

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2013-219383

(P2013-219383A)

(43) 公開日 平成25年10月24日(2013.10.24)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/027 (2006.01)	HO 1 L 21/30 5 3 1 A	2 H 0 4 2
GO 2 B 5/08 (2006.01)	GO 2 B 5/08 A	5 F 1 4 6

審査請求 有 請求項の数 18 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2013-123759 (P2013-123759)
 (22) 出願日 平成25年6月12日 (2013.6.12)
 (62) 分割の表示 特願2009-547611 (P2009-547611) の分割
 原出願日 平成20年2月2日 (2008.2.2)
 (31) 優先権主張番号 102007006423.5
 (32) 優先日 平成19年2月5日 (2007.2.5)
 (33) 優先権主張国 ドイツ (DE)
 (31) 優先権主張番号 60/888,144
 (32) 優先日 平成19年2月5日 (2007.2.5)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 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 100147692
 弁理士 下地 健一
 (72) 発明者 アンドレー エー ヤクシン
 オランダ国 3431 セーデー ニュー
 ゲイン プロフェッサー ドクター ヘッ
 セラーン 15

最終頁に続く

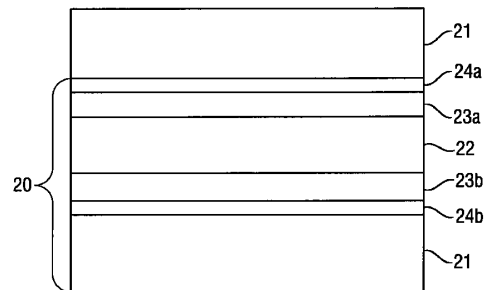
(54) 【発明の名称】 第1 および第2 付加中間層を備えるEUVリソグラフィ装置用多層反射光学素子

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 EUVまたは軟X線波長領域の作動波長において、できるだけ高い反射率を有する反射光学素子を提供する。

【解決手段】 多層の反射光学素子において、第1付加中間層23a、23b、および、第1付加中間層23a、23bと、隣接するスペーサ層21および/または吸収層22との間の化学的な相互作用を阻止するための第2付加中間層24a、24bを、吸収層22とスペーサ層21との間に設ける。

【選択図】 図1b



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

特に E U V リソグラフィ装置で用いられる、軟 X 線および極紫外線波長領域の作動波長のための反射光学素子であって、前記作動波長で異なる屈折率実部を有する少なくとも 2 つの材料が交互に設けられる多層システムを備える反射光学素子において、

特定のさらなる材料からなる 2 つの付加層 (2 3 , 2 3 a , 2 3 b , 2 4 , 2 4 a , 2 4 b , 2 4 a , 2 4 b) が、交互に設けられる 2 つの材料 (2 1 , 2 2) の少なくとも一方に隣接して配置されており、前記 2 つの付加層 (2 3 a , 2 3 b , 2 4 a , 2 4 b , 2 4 a , 2 4 b) が、より小さい屈折率実部を有する材料 (2 2) からより大きい屈折率実部を有する材料 (2 1) への移行部と、前記より大きい屈折率実部を有する材料 (2 1) から前記より小さい屈折率実部を有する材料 (2 2) への移行部とで異なるように選択されていることを特徴とする反射光学素子。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載の反射光学素子において、

前記 2 つの付加層 (2 3 a , 2 3 b , 2 4 a , 2 4 b) の順序が、前記より小さい屈折率実部を有する材料 (2 2) から前記より大きい屈折率実部を有する材料 (2 1) への移行部と、前記より大きい屈折率実部を有する材料 (2 1) から前記より小さい屈折率実部を有する材料 (2 2) への移行部とで異なるように選択されている反射光学素子。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の反射光学素子において、

前記 2 つの付加層 (2 3 a , 2 3 b , 2 4 a , 2 4 b , 2 4 a , 2 4 b) のうち少なくとも一方の材料が、前記より小さい屈折率実部を有する材料 (2 2) から前記より大きい屈折率実部を有する材料 (2 1) への移行部と、前記より大きい屈折率実部を有する材料 (2 1) から前記より小さい屈折率実部を有する材料 (2 2) への移行部とで異なるように選択されている反射光学素子。

20

【請求項 4】

請求項 1 から 3 までのいずれか一項に記載の反射光学素子において、

前記交互に設けられる 2 つの材料 (2 1 , 2 2) の間の少なくとも 1 つの移行部に、付加層なしの場合の反射率と比較して前記作動波長における多層システム (2) の最大反射率を増大させるさらなる材料からなる第 1 付加層 (2 3 a , 2 3 b) と、隣接する層間のバリアとして作用する別のさらなる材料からなる第 2 付加層 (2 4 a , 2 4 b , 2 4 a , 2 4 b) とが配置されている反射光学素子。

30

【請求項 5】

特に E U V リソグラフィ装置で用いられる、軟 X 線および極紫外線波長領域の作動波長のための反射光学素子であって、前記作動波長で異なる屈折率実部を有する少なくとも 2 つの材料が交互に設けられる多層システムを備える反射光学素子において、

特定のさらなる材料からなる 2 つの付加層 (2 3 , 2 3 a , 2 3 b , 2 4 , 2 4 a , 2 4 b , 2 4 a , 2 4 b) が、交互に設けられる 2 つの材料 (2 1 , 2 2) の少なくとも一方に隣接して配置されており、前記交互に設けられる 2 つの材料 (2 1 , 2 2) の間の少なくとも 1 つの移行部に、付加層なしの場合の反射率と比較して前記作動波長における多層システム (2) の最大反射率を増大させるさらなる材料からなる第 1 付加層 (2 3 a , 2 3 b) と、隣接する層間のバリアとして作用する別のさらなる材料からなる第 2 付加層 (2 4 , 2 4 a , 2 4 b , 2 4 a , 2 4 b) とが配置されていることを特徴とする反射光学素子。

40

【請求項 6】

請求項 5 に記載の反射光学素子において、

前記第 1 付加層 (2 3 a , 2 3 b) が、より小さい屈折率実部を有する材料 (2 2) からより大きい屈折率実部を有する材料 (2 1) への移行部と、より大きい屈折率実部を有する材料 (2 1) からより小さい屈折率実部を有する材料 (2 2) への移行部とで異なる材料からなる反射光学素子。

50

【請求項 7】

請求項 1 から 6 までのいずれか一項に記載の反射光学素子において、
前記多層システムに保護層が被着されており、多層システム(2)と保護層(4)との間の移行部に、付加層なしの場合の反射率と比較して前記作動波長における最大反射率を増大させるさらなる材料からなる第 1 付加層(23)と、隣接する層間のバリアとして作用する別のさらなる材料からなる第 2 付加層(24)とが配置されている反射光学素子。

【請求項 8】

請求項 1 から 7 までのいずれか一項に記載の反射光学素子において、
前記第 2 付加層(24, 24a, 24b, 24a, 24b)の材料が、付加層なしの場合の反射率と比較して前記作動波長における最大反射率を増大させる反射光学素子。

10

【請求項 9】

請求項 1 から 8 までのいずれか一項に記載の反射光学素子において、
少なくとも前記第 1 付加層(23a, 23b)の材料の屈折率のうち前記作動波長における屈折率実部の値が、屈折率実部がより大きい前記交互に設けられる材料(21)の対応値よりも大きいか、または、屈折率実部がより小さい前記交互に設けられる材料(22)の対応値よりも小さい反射光学素子。

【請求項 10】

請求項 1 から 8 までのいずれか一項に記載の反射光学素子において、
少なくとも前記第 1 付加層(23a, 23b)の材料の屈折率のうち前記作動波長における屈折率実部の値が、交互に設けられる前記材料(21, 22)の対応値の間にある反射光学素子。

20

【請求項 11】

請求項 1 から 10 までのいずれか一項に記載の反射光学素子において、
前記付加層(23, 23a, 23b, 24, 24a, 24b, 24a, 24b)の厚さ(d)が、交互に設けられる材料からなる層(21, 22)の厚さよりも小さい反射光学素子。

【請求項 12】

請求項 1 から 11 までのいずれか一項に記載の反射光学素子において、
前記付加層(23, 23a, 23b, 24, 24a, 24b, 24a, 24b)の厚さ(d)が、前記作動波長の 1/4 よりも小さく、特に前記作動波長の 1/8 よりも小さい反射光学素子。

30

【請求項 13】

請求項 1 から 12 までのいずれか一項に記載の反射光学素子において、
前記作動波長でより小さい屈折率実部を有する前記材料(22)が、モリブデンであり、前記作動波長でより大きい屈折率実部を有する前記材料(21)が、ケイ素である反射光学素子。

【請求項 14】

請求項 1 から 13 までのいずれか一項に記載の反射光学素子において、
前記第 1 付加層(23, 23a, 23b)が、ルテニウム、ロジウム、イットリウムおよびニオブの群のいずれかの材料を含む反射光学素子。

40

【請求項 15】

請求項 1 から 14 までのいずれか一項に記載の反射光学素子において、
前記第 2 付加層(24, 24a, 24b, 24a, 24b)が、炭化ホウ素を含む反射光学素子。

【請求項 16】

特に E U V リソグラフィ装置のための投影システム(140)において、
請求項 1 から 15 までに記載のいずれか 1 つの反射光学素子(141, 142)を有することを特徴とする投影システム。

【請求項 17】

特に E U V リソグラフィ装置のための照明システム(120)において、

50

請求項 1 から 15 までに記載のいずれか 1 つの反射光学素子 (1 2 1 , 1 2 2) を有することを特徴とする照明システム。

【請求項 18】

EUVリソグラフィ装置 (1 0 0) において、

請求項 1 から 15 に記載の少なくとも 1 つの反射光学素子 (1 2 1 , 1 2 2 , 1 4 1 , 1 4 2) を有することを特徴とする EUVリソグラフィ装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、特に EUVリソグラフィ装置で用いられる、極紫外線および軟 X 線波長領域の作動波長のための反射光学素子であって、作動波長で異なる屈折率実部を有する少なくとも 2 つの材料が交互に設けられる多層システムを備える反射光学素子に関する。

10

【0002】

さらに本発明は、特に EUVリソグラフィ装置で用いられる、少なくとも 1 つの反射光学素子を有する投影システムおよび照明システム、ならびに、少なくとも 1 つの反射光学素子を有する EUVリソグラフィ装置に関する。

【背景技術】

【0003】

極紫外線 (EUV) および軟 X 線波長領域 (例えば約 1 nm ~ 20 nm の波長) のための反射光学素子、例えばフォトマスクまたは多層ミラーは、特に半導体構成素子のリソグラフィにおいて使用される。 EUVリソグラフィ装置は、一般に複数の反射光学素子を備えているので、これらの反射光学素子は、十分に高い総反射率が得られることを確実にするために、できるだけ高い反射率を有している必要がある。 EUVリソグラフィ装置では通常は複数の反射光学素子が順次に配置されているので、個々の反射光学素子におけるわずかな反射率損失でさえ、総反射率に著しい影響を及ぼす。

20

【0004】

EUV および軟 X 線波長領域のための反射光学素子は、一般に多層システムを有している。多層システムでは、作動波長で大きい屈折率実部を有する材料層 (スペース層とも呼ぶ) と、作動波長でより小さい屈折率実部を有する材料層 (吸収層とも呼ぶ) とが交互に被着されており、吸収層-スペース層の対がスタックを形成している。これにより、ある意味で、結晶がシミュレートされており、ブラッグ反射が生じる結晶の格子平面が吸収層に相当する。個々の層および反復されるスタックの厚さは、達成されるべき反射特性に応じて、多層システム全体にわたって一定であってもよいし、変化してもよい。

30

【0005】

EUVリソグラフィ装置においてできるだけ高い総反射率を確保するための 1 つの方法は、反射光学素子に、1 つ以上の層を備えていてよい保護層を設け、これにより、反射光学素子を汚染物質から保護し、反射光学素子の耐用寿命を長くすることである。

【0006】

別の方法は、吸収層およびスペース層の基本構造に、さらに吸収性が高い材料または低い材料をさらに補い、特定の作動波長における最大可能反射率を増大させることである。このためには、幾つかのスタックにおいて吸収材料および / またはスペース材料を入れ換えるか、または 2 つ以上の吸収材料および / またはスペース材料からスタックを構成してもよい。吸収材料およびスペース材料は、反射率を最適化するために全てのスタックにおいて一定の厚さを有していてもよいし、または異なる厚さを有していてもよい。実際には、材料が複雑に連続している反射光学素子では、期待どおりの高い反射率を達成することはできない。

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本発明の課題は、作動波長においてできるだけ高い反射率を提供する反射光学素子を提

50

案することである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

この課題は、特にEUVリソグラフィ装置で用いられる、軟X線および極紫外線波長領域の作動波長のための反射光学素子であって、作動波長で異なる屈折率実部を有する少なくとも2つの材料が交互に設けられる多層システムを備える反射光学素子において、交互に設けられる2つの材料のうちの少なくとも1つに隣接して、特に交互に設けられる2つの材料の間の少なくとも1つの移行部に、特殊なさらなる材料からなる2つの付加層が配置されていることにより解決される。

【0009】

この課題は、特に対応する光学素子において、交互に設けられる2つの材料の間の少なくとも1つの移行部に、付加層なしの場合の反射率と比較して作動波長における最大反射率を増大させるさらなる材料からなる第1付加層と、隣接する層間のバリアとして作用する別のさらなる材料からなる第2付加層とが配置されていることにより解決される。

【0010】

第1および第2付加層を備えるこのような多層システムの基本構造は、反射率を増大させることのできる多くの材料が、多層システムの基本材料、特にスペーサ材料と化学反応し、これにより、付加層が好ましくない材料から形成されてしまい、これらの付加層が、作動波長における屈折率に基づいて反射率に不都合に作用し、吸収層とスペーサ層との間の境界面が空間的にずらされることにより、境界面に関する電磁波の位相角のシフト、ひいては作動波長における反射率の低下をもたらすという認識に基づいている。特にEUVおよび軟X線波長領域では、金属が吸収層として適しており、金属と反応することの多い非金属がスペーサ層として適している。2つの中間層、すなわち、反射を促進する中間層、および、バリアとして、この反射促進中間層と、隣接するスペーサ層との間または吸収層との間の化学的相互作用および/または拡散を阻止する中間層とを同時に考慮することにより、吸収材料とスペーサ材料とからなる実際の反射光学素子の基礎をなす多層システムの反射率を高めることができる。第2中間層には、第1中間層により得られた反射率利得を著しく低下させることのない材料が好ましく、付加的な反射率利得をもたらす材料が特に好ましい。

【0011】

多層システムが、作動時にEUVまたは軟X線ビームにさらされる側に保護層を有する反射光学素子では、多層システムと保護層との間の移行部に、付加層なしの場合の反射率と比較して作動波長における最大反射率を増大させるさらなる材料からなる第1付加層と、隣接する層の間のバリアとして作用する別のさらなる材料からなる第2付加層とが配置される。

【0012】

さらにこの課題は、少なくとも1つの上記のような反射光学素子を有する、特にEUVリソグラフィ装置のための投影システム、および、少なくとも1つの上記のような反射光学素子を有する、特にEUVリソグラフィ装置のための照明システムにより解決される。

【0013】

有利な実施形態が従属請求項に記載されている。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1a】反射光学素子の概略図である。

【図1b】反射光学素子の詳細図である。

【図1c】反射光学素子の第3実施形態の詳細図である。

【図1d】反射光学素子のさらなる実施形態の詳細図である。

【図1e】反射光学素子のさらなる詳細図である。

【図2a】ケイ素の上部の第1付加層として様々な材料が最大反射率に及ぼす影響を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 2 b】ケイ素の上部の第 2 付加層として様々な材料が最大反射率に及ぼす影響を示す図である。

【図 3 a】モリブデンの上部の第 1 付加層として様々な材料が最大反射率に及ぼす影響を示す図である。

【図 3 b】モリブデンの上部の第 2 付加層として様々な物質が最大反射率に及ぼす影響を示す図である。

【図 4】EUVリソグラフィ装置の概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

本発明を有利な実施例を参照して詳細に説明する。

10

【0016】

図 1 a , 図 1 b は、特に EUV リソグラフィ装置において、例えばフォトマスクまたはミラーとして使用される、極紫外線および軟 X 線波長領域のための反射光学素子 1 を例示的に示している。図 1 a は、多層システム 2 の上位構造を概略的に示している。本実施例では、多層システム 2 は、異なった複雑な屈折率を有する異なる材料を用いて基板 3 を連続的に被覆することにより生成されている。さらに汚染物質のような外部の影響から保護するために多層システム 2 には保護層 4 が付加的に被着されている。反射光学素子 1 の反射率などの光学特性に可能な限りわずかな影響しか及ぼさないように、保護層 4 自体は、例えば、様々な汚染物質の影響に対して不活性であり、多層システム 2 との化学的相互作用を抑制し、多層システム 2 に光学的に確実に適合する複数の異なる材料層から構成されていてもよい。

20

【0017】

多層システム 2 は、本質的に複数回反復されるスタック 20 からなる。スタックの構造を図 1 b に概略的に示す。スタック 20 の主要な層は、小さい屈折率実部を有する材料からなるいわゆる「吸収層 22」、および、大きい屈折率実部を有する材料からなるいわゆる「スペーサ層 21」であり、これらの層は、スタック 20 が複数回反復されることにより作動波長で反射を生じる。これにより、ある意味で結晶がシミュレートされており、吸収層 22 は結晶の内部の格子平面に対応し、吸収層は、特定のスペーサ層 21 によって規定される所定の相互間隔を有し、吸収層では、入射する EUV および / または軟 X 線ビームの反射が生じる。所定の作動波長でそれぞれの吸収層 22 で反射されるビームが有利に重畳され、これにより、反射光学素子の最大反射率が達成されるように、層の厚さが選択される。図 1 b に示す実施例では、スペーサ層 21 の上部における吸収層 22 との境界面にも、吸収層 22 の上部におけるスペーサ層 21 との境界面にも第 1 中間層 23 a , 23 b が設けられており、これらの第 1 中間層は、スペーサ層 21 および吸収層 22 のみが設けられている場合に生じる基本反射率に比べて最大反射率を増大させる。同様に第 2 中間層 24 a , 24 b が設けられており、これらの第 2 中間層は、第 1 中間層 23 a , 23 b と、本実施例では隣接しているスペーサ層 21 との間で、化学的相互作用または拡散に対して、有利には双方に対してバリアとして作用する。

30

【0018】

スペーサ層 21 の上部における吸収層 22 との境界面または吸収層 22 の上部におけるスペーサ層 21 との境界面のいずれか一方にのみ 2 つの中間層 23 a , 23 b , 24 a , 24 b を設けることも同様に可能であることを指摘しておく。図 1 c に概略的に示すように、2 つの第 2 中間層 24 a , 24 b , 24 a , 24 b を第 1 中間層 23 a , 23 b の両側に設け、スペーサ層 21 および吸収層 22 との化学的相互作用および / または拡散を抑制することも同様に可能であり、この場合、第 1 中間層 23 a , 23 b の両側の第 2 中間層 24 a , 24 b , 24 a , 24 b は、例えば厚さおよび材料に関して異なってもよい。材料選択に応じて、吸収層 22 の側にだけ第 2 中間層 24 a , 24 b を設ければよい場合もある。さらなる可能性は、図 1 d に概略的に示すように、第 1 中間層 23 を吸収層 22 の側に設け、第 2 中間層 24 をスペーサ層 21 の側に設け、さらに第 1 中間層 23 をスペーサ層 21 の側に設け、第 2 中間層 24 を吸収層 22 の側に設けることであ

40

50

る。吸収層からスペーサ層へ移行するのか、またはスペーサ層から吸収層へ移行するのかに応じて、2つの付加層の順序を逆転させることも可能である。特に、中間層がスペーサ層21から吸収層22とどの位置に配置されるべきであるのかに応じて、中間層のために異なる材料を選択することも可能であり、これにより異なる中間層、例えば23aおよび23bまたは24aおよび24bが生じる。それぞれのタイプの中間層には、特に、2つ以上の吸収層および/またはスペーサ層を備えるスタック内では、2つ以上の異なる材料を選択することができる。好ましくは、中間層は、吸収層からスペーサ層へ配列されるのか、またはスペーサ層から吸収層へ配列されるのかに応じて異なる厚さを有していてもよい。

【0019】

多層システムと保護層との間の移行部、すなわち、本実施例では最上部の吸収層22と保護層4との移行部を図1eに詳細に示す。上述のように、保護層は1つの材料から形成されていてもよいし、または複数層、すなわち、2、3、4層、またはそれよりも多数の層からなる複合層であってもよい。単一または複合保護層4のための好ましい材料は、例えば、炭化ホウ素、ホウ化モリブデン、窒化ホウ素、窒化ケイ素、炭化ケイ素、酸化ベリリウム、酸化ケイ素、チタン、窒化チタン、銅-金合金、ニッケル、ルテニウム、ロジウム、イリジウム、金、パラジウム、プラチナ、オスミウム、サマリウム、ガドリニウム、酸化アルミニウム、カリウム、ハフニウム、フッ化トリウム、フッ化ナトリウム、フッ化リチウム、フッ化マグネシウム、フッ化ランタン、非晶質炭素、イットリウム、ニオブ、酸化ロジウム、酸化ルテニウム、セリウム、水素化ケイ素である。本実施例では、反射率を増大させるための第1中間層23、および、バリアとして作用し、かつ場合によっては反射率を増大させるための第2中間層24が、最上部の吸収層22と保護層4との間に配置されている。図1eに示した実施例では、第1中間層23は、最上部の吸収層22と第2中間層24との間に配置されている。必要に応じて、第2中間層24は保護層4と第1中間層23との間に配置されていてもよいし、または第1中間層23の両側に配置されていてもよい。さらに、多層システムは吸収層ではなくスペーサ層で終端してもよい。この場合には第1および第2中間層は反射率を増大させるために上述のように保護層への移行部にも設けられていてよい。中間層23、24および保護層4を寸法決めする場合には、有利には、保護層4の総厚は、約1nm~約10nmの範囲で選択され、第1および第2中間層23、24の総厚は、約0.2nm~約10nmの範囲から選択される。保護層4との移行部に設けられる第1および第2中間層23、24の材料は、吸収層22とスペーサ層21との間に設けられる第1および第2中間層23a、23b、24a、24bのための材料と同一であってもよいし、または異なってもよい。第1および第2中間層は、保護層との移行部に設けられていてもよいし、多層システム内に設けられていてもよいし、または保護層との移行部と多層システム内の両方に設けられていてもよい。

【0020】

EUVおよび軟X線波長領域で頻繁に使用される、モリブデンを吸収層とし、ケイ素をスペーサ層とする材料を備えるスタックを用いて幾つかの実施例をさらに説明する。以下の説明は、EUVおよび軟X線波長領域のために適宜な他の多層システム、例えば、モリブデン/ベリリウム、炭化モリブデン/ケイ素、またはルテニウム/ケイ素についてもあてはめることができる。2つ以上の材料が交互に設けられる層を基にした多層システムについてもあてはめることができる。さらに、スタック内における個々の層の厚さ比が一定であるか、または異なる多層システムに少なくとも2つの中間層を設けることも指摘しておく。

【0021】

まず、ケイ素の上部におけるモリブデンとの境界面を詳細に調べる。ケイ素の上部の第1中間層として可能な幾つかの材料の反射率と厚さとの関係を図2aに示し、ケイ素の上部の第2中間層として可能な幾つかの材料の反射率と厚さとの関係を図2bに示す。

【0022】

実際のモリブデン/ケイ素多層システムに対応する実線を比較基準として用いる。例え

10

20

30

40

50

ば MoSi_3 によっておおよそ表すことができ、典型的には $8 \mu\text{m}$ 、すなわち 0.8 nm の厚さを有する混合層が、相互拡散により実際のモリブデン/ケイ素多層システムにおけるモリブデンとケイ素層との間の境界面に形成される。この混合層により、最大反射率が約 70% から約 69% に低下する。これに対して、まず、ルテニウム、ロジウム、炭化モリブデンおよびルテニウムシリサイドからなる中間層の追加が反射率に及ぼす影響を調べた。図 2 a からわかるように、厚さが増大すると炭化モリブデンまたはルテニウムシリサイドからなる中間層では反射率は低下するが、純粋にモリブデンシリサイドから形成された中間層ほど著しくは低下しない。ロジウムの場合、約 $6 \mu\text{m}$ までの厚さではわずかな反射率上昇が認められるが、これよりも厚さが増すにつれて反射率は急速に低下する。ルテニウムでは顕著な作用が認められる。 $8 \mu\text{m}$ の厚さまでに反射率は 70% を超えるまで上昇し、少なくとも $10 \mu\text{m}$ までは一定に保持される。ここに示した全ての材料は、純粋なモリブデンシリサイド多層システムに対して実際の反射率を増大させるので、第 1 中間層のための材料として基本的に適している。ルテニウムは第 1 中間層のための材料として特に好ましい。

10

20

30

40

50

【0023】

対応して、第 2 中間層のために適した材料が図 2 b に示されている。これらの材料は、ケイ素に対して比較的不活性であり、拡散バリアとしても作用することが知られている炭化ホウ素、非晶質炭素、窒化ケイ素である。これらの材料が反射率に及ぼす影響は、全ての厚さで極わずかにしか異ならず、全ての材料は通常のもリブデン/ケイ素多層システムに比べても許容可能な反射率低下しかもたらさない。炭化ケイ素も、ケイ素の上部のモリブデンとの境界面に設けられる第 2 中間層のための材料として同様に適していることを指摘しておく。図 2 b に示したように、炭化ケイ素が反射率に及ぼす影響は、炭化ホウ素、非晶質炭素および窒化ケイ素に比較可能である。

【0024】

モリブデンの上部のケイ素との境界面には、ケイ素の上部のモリブデンとの境界面のための材料とは異なる材料が反射率増大のために適していることがわかった。特に、イットリウム、ニオブ、ニオブシリサイド、イットリウムシリサイドが、モリブデンの上部のケイ素との境界面における最大反射率に及ぼす影響に関して調べた。結果を図 3 a に示す。4 つの材料はいずれも、まず 70% 以上の反射率の増大を示し、次いで反射率の低下を示す。最大反射率は、イットリウムシリサイドでは既に $4 \mu\text{m}$ で得られ、ニオブおよびニオブシリサイドでは約 $6 \mu\text{m}$ で得られ、イットリウムでは $8 \mu\text{m}$ の手前で得られる。 $10 \mu\text{m}$ でも最大反射率は 70% を超えている。それ故、イットリウムは第 1 中間層のための材料として特に好ましい。

【0025】

第 2 中間層のための材料として、炭化ホウ素、非晶質炭素および窒化ケイ素を再び調べた。ケイ素の上部のモリブデンとの境界面に対して、非晶質炭素および窒化ケイ素により形成された中間層は、モリブデンの上部のケイ素との境界面では極めて小さい厚さで反射率に極めて不利な影響を及ぼし(図 3 b 参照)、炭化ホウ素は、調べた全ての厚さに対して、純粋なモリブデンシリサイド層を有するモリブデン/ケイ素多層システムに対して反射率のわずかな上昇をもたらした。したがって、炭化ホウ素は、少なくともモリブデンの上部のケイ素との境界面では、第 2 中間層のための材料として好ましい。

【0026】

EUV および / または軟 X 線波長領域の作動波長で、中間層を備えていない多層システム、例えばモリブデン/ケイ素多層システムに対して多層システムの最大相対反射率を増大させる材料の特性をより正確に観察した場合、特に 2 つの形態が考えられる。このことは、混合層を有する実際のモリブデン/ケイ素多層システムに対してのみならず、理想的なモリブデン/ケイ素多層システム(図 2 a, 2 b および図 3 a, 3 b における $d = 0$ に相当する)に対しても反射率の上昇をもたらす中間層材料について特にいえる。

【0027】

第 1 の形態では、少なくとも第 1 付加層 2 3 a, 2 3 b、すなわち、反射率促進層の材

料の屈折率において、作動波長における屈折率実部の値が、交互に設けられる材料のうち屈折率実部がより大きい材料の対応値よりも大きいか、または、屈折率実部がより小さい材料の対応値よりも小さい。したがって多層システム内の光学コントラスト、ひいては反射率も増大する。例えば、ここで考察したモリブデン/ケイ素多層システムの場合には、ルテニウムがケイ素層の上方およびモリブデン層の下方の第1付加層23aに用いる材料として適している。ルテニウムは、13.5 nmの作動波長でモリブデンよりも著しく小さい屈折率実部を有する(表1参照)。第1付加層の厚さを選択する場合には、反射率利得の効果が第1付加層による付加的な吸収率に基づくより高い光学コントラストによって補償されてしまうほど大きく選択されないよう注意すべきである。このことは、ルテニウムのように作動波長で大きい屈折率虚部を有する材料では特に重要である(表1)。

10

【0028】

第2の形態では、少なくとも第1付加層の材料の屈折率のうち作動波長における屈折率実部の値は、交互に設けられる材料の対応値の中間にある。このような材料は、多層システムの光学コントラストを低下させやすい。しかしながら、多層システムの照射時に個々の層の境界における屈折および干渉により形成される電場の定常波をシフトさせる。定常波場の総吸収率は、主に様々な層における全般的な強度分布により影響され、各層の材料に応じた屈折率虚部により規定される各層の個別吸収率に関連している。付加層の追加により強度分布はシフトし、これにより、異なる定常波場総吸収率が生じる。特殊な例として、交互に設けられる材料の屈折率実部の値の間に屈折率実部の値を有する材料により形成された付加的な層によって、極大値(腹)および節の位置がシフトされ、最大値が、比較的大きい屈折率虚部、すなわち、より高い吸収率を有する材料からなる領域から、比較的小さい屈折率虚部、すなわち、より低い吸収率を有する材料からなる領域へシフトされる。このようにして吸収率が低減され、反射率が増大する。定常波場のシフトは大きすぎても、または小さすぎても、総吸収率の増大および反射率の減少をもたらす場合があるので、それぞれの多層システムのために付加層に適した材料および適した厚さ範囲を新たに設定すべきであることを指摘しておく。ここに示したモリブデン/ケイ素多層システムの実施例では、例えば、モリブデン層の上方およびケイ素層の下方の第1付加層に用いる材料としてはイットリウムおよびニオブが特に適している。

20

【0029】

第2中間層、すなわちバリア層として適した材料は、隣接する材料、本実施例では第1中間層、スペーサ層および/または吸収層の材料に対して低い生成エンタルピーを示し、隣接する材料に対して低い拡散率を示す。さらにこれらの材料は、島状成長パターンとは反対に閉原子層として層を成長させる傾向を示す。好ましくは、第2中間層の材料は、第1中間層のための材料に関して前述したように、作動波長で適宜な光学コントラストを有している。

30

【0030】

本実施例に関して第1または第2中間層のために挙げた材料は、保護層への移行部に設けられる対応中間層のためにも適していることを指摘しておく。

【0031】

好ましくは、中間層の厚さは、スペーサ層および吸収層として用いられ、反射光学素子の基本的な特徴、特に作動波長領域を規定する、交互に設けられる材料層の厚さよりも小さい。特に好ましくは、付加層の厚さは、作動波長の1/4よりも小さく、特に作動波長の1/8よりも小さい。

40

【0032】

例えば、13.5 nmの作動波長では、モリブデン-ケイ素多層システムが、第1中間層23aとしてモリブデンの上部のケイ素との境界面にイットリウムを有し、第2中間層24aとしてケイ素層21に向けた炭化ホウ素を有し、第1中間層23bとしてケイ素の上部のモリブデンとの境界面にルテニウムを有し、さらに、第2中間層24bとしてケイ素層に向けた炭化ホウ素を有して生成される。全ての層は、電子ビーム蒸着により被着される。個々の層厚さは、モリブデンでは約2.8 nm、イットリウムでは0.6 nm、両

50

方の炭化ホウ素層では0.2 nm、ケイ素では4.2 nmおよびルテニウムでは0.8 nmである。これにより生じるスタック20は50回反復される。13.5 nmの作動波長では、約71%を超える実際に達成可能な最大反射率が生じる。これは、本発明による中間層なしの比較可能なモリブデン-ケイ素多層システムによって実際に達成することができる69%に比べて2%を超える増大を意味する。

【0033】

さらなる実施例では、上記の反射光学素子の生成において、炭化ホウ素中間層は電子ビーム蒸着によってではなく、マグネトロンスパッタリングによって被着される。この場合にも13.5 nmの作動波長で71%を幾分超える最大反射率が生じる。

【0034】

さらに、再び全ての個別層が電子ビーム蒸着により被着される別の反射光学素子が形成される。ここでは、モリブデンの上部のケイ素との境界面に設けられる第1中間層に用いる材料としてニオブがイットリウムに代替される。この反射光学素子により、13.5 nmで約71%の最大反射率が達成される。

【0035】

本発明による反射光学素子は、実際に達成可能な高い反射率の他に、特に第2中間層により、より長い使用期間にわたって多層システムの構造が安定的に保持されるという別の利点を有している。なぜなら、第2中間層は、EUVまたは軟X線ビームによる連続的な照射によって熱負荷された状態においても、隣接する層との相互拡散を阻止するからである。これにより、作動波長における最大反射率は連続運転時にも保持される。この点で、本発明による反射光学素子は、EUVリソグラフィ装置において使用するために特に適しており、EUVリソグラフィ装置の様々な箇所で、例えばミラー素子またはマスク素子として使用することができる。

【0036】

図4には、EUVリソグラフィ装置100が概略的に示されている。主な構成部分は、ビーム整形システム110、照明システム120、フォトマスク130および投影システム140である。

【0037】

例えば、プラズマ源またはシンクロトロンを光源111として用いることもできる。約5 nm~20 nmの波長領域で放出されるビームがまずコリメータ112で収束される。さらにモノクロメータ113を用いて、入射角を変更することにより望ましい作動波長がフィルタされる。上記波長領域で、コリメータ112およびモノクロメータ113は、典型的には反射光学素子として形成されている。本発明による反射素子を、例えば、コリメータ112およびモノクロメータ113としてビーム整形システム110で使用することは適切である。なぜならここでは熱負荷が極めて大きく、後続構成部分の高い反射率によってEUVビームの最大値を提供することが特に重要だからである。

【0038】

ビーム整形システム110において波長および空間分布に関して調整された作動ビームは、次いで照明システム120に導入される。図4に示した実施例では、照明システム120は、上記のような第1および第2中間層を有する多層システムを備える2つのミラー121, 122を有していてもよい。照明システム120は、ミラーを1個のみ、または3, 4, 5個、またはそれよりも多く有していてもよく、これらのミラーの全てまたは一部は、上記のような第1および第2中間層を備える多層システムを有していてもよいことを指摘しておく。

【0039】

ミラー121, 122は、ウェーハ150に結像されるべき構造を備えるフォトマスク130にビームを案内する。フォトマスク130は、同様にEUVおよび軟X線波長領域のための反射光学素子であり、第1および第2中間層を備える多層システムを有している。

【0040】

10

20

30

40

50

投影システム 140 を用いて、フォトマスク 130 により反射されたビームがウェーハ 150 に投影され、これにより、フォトマスク 130 の構造がウェーハ 150 に結像される。投影システム 140 は、図示の実施例では 2 つのミラー 141, 142 を備えており、これらのミラーは、第 1 および第 2 の中間層を備える多層システムを有している。投影システム 140 は、ミラーを 1 個のみ、または 3, 4, 5 個、またはそれよりも多く有していてもよく、これらのうちの 1 つ以上のミラーは、第 1 および第 2 中間層を備える多層システムを有していてもよいことを指摘しておく。

【符号の説明】

【0041】

- | | | |
|------------------------|------------------|----|
| 1 | 反射光学素子 | 10 |
| 2 | 多層システム | |
| 3 | 基板 | |
| 4 | 保護層 | |
| 20 | 周期的に反復される層スタック | |
| 21 | 低い吸収係数を有する材料 | |
| 22 | 高い吸収係数を有する材料 | |
| 23, 23a, 23b | 反射率を増大させる第 1 中間層 | |
| 24, 24a, 24b, 24a, 24b | 拡散バリアとしての第 2 中間層 | |
| 100 | EUV リソグラフィ装置 | |
| 110 | ビーム整形システム | 20 |
| 111 | 光源 | |
| 112 | コリメータ | |
| 113 | モノクロメータ | |
| 120 | 照明システム | |
| 121, 122 | ミラー | |
| 130 | マスク | |
| 140 | 投影システム | |
| 141, 142 | ミラー | |
| 150 | ウェーハ | |
| R | 最大反射率 | 30 |
| d | 厚さ | |

【0042】

【表 1】

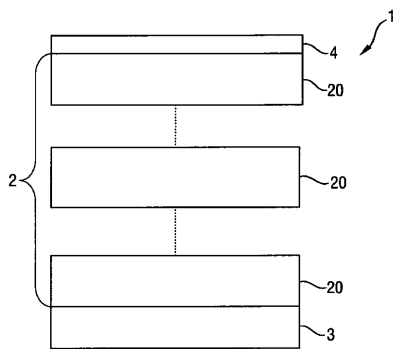
13. 5nmの波長における屈折率

名前	実部	虚部
Mo	0,923793525	0,006435425
Mo2C	0,917767145	0,007945986
Ru	0,886360034	0,017064894
Rh	0,875048831	0,031177852
Ru2Si	0,899574861	0,016169887
Si	0,999002305	0,001826494
Y	0,973729959	0,002281516
Nb	0,933749691	0,005195933
Nb4Si	0,938146889	0,005302884
Y5Si3	0,977611721	0,002474689
B4C	0,963771485	0,005145842
C	0,96157347	0,006905315
Si3Ni4	0,973136209	0,009317771
Mo7Si	0,926676892	0,006498690

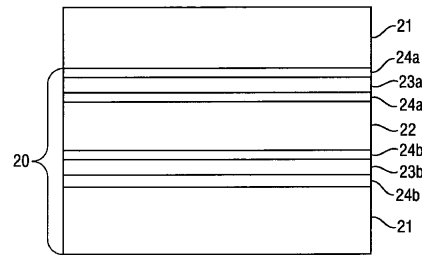
10

20

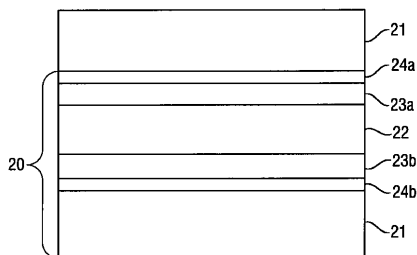
【図 1 a】



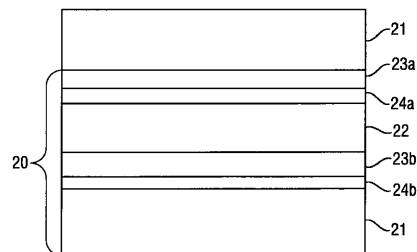
【図 1 c】



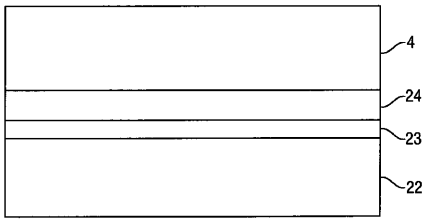
【図 1 b】



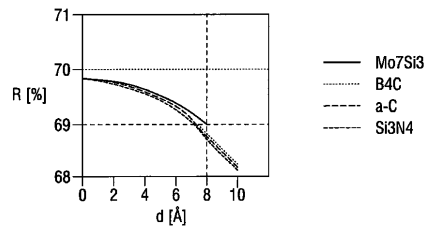
【図 1 d】



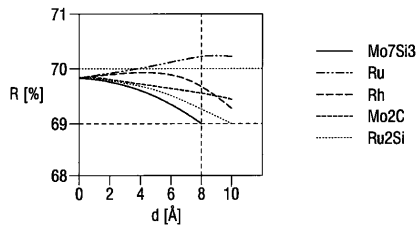
【 図 1 e 】



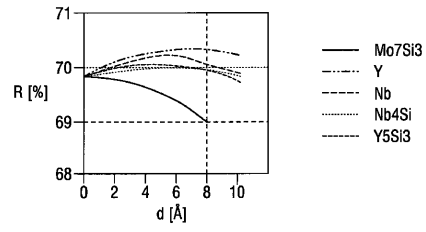
【 図 2 b 】



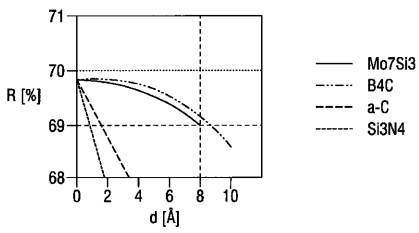
【 図 2 a 】



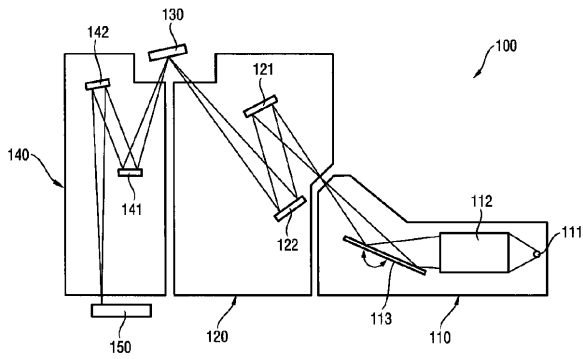
【 図 3 a 】



【 図 3 b 】



【 図 4 】



【手続補正書】

【提出日】平成25年6月27日(2013.6.27)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

EUVリソグラフィ装置で用いられる、軟X線および極紫外線波長領域の作動波長のための反射光学素子であって、前記作動波長で異なる屈折率実部を有する交互に設けられる2つの材料(21, 22)よりなる多層システムを備える反射光学素子において、

より小さい屈折率実部を有する前記材料(22)からより大きい屈折率実部を有する前記材料(21)への第1の移行部と、前記より大きい屈折率実部を有する前記材料(21)から前記より小さい屈折率実部を有する前記材料(22)への第2の移行部とは、それぞれ単一のさらなる材料からなる2つの付加層(23, 23a, 23b, 24, 24a, 24b, 24a, 24b)がそれぞれ設けられ、前記2つの付加層は、それぞれ前記交互に設けられる2つの材料(21, 22)の少なくとも一方に隣接して配置されており、前記2つの付加層(23a, 23b, 24a, 24b, 24a, 24b)が、前記第1の移行部と前記第2の移行部とで異なるように配置されていることを特徴とする反射光学素子。

【請求項2】

請求項1に記載の反射光学素子において、

前記2つの付加層(23a, 23b, 24a, 24b)の順序が、前記より小さい屈折率実部を有する材料(22)から前記より大きい屈折率実部を有する材料(21)への移行部と、前記より大きい屈折率実部を有する材料(21)から前記より小さい屈折率実部を有する材料(22)への移行部とで異なるように選択されている反射光学素子。

【請求項3】

請求項1または2に記載の反射光学素子において、

前記2つの付加層(23a, 23b, 24a, 24b, 24a, 24b)のうち少なくとも一方の材料が、前記より小さい屈折率実部を有する材料(22)から前記より大きい屈折率実部を有する材料(21)への移行部と、前記より大きい屈折率実部を有する材料(21)から前記より小さい屈折率実部を有する材料(22)への移行部とで異なるように選択されている反射光学素子。

【請求項4】

請求項1から3までのいずれか一項に記載の反射光学素子において、

前記交互に設けられる2つの材料(21, 22)の間の少なくとも1つの移行部に、付加層なしの場合の反射率と比較して前記作動波長における多層システム(2)の最大反射率を増大させるさらなる材料からなる第1付加層(23a, 23b)と、隣接する層間のバリアとして作用する別のさらなる材料からなる第2付加層(24a, 24b, 24a, 24b)とが配置されている反射光学素子。

【請求項5】

EUVリソグラフィ装置で用いられる、軟X線および極紫外線波長領域の作動波長のための反射光学素子であって、前記作動波長で異なる屈折率実部を有する交互に設けられる2つの材料(21, 22)よりなる多層システムを備える反射光学素子において、

前記交互に設けられる2つの材料(21, 22)の間の少なくとも1つの移行部に、それぞれ単一の材料からなる2つの付加層(23, 23a, 23b, 24, 24a, 24b, 24a, 24b)であって、付加層なしの場合の反射率と比較して前記作動波長における前記多層システム(2)の最大反射率を増大させるさらなる材料からなる第1付加層(23a, 23b)と、隣接する層間のバリアとして作用する別のさらなる材料からな

る第2付加層(24, 24a, 24b, 24a, 24b)とが設けられ、前記2つの付加層は、それぞれ、前記交互に設けられる2つの材料(21, 22)の少なくとも一方に隣接して配置されていることを特徴とする反射光学素子。

【請求項6】

請求項5に記載の反射光学素子において、

前記第1付加層(23a, 23b)が、より小さい屈折率実部を有する材料(22)からより大きい屈折率実部を有する材料(21)への移行部と、より大きい屈折率実部を有する材料(21)からより小さい屈折率実部を有する材料(22)への移行部とで異なる材料からなる反射光学素子。

【請求項7】

請求項1から6までのいずれか一項に記載の反射光学素子において、

前記多層システムに保護層が被着されており、多層システム(2)と保護層(4)との間の移行部に、付加層なしの場合の反射率と比較して前記作動波長における最大反射率を増大させるさらなる材料からなる第1付加層(23)と、隣接する層間のバリアとして作用する別のさらなる材料からなる第2付加層(24)とが配置されている反射光学素子。

【請求項8】

請求項1から7までのいずれか一項に記載の反射光学素子において、

前記第2付加層(24, 24a, 24b, 24a, 24b)の材料が、付加層なしの場合の反射率と比較して前記作動波長における最大反射率を増大させる反射光学素子。

【請求項9】

請求項1から8までのいずれか一項に記載の反射光学素子において、

少なくとも前記第1付加層(23a, 23b)の材料の屈折率のうち前記作動波長における屈折率実部の値が、屈折率実部がより大きい前記交互に設けられる材料(21)の対応値よりも大きいか、または、屈折率実部がより小さい前記交互に設けられる材料(22)の対応値よりも小さい反射光学素子。

【請求項10】

請求項1から8までのいずれか一項に記載の反射光学素子において、

少なくとも前記第1付加層(23a, 23b)の材料の屈折率のうち前記作動波長における屈折率実部の値が、交互に設けられる前記材料(21, 22)の対応値の間にある反射光学素子。

【請求項11】

請求項1から10までのいずれか一項に記載の反射光学素子において、

前記付加層(23, 23a, 23b, 24, 24a, 24b, 24a, 24b)の厚さ(d)が、交互に設けられる材料からなる層(21, 22)の厚さよりも小さい反射光学素子。

【請求項12】

請求項1から11までのいずれか一項に記載の反射光学素子において、

前記付加層(23, 23a, 23b, 24, 24a, 24b, 24a, 24b)の厚さ(d)が、前記作動波長の1/4よりも小さく、特に前記作動波長の1/8よりも小さい反射光学素子。

【請求項13】

請求項1から12までのいずれか一項に記載の反射光学素子において、

前記作動波長でより小さい屈折率実部を有する前記材料(22)が、モリブデンであり、前記作動波長でより大きい屈折率実部を有する前記材料(21)が、ケイ素である反射光学素子。

【請求項14】

請求項1から13までのいずれか一項に記載の反射光学素子において、

前記第1付加層(23, 23a, 23b)が、ルテニウム、ロジウム、イットリウムおよびニオブの群のいずれかの材料を含む反射光学素子。

【請求項15】

請求項 1 から 1 4 までのいずれか一項に記載の反射光学素子において、
前記第 2 付加層 (2 4 , 2 4 a , 2 4 b , 2 4 a , 2 4 b) が、炭化ホウ素を含む
反射光学素子。

【請求項 1 6】

特に E U V リソグラフィ装置のための投影システム (1 4 0) において、
請求項 1 から 1 5 までに記載のいずれか 1 つの反射光学素子 (1 4 1 , 1 4 2) を有す
ることを特徴とする投影システム。

【請求項 1 7】

特に E U V リソグラフィ装置のための照明システム (1 2 0) において、
請求項 1 から 1 5 までに記載のいずれか 1 つの反射光学素子 (1 2 1 , 1 2 2) を有す
ることを特徴とする照明システム。

【請求項 1 8】

E U V リソグラフィ装置 (1 0 0) において、
請求項 1 から 1 5 に記載の少なくとも 1 つの反射光学素子 (1 2 1 , 1 2 2 , 1 4 1 ,
1 4 2) を有することを特徴とする E U V リソグラフィ装置。

フロントページの続き

- (72)発明者 ロベルト ウェー エー ファン デ クルエイス
オランダ国 3 4 3 7 ウェーイェー ニューゲイン エヘルウェイデ 6
- (72)発明者 フレド バイケルク
オランダ国 3 7 3 5 ゼットダブリュー ボッシュ アン デュアン ブライトナーラーン 8
- (72)発明者 エリック ルイス
オランダ国 3 4 0 2 ゼットヘー アイセルスタイン トッパスホフ 1 0
- (72)発明者 アイレアンス ネデルク
オランダ国 3 4 3 7 ウェーイェー ニューゲイン エヘルウェイデ 6
- Fターム(参考) 2H042 DA06 DA08 DA12 DA15 DA18 DB02 DC02 DE04 DE07
5F146 GA03 GA04 GA21 GB14