

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6399889号
(P6399889)

(45) 発行日 平成30年10月3日(2018.10.3)

(24) 登録日 平成30年9月14日(2018.9.14)

(51) Int.Cl.

G03F 7/20 (2006.01)

F 1

G03F 7/20 503

503

請求項の数 21 外国語出願 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2014-215733 (P2014-215733)
 (22) 出願日 平成26年10月22日 (2014.10.22)
 (65) 公開番号 特開2015-122480 (P2015-122480A)
 (43) 公開日 平成27年7月2日 (2015.7.2)
 審査請求日 平成29年10月5日 (2017.10.5)
 (31) 優先権主張番号 10 2013 222 140.1
 (32) 優先日 平成25年10月30日 (2013.10.30)
 (33) 優先権主張国 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 100147692
 弁理士 下地 健一
 (74) 代理人 100164471
 弁理士 岡野 大和
 (72) 発明者 ポリス ビトナー
 ドイツ国 91154 ロート ラインゴルトシュトラーセ 6

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】反射光学素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光学有効面を有する反射光学素子であって、
 素子基板と、
 反射層系と、

少なくとも一つの変形抑制層であって、変形抑制層の無い類似の反射光学素子の構成と比較して、前記光学有効面が電磁照射を受けた場合の前記反射層系の最大変形レベルを低減させる、少なくとも一つの変形抑制層と、

前記反射層系と前記変形抑制層との間に配置され、前記反射層系へ表面粗さが移行しないように構成された中間層と
 を備え、

前記反射層系は、第1熱膨張係数を有する第1材料からなる少なくとも一つの層を含み、前記少なくとも一つの変形抑制層は、第2熱膨張係数を有する第2材料を含み、前記第1熱膨張係数及び前記第2熱膨張係数は、符号が逆であることを特徴とする、反射光学素子。

【請求項 2】

前記第1材料は、ジルコニウム (Zr)、イットリウム (Y)、モリブデン (Mo)、ニオブ (Nb)、シリコン (Si)、ゲルマニウム (Ge)、ロジウム (Rh)、ルテニウム (Ru)、二酸化ルテニウム (RuO₂)、及びルテニウム?シリコン (RuSi) の少なくとも一つを含むことを特徴とする、請求項 1 に記載の反射光学素子。

【請求項 3】

前記第2材料は、 $ZrMo_2O_8$ 、 ZrW_2O_8 、 $HfMo_2O_8$ 、 HfW_2O_8 、 $Zr_2(MoO_4)_3$ 、 $Zr_2(WO_4)_3$ 及び $BiNiO_3$ を含むグループから選択されることを特徴とする、請求項1又は2に記載の反射光学素子。

【請求項 4】

前記中間層は、石英及びシリコン(Si)の少なくとも一方を含むことを特徴とする、請求項1から3の何れか一項に記載の反射光学素子。

【請求項 5】

前記中間層は、未加工であることを特徴とする、請求項1から4の何れか一項に記載の反射光学素子。

10

【請求項 6】

前記中間層は、機械的工程又はイオンビーム形状修正によって加工されたことを特徴とする、請求項1から4の何れか一項に記載の反射光学素子。

【請求項 7】

動作波長30nm未満で使用されるように設計されたことを特徴とする、請求項1から6のいずれか一項に記載の反射光学素子。

【請求項 8】

前記反射光学素子は、マイクロリソグラフィー投影露光装置用のミラー又はマスク検査装置用のミラーとして構成されたことを特徴とする、請求項1から7のいずれか一項に記載の反射光学素子。

20

【請求項 9】

前記反射光学素子は、マイクロリソグラフィー投影露光装置用のレチクルとして構成されたことを特徴とする、請求項1から7のいずれか一項に記載の反射光学素子。

【請求項 10】

マイクロリソグラフィー投影露光装置の光学系であって、前記マイクロリソグラフィー投影露光装置の光学系の照明装置又は投影レンズに設定される請求項1から9のいずれか一項に記載の少なくとも1つの反射光学素子を備える光学系。

【請求項 11】

マスク検査装置の光学系であって、前記マスク検査装置の光学系の照明装置又は検査レンズに設定される請求項1から9のいずれか一項に記載の少なくとも1つの反射光学素子を備える光学系。

30

【請求項 12】

照明装置及び投影レンズを備えるマイクロリソグラフィー投影露光装置であって、前記照明装置または前記投影レンズに設定される請求項1から9のいずれか一項に記載の反射光学素子を備えるマイクロリソグラフィー投影露光装置。

【請求項 13】

照明装置及び検査レンズを備えるマスク検査装置であって、前記照明装置または前記検査レンズに設定される請求項1から9のいずれか一項に記載の反射光学素子を備えるマスク検査装置。

【請求項 14】

40

光学有効面を有する反射光学素子であって、

素子基板と、

反射層系と、

少なくとも一つの変形抑制層であって、変形抑制層の無い類似の反射光学素子の構成と比較して、前記光学有効面が電磁照射を受けた場合の前記反射層系の最大変形レベルを低減させる、少なくとも一つの変形抑制層と、

前記反射層系と前記変形抑制層との間に配置され、前記反射層系へ表面粗さが移行しないように構成された中間層と
を備え、

所定の温度変化で前記光学有効面を加熱したことによる前記反射層系及び前記変形抑制

50

層を備える配列の有効体積変化 DV_{eff} は、かかる加熱により反射層系自体に生じる体積変化 V_1 の最大90%であることを特徴とする、反射光学素子。

【請求項15】

前記配列の前記有効体積変化 DV_{eff} は、前記光学有効面を少なくとも1Kの温度変化で加熱した場合の体積変化 V_1 の最大90%である、請求項14に記載の反射光学素子。

【請求項16】

光学有効面を有する反射光学素子であって、
素子基板と、
反射層系と、

少なくとも一つの変形抑制層であって、変形抑制層の無い類似の反射光学素子の構成と
比較して、前記光学有効面が電磁照射を受けた場合の前記反射層系の最大変形レベルを低
減させる、少なくとも一つの変形抑制層と
を備え、

前記少なくとも1つの変形抑制層は、前記素子基板に面する方向に熱分散層を有し、該
熱分散層は前記素子基板のみと比較して熱伝導率が高いことを特徴とする反射光学素子。

【請求項17】

前記熱分散層は、熱伝導率が少なくとも100W/mKであることを特徴とする、請求項16
に記載の反射光学素子。

【請求項18】

前記熱分散層は、グラファイト、アルミニウム(AI)、銀(Ag)、金(Au)、銅(Cu)
及び ZrW_2O_8 を含むグループから選択される少なくとも1つの材料を含むことを特徴とする
、請求項16又は17に記載の反射光学素子。

【請求項19】

前記素子基板が加熱されることを遅延させるための遮熱層が、前記素子基板と、前記反
射層系又は前記変形抑制層との間に配置されていることを特徴とする、請求項16から1
8のいずれか一項に記載の反射光学素子。

【請求項20】

前記遮熱層は石英を含むことを特徴とする、請求項19に記載の反射光学素子。

【請求項21】

前記反射層系と前記変形抑制層との間に配置され、前記反射層系へ表面粗さが移行しな
いように構成された中間層をさらに備える、請求項16から20のいずれか一項に記載の
反射光学素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は反射光学素子に関するものであり、具体的には、マイクロリソグラフィー投影
露光装置用の反射光学素子又はマスク検査装置用の反射光学素子に関するものである。

【背景技術】

【0002】

マイクロリソグラフィーは、例えば、集積回路又はLCDのような微細構造を有する部
品を製造するために用いられる。マイクロリソグラフィープロセスは、照明装置及び投影
レンズを有する、いわゆる投影露光装置によって実施される。この場合、照明装置によ
つて照明されたマスク(=レチクル)の像は、投影レンズによって、感光層(フォトレジス
ト)でコーティングされ、投影レンズの結像面に配置された基板(例:シリコンウェハー
上)に投影され、マスク構造を基板の感光性コーティングに転写する。

【0003】

マスク検査装置は、マイクロリソグラフィー投影露光装置用のレチクルの検査に用いら
れる。

10

20

30

40

50

【0004】

例えば、約13nm又は約7nmのようなEUV波長域の波長用に設計された投影レンズ又は検査レンズは、適当な光透過性反射材料が入手困難であるために、反射光学素子が結像プロセスの光学部品として使用されている。

【0005】

実用上生じる一つの問題として、上述したようなEUVでの操作用に設計された反射光学素子は、特に、EUV光源からの照射光を吸収することで熱せられてしまい、それに伴って熱膨張又は熱変形を生じ、これにより光学システムの結像特性を損なう虞がある。このような現象は、反射光学素子の光学有効面上における素子の加熱又は変形が大幅に異なる、比較的少ない照明極の照明設定（例：双極又は四極照明設定）で使用された場合に、特に顕著である。

10

【0006】

とりわけ、VUVリソグラフィーシステム（例えば、約200nm又は約160nmが動作波長である）に関して既知の解決策を上述したようなEUVシステムにおける素子の加熱の問題を解消するために転用することは、これまでのところ多少難しいと考えられてきた。これは、特に、（過剰な光ロスを回避して必要な反射光を確保するために）EUVシステムの光学素子又はミラーの数が比較的少ないため、積極的に変形を補償するために利用可能な光学有効面の数が大幅に少ないためである。

【0007】

EUVシステムにおいて素子が加熱されるという上述の問題を対処するために、特に、EUV波長域において動作するように設計された反射光学素子の光学有効面の領域において剛体運動及び/又は温度変化を実現するための追加の装置を使用することが知られてきた。しかし、これによりシステムが複雑化していた。

20

【発明の概要】

【0008】

本発明は、反射光学素子、具体的には、マイクロリソグラフィー投影露光装置用の反射光学素子又はマスク検査装置用の反射光学素子を提供することを目的とする。これらの反射光学素子は、構造の複雑性が比較的低いため、熱変形又は熱変形に付随する結像挙動の劣化を効果的に回避し、あるいは少なくとも低減することができる。

【0009】

30

かかる目的は、独立請求項1に記載の特徴を有する反射光学素子によって達成される。

【0010】

本発明による反射光学素子は、マイクロリソグラフィー投影露光装置又はマスク検査装置に用いられる反射光学素子であり、該反射光学素子は、

- 光学有効面、
- 素子基板、
- 反射層系、及び
- 少なくとも一つの変形抑制層

を備え、

前記変形抑制層は、変形抑制層の無い類似の構成と比較して、前記光学有効面が電磁照射を受けた場合の前記反射層系の最大変形レベルを低減させることを特徴とするものである。

40

【0011】

本発明は、特に、本発明に従う反射光学素子では変形抑制層が始めから考慮され、又は組み込まれるという事実のおかげで、最大変形レベルを低減させるというコンセプトに基づくものである。これにより、本発明は、真空に向かって反射光学素子が不必要に熱変形することを初期の段階から可能な限り回避するという効果を有する。本明細書では、変形レベルは素子表面の法線ベクトルの方向でそれぞれ定義する。明確な非球面が複数存在する場合であっても、各非球面に対応する近似球面の球面半径（「基本半径」）によって近似した要素表面によって変形レベルを定義することが好ましい。具体的には、かかる半

50

径によって表現される球面の法線方向における変形として、変形レベルを定義することができる。

【0012】

言い換えれば、本発明は、特に、変形抑制層を適切に組み込むことで熱変形を事前に回避して、光学有効面の領域における剛体運動及び/又は温度変化による積極的な変形補償を不必要とするか、少なくとも有意に簡略化するものである。

【0013】

一実施形態によれば、本発明による反射光学素子において、前記反射層系は、第1熱膨張係数を有する第1材料からなる少なくとも一つの層と、第2熱膨張係数を有する第2材料を含む少なくとも一つの前記変形抑制層とを備え、前記第1熱膨張係数及び前記第2熱膨張係数は、符号が逆であることを特徴とする。10

【0014】

以下にさらに詳しく述べるが、かかるアプローチによれば、反射光学素子又はかかる反射光学素子を有する光学系の操作中に、熱により反射層系に生じた体積膨張は、逆に変形抑制層が体積収縮することにより補償することができる。かかる体積収縮は、絶対値の点で等しいサイズであることが理想的であり、それにより、一方で反射層系を、他方で変形抑制層を有する配列に生じた、光学有効面の加熱による有効体積変化をほぼゼロまで低減させることができる。結果的に、一方で反射層系を、他方で変形抑制層を、特に各層の層厚や材料の点で最適な組み合わせとすることで、反射光学素子自体である程度内因的かつ自己矛盾なく変形を補償することができる。20

【0015】

一実施形態によれば、本発明による反射光学素子において、前記第1材料は、ジルコニウム(Zr)、イットリウム(Y)、モリブデン(Mo)、ニオブ(Nb)、シリコン(Si)、ゲルマニウム(Ge)、ロジウム(Rh)、ルテニウム(Ru)、二酸化ルテニウム(RuO_2)、又はルテニウム-シリコン(RuSi)を含むことを特徴とする。

【0016】

一実施形態によれば、本発明による反射光学素子において、前記第2材料は、 ZrMo_2O_8 、 ZrW_2O_8 、 HfMo_2O_8 、 HfW_2O_8 、 $\text{Zr}_2(\text{MoO}_4)_3$ 、 $\text{Zr}_2(\text{WO}_4)_3$ 、 $\text{Hf}_2(\text{MoO}_4)_3$ 、 $\text{Hf}_2(\text{WO}_4)_3$ 、 ScF_3 、 ZnC_2N_2 、 ZnF_2 、 $\text{Y}_2\text{W}_3\text{O}_{12}$ 及び BiNiO_3 を含むグループから選択されることを特徴とする。第2材料として、(機械的応力及びそれに起因する微細クラックの発生を回避するために)比較的大きな負の熱膨張係数を有し、かつ熱力学安定性に富む、例えば、立方晶系材料又は非晶質材料のような等方性材料を使用することが好ましい。30

【0017】

一実施形態によれば、本発明による反射光学素子において、所定の温度変化で前記光学有効面を加熱したことによる前記反射層系及び前記変形抑制層を備える配列の有効体積変化 ΔV_{eff} は、かかる加熱により反射層系自体に生じる体積変化 V_1 の最大90%、具体的には、最大50%、さら具体的には、最大10%であることを特徴とする。このような条件は、前記光学有効面を少なくとも1K、具体的には少なくとも5K、さらに具体的には少なくとも10Kの温度変化で加熱した場合に満たされる。

【0018】

一実施形態によれば、本発明による反射光学素子において、前記少なくとも1つの変形抑制層は熱分散層を有し、該熱分散層は前記素子基板と比較して熱伝導率が高いことを特徴とする。前記熱分散層は、熱伝導率が少なくとも100 W/mKであることを特徴とする。前記熱分散層は、特に、グラファイト、アルミニウム(Al)、銀(Ag)、金(Au)、銅(Cu)及び ZrW_2O_8 を含むグループから選択される少なくとも1つの材料を含むことを特徴とする。40

【0019】

以下にさらに詳しく述べるが、かかるアプローチによれば、光学有効面に電磁照射が衝突したことによる反射光学素子内における熱伝導を横方向(すなわち、光伝搬方向又は光学系の軸に対して直交方向)により良好に分散させることができ、すなわち、反射光学素50

子内における対応する温度分布を「広げ」て、結果的に、特に、(一般的に熱伝導性に乏しい)素子基板の領域における不必要な明らかな局所的変形を回避するか、少なくとも顕著に抑制することができる。特に、照明極の数が少ない照明設定(例えば、双極子又は四極子照明設定)の場合、素子基板に入射する前に、反射光学素子の光学有効面全体にわたって熱分布又は熱変形を均一に分散させることができる。

【0020】

一実施形態によれば、本発明による反射光学素子において、前記素子基板が加熱されることを遅延させるための遮熱層が、前記反射層系と前記変形抑制層との間に配置されていることを特徴とする。具体的には、前記遮熱層は石英を含むことができる。

【0021】

一実施形態によれば、本発明による反射光学素子において、前記反射層系に対して表面粗さが移行しないようにするための更なる中間層が、前記反射層系と前記変形抑制層との間にさらに配置されていることを特徴とする。具体的には、前記中間層は、石英を含むことができる。

【0022】

一実施形態によれば、本発明による反射光学素子において、前記反射光学素子は、動作波長30nm未満、特に15nm未満で使用されるように設計されたことを特徴とする。しかし、本発明はこれに限定されるものではなく、本発明の更なる応用として、本発明による反射光学素子を真空紫外(VUV)領域(例えば、200nm未満又は160nm未満)を動作波長とする光学系に使用することも可能である。

【0023】

本発明による反射光学素子は、ミラーであり、特に、マイクロリソグラフィー投影露光装置用のミラー又はマスク検査装置用のミラーでありうる。さらに、本発明による反射光学素子は、マイクロリソグラフィー投影露光装置用のレチクルであっても良い。

【0024】

さらに、本発明は、マイクロリソグラフィー投影露光装置の光学系に関するものであり、特に、上述したような特徴を有する少なくとも一つの反射光学素子を備える、照明装置又は投影レンズ、マスク検査装置の光学系、マイクロリソグラフィー投影露光装置、及びマスク検査装置に関するものである。

【0025】

本発明の更なる構成は本明細書の記載及び従属請求項に記載されている。

【0026】

本発明について、添付の図面に示した例示的実施形態に基づいて以下にさらに詳細に説明する。

【図面の簡単な説明】

【0027】

【図1】本発明の第1実施形態による反射光学素子の構成を説明する概略図である。

【図2a】図1に示す発明の構成の動作モードを説明するための概略図である。

【図2b】図1に示す発明の構成の動作モードを説明するための概略図である。

【図2c】図1に示す発明の構成の動作モードを説明するためのダイアグラムである。

【図2d】図1に示す発明の構成の動作モードを説明するためのダイアグラムである。

【図3a】本発明の更なる実施形態による反射光学素子の構成を説明するための概略図である。

【図3b】図3aに示す発明の構成の動作モードを説明するための概略図である。

【図4】本発明の更なる実施形態による反射光学素子の構成を説明するための概略図である。

【図5】本発明の更なる実施形態による反射光学素子の構成を説明するための概略図である。

【図6】EUV波長域での操作用に設計されたマイクロリソグラフィー投影露光装置に想定される構成を説明するための概略図である。

10

20

30

40

50

【発明を実施するための形態】

【0028】

図1は、本発明の第1実施形態に従う反射光学素子の構成を説明するための概略図である。反射光学素子10は、特に、任意の適切な(ミラー)基板材料から製造された素子基板12を含む。適切な素子基板材料は、例えば、二酸化チタン(TiO_2)をドープした石英ガラスであり、そのような材料として、ULE(Corning社)又はZerodur(Schott社)といった商標で販売されている材料を使用することができるが、これらの材料は単なる例示に過ぎず、本発明に使用可能な材料はこれらに限定されるものではない。

【0029】

さらに、反射光学素子10は、本質的に既知の態様で反射層系14を有しており、かかる反射光学素子は図示の実施形態において、例えば、モリブデン?シリコン(Mo?Si)層スタックを有する。本発明はこのような層スタックのような特定の構成に限定されるものではないが、例えば、50層の積層又は層パケットを有する層系であって、それぞれの層厚が2.4nmのモリブデン(Mo)層とそれぞれの層厚が3.3nmのシリコン(Si)層を有する層系が好適な構成として挙げられる。任意で、例えば、Ru、Rh、SiC、C、Ir、 Mo_2C 、 Y_2O_3 、又は Si_3N_4 からなるキャッピング層(「キャップ層」)や、例えば、Pt、Cu、Co、Sn、Ni及びAgのうちの少なくとも一つを含む化合物からなる基板保護層(substrate protection layer、SPL)、及び/又は、例えば、C、 B_4C 、 Si_xNy 、SiC、 Mo_2C 、 $MoSi_2$ 、 Y_5Si_3 又は Nb_4Si からなる拡散バリアのような更なる機能層を備えても良い。

【0030】

反射光学素子10は、特に、EUV波長にて操作するように設計された反射光学素子、又は、マイクロリソグラフィー投影露光装置もしくはマスク検査装置の検査レンズの投影レンズもしくは照明装置の光学系のミラーであり得る。光学系の操作中に、反射光学素子10の光学有効面11上に電磁EUV照射(図1において矢印にて示す)を衝突させると、反射層系14の熱膨張係数の値が正であるため(MoS_i層スタックの場合の平均熱膨張係数は、約 $3.61 \times 10^{-6} K^{-1}$)、反射層系が体積膨張する。入射する電磁照射の強度分布に応じて(すなわち、特に近見瞳孔(near-pupil)反射光学素子の場合に設定された照明設定に依存して)、図2aに大幅に簡略化して概略的に示すように、上述した体積膨張は光学有効面11において不均一に進行する。

【0031】

電磁照射を光学有効面11に照射したことにより、光学素子10全体、及び、特にその光学有効面11に生じた変形を少なくとも部分的に抑制するために、光学素子10は変形抑制層15を有し、かかる層は、図1~2に示すように、光学有効面11ではない方の反射層系14の面側に配置されている。図1に示す例示的実施形態において、上述した変形抑制層15は電磁照射の衝突又はそれに付随する温度上昇によって引き起こされる変形抑制層15の変形が、反射層系14の変形とは厳密に逆になるように進行するように構成されている。

【0032】

この目的のために、例示的実施形態では、変形抑制層15は、反射層系14の材料とは符号が逆の熱膨張係数、すなわち、負の熱膨張係数を有する。例えば(本発明はこれらに限定されないが)、厚さ118nmの ZrW_2O_8 (20K~430Kの温度域における熱膨張係数が $-8.7 \times 10^{-6} K^{-1}$ である立方晶系結晶の ZrW_2O_8)で変形抑制層を製造することができる。上述の例(層厚2.4nmのMo層と層厚3.3nmのSi層を含む、50層又は層パケットの層系)では、総層厚120nmのモリブデン(Mo)層及び総層厚165nmシリコン(Si)層に生じた熱変形は、層厚118nmの ZrW_2O_8 層によって補償される。さらなる実施形態では、素子基板材料(例えば、 TiO_2 でドープした石英ガラス)に生じた熱膨張をさらに補償するために、さらに厚い ZrW_2O_8 層を用いることもできる。

【0033】

熱膨張係数が負である他の適切な材料を表1に列挙する。

【0034】

10

20

30

40

50

【表1】

材料	熱膨張係数 [10^{-6}K^{-1}]
PbTiO ₃	-3.3
Sc ₂ W ₃ O ₁₂	-2.2
Y ₂ W ₃ O ₁₂	-4.2
Lu ₂ W ₃ O ₁₂	-6.8
NbOPO ₄	-3.7
ZrV ₂ O ₇	-7.1
ZrW ₂ O ₈	-8.7
ZrMo ₂ O ₈	-5.0
K ₅ Zr(PO ₄) ₃	-0.5
KZr ₂ (PO ₄) ₃	-1.7
Zn(CN) ₂	-18.1

【0035】

熱膨張係数自体は温度に応じて変化するが、等方性材料の場合（特に、熱膨張係数が負である等方性材料の場合）、限られた温度域については、膨張又は収縮は温度に対して線形に変化すると仮定できる。同様に、二次部分又は高次の部分について修正するために、層構成において、複数の適切な材料を混合又は互いに積層させることができる。さらに、例えば、（層厚150nmであり、波長13.5nmのEUV光の約94%を吸収する） ZrW_2O_8 からなる変形抑制層15を、（以下に詳述するように、遮熱層及び/又は基板保護層がある場合にはこれらからは離して）光学有効面に対して層スタック中の最下層として配置することが好ましい。

【0036】

実際には、一方では、反射層系14の材料、層厚、及び層の並び順、ならびに、他方では、変形抑制層15の材料、層厚、及び層の並び順は、温度に起因する変形が少なくともほぼ完全に相互に補償されるように、それぞれ相互に組み合わせられ、あるいは最適化される。このような効果を、概略的に大幅に簡略化して図2bに示す。照射輝度が高い領域や照明極の領域において最初に発生する反射層系14の体積膨張は、図2bに示すように変形抑制層15の逆の体積収縮によって補償される。この体積収縮は、反射層系14の体積膨張と絶対値が同じ値であることが理想的であり、それにより、光学有効面11の加熱による反射層系14及び変形抑制層15を含む配列13の有効体積変化をほぼゼロに抑制することができる。さらに、上述した通り、要素基板材料（例えば、 TiO_2 でドープした石英ガラス）に生じた熱膨張を少なくとも部分的に補償することも可能である。

【0037】

温度により変形を制御する本発明により抑制された変形量を定量評価するための適切な基準として、特に、反射層系14及び変形抑制層15を含む配列13の、所定の温度変化で加熱されることによる有効体積変化 V_{eff} の上限を明記することができる。この場合、特に、一方では、反射層系14に使用された適切な組み合わせの材料及びそれらの層厚、他方では、変形抑制層15に使用された適切な組み合わせの材料及びそれらの層厚により、有効体積変化 V_{eff} を、上述した加熱による反射層系14自体の体積変化の最大90%、具体的には最大50%、さらに具体的には最大10%とすることができる。

【0038】

図2cに示すように、変形抑制層を有さない反射光学素子の場合、素子が加熱されることにより、例えば、2nm、4nm、及び5nmの層厚変化が生じる（x軸）。その結果、約4nm、約8nm、又は約10nmだけ、波面の位相が局所的に不必要に変化する（y軸）。本発明による変形抑制層を有する反射光学素子の場合、波面変化が全く生じないか、あるいは無視しても良い程度の波面変化が生じるに過ぎない。

【0039】

変形抑制層を有さない反射光学素子の場合も、及び変形抑制層を有する反射光学素子の

10

20

30

40

50

場合も、反射率は変化する。例えば、図2dに、層厚変化が2nm、4nm、又は5nmである場合のEUV狭帯域層スタックについて、それぞれ、約0.1%、1.6%、又は2.5%だけ反射率が不必要に低下したことを示す。EUV広帯域層の場合には、不必要な局所的層厚変化に対する影響は小さい。一般的に期待される、素子の加熱に起因する局所的な層厚変化は、5nm未満であり、具体的には2nm未満である。

【0040】

図1に示すように、素子基板12が加熱されることを遅延させるための遮熱層16を、反射層系14及び変形抑制層15を含む配列13と、素子基板12との間にさらに配置することができる。遮熱層16は、例えば熱膨張係数が約 $0.5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ であり、熱伝導係数が約1.38 W/mK(例えば、銅の400 W/mKやシリコンの150 W/mKに対して比較的小さい)である石英からなり、蒸着により製造することができる。

10

【0041】

以下、図3a～3bを参照して、本発明による変形抑制層の別の考えられる構成を説明する。図3a～3bにおいて、図1に類似する部品、又は実質的に機能的に同一な部品については、図1の各参照符号に20を加えた参照符号にて示す。

【0042】

図3a～3bに概略的に示す反射光学素子30は、図1の反射光学素子10と同様に、反射層系34の光学有効面31からは遠い方の側面に変形抑制層35を備える。しかし、図1に示す実施形態とは対照的に、図3a～3bに示す変形抑制層35の動作モードは、光学有効面31に電磁照射が衝突することによる反射光学素子30内における熱伝導の横方向(すなわち、光の伝播方向又は光学系軸に対して直行する方向)の分布が特に良好であるという事実に基づくものである(すなわち、反射光学素子30内における対応する温度分布が「分散」している)。

20

【0043】

上述の意味での「熱分散層」として構成される変形抑制層35の効果を大幅に簡略化して再度図3bに示す。このような効果により、特に、素子基板32の領域における不要な明らかな局所的変形を回避又は大幅に抑制することができる(変形抑制層35を有さない場合には、例えばULE(登録商標)のような素子基板材料の熱伝導率が比較的低く、さらに熱膨張係数の温度依存性が比較的高いために、素子基板32の領域において不要な局所的変形が生じる虞がある)。

30

【0044】

熱分散層すなわち変形抑制層35に適当な材料は、例えば、グラファイト(熱伝導率:約130 W/mK、熱膨張係数:約 $6.5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$)、又は銅(熱伝導率:約390 W/mK、熱膨張係数:約 $16 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$)である。

【0045】

ここまでに、図3a～3bを参照して説明したアプローチは、比較的照明極が少ない照明設定、もしくは、例えば近見反射光学素子の光学有効面における輝度分布が非常に不均一な照明設定、上述した素子基板材料の熱伝導率が低いために素子基板材料における温度勾配が比較的大きいこと、そして、熱膨張係数が温度域に大きく依存することに基づく事実を考慮したものである。結果として生じる素子基板の領域における局所的変形は、一般的に、リソグラフィー工程における中程度又は高程度の光学収差につながり、かかる光学収差は上述したような横方向の熱分散アプローチ(すなわち、反射光学素子内における位置依存性の温度分布を「拡散」させるアプローチ)により顕著に抑制することができる。

40

【0046】

図4に示すように、反射層系44に対して表面の粗さが移行しないようにするための更なる中間層47としてスムージング層を反射層系44と変形抑制層45との間に配置することができる。このようなスムージング層は、例えば、石英及び/又はシリコンを含有する。(スムージング層を)塗布した後の各動作において、スムージング層を平滑化することが必要でありうる。このような平滑化は、例えば、機械的工程及び/又はイオンビーム形状修正(IBM)によって実施することができる。

50

【0047】

本発明の更なる実施形態では、図5に概略的に示すように、上述したような少なくとも1層の熱分散層を変形抑制層35として用いるアプローチを、図1を参照して説明したアプローチと組み合わせることができる。この点について、熱分散層として作用する少なくとも1層の変形抑制層58と、反射層系54とは逆の熱膨張係数を有する少なくとも1層の変形抑制層55とを本発明に従う変形抑制のために活用することができる。

【0048】

さらなる実施形態として、変形抑制層55、58からなる交互層を有する層スタックを提供する。かかる層スタックにおいては、上述したような熱分散層として、例えば、グラファイト（例：各層の層厚が約0.1338μmであるグラファイト）からなる変形抑制層55を設け、反射層系材料とは逆の熱膨張係数を有する材料としてZrW₂O₈（例：層厚0.1μmであるZrW₂O₈）を用いて形成した変形抑制層58を設けた。同様の層スタックにおいてこのような二層系を複数連続させることもでき、この場合、上述の層厚は任意の係数（例：係数10又は0.1）を乗じた厚さとなる。この場合、約2W/mKというZrW₂O₈の熱伝導率は、（素子基板材料の一例である）ULE（登録商標）の熱伝導率よりも有意に大きくはないが、上述したように、ZrW₂O₈は約-8.7×10⁻⁶K⁻¹という負の熱膨張係数を有している。

【0049】

補償層の層厚を設計するにあたり、熱分散層によって補償されるべき局所領域の広がりを考慮することが必要である。

【0050】

更なる例示的実施形態において、層厚d₁のZrW₂O₈層に層厚d₂の銅（Cu）からなる層を積層させることができる。このとき、d₂=0.5438×d₁が成り立つ。そして、かかる二層系を同様に複数回積層させる層構成とすることができる。

【0051】

図6は、本発明を実装することができる、EUVでの動作に設計された投影露光装置の一例の概略図である。図6に示すように、EUV用投影露光装置600における照明装置はフィールドファセットミラー603及び視野ファセットミラー604を有する。プラズマ光源601及びコレクタミラー602を備える光源ユニットからの光は、フィールドファセットミラー603に向けられる。第1望遠鏡面605及び第2望遠鏡面606は、視野ファセットミラー604の下流の光路に配置されている。偏向ミラー607は、上述の光路の下流に配置されており、入射する照射光を6つのミラー651～656を備える投影レンズの対物面内の対物フィールド上に方向づける。マスクステージ620上の構造を有する反射マスク621は、対物フィールドの位置に配置されており、感光層（フォトレジスト）によって被覆された基板661がウエハーステージ660上に配置されている結像面で対物レンズによって結像される。

【0052】

投影レンズのミラー651～656、特に、（光学ビームパスに関して投影レンズの入射側の領域に配置されている）ミラー651及び652は、本発明に従う態様で構成することができる。これは、反射口スの合計が上述のミラー651及び652ではまだ比較的低く、従って、比較的高輝度の光を得るために、本発明により達成される効果を特に強調することができるからである。しかし、本発明は上述のミラー651及び652への適用に限定されるものではなく、基本的にその他のミラーも本発明に従う態様で構成することができる。

【0053】

本発明の特定の実施形態について説明してきたが、例えば、当業者であれば、各実施形態の特徴を組み合わせ、及び/又は交換することにより、数多の変形例及び代替的実施形態を明確に理解することができる。従って、言うまでもなく、当業者にとって、そのような変形例及び代替的実施形態は本発明によって包括され、本発明の範囲は添付の特許請求の範囲の意味する範疇及びその均等物によって制限される。

10

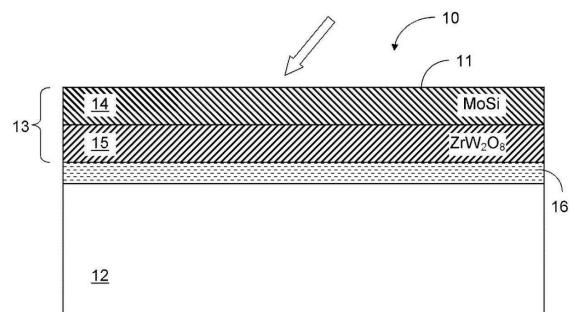
20

30

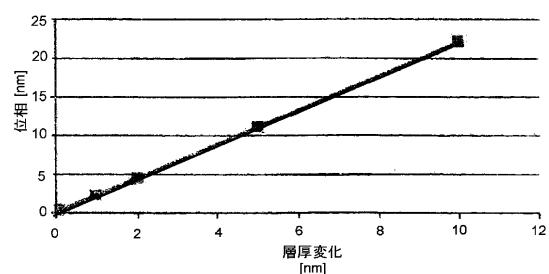
40

50

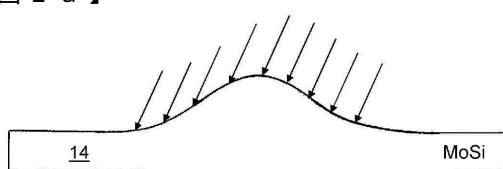
【図1】



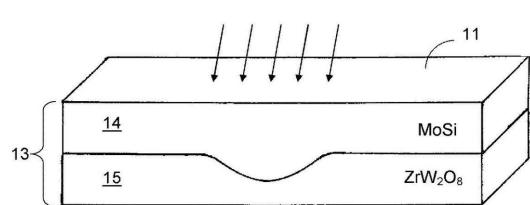
【図2 c】



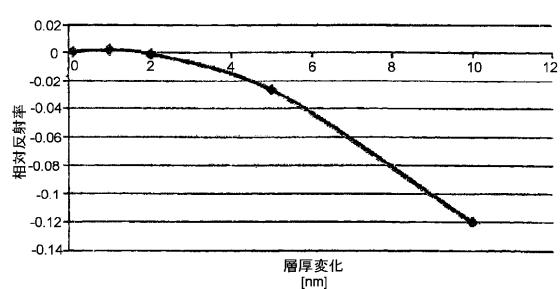
【図2 a】



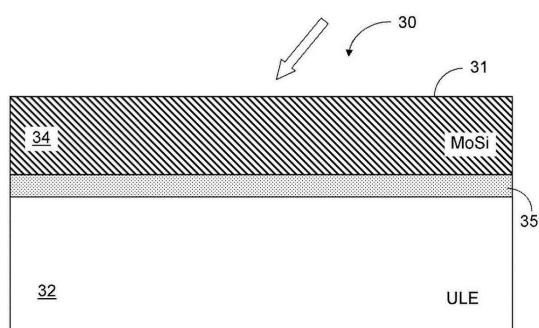
【図2 b】



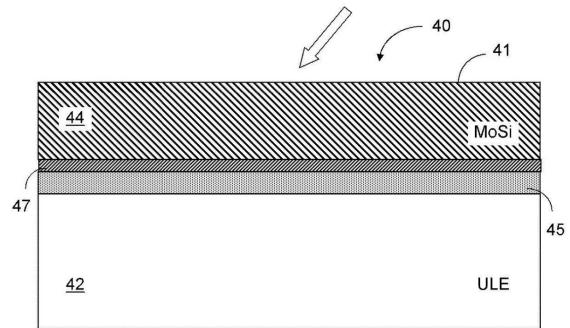
【図2 d】



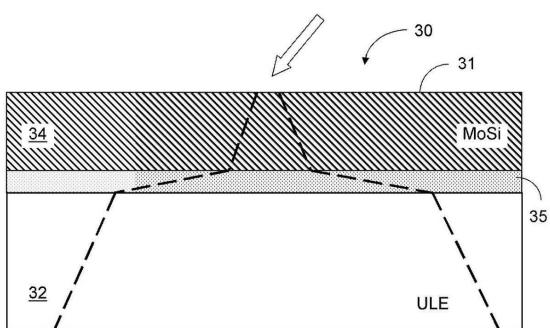
【図3a】



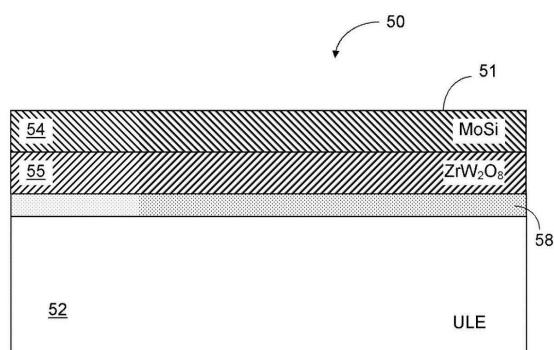
【図4】



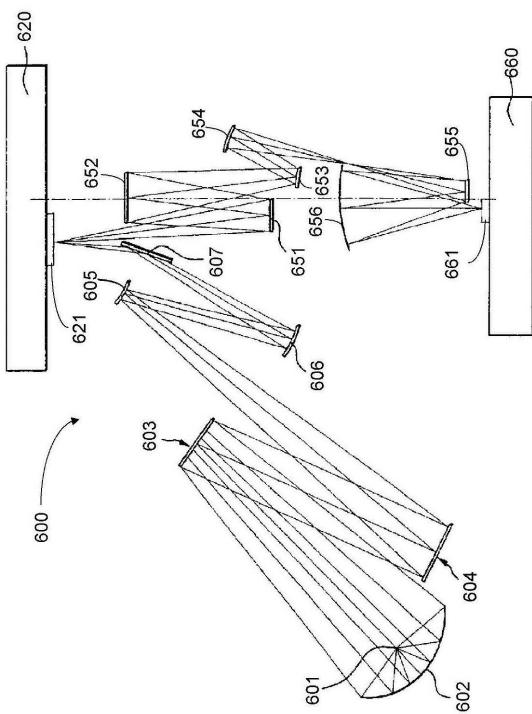
【図3b】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 ノルベルト ワブラ
 ドイツ国 97440 ヴェルネック アム リング 20
(72)発明者 ソニヤ シュナイダー
 ドイツ国 73447 オーバーコッヘン カペレンヴェーク 10/1
(72)発明者 リカルダ シュナイダー
 ドイツ国 86441 ツースマルスハウゼン ヴェルティンガー シュトラーセ 18
(72)発明者 ヘンドリク ワーグナー
 ドイツ国 73432 アーレン カロリンガーシュトラーセ 13
(72)発明者 ルーメン イリエフ
 ドイツ国 73447 オーバーコッヘン イエーナーシュトラーセ 26
(72)発明者 ヴァルター パウルス
 ドイツ国 73460 ヒュットリンゲン ミュールヴェーク 4

審査官 田口 孝明

(56)参考文献 特表2013-530517(JP,A)
 特開2004-012533(JP,A)
 特開2010-251801(JP,A)
 特開2003-303750(JP,A)
 特表2007-524214(JP,A)
 特開平10-163091(JP,A)
 特表2013-536988(JP,A)
 特表2013-542593(JP,A)
 特開平11-326598(JP,A)
 特開平11-329918(JP,A)
 特開2013-12292(JP,A)
 特開2012-069925(JP,A)
 国際公開第2013/014182(WO,A1)
 特開2006-332153(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

IPC H01L 21/30、
 21/027、
 21/46、
 G03F 1/00-1/92、
 7/20-7/24、
 9/00-9/02