

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6864685号
(P6864685)

(45) 発行日 令和3年4月28日(2021.4.28)

(24) 登録日 令和3年4月6日(2021.4.6)

(51) Int.Cl.

G03F 7/20 (2006.01)
G02B 19/00 (2006.01)

F 1

G03F 7/20
G02B 19/00

521

請求項の数 16 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2018-526111 (P2018-526111)
 (86) (22) 出願日 平成28年12月9日 (2016.12.9)
 (65) 公表番号 特表2019-505825 (P2019-505825A)
 (43) 公表日 平成31年2月28日 (2019.2.28)
 (86) 國際出願番号 PCT/EP2016/080498
 (87) 國際公開番号 WO2017/102599
 (87) 國際公開日 平成29年6月22日 (2017.6.22)
 審査請求日 令和1年12月9日 (2019.12.9)
 (31) 優先権主張番号 102015225262.0
 (32) 優先日 平成27年12月15日 (2015.12.15)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関
ドイツ(DE)

(73) 特許権者 503263355
カール・ツァイス・エスエムティー・ゲーエムベーハー
ドイツ連邦共和国、73447 オーバーコッヘン、ルドルフ・エーバー・シュトラーセ 2
(74) 代理人 100147485
弁理士 杉村 憲司
(74) 代理人 230118913
弁護士 杉村 光嗣
(74) 代理人 100202326
弁理士 橋本 大佑
(72) 発明者 ウルリヒ シーンホップ
ドイツ国 89073 ウルム ナーゲル
シュトラーセ 34

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】特にマイクロリソグラフィ投影露光装置用の光学系

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

マイクロリソグラフィ投影露光装置用の光学系であって、前記光学系の光線経路に配置され、前記光学系の作動中に発生する収差を補正するために移動可能な第1反射面(311, 411, 511)と、

前記光学系の前記光線経路に配置された少なくとも1つの第2反射面(312, 412, 512)とを有し、

前記光学系は、前記第1反射面(311, 411, 511)の移動中、前記第1反射面(311, 411, 511)および前記第2反射面(312, 412, 512)の相対位置が安定して維持可能であるように構成され、

前記第1反射面(311, 411, 511)および前記第2反射面(312, 412, 512)は前記光線経路内で直接的に相互に連続する、または前記第1反射面(311, 411, 511)と前記第2反射面(312, 412, 512)との間には反射光学素子のみが存在し、

前記第1反射面(411, 511)および前記第2反射面(412, 512)は別個の鏡体に実現され、

基準位置に対する前記第1反射面(311, 411, 511)および前記第2反射面(312, 412, 512)の共通位置を制御する第1制御ループを有する光学系。

【請求項 2】

請求項1に記載の光学系であって、前記第1反射面(411, 511)および前記第2

10

20

反射面(412, 512)の相対位置を制御する第2制御ループを有する光学系。

【請求項3】

請求項2に記載の光学系であって、前記第1制御ループでの制御は少なくとも1つの第1センサ(420, 520)のセンサ信号に基づいて行われ、前記第2制御ループでの制御は少なくとも1つの第2センサ(425, 525)のセンサ信号に基づいて行われ、前記第1センサ(420, 520)は前記第2センサ(425, 525)よりも感度が低く、前記第2センサ(425, 525)よりも測定範囲が大きい光学系。

【請求項4】

請求項2または3に記載の光学系であって、前記第2制御ループにおける制御は前記第1反射面(411, 511)および前記第2反射面(412, 512)の相対位置を測定する少なくとも1つのセンサ(425, 525)のセンサ信号に基づいて行われる光学系。
10

【請求項5】

請求項1～4の何れか一項に記載の光学系であって、前記第1反射面(311, 411, 511)及び前記第2反射面(312, 412, 512)は前記光線経路において相互に直接的に連続する光学系。

【請求項6】

請求項1～4の何れか一項に記載の光学系であって、前記第1反射面と前記第2反射面との間の前記光線経路に少なくとも1つの反射光学素子が配置される光学系。

【請求項7】

請求項1～6の何れか一項に記載の光学系であって、前記第1反射面(311, 411, 511)および／または前記第2反射面(312, 412, 512)は、前記光学系の作動中、前記反射面のそれぞれに電磁放射が反射する際に発生する、それぞれの面法線に対する反射角度が少なくとも55°となるように配置される光学系。
20

【請求項8】

請求項7に記載の光学系であって、前記反射角度が少なくとも60°となる光学系。

【請求項9】

請求項8に記載の光学系であって、前記反射角度が少なくとも65°となる光学系。

【請求項10】

請求項1～9の何れか一項に記載の光学系であって、前記第1反射面(311, 411, 511)および／または前記第2反射面(312, 412, 512)は非球面である光学系。
30

【請求項11】

請求項1～10の何れか一項に記載の光学系であって、前記第1反射面(311, 411, 511)の移動は前記光学系の作動中に行われることが可能な光学系。

【請求項12】

請求項1～11の何れか一項に記載の光学系であって、前記光学系は30nm未満の動作波長用に設計される光学系。

【請求項13】

請求項12に記載の光学系であって、前記光学系は15nm未満の動作波長用に設計される光学系。
40

【請求項14】

請求項1～13の何れか一項に記載の光学系であって、前記光学系はマイクロリソグラフィ投影露光装置の照明デバイスまたは投影レンズである光学系。

【請求項15】

照明デバイスおよび投影レンズを有するマイクロリソグラフィ投影露光装置であって、前記照明デバイスは、前記投影露光装置の作動中、前記投影レンズ(150)の物体面に配置されたマスク(121)を照明し、前記投影レンズは前記マスク(121)上の構造を前記投影レンズ(150)の像面に配置された感光層上に結像し、前記投影露光装置は請求項1～14の何れか一項に記載の光学系を有するマイクロリソグラフィ投影露光装置
50

。

【請求項 1 6】

マイクロリソグラフィ投影露光装置用の光学系の作動方法であって、前記光学系は光線経路内に第1反射面(311, 411, 511)および少なくとも1つの第2反射面(312, 412, 512)を有し、前記第1反射面(311, 411, 511)は前記光学系の作動中に生じる収差を補正するために移動され、前記移動中、前記第1反射面(311, 411, 511)と前記第2反射面(312, 412, 512)との相対位置は安定して保たれ、前記第1反射面(311, 411, 511)および前記第2反射面(312, 412, 512)は前記光線経路内で相互に直接的に連続する、または前記第1反射面(311, 411, 511)と前記第2反射面(312, 412, 512)との間には反射光学素子のみが存在し、10

基準位置に対する前記第1反射面(311, 411, 511)および前記第2反射面(312, 412, 512)の共通位置を第1制御ループ内で制御し、

前記第1反射面(411, 511)と前記第2反射面(412, 512)との相対位置を第2制御ループ内で制御する作動方法。

【発明の詳細な説明】

【関連出願の相互参照】

【0001】

本願は、2015年12月15日に出願された独国特許出願第10 2015 225 262.0号に基づいて優先権を主張するものであり、その内容を本明細書に参照として援用する。20

【技術分野】

【0002】

本発明は特にマイクロリソグラフィ投影露光装置用の光学系に関する。

【背景技術】

【0003】

マイクロリソグラフィは、例えば集積回路やLCDのような微細構造化構成要素の製造に使用される。マイクロリソグラフィプロセスは、照明デバイスおよび投影レンズを有するいわゆる投影露光装置において行われる。この場合、マスク構造を基板の感光性コーティングに転写するために、照明デバイスによって照明されたマスク(レチクル)の像は、感光層(フォトレジスト)によって被覆され、投影レンズの像面に配置された基板(例えばシリコンウエハ)上に、投影レンズによって投影される。30

【0004】

EUV領域、すなわち波長約13nmまたは17nm用に設計された投影レンズに関しては、適切な光透過性屈折性材料が不足していることから、結像プロセス用の光学部品としてミラーが使用される。例えば特許文献1に記載されているEUV用の典型的な投影レンズは、開口数(NA)0.2~0.3の像側開口数(NA)を有し、(例えば環状の)物体視野を像面またはウエハ面に結像する。

【0005】

とりわけ、光学収差を補正するために、ミラーを投影レンズ内で能動的に作動可能に構成し、最大6自由度での位置操作および収差関連の操作または補正を達成することが知られている。しかしながらこの場合、投影レンズ内でのミラーの位置操作(例えば移動または傾斜)は同時にウエハ面で得られる像の動きを伴うという問題がある。ミラーの動きに対する望ましくない像位置応答の感度はこれらのミラーの動きに対する収差の望ましい操作よりも比較的大きく、いわゆる傾斜自由度において生じるミラーの動きの場合、特にそうであるため、問題は一層深刻である。

【0006】

更なる実際の課題は、投影レンズ内の1つまたは複数のミラー位置を操作することによる収差補正是マイクロリソグラフィ露光プロセス中にも望ましいため、上述の問題は露光40

プロセスの休止中にウエハの位置を調整するだけでは解決することができない。

【0007】

従来技術に関しては、特許文献2、特許文献3、特許文献4および特許文献5を単に例として参照する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】米国特許第7538856(B2)号明細書

【特許文献2】米国特許第6842294(B2)号明細書

【特許文献3】独国特許出願第102012212064(A1)号明細書

10

【特許文献4】独国特許出願第102010038748(A1)号明細書

【特許文献5】国際公開第2008/126925(A1)号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

上述の背景に対する本発明の目的は、特にマイクロリソグラフィ露光プロセス中においても上述の問題を生じさせることなく収差補正を可能にする、特にマイクロリソグラフィ投影露光装置用の光学系を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

20

この目的は独立請求項1の特徴によって達成される。

【0011】

本発明による特にマイクロリソグラフィ投影露光装置用の光学系は、

光学系の光線経路に配置され、光学系の作動中に発生する収差を補正するために移動可能な第1反射面と、

光学系の光線経路に配置された少なくとも1つの第2反射面とを有し、

第1反射面の移動中、第1反射面および第2反射面の相対位置が安定して維持可能であるように構成され、

第1反射面および第2反射面は光線経路内で直接的に相互に連続する、または第1反射面と第2反射面との間には反射光学素子のみが存在する。

30

【0012】

ここで、本願の文脈において、第1反射面の移動中、第1反射面および第2反射面の相対位置が安定して維持可能であることの基準は、露光に伴う像の動き(image movement)が生じないことと理解されたい。好適には、この場合、第1反射面と第2反射面との相対位置は、これらの面の間の角度の最大変化または変動(16ピコラジアン(p rad))を除き一定である。

【0013】

本発明は、特に望ましくない(例えば、投影露光装置の投影レンズ内のウエハ面上における)像の動きを生じさせることなく収差補正のための移動を得るために、少なくとも2つの反射面を相互に安定した、またはほぼ一定の相対位置に維持するという概念に基づくものである。

40

【0014】

本発明の特に有利な適用例は、マイクロリソグラフィ露光プロセス中、ミラーの位置操作によって収差補正を行うものであり、本発明によれば、これは、ウエハ面上の像の動き/シフトの補正を、ミラーを追加する必要なく実現することができる。

【0015】

一実施形態によれば、光学系は基準位置に対する第1反射面および第2反射面の共通位置を制御するための第一制御ループを有する。この場合、共通位置は第1および第2面の位置の平均位置であると理解されよう。更なる実施形態において、光学系は基準位置に対する第1反射面の位置を制御する第1制御ループを有する。

50

【 0 0 1 6 】

一実施形態によれば、光学系は第1反射面と第2反射面との相対位置を制御する第2制御ループを有する。

【 0 0 1 7 】

一実施形態によれば、第1制御ループでの制御は少なくとも1つの第1センサのセンサ信号に基づいて行われ、第2制御ループでの制御は少なくとも1つの第2センサのセンサ信号に基づいて行われ、第1センサの感度は第2センサよりも低く、測定範囲は第2センサよりも大きい。この場合、第1および/または第2制御ループのそれぞれに、複数の自由度で一緒に測定を行う複数のセンサを設けることができる。

【 0 0 1 8 】

10

一実施形態によれば、第2制御ループでの制御は、第1反射面および第2反射面の相対位置を測定する少なくとも1つのセンサのセンサ信号に基づいて行われる。しかしながら本発明はそれに限定されない。更なる実施形態において、(共通の)基準物または基準面に対する第1反射面および第2反射面の各位置を測定することも可能である。

【 0 0 1 9 】

一実施形態によれば、第1反射面および第2反射面は相互に機械的に剛結合される。

【 0 0 2 0 】

一実施形態によれば、第1反射面および第2反射面はモノリシックに実現される。

【 0 0 2 1 】

一実施形態によれば、第1反射面および第2反射面は別個の鏡体上に実現される。

20

【 0 0 2 2 】

一実施形態によれば、第1反射面および第2反射面は光線経路において直接的に相互に連続する。

【 0 0 2 3 】

しかしながら本発明はこれらに限定されない。更なる実施形態において、少なくとも1つの反射光学素子が第1反射面と第2反射面との間の光線経路に配置される。特に、本発明は、(例えば、第1反射面から1つまたは複数の更なる光学素子に延び、そして第2反射面に戻る光学光路のため)第1反射面および第2反射面が、ビーム経路において直接的に相互に連続していないが、小さな距離を空けて相互に配置される実施形態も含む。

【 0 0 2 4 】

30

一実施形態によれば、第1反射面および/または第2反射面は、光学系の作動中それらの面に電磁放射が反射する際に発生する、それぞれの面法線に対する反射角度が少なくとも 55° 、好適には少なくとも 60° 、より好適には少なくとも 65° になるように配置される。

【 0 0 2 5 】

換言すれば、これらの実施形態において、反射面のうちの少なくとも1つをかすめ入射で作動させることができる。このような反射面を持つミラーを略してG I (=grazing incidence、かすめ入射)ミラーとも称する。この使用は、達成可能な反射率が比較的高い(例えば80%以上)ことから一般に望ましい。更に、対応する光学系においては、連続するG Iミラー間の距離が比較的小さい場合もあるため、本発明(例えば第1反射面と第2反射面とが機械的剛結合される場合)は、このような光学系において特に有利に実現することができる。

40

【 0 0 2 6 】

しかしながら本発明はG Iミラーと関連する実現に限定されず、特に、2つの反射面のうちの少なくとも1つが垂直入射で作動される場合にも実現することができる。

【 0 0 2 7 】

一実施形態によれば、第1反射面および/または第2反射面は非球面である。このように、有効な収差補正が達成される一方で、少なくとも良好な近似値で、ウエハ面での像シフトを回避することができる。

【 0 0 2 8 】

50

一実施形態によれば、第1反射面の移動は光学系の作動中に行うことができる。

【0029】

一実施形態によれば、光学系は30nm未満、特に15nm未満の動作波長に対して設計される。しかしながら本発明はこれに限定されず、例えばDUV範囲（例えば250nm未満）の波長でも有利に実現することができる。

【0030】

一実施形態によれば、光学系はマイクロリソグラフィ投影露光装置の照明デバイスまたは投影レンズである。

【0031】

本発明は更に照明デバイスおよび投影レンズを有するマイクロリソグラフィ投影露光装置に関し、照明デバイスは投影露光装置の作動中、投影レンズの物体面に位置するマスクを照明し、投影レンズはそのマスク上の構造を投影レンズの像面に位置する感光層に結像し、投影露光装置は上述の特徴を有する光学系を有する。

10

【0032】

本発明は更に、特にマイクロリソグラフィ投影露光装置の光学系を作動させる方法にも関し、光学系は光線経路に第1反射面および少なくとも1つの第2反射面を有し、第1反射面は光学系の作動中に発生する収差を補正するために移動され、移動中、第1反射面と第2反射面との相対位置は安定して維持され、第1反射面および第2反射面は光線経路において直接的に相互に連続する、または第1反射面と第2反射面との間には反射光学素子のみが存在する。

20

【0033】

一実施形態によれば、基準位置に対する第1反射面の位置は第1制御ループ内で制御される。

【0034】

一実施形態によれば、第1反射面と第2反射面との相対位置は第2制御ループ内で制御される。

【0035】

一実施形態によれば、第1反射面および第2反射面は相互に機械的に剛結合される。

【0036】

本発明の更なる構成を明細書および従属請求項に記載する。

30

【0037】

添付図面に示す例示的実施形態を参照して本発明を以下に詳述する。

【図面の簡単な説明】

【0038】

【図1】EUVで作動するように設計された投影露光装置の概略図である。

【図2】a)～c)は本発明の基本原理および作用形態を説明する概略図である。

【図3】本発明の基本原理および作用形態を説明する概略図である。

【図4】本発明の基本原理および作用形態を説明する概略図である。

【図5a】本発明の更なる実施形態を説明する概略図である。

【図5b】本発明の更なる実施形態を説明する概略図である。

40

【図5c】本発明の更なる実施形態を説明する概略図である。

【図5d】本発明の更なる実施形態を説明する概略図である。

【図6】本発明を実現することのできる投影レンズの例示的実施形態を説明する概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0039】

図1は、EUV領域での作動のために設計され、本発明を実現することのできる例示的投影露光装置の概略図である。

【0040】

図1によれば、EUV用に設計された投影露光装置100における照明デバイスは、視

50

野ファセットミラー 103 および瞳ファセットミラー 104 を有する。プラズマ光源 101 および集光鏡 102 を含む光源部からの光は視野ファセットミラー 103 に向けられる。第 1 望遠鏡ミラー 105 および第 2 望遠鏡ミラー 106 は瞳ファセットミラー 104 の下流の光路に配置される。偏向ミラー 107 は光路の下流に配置され、それに入射する放射線を投影レンズ 150 の物体面の物体視野上に向ける。これは図 1 a のみに示されている。マスクステージ 120 上の反射構造担持マスク 121 は物体視野に配置され、当該マスクは投影レンズ 150 によって像面に結像される。感光層（フォトレジスト）によってウエハステージ 160 上で被覆された基板 161 は当該像面に位置している。

【0041】

本発明によれば、本発明の実施形態において、投影露光装置または投影レンズは、2つの反射面または反射鏡が相互に機械的に剛結合されるように構成することができ、特に図 2 b、2 c および図 3 を参照して以下に説明するように、ウエハ面上で望ましくない像の動きを生じさせることなく収差補正のために当該反射面が所定の回転軸を中心に回転できるように、1つの同じ鏡体上に実現させることができる。

【0042】

更なる実施形態において、図 4 を参照して以下に更に詳述する、片方が2つの反射面の相対移動を制御または最小限に抑え、もう片方が反射面の共通の回転動作を制御し、更に収差補正にも作用する2つの制御ループを実現することにより、ウエハ面における望ましくない像シフトが制御され、これに伴い制御工学コストの削減が可能となる。

【0043】

しかしながら先ずは本発明の基本的な概念について、図 2 の a) ~ c)、図 3 および図 4 の概略図を参照して説明する。

【0044】

図 2 の a) ~ c) の概略図は、再帰反射器のそのような既知の機能原理を説明するものである。

【0045】

入射光線の方向に対して傾斜される際、それぞれの反射光線の方向に敏感な反応を示す単純な平面鏡 210（図 2 a）とは対照的に、図 2 b に示す、相互に固定された角度（本例では 90°）で配置された2つの反射面 220a, 220b を有する再帰反射器 220 では、第 2 反射面で反射される光線の方向は第 1 反射面 220a に入射する際の入射方向 30 とは関係なく維持される。

【0046】

第 2 反射面に反射する光線方向のこのような維持は、2つの反射面の直角配置（すなわち 180° の反射）に限定されず、それぞれの光線を連続的に反射させる2つの表面の間の、他の（一定の）角度において実現される。そのため、2つの反射面 230a, 230b を有する図 2 c に示す鏡体 230 の移動中であっても、第 1 反射面 230a に入射する前の光線の1つの同じ入射方向に対するそれぞれの出射光線（すなわち第 2 反射面 230b で反射される光線）の方向は維持されるか、または一定のままである。

【0047】

上述の考察に基づき、本発明は、特に、リソグラフィプロセス中の相対位置が変わらない、投影レンズ内の2つの反射面を実現する概念を含む。これは、図 3 に示す例示的実施形態を参照して以下に説明するように、特に（ただし本発明をそれに限定することなく）、2つの反射面を相互に機械的に剛結合する、またはこれらを1つの同じ鏡体にモノリシックに実現することによって達成することができる。

【0048】

図 3 は、上述の概念を実現させるための、2つの反射面 311, 312 を有する鏡体 310 の構成を示し、同図に略的に示す様に、作動中に入射する光線はそれぞれの場合において2度連続して反射される（この場合、上述の様に、ミラーを有する投影レンズの像面またはウエハ面の下流に生成される像の位置は、鏡体 310 の移動に関係なく変化しない）。

10

20

30

40

50

【0049】

また図3は、2つの反射面311, 312を有する鏡体310のフレーム305に対する位置が位置センサ320によって測定され、アクチュエータ330を介してコントローラによって（設定点位置の値301に応じて）所望の値に設定される制御ループを示す。位置センサ320、アクチュエータ330およびコントローラ340は、図3の概略図において1自由度のみ、すなわち図面の平面に対して垂直に走る回転軸を中心とする回転運動に対してのみ作用する。技術的には、通常、複数の自由度を同時に操作することができる。

【0050】

更なる実施形態において、複数の自由度を測定するために複数の位置センサ320を設けることも可能である。10

【0051】

ウエハ面に最終的に生成される像位置が収差補正のために行われる鏡体310の動きと関係なく維持されるという事実は、位置センサ320（または複数の位置センサ）が比較的低い測定精度を必要とするようになるという結果をもたらす。この精度は、単一の反射面が移動する際に像位置の安定性を確保しなければならない類似の方法で使用される位置センサの測定精度と比較すると、かなり低いものである。

【0052】

換言すれば、位置センサ320の機能に関しては、収差に影響を及ぼすような鏡体310の位置決めに対しては、比較的粗い位置測定を行えば十分である。この位置測定には収差に影響を及ぼすために必要とされる位置決めに対応する大きな測定範囲（例えば50μm）が必要であるが、移動する1つの反射面のみで反射する場合の像安定性を確保する位置センサと比較して、数桁低い測定精度が要求される。20

【0053】

そのため、センサ技術や制御工学に関するコストが大幅に削減され、そしてその結果、図3に示す構造における鏡体310、アクチュエータ330およびフレーム305の構造的に動的な設計に対する要求が低減される。

【0054】

既に述べた様に、本発明は、同じ鏡体上の2つの連続する反射または反射面の実現、または他の方法で実現されるそれぞれの反射面の機械的剛結合に限定されない。更なる実施形態において、それぞれが反射面を有し、相互に剛結合されていない2つの別個の鏡体の相対位置を、適切な制御ループ内において制御することができる。この場合も、図4を参照して以下に詳述するように、センサ技術および制御工学のコストに関する大きな利点がある。30

【0055】

図4は2つの個々の鏡体410a, 410bを示し、鏡体はそれぞれ反射面411, 412を有し、これらの鏡体は相互に機械的に剛結合されていない。2つの鏡体410a, 410bの相対位置は相対センサ425によって決定される。（2つの鏡体410a, 410bまたは反射面411, 412の相対移動は直接的に大きな像の動きをもたらす可能性があるので、）相対センサ425には比較的高い測定精度が必要とされるが、（反射面411, 412は連続して同じ角度で配置されたままであるため）、当該相対センサには高い測定範囲が必要とされない。40

【0056】

相対位置センサ425の測定信号に基づき、コントローラ445を有する制御ループにおいて、2つの鏡体410a, 410bまたは2つの反射面411, 412の相対位置は、それぞれの鏡体410a, 410bに割り当てられた相対コントローラ445およびアクチュエータ431, 432を用いて制御される。この場合、アクチュエータ431, 432は、例えば鏡体410a, 410bが相互に離れる望ましくない移動の場合、鏡体410a, 410bに再びお互いの方に向かって動き出すような力が加えられるように駆動される。50

【0057】

第1アクチュエータ431によってかけられる力を f_1 、第2アクチュエータ432によってかけられる力を f_2 、作動変数または共通制御ループの力を f_c 、差動制御ループの作動変数を f_d とすると、

$$f_1 = f_c + f_d \quad (1)$$

$$f_2 = f_c - f_d \quad (2)$$

となる。

【0058】

(2つの鏡体410a, 410b間の相対位置に関与する)コントローラ445を有する制御ループに加え、図4によれば、外部フレーム405に対する2つの鏡体410aおよび410bの共通位置または平均位置を制御するコントローラ440を有する上位制御ループが実現される。「401」は設定点位置の値を示す。この場合、

$$q_c = q_1 + 1/2 * q_d \quad (3)$$

となり、 q_1 は第1鏡体410aの位置、 q_c は2つの鏡体410a, 410bの共通位置、 q_d は2つの鏡体410a, 410bの相対位置を示す。

【0059】

コントローラ440を有する当該上位制御ループは(この点に関しては図3の例示的実施形態と同様に)、大きな測定範囲を有するセンサを必要とするが、同時に、必要とする測定精度は低い(というのもこの場合、例えば、収差を操作するための鏡体410a, 410bの傾斜は比較的低い精度で、しかも例えば50μmを超える広い測定範囲にわたって決定しなければならない)。

【0060】

本発明は図4に示すようなアクチュエータの具体的な配置に限定されない。更なる実施形態において、例えば、片方のアクチュエータを2つの鏡体410a, 410bの間で作用させ、もう片方のアクチュエータを鏡体410a, 410bのうちの1つとフレーム405との間で作用させることも可能である。

【0061】

その結果、図4の例示的実施形態を実現するため、2つの制御ループのそれぞれにおいて適用可能なセンサ技術および制御工学に関する(特に、比較的小さな測定範囲にわたって高い測定精度を持つセンサ、および比較的大きな測定範囲にわたって低い測定精度を持つ別のセンサの)要求事項を比較的容易に実現させることができる。

【0062】

図5a～5dは本発明の更なる実施形態を説明する概略図であり、同じ構成部品または同じ機能を持つ構成部品は、図4に示す番号に「100」を加えた番号で示している。

【0063】

図5aの実施形態は図4の実施形態と以下の点、すなわち、外フレームに対する1つの鏡体のみの位置を測定する代わりに、鏡体510a, 510bの両方の平均位置を測定し、これが2つの鏡体510a, 510bの外フレーム505に対する平均位置を制御するコントローラを有するそれぞれの上位制御ループの基準として用いられる点で異なる。「501」は設定点位置の値を示す。

【0064】

図5bに示すコントローラ545を有する制御ループに関しては、鏡体510a, 510bの相互位置の測定およびそれぞれの制御は図4と同様であるが、図4とは対照的に、外フレーム505に対する1つの鏡体510bの位置を測定し、これがコントローラ540を有する制御ループの基準として用いられる。コントローラは鏡体510bの位置を制御する。鏡体510aの位置はコントローラ545によって間接的に制御される。

【0065】

図5cの実施形態は図4の実施形態と、外フレーム505に対する鏡体510a, 510bのそれぞれの位置が測定される点で異なる。これらの測定位置は、両方の制御ループ、すなわち鏡体510a, 510bの共通位置または平均位置を制御するコントローラ5

10

20

30

40

50

40を有する制御ループ、および反射面511, 512または鏡体510a, 510bの相対位置をそれぞれ制御するコントローラ545を有する制御ループに使用される。

【0066】

図5dに係る実施形態は図4の実施形態と、測定対象物、2つの鏡体510a, 510bの相対位置、外フレーム505に対する1つの鏡体510bの位置に関して同様である。しかし図4とは異なり、鏡体510a, 510bの位置はコントローラ550または560を有する別個の制御ループでそれぞれ制御される。

【0067】

図6は、本発明を実現することのできる投影レンズ600の例示的かつ具体的な配置を示す。しかしながら本発明は図6に示す具体的な配置の投影レンズでの実現に限定されない。更なる例示的実施形態において、本発明は（例えば独国特許出願第102012202675（A1）号明細書に開示されているような）異なる配置の投影レンズまたは他の光学系でも実現することができる。図6の例示的実施形態による投影レンズ600はM1～M8の8つのミラーを有し、その中のM1, M4, M7およびM8のミラーは照明光の垂直入射（入射角45°未満）用のミラーとして実現され、モリブデン（Mo）およびシリコン（Si）層からなる積層反射層を構成することができる。ミラーM2, M3, M5およびM6は照明光のかすり入射（60°より大きい入射角）用のミラーとして実現され、例えば、モリブデン（Mo）またはルテニウム（Ru）から成る層で被覆することができる。

【0068】

ほんの一例として、本発明における、その間の相対位置が安定している反射面を、ミラーM5, M6の光学有効面（かすり入射下で反射する2つの面の組み合わせ）、またはミラーM3, M4の光学有効面（かすり入射下で反射する面とほぼ垂直の入射で反射する面との組み合わせ）とすることができる。

【0069】

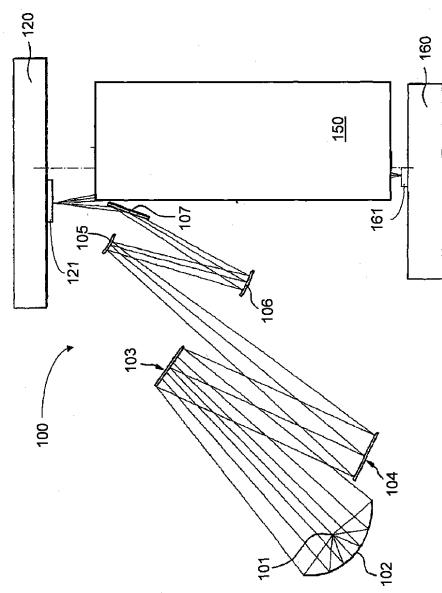
本発明を特定の実施形態に基づいて説明してきたが、個々の実施形態の特徴の組み合わせおよび／または交換による多くの変形および代替実施形態が当業者にとって明らかである。従って、そのような変形および代替実施形態が本発明に含まれ、本発明の範囲が添付の特許請求項およびその等価物の観点からのみ限定されることは当業者にとって明らかであろう。

10

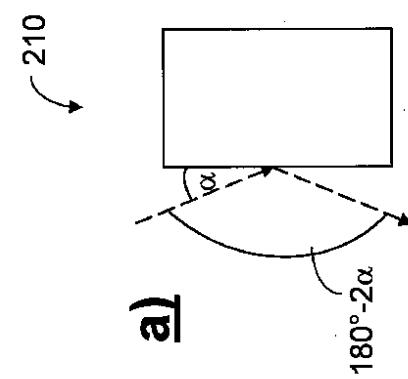
20

30

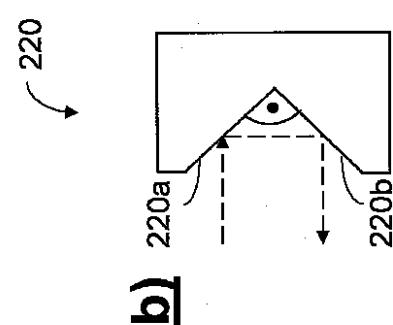
【図1】

Fig.1

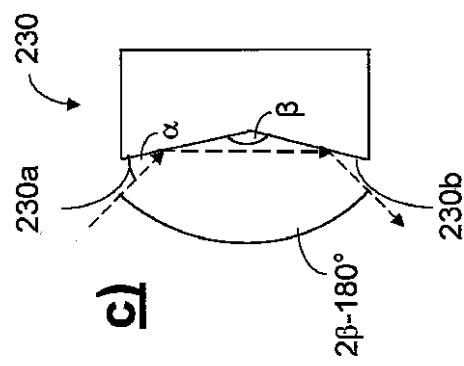
【図2 a)】



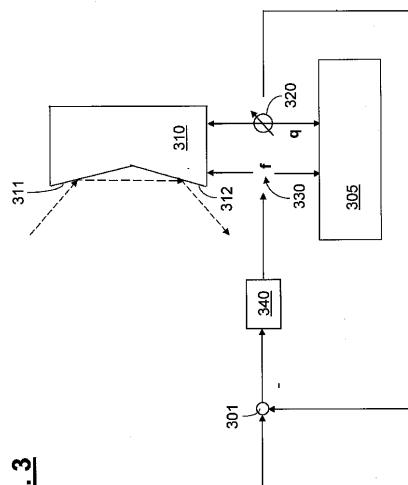
【図2 b)】

b)

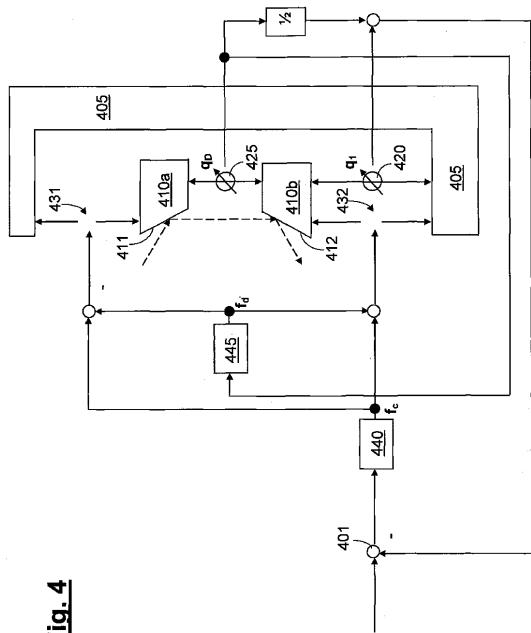
【図2 c)】



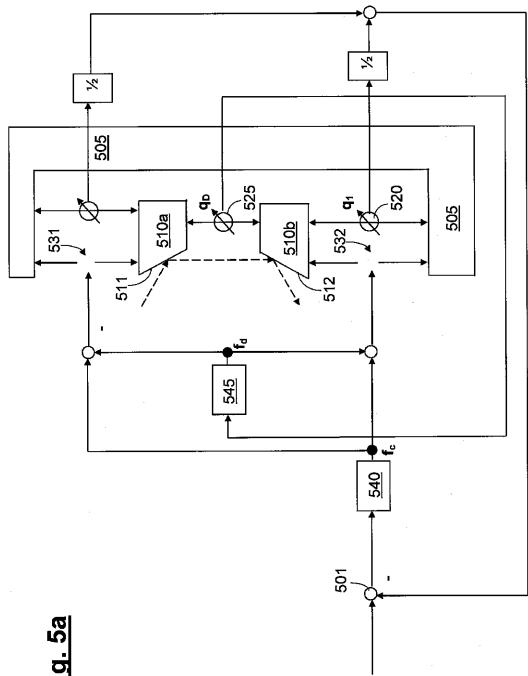
【図3】

Fig.3

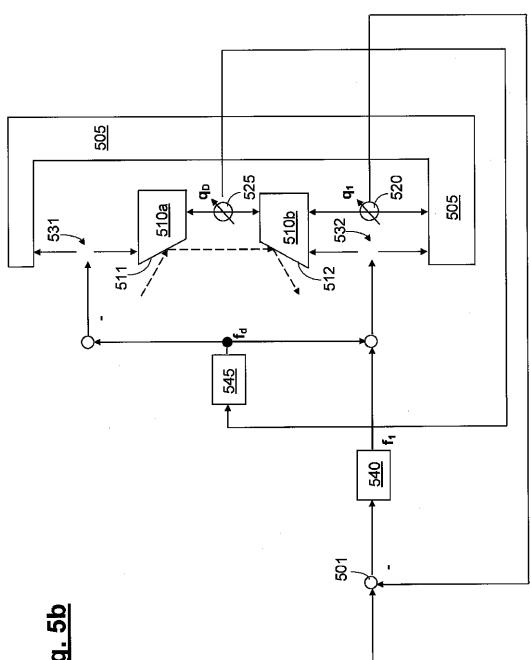
【図4】

Fig. 4

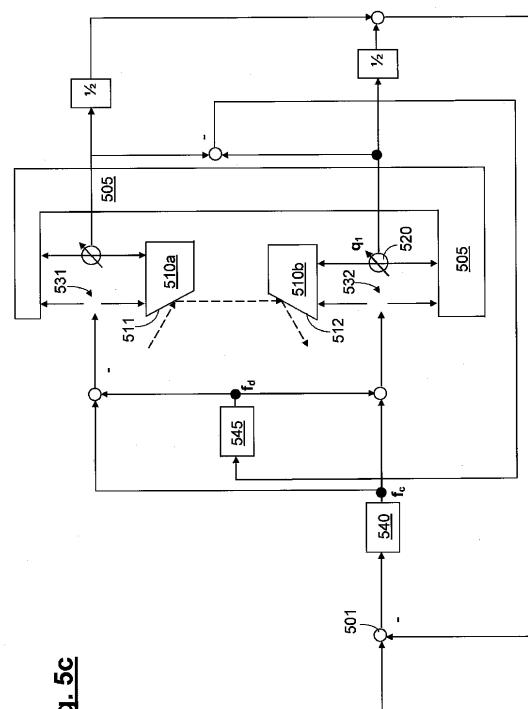
【図5 a】

Fig. 5a

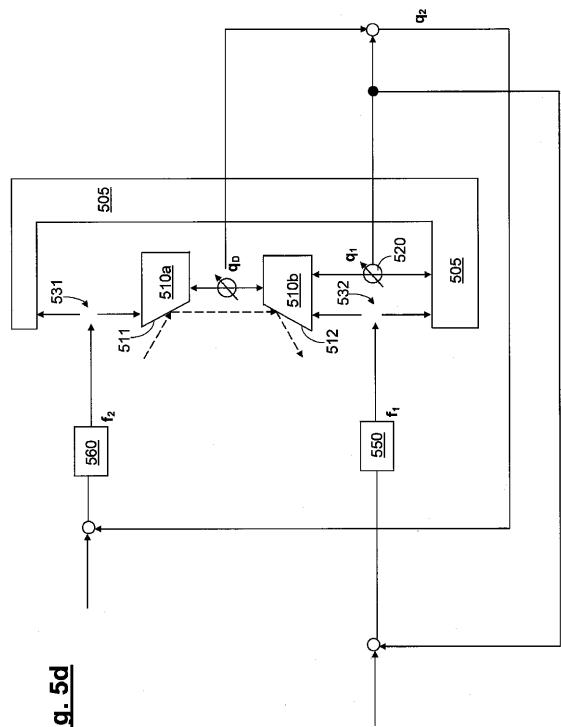
【図5 b】

Fig. 5b

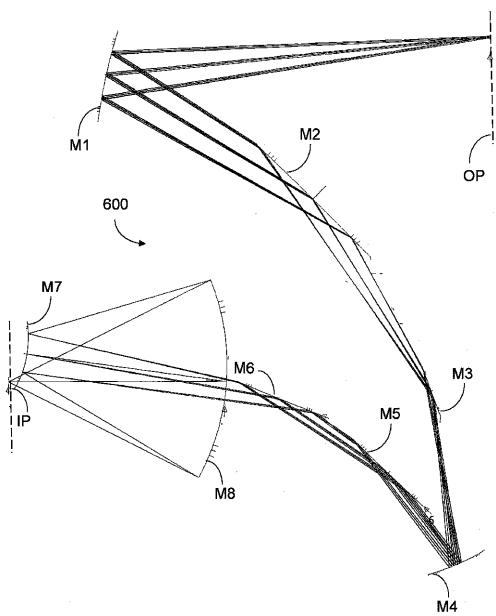
【図5 c】

Fig. 5c

【図 5 d】

Fig. 5d

【図 6】

Fig. 6

フロントページの続き

審査官 長谷 潮

- (56)参考文献 特開2004-343078(JP,A)
国際公開第2015/014753(WO,A1)
特開2011-014908(JP,A)
特開2004-266264(JP,A)
特開2006-140366(JP,A)
米国特許出願公開第2006/0215133(US,A1)
特表2005-527848(JP,A)
特開2001-215718(JP,A)
米国特許出願公開第2007/0195317(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 03 F 7 / 20
G 02 B 19 / 00