

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6590829号

(P6590829)

(45) 発行日 令和1年10月16日 (2019. 10. 16)

(24) 登録日 令和1年9月27日 (2019. 9. 27)

(51) Int. Cl.	F I
G03F 7/20 (2006.01)	G03F 7/20 503
G02B 5/08 (2006.01)	G03F 7/20 521
G02B 19/00 (2006.01)	G02B 5/08 A
	G02B 19/00

請求項の数 15 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2016-556940 (P2016-556940)	(73) 特許権者	503263355
(86) (22) 出願日	平成27年2月19日 (2015. 2. 19)		カール・ツァイス・エスエムティー・ゲー
(65) 公表番号	特表2017-509920 (P2017-509920A)		エムペーハー
(43) 公表日	平成29年4月6日 (2017. 4. 6)		ドイツ連邦共和国、73447 オーバー
(86) 国際出願番号	PCT/EP2015/053471		コッヘン、ルドルフ・エーバー・シュトラ
(87) 国際公開番号	W02015/135726		ーセ 2
(87) 国際公開日	平成27年9月17日 (2015. 9. 17)	(74) 代理人	100147485
審査請求日	平成30年2月16日 (2018. 2. 16)		弁理士 杉村 憲司
(31) 優先権主張番号	102014204660.2	(74) 代理人	100147692
(32) 優先日	平成26年3月13日 (2014. 3. 13)		弁理士 下地 健一
(33) 優先権主張国・地域又は機関	ドイツ (DE)	(74) 代理人	100132045
			弁理士 坪内 伸
		(72) 発明者	ハルトムット エンキッシュ
			ドイツ国 73431 アーレン フィヒ
			テシュトラーセ 63

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マイクロリソグラフィ投影露光装置のミラー

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光学有効面を有する、特にマイクロリソグラフィ投影露光装置のミラーであって、
該ミラーは、使用波長を有し且つ各表面法線に対して 65° 以上の入射角で前記光学有効面に入射する電磁放射線に関して、少なくとも 0.5 の反射率を有し、

該ミラーは、第 2 周期元素及び 4 d 遷移族元素の化合物を含む少なくとも 1 つの層 (160、170、320) を有し、

該ミラーは、前記光学有効面の方向で最上部に配置された保護層 (430、530、630、730) を有し、

前記光学有効面の方向で前記保護層の下にそれぞれ配置された層 (420、510、620、705) の材料が、前記保護層 (430、530、630、730) の材料よりも低吸収であり、

前記保護層 (430、530、630、730) は 5 nm 以下の厚さを有するミラー。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のミラーにおいて、前記 4 d 遷移族元素は、モリブデン (Mo)、ニオブ (Nb)、及びジルコニウム (Zr) からなる群から選択されることを特徴とするミラー。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載のミラーにおいて、前記第 2 周期元素は、ベリリウム (Be)、ホウ素 (B)、炭素 (C)、窒素 (N)、及び酸素 (O) からなる群から選択されること

10

20

を特徴とするミラー。

【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載のミラーにおいて、前記層は、ルテニウム (Ru) から構成される第 1 層 (310) の上に第 2 層 (320) として配置されることを特徴とするミラー。

【請求項 5】

光学有効面を有する、特にマイクロリソグラフィ投影露光装置のミラーであって、
使用波長を有し且つ各表面法線に対して 65° 以上の入射角で前記光学有効面に入射する電磁放射線に関して、少なくとも 0.5 の反射率を有し、且つ

ルテニウム (Ru)、ロジウム (Rh)、又はパラジウム (Pd) を含む第 1 材料から構成される第 1 層 (210、310、410、510、605) と、前記光学有効面の方向で前記第 1 層 (210、310、410、510、605) の上に配置され且つ前記第 1 材料と比べて低吸収の第 2 材料から構成される第 2 層 (220、320、420、620) とを有するミラーであって、該ミラーは、前記光学有効面の方向で最上部に配置された保護層 (430、530、630、730) を有することを特徴とするミラー。

【請求項 6】

請求項 5 に記載のミラーにおいて、前記光学有効面の方向で前記保護層の下にそれぞれ配置された層 (420、510、620、705) の材料が、前記保護層 (430、530、630、730) の材料よりも低吸収であることを特徴とするミラー。

【請求項 7】

請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載のミラーにおいて、前記保護層 (430、530、630、730) は、窒化ケイ素 (Si_3N_4)、炭化ケイ素 (SiC)、又は 3d 遷移族元素、4d 遷移族元素、若しくはランタニドを含む化合物を含むことを特徴とするミラー。

【請求項 8】

請求項 5 ~ 7 に記載のミラーにおいて、前記保護層 (430、530、630、730) は 5 nm 以下の厚さを有することを特徴とするミラー。

【請求項 9】

請求項 5 ~ 8 のいずれか 1 項に記載のミラーにおいて、前記第 2 層及び前記保護層それぞれの厚さプロファイルは、同一の構成の前記第 1 層のみを有して前記第 2 層及び前記保護層を有しないミラーとの該ミラーの入射角に対する反射率の依存に関する差が、2% 以下であるようなものであることを特徴とするミラー。

【請求項 10】

請求項 5 ~ 9 のいずれか 1 項に記載のミラーにおいて、前記保護層がもたらす反射率の低下が、前記第 2 層により少なくとも部分的に補償されることを特徴とするミラー。

【請求項 11】

請求項 1 ~ 10 のいずれか 1 項に記載のミラーにおいて、前記保護層 (730) は基板 (705) の直上に配置されることを特徴とするミラー。

【請求項 12】

請求項 1 ~ 11 のいずれか 1 項に記載のミラーにおいて、該ミラーは少なくとも 1 つのバリア層を有することを特徴とするミラー。

【請求項 13】

請求項 1 ~ 12 のいずれか 1 項に記載のミラーにおいて、前記使用波長は 30 nm 未満であることを特徴とするミラー。

【請求項 14】

請求項 1 ~ 13 のいずれか 1 項に記載のミラーを少なくとも 1 つ有することを特徴とする、マイクロリソグラフィ投影露光装置の光学系。

【請求項 15】

照明デバイス及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、該投影露光装置の動作時に前記投影レンズの物体平面にあるマスクを

10

20

30

40

50

照明し、前記投影レンズは、前記マスクを前記投影レンズの像平面にある感光層に投影し、該投影露光装置は、請求項 1 ～ 14 のいずれか 1 項に記載のミラーを少なくとも 1 つ有するマイクロリソグラフィ投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願は、2014年3月13日付けで出願された独国特許出願第10 2014 204 660 . 2号の優先権を主張する。本願の内容を参照により本明細書に援用する。

【0002】

本発明は、特にマイクロリソグラフィ投影露光装置のミラーに関する。

10

【背景技術】

【0003】

マイクロリソグラフィは、例えば集積回路又はLCD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ーハ）に投影することで、マスク構造を基板の感光コーティングに転写するようにする。

【0004】

EUV領域、すなわち、例えば約13nm又は約7nmの波長用に設計した投影レンズでは、適当な透光性の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光学コンポーネントとして用いる。

20

【0005】

特に、斜入射でのミラーの動作が知られている。以下において、達成可能な反射率が比較的高い（例えば80%以上）ことにより基本的に使用が望ましい、斜入射で動作するミラーは、EUV放射線の反射で得られる各表面法線に対する反射角が65°以上であるミラーである。このようなミラーは、略してGIミラー（「grazing incidence」、「斜入射」）とも称する場合がある。

【0006】

投影露光装置の性能を最適化するために、所望の有利な光学特性を目的として各ミラー又は層材料の適当な選択を行う必要があるだけでなく、投影露光装置の動作時の汚染の結果としてこれらの光学特性の（特に、入射角に応じた反射損失又は反射挙動の望ましくない変化の形態の）悪化が生じ得ることも考慮する必要がある。

30

【0007】

従来技術に関しては、単なる例として例えば特許文献1を参照されたい。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】米国特許出願公開第2005/0279951号明細書

【発明の概要】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

上記背景に照らして、本発明の目的は、関連の光学系又は投影露光装置の動作時に高い反射率又は低い光損失と共に低い易汚染性を達成することを可能にする、特にマイクロリソグラフィ投影露光装置のミラーを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

この目的は、独立請求項の特徴により達成される。

【0011】

本発明の一態様によれば、特にマイクロリソグラフィ投影露光装置のミラーは、光学有

50

効面を有し、

ミラーは、所定の使用波長を有し且つ各表面法線に対して 65° 以上の入射角で光学有効面に入射する電磁放射線に関して、少なくとも 0.5 の反射率を有し、

ミラーは、第 2 周期元素及び 4 d 遷移族 (transition group) 元素の化合物を含む少なくとも 1 つの層を有し、

ミラーは、光学有効面の方向で最上部に配置された保護層を有し、

光学有効面の方向で保護層の下にそれぞれ配置された層の材料は、保護層の材料よりも低吸収である。

【0012】

本発明は、特に、ミラーの層において第 2 周期元素、例えばベリリウム (Be)、ホウ素 (B)、炭素 (C)、窒素 (N)、又は酸素 (O) を 4 d 遷移族元素、例えばモリブデン (Mo)、ニオブ (Nb)、又はジルコニウム (Zr) と組み合わせることにより、光学系の動作時に生じる汚染に対する保護作用又は少なくとも実質的な耐薬品性の獲得と、ミラーの有利な光学特性との組み合わせを達成するという概念に基づく。

【0013】

本発明は特に、例えばモリブデン (Mo) が、特に電磁 E U V 放射線の斜入射の場合に他の全元素と比べて高い反射率をもたらす比較的低い吸収及び比較的低い屈折率に関する所望の有利な光学特性に関して、光学特性の観点から基本的に特に好ましい材料であると思われるが、酸化し易いことにより、そのまま (元素形態で) 使用する場合には易汚染性が高すぎるという考えから生じている。

【0014】

この考えから進んで、本発明は、モリブデン (Mo) 又は別の適当な 4 d 遷移族元素を第 2 周期元素 (特に、ホウ素 (B)、炭素 (C)、又は窒素 (N)) と組み合わせる結果として、酸化の危険性を回避し、その結果として、耐薬品性であると同時に例えば純元素のモリブデン (Mo) 又はルテニウム (Ru) の光学特性に匹敵するか又はそれよりも優れた光学特性を有する層が達成される。

【0015】

一実施形態によれば、ミラーは、この (第 2 周期元素及び 4 d 遷移族元素を組み合わせた) 層及び基板 (上記層が上に形成又は配置される) のみを有する。

【0016】

さらに他の実施形態では、第 2 周期元素及び 4 d 遷移族元素を組み合わせた層を、ルテニウム (Ru) から構成される第 1 層の上に第 2 層として配置することができる。

【0017】

さらなる態様によれば、本発明は、光学有効面を有する、特にマイクロリソグラフィ投影露光装置のミラーであって、

所定の使用波長を有し且つ各表面法線に対して 65° 以上の入射角で光学有効面に入射する電磁放射線に関して、少なくとも 0.5 の反射率を有し、且つ

ルテニウム (Ru)、ロジウム (Rh)、又はパラジウム (Pd) を含む第 1 材料から構成される第 1 層と、光学有効面の方向で上記第 1 層の上に配置され且つ第 1 材料と比べて低吸収の第 2 材料から構成される第 2 層とを有するミラーも提供する。

【0018】

このさらなる態様によれば、本発明によるミラーの構成において、(ルテニウム、ロジウム、又はパラジウムを含む) 第 1 層が比較的有利な光学定数を有する「基層」としての役割を果たし且つ (反射率曲線が第 1 変曲点を有する) 全反射の臨界角 (limiting angle) を設定するよう働く一方で、第 2 層 (第 1 層の材料よりも低吸収である) が斜入射の場合の反射率を高める「増幅層」としての役割を果たす限り、ミラーに存在する層間の「役割分担 (task division)」がある。この構成は、この場合に関連する角度範囲での (すなわち斜入射での)、又は各表面法線に対して 65° 以上の入射角での反射率を狙い通りに高めることを可能にし、それと同時に、(入射角の関数としての反射率を表す) 反射率曲線の「尚早なキンク (premature kinking)」を回避することが可能である。

【0019】

一実施形態では、第2層の材料は、モリブデン(Mo)又は第2周期元素及び4d遷移族元素の化合物を含む。

【0020】

一実施形態では、4d遷移族元素は、モリブデン(Mo)、ニオブ(Nb)、及びジルコニウム(Zr)からなる群から選択される。

【0021】

一実施形態では、第2周期元素は、ベリリウム(Be)、ホウ素(B)、炭素(C)、窒素(N)、及び酸素(O)からなる群から選択される。

【0022】

一実施形態では、ミラーは、光学有効面の方向で最上部に配置された保護層をさらに有する。

【0023】

ミラーがこのような追加の保護層を有する結果として、存在する個々の層に関するさらなる「役割分担」又は機能分離を本発明のミラーの層構造において達成することができる。特に、当該保護層は、非常に「化学的に安定している」か又は光学系の動作時に生じる汚染に対して所望の耐薬品性を有するが光学特性が比較的悪い材料から構成することができ、後者の状況は、保護層の非常に小さな厚さ(例えば、2nm~3nm)によってのみ可能である。

【0024】

換言すれば、保護層は、所望の耐薬品性を提供するのに過不足ないように構成されることが好ましく、ミラーの光学特性の最適化又は反射率の上昇は、光学有効面に関して保護層の下に位置付けられた第1層及び/又は第2層(すなわち、上記基層及び/又は増幅層)により達成可能である。同時に、関連する基層及び/又は増幅層の厚さは、耐薬品性(上記保護層により確保される)を考慮する必要なく光学特性の所望の最適化を目的としてそれぞれ選択することができる。

【0025】

保護層により提供される光学系の動作時に生じる汚染に対する保護作用により、その下の層(基層及び/又は増幅層)は、それらの上に保護層があることで比較的反応性の高い材料で作ることもできるので、これらの層の材料の選択に関してかなり大きな自由度も達成される。

【0026】

一実施形態では、いずれの場合も光学有効面の方向で保護層の下に位置付けられる層の材料は、保護層の材料よりも低吸収である。

【0027】

一実施形態では、保護層は、窒化ケイ素(Si₃N₄)、炭化ケイ素(SiC)、又は3d遷移族元素(Sc、Ti、V、...)、4d遷移族元素(Y、Zr、Nb、...)、若しくはランタニド(La、Ce、Pr、Nd、...)を含む化合物を含む。

【0028】

一実施形態では、保護層は5nm以下の厚さを有する。

【0029】

一実施形態では、第2層及び保護層それぞれの厚さプロファイルは、同一の構成の第1層のみを有して第2層及び保護層を有しないミラーとのミラーの入射角に対する反射率の依存に関する差が、2%以下、特に1%以下、より詳細には0.5%以下であるようなものである。ここで、関連する層の厚さプロファイルは、一定の厚さ又は局所的に変化する厚さであり得る。

【0030】

本発明のこのさらなる態様によれば、第1層、第2層、及び保護層から構成された上記層構造の第2層及び保護層の各厚さプロファイルは、第1層(「基層」)のみを有するミラーと比べて反射率プロファイルに(すなわち入射角に対する反射率の依存に)変化がな

10

20

30

40

50

い（又は変化が比較的小さいか又は無視できる程度しかない）ように選択され得る。

【0031】

換言すれば、第1層、第2層、及び保護層から構成された本発明による層構造の層厚は、入射角に対する反射率の依存の特定のプロファイルが正確に達成されるように選択される。特に、層構造は、例えば、ミラーの最大反射率が達成されない代わりに、ある程度の反射率低下を受け入れて特に所望の反射率プロファイル（例えば、第2層及び保護層のない「純ルテニウムミラー」の反射率プロファイル）が設定されるように、第1層、第2層、及び保護層の各厚さに関して構成することができる。結果として、例えば、本発明による層構造を有するミラーの使用に光学設計を適合させる必要を回避することができる。特に、保護層がもたらす反射率の低下を、第2層により少なくとも部分的に補償することができる。

10

【0032】

一実施形態では、ミラーは少なくとも1つのバリア層を有する。例えば、このようなバリア層は、第1層と第2層との間に且つ/又は保護層がある場合にはその直下に配置することができる。このようなバリア層は、例えば拡散バリアとしての役割を果たし、第1層と第2層との間の望ましくない拡散を回避するか、又は例えば保護層に存在する酸素がその下の層に拡散するのを防止することができる。このようなバリア層は、単なる例として、数ナノメートル（nm）以下の領域の厚さを有することができる。

【0033】

さらに別の態様によれば、本発明は、光学面を有する、特にマイクロリソグラフィ投影露光装置のミラーであって、

20

所定の使用波長を有し且つ各表面法線に対して65°以上の入射角で光学有効面に入射する電磁放射線に関して、少なくとも0.5の反射率を有し、

第2周期元素及び4d遷移族元素の化合物を含む少なくとも1つの層を有し、且つ

上記層のみ又は上記層及び基板のみを有するミラーに関する。

【0034】

一実施形態では、4d遷移族元素は、モリブデン（Mo）、ニオブ（Nb）、及びジルコニウム（Zr）からなる群から選択される。

【0035】

一実施形態では、第2周期元素は、ベリリウム（Be）、ホウ素（B）、炭素（C）、窒素（N）、及び酸素（O）からなる群から選択される。

30

【0036】

一実施形態では、使用波長は30nm未満であり、特に10nm～15nmの範囲にあり得る。

【0037】

本発明はさらに、照明デバイス及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、照明デバイスは、投影露光装置の動作時に投影レンズの物体平面にあるマスクを照明し、投影レンズは、上記マスクを投影レンズの像平面にある感光層に投影し、投影露光装置は、上記特徴を有する光学系を有するマイクロリソグラフィ投影露光装置を提供する。

40

【0038】

本発明のさらに他の実施形態は、説明及び従属請求項から得ることができる。

【0039】

添付図面に示す例を用いて、本発明を以下で説明する。

【図面の簡単な説明】

【0040】

【図1a】EUVで動作するよう設計された投影露光装置を概略的に示す。

【図1b】本発明の例示的な実施形態におけるミラーの構造を概略的に示す。

【図1c】本発明の例示的な実施形態におけるミラーの構造を概略的に示す。

【図2a】本発明のさらに別の実施形態におけるミラーの可能な構造を概略的に示す。

50

【図 2 b】本発明のさらに別の実施形態におけるミラーの可能な構造を概略的に示す。
【図 3 a】本発明のさらに別の実施形態におけるミラーの可能な構造を概略的に示す。
【図 3 b】本発明のさらに別の実施形態におけるミラーの可能な構造を概略的に示す。
【図 4 a】本発明のさらに別の実施形態におけるミラーの可能な構造を概略的に示す。
【図 4 b】本発明のさらに別の実施形態におけるミラーの可能な構造を概略的に示す。
【図 5 a】本発明のさらに別の実施形態におけるミラーの可能な構造を概略的に示す。
【図 5 b】本発明のさらに別の実施形態におけるミラーの可能な構造を概略的に示す。
【図 6】本発明のさらに別の実施形態におけるミラーの可能な構造を概略的に示す。
【図 7】本発明のさらに別の実施形態におけるミラーの可能な構造を概略的に示す。
【発明を実施するための形態】

10

【0041】

図 1 a は、EUV で動作するように設計され且つ本発明を実施できる例示的な投影露光装置を概略的に示す。

【0042】

図 1 a によれば、EUV 用に設計された投影露光装置 100 の照明デバイスは、視野ファセットミラー 103 及び瞳ファセットミラー 104 を有する。プラズマ光源 101 及びコレクタミラー 102 を含む光源ユニットの光が、視野ファセットミラー 103 へ指向される。第 1 望遠鏡ミラー 105 及び第 2 望遠鏡ミラー 106 が、瞳ファセットミラー 104 の後の光路に配置される。さらなる光路には偏向ミラー 107 があり、これは斜入射で動作し、且つ入射した放射線を図 1 a に単に示される投影レンズの物体平面の物体視野へ指向させる。反射型構造化マスク 121 が、物体視野の位置でマスクテーブル 120 に配置され、このマスクは、投影レンズにより像平面に投影され、像平面では、感光層（フォトレジスト）でコーティングされた基板 161 がウェーハテーブル 160 上に位置付けられている。

20

【0043】

単なる例として、斜入射で動作する偏向ミラー 107 は、図 1 b、図 1 c、又は図 2 a 以降を参照して以下で説明される本発明による構造を有することができる。

【0044】

投影レンズ 150 は、例えば、独国特許出願公開第 10 2012 202 675 号明細書に記載のような構造（この構造も同様に、斜入射で動作し且つ本発明に従って構成することができるミラーを有する）又は異なる構造を有することができる。

30

【0045】

以下において、斜入射で動作する本発明に従ったミラーの可能な実施形態を、図 1 b、図 1 c、及び図 2 a ~ 図 7 の概略図を参照して説明する。

【0046】

図 1 b によれば、本発明によるミラーは、具体例ではホウ化モリブデン（MoB）からなり且つこの例では（任意の適当な材料からできた）基板 150 上に例示的な厚さ 30 nm を有する層 160 を有する。

【0047】

さらに他の実施形態では、層 160 は、第 2 周期元素（例えば、元素リチウム（Li）、ベリリウム（Be）、ホウ素（B）、炭素（C）、窒素（N）、酸素（O）、又はフッ素（F）の 1 つ）と 4 d 遷移族元素（例えば、元素イットリウム（Y）、ジルコニウム（Zr）、ニオブ（Nb）、モリブデン（Mo）、テクネチウム（Tc）、ルテニウム（Ru）、ロジウム（Rh）、及びパラジウム（Pd）の 1 つ）との異なる化合物を含み得る。

40

【0048】

関連する光学的有効材料がバルク材として利用可能であり、適当な熱的特性を有し、且つ光学品質で整形及び研磨することもできる場合、さらなる層を省くことが可能であり、その場合、ミラーは、図 1 c に概略的に示すように、図 1 a の層 160 と類似の材料を含む層 170 のみからできていてもよい。後者の場合、単独でミラーを形成する層 170 は

50

、50 nm以上の厚さを有することが好ましい。

【0049】

以下において、図1b、図1cを用いて上述した層を（場合によっては追加の基板と共に）有するだけでなく、複数の層から構成された構造を設けることにより機能分離又は役割分担が達成される、本発明によるミラーのさらに他の実施形態を、図2a～図6の概略図を参照して説明する。

【0050】

図2aの例では、本発明によるミラーは、（この場合も任意の適当な材料からできた）基板205の上にルテニウム（Ru）の第1層210及びモリブデン（Mo）の第2層220を有する。ここで、単なる例として、（本発明を限定することなく）、第1層210は厚さ30 nmであり、第2層220は厚さ9 nmである。

10

【0051】

図2aに示す構造の場合の上記役割分担は、（「基層」としての）第1層210が（反射率プロファイルの反射率曲線の尚早な「キंक」を回避するために）全反射の非常に有利な臨界角を提供する一方で、（「増幅層」としての役割を果たす）第2層220が関連の角度範囲の（すなわち、特に斜入射又は各表面法線に対して65°以上の入射角での）反射の増幅を達成することにより行われる。

【0052】

第1層210は純ルテニウム（Ru）からなるが、第2層220の材料は、代替として、図2aに従ったモリブデン（Mo）又は図1b及び図1cを参照して上述した材料の1つ（すなわち、第2周期元素及び4d遷移族元素の化合物）であり得る。ここで、第2層の材料は、いずれの場合もルテニウム（Ru）よりも低吸収である。以下の例ではいずれの場合もルテニウム（Ru）が第1層の材料として選択されているが、さらに他の実施形態では、第1層は、ロジウム（Rh）若しくはパラジウム（Pd）、又はルテニウム（Ru）、ロジウム（Rh）、又はパラジウム（Pd）の組み合わせを含むこともできる。同様に、第2層の材料は、いずれの場合も第1層の材料よりも低吸収であるべきである。

20

【0053】

上記効果を説明するために、図2bは、（ルテニウム（Ru）又はモリブデン（Mo）から構成された）1層のみの場合とモリブデン（Mo）及びルテニウム（Ru）の種々の層配列との両方に関する、反射面に対する入射光線又は反射光線の角度の関数としての反射率プロファイルを示す（図中、凡例の最初に記載した材料は基層又は第1層の材料であり、最後に記載した材料は増幅層又は第2層の材料である）。図2bから分かるように、図2aに従った本発明による材料の選択により、関連の角度範囲の反射率を大幅に高めることができると共に、反射率曲線の「キंक」を大幅に遅らせることができる。

30

【0054】

図3bは、図3aに従った本発明による構造により達成される反射率上昇を示す役割を果たす。図3bにおいて、それぞれ達成された反射率と純ルテニウム（Ru）層の場合に達成された反射率との間の差を、反射面に対する入射光線又は反射光線の角度の関数としてプロットする。図3bにおいて、各層厚は、ルテニウム（Ru）が30 nm、炭化モリブデン（Mo₂C）が5 nm、ホウ化モリブデン（MoB）が9 nm、炭化ニオブ（NbC）が5 nmである。さらに、厚さ30 nmのモリブデンの単層と厚さ30 nmの純Ru層との比較を参照として示し、次の図4b及び図5bでも同様である。

40

【0055】

図4aは、本発明のさらに別の実施形態によるミラーの構造を示す役割を果たし、類似のコンポーネント又は図3aと比べて本質的に同じ機能を有するコンポーネントは、「100」を足した参照符号で示す。

【0056】

図4aに示すミラーは、非常に高い化学安定性を有する材料からできた追加の保護層430を有する点が図3aの実施形態と異なり、厚さが比較的小さい（例えば、2 nm～3 nm）ことにより、比較的不利な光学特性を許容できる。したがって、保護層430は、

50

単なる例として窒化ケイ素 (Si_3N_4) からなり得る。

【0057】

さらに他の可能な実施形態では、比較的より有利な光学特性を有する材料、特に図1b、図1cの実施形態（すなわち、第2周期元素及び4d遷移族元素の化合物）に類似した材料を、保護層430の材料として選択することもできる。

【0058】

第2層420（この場合も、「増幅層」又は図3aと同様に斜入射での関連の角度範囲の反射率を高める役割を果たす層）の材料に関しては、保護層430により提供される光学系の動作時に生じる汚染に対する保護作用を考慮して、化学反応性の比較的高い材料（例えば、純ニオブ（Nb）又は純モリブデン（Mo））をここでも選択することができる。

10

【0059】

図4bは、図4aに従った本発明による構造により達成される反射率上昇を示す役割を果たす。図4bにおいて、それぞれ達成された反射率と純ルテニウム（Ru）層の場合に達成された反射率との間の差を、反射面に対する入射光線又は反射光線の角度の関数としてプロットする。図4bにおいて、各層厚は、ルテニウム（Ru）が30nm、モリブデン（Mo）が5nm、窒化ケイ素（ Si_3N_4 ）が2nm、窒化ジルコニウム（ZrN）が2nm、窒化モリブデン（MoN）が3nm、ホウ化モリブデン（MoB）が3nmである。ここで、厚さ5nmのMo層は、厚さ30nmのRu（代替的にMo又はNb）の第1層と各被覆層との間に配置される。

20

【0060】

図5aは、本発明によるミラーのさらに別の可能な実施形態を示す役割を果たす。これは、特に「増幅層」（図4aの第2層420）を省いて保護層530を（「基層」として働く）第1層510の直上に配置した点が、図4aの実施形態とは異なる。図5aの実施形態は、最大入射角の値が比較的小さいか又は実現すべき反射率に関する要件が比較的厳しくないことにより、追加の増幅層をなくすることができる場合に特に有用である。

【0061】

純ルテニウム（Ru）の反射率に対して達成された反射変化の、図3b及び図4bの上記反射率曲線に類似したプロットを、図5aに示す層構造に関して図5bに示す。ここで、関連する層の各厚さは、ルテニウム（Ru）が30nm、窒化ケイ素（ Si_3N_4 ）が2nm、窒化ジルコニウム（ZrN）が2nm、モリブデン（Mo）が30nm、窒化モリブデン（MoN）が2nm、酸化ニオブ（ NbO_2 ）が1nmである。

30

【0062】

図6は、本発明によるミラーのさらに別の可能な実施形態を説明する概略図を示し、図4aの構造との相違点として、基層（すなわち、図4aのミラーの第1層410）が省かれている。したがって、図6によれば、「増幅層」として働く層620が基板605の直上に配置され、保護層630はこの場合も、増幅層として働く層620の直上に配置される。ここで、基板605自体は、上記の意味での「基層」として（すなわち、全反射に適した臨界角を設定するように）働き、本例ではルテニウム（Ru）からできている。

【0063】

図7は、ミラーのさらに別の可能な構造を説明する概略図を示し、ここで、保護層730が基板705（この場合も図6と同様に「基層」として働く）の直上に配置される。保護層730の材料として、特に、図1b及び図1cを参照して述べた材料（すなわち、第2周期元素及び4d遷移族元素の化合物）を用いることが可能である。保護層730の厚さは、第1に、光学系の動作時に生じる汚染に対する所望の保護作用又は耐薬品性が達成され、第2に、斜入射に関連する角度範囲の反射率が非常に高いように選択され、保護層730の厚さは、例として2nm～3nmとすることができる。保護層730により提供される保護作用により、基板705の材料として、モリブデン（Mo）又はニオブ（Nb）等の化学反応性の比較的高い元素を用いることも可能である。

40

【0064】

50

ここで、反射率プロファイルは、任意の材料から構成された基板にルテニウム（Ru）が基層として施されているような例と同一である（図4b及び図5b参照）。

【0065】

本発明を特定の実施形態に基づいて説明したが、多くの変形形態及び代替的な実施形態が、例えば個々の実施形態の特徴の組合せ及び／又は交換により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、このような変形形態及び代替的な実施形態は本発明に付随して包含され、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。

【図1a】

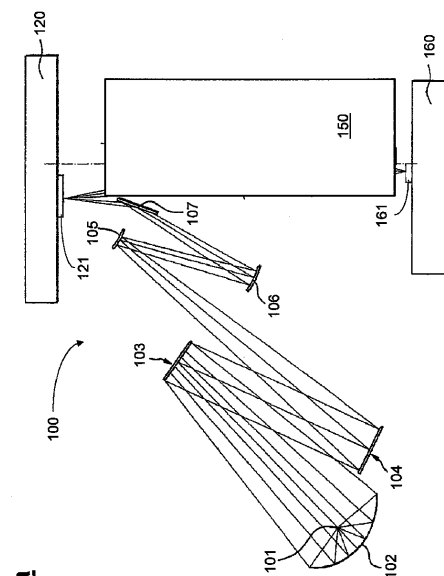
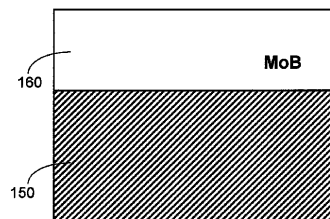


Fig. 1a

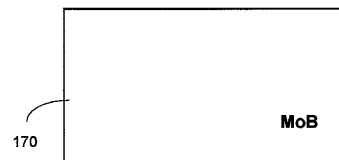
【図1b】

Fig. 1b

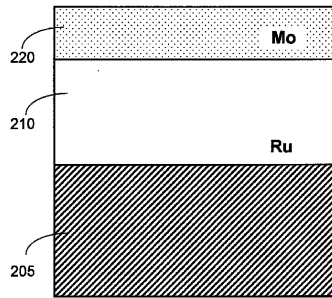


【図1c】

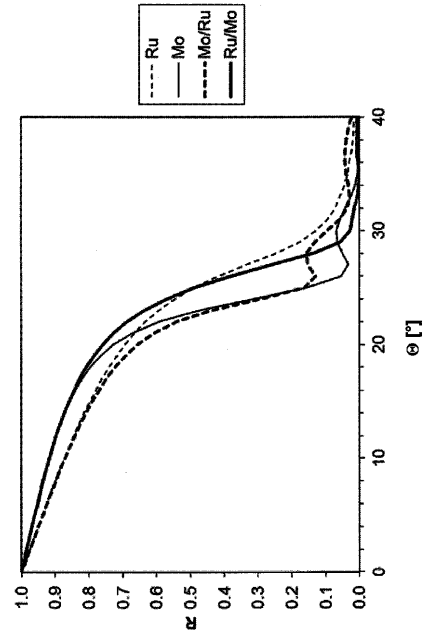
Fig. 1c



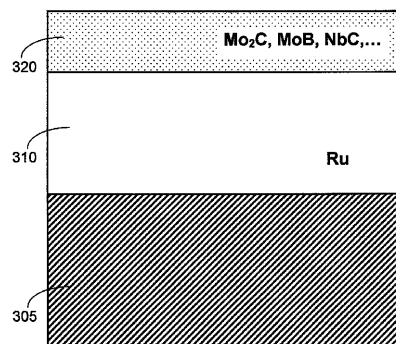
【図 2 a】

Fig. 2a

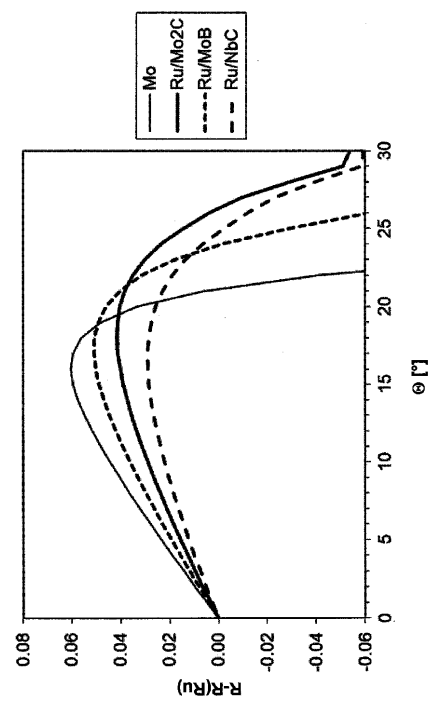
【図 2 b】

Fig. 2b

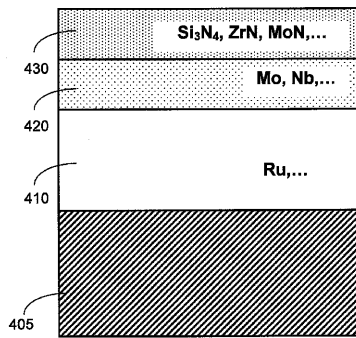
【図 3 a】

Fig. 3a

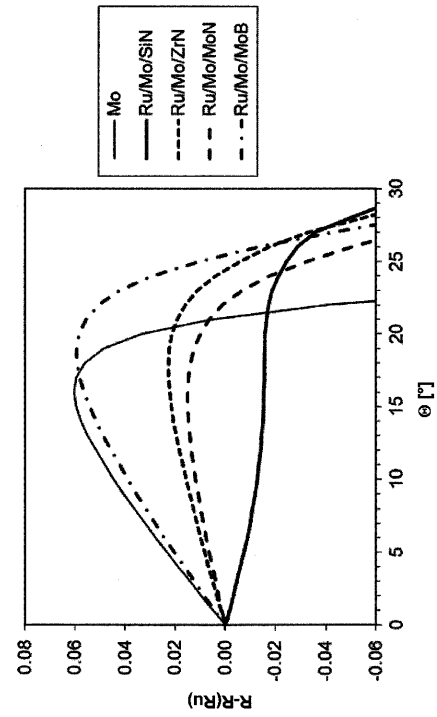
【図 3 b】

Fig. 3b

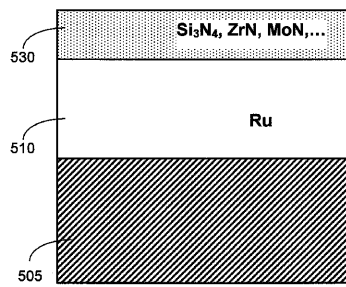
【 図 4 a 】

Fig. 4a

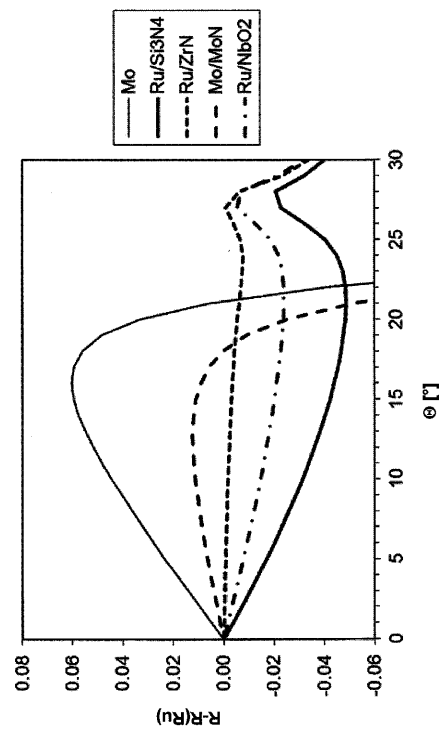
【 図 4 b 】

Fig. 4b

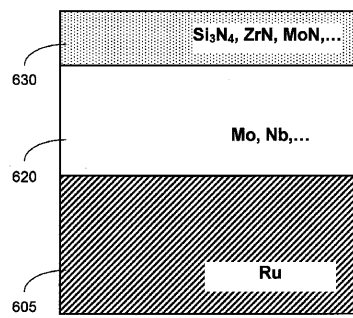
【 図 5 a 】

Fig. 5a

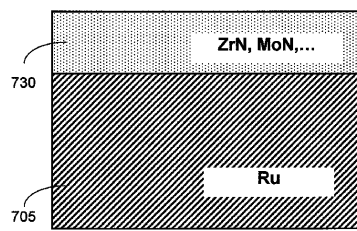
【 図 5 b 】

Fig. 5b

【 図 6 】

Fig. 6

【 図 7 】

Fig. 7

フロントページの続き

審査官 植木 隆和

(56)参考文献 特開 2 0 0 5 - 2 6 8 3 5 9 (J P , A)
特開 2 0 0 6 - 3 1 7 9 1 3 (J P , A)
国際公開第 2 0 1 2 / 1 2 6 8 6 7 (W O , A 1)
特開 2 0 0 3 - 3 0 3 7 5 6 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
H 0 1 L 2 1 / 0 2 7
G 0 3 F 7 / 2 0
G 0 2 B 5 / 0 8