

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6121401号
(P6121401)

(45) 発行日 平成29年4月26日 (2017. 4. 26)

(24) 登録日 平成29年4月7日 (2017. 4. 7)

(51) Int. Cl.		F I			
G03F	7/20	(2006.01)	G03F	7/20	503
G02B	7/198	(2006.01)	G02B	7/198	
G02B	7/183	(2006.01)	G02B	7/183	

請求項の数 19 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2014-508730 (P2014-508730)	(73) 特許権者	503263355
(86) (22) 出願日	平成24年4月12日 (2012. 4. 12)		カール・ツァイス・エスエムティー・ゲー
(65) 公表番号	特表2014-519186 (P2014-519186A)		ムベーパー
(43) 公表日	平成26年8月7日 (2014. 8. 7)		ドイツ連邦共和国、73447 オーバー
(86) 国際出願番号	PCT/EP2012/056628		コッヘン、ルドルフ・エーバー・シュトラ
(87) 国際公開番号	W02012/152520		ーセ 2
(87) 国際公開日	平成24年11月15日 (2012. 11. 15)	(74) 代理人	100147485
審査請求日	平成27年4月1日 (2015. 4. 1)		弁理士 杉村 憲司
(31) 優先権主張番号	102011075393.1	(74) 代理人	100174001
(32) 優先日	平成23年5月6日 (2011. 5. 6)		弁理士 結城 仁美
(33) 優先権主張国	ドイツ (DE)	(74) 代理人	100181272
(31) 優先権主張番号	61/483, 153		弁理士 神 絃一郎
(32) 優先日	平成23年5月6日 (2011. 5. 6)	(72) 発明者	マルクス ハウフ
(33) 優先権主張国	米国 (US)		ドイツ国 89075 ウルム ハーフエ
			ンベルク 4

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 投影露光装置の素子を作動させる機構

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

投影露光装置の光学系の素子を作動させる機構であって、前記投影露光装置は、担持フレーム（110、210、310）を有し、該担持フレームは、

制御可能な力を前記素子（100、200、300）に加える少なくとも1つのアクチュエータ（101、201、301）

を備え、

該アクチュエータ（101、201、301）は、少なくとも1つのメカニカルフィルタ（140、240、340）を介して前記担持フレーム（110、210、310）に結合した第1アクチュエータ部（101a、201a、301a）と、前記担持フレーム（110、210、310）に直接機械的に結合した第2アクチュエータ部（101b、201b、301b）とを有し、

前記素子（100、200、300）に力が加わると、前記第1アクチュエータ部（101a、201a、301a）に対する荷重が前記第2アクチュエータ部（101b、201b、301b）によって少なくとも部分的に緩和される機構において、

前記アクチュエータ（101、201、301）の駆動中に、前記アクチュエータ（101、201、301）が前記素子全体に加えるべき力を規定する入力信号が分割され、前記メカニカルフィルタのフィルタ周波数未満の周波数の前記入力信号の少なくとも一部を第2アクチュエータ部に加え、前記入力信号の他の部分を第1アクチュエータ部に加えることを特徴とする機構。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の機構において、前記メカニカルフィルタ（140、240、340）は、フィルタ周波数を有し、前記機構は、前記アクチュエータ（101、201、301）が前記素子（100、200、300）に加える力が少なくとも主に前記第 2 アクチュエータ部（101b、201b、301b）によってフィルタ周波数未満の周波数で前記素子（100、200、300）に加えられるように設計されることを特徴とする機構。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の機構において、該機構は、前記アクチュエータ（101、201、301）が前記素子（100、200、300）に加える力が、前記フィルタ周波数未満の周波数で少なくとも 80% 程度まで、特に少なくとも 90% 程度まで、より詳細には少なくとも 95% 程度まで、前記第 2 アクチュエータ部（101b、201b、301b）によって加えられるよう設計されることを特徴とする機構。

10

【請求項 4】

請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載の機構において、該機構は、前記アクチュエータ（101、201、301）が前記素子（100、200、300）に加える静的力が、少なくとも 80% 程度まで、特に少なくとも 90% 程度まで、より詳細には少なくとも 95% 程度まで、前記第 2 アクチュエータ部（101b、201b、301b）によって加えられるよう設計されることを特徴とする機構。

【請求項 5】

請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の機構において、前記メカニカルフィルタ（140、240、340）は、2 Hz ～ 100 Hz の範囲のフィルタ周波数を有することを特徴とする機構。

20

【請求項 6】

請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載の機構において、該機構は、前記アクチュエータ（301）が前記素子（300）に加える力を前記素子（300）の位置に特有のセンサ信号に応じて制御するコントローラ（370）を備えることを特徴とする機構。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の機構において、前記コントローラ（370）は、前記センサ信号に基づいて求めたコントローラ出力変数を前記第 1 アクチュエータ部（301a）に通信することを特徴とする機構。

30

【請求項 8】

請求項 7 に記載の機構において、前記コントローラ（370）は、前記コントローラ出力変数のうち時間的に一定であるか又は前記メカニカルフィルタの前記フィルタ周波数未満の周波数を有する部分を積分し、それを前記第 2 アクチュエータ（301b）に割り当てる積分ユニットを有することを特徴とする機構。

【請求項 9】

請求項 1 ～ 7 のいずれか 1 項に記載の機構において、前記アクチュエータ（101、201、301）の駆動中に、前記アクチュエータ（101、201、301）が前記素子全体に加えるべき力を規定する入力信号を、種々の周波数範囲に対応する信号に分割し、該信号の和は、前記入力信号に等しいことを特徴とする機構。

40

【請求項 10】

請求項 9 に記載の機構において、該機構は、前記入力信号を種々の周波数範囲に対応する信号に分割するネットワーク、アナログフィルタ、又はデジタルフィルタを備えることを特徴とする機構。

【請求項 11】

請求項 1 ～ 10 のいずれか 1 項に記載の機構において、制御され事前規定された前記素子（100、200、300）に加えるべき力を、前記第 2 アクチュエータ（301b）により前記素子（100、200、300）に加えることを特徴とする機構。

【請求項 12】

請求項 1 ～ 11 のいずれか 1 項に記載の機構において、前記第 1 アクチュエータ部（2

50

0 1 a) 及び / 又は前記第 2 アクチュエータ部 (2 0 1 b) は、電流を印加できるコイル (2 0 2) と永久磁石 (2 0 3) とを有する少なくとも 1 つのローレンツアクチュエータを有することを特徴とする機構。

【請求項 1 3】

請求項 1 2 に記載の機構において、前記メカニカルフィルタ (2 4 0) のフィルタマス、前記第 1 アクチュエータ部 (2 0 1 a) の永久磁石 (2 0 3) により形成したことを特徴とする機構。

【請求項 1 4】

請求項 1 ~ 1 3 のいずれか 1 項に記載の機構において、前記素子 (1 0 0 、 2 0 0 、 3 0 0) はミラーであることを特徴とする機構。

10

【請求項 1 5】

請求項 1 ~ 1 3 のいずれか 1 項に記載の機構において、前記素子 (1 0 0 、 2 0 0 、 3 0 0) はレンズ素子であることを特徴とする機構。

【請求項 1 6】

請求項 1 ~ 1 3 のいずれか 1 項に記載の機構において、前記素子 (1 0 0 、 2 0 0 、 3 0 0) は、光学素子、特にレチクル、又は特にウェハ等の加工又は検査対象の素子を位置決めする可動テーブルであることを特徴とする機構。

【請求項 1 7】

請求項 1 ~ 1 6 のいずれか 1 項に記載の機構を備えた投影露光装置。

【請求項 1 8】

請求項 1 7 に記載の投影露光装置において、該投影露光装置を 1 5 n m 未満の作動波長での動作用に設計した投影露光装置。

20

【請求項 1 9】

請求項 1 7 に記載の投影露光装置において、該投影露光装置を 2 0 0 n m 未満、特に 1 6 0 n m 未満の作動波長での動作用に設計した投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、投影露光装置の素子を作動させる機構に関する。

【0 0 0 2】

30

〔関連出願の相互参照〕

本願は、いずれも 2 0 1 1 年 5 月 6 日付けで出願された独国特許出願第 1 0 2 0 1 1 0 7 5 3 9 3 . 1 号及び米国仮出願第 6 1 / 4 8 3 , 1 5 3 号の優先権を主張する。上記出願の内容を参照により本明細書に援用する。

【背景技術】

【0 0 0 3】

マイクロリソグラフィは、例えば集積回路又は L C D 等の微細構造コンポーネントの製造に用いられる。マイクロリソグラフィプロセスは、照明デバイス及び投影レンズを有するいわゆる投影露光装置で実行される。この場合、照明デバイスにより照明されたマスク (レチクル) の像を、投影レンズにより、感光層 (フォトレジスト) で被覆されて投影レンズの像平面に配置された基板 (例えばシリコンウェハ) に投影することで、マスク構造を基板上の感光コーティングに転写するようにする。

40

【0 0 0 4】

E U V 用 (すなわち、1 5 n m 未満の波長を有する電磁放射線用) に設計した投影露光装置では、利用可能な光透過性材料がないことにより、ミラーを結像プロセス用の光学コンポーネントとして用いる。上記ミラーは、担持フレーム (carrying frame) (「力吸収フレーム」又は「フォースフレーム」とも称する) に固定することができ、各ミラーの例えば 6 自由度の (すなわち、3 つの空間方向 x 、 y 、及び z の変位に関する、また対応の軸を中心とした回転 R_x 、 R_y 、及び R_z に関する) 運動を可能にするために、少なくとも部分的に操作可能であるよう設計することができ、その結果として、例えば、熱的影響

50

が原因で投影露光装置の動作中に生じる光学特性の変化を補償することが可能である。さらに、担持フレームに加えて、これから機械的に分離されたセンサフレームを設けることができる。

【 0 0 0 5 】

この場合、上記センサフレームに対する各ミラー位置を、位置センサによって測定することができ、アクチュエータを介してコントローラによって所望の値に設定することができる。この場合、投影露光装置の動作中に、例えば各ミラー等の素子にアクチュエータが加える圧力の全てが、ニュートンの「作用反作用」の原理に基づいて、逆方向に作用する等しい大きさの反力を伴うという問題が原理上生じる。しかしながら、投影露光装置の動作中のセンサフレームに対する上記反力の作用の結果として、センサフレームに設けたセンサが実質的に寄生的なダイナミクス (parasitic dynamics) のみを測定するので、防止すべきである。

【 0 0 0 6 】

この問題を克服する既知の手法は、ミラーとセンサフレームとの間の力経路におけるばねマス系の形態のメカニカルフィルタの使用を含む。従来技術に関して、例えば特許文献1を参照されたい。

【 0 0 0 7 】

図5は、通常の従来構成を単に概略的に示したものであり、ミラーを「10」で示し、センサフレームを「20」で示し、担持フレームを「30」で示す。ミラー10の作動のために位置センサPが供給する信号に従ってコントローラ(図5には図示せず)により駆動されるアクチュエータAを、マス15及びばね16からなるばねマス系の形態のメカニカルフィルタを介して担持フレーム30に結合することができる。

【 0 0 0 8 】

メカニカルフィルタの場合、アクチュエータ力の抑制は、励起周波数とフィルタ周波数との間の相対距離に応じて変わる。この場合、フィルタ周波数 f_F は、

【 数 1 】

$$f_F = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}}$$

(1)

によって与えられ、式中、 k はメカニカルフィルタを形成するばねマス系のばね剛性を示し、 m はメカニカルフィルタのフィルタ質量を示す。

【 0 0 0 9 】

反力抑制(すなわち、「担持構造に対する力」に関する「アクチュエータ力」)の例示的な伝達関数を図4に示し、図中、周波数(任意単位)を横軸に対数的にプロットする。フィルタ周波数 f_F 未満の周波数範囲の励起は抑制されない。フィルタ周波数 f_F を超えると、アクチュエータ力は -40 dB / decade の傾きで徐々に抑制される。フィルタ周波数が選択されると、所与のアクチュエータカスペクトルに関する静的撓み(剛性線の領域)及び動的撓みは、選択したフィルタ質量の絶対値に応じて変わる。

【 0 0 1 0 】

この結果として、例えば比較的大きな静荷重を支えなければならないアクチュエータに関して、小さなばね剛性に起因して特に低いフィルタ周波数 ($< 100 \text{ Hz}$) で実行不可能なほど大きな (large to impracticable) ($> 1 \text{ cm}$) 静的撓みが生じ得る。これは、大きな反力マス (reaction mass) を用いることによって確かに原理上は対抗できるが、構造空間制限により実現できないことが多い。結果として、生じる反力を抑制するために、比較的大きなフィルタマスが必要であり、利用可能な構造空間が限られているEUVシステムへのその組み込みは問題があるか又は不可能でさえある。これは、概して光ビーム経路を妨げないミラー自体の配置がすでに厳しい課題となっている高開口数EUVシステム(例えば、開口数NAが0.3よりも大きなEUVシステム)に当てはまりつつある。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

10

20

30

40

50

【 0 0 1 1 】

【特許文献 1】米国特許第 6 , 7 8 8 , 3 8 6 号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 2 】

本発明の目的は、小型構成と共に投影露光装置の素子をできる限り妨害なく作動させることができる、当該素子を作動させる機構を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 3 】

この目的は、独立請求項 1 に記載の特徴による機構によって達成される。

10

【 0 0 1 4 】

投影露光装置の光学系の素子を作動させる機構であって、投影露光装置は担持フレームを有し、担持フレームは、

制御可能な力を素子に加える少なくとも 1 つのアクチュエータを備え、アクチュエータは、少なくとも 1 つのメカニカルフィルタを介して担持フレームに結合した第 1 アクチュエータ部と、担持フレームに直接機械的に結合した第 2 アクチュエータ部とを有し、

素子に力が加わると、第 1 アクチュエータ部に対する荷重が第 2 アクチュエータ部によって少なくとも部分的に緩和される機構。

【 0 0 1 5 】

20

一実施形態によれば、メカニカルフィルタはフィルタ周波数を有し、本機構は、アクチュエータが素子に加える力が少なくとも主に第 2 アクチュエータ部によってフィルタ周波数未満の周波数で素子に加えられるように設計される。

【 0 0 1 6 】

本発明は、原理上、アクチュエータの比較的高周波の力に伴う反力のみが、担持フレーム又はシステム全体のダイナミクスに妨害的影響を及ぼすという洞察に基づく。アクチュエータの高周波力及びそれに伴う反力は、それ自体は比較的小さいが、当該反力は、担持フレームにおいて固有振動モードを励起し得る。リスクとなるのは、励起された振動モードがセンサ及びコントローラを介してアクチュエータに戻ることで、制御ループに安定性問題をもたらすか又はその制御品質を制限することである。結果として、比較的高い周波数範囲の反力を抑制する必要があるか、又はかかる反力が担持フレームまで通り抜けることを防止する必要がある。これに対して、比較的低周波数の力及びそれに伴う反力は、関連する低い周波数範囲で固有周波数モードが担持フレームに生じない状況により、制御ループの安定性及び制御品質のさらなる妨害を引き起こさず、こうした理由で、上記低周波力は担持フレームに「伝達」させることができる。

30

【 0 0 1 7 】

この洞察から、本発明は、アクチュエータを高周波力の発生「原因となる」第 1 アクチュエータ部と低周波力の発生「原因となる」第 2 アクチュエータ部とに分割し、第 1 アクチュエータ部が発生させた高周波力に対応する反力（「作用反作用」の原理により生じる）をメカニカルフィルタの反力マス又はフィルタマスに通す一方で、低周波力を発生させる第 2 アクチュエータ部を担持フレームに対して直接（すなわち付加的な反力マスもメカニカルフィルタの介在もなく）機械的に支持するという概念に基づく。

40

【 0 0 1 8 】

換言すれば、本発明によれば、周波数に関して効果的に「分割された」アクチュエータを素子と担持構造との間で用い、アクチュエータ又はその第 1 アクチュエータ部の高周波力に伴う反力を機械的にフィルタリングするが、アクチュエータ又はその第 2 アクチュエータ部の残りの（低周波）力はフィルタリングせずに担持フレームに伝達させる。アクチュエータのこの「分割」は、より詳細に後述するように、アクチュエータが素子全体に加えるべき（補正）力が最初に第 1 アクチュエータ部へ通されてから、一定力又は低周波力が、例えば積分ユニットを用いて、後述するように、荷重緩和用の第 2 アクチュエータ部

50

へ徐々に「引き寄せられる (pulled over : 移動する)」ように行うことができる。結果として、本発明は、アクチュエータの駆動中の最初から、(例えばツイータ及びウーハから構成される拡声器の場合に行われるような)種々の周波数範囲への周波数分割を必ずしも含むのではなく、適切な信号流れを実現することによるアクチュエータの効果的な分割によって実現することもできる。代替的に、この分割は、ネットワークによって、又は力信号を2つの成分に分割して、その和が入力信号に等しく一方の成分が静的な低周波部分を含み他方の成分が高周波部分を含むようにする、アナログ又はデジタルフィルタによって、行うことができる。

【0019】

高周波アクチュエータ部及び低周波アクチュエータ部へのアクチュエータの本発明による(上記の意味で「効果的な」)分割と、それにより可能となる上記アクチュエータからの反力の別個の又は異なる処理との結果として、比較的大きな一定力を担持フレームに直接機械的に連結した第2アクチュエータ部によって発生させることができ、この点でメカニカルフィルタマスは必要なく、第1アクチュエータ部が発生させた力に起因した反力にのみ最終的に必要なフィルタマスを著しく小さく設計することができ、したがってアクチュエータを全体的にかなり小型に設計することができる。

【0020】

さらに、制御部(コントローラ)が加える力の全てを、反力マスをを用いずにアクチュエータを介して伝達することができ、この力が引き起こす反力マス撓みをそれにより回避することができる。一例は、ミラーの運動の加速力であり、当該加速力は、通常は所望値発生器によって発生させる。

【0021】

換言すれば、本発明による構成で全体として最終的に必要なフィルタマスを、アクチュエータ全体がメカニカルフィルタを介して担持フレームに機械的に結合される構成と比べて(すなわち、反力の全てのメカニカルフィルタリングと比べて)著しく小さく設計することができる。これは、アクチュエータの本発明による分割又は「周波数分割」によって上記フィルタマスが一定力の発生を免れるからである。

【0022】

結果として、特に、その小型性により、本発明に従って設計したアクチュエータを各光学素子(例えばミラー)のすぐ近くに配置することが可能となる。これにより、高開口数EUVシステムの場合にまさに存在する構造空間制限をより適切に考慮することが可能となる。

【0023】

第1アクチュエータ部と担持構造との間に設けた本発明によるメカニカルフィルタ、又は当該フィルタのフィルタ周波数は、担持フレームの構造で臨界固有振動モード又は共振が始まる周波数で、アクチュエータ力に伴う反力の十分に大きな抑制があるよう設計されることが好ましい。アクチュエータの駆動中に実行すべき種々の周波数範囲への周波数分割は、より詳細に後述するように、例えばネットワークによって、又はアナログ又はデジタルフィルタによって行うことができる。

【0024】

一実施形態によれば、本機構は、静的力又はアクチュエータが素子に加える力が、フィルタ周波数未満の周波数で少なくとも80%程度(80%以上)まで、特に少なくとも90%程度(95%以上)まで、より詳細には少なくとも95%程度(95%以上)まで、第2アクチュエータ部によって加えられるよう設計される。

【0025】

第1アクチュエータ部に割り当てたメカニカルフィルタは、特に、2Hz~100Hzの範囲のフィルタ周波数を有し得る。

【0026】

一実施形態によれば、本機構は、アクチュエータが素子に加える力を素子の位置に特有のセンサ信号に応じて制御するコントローラを備える。当該コントローラは、センサ信号

10

20

30

40

50

に基づいて求めたコントローラ出力変数を第１アクチュエータ部に通信することができる。さらに、コントローラは、コントローラ出力変数のうち時間的に一定であるか又はメカニカルフィルタのフィルタ周波数未満の周波数を有する部分を積分し、それを第２アクチュエータに割り当てる積分ユニットを有し得る。

【００２７】

本発明は、アクチュエータの特定の設計に制限されない。いくつかの実施形態では、第１アクチュエータ部及び／又は第２アクチュエータ部は、電流を印加できるコイルと永久磁石とを有する少なくとも１つのローレンツアクチュエータを有し得る。この場合、特に、メカニカルフィルタのフィルタマスは、第１アクチュエータ部の永久磁石によって形成することができる。

10

【００２８】

本発明に従って作動される素子は、特に、ミラー、レンズ素子、又は光学素子、特にレチクル、又は例えばウェハ等の加工又は検査対象の素子を位置決めする可動テーブルであり得る。

【００２９】

本発明はさらに、本発明による機構を備えた投影露光装置に関する。本投影露光装置は、特にＥＵＶでの動作用に設計することができる。さらに他の用途では、本投影露光装置は、ＶＵＶ領域での動作用、例えば２００ｎｍ未満、特に１６０ｎｍ未満の波長用に設計することもできる。

【００３０】

20

本発明のさらに他の構成は、説明及び従属請求項から得ることができる。

【００３１】

本発明を、添付図面に示す例示的な実施形態に基づいて以下でより詳細に説明する。

【図面の簡単な説明】

【００３２】

【図１】本発明による概念を説明する概略図を示す。

【図２】一実施形態による本発明で用いるアクチュエータの構成を説明する概略図を示す。

【図３】本発明のさらに別の実施形態を説明する概略図を示す。

【図４】メカニカルフィルタの例示的な伝達関数を説明する図を示す。

30

【図５】従来技術により生じる問題を説明する概略図を示す。

【図６】ＥＵＶでの動作用に設計したリソグラフィ投影露光装置の概略図を示す。

【発明を実施するための形態】

【００３３】

図１は、本発明の基礎となる概念を説明する基本概略図を最初に示す。

【００３４】

図１に示す機構では、制御可能な力をミラー１００の形態の光学素子にアクチュエータを介して加えることができる。第１に、担持フレーム１１０及びセンサフレーム１２０を概略的に示し、担持フレーム１１０とセンサフレーム１２０との間の機械的分離をばね１６０で表す。

40

【００３５】

さらに他の実施形態として、センサフレーム及び担持フレームを剛性の、好ましくはアイソスタティックマウンティングによって接続することができる。同時にセンサフレームとして働く担持フレームも考えられる。

【００３６】

図１からの機構は、特に、両矢印で表す２つの別個のアクチュエータドライブ又はアクチュエータ部１０１ａ及び１０１ｂを有するアクチュエータ１０１と、ミラーとアクチュエータ１０１との間にマス１３０及びばね要素１０５からなる任意のメカニカルフィルタと、第１アクチュエータ部１０１ａと担持フレーム１１０との間にフィルタマス１４１及びばね要素１４２からなるメカニカルフィルタ１４０とを備える。図１から同様に分かる

50

ように、第2アクチュエータ101bは担持フレーム110に直接機械的に連結する。

【0037】

2つのアクチュエータドライブ101a及び101bを有するアクチュエータ101のミラー100への機械的連結は、例示的な実施形態ではマス130及びばね要素105からなるマスばね系（場合によっては弾性ピンの形態である）で示すが、任意の適当な様式で行うことができ、したがって本発明の主題ではない。

【0038】

本発明の一実施形態によるアクチュエータ201の構成を、図2を参照して以下でより詳細に説明し、図1に対応するか又は図1と実質的に機能的に同一のコンポーネントは、「100」を足した対応の参照符号で示す。アクチュエータ201の構成は、アクチュエータ201が2つの別個のアクチュエータ部201a及び202bから構成される限りは本発明に従って「分割」され、これらアクチュエータ部的一方（すなわち、第2アクチュエータ部201b）は、アクチュエータ部の他方（すなわち、第1アクチュエータ部201a）から、ミラー200に加わる力に関して低周波力成分及び一定力成分を除去する役割を果たす。アクチュエータ201の2つのアクチュエータ部201a及び201bは、ここでも両矢印で表す。

【0039】

これらの両矢印は、アクチュエータ201の2つのアクチュエータ部201a、2010bが加える力の、また当該力に伴う反力の方向を同時に示す。ニュートンの「作用反作用」の原理により、アクチュエータ201がミラー200に加える力の全てが逆方向に反作用する等しい大きさの反力を伴う。

【0040】

本発明によれば、第1アクチュエータ部101a又は201aに反作用して（go back to the effect of）第2アクチュエータ101b又は201bによる荷重緩和により残る高周波反力は、メカニカルフィルタ140又は240を介して担持フレーム110又は210に伝達され、対応のアクチュエータ101、201の第2アクチュエータ部101b、201bに反作用する反力は、担持フレーム110、210に直接（すなわち、介在するメカニカルフィルタなしで）伝達される。第2アクチュエータ部201b又は対応のアクチュエータドライブによる第1アクチュエータ部201a又は対応のアクチュエータドライブに対する荷重の上述の緩和により、第2アクチュエータ部201bがミラー200に最終的に加える力は、したがって当該力に伴う反力も、低周波力又は一定力である。

【0041】

図2によれば、例示的な実施形態では、本発明はそれに限定されないが、第1アクチュエータ部201a及び第2アクチュエータ部201bの両方をローレンツアクチュエータ（いわゆる可動コイルドライブ又は「ボイスコイルアクチュエータ」）の形態で実現し、これらはそれぞれ、電流を印加できるコイル202及び204それぞれと永久磁石203及び205それぞれとを有し、コイル202及び204への電流の印加により制御できる力がコイル202と永久磁石203との間及びコイル204と永久磁石205と間に作用するようにする。具体的な例示的な実施形態では、コイル及び割り当てた永久磁石の配置は、コイル202及び204それぞれが半径方向磁場を有する円周方向スロットに挿入される可動コイル機構として実現される。図2の例では、各コイル202及び204をミラー200にピン205及び205'それぞれによって機械的に、ミラー200と共に可動に結合する。

【0042】

さらに他の実施形態では、永久磁石を可動的に具現し、コイルを固定的に具現することもできる。すなわち、各永久磁石203及び205がミラー200にピン205及び205'それぞれによって機械的に、ミラー200と共に可動に結合される限り、図2とは逆の配置を選択することが可能である。

【0043】

さらに、本発明の実施形態では、複数の自由度、好ましくは2自由度で作動させる複数

10

20

30

40

50

のアクチュエータを１つのアクチュエータユニットに組み合わせ、それらをまとめてミラーに結合することも可能である。

【００４４】

さらに別の実施形態では、機械的又は磁気的重錘力補償器によってアクチュエータ２０１ｂからミラーの重錘力を除去して、アクチュエータ２０１ｂが一定力の変動を引き受けるだけでよくすることができる。かかる変動は、例えば重錘力補償器の公差の設定、その老化効果、重力定数の場所依存性、ミラー位置に対する一定力の依存性、及び重力ベクトルの方向に対する担持構造の位置合わせ公差によって生じ得る。

【００４５】

図１及び図２を参照してすでに説明したように、第１アクチュエータ部１０１ａ及び２０２ａそれぞれに反作用する高周波反力は、メカニカルフィルタ１４０、２４０によって担持フレーム１１０、２１０に伝達される。上記メカニカルフィルタ１４０、２４０は、マスばね系として設計され、図２では、永久磁石２０３がばね２４２を介して担持フレーム２１０に機械的に結合されるフィルタマスを同時に提供する。ばね２４２は、任意の適当な様式で（例えば、板ばね、螺旋ばねとして、又は他の既知のばね設計の形態で）設計することができる。

【００４６】

これとは対照的に、図２の右側部分で識別できるように、永久磁石２０５は担持フレーム２１０に直接結合され、第２アクチュエータ部２０１ｂに反作用する低周波反力がフィルタリングされずに担持フレーム２１０に伝達される。したがって、本発明によるアクチュエータ２０１は、臨界高周波数範囲で（例えば、１００Ｈｚを超える周波数で）、第１アクチュエータ部２０１ａと担持構造２１０との間に設けたメカニカルフィルタ２４０の反力マス又はフィルタマスにより反力経路において分離が行われるよう設計される。

【００４７】

図示の例示的な実施形態では、第１アクチュエータ部と担持フレームとの間に設けたメカニカルフィルタの反力マス又はフィルタマスを、第１アクチュエータ部２０１ａを形成するローレンツアクチュエータの永久磁石によって形成するが、本発明はそれに限定されない。したがって、他の実施形態では、メカニカルフィルタの反力マス又はフィルタマスを、付加質量として永久磁石２０３とは別個に具現することもできる。さらに、本発明は、任意の他の適当なフォースアクチュエータで実現することもでき、すなわち上述のローレンツアクチュエータに限定されない。

【００４８】

第１アクチュエータ部１０１ａと担持構造１１０との間のフィルタマス１４１及びばね１４２からなるばねマス系１４０により形成したメカニカルフィルタ、又は当該フィルタのフィルタ周波数は、担持フレーム１１０の構造で臨界固有振動モード又は共振が始まる周波数で、第１アクチュエータ部１０１ａのアクチュエータ力に伴う反力の十分に大きな抑制ができる限りあるよう設計される。

【００４９】

１つの可能な信号流れを、図３に示すような実施形態に基づいて説明し、図１に対応するか又は図１と実質的に機能的に同一のコンポーネントは、「２００」を足した対応の参照符号で示す。

【００５０】

図３に示す機構は、図１の基本構成から続いて、光学素子３００の位置に特有のセンサ信号に応じてアクチュエータ３０１が光学素子３００に加える力を制御するコントローラ３７０を備える。上記センサ信号は、基準構造に対するミラー１００の位置を測定する位置センサＰにより発生する。上記センサ信号に対応する実際の値ＩＷは、図３に従って所望の値ＳＷと比較され、差Ｄがコントローラ３７０に供給され、コントローラ３７０はそれに対応して、補正力の形態のコントローラ出力変数Ｆをアクチュエータ３０１に通信する。

【００５１】

10

20

30

40

50

概して、図 3 に示す本発明に従って効果的に「分割した」アクチュエータを実現するために、ローパスフィルタ 380 及びハイパスフィルタ 381 を備えた周波数分割ネットワークを実現することが可能である。「385」は、第 2 アクチュエータ部 301b に直接伝えることができる制御部（コントローラ）からの信号（例えば、不安定性につながらずにフィードバック制御ループの荷重緩和に寄与するプリ制御（precontrol）信号）を示す。

【0052】

好ましい一実施形態では、ローパスフィルタ 380 を積分ユニットとして実現することができる。このとき、ハイパスフィルタは、値 1 のゲインを有する素子を形成する。この場合、この好ましい例示的な実施形態では、コントローラ 370 による補正力のこの通信は、最初に第 1 アクチュエータ部 301a に対して行われるが、当該第 1 アクチュエータ部 301a は、その後、第 2 アクチュエータ部 301b による低周波力及び一定力に関して解放される。この荷重緩和（すなわち、特に一定力を含む）がなければ、本発明に従ってメカニカルフィルタ 340 で用いられるばね剛性が比較的低い場合に、望ましくないほど高い撓みがそこで生じるであろう。上記荷重緩和を実現するために、図 3 に示す機構は、ローパスフィルタ 380 を形成する積分ユニットを有し、この積分ユニットは、コントローラ出力変数 F のうちメカニカルフィルタ 340 のフィルタ周波数未満の周波数を有する（当該フィルタ周波数は、例えば 2 Hz ~ 100 Hz の範囲であり得る）部分を積分し、第 2 アクチュエータ部 301b がそれに対応する一定部分を逐次「引き寄せる」限り（insofar as it "pulls over" the corresponding constant portions successively to the second actuator part）、第 2 アクチュエータ部 301b にそれを割り当てる。したがって、このように積分された一定力部分が、担持構造 310 に直接連結した第 2 アクチュエータ部 301b によってミラー 300 に加えられ、第 1 アクチュエータ部 301a から力成分が除去される。

【0053】

結果として、第 1 アクチュエータ部 301a の機械的な分離に用いるメカニカルフィルタ 340 のフィルタマス 341 は、全補正力を上記第 1 アクチュエータ部 301a が引き受けなければならない場合よりも大幅に小さく設計することができる。その結果、かなり小型の構成と共に、ミラー 300 の概ね妨害のない作動が可能となる。

【0054】

図 6 は、例えば本発明を実現できる EUV での動作用に設計したリソグラフィ投影露光装置を概略図で示す。

【0055】

図 6 に示す投影露光装置は、照明デバイス 6 及び投影レンズ 31 を備える。照明デバイス 6 は、光源 2 が放出する照明光 3 の光伝播方向に、コレクタ 26、スペクトルフィルタ 27、視野ファセットミラー 28、及び瞳ファセットミラー 29 を備え、そこから物体面 5 に配置した物体視野 4 に光が当たる。物体視野 4 から出射した光は、入射瞳 30 を有する投影レンズ 31 に入る。投影レンズ 31 は、中間像面 17、第 1 瞳面 16、及び絞り 20 を配置したさらに別の瞳面を有する。投影レンズ 31 は、合計 6 個のミラー M1 ~ M6 を備える。M6 は、光ビーム経路に対する最終ミラーを示し、当該ミラーは通過孔 18 を有する。物体視野 4 又は物体面に配置したレチクルから出射した光線は、結像対象のレチクル構造の像の生成するためのミラー M1 ~ M6 での反射後に、像面 9 に配置したウェハに伝わる。

【0056】

本発明を特定の実施形態に基づいて説明したが、例えば個々の実施形態の特徴の組み合わせ及び／又は交換によって、多くの変形形態及び代替的な実施形態が当業者には明らかである。したがって、当業者には言うまでもなく、かかる変形形態及び代替的な実施形態は、本発明に付随的に包含され、本発明の範囲は、添付の特許請求の範囲及びその等価物の意味の範囲内でのみ制限される。

Fig. 1

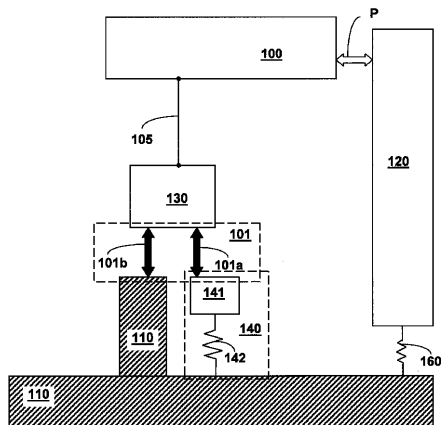


Fig. 2

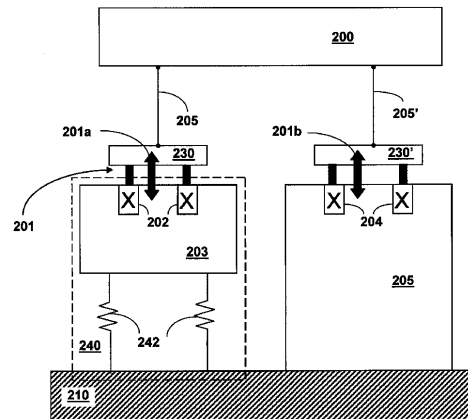
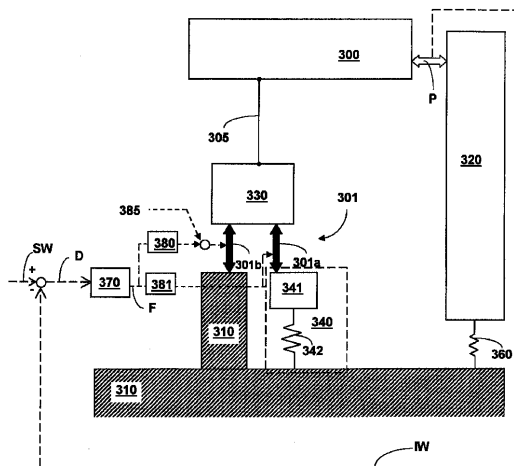
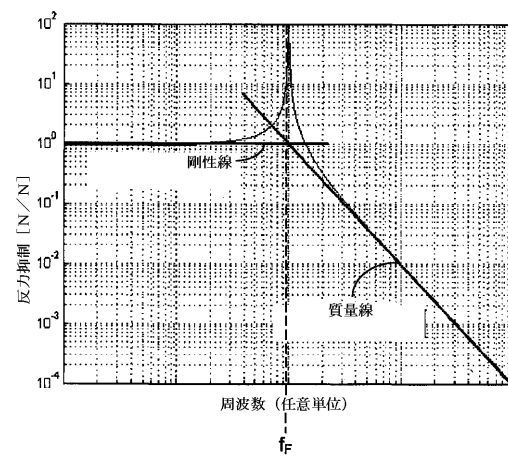


Fig. 3

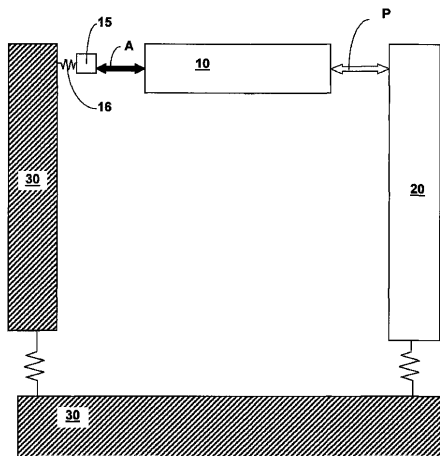


【圖 4】



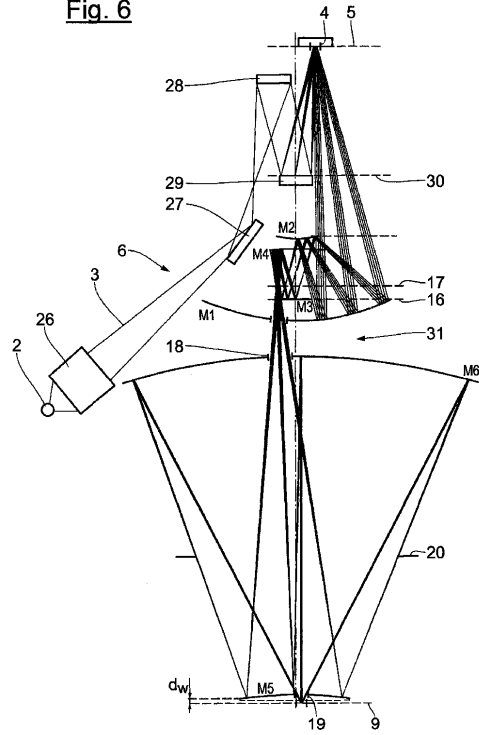
【図 5】

Fig. 5



【図 6】

Fig. 6



フロントページの続き

(72)発明者 ウルリヒ シェーンホッフ
ドイツ国 8 9 0 7 3 ウルム ピオニアシュトラッセ 1 2

審査官 新井 重雄

(56)参考文献 国際公開第2009/115205(WO, A1)
米国特許出願公開第2010/0321662(US, A1)
特開2011-058629(JP, A)
特開2004-340372(JP, A)
米国特許出願公開第2004/0212794(US, A1)
国際公開第2005/085671(WO, A1)
特開2007-316132(JP, A)
特開2003-203860(JP, A)
米国特許出願公開第2003/0019791(US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 3 F	7 / 2 0
G 0 2 B	7 / 1 8 3
G 0 2 B	7 / 1 9 8