネータILは、放射ビームの角強度分布を調節するアジャスタを含むことができる。イルミネータの瞳面内の強度分布の少なくとも外側および/または内側半径範囲(通常、それぞれ -outerおよび -innerと呼ばれる)を調節することができることが望ましい。さらに、イルミネータILは、ファセットフィールド(faceted field)および瞳ミラーデバイスといったさまざまな他のコンポーネントを含むことができる。イルミネータを使って放射ビームを調整すれば、放射ビームの断面に所望の均一性および強度分布をもたせることができる。

【0026】

[0032] 放射ビームBは、サポート構造(例えば、マスクテーブル)MT上に保持されているパターンングデバイス(例えば、マスク)MA上に入射して、パターンングデバイスによってパターン形成される。パターンングデバイス(例えば、マスク)MAから反射した後、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、基板Wのターゲット部分C上にビームの焦点をあわせる。第2ポジションナPWおよび位置センサPS2(例えば、干渉計デバイス、リニアエンコーダ、または静電容量センサ)を使って、例えば、さまざまなターゲット部分Cを放射ビームBの経路内に位置決めするように、基板テーブルWTを正確に動かすことができる。同様に、第1ポジションナPMおよび別の位置センサPS1を使い、パターンングデバイス(例えば、マスク)MAを放射ビームBの経路に対して正確に位置決めすることもできる。パターンングデバイス(例えば、マスク)MAおよび基板Wは、マスクアライメントマークM1およびM2と、基板アライメントマークP1およびP2とを使って、位置合わせされてもよい。

30

40

【0027】

[0033] 例示の装置は、以下に説明するモードのうち少なくとも1つのモードで使用できる。

【0028】

[0034] 1. ステップモードにおいては、サポート構造(例えば、マスクテーブル)MTおよび基板テーブルWTを基本的に静止状態に保ちつつ、放射ビームに付けられたパターン全体を一度にターゲット部分C上に投影する(すなわち、単一静的露光)。その後、基板テーブルWTは、Xおよび/またはY方向に移動され、それによって別のターゲット部分Cを露光することができる。

【0029】

50

[0035] 2. スキャンモードにおいては、サポート構造（例えば、マスクテーブル）MTおよび基板テーブルWTを同期的にスキャンする一方で、放射ビームに付けられたパターンをターゲット部分C上に投影する（すなわち、単一動的露光）。サポート構造（例えば、マスクテーブル）MTに対する基板テーブルWTの速度および方向は、投影システムPSの（縮小）拡大率および像反転特性によって決めることができる。

【0030】

[0036] 3. 別のモードにおいては、プログラブルパターンングデバイスを保持した状態で、サポート構造（例えば、マスクテーブル）MTを基本的に静止状態に保ち、また基板テーブルWTを動かす、またはスキャンする一方で、放射ビームに付けられているパターンをターゲット部分C上に投影する。このモードにおいては、通常、パルス放射源が採用されており、さらにプログラブルパターンングデバイスは、基板テーブルWTの移動後ごとに、またはスキャン中の連続する放射パルスと放射パルスとの間に、必要に応じて更新される。この動作モードは、前述の型のプログラブルミラーアレイといったプログラブルパターンングデバイスを利用するマスクレスリソグラフィに容易に適用することができる。

【0031】

[0037] 上述の使用モードの組合せおよび/またはバリエーション、あるいは完全に異なる使用モードもまた採用可能である。

【0032】

[0038] 図2は、放射源コレクタモジュールSO、照明システムILおよび投影システムPSを含む装置100をより詳細に示す。放射源コレクタモジュールSOは、真空環境が放射源コレクタモジュールSOの筐体構造220内で維持されるように構成される。EUV放射放出プラズマ210は、放電生成プラズマ源によって形成されてよい。EUV放射は、ガスまたは蒸気、例えばXeガス、Li蒸気またはSn蒸気によって生成されてよい。このガスまたは蒸気では、電磁スペクトルのEUV範囲内の放射を放出するために非常に高温のプラズマ210が生成される。非常に高温のプラズマ210は、例えば放電によって生成され、これは少なくとも部分的にイオン化されたプラズマをもたらす。例えば、10PaのXe、Li、Sn蒸気あるいは任意の他の適したガスまたは蒸気の分圧は、放射の効率的な生成のために必要とされる場合がある。一実施形態では、EUV放射を生成するために励起されたスズ(Sn)のプラズマが提供される。

【0033】

[0039] 高温のプラズマ210によって放出された放射は、放射源チャンバ211から、放射源チャンバ211における開口部内またはその後方に位置決めされた任意選択のガスバリアまたは汚染物質トラップ230（一部の場合、汚染物質バリアまたはフォイルトラップとも呼ばれている）を介してコレクタチャンバ212へと進む。汚染物質トラップ230は、チャンネル構造を含んでもよい。汚染トラップ230は、ガスバリア、またはガスバリアとチャンネル構造との組み合わせも含んでもよい。本明細書中にさらに述べる汚染物質トラップまたは汚染物質バリア230は、当該技術分野で公知であるように、少なくともチャンネル構造を含む。

【0034】

[0040] コレクタチャンバ212は、いわゆるかすめ入射コレクタであり得る放射コレクタCOを含んでもよい。放射コレクタCOは、上流放射コレクタ側251および下流放射コレクタ側252を有する。コレクタCOを通り抜けた放射は、格子スペクトルフィルタ240から反射して仮想放射源ポイントIFで合焦することができる。仮想放射源ポイントIFを一般的に中間焦点と呼び、放射源コレクタモジュールは、中間焦点IFが筐体構造220内の開口部221にまたはその近くに配置されるように構成される。仮想放射源ポイントIFは、放射放出プラズマ210の像である。

【0035】

[0041] その後、放射は照明システムILを通り抜け、この照明システムILは、パターンングデバイスMAにて放射ビーム21の所望の角分布ならびにパターンングデバイス

10

20

30

40

50

MAにて放射強度の所望の均一性を提供するように構成されたファセットフィールドミラーデバイス22およびファセット瞳ミラーデバイス24を含んでよい。サポート構造MTによって保持されるパターンングデバイスMAにて放射ビーム21が反射すると、パターン付けされたビーム26が形成され、このパターン付けされたビーム26は、投影システムPSによって反射エレメント28および30を介してウェーハステージまたは基板テーブルWTによって保持された基板W上に結像される。

【0036】

【0042】 照明光学ユニットILおよび投影システムPS内には、通常、図示されたものよりも多くのエレメントが存在し得る。格子スペクトルフィルタ240は、リソグラフィ装置のタイプに依存し、任意的に存在してもよい。さらに、図示されているものよりも多くのミラーがあってもよく、例えば、図2に示す投影システムPS内に存在する反射エレメントより1~6個多くの反射エレメントが存在してもよい。

10

【0037】

【0043】 図2に示すように、集光系(collector optic)COは、単なるコレクタ(または集光ミラー)の一例として、かすめ入射リフレクタ253、254および255を有する入れ子化されたコレクタとして示される。かすめ入射リフレクタ253、254および255は、光軸Oの周りで軸対称に配置され、このタイプの集光系COは、DPP源と呼ばれることが多い放電生成プラズマ源と組み合わせて使用されることが好ましい。

【0038】

【0044】 あるいは、図3に示すように、放射源コレクタモジュールSOはLPP放射システムの一部であってもよい。レーザLAは、キセノン(Xe)、スズ(Sn)またはリチウム(Li)などの燃料にレーザエネルギーを堆積させるように構成され、数十eVの電子温度を有する高イオン化されたプラズマ210を生成する。これらのイオンの逆励起および再結合中に生成されるエネルギー放射はプラズマから放出され、近くの法線入射集光系COによって集光されて筐体構造220内の開口部221上で合焦される。

20

【0039】

【0045】 図4は、リフレクタ30の表面形状の修正するためにリフレクタ30の裏面31に制御力を加える、本発明の一実施形態の熱アクチュエータ32を示す概略図である。熱アクチュエータは投影システムPSにおけるリフレクタに適用されるように示されているが、本発明は、放射源コレクタモジュールおよび照明システムにおけるリフレクタを含む、EUVリソグラフィ装置における他のリフレクタに適用されてもよい。

30

【0040】

【0046】 熱アクチュエータ32の目的は、リフレクタ30の前(反射)面の表面形状を修正することである。表面形状の歪曲は、例えば、リフレクタにおける不均一な温度プロファイルによって生じ得る。不均一な温度プロファイルは、リフレクタによって吸収されるエネルギーのかなりの部分である照明ビームによるリフレクタの不均一な加熱を通じて生じ得る。リソグラフィ装置における他の熱源および不均一な冷却も装置の不均一な温度分布に寄与し得る。本発明の実施形態は、他のある放射源から生じ得るミラーの表面形状のエラーを修正するために使用されてもよい。さらに、本発明は、他の放射源またはコンポーネントから生じる投影されたパターン付き放射ビームBの収差または波面エラーを修正するために、公称形状からそれる表面形状に変更を適用させるために使用されてよい。放射ビームによる不均一な加熱によって生じる歪曲を修正するために本発明の実施形態が使用される場所では、不均一な加熱の影響を適切なコンピュータシミュレーションによって予測することができる。あるいは、それらは、例えば、リフレクタの表面形状を測定する干渉計センサによって測定される。

40

【0041】

【0047】 熱アクチュエータ32は、リフレクタ30の一部分321を同時に加熱および冷却することによって作動する。静止状態では、リフレクタ30に力が加えられない場合、加熱および冷却は平衡にされ、それにより、供給される分と同じ量の熱エネルギーがリフレクタ30の一部分321から除去される。広大な力を加えるために、加熱は増加され

50

、および/または冷却は減少される。収縮力を加えるために、加熱は減少され、および/または加熱は増加される。これらの変化を実施するための適切な制御システムを以下に説明する。一部分321の同時加熱および冷却を用いることによって、一部分とヒータとの間および一部分とクーラとの間に大きな温度差を確立することができる。そのような大きな温度差は、熱伝達率を増加させてデバイスをより反応しやすくする。それにもかかわらず、静止状態において加熱および冷却を平衡にさせることによって、基板に正味熱負荷はかからない。

【0042】

[0048] 本発明の一実施形態では、冷却および加熱される部分は、リフレクタ30の裏面31に取り付けられたリッジ(ridge)321である。リッジ321は、成形または機械加工によってリフレクタの基板と一体的に形成される。あるいは、リッジ321は、接着剤によってまたは機械的にリフレクタ30に取り付けられてもよい。リフレクタにその全長に沿って取り付けられるかまたはリフレクタと一体的なリッジの代わりに、リフレクタの終端にのみ、かつ任意選択としてその全長に沿った隔離点においてリフレクタに取り付けられたブリッジ(bridge)が使用されてもよい。

10

【0043】

[0049] 一実施形態では、高い熱膨張係数(CTE)を有するアルミニウムまたはシリコンなどの材料の層、例えばコーティングは、裏面31に適用される。上記したように整形されてよい追加の材料が裏面の連続層として、または個別の熱アクチュエータ32に対応する一連の個別部分として適用されてもよい。追加の材料は、上記したようにリッジまたはブリッジの形態をとってもよい。追加の材料の目的は、所与の温度変化からより大きな反応を得ることである。

20

【0044】

[0050] 本実施形態では、リッジ321は、中で温度制御流体(例えば22の水)が循環する冷却チャンネル322によって冷却される。冷却チャンネル322は、3つの側面でリッジ321を囲うがリッジ321またはリフレクタ30に接触しないことが望ましい。このようにして、冷却チャンネル322内の流体の循環による機械障害は、リフレクタ30に伝わらない。冷却チャンネルがリッジより低い温度にあった場合、リッジ321は冷却チャンネルへの熱放射によって冷却される。リッジ、または少なくともその一部分は、そこからの熱放射を最大限にするために、例えばペイントまたはコーティングすることによって処理されてもよい。ガス(例えばH₂)は、熱伝達を増加させるために冷却チャンネルとリッジとのギャップ内で循環してもよい。制御された加熱および冷却をリッジ321に加えることによって、実施された温度変化は小部分に集中し、それによって、リフレクタ30の裏面全てが加熱された場合より大きな温度変化をもたらすようにより小さな熱伝達が有効である。リッジのみを加熱および冷却することは、リフレクタ30の基板に熱負荷を加えることを回避し、また温度分布におけるさらなる不均一性の生成を回避する。

30

【0045】

[0051] 本実施形態では、リッジ321は、冷却チャンネル322内のスルーホール323を通過してリッジ321上に熱を誘導する放射ヒータ324によって加熱される。冷却チャンネルおよび冷却流体が放射ヒータ324によって放出された放射を十分に透過させる場合、スルーホールを除外してもよい。放射ヒータには、放出される全ての放射がリッジ321上に誘導されることを確実にするためにレンズまたは他の光学系が設けられることが望ましい。放射ヒータ324は、白熱灯、LEDまたはレーザーダイオードであってもよい。リッジ321の表面、少なくとも放射が入射する箇所は、入射放射の吸収を最大限にするために、例えばペイントまたはコーティングによって処理されることが望ましい。放射の吸収および放出の両方を最大限にする単一の処理が、リッジ全体に適用されてもよい。一実施形態では、抵抗ヒータが、リッジ321と反対側である冷却チャンネル322の内面に提供されてもよい。この構成は、冷却チャンネル内の孔の必要性も回避する。

40

【0046】

[0052] 熱アクチュエータは、約1nmから約100nm、約1nmから約50nmま

50

たは約1nmから約10nmの範囲内の量の分だけリフレクタの前面の制御可能な変形を達成するのに十分であることが望ましい。この変形は、約5分未満、約2分未満または約1分未満で達成されることが望ましい。制御性を補助するために、所望の歪曲に影響を与えるために必要とされる温度変化は、約100mKより大きい、約1Kより大きいまたは約10Kより大きいことが望ましい。計算は、3mmリッジでは、約1分における約30Kの温度変化がリフレクタの前面の24nm変形をもたらすことができることを示す。温度変化は、リフレクタの基板の本体に適用されずその上に形成または設置された構造に適用され、その後で基板に力を加えることが望ましい。本発明の実施形態の目的は、リフレクタの本体または基板における特定の温度分布を実施するのではなく、その上に力を及ぼしてその形状に影響を与えることである。

10

【0047】

[0053] 他の形態の加熱およびクーラが本発明に使用されてもよい。例えば、抵抗電気ヒータをリフレクタのリッジまたは裏面上に取り付けまたは堆積させてもよい。ヒータはリフレクタから間隔を空けて配置されてよく、熱伝達を増加させるためにその間にH₂ガスが循環する。

【0048】

[0054] リフレクタ30の前(反射)面の表面形状全体の制御を可能にするために、複数の熱アクチュエータ32が裏面にわたって提供されることが望ましい。一実施形態では、アクチュエータ32は、図5に示すように、リフレクタの裏面30にわたって六边形パターンで配置される。この構成では、3つの熱アクチュエータ32は、アクチュエータのネットワークにおける各頂点33を効果的に押すまたは引く。アクチュエータの正方形ネットワークも効果的である。ネットワークにおける各アクチュエータの長さは、約20mmから約50mmの範囲内であってよい。各アクチュエータによって動作される領域に対する各アクチュエータが利用可能である空間の比率がより大きいため、六边形ネットワークが望ましい場合がある。

20

【0049】

[0055] 一実施形態では、裏面全体にわたって一定の温度で維持される単一のクーラおよびネットワークで構成される個別に制御可能な複数のヒータが提供されてもよい。

【0050】

[0056] 本発明の一実施形態による制御システムを図6に示す。コントローラ60(例えば、マイクロプロセッサ)は、リフレクタ30の表面形状に対する所望の修正の情報をインターフェース61から受ける。インターフェース61は、オペレータが所望の修正を入力することを可能にするユーザインターフェースまたは装置のメインコントローラに対するインターフェースであってもよい。コントローラ60は、所望の修正を実施するために熱アクチュエータに適用される温度変化を決定するためのメモリ62を指すことができる。メモリ62は、修正の計算を可能にするアルゴリズム、または所望の修正を温度変化に関連させた事前計算された表を記憶してよい。適用される表面形状修正はゼルニケ多項式の観点で表されることが望ましい。制御システムおよびアクチュエータネットワークは10次のゼルニケ多項式を含むそれまでの修正を適用できることが望ましく、ゼルニケ多項式の次数は、その半径次数(radial order)(rの最も高いパワー)と方位次数(azimuth order)(θの最も高いパワー)との合計である。

30

40

【0051】

[0057] コントローラ60は、所望の形状変化を実施するためにリフレクタ30の関連部分に温度変化を適用するように各熱アクチュエータ32に命令する。コントローラ60は、複数の温度センサ326から信号を受けることもでき、各温度センサ326は熱アクチュエータ32のうちの1つと関連して正確な温度変化が適用されることを確実にするためにフィードバック制御ループを実施する。温度センサ326は、リッジ321または温度変化が適用される他の構成に提供されてもよい。少なくとも1つの温度センサがヒータ325および/または冷却チャネル322と関連してよい。熱アクチュエータ32ごとに多数の温度センサが使用されてもよい。

50

【 0 0 5 2 】

【0058】 本発明の別の実施形態を図7に概略的に示す。本実施形態では、クーラ322は、冷却材CL（例えば超純水）が中を通ることができる大きいチャンネルを含む。クーラ322は複数の熱アクチュエータ32間で共有される。例えば、単一のクーラ322が、リフレクタ30上の全ての熱アクチュエータ32に冷却を提供する。別の例では、複数の冷却チャンネル322が存在し、各冷却チャンネル322は、アレイの一部分を形成する一行または一列の熱アクチュエータ32に冷却を提供する。本実施形態における各熱アクチュエータ32のヒータは、ペルティエ効果素子(Peltier effect device)324a（熱電接合部としても知られている）を含む。ペルティエ素子324aは、各ペルティエ素子に適用される電位差の大きさおよび極性を制御する制御回路60に接続される。このようにして、ペルティエ素子を通る熱流Hの大きさおよび方向を制御することができる。

10

【 0 0 5 3 】

【0059】 ペルティエ素子は、適用される電位差の極性に従って熱をリフレクタ30に向かってまたはリフレクタ30から離れるように流れさせることができる。ペルティエ素子は制限された効率からなるので線形ではないが、適用された電位差の大きさは熱流の大きさに影響を与える。この制限された効率の結果として、リフレクタ30の付近から熱を取り除くためのクーラ322の容量は大きい必要がある。適切なペルティエ素子は、種々の供給元から市販されている。上述した実施形態にあるように、ペルティエ素子はアレイで配置されてよい（例えば、正方形アレイまたは六辺形アレイ）。ペルティエ素子は、リフレクタ30の裏面上に形成された構成物（例えば、リッジまたはブリッジ）にまたはそこから熱を伝達するように構成され、かつリフレクタ30の基板へまたはそこからの伝達を最大限にするように整形かつ構成されてよい。

20

【 0 0 5 4 】

【0060】 本発明のさらなる実施形態を図8に示す。分かりやすくするために図8からいくつかの要素を省略したが、本実施形態は、以下の記載を除いては図7に関して説明した実施形態と同じである。

【 0 0 5 5 】

【0061】 本実施形態では、リフレクタ30は、リフレクタ30の位置を最終的に制御するために、例えば熱影響から結果として生じる位置変化を補償するために、アクチュエータ70および位置センサ71によって形成される位置決めデバイスに接続される。アクチュエータ72によって形成される類似の位置決めデバイスが、クーラ322を位置決めしかつペルティエ素子324aを取り付けるために提供される。差動(differential)位置センサ73は、リフレクタ30と冷却チャンネル322との間に一定の距離を維持するようにアクチュエータ72に結合される。このようにして、一貫した熱伝達を実施することができる。

30

【 0 0 5 6 】

【0062】 本明細書において、IC製造におけるリソグラフィ装置の使用について具体的な言及がなされているが、本明細書記載のリソグラフィ装置が、集積光学システム、磁気ドメインメモリ用のガイダンスパターンおよび検出パターン、フラットパネルディスプレイ、液晶ディスプレイ(LCD)、薄膜磁気ヘッド等の製造といった他の用途を有し得ることが理解されるべきである。当業者にとっては当然のことであるが、そのような別の用途においては、本明細書で使用される「ウェーハ」または「ダイ」という用語はすべて、それぞれより一般的な「基板」または「ターゲット部分」という用語と同義であるとみなしてよい。本明細書に記載した基板は、露光の前後を問わず、例えば、トラック（通常、基板にレジスト層を塗布し、かつ露光されたレジストを現像するツール）、メトロロジーツール、および/またはインスペクションツールで処理されてもよい。適用可能な場合には、本明細書中の開示内容を上記のような基板プロセッシングツールおよびその他の基板プロセッシングツールに適用してもよい。さらに基板は、例えば、多層ICを作るために複数回処理されてもよいので、本明細書で使用される基板という用語は、すでに多重処理層を包含している基板を表すものとしてもよい。

40

50

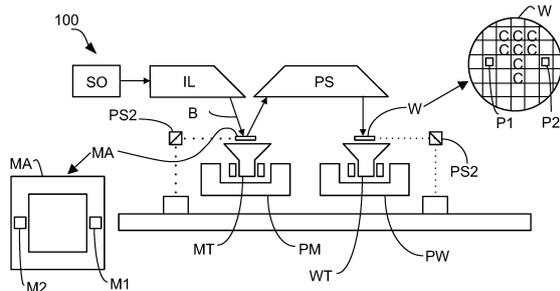
【 0 0 5 7 】

[0063] 「レンズ」という用語は、文脈によっては、屈折、反射、磁気、電磁気、および静電型光コンポーネントを含む様々な種類の光コンポーネントのいずれか1つまたはこれらの組合せを指すことができる。

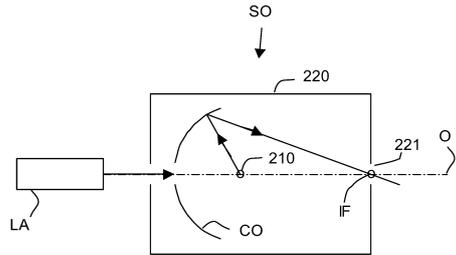
【 0 0 5 8 】

[0064] 以上、本発明の具体的な実施形態を説明してきたが、本発明は、上述以外の態様で実施できることが明らかである。例えば、本発明のある特徴を、上記に開示した方法を表す1つ以上の機械読取可能命令のシーケンスを含むコンピュータプログラム、またはこのようなコンピュータプログラムが記憶されたデータ記憶媒体（例えば、半導体メモリ、磁気ディスクまたは光ディスク）として組み入れてもよい。上記の説明は、制限ではなく例示を意図したものである。したがって、当業者には明らかなように、添付の特許請求の範囲を逸脱することなく本記載の発明に変更を加えてもよい。

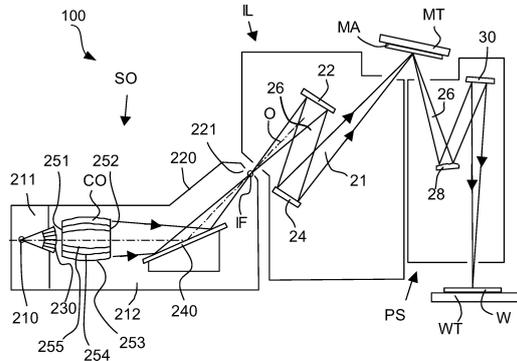
【 図 1 】



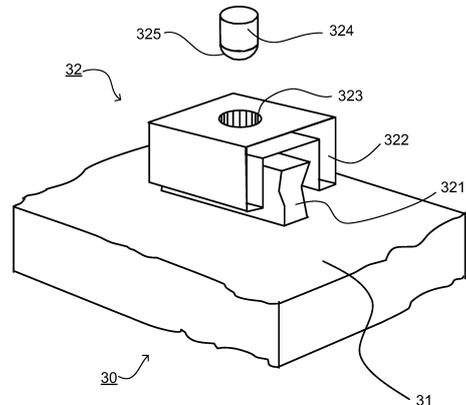
【 図 3 】



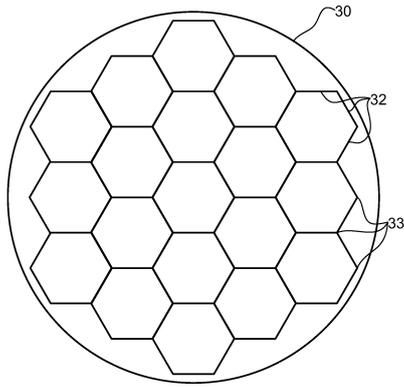
【 図 2 】



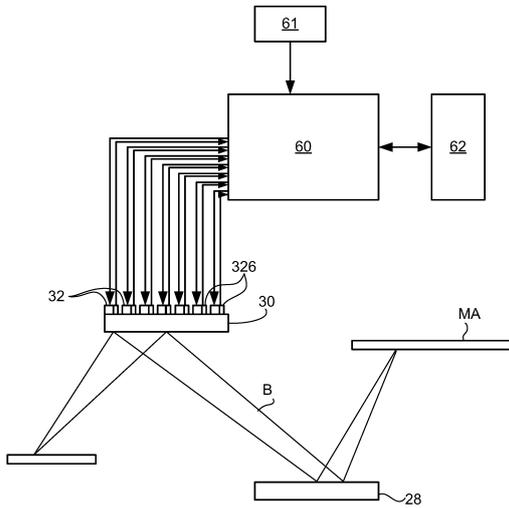
【 図 4 】



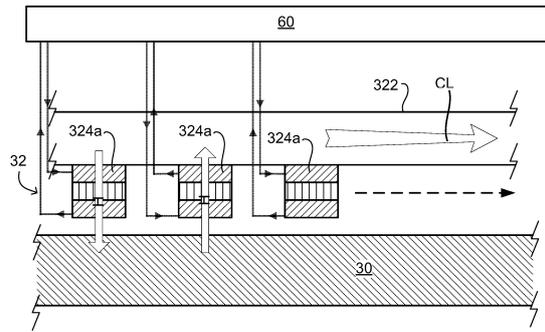
【 図 5 】



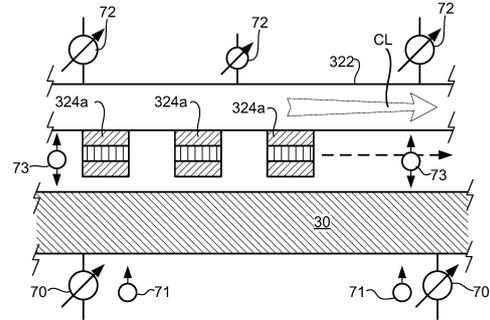
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



フロントページの続き

- (72)発明者 ラヴェンスベルヘン, マリウス
オランダ国, ベルヘイク エヌエル - 5 5 7 1 エーアール, チャーチルラン 9
- (72)発明者 ヤンセン, フランシスクス, ヨハネス, ヨセフ
オランダ国, ヘルドロップ エヌエル - 5 6 6 3 ティーシー, ボブル 1 0

審査官 植木 隆和

- (56)参考文献 特開2004 - 056125 (JP, A)
特開2004 - 039851 (JP, A)
米国特許出願公開第2009 / 0122428 (US, A1)
特開2004 - 039696 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | |
|------|----------|
| H01L | 21 / 027 |
| G03F | 7 / 20 |
| G02B | 17 / 00 |