

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6483626号  
(P6483626)

(45) 発行日 平成31年3月13日 (2019. 3. 13)

(24) 登録日 平成31年2月22日 (2019. 2. 22)

(51) Int. Cl.

F I

G03F 7/20 (2006.01)

G03F 7/20 503

G02B 5/10 (2006.01)

G03F 7/20 521

G02B 26/08 (2006.01)

G02B 5/10 B

G02B 26/08 J

G02B 26/08 E

請求項の数 25 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2015-562046 (P2015-562046)  
 (86) (22) 出願日 平成26年3月7日 (2014. 3. 7)  
 (65) 公表番号 特表2016-517028 (P2016-517028A)  
 (43) 公表日 平成28年6月9日 (2016. 6. 9)  
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2014/054487  
 (87) 国際公開番号 W02014/139896  
 (87) 国際公開日 平成26年9月18日 (2014. 9. 18)  
 審査請求日 平成29年3月6日 (2017. 3. 6)  
 (31) 優先権主張番号 102013204427.5  
 (32) 優先日 平成25年3月14日 (2013. 3. 14)  
 (33) 優先権主張国 ドイツ (DE)  
 (31) 優先権主張番号 61/781, 280  
 (32) 優先日 平成25年3月14日 (2013. 3. 14)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 503263355  
 カール・ツァイス・エスエムティー・ゲー  
 エムペーハー  
 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 100167623  
 弁理士 塚中 哲雄  
 (72) 発明者 マルクス ハウフ  
 ドイツ国 89075 ウルム ハーフェ  
 ンベルク 4

審査官 長谷 潮

前置審査

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 特にマイクロリソグラフィー投影露光装置内のミラーの熱作動用装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

マイクロリソグラフィー投影露光装置内の光学系内のミラーの熱作動用の装置であって、前記ミラーは、ミラー基板(102, 202)及び光学有効面(101, 201)を有し、当該ミラー(100)の前記光学有効面に相当しない表面から前記光学有効面(101, 201)の向きに延びる少なくとも1つのアクセスチャネル(110, 111, 112, 210)も有し、

可変に設定することができる冷却能力を有する冷却素子(120, 220)が、前記少なくとも1つのアクセスチャネル(110, 111, 112, 210)内に突出し、

可変に設定することができる加熱能力を、前記ミラー基板(102, 202)の前記光学有効面に隣接した領域内に結合させるための少なくとも1つの熱源が設けられ、

前記熱源が、加熱放射を前記少なくとも1つのアクセスチャネル(110, 210)内に結合させるための少なくとも1つの熱放射器(130, 230)を有し、

前記少なくとも1つの熱放射器(130, 230)が、前記アクセスチャネル(110, 111, 112, 210)の、前記光学有効面に面した端部に配置されており、

前記冷却素子は前記熱源に接触せず、

前記冷却素子(120, 220)の前記冷却能力、及び前記少なくとも1つの熱源の前記加熱能力を設定することによって、前記光学有効面(101, 201)と、前記ミラー(100)の前記光学有効面に相当しない表面との間に熱流束が実現可能になり、この熱流束は、温度勾配、及び当該温度勾配に関連する前記ミラー基板(102, 202)の熱膨張係数の値の局所的変化を生じさせることを特徴とする装置。

## 【請求項 2】

複数の前記アクセスチャネル(110, 111, 112, 210)を有することを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

## 【請求項 3】

前記アクセスチャネル(110, 111, 112, 210)の各々に、前記冷却素子(120, 220)が割り当てられていることを特徴とする請求項 2 に記載の装置。

## 【請求項 4】

前記冷却素子(120, 220)の前記冷却能力を、互いに独立して設定することができることを特徴とする請求項 3 に記載の装置。

## 【請求項 5】

前記冷却素子(120, 220)の少なくとも 1 つが、管状の幾何学的形状を有することを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の装置。

## 【請求項 6】

前記アクセスチャネル(110, 111, 112, 210)の各々に、熱放射器(130, 230)が割り当てられていることを特徴とする請求項 2 ~ 5 のいずれかに記載の装置。

## 【請求項 7】

前記熱放射器(130, 230)の前記加熱能力を、互いに独立して設定することができることを特徴とする請求項 6 に記載の装置。

## 【請求項 8】

前記加熱放射が、少なくとも  $2 \sim 5 \mu\text{m}$  の波長を有することを特徴とする請求項 5 ~ 7 のいずれかに記載の装置。

## 【請求項 9】

前記ミラーが反射コーティング(550)を有し、前記熱源が、少なくとも 1 つの加熱ワイヤ(540)または少なくとも 1 つの放熱導体路を有し、前記加熱ワイヤまたは前記放熱導体路は、前記ミラー基板(102)と前記反射コーティング(550)との間に配置されていることを特徴とする請求項 1 ~ 8 のいずれかに記載の装置。

## 【請求項 10】

前記アクセスチャネル(110, 111, 112, 210)が、前記ミラー(100)の前記光学有効面(101, 201)とは反対側にある表面から、前記光学有効面(101, 201)の向きに延びることを特徴とする請求項 1 ~ 9 のいずれかに記載の装置。

## 【請求項 11】

前記ミラーが、第 1 ミラー基板材料の第 1 ミラー基板領域(202a)、及び前記第 1 ミラー基板材料とは異なる第 2 ミラー基板材料の第 2 ミラー基板領域(202b)を有し、前記第 2 ミラー基板領域(202b)が、前記第 1 ミラー基板領域(202a)よりも、前記ミラーの前記光学有効面(201)から離れていることを特徴とする請求項 1 ~ 10 のいずれかに記載の装置。

## 【請求項 12】

前記第 1 ミラー基板材料が、所定温度で、絶対量の意味で前記第 2 ミラー基板材料よりも低い線膨張係数を有することを特徴とする請求項 11 に記載の装置。

## 【請求項 13】

前記第 1 ミラー基板材料が、「超低膨張材料」(ULE (登録商標))であることを特徴とする請求項 11 または 12 に記載の装置。

## 【請求項 14】

前記第 2 ミラー基板材料が、アモルファスまたは結晶石英( $\text{SiO}_2$ )であることを特徴とする請求項 11 ~ 13 のいずれかに記載の装置。

## 【請求項 15】

前記熱源の前記加熱能力の変化、及び/または、前記冷却素子(120, 220)の前記冷却能力の変化によって、前記ミラーの所定の変形プロファイルを生成することができることを特徴とする請求項 1 ~ 14 のいずれかに記載の装置。

## 【請求項 16】

前記ミラー基板(102, 202)の前記光学有効面(101, 201)とは反対側に面した領域内の温

10

20

30

40

50

度変化によって、前記ミラー基板(102, 202)の前記光学有効面(101, 201)とは反対側に面した前記領域内に变形を生じさせることができ、この变形が前記光学有効面(101, 201)に機械的に伝達されることを特徴とする請求項 1 ~ 1 5 のいずれかに記載の装置。

【請求項 1 7】

前記ミラーが、反射コーティング(550)、及び前記ミラー基板(102)と前記反射コーティング(550)との間に配置された前記アクセスチャネル(110)内に結合される加熱放射の吸収用の吸収層(530)を有することを特徴とする請求項 1 ~ 1 6 のいずれかに記載の装置。

【請求項 1 8】

マイクロリソグラフィ投影露光装置内の光学系であって、  
請求項 1 ~ 1 7 のいずれかに記載の装置を有する光学系。

10

【請求項 1 9】

マイクロリソグラフィ投影露光装置内の光学系内でミラーを熱作動させる方法であって、このミラー(100)が、ミラー基板(102, 202)、光学有効面(101, 201)、及び前記ミラー(100)の前記光学有効面(101, 201)に相当しない表面から前記光学有効面の向きに延びる少なくとも 1 つのアクセスチャネル(110, 111, 112, 210)を有し、前記ミラーは、可変に設定することができる冷却能力を有し前記アクセスチャネル内に突出する冷却素子(120, 220)も有する方法において、

少なくとも 1 つの熱源によって、加熱能力を、前記ミラー基板の前記光学有効面に隣接した領域内に結合し、

前記熱源が、加熱放射を前記少なくとも 1 つのアクセスチャネル(110, 210)内に結合させるための少なくとも 1 つの熱放射器(130, 230)を有し、

20

前記少なくとも 1 つの熱放射器(130, 230)が、前記アクセスチャネル(110, 111, 112, 210)の、前記光学有効面に面した端部に配置されており、

前記冷却素子は前記熱源に接触せず、

前記熱源の前記加熱能力及び／または前記冷却素子(102, 202)の前記冷却能力を変化させることによって、前記ミラーの所定の变形プロファイルを生成し、

前記熱源(130, 230, 540)の前記加熱能力及び／または前記冷却素子(120, 220)の前記冷却能力を変化させることは、前記ミラー(100)の前記光学有効面の領域内の温度が、 $\pm 3$  K 以内で一定値に保たれるように実行することを特徴とする方法。

【請求項 2 0】

30

前記一定値が、関係領域内の前記ミラー基板材料のゼロ交差温度に相当することを特徴とする請求項 1 9 に記載の方法。

【請求項 2 1】

前記一定値が 2 2 ~ 5 5 の範囲内にあることを特徴とする請求項 1 9 または 2 0 に記載の方法。

【請求項 2 2】

前記熱源(130, 230, 540)の前記加熱能力の変化を、前記投影露光装置の動作中の光学的負荷によって生じる前記光学面内への熱入力が、少なくとも部分的に補償されるような方法で実行することを特徴とする請求項 1 9 ~ 2 1 のいずれかに記載の方法。

【請求項 2 3】

40

前記冷却素子(120, 220)の前記冷却能力及び前記少なくとも 1 つの熱源の前記加熱能力を設定することによって、前記光学有効面(101, 201)と前記ミラー(100)の前記光学有効面に相当しない表面との間に熱流束が実現され、この熱流束は、温度勾配、及び当該温度勾配に関連する前記ミラー基板(102, 202)の熱膨張係数の値の局所的変化を生じさせることを特徴とする請求項 1 9 ~ 2 2 のいずれかに記載の方法。

【請求項 2 4】

前記局所的変化は、前記ミラー基板の熱膨張係数が、前記光学有効面(101, 201)から前記ミラー(100)の前記光学有効面に相当しない表面に至る向きに増加するように生じること

を特徴とする請求項 2 3 に記載の方法。

【請求項 2 5】

50

前記ミラー基板(102, 202)の前記光学有効面(101, 201)とは反対側の領域内の温度変化によって、前記ミラー基板(102, 202)の前記光学有効面(101, 201)とは反対側の前記領域内に変形が生じ、この変形は、前記光学有効面(101, 201)に機械的に伝達されることを特徴とする請求項 1 9 ~ 2 4 のいずれかに記載の方法。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

#### 【0001】

関連出願のクロスリファレンス

10

本願は、独国特許出願第 1 0 2 0 1 3 2 0 4 4 2 7 . 5 号及び米国特許仮出願第 6 1 / 7 8 1 2 8 0 号、共に 2 0 1 3 年 3 月 1 4 日出願に基づいて優先権を主張する。これらの出願の内容は、参照する形で本明細書に含める。

#### 【0002】

発明の分野

本発明は、特にマイクロリソグラフィ投影露光装置内のミラーの熱作動用の装置に関するものである。

#### 【背景技術】

#### 【0003】

マイクロリソグラフィは、例えば集積回路または L C D (liquid crystal display : 液晶表示装置)のような微小構造部品の生産に用いられる。マイクロリソグラフィプロセスは、投影露光装置として知られているものにおいて実行され、この装置は照明装置及び投射レンズを有する。これにより、照明装置を用いて照射されるマスク (= レチクル) の像が、投射レンズを用いて、感光層 (フォトリソレジスト) をコーティングされ、投射レンズの像面内に配置された基板 (例えばシリコンウェハー) 上に投射されて、マスク構造を基板の感光コーティングに転写する。

20

#### 【0004】

E U V (extreme ultraviolet : 極紫外線) 範囲、即ち、例えば約 1 3 nm または約 7 nm の波長用に設計された投射レンズでは、適切な光透過性屈折材料が利用可能でないことにより、ミラーを結像プロセス用の構成部品として用いる。実際に生じる問題は、特に E U V 光源によって放出される放射の吸収の結果として、E U V ミラーが加熱され、これに伴う膨張または変形が生じ、こうした膨張及び変形は、光学系の結像特性を悪化させる結果をもたらす。同時に、リソグラフィプロセスにおける (例えば双極 (ダイポール) または四極設定のような) 特別な照射設定の使用により、そしてレチクルによって生じる回折の次数により、E U V 放射によってもたらされる熱入力、ミラーの瞳孔に近い光学的有效断面全体にわたって変化し得る。これにより、ミラーへの不均一な熱入力が生じる。

30

#### 【0005】

これらの効果を、発生した際に補償することができるために、そして、ミラーの光学特性を具体的に变化させるためにも、例えば光学系内に発生する収差を補償するために、熱作動 (熱アクチュエーション) によってミラーの変形を制御することが知られている。ミラーの温度測定及び/またはミラーの作動 (アクチュエーション) またはその特定の変形は、例えば国際公開第 2 0 1 0 / 0 1 8 7 5 3 号パンフレット (特許文献 1)、米国特許出願公開第 2 0 0 4 / 0 0 5 1 9 8 4 号明細書 (特許文献 2)、国際公開第 2 0 0 8 / 0 3 4 6 3 6 号パンフレット (特許文献 3)、独国特許出願公開第 1 0 2 0 0 9 0 2 4 1 1 8 号明細書 (特許文献 4)、国際公開第 2 0 0 9 / 0 4 6 9 5 5 号パンフレット (特許文献 5)、及び国際公開第 2 0 1 2 / 0 4 1 7 4 4 号パンフレット (特許文献 6) より知られる。

40

#### 【0006】

ミラーの熱作動または熱変形において実際に生じる問題は、一方では、熱膨張または熱

50

収縮によってミラー基板材料に変形を生じさせるために、実際には、ミラー基板材料の熱負荷に対する十分な感度が存在しなければならないが、他方では、投影露光装置の「通常」動作中に発生する光学的負荷、及びこれに関連する温度効果に対する感度が望まれる、ということである。換言すれば、変形を生じさせる目的で導入される熱負荷に対する感度の増加を得るための、ミラーの設計における追加的な方策なしでは、使用する（例えばEUV）放射による不可避の光学的負荷の結果として、投影露光装置の動作中に熱的に誘導される収差の発生が増加する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

10

【特許文献1】国際公開第2010/018753号パンフレット

【特許文献2】米国特許出願公開第2004/0051984号明細書

【特許文献3】国際公開第2008/034636号パンフレット

【特許文献4】独国特許出願公開第102009024118号明細書

【特許文献5】国際公開第2009/046955号パンフレット

【特許文献6】国際公開第2012/041744号パンフレット

【特許文献7】米国特許出願公開第2008/0170310号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

20

本発明の目的は、効率的な熱作動を可能にすると同時に、通常動作中に発生する光学的負荷に対して低い感度を有する、光学系内のミラーの熱作動用の装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0009】

この目的は、独立請求項1の特徴による装置によって達成される。

【0010】

本発明による一態様によれば、本発明は、特にマイクロリソグラフィ投影露光装置内の光学系内のミラーの熱作動用の装置に関するものであり、このミラーは、ミラー基板及び光学有効面を有し、ミラーの光学有効面に相当しない表面からこの有効面の向きに延びる少なくとも1つのアクセスチャネルも有し、

30

可変に設定することができる冷却能力を有する冷却素子が、少なくとも1つのアクセスチャネル内に突出し、

可変に設定することができる加熱能力を、光学有効面に隣接するミラー基板の領域内に結合するための少なくとも1つの熱源が設けられ、

冷却素子の冷却能力及び少なくとも1つの熱源の加熱能力を設定することによって、光学有効面と、ミラーの光学有効面に相当しない表面との間に熱流束が実現可能になり、この熱流束は、温度勾配、及びこれに関連するミラー基板の熱膨張係数の値の局所的変化を生じさせる。

【0011】

40

本発明は、特に、その冷却能力に関して可変である冷却素子を、その加熱能力に関して可変に設定することができる熱源と組み合わせて用いて、熱作動において、自動制御の意味で互いに独立して設定することができる2つの自由度を提供する概念に基づく。このことは、一方では、ミラーまたはミラー基板全体にわたって、光学有効面またはそこに存在する反射コーティングの直近にあり、光学系または投影露光装置の動作中に光学有効面に当たる電磁（例えばEUV）放射による不可避の熱負荷に晒されるミラー基板の領域が、「ゼロ交差温度」として知られているものが光学有効面に直近のこの領域内に設定されるという理由で、比較的低いか、さらには完全に無視できる温度感度を有するように形成される温度プロファイルを設定する可能性を生み出す。このゼロ交差温度では、熱膨張係数

50

がその温度依存性におけるゼロ交差を有し、このゼロ交差の付近では、ミラー基板材料の

熱膨張が生じないか、無視できる熱膨張しか生じない。

【 0 0 1 2 】

他方では、上述した自動制御の意味で互いに独立して設定することができる2つのパラメータまたは自由度により、（光学有効面の付近とは）完全に異なる温度を、光学有効面からより離れたミラー基板の領域内に設定することができ、この温度では、関係する材料について、特定の熱作動または熱変形にとって望ましい、熱負荷に対する比較的大きい感度が得られる。

【 0 0 1 3 】

換言すれば、本発明は、特に、一方では冷却素子の冷却能力の、他方では少なくとも1つの熱源の加熱能力の、独立して実現可能な調整機能を用いて、上記光学有効面と、上記ミラーの光学有効面に相当しない面（例えば、ミラーの背面）との間に熱流束を生成する概念に基づく。この熱流速は、温度勾配、及びこれに関連するミラー基板の熱膨張係数の値の局所的変化を生じさせ、このことは、温度感度の意味で、あるいは局所的に変化する熱膨張係数（CTE：coefficient of thermal expansion）の意味でバイメタルと同等のミラー基板の挙動をもたらす。より具体的には、この挙動は、ミラーの光学有効面を、ミラー材料が光学系の動作中に発生する熱負荷に対してほぼ無感度であるような温度に維持することを可能にすると同時に、ミラー基板の光学有効面から離れた領域を、異なるCTE値に起因して、より高感度または熱作動可能にして、ミラーの所望の特定変形を生成することを可能にする。この概念によって、本発明は、熱負荷に対して無感度であることが望ましいアクチュエータも、熱作動に対して無感度に挙動する、という相反する態様を回避または防止する。

【 0 0 1 4 】

特に、例えば光学系の動作中に発生する光学的負荷の増加がある際に、そして、ミラーの光学有効面の直近でゼロ交差温度を維持する目的で、冷却素子の冷却能力は不変のまま熱源の加熱能力を低減することができ、光学有効面の直近で熱平衡が保たれるという結果を伴うのに対し、ゼロ交差温度より十分低い温度である、光学有効面から離れた領域では、この遠隔領域における、より大きくもはや無視できない線膨張係数の結果として、効率的な熱作動または熱変形が生じることができる。

【 0 0 1 5 】

その結果、一方では熱源の加熱能力と、他方では同様に可変に設定することができる冷却素子の冷却能力との適切な組合せによって、光学有効面から離れた領域内の温度を、いつでも具体的に操作することができると共に、光学有効面の直近の温度は、ほぼ一定に保たれる（この温度は、上述したゼロ交差温度であることが好ましい）。温度変化に対する感度の結果として、光学有効面から離れた領域内では、ミラーの変形を生成することができるのと同時に、光学有効面の領域内では、ミラーが、光学系の動作中に発生する不可避の光学的負荷である入射電磁放射に対して概ね無感度のままである。

【 0 0 1 6 】

1つの態様によれば、上記装置が複数のアクセスチャネルを有する。この関係では、特に、これらのアクセスチャネルの各々に冷却素子を割り当てることができ、これらの冷却素子は、その冷却能力を互いに独立して設定することができる。

【 0 0 1 7 】

1つの好適例によれば、少なくとも1つの冷却素子が管状の幾何学的形状を有する。

【 0 0 1 8 】

1つの好適例によれば、上記熱源が、加熱放射を上記少なくとも1つのアクセスチャネル内に結合させるための少なくとも1つの熱放射器を有する。さらに、これらのアクセスチャネルの各々に熱放射器を割り当てることができ、これらの熱放射器は、その加熱能力を互いに独立して設定することができることが好ましい。さらに、上記少なくとも1つの熱放射器は、光学有効面に対面するアクセスチャネルの端部に配置することができる。しかし、本発明はこのことに限定されず、このため、他の好適例では、熱放射器を、例えばミラーの後面の領域内に配置して、アクセスチャネルに沿った反射によって結合すること

ができる（「かすり入射」として知られているものによることが好ましい）。

【0019】

上記加熱放射は、例えば、少なくとも2.5 μm、特に5 μmの波長を有することができる。

【0020】

他の好適例では、上記熱源が、少なくとも1つの加熱ワイヤまたは（例えば、構造化された導電層の形態の）少なくとも1つの放熱導体路を有することもでき、この放熱導体路は、ミラー基板とミラーの反射コーティングとの間に配置されている。

【0021】

1つの好適例によれば、上記アクセスチャネルが、光学有効面とは反対側の表面から光学有効面の向きに延びる。

【0022】

1つの好適例によれば、上記ミラーが、第1ミラー基板材料の第1ミラー基板領域、及び第1ミラー基板材料とは異なる第2ミラー基板材料の第2ミラー基板領域を有し、第2ミラー基板領域の方が第1ミラー基板領域よりもミラーの光学有効面から離れている。この関係では、第1ミラー基板材料が、所定温度で、第2ミラー基板材料よりも低い線膨張係数を有することが好ましい。

【0023】

この構成の結果として、特定変形の目的で望まれる、上述したミラー基板材料のより高い感度が、ミラー基板材料内に形成される温度勾配に起因するだけでなく、異なるミラー基板材料間の遷移にも起因して、光学有効面からより離れた領域内に得られ、このことは、特に、ミラー基板内に形成される温度勾配だけでは、変形のために望まれる熱負荷に対する感度を達成するにはまだ十分でない際に常に有利であり、それと同時に、光学有効面ではゼロ交差温度が維持される。

【0024】

1つの好適例によれば、上記第1ミラー基板材料が、超低熱膨張の「超低膨張材料」、例えばコーニング社によってULE（ultra low expansion）（登録商標）の商品名で販売されているケイ酸チタニウムガラスである。さらに、上記第2ミラー基板材料は、例えば、アモルファスまたは結晶石英（SiO<sub>2</sub>）とすることができる。

【0025】

1つの好適例によれば、上記ミラーが、反射コーティング、及びミラー基板とこの反射コーティングとの間に配置されたアクセスチャネル内に結合される加熱放射の吸収用の吸収層を有する。

【0026】

本発明は、特にマイクロリソグラフィ投影露光装置内でミラーを熱作動させる方法にも関するものであり、このミラーは、ミラー基板、光学有効面、及びミラーの光学有効面に相当しない表面から光学有効面の向きに延びる少なくとも1つのアクセスチャネルを有し、さらに、可変に設定することができる冷却能力を有し上記少なくとも1つのアクセスチャネル内に突出する冷却素子も有し、

少なくとも1つの熱源によって、加熱能力を、ミラー基板の光学有効面に隣接した領域内に結合し、

熱源の加熱能力及び／または冷却素子の冷却能力を変化させることによって、ミラーの所定の変形プロファイルを生成し、

熱源の加熱能力及び／または冷却素子の冷却能力を変化させることは、ミラーの光学有効面の領域内の温度が、±3ケルビン(K)以内に一定値に保たれるように実行する。

【0027】

この一定値は、関係領域内のミラー基板材料のゼロ交差温度に相当することが好ましい。1つの好適例によれば、この一定値は、例えば、22 ~ 55 の範囲内、特に22 ~ 40 の範囲内にある。

【0028】

10

20

30

40

50

1つの好適例によれば、熱源の加熱能力の変化を、投影露光装置の動作中の光学的負荷によって生じる光学有効面内への熱入力が少なくとも部分的に補償されるような方法で実行することができる。このようにして、可変の光学的負荷の下でも、光学有効面の温度を一定に保つことができる。

【0029】

1つの好適例によれば、ミラー基板の光学有効面とは反対側に面した領域内の温度変化によって、ミラー基板の光学有効面とは反対側に面した当該領域内に変形が生じ、この変形は光学有効面に機械的に伝達される。

【0030】

この方法の他の好適な構成または利点については、本発明による装置に関連して以上で行った説明を参照されたい。

10

【0031】

本発明の他の構成は、発明の詳細な説明及び従属請求項から理解することができる。

【0032】

以下、本発明を、添付した図面に表す好適な実施形態に基づいて説明する。

【図面の簡単な説明】

【0033】

【図1】本発明の第1実施形態におけるミラーの熱作動用の、本発明による装置の構造を説明するための概略表現を示す図である。

【図2a】本発明の第1実施形態におけるミラーの熱作動用の、本発明による装置の構造を説明するための概略表現を示す図である。

20

【図2b】本発明の第1実施形態におけるミラーの熱作動用の、本発明による装置の構造を説明するための概略表現を示す図である。

【図2c】本発明の第1実施形態におけるミラーの熱作動用の、本発明による装置の構造を説明するための概略表現を示す図である。

【図2d】本発明の第1実施形態におけるミラーの熱作動用の、本発明による装置の構造を説明するための概略表現を示す図である。

【図2e】本発明の第1実施形態におけるミラーの熱作動用の、本発明による装置の構造を説明するための概略表現を示す図である。

【図2f】本発明の第1実施形態におけるミラーの熱作動用の、本発明による装置の構造を説明するための概略表現を示す図である。

30

【図3】線膨張係数の温度依存性を、異なるミラー基板材料についてプロットした図である。

【図4】本発明の他の好適な実施形態におけるミラーの熱作動用の、本発明による装置の構造を説明するための概略表現を示す図である。

【図5】本発明の他の実施形態の概略表現を示す図である。

【図6】本発明を実現することができる、例えばEUVでの動作用に設計されたマイクロリソグラフィ投影露光装置の投射レンズの概略表現を示す図である。

【図7】本発明の概念を例示する概略表現を示す図である。

【発明を実施するための形態】

40

【0034】

以下、ミラーを熱作動させる装置を、最初に、本発明の好適な実施形態に基づく図1及び図2a~bを参照しながら説明する。

【0035】

図1の透視図による概略表現によれば、ミラー100が複数のアクセスチャネル110、111、112、...を有し、これらのアクセスチャネルは、ミラーの後面（即ち、ミラー100の光学有効面101とは反対側の面）から「102」で表すミラー基板を通して光学有効面101の付近まで延び、図1によれば、アクセスチャネル110、111、112、...はマトリクス状の配列をなす。図2a~bでは、1つのアクセスチャネル101のみを断面で示し、ミラー100及び他のアクセスチャネル111、112、...も

50



同様に構成されている。ミラー 100 またはミラー基板 102 の光学有効面 101 上には、反射コーティング（図示せず）が存在する。

【0036】

図 1、図 2、及び他の図面も同様に、それぞれ、定縮尺ではない概略図を表し、ほんの一例として挙げるアクセスチャネル 110 の寸法は、（本発明をこれらの寸法に限定することなしに）5 ~ 30 mm の範囲内の、それぞれの口径を含むことができ、そして、光学有効面 101 からそれぞれの端面 110 a までの距離は、同様に 5 ~ 30 mm の範囲内である。ミラー 100 自体の代表的な厚さは、（同様に、ほんの一例であり、本発明を限定することなしに）例えば、約 50 ~ 120 mm の範囲内である。

【0037】

図 2 a から最も良くわかるように、好適な実施形態では、管状の幾何学的形状の冷却素子 120 がアクセスチャネル 110 内に延び、この冷却素子 120 は、（図示しない制御可能な冷却器への接続によって）その冷却能力を可変に設定することができる。図 2 a ~ b に同様に示すように、この装置は熱放射器 130 の形態の熱源も有し、好適な実施形態では、この熱源が、アクセスチャネル 110 の、光学有効面 101 に面した端部に配置され、同様に可変に設定することができる加熱能力を有する。他の実施形態では、熱放射器 130 を、アクセスチャネル 110 の異なる領域内に、特にミラーの後面の領域内にも配置して、この場合、アクセスチャネル 110 によって、あるいはアクセスチャネル 110 の側壁上の反射によって、熱放射を、好適には「かすり入射」として知られている十分に浅い反射角で結合させることもできる。さらに、以下でさらに詳細に説明するように、上記熱源は、少なくとも 1 つの加熱ワイヤの形態に構成することもできる。

【0038】

再び図 1 及び 2 a、b を参照すれば、熱放射器 130 によって放射され、ミラー基板材料内に結合される電磁放射が、少なくとも 2 . 5  $\mu$ m の波長を有することができ、少なくとも 5  $\mu$ m の波長を有することがより好ましく、この波長は、例えば、400 までの、特に 200 までの範囲内の温度で、低温放射器として知られているものによって実現することができる。他の好適な実施形態では、例えば螺旋巻きしたフィラメント（一般に、3000 までの動作温度を有する）のような高温放射器を用いることもできる。

【0039】

図 2 a ~ b において選定した、一方では冷却素子 120 の、他方では熱放射器 130 の構成は、特に、ミラー基板材料から（ $T = -20$  の温度に設定された）冷却素子 120 への熱伝達が、アクセスチャネル 110 のほぼ全面に沿って生じるのに対し、熱放射器 130 による加熱放射（例えば赤外放射）のミラー基板材料内への結合は、端面 110 a を含むアクセスチャネル 110 のほとんど端部のみに生じる、という効果を実現する。一方では冷却素子 120 と、他方では熱放射器 130 とを組み合わせた使用は、（例えば、投影露光装置の動作中に入射する電磁（EUV）放射の結果として、光学有効面 101 の領域内の光学的負荷の増加がある際に、）光学有効面 101 の領域内のミラー基板材料の温度を、関係するミラー基板材料のゼロ交差温度にほぼ相当する一定値に保つことを可能にする。逆に、光学有効面 101 の領域内で維持される熱平衡とは独立して、ゼロ交差温度から外れ、熱負荷に対するミラー基板材料の十分な感度を可能にする温度、従って、ミラー 100 の特定の熱作動または熱変形を、（図 2 a ~ b の「下側」領域内にある）光学有効面 101 の領域から離れた領域内に設定することができる。

【0040】

ほんの一例として（本発明をこれに限定することなしに）、光学有効面 101 の領域内に設定する温度は 30 にすることができ、光学有効面 101 から離れた領域内は -15 にすることができ、この場合、ミラー基板材料に応じた線膨張係数の大幅な変化が既に存在する。

【0041】

本発明の概念は、特に、一方では冷却素子の冷却能力の、他方では熱源の加熱能力の、独立して実現可能な調整機能を用いて、光学有効面と、ミラーの光学有効面に相当しない

10

20

30

40

50

表面（例えば、ミラーの背面）との間に熱流束を生成することを含む。この熱流束は、温度勾配、及びこれに関連するミラー基板の熱膨張係数の値の局所的変化を生じさせ、このことは、温度感度の意味で、あるいは変化する熱膨張係数（CTE）の意味でバイメタルと同等のミラー基板の挙動をもたらす。この概念は、図7にも概略的に例示する（図7では、図1と同様の構成要素または部分は同様の参照番号を有する）。図7に示すように、例えばアクセスチャネル110に沿った熱流束、及び光学有効面101とミラー100の後面との間に生成される温度勾配は、ミラー100の光学有効面101を、光学系の動作中に発生する熱負荷に対してミラー材料がほぼ無感度である温度（即ち、いわゆるゼロ交差温度）に維持することを可能にすると同時に、ミラー基板の光学有効面から離れた領域を、異なるCTE値に起因して、より高感度またはより熱作動可能にして、ミラーの所望

10

#### 【0042】

本発明の1つの態様によれば、ミラー基板の光学有効面とは反対側に面した（例えば、ミラーの背面にある）領域内に温度変化を生成し、これにより、ミラー基板の当該領域内の熱膨張係数の値によって実現される温度感度に起因してミラー基板の変形が生じ、この変形は、（ゼロ交差温度に近いほぼ一定の温度を有する）光学有効面に機械的に伝達される。

#### 【0043】

冷却素子120のすべての基本機能を重畳することによって、所望の変形プロファイルを設定することができる。これは、（線膨張係数の「ゼロ交差点」に近いことに起因する）非線形最適化問題であり、その解は、次のステップを反復的に実行することによって数値的に得ることができる：

20

a) 孔のパターンを生成するステップ；

b) 温度動作点について、表面温度及び表面変形についての影響行列を計算するステップ；

c) 線形計算により、光学有効面全体にわたって温度分布がゼロ交差温度の近くに保たれるという二次的条件下で所望の変形プロファイルが得られるように、個別の加熱能力及び冷却能力を決定するステップ；

d) 非線形計算によって、実際の変形プロファイルを決めるステップ；及び、

e) 線形計算による変形プロファイルの偏差を修正するように、温度プロファイルを変更するステップ。

30

#### 【0044】

図2c～fに、影響行列の計算の結果を、ほんの一例として、冷却素子及び関連するアクセスチャネルについて等高線図の形式で示し、図2cはプロファイル $dT/dT_f$ を示し、図2dはプロファイル $dw/dq_f$ を示し、図2eはプロファイル $dT/dT_f$ を示し、図2fはプロファイル $dw/dT_f$ を示し、ここにwはz変形（=z方向の変形）を表し、qは熱流を表し、Tは温度を表す。上述したように、対応する影響行列（及び結果的な温度ベースの関数及び変形ベースの関数）どうしを適切に組み合わせて、所望の（できる限り均一な）温度プロファイル、及び所望の変形プロファイルも設定することができる。

40

#### 【0045】

ステップd)及びe)を反復的または逐次的に実行することによって、得られる変形の偏差が小さくなっていく。この関係では、例えば、 $\pm 0.5$  nmのオーダーの変形が実現可能である。

#### 【0046】

図3に、異なるミラー基板材料について、温度に応じた線膨張係数をプロットした図を示す。対応する曲線のゼロ交差点のそれぞれが、ゼロ交差温度に相当し、ULE（登録商標）については、およそ $T = 30$  の所にある。熱放射器130によって結合される加熱能力と、冷却素子120によって設定される冷却能力との適切な組合せを適切に選定した結果として、ミラー基板102の光学有効面101付近の領域がこのゼロ交差温度であれ

50

ば、ミラー基板材料の線膨張係数が0に等しいので、投影露光装置の動作中に光学有効面101上に入射する電磁放射によって生じる光学的負荷が少しも変形を生じさせない。逆に、図3によれば、この温度からの偏差があると、それぞれのミラー基板の温度変化に対する感度の増加があり、このことを、上述したミラー100の熱作動または熱変形に用いることができる。

【0047】

以下、本発明の他の実施形態を、図4を参照しながら説明し、図2と同様の、あるいは同じ機能を有する構成要素は、対応する参照番号に「100」を加えて表す。

【0048】

図4による実施形態は、図2による実施形態とは、ミラー基板202が2つの異なるミラー基板材料で製造され、従ってミラー200が「複合ミラー」として形成されている点  
10  
が異なる。実際に、ミラー基板202は第1ミラー基板領域202a及び第2ミラー基板領域202bを有し、第2ミラー基板領域202bは、第1ミラー基板領域202aに対して、ミラー200の光学有効面201からより離れ、ミラー基板領域202a、202bは異なる材料で製造される。実際の好適な実施形態では、第1ミラー基板領域のミラー基板材料がULE（登録商標）であり、第2ミラー基板領域のミラー基板材料が石英ガラス（SiO<sub>2</sub>）である。しかし、本発明はこれらの材料に限定されず、このため、他の実施形態では、ミラー基板領域202a、202bを異なるミラー基板材料で製造することもでき、いずれの場合にも、第2ミラー基板領域202bのミラー基板材料は、第1ミラー基板領域のミラー基板材料よりも、所定温度における絶対量の意味で大きい線膨張係数を有する。  
20

【0049】

図4の好適な実施形態におけるこうした構成の結果として、ミラー基板材料内に形成される温度勾配に起因するだけでなく、異なるミラー基板材料間の遷移にも起因して、上述した、特定変形の目的で望ましい所望のミラー基板材料の感度が、光学有効面201からより離れた領域内に得られ、このため、図4による実施形態は、上記温度勾配だけでは、光学有効面においてゼロ交差温度を維持すると同時に、変形にとって望ましい熱負荷に対する感度を実現するにはまだ十分でない状況に、特に適している。

【0050】

図5a及び5bは、本発明の実施形態を説明するのに役立つ。図5aによれば、アクセスチャネル110内に結合される熱放射の少なくとも部分的な吸収用の吸収層530が、ミラー基板102と反射コーティング550との間に配置されている。図5bによれば、上述した実施形態に存在する熱放射器130の代わりに、加熱ワイヤの配列540を熱源として設け、これによって、ミラー基板102と反射コーティング550との間の領域を、可変に設定することができる加熱能力で直接加熱することができる。  
30

【0051】

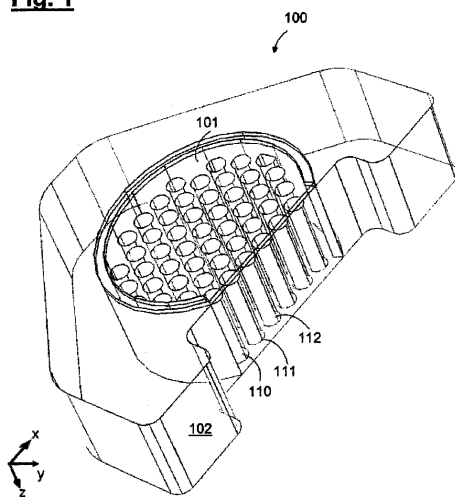
本発明によるミラーの熱作動用の装置は、照明装置内のミラー及びマイクロリソグラフィ投影露光装置の投射レンズ内のミラーに、共に関連して用いることができる。図6に、応用のほんの一例として、米国特許出願公開第2008/0170310号明細書（特許文献7）に開示されている投射レンズ600の光線の経路を示す（図2参照）。投射レンズ600は、EUVにおける動作用に設計され、6つのミラーM1～M6を有する。この場合、上述した実施形態の1つによれば、例えば、それぞれが瞳孔に近いミラーM2及びM6、さもないればこれらのミラーの他方を、熱作動可能なように構成することができる。  
40

【0052】

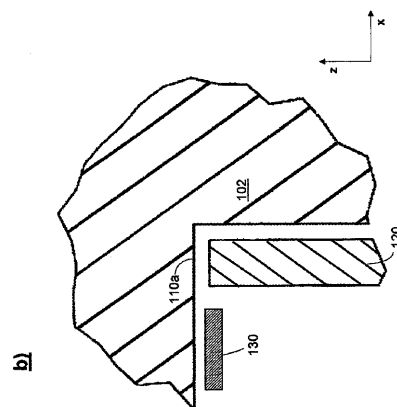
本発明を特定実施形態に基づいて説明してきたが、例えば、個別の実施形態の特徴を組み合わせること、及び/または交換することによる多数の変形または代案実施形態が、当業者にとって明らかである。従って、こうした変形及び代案実施形態も本発明によってカバーされることは、当業者にとって言うまでもなく、本発明の範囲は、添付する特許請求  
50

の範囲またはその等価物のみによって限定される。

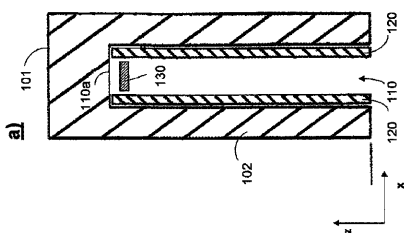
【 図 1 】

**Fig. 1**

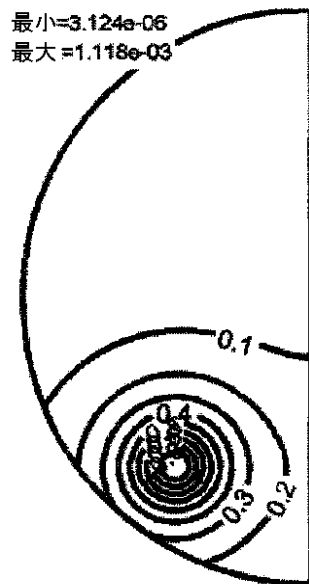
【 図 2 b 】



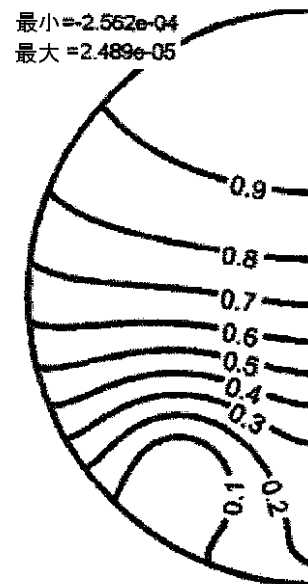
【 図 2 a 】



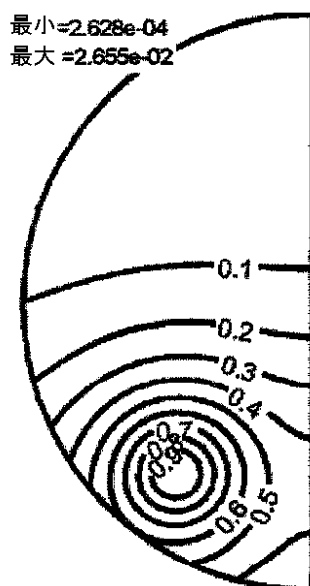
【図 2 c】



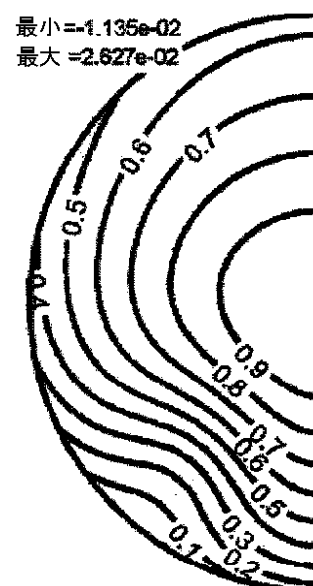
【図 2 d】



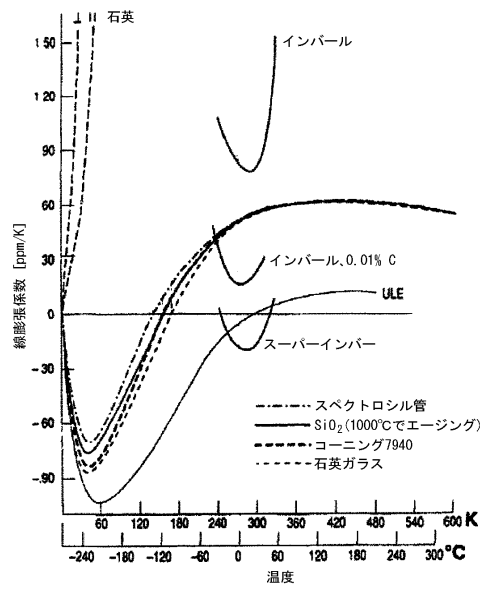
【図 2 e】



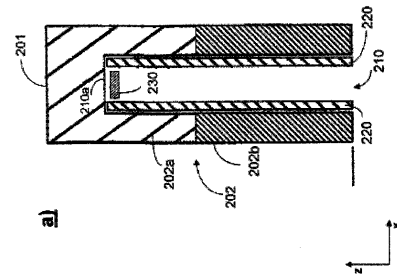
【図 2 f】



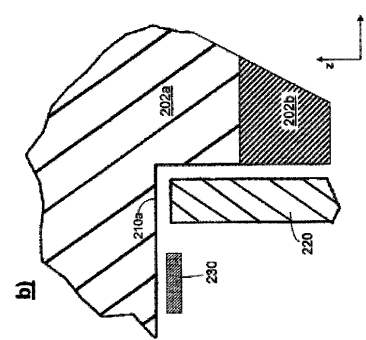
【図 3】



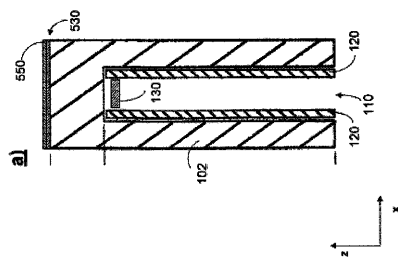
【図 4 a)】



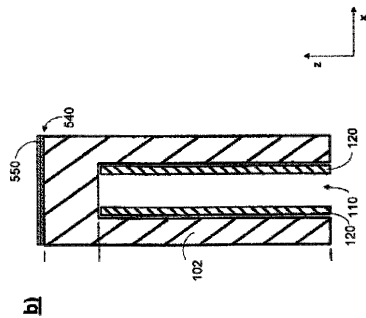
【図 4 b)】



【図 5 a)】



【図 5 b)】



【図 6】

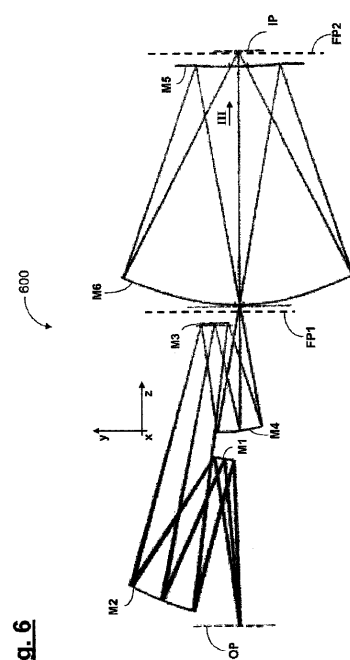
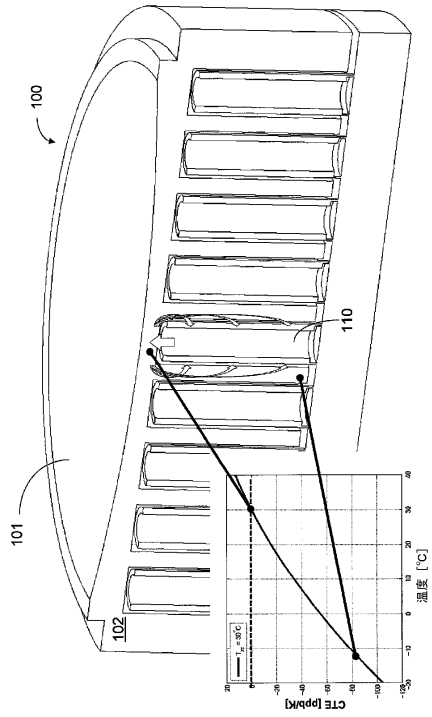


Fig. 6

【図 7】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2005-117048(JP,A)  
特表2011-512018(JP,A)  
特開平08-068898(JP,A)  
特開2010-045347(JP,A)  
特開2005-019628(JP,A)  
特開2004-056125(JP,A)  
特開2005-228875(JP,A)  
特開2011-222992(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G03F 7/20 - 7/24  
H01L 21/027  
G02B 5/10  
G02B 26/08