

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6814195号  
(P6814195)

(45) 発行日 令和3年1月13日(2021.1.13)

(24) 登録日 令和2年12月22日(2020.12.22)

(51) Int.Cl.

G03F 7/20 (2006.01)  
G02B 5/08 (2006.01)

F 1

G03F 7/20  
G02B 5/08503  
A

請求項の数 14 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2018-501301 (P2018-501301)  
 (86) (22) 出願日 平成28年7月7日(2016.7.7)  
 (65) 公表番号 特表2018-522281 (P2018-522281A)  
 (43) 公表日 平成30年8月9日(2018.8.9)  
 (86) 國際出願番号 PCT/EP2016/066178  
 (87) 國際公開番号 WO2017/009185  
 (87) 國際公開日 平成29年1月19日(2017.1.19)  
 審査請求日 令和1年7月4日(2019.7.4)  
 (31) 優先権主張番号 102015213253.6  
 (32) 優先日 平成27年7月15日(2015.7.15)  
 (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 オリバー ディール  
ドイツ国 73466 ラウヒハイム イザーク ヘス ヴェーク 4

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ミラー

## (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の光学系であって、  
 前記光学系は、光学有効面を有する少なくとも1つのミラーを有し、  
 前記ミラーは、  
 - ミラー基板(205、305)と、  
 - 所定の動作波長を有してそれぞれの面法線に対して少なくとも65°の入射角で前記光学有効面(200a、300a)に入射する電磁放射に対する前記ミラーの反射率が少なくとも50%となるように構成した反射層(220、320)と、  
 - 前記ミラー基板(205、305)と前記反射層(220、320)との間に配置した基板保護層(210、310)とを備え、

前記基板保護層(210、310)のEUV放射に対する透過率が0.1%未満であり、

前記ミラーは、電磁放射が前記ミラーで反射される際の前記光学系の動作中に生じる反射角が、それぞれの面法線に対して少なくとも50°となるように前記光学系に配置され、

前記基板保護層(210)は、複数の個々の層からなる多層系を有し、  
 前記多層系は、交互に連続した第1の材料からなる吸収層(212)と第1の材料とは異なる第2の材料からなる層応力補償層(211)を有する、

マイクロリソグラフィ投影露光装置の光学系。

10

20

**【請求項 2】**

前記基板保護層（210、310）のEUV放射に対する透過率は、0.01%未満である、請求項1に記載の光学系。

**【請求項 3】**

前記基板保護層（210、310）のEUV放射に対する透過率は、0.001%未満である、請求項2に記載の光学系。

**【請求項 4】**

前記第1の材料は、鉄（Fe）、ニッケル（Ni）、コバルト（Co）、銅（Cu）、銀（Ag）、金（Au）、白金（Pt）、ゲルマニウム（Ge）、タンゲステン（W）、クロム（Cr）、錫（Sn）、亜鉛（Zn）、インジウム（In）、テルル（Te）、イリジウム（Ir）、パラジウム（Pd）、オスミウム（Os）、タンタル（Ta）、及びそれらの合金を含む群から選択される、請求項1～3のいずれか一項に記載の光学系。10

**【請求項 5】**

前記第2の材料は、モリブデン（Mo）、ルテニウム（Ru）、ホウ素（B）、炭化ホウ素（B<sub>4</sub>C）、炭素（C）、及びケイ素（Si）を含む群から選択される、請求項1～4のいずれか一項に記載の光学系。

**【請求項 6】**

これらの個々の層は最大厚さが100nm未満である、請求項1～5のいずれか一項に記載の光学系。

**【請求項 7】**

これらの個々の層は最大厚さが50nm未満である、請求項6に記載の光学系。

**【請求項 8】**

これらの個々の層は最大厚さが25nm未満である、請求項7に記載の光学系。

**【請求項 9】**

前記多層系は、周期長が6nm～8nmの範囲内である、請求項1～8のいずれか一項に記載の光学系。

**【請求項 10】**

前記多層系は、周期長が6.5nm～7.5nmの範囲内である、請求項9に記載の光学系。

**【請求項 11】**

前記動作波長は30nm未満である、請求項1～10のいずれか一項に記載の光学系。

**【請求項 12】**

前記動作波長は10nm～15nmの範囲内にある、請求項11に記載の光学系。

**【請求項 13】**

前記ミラーは、電磁放射が前記ミラーで反射される際の光学系の動作中に生じる反射角が、それぞれの面法線に対して少なくとも65°となるように前記光学系に配置される、請求項1～12のいずれか一項に記載の光学系。

**【請求項 14】**

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において、前記照明デバイスは、投影露光装置の動作中、投影レンズの対物面に位置するマスクを照光し、投影レンズは前記マスク上の構造を投影レンズの像面に位置する感光層上に結像し、前記投影露光装置は請求項1～13のいずれか一項に記載の光学系を少なくとも有する、マイクロリソグラフィ投影露光装置。40

**【発明の詳細な説明】****【関連出願の相互参照】****【0001】**

本願は、2015年7月15日付で出願されたドイツ国特許出願第10 2015 213 253.6号からの優先権を主張するものであり、そのドイツ国出願の内容は参照により本願明細書に援用する。

**【技術分野】**

10

20

30

40

50

## 【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ミラーに関する。

## 【背景技術】

## 【0003】

マイクロリソグラフィは、例えば、集積回路又はLCDなどの微細構造部品の製造に使用される。マイクロリソグラフィプロセスは、照明デバイス及び投影レンズを備える、いわゆる投影露光装置で行われる。照明デバイスにより照光されたマスク(=レチクル)の像は、この場合、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り投影され、マスク構造が基板の感光性コーティングに転写される。

10

## 【0004】

例えばおよそ13nm又はおよそ7nmの波長等のEUV領域用に設計された投影レンズにおいて、適切な光透過性屈折材料がないため、結像工程の光学部品としてミラーが使用される。

## 【0005】

中でも、斜入射下でのミラー動作が知られている。ここで、及び以下において、斜入射下で動作させたミラーとは、EUV放射の反射中に生じる反射角が各面法線に対して65°以上であるミラーを意味すると解される。場合により、そのようなミラーを略してGIミラー(「斜入射("grazing incidence")」ともいう。原則として、特に、比較的高い反射率(例えば80%以上)を達成可能であることに鑑み、そのようなGIミラーを使用することが望ましい。

20

## 【0006】

例えば、直入射下で動作させたミラー(「NIミラー」ともいう;「直入射(normal incidence)」)とは対照的に、上記のようなGIミラーは、個々の反射率を得るために反射層として、多数の交互に連続する個々の層であって、少なくとも2つの異なる層材料からなる層が多数交互に連続する多層系を必要としない。むしろ、例えばルテニウム(Ru)からなる単一の層を必要とするだけであり、例えば、約40nmの一般的な層厚を有することができる。

## 【0007】

しかしながら、GIミラーを用いたとしても、実際に生じる問題として、特に投影レンズにおいて、例えば透過光状又は迷光状の電磁放射が各反射層を透過してミラー基板に到達する場合があることが挙げられる。これは、例えば、実際に使用した光とは角度及び/又は波長分散が異なる関連する(relevant)電磁放射によって助長される。この関連する電磁放射がミラー基板に到達すると、例えば、ミラー基板材料における放射線誘発局所密度変化(圧縮(compacting))等の損傷又は変更が生じるため、光学系動作中の波面における不要な変更等の原因となり、したがって、最終的に、光学系又は放射露光装置の性能の低下につながる。

30

## 【0008】

先行技術に関しては、特許文献1(ドイツ国特許出願第10 2009 032 779号明細書)、特許文献2(ドイツ国特許出願第10 2009 054 653号明細書)、特許文献3(米国特許出願第2013/0038929号明細書)、特許文献4(ドイツ国特許出願第10 2009 049 640号明細書)、及び特許文献5(ドイツ国特許出願第10 2012 202 675号明細書)を単なる例として参照する。

40

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0009】

【特許文献1】ドイツ国特許出願第10 2009 032 779号明細書

【特許文献2】ドイツ国特許出願第10 2009 054 653号明細書

【特許文献3】米国特許出願第2013/0038929号明細書

【特許文献4】ドイツ国特許出願第10 2009 049 640号明細書

50

【特許文献5】ドイツ国特許出願第10 2012 202 675号明細書

【特許文献6】ドイツ国特許出願第10 2011 075 579号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

上記の背景技術に対し、本発明の目的は、特にマイクロリソグラフィ投影露光装置用のミラーであって、上記の問題の大部分を少なくとも回避しつつ斜入射での使用が容易なミラーを提供することである。

【0011】

この目的は独立請求項1の特徴により達成される。

10

【課題を解決するための手段】

【0012】

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用のミラーは光学有効面を備え、

ミラー基板と、

ミラーが、前記光学有効面に各面法線に対して65°の入射角度で入射する所定の動作波長を有する電磁放射に対して50%以上の反射率を有するように構成した反射層と、

- ミラー基板と反射層との間に配置した基板保護層とを備え、

基板反射層のEUV放射に対する透過率が0.1%未満である。

【0013】

20

特に、本発明は、斜入射下での動作用に設計されたミラーにおける電磁放射により生じるミラー基板材料の変化又は損傷を減少又は除去し、したがって、ミラーの反射層とミラー基板との間に配置した基板保護層によって、それぞれの光学系の動作中に付随する不要な波面の変更を減少又は除去するという発想に基づくものであり、前記基板保護層は、十分な吸収効果の結果として関連する電磁放射をミラー基板材料から遠ざけるようにしている。

【0014】

一実施形態によれば、基板保護層のEUV放射に対する透過率は0.01%未満であり、特に、0.001%である。EUV放射に対する透過率が0.1%未満となり、特に0.01未満となり、さらに特には0.001%未満となる条件を、「動作角度」以外の入射角度、特に、基板保護層上に直角に入射するEUV放射についても満たすことが好ましい。さらに、基板保護層の透過率が0.1%未満となり、特に0.01未満となり、さらに特には0.001%未満となる条件を、動作波長以外の他の波長についても満たすことが好ましい。

30

【0015】

本発明の各実施形態において、本発明の基板保護層は、上記のようにミラー基板を電磁放射から保護することに加え、さらに、ミラーの層構造全体において層応力補償が得られるように構成する。

【0016】

40

一実施形態において、基板保護層は、この目的を達成するため、第2の材料からなる少なくとも1つの応力補償層を有する。

【0017】

このような層応力（GIGミラーの反射層の特定の実施形態に応じて、圧縮応力又は引張応力として存在しうる）は、ミラー基板の変形の原因となり、したがって、もしさらなる手段を講じられなければ、同様に、それぞれの光学系動作中における波面における不要な変更の原因となる。

【0018】

前記層応力の少なくとも一部を補償するため、本発明による基板保護層は、多層系として、交互に連続する第1の材料からなる吸収層（電磁放射から基板を保護する）と第2の材料からなる層応力補償層（前記層応力の少なくとも一部を補償する）とを備えてよい

50

。

## 【0019】

本発明によれば、層応力補償に対する既存の要求事項が、概して、ミラーを直入射（N Iミラー）下での動作作用に構成した場合よりも、ミラーを用に斜入射（G Iミラー）下での動作作用に構成した場合の方が有意に低いという状況を有利に利用することができる。発生する層応力（例えば、N Iミラーの反射積層体の場合、製造方法にもよるが、一般に、約200 MPa～600 MPaとなりうる）等は、絶対的には、G Iミラーの場合（一般に800 MPa～1200 MPaの層応力を有する）のほうが大きいが、反射層の全厚が小さいために実質的な変形は結果的に小さくなる。

## 【0020】

10

さらに、G Iミラーの場合、前記層応力により引き起こされうる波面変更はさほど顕著でない。なぜなら、これらの波面変更は最終的に全層厚に対応するからであり、また、G Iミラー（例えば、ルテニウムからなり層厚が約40 nmの反射層を有するもの）の場合の層厚は、交互に連続するモリブデンとケイ素で構成される反射積層であって一般的な全厚が例えば約350 nmである反射積層を有するN Iミラーの場合よりも大幅に小さい。

## 【0021】

上記のように、G Iミラーにおける層応力補償に対する要求事項が結果的に減少したことを、今度は、本発明によって、本発明による基板保護層の構造における上記の層応力補償層の比率又は個々の層厚を減少できることを介して利用することができ、その結果、G Iミラーにおける層構造の全厚を制限又は減少することができる。

20

## 【0022】

そして、これは、結果として、層厚に対応する効果、例えば、層構造により生じた迷光成分、及び可能な層厚誤差の波面効果が、最終的に、それほど顕著でなくなるという効果を有する。

## 【0023】

その結果、本発明によれば、ミラー基板を電磁放射から効果的に保護し、また、本発明によるG Iミラーを有する光学系の動作中に不要な波面変更を減少又は最小化することができる。

## 【0024】

30

本発明の各実施形態において、圧力補償層の層厚は、特に、5 nm以下とすればよい。

## 【0025】

本発明によるG Iミラーにおける反射層の特定の実施形態によっては、層応力補償に対する要求事項を実質的にゼロにまで減少することもできる。その結果、本発明による基板保護層は、最終的には、可能な応力補償層を省略して、上記の吸収層のみからなるものとすれば十分である。ここで、N Iミラーと比較して有利なさらなる状況として「ラフニング効果」がある。このラフニング効果は、N Iミラーの場合には、比較的強く顕著であり、したがって、おそらくは、いわゆる「中断層」を必要としうる。一方、G Iミラーの場合にはあまり問題にならないため、このような状況もさらに用いることができる。そして、この態様下においても、本発明による基板保護層を（吸収層のみからなる）単一層として実現することが問題となる。

40

## 【0026】

一実施形態によれば、第1の材料は、鉄（Fe）、ニッケル（Ni）、コバルト（Co）、銅（Cu）、銀（Ag）、金（Au）、白金（Pt）、ゲルマニウム（Ge）、タンゲステン（Wo）、クロム（Cr）、錫（Sn）、亜鉛（Zn）、インジウム（In）、テルル（Te）、イリジウム（Ir）、パラジウム（Pd）、オスミウム（Os）、タンタル（Ta）、及びそれらの合金を含む群から選択される。

## 【0027】

一実施形態によれば、第2の材料は、モリブデン（Mo）、ルテニウム（Ru）、ホウ素（B）、炭化ホウ素（B<sub>4</sub>C）、炭素（C）、及びケイ素（Si）を含む群から選択される。

50

## 【0028】

本発明のさらなる態様によれば、以下の通り、本発明による基板保護層の構成、特に、反射層の構成についても、基板保護層を構成する多層系の周期長が - 及び、したがって最終的には基板保護層の横方向の厚さプロファイルについても - 最も簡単な方法で測定可能となるようになることが好ましい。この結果として、本発明によれば、基板保護層の個々の所望の通常一定厚さのプロファイルは原則として有限精度でのみ実現可能であるという別の問題を説明することが可能であり、よって、基板保護層の横方向の厚さのある程度の変動は実際には不可避である。ここで、ミラー自体又は関連する光学系のどこかに既に存在するそのような不要な横方向の厚さ変動を（層厚プロファイルを最適化することにより）補償できるようにするため、関連する層厚プロファイルについての可能な限り正確な情報が必要となる。

## 【0029】

一方では基板保護層を構成する多層系の周期長、及び代案として他方では反射層の厚さについての以下に記載の有利な構成において、本発明は、原則として、一方で基板保護層を構成する多層系の周期長と、他方では、関連するミラーについて反射光測定により確認された入射電磁放射の波長に対する反射率に依存するスペクトルピーク位置との関係を用いて前記周期長、ひいては、複数の位置を測定する場合には、横方向の厚さプロファイルを測定することができるという考察から出発する。この場合、この反射光測定においては、電磁放射は、実質的に垂直な方向（好ましくは、個々の面法線に対する入射角を 10° 以下として）にミラー上へ向けられる。

## 【0030】

この場合に、（斜入射下の動作用に設計された）ミラーについて得られた反射率は（直入射用に設計された N I ミラーに比べて）比較的低い（例えば、100 倍低い）ものの、以下にさらに詳述するように、各反射率はいずれも基板保護層を構成する多層系の前記周期長について特有のものである。多層系の周期長があらかじめ好適に規定されていれば、関連するミラーについて得られた波長依存反射率プロファイルにおけるスペクトルピーク位置が反射率計を用いて測定可能となる。反射率計は、いかなる場合も、EUV リソグラフィ用に利用可能又は存在するから、前記ピーク位置を測定により容易に求めることができる。

## 【0031】

一実施形態において、基板保護層は、複数の個々の層からなる多層系を有する。

## 【0032】

一実施形態において、これらの個々の層の最大厚さは 100 nm 未満であり、特に 50 nm 未満であり、より特には 25 nm である。

## 【0033】

一実施形態において、多層系は、交互に連続する第 1 の材料からなる第 1 の層と第 1 の材料とは異なる第 2 の材料からなる第 2 の層を有する。

## 【0034】

一実施形態において、この多層系の周期長は、6 nm ~ 8 nm の範囲内であり、特に、6.5 nm ~ 7.5 nm の範囲内である。

## 【0035】

一実施形態において、ミラーが、多層系により生成された定在波場の最大値を超えて有する全層厚は、10 % の最大偏差は別として、多層系の周期長の整数倍に相当する。

## 【0036】

このように層厚を選択した結果、又は基板保護層を構成する多層系の周期長とマッチングした結果、（さらなる詳細を以下に同様に示すように）反射率の波長依存性における個々のピークのプロファイルを得ることができる。なお、このプロファイルは依然として実質的に左右対称であるため評価の面で比較的便宜である。ここで、本発明によるこの概念は、基板保護層を構成する多層システムにより反射層からミラーに隣接する真空まで生成される定在波場の範囲内で、上記の全層厚（反射層の厚さを含む）が、関連するミラーの

10

20

30

40

50

反射率のスペクトルプロファイルに影響を及ぼすというさらなる考察に基づくものである。この文脈において、上記全層厚を周期長の整数倍として選択することにより、以下にさらに詳細に説明するように、反射層と真空との間の界面において、特に顕著なピーク又は電界強度の比較的強い振動を得ることが可能となり、その結果、最終的に要求されるスペクトルピーク位置も、測定により特に良好に求めることができる。

【0037】

先に述べたような、また以下に詳述する基板保護層を構成する多層系の周期長の横方向プロファイルを反射光測定により確認することは、反射層を塗布する前、又は塗布した後に（すなわち、前記反射層を介して電磁放射を結合することにより）実施することができる。別の表現をすれば、本発明は、第1に、（反射層がその上にない状態で）基板保護層自体について反射率のキャラクタリゼーションを最初に実施し、必要に応じて、その後塗布した反射層についての反射率のキャラクタリゼーションを続いて又は連続してのみ実施するする各実施形態を含む。しかしながら、第2に、本発明は、また、反射層を塗布した後においても、基板保護層を構成する多層系の反射率のスペクトルピーク位置の測定をさらに行い、必要な測定費用又は工程数を減少させる各実施形態も含む。

10

【0038】

一実施形態において、動作波長は30nm未満であり、特に、10nm～15nmの範囲内とすることができる。

【0039】

本発明は、さらに、マイクロリソグラフィ投影露光装置の光学系に関し、前記光学系は、上記の各特徴を有するミラーを少なくとも備える。

20

【0040】

一実施形態において、このミラーが電磁光線を反射する際の光学系の動作中に生じる反射角度が個々の面法線に対して少なくとも50°、特に少なくとも65°となるように、当該ミラーを光学系に配置する。

【0041】

また、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に関し、照明デバイスは、投影露光装置の動作中に、投影レンズの対物面に位置するマスクを照光し、投影レンズが前記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する。ここで、投影露光装置は上記の特徴を有する光学系を有する。

30

【0042】

本発明の更なる構成は明細書及び従属請求項に記載される。

【0043】

本発明を添付の図面に記載された実施形態に基づいて、以下に詳述する。

【図面の簡単な説明】

【0044】

【図1】EUVにおける動作用の投影露光装置の模式図である。

【図2】本発明の例示的な実施形態におけるミラーの可能な構造を説明する模式図である。

。

【図3】本発明の例示的な実施形態におけるミラーの可能な構造を説明する模式図である

40

。

【図4】本発明のさらなる可能な実施形態を説明する図である。

【図5】本発明のさらなる可能な実施形態を説明する図である。

【図6】本発明のさらなる可能な実施形態を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0045】

図1に、本発明を実現可能な、EUVにおける動作用の例示的な投影露光装置100を示す。

【0046】

図1によれば、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

50

び瞳ファセットミラー 104 を備える。プラズマ光源 101 及び集光ミラー 102 を備える光源部からの光は視野ファセットミラー 103 上に向かう。第 1 の望遠鏡ミラー 105 及び第 2 の望遠鏡ミラー 106 を瞳ファセットミラー 104 の下流の光路に配置する。斜入射下で動作される偏向ミラー 107 は光路の下流に配置し、偏向ミラー 107 に当たる放射線を、図 1 にのみ示す投影レンズの対物面における物体視野上に向かわせる。物体視野の位置には、反射構造を有するマスク 121 がマスクステージ 120 の表面上に配置され、前記マスクは投影レンズ 150 を介して像面内に結像される。この像面内には、感光層（フォトレジスト）で被覆した基板 161 がウエハステージ上 160 に載置されている。

【0047】

10

斜入射下で動作されるミラーに係る本発明による構造は、例えば、投影レンズ 150 の 1 つ以上のミラーにおいて、あるいは照明デバイス内に設けた偏向ミラー 107 において実現しうる。

【0048】

以下、本発明による斜入射下で動作されるミラーの可能な実施形態を図 2 ~ 図 3 の模式図を参照して説明する。

【0049】

図 2 によれば、第 1 の実施形態において、斜入射下での動作用に設計されたミラー 200 は、それ自体既知の方法により、（任意の好適な基板材料、例えば、コーニング社により商標 U L E（登録商標）の下で流通するチタンシリケートガラスから製造しうる）ミラー基板 205、及び光学有効面 200a を包含する反射層 220 を有してもよい。反射層は、例示的な実施形態においてルテニウム（Ru）から製造され、一般的な例示として、20 nm ~ 200 nm の範囲内の厚さを有することができる。さらなる実施形態において、単層（例えばルテニウム（Ru））以上を有する GI ミラーについても同様にそれ自体既知の層系を利用することができる。

20

【0050】

GI ミラーの可能な例示的層設計に関しては、特許文献 6（ドイツ国特許出願第 10 2011 075 579 号明細書）を参照されたい。

【0051】

ミラー 200 の動作中に光学有効面 200a に当たる電磁放射であって、例えば、ルテニウム（Ru）層を介して伝達された結果として反射層 220 を透過する電磁放射からミラー基板 205 を保護するため、ミラー 200 は、反射層 220 とミラー基板 205 との間に基板保護層 210 を有する。

30

【0052】

図 2 に例示する実施形態において、基板保護層 210 は、交互に連続する吸収層 212 及び層応力補償層 211 を有する。吸収層 212 は第 1 の材料（対応して高い屈折率の吸収成分、例えば、銀（Ag）、白金（Pt）、錫（Zn）、銅（Cu）、タンクステン（W）、ニッケル（Ni）、又はコバルト（Co）を有する）からなり、層応力補償層 211 は第 2 の材料（例えば、モリブデン（Mo）又はルテニウム（Ru））からなる。層応力補償層 211 は、ミラー 200 の層構造全体に存在しうる不要な機械的層応力を補償する役割を果たす。一方、吸収層 212 は、EUV 照射に対する吸収層の透過率が低い（特に 0.1% 未満、特に 0.01 未満、より特には 0.001% 未満）ため、例えば迷光状の電磁放射であって、前記ミラー基板におけるミラー基板材料の圧縮（compacting）その他の損傷の原因となりうる電磁放射をミラー基板 205 から確実に遠ざける。

40

【0053】

基板保護層 210 内における交互連続の全周期数は、特に、10 ~ 40 の範囲内とすることができる（この場合、各周期は、それぞれ、吸収層 212 と層応力補償層 211 とかなる積層の一部に相当する）。さらに、層応力補償層 211 の厚さは、純粋な例示であるが、2 nm ~ 4 nm の範囲内とすることができます。特に、層応力補償層 211 の厚さは、直入射下での動作用の NI ミラーの場合よりも有意に小さくすることができ、この場合

50

、図2によれば、斜入射下での動作用のミラー200の場合には、補償する必要がありうる層応力依存曲げが前記N1ミラーの場合と比べて有意に低いという事実を有利に利用している。

【0054】

図3は、本発明によるミラーのさらなる例示的な実施形態の模式図である。同図において、図2と比較して類似の構成要素又は実質的に機能的に同一の構成要素には、それぞれ、100ずつ増加した参照符号を付して示す。

【0055】

図3によるミラー300において、基板保護層310は吸收層のみからなり、その層厚は、反射層320を透過する可能性のある電磁放射を吸収するように、一般に、50nm～100nmとする。ここで、基板保護層310における追加的な層応力補償層又は対応する交互層構造は完全に省略されており、したがって基板保護層は、吸收層212に相当する単一の吸收層のみからなる。このような構成は、特に、反射層320内に存在する機械的層応力が無視できるほど小さい場合に好適である。

【0056】

さらなる実施形態において、本発明によれば、ミラー基板と反射層との間に存在する基板保護層は、図2の吸收層212の機能（すなわち、反射層を透過する透過光又は迷光等の電磁放射の吸収）及び層応力補償層211の機能（すなわち、ミラーの層構造全体に存在する機械的層応力の補償）の両方を満たす好適な材料から生成してもよい。吸収力が十分に高いという前提条件の下で、この目的を達成するため、例えば、上記の吸収材料である銀（Ag）、白金（Pt）、錫（Zn）、銅（Cu）、タンゲステン（W）、ニッケル（Ni）、又はコバルト（Co）と、例えば、ケイ素（Si）、バナジウム（V）、炭素（C）、ホウ素（B）、又はモリブデン（Mo）との合金を用いることができる。吸収挙動に応じて、層厚は、50nm～300nmの間とすればよい。同様に、層応力は、純粋な元素吸収層及びプロセスパラメータの好適な選択としての合金のいずれについても、広範囲（例えば、+1000MPa～-1000MPa）に設定することができる。

【0057】

本発明は、特に有利には、例えば、引用文献5（ドイツ国特許出願第10 2012 202 675号明細書）に示す投影レンズにおいて、照明光の斜入射（入射角65°超）用のミラーを少なくとも有する投影レンズにおいて実現可能である。さらなる例示的な実施形態において、本発明は、異なる構造を有する投影レンズ又は他の光学系においても実施可能である。

【0058】

以下に、図4～図6を参照して、本発明の各実施形態について説明する。基板保護層及び任意選択で反射層をさらに形成する多層系の有利な構成も、この構成が横方向の厚さプロファイルを測定により確認するために特に便宜である範囲で実現される。この厚さプロファイルの不要な偏差を、所望の偏差、例えば、典型的には一定の厚さプロファイル（この補償は、関連するミラー自体の層厚プロファイル、または光学システム内の他の場所で実行してもよい）から補償できるようにするため、冒頭で既に説明したように、横方向の厚さプロファイルについて上記のような測定による確認を行うことが望ましい。

【0059】

この目的を達成するため、まず、図4のa乃至dは、それぞれ、本発明によるミラーの反射率に対する波長の依存度を示す。ここで、反射率プロファイルは、それぞれ、基板保護層を形成する多層系の周期長の異なる値（d = 6nm～d = 8nm）及び反射層の異なる厚さ（図4中aにおいては25nm、図4中bにおいては28nm、図4中cにおいては30nm、図4中dにおいては35nm）についてプロットされる。スペクトルピーク位置は、それぞれ、選択された周期長に対してそれぞれ12.5nm～14.5nmの間にあり、その結果、従来のEUV範囲内で利用可能な反射率計のいずれの場合にも測定によってアクセス可能な領域に位置することがわかる。

【0060】

10

20

30

40

50

図5は、基板保護層を構成する多層系により生成された定在波場を説明するためのグラフである。本発明に係るミラーの個々の領域において、及び、特に、基板保護層、反射層又は多層系と、真空との間の各界面において、基板保護層を構成する多層系により生成された定在波場を説明するためのグラフである。ここで、基板保護層を形成する多層系は、例示的な実施形態において、交互に連続する炭化ホウ素( $B_4C$ )層とクロム(Cr)層により実施され(しかしながら、本発明はそれに限定されない)、この場合において、反射層は、同様に純粋な例示であるが、ルテニウム(Ru)からなる。図6のa)~c)に、各反射層厚に応じたそれぞれの反射率をその波長プロファイルとして示す。

#### 【0061】

ここで、図5における個々の曲線は、それぞれ、反射層の異なる層厚に対応する。図5において、各反射層と真空との間の界面を、異なるサンプルについて、短垂線で示す。図5から明らかのように、真空における電界強度の振動が特に強いのは、反射層と真空との間の関連する界面が定在波場の最大値(図示例では、反射層の層厚が27nm及び34nmの場合に与えられる)近傍に位置する場合である。対照的に、反射層と真空との間の関連する界面が定在波場の最小値(本実施例においては、反射層の厚さが31nmの場合のように)近傍にある場合、関連する電界強度の振動は特に小さい。その結果、反射率の波長依存性におけるピークが顕著となるのは、多層系における定在波場の最大値を超える各層の全厚が多層系の周期長のおよそ整数倍となるように選択した場合である。

#### 【0062】

本発明を特定の実施形態に基づいて説明してきたが、例えば、各々の実施形態の特徴の組合せ及び/又は交換による多くの種々の代替実施形態が当業者には明らかである。したがって、当業者にとって言うまでもないことだが、このような変形及び代替実施形態は本発明に付随して含まれ、本発明の範囲は、添付する特許請求項及びその同等物の範囲のみに限定される。

【図1】

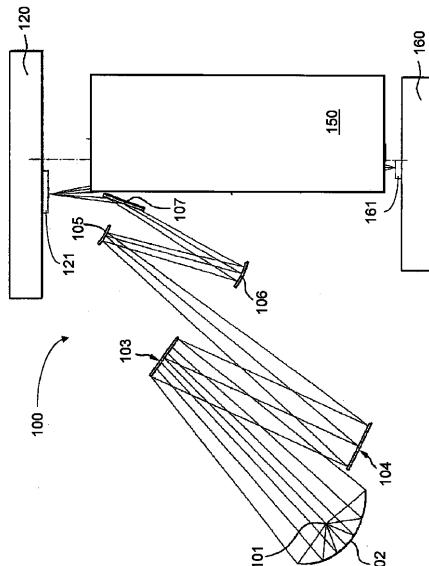


Fig.1

【図2】

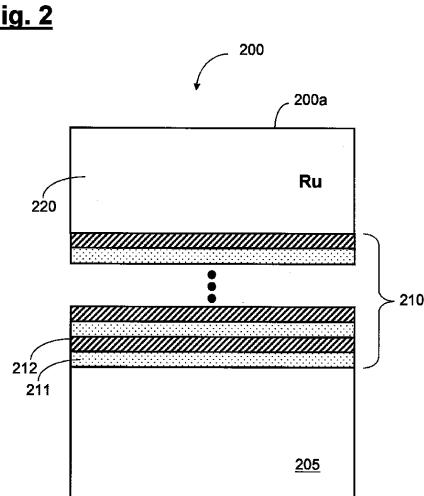
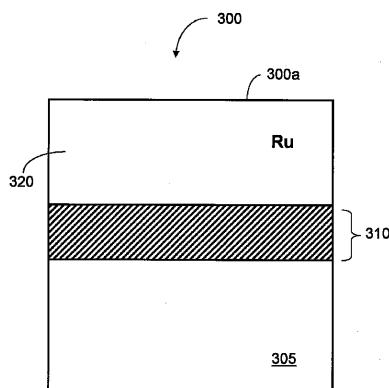


Fig. 2

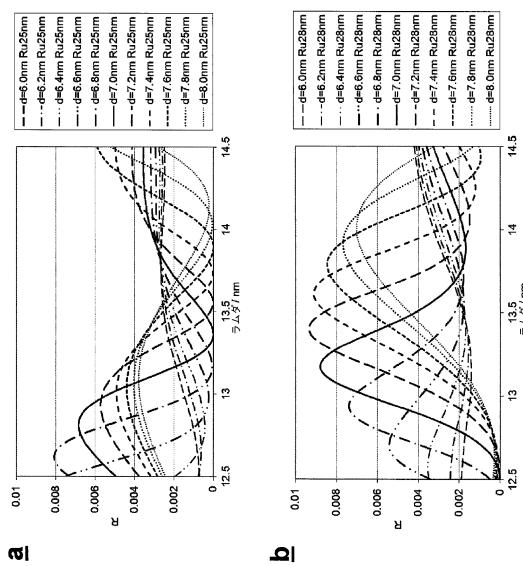
10

20

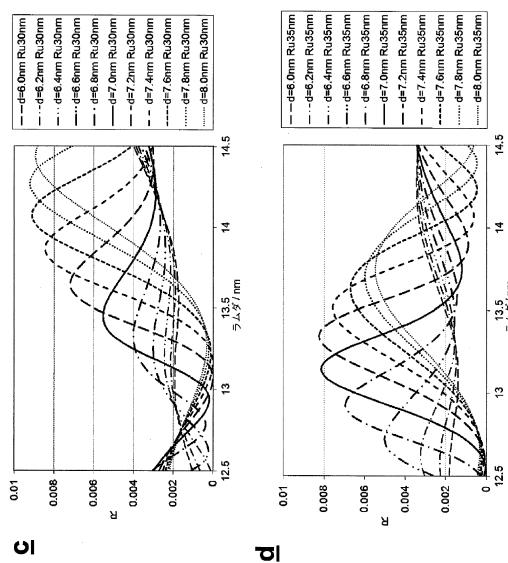
【図3】

**Fig. 3**

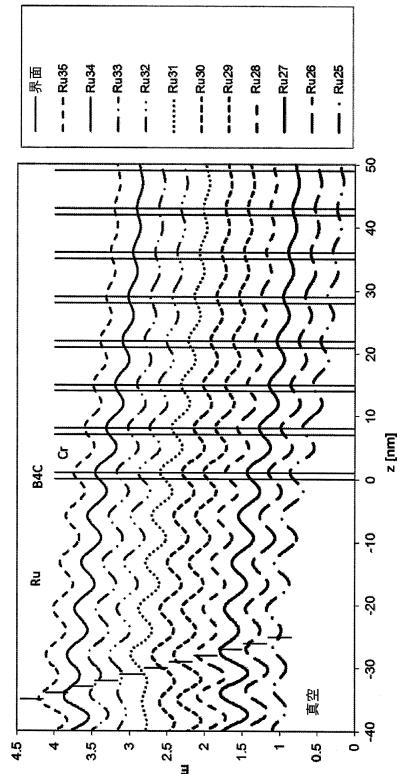
【図4-1】



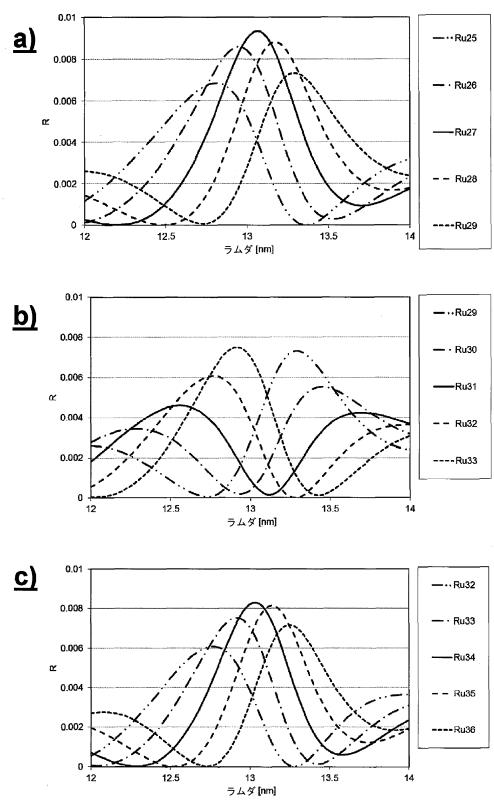
【図4-2】



【図5】



【図6】



---

フロントページの続き

(72)発明者 ケルスティン ハイド

ドイツ国 73529 シュワビュッシュ グムンド ピルカッヒシュトラーセ 5

(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

(72)発明者 マトウス カリスキー

ドイツ国 73434 アーレン ペーリーカーンウェグ 8

審査官 山本 一

(56)参考文献 国際公開第2015/018560 (WO, A2)

特表2014-514741 (JP, A)

特表2013-513955 (JP, A)

国際公開第2008/065821 (WO, A1)

特開2007-329368 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G03F 7/20

G02B 5/08

H01L 21/027