

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6546912号  
(P6546912)

(45) 発行日 令和1年7月17日(2019.7.17)

(24) 登録日 令和1年6月28日(2019.6.28)

(51) Int.Cl.

G03F 7/20 (2006.01)  
G01M 11/02 (2006.01)

F 1

G03F 7/20 503  
G01M 11/02 B  
G03F 7/20 521

請求項の数 20 (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2016-515495 (P2016-515495)  
 (86) (22) 出願日 平成26年9月18日 (2014.9.18)  
 (65) 公表番号 特表2016-538576 (P2016-538576A)  
 (43) 公表日 平成28年12月8日 (2016.12.8)  
 (86) 國際出願番号 PCT/EP2014/002528  
 (87) 國際公開番号 WO2015/039751  
 (87) 國際公開日 平成27年3月26日 (2015.3.26)  
 審査請求日 平成29年9月13日 (2017.9.13)  
 (31) 優先権主張番号 102013218991.5  
 (32) 優先日 平成25年9月20日 (2013.9.20)  
 (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 100186015  
 弁理士 小松 靖之  
 (72) 発明者 アルブレヒト アーマン  
 ドイツ国 73432 アーレン ゲヴァンドヴェルク 22

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】光学結像系の光学特性を測定する方法及び装置

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

光学結像系(12)の光学特性を測定する装置(10)であって、  
 放射源(16)が発生させた電磁放射線(18)を前記結像系の物体平面(22)へ指向させるよう構成された照明系(20)と、  
 有効ビーム経路(45)に沿って進んだ後の前記電磁放射線を取り込むよう構成された、前記光学特性を測定する有効検出器(42)であり、前記有効ビーム経路(45)は、前記放射源から前記結像系を経て前記有効検出器まで延びる有効検出器(42)と、

前記有効ビーム経路に配置されてセンサ放射線(48)を前記有効ビーム経路から取り出すよう構成され、その結果として、取り出された前記センサ放射線が前記有効ビーム経路とは異なるセンサビーム経路(49)に沿って延びるようにする分離デバイス(46)と、

前記センサビーム経路に配置されて前記光学結像系の前記物体平面(22)内の少なくとも1つの点における角度分解強度分布を記録する強度センサ(50)であり、前記強度分布は、前記物体平面に対する入射角に応じて前記電磁放射線の強度を再現する強度センサ(50)と

を備え、

前記強度センサ(50)によって記録された角度分解強度分布に基づいて、前記有効検出器(42)によって測定された前記光学結像系の光学特性の補正を実行するよう構成された評価デバイス(66)をさらに有する装置。

## 【請求項 2】

光学結像系（12）の光学特性を測定する装置（10）であって、  
放射源（16）が発生させた電磁放射線（18）を前記結像系の物体平面（22）へ指向させるよう構成された照明系（20）と、

有効ビーム経路（45）に沿って進んだ後の前記電磁放射線を取り込むよう構成された、前記光学特性を測定する有効検出器（42）であり、前記有効ビーム経路（45）は、前記放射源から前記結像系を経て前記有効検出器まで延びる有効検出器（42）と、

前記有効ビーム経路に配置されてセンサ放射線（48）を前記有効ビーム経路から取り出すよう構成され、その結果として、取り出された前記センサ放射線が前記有効ビーム経路とは異なるセンサビーム経路（49）に沿って延びるようにする分離デバイス（46）と、

前記センサビーム経路に配置されて前記光学結像系の前記物体平面（22）内の少なくとも1つの点における角度分解強度分布を記録する強度センサ（50）であり、前記強度分布は、前記物体平面に対する入射角に応じて前記電磁放射線の強度を再現する強度センサ（50）と  
を備え、

前記有効検出器（42）の計測結果及び前記強度センサ（50）によって記録された角度分解強度分布を評価することによって、前記光学結像系（12）の瞳分解透過挙動を測定するよう構成された評価デバイス（66）をさらに有する装置。

## 【請求項 3】

請求項1又は2に記載の装置において、

前記分離デバイス（46）は、前記有効ビーム経路（45）のうち前記結像系（12）の上流に位置付けられた領域内に配置される装置。

## 【請求項 4】

請求項1～3のいずれか1項に記載の装置において、

前記分離デバイス（46）は、前記照明系（20）に配置される装置。

## 【請求項 5】

請求項1～4のいずれか1項に記載の装置において、

前記分離デバイス（46）は、少なくとも部分的に反射型の素子（30）を有する装置。

## 【請求項 6】

請求項1～5のいずれか1項に記載の装置において、

前記物体平面に配置されたテストマスク（24）をさらに有し、前記分離デバイス（46）は、テストマスクの一部である装置。

## 【請求項 7】

請求項1～6のいずれか1項に記載の装置において、

前記照明系（20）は、前記物体平面（22）に前記電磁放射線（18）を斜めに照射するよう構成される装置。

## 【請求項 8】

請求項1～7のいずれか1項に記載の装置において、

前記分離デバイス（46）は、前記有効ビーム経路（45）に沿って進む前記電磁放射線（18）の一部から波長の変更によって前記センサ放射線（48）を発生させるよう構成された放射線変換素子（31）を備える装置。

## 【請求項 9】

請求項1～8のいずれか1項に記載の装置において、

前記分離デバイス（46）は、前記光学結像系の作動波長とは異なる波長を有する放射線を前記有効ビーム経路（45）の前記電磁放射線（18）からセンサ放射線（48）として取り出すよう構成される装置。

## 【請求項 10】

請求項1～9のいずれか1項に記載の装置において、前記分離デバイス（46）は、 +

10

20

30

40

50

/- 4次の回折又は絶対値に関してより大きな次数の回折によって前記センサ放射線(48)を前記有効ビーム経路(45)から取り出すよう構成される装置。

【請求項11】

請求項1~10のいずれか1項に記載の装置において、  
前記分離デバイス(46)は、回折格子(123)を備える装置。

【請求項12】

請求項1~11のいずれか1項に記載の装置において、

前記分離デバイス(46)は、第1波長を有する前記電磁放射線(18)の放射線成分(47)から前記有効検出器(42)でインターフェログラムを生成すると共に、第2波長を有する前記電磁放射線の放射線成分(48)を0次の回折以外の回折次数で前記強度センサ(50)へ指向させるよう構成された解析格子(38)を備える装置。 10

【請求項13】

請求項1~12のいずれか1項に記載の装置において、

前記有効検出器(42)及び前記強度センサ(50)は、一体型検出器(80)に組み込まれる装置。

【請求項14】

請求項1~13のいずれか1項に記載の装置において、

前記照明系(20)が発した前記放射線(18)は、時間的に制限された放射線パケットとして前記物体平面(22)に入射するように前記放射線を周期的に遮断するよう構成された装置。 20

【請求項15】

請求項1~14のいずれか1項に記載の装置において、

EUV波長域の作動波長用に設計された装置。

【請求項16】

請求項1~15のいずれか1項に記載の装置において、

該装置(10)によって測定可能な前記光学特性は、前記光学結像系(12)の波面収差挙動を含む装置。

【請求項17】

請求項1~16のいずれか1項に記載の装置において、

前記強度センサ(50)は、前記光学結像系(12)の前記物体平面における強度分布を空間分解的に記録するようさらに構成される装置。 30

【請求項18】

請求項1~17のいずれか1項に記載の装置(10)を組み込んだマイクロリソグラフィ投影露光装置。

【請求項19】

光学系(12)の光学特性を測定する方法であって、

電磁放射線(18)を前記結像系(12)の物体平面(22)へ指向させるステップと、

前記電磁放射線の放射源(16)から前記結像系を経て有効検出器(42)まで延びる有効ビーム経路(45)に沿って進んだ後の前記放射線から前記有効検出器で前記光学特性を測定するステップと、 40

センサ放射線を前記有効ビーム経路(45)から取り出し、その結果として、取り出された前記センサ放射線が前記有効ビーム経路とは異なるセンサビーム経路(49)に沿って延びるようにするステップと、

前記光学結像系の前記物体平面(22)内の少なくとも1つの点における角度分解強度分布を、前記センサビーム経路(49)に配置された強度センサ(50)によって記録し、前記強度分布は、前記物体平面に対する入射角に応じて前記電磁放射線の強度を再現するステップとを含み、

前記光学特性を測定する際に、前記強度センサ(50)によって記録された角度分解強度分布に基づいて前記有効検出器(42)によって実行された計測の補正を実行する方法 50

。

#### 【請求項 20】

請求項 19 に記載の方法において、

前記光学結像系(12)の瞳分解透過挙動を、前記有効検出器(42)の計測結果及び前記強度センサ(50)によって記録された角度分解強度分布を評価することによって前記光学特性として測定する方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【技術分野】

##### 【0001】

本発明は、光学結像系の特性を測定する装置及び方法と、かかる装置を有するマイクロリソグラフィ投影露光装置とに関する。

10

##### 【0002】

本願は、2013年9月20日付けで出願された独国特許出願第10 2013 218 991.5号の優先権を主張する。この特許出願の全開示を参照により本願に援用する。

##### 【背景技術】

##### 【0003】

本発明の1つの重要な応用分野は、半導体ウェーハパターニングのためのマイクロリソグラフィにおける高分解能投影レンズの収差を高精度で測定することができるようにするための、投影レンズの波面計測である。当業者には既知であるように、例えばラテラルシアーリング干渉法に基づく技術、及び点回折干渉法(PD)、線回折干渉法(LDI)等の他の干渉法技術をこの目的で用いることが可能である。シャック・ハルトマンセンサ又はモアレ技術に基づくセンサの使用も可能である。

20

##### 【0004】

シアーリング干渉法の一実施形態では、いわゆるコヒーレンスマスクが検査対象の光学系の物体平面に配置される。その上に対象パターンが配置される。回折格子として設計された参照パターンが、結像系の像平面に位置付けられる。回折格子での回折により生じた波の重ね合わせにより、インターフェログラムの形態の重ね合わせパターンが生成され、適当な検出器を用いてこれが取り込まれる。シアーリング干渉計のコヒーレンスマスク及び回折格子の可能な実施形態は、例えば特許文献1に明記されている。

30

##### 【0005】

しかしながら、従来のシアーリング干渉法を用いて実行される波面計測の再現性及び絶対精度は、特にEUV放射線用に設計された光学系の場合に不十分であることが多い。

##### 【0006】

本発明の別の応用分野は、「アポダイゼーション」とも称するマイクロリソグラフィにおける高分解能投影レンズの瞳分解透過挙動の測定である。ここで、投影レンズの像平面の下に配置された空間分解検出器を用いて、強度分布が記録される。従来の方法を用いて実行される計測の精度は、ここでも不十分であることが多い。

##### 【先行技術文献】

##### 【特許文献】

40

##### 【0007】

##### 【特許文献1】独国特許第10 2005 041 373号明細書

##### 【発明の概要】

##### 【発明が解決しようとする課題】

##### 【0008】

本発明の目的は、上述の問題に対処でき、特に波面収差挙動又は瞳分解透過挙動等の光学系の光学特性を高精度で測定することができる装置及び方法を提供することである。

##### 【課題を解決するための手段】

##### 【0009】

本発明による目的は、光学結像系、特にマイクロリソグラフィ投影露光装置のレンズの

50

光学特性を測定する装置を用いて達成することができ、かかる装置は以下のように構成される。本発明による装置は、放射源が発生させた電磁放射線を結像系の物体平面へ指向させ、特にこれを物体平面に集束させるよう構成された照明系と、光学特性を測定する有効検出器とを備える。有効検出器は、有効ビーム経路に沿って進んだ後の電磁放射線を取り込むよう構成される。有効ビーム経路は、ここでは放射源から結像系を経て有効検出器まで延びる。本発明による装置は、有効ビーム経路に配置されてセンサ放射線を有効ビーム経路から取り出すよう構成され、その結果として、取り出されたセンサ放射線が有効ビーム経路とは異なるセンサビーム経路に沿って延びるようにする分離デバイスをさらに備える。本発明による装置は、センサビーム経路に配置されて光学結像系の物体平面内の少なくとも1つの点における角度分解強度分布を記録する強度センサをさらに備え、この強度分布は、物体平面に対する入射角に応じて電磁放射線の強度を再現する。

【0010】

センサ放射線は、本発明による分離デバイスに基づいて有効ビーム経路から取り出すことができ、その結果として、入射角分解強度分布が全角度範囲にわたって、すなわち瞳全体にわたって高分解能で測定される。これは、物体平面内の種々の点に関して行うことができ、有効ビーム経路から取り込まれた任意の所望の視野点が、ここで入射角分解強度分布に関して計測される。換言すれば、計測可能な角度範囲に関しても計測可能な視野領域に関しても制限がない。

【0011】

シアリング干渉法等の干渉法を用いた光学結像系の波面収差挙動の測定に本装置を用いる場合、本発明による強度センサによって確認された角度分解強度分布に基づいて、記録されたインターフェログラムを高精度で計算的に補正することが可能である。この補正は、光学結像系の波面収差挙動を高い精度及び再現性で測定することを可能にする。

【0012】

光学結像系の瞳分解透過挙動の測定に本発明を用いる場合、本発明による強度センサによって確認された角度分解強度分布が、照明系の影響を有効検出器によって実行された計測から高精度で差し引くことを可能にする。概して、物体平面における角度分解強度分布は、従来のアポダイゼーション計測で既知であると考えられるが、本発明による装置は、アポダイゼーション計測の実際の強度分布を考慮に入れることを可能にする。これは、特に、強度センサによって計測された強度分布を有効センサによって計測された強度分布から差し引くことによって行うことができる。

【0013】

一実施形態によれば、強度センサは、光学系の物体平面にある入射角依存強度分布を直接記録することができるように、センサビーム経路に配置され、そのようにできるのは、例えば、強度センサが照明系の瞳平面の領域又はそれと共に配置される場合である。強度センサが、入射角依存強度分布の直接記録に適した平面に配置されない場合、強度センサに、レイトレーシングを用いて計測された強度値から物体平面における入射角依存強度分布に逆算する計算ユニットを設けることができる。

【0014】

本装置は、強度センサによって記録された入射角依存強度分布を考慮に入れて、電磁放射線を取り込む際に有効検出器によって記録された信号から光学特性を確認するよう構成された評価デバイスをさらに備えることが好ましい。有効検出器によって記録された信号は、ここでは特に時間分解的に補正することができる。

【0015】

本発明による装置のさらに別の実施形態によれば、分離デバイスは、有効ビーム経路のうち結像系の上流に位置付けられた領域内に配置される。換言すれば、分離デバイスは、有効ビーム経路のうち有効ビーム経路に沿って進む放射線に関して光学系の上流に位置付けられた場所に配置される。

【0016】

本発明のさらに別の実施形態によれば、分離デバイスは、照明系に配置される。分離デ

10

20

30

40

50

バイスは、ここでは例えば、拡散板、スペクトルフィルタ、又はビームスプリッタとして構成することができる。

【0017】

本発明によるさらに別の実施形態によれば、分離デバイスは、少なくとも部分的に反射型の素子を有する。少なくとも部分的に反射型の素子は、反射によって有効ビーム経路からセンサ放射線を取り出すのに役立ち、例えば部分透過性のEUV MoSi層系等のマスクメンブレン上の部分反射層によって形成することができる。少なくとも部分的に反射型の素子は、特に、0次の回折の反射によって有効放射線を通過させると共に、0次の回折とは異なる回折次数の反射によってセンサ放射線を取り出す格子を有し得る。

【0018】

本発明によるさらに別の実施形態によれば、本装置は、物体平面に配置されたテストマスクをさらに有し、分離デバイスはテストマスクの一部である。

【0019】

本発明によるさらに別の実施形態によれば、照明系は、物体平面に電磁放射線を斜めに照射するよう構成される。これは、物体平面上の法線から特に3°よりも大きく、又は10°よりも大きくずれた入射方向を意味すると理解される。

【0020】

本発明によるさらに別の実施形態によれば、分離デバイスは、有効ビーム経路に沿って進む電磁放射線の一部から波長の変更によってセンサ放射線を発生させるよう構成された放射線変換素子を備える。かかる放射線変換素子は、蛍光素子又はシンチレータとして設計することができる。蛍光素子は、例えば、蛍光に対して不透過性であるマスクメンブレン上に配置された蛍光層によって形成することができる。蛍光素子は、例えば、P43、すなわちテルビウムでドープした酸硫化ガドリニウム(Gd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S: Tb)、又はセリウムでドープしたYAG、YAP、若しくは石英等のキャリア材料から形成することができる。反射で動作するテストマスクの場合、シンチレータ層を、EUV放射線を反射するキャッピング層とマスクキャリアとの間の中間層としてさらに配置することができる。これにより、EUV放射線に対して不透過性であるマスクキャリアを通過する放射線変換されたセンサ放射線を、テストマスクの下流に配置された強度センサを用いて記録できる。

【0021】

本発明によるさらに別の実施形態によれば、分離デバイスは、光学結像系の作動波長とは異なる波長を有する放射線を有効ビーム経路の電磁放射線からセンサ放射線として取り出すよう構成される。換言すれば、取り出されたセンサ放射線は、光学結像系の作動波長とは異なる波長を有し、センサ放射線の波長は、特に光学結像系の作動波長の少なくとも2倍である。例として、光学結像系の作動波長は、EUV波長域内にあり、センサ放射線は、UV領域から可視領域を経て赤外領域までに及ぶ波長域内にある。例として、センサ放射線は、センサ放射線の波長に対して不透過性であるマスクメンブレンで少なくとも部分的に反射されるが、作動波長を有する放射線は、マスクメンブレンを通過する。

【0022】

本発明によるさらに別の実施形態によれば、分離デバイスは、+/-4次の回折又は絶対値にしてより大きな次数の回折によってセンサ放射線を有効ビーム経路から取り出すよう構成される。この目的で、例えば、+4次、-4次の回折、及び/又は絶対値にしてより大きな次数の、すなわち+5次、-5次、+6次、-6次、及び/又は+7次、-7次等の回折でテストマスクに形成された光をセンサ放射線として用いることが可能である。これらの回折次数は、光学結像系よりも大きな開口数を有し、したがって光学結像系によって概して遮られるので有効検出器に到達しない。上記回折光を取り込む強度センサは、テストマスクと光学結像系との間の領域に、又は結像系の光学素子のマウントに取り付けることができる。代替的に、分離デバイスは、有効ビーム経路に特に配置された拡散板も含むことができる。

【0023】

本発明によるさらに別の実施形態によれば、分離デバイスは、回折格子を備える。かか

10

20

30

40

50

る回折格子は、有効放射線を0次の回折で有効ビーム経路に沿って通過させると共に、0次の回折とは異なる回折次数のセンサ放射線を取り出すよう構成することができる。かかる回折格子は、例えば、照明系のスペクトルフィルタ上又はテストマスク上に配置することができる。回折格子は、例えば、小さな開口で透過動作するスペクトルフィルタ上で実施することができる。回折格子は、多層から形成されて反射率を層数によって調整できる部分的に透明なメンブレン格子として構成することができる。

【0024】

本発明によるさらに別の実施形態によれば、分離デバイスは、第1波長を有する電磁放射線の放射線成分から有効検出器でインターフェログラムを生成すると共に、第2波長を有する電磁放射線の放射線成分を0次の回折以外の回折次数で強度センサへ指向させるよう構成された解析格子を備える。0次の回折以外の回折次数が意味すると理解されるのは、+/-1次若しくは+/-2次の回折次数又は絶対値に関してより大きな回折次数である。第1波長を有する放射線から形成されたインターフェログラムは、0次の回折とは異なる他の回折次数で第2波長を有する放射線から空間的に分離される。特に、分離デバイスは、結像系において有効ビーム経路のうち下流に位置付けられた領域に配置される。放射源が発生させた電磁放射線は、第1波長及び第2波長を有する放射線成分を含み、第1波長は、光学結像系の作動波長に相当し、例えばEUV波長とすることができる、第2波長は、例えばUV領域、可視領域、又は赤外領域とすることができる。

【0025】

本発明によるさらに別の実施形態によれば、有効検出器及び強度センサは、一体型検出器に統合される。有効検出器は、有効ビーム経路に沿って進んだ後の電磁放射線を取り込む領域及びセンサ放射線を取り込む領域といった種々の取り込み領域を有する。

【0026】

本発明によるさらに別の実施形態によれば、本装置は、照明系が発した放射線を時限放射線パケットとして物体平面に入射するように周期的に遮断するよう構成される。放射線パケットは、最短時間長が50ms、特に最大長が5秒である。周期的遮断は、閉鎖要素を電磁放射線のビーム経路に出入りさせることによって行うことができる。代替的に、周期的遮断は、電磁放射線を発生させる放射源をトリガすることによって行うことができる。放射線パケットのそれぞれを用いて、検出器でインターフェログラムが生成され、個々の放射線パケットの各放射エネルギーが、強度センサを用いて角度分解的に計測され、対応する放射線パケットによって生成されたインターフェログラムは、それぞれ計測された角度分解放射エネルギー分布に関連付けられ、インターフェログラムは、個々のインターフェログラムに関連する放射エネルギー分布を用いて操作され、操作されたインターフェログラムから、光学系との相互作用後の電磁放射線の波面が確認される。

【0027】

本発明によるさらに別の実施形態によれば、本装置は、EUV波長域の作動波長用に設計される。換言すれば、有効ビーム経路に沿って進む有効放射線は、EUV放射線である。

【0028】

本発明によるさらに別の実施形態によれば、本装置は、強度センサによって記録された角度分解強度分布に基づいて、有効検出器によって測定された光学結像系の光学特性の補正を実行するよう構成された評価デバイスをさらに有する。換言すれば、評価デバイスは、強度センサによって記録された角度分解強度分布に基づいて、有効検出器によって実行された計測を補正すると共に、それによって高精度で光学特性の計測結果を生成するよう構成される。

【0029】

本発明によるさらに別の実施形態によれば、本装置によって測定可能な光学特性は、光学結像系の波面収差挙動を含む。この目的で、本装置は、波面計測デバイス、特にシアリング干渉計を備える。評価デバイスを用いて補正可能な光学特性は、光学結像系の波面収差挙動を特に含む。

10

20

30

40

50

## 【0030】

本発明によるさらに別の実施形態によれば、本装置によって測定される光学特性は、光学結像系の瞳分解透過挙動を含む。すでに上述したように、瞳分解透過挙動は、当該技術分野では「アポダイゼーション」とも称する。しかしながら、ここで留意すべきなのは、この場合の用語「アポダイゼーション」が、この点について多くの教本に明記されていると共にエアリーディスクの外側の環が抑えられて分解能を犠牲にして像のコントラストを改善する、光学フィルタリング法を指すのではないことである。そうではなく、本願における用語「アポダイゼーション」は、光学結像系の瞳分解透過挙動、特に瞳の中央を通る光線（中心光線）の透過挙動と瞳の縁を通る光線（周縁光線）の透過挙動との比を意味すると理解される。

10

## 【0031】

特に、本装置は、有効検出器の計測結果及び強度センサによって記録された角度分解強度分布を評価することによって、光学結像系の瞳分解透過挙動を測定するよう構成された評価デバイスをさらに有する。換言すれば、測定される光学系の光学特性は、瞳分解透過挙動であり、強度センサが提供する角度分解強度分布は、有効検出器の計測結果に対する照明系の影響を高精度で差し引くことを可能にする。物体平面における角度分解強度分布の明示的計測により、瞳分解強度分布は、例えば物体平面における強度分布の推定を考慮に入れて、有効検出器の計測のみに基づいて可能となるよりも高い精度で測定することができる。

## 【0032】

20

さらに別の実施形態によれば、評価デバイスは、有効検出器によって測定された光学結像系の光学特性の、特に波面収差挙動の補正を、強度センサによって記録された角度分解強度分布に基づいて実行するよう構成され、且つ有効検出器の計測結果及び強度センサによって記録された角度分解強度分布を評価することによって、光学結像系の瞳分解透過挙動を測定するようにも構成される。

## 【0033】

一実施形態によれば、テストマスクのメンブレンに対する放射源の相対移動が、検出系によって計測され、アポダイゼーション計測の評価時に考慮に入れられる。

## 【0034】

30

さらに別の実施形態によれば、強度センサは、集束素子と、集束素子の下流にカメラとも称する2次元分解強度検出器とを含む。代替的に、強度センサは、集束素子なしで設計することもできる。

## 【0035】

一変形実施形態によれば、集束素子と強度検出器との間の焦点面に絞りが配置される。絞りは、テストマスクのメンブレンに起因して生じる放射源の角度分布のフィルタリングを模倣する。代替的に、メンブレンに起因したフィルタリングは、計算によって行うこともできる。

## 【0036】

40

本発明によるさらに別の実施形態によれば、強度センサは、光学結像系の物体平面における強度分布を空間分解的に記録するようさらに構成される。換言すれば、入射角依存強度分布に加えて、放射源のスポット形態が物体平面の少なくとも1つの場所で記録される。この目的で、強度センサは、入射角依存強度分布を測定するためと、空間分解強度分布を測定するためとの、2つの別個の計測モジュールを有することができる。代替的に、強度センサは、1つの計測機器に両方の計測機能を組み合わせるよう構成することもでき、計測機器は、例えば集束素子とカメラとの間の距離の変更等によって計測機能間を切り替えることができる。

## 【0037】

本発明によれば、上述の実施形態の1つにおける光学特性を測定する装置を組み込んだマイクロリソグラフィ投影露光装置がさらに提供される。

## 【0038】

50

本発明によれば、光学結像系の光学特性を測定する方法であって、電磁放射線を結像系の物体平面へ指向させる、特に集束させるステップと、有効ビーム経路に沿って進んだ後の電磁放射線から有効検出器で光学特性を測定するステップとを含む方法がさらに提供される。ここで、有効ビーム経路は、放射線の放射源から結像系を経て有効検出器まで延びる。本発明による方法によれば、センサ放射線を有効ビーム経路からさらに取り出し、その結果として、取り出されたセンサ放射線は、有効ビーム経路とは異なるセンサビーム経路に沿って延び、光学結像系の物体平面内の少なくとも1つの点における角度分解強度分布を、センサビーム経路に配置された強度センサによって記録し、この強度分布は、物体平面に対する入射角に応じて電磁放射線の強度を再現する。

## 【0039】

10

一実施形態によれば、光学特性を測定する際に、計測の補正を有効検出器によって実行し、この補正は、強度センサによって記録された角度分解強度分布に基づいて行う。特に、有効検出器によって行われる計測は、光学結像系の波面収差挙動を含む。

## 【0040】

さらに別の実施形態によれば、光学結像系の瞳分解透過挙動を、有効検出器の計測結果及び強度センサによって記録された角度分解強度分布を評価することによって光学特性として測定する。

## 【0041】

上述した本発明による装置の実施形態、例示的な実施形態、及び変形実施形態等について明記した特徴は、本発明による方法に適宜移し替えることができる。本発明による実施形態のこれら及び他の特徴は、図面の説明及び特許請求の範囲で説明される。個々の特徴は、本発明の実施形態として別個に又は組み合わせて実施することができる。さらに、これらの特徴は、独立して保護可能である有利な実施形態を説明することができ、その保護は、適切な場合は本願の係属中又は係属後にのみ要求される。

20

## 【0042】

本発明の上記及びさらに他の有利な特徴を、添付の概略図面を参照して本発明による例示的な実施形態の以下の詳細な説明において説明する。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0043】

【図1】テストマスク及び強度センサを有する、光学系の光学特性を測定する本発明による装置の例示的な第1実施形態の概略断面図を示す。

30

【図2】第1実施形態におけるテストマスクの断面図を示す。

【図3】第2実施形態におけるテストマスクの断面図を示す。

【図4】第3実施形態におけるテストマスクの断面図を示す。

【図5a】第1実施形態における強度センサの断面図を示す。

【図5b】第2実施形態における強度センサの断面図を示す。

【図5c】第3実施形態における強度センサの断面図を示す。

【図6a】第1実施形態におけるさらに別の強度センサの断面図を示す。

【図6b】第2実施形態におけるさらに別の強度センサの断面図を示す。

【図7】本発明による装置の第2実施形態の断面図を示す。

40

【図8】本発明による装置の第3実施形態の断面図を示す。

【図9】本発明による装置の第4実施形態の断面図を示す。

【図10】本発明による装置の第5実施形態の断面図を示す。

【図11】投影光学系と、これに組み込まれた投影光学系の光学特性を測定する本発明による装置とを有する、本発明によるマイクロリソグラフィ投影露光装置の例示的な実施形態の概略断面図を示す。

【図12】強度センサを組み込んだ図11に示す投影露光装置の放射源の一実施形態の概略断面図を示す。

【図13】強度センサを組み込んだ図11に示す投影露光装置の放射源のさらに別の実施形態の断面図を示す。

50

## 【発明を実施するための形態】

## 【0044】

以下に記載する例示的な実施形態又は実施形態又は変形実施形態において、相互に機能的又は構造的に同様の要素には、できる限り同一又は同様の参照符号を設ける。したがって、特定の例示的な実施形態の個々の要素の特徴を理解するためには、他の例示的な実施形態の説明又は本発明の概要を参照されたい。

## 【0045】

説明を容易にするために、図中に直交  $x$   $y$   $z$  座標系を示し、この座標系から図示のコンポーネントの各位置関係が明らかとなる。図1において、 $y$  方向は図平面に対して垂直に延び、 $x$  方向は右側に延び、 $z$  方向は上方に延びる。

10

## 【0046】

図1は、マイクロリソグラフィ投影露光装置の投影光学系の形態の光学結像系12の光学特性を測定する本発明による装置10の第1実施形態を示す。本例示的な実施形態では、計測対象の光学系はEUV放射線、すなわち100nm未満の、例えば13.5nm~6.8nmの波長を有する極紫外線用に設計されている。光学結像系12は、この目的で、ミラーの形態の単に反射型の光学素子を備える。光学結像系12の光軸13に加えて、図1は、光学結像系12の瞳36を画定する開口絞り36も示す。本発明による装置10で測定される光学特性は、特に光学結像系12の波面収差挙動又は光学結像系の瞳分解透過挙動であり得る。

## 【0047】

20

本明細書の概要部分すでに説明したように、瞳分解透過挙動は、当該技術分野では「アポダイゼーション」とも称する。しかしながら、ここで留意すべきなのは、この場合の用語「アポダイゼーション」が、この点について多くの教本に明記されていると共にエアリーディスクの外側の環が抑えられて分解能を犠牲にして像のコントラストを改善する、光学フィルタリング法を指すのではないことである。そうではなく、本願において上述した用語「アポダイゼーション」は、光学結像系の瞳分解透過挙動、特に瞳36の中央を通る光線（中心光線）の透過挙動と瞳36の縁を通る光線（周縁光線）の透過挙動との比を意味すると理解される。

## 【0048】

30

図1に示し以下でより詳細に説明する装置10の構成は、具体的には、有効ビーム経路45に沿って進む放射線から光学結像系12の波面収差挙動を測定するよう構成される。瞳分解透過挙動の測定は、図1に示す装置をごくわずかに変更する必要があり、これは波面収差挙動の計測に関する説明の後に説明する。

## 【0049】

装置10は、放射源16及び照明系20を有する照射機構を備える。図示の実施形態によれば、放射源16は、EUV放射線の形態の電磁放射線18を発生させるよう設計されたプラズマ源を含む。電磁放射線18は、放射源16によって約1パルス/ミリ秒の繰返し率にてパルス形態で発生させる。各パルス持続時間は、ここでは数ナノ秒である。

## 【0050】

40

装置10は、光クロージャ又は「シャッタ」としても知られるものの形態のビーム遮断デバイス60をさらに備える。図1に示す実施形態では、ビーム遮断デバイス60は、放射源16と、図示の例示的な実施形態ではミラーとして設けられる照明系20との間に配置される。異なる例示的な実施形態では、照明系20は、より複雑な光学機構を含むこともできる。代替的に、ビーム遮断デバイス60は、電磁放射線18のビーム経路に沿った異なる場所に配置することもできる。ビーム遮断デバイス60は、閉鎖要素62と、閉鎖要素62を変位方向63に沿って前後に移動させることができる変位デバイス64とを備える。閉鎖要素62は、ここでは電磁放射線18のビーム経路に出入りする。結果として、電磁放射線18を、有効ビーム経路45に沿って進んだ後に遮断することができ、その結果として電磁放射線18は、時限放射線パケットとして装置10の有効検出器42に入射する。有効ビーム経路45は、放射源16から照明系20及び光学結像系12を通して

50

有効検出器 4 2 まで延びる。

【 0 0 5 1 】

装置 1 0 の動作中、ビーム遮断デバイス 6 0 を作動させて、得られる放射線パケットの最大時間長が 4 秒、特に時間長が 1 0 0 m s ~ 5 0 0 m s であるようにする。電磁放射線 1 8 は、照明系 2 0 を用いて、光学結像系 1 2 の物体平面 2 2 に配置されたシアリング干渉計のコヒーレンスマスクの形態のテストマスク 2 4 へ指向される。図 1 に示す場合では、電磁放射線をテストマスク 2 4 に集束させる。電磁放射線 1 8 の入射方向は、ここではテストマスク 2 4 に対して斜め、すなわちテストマスク 2 4 に対する法線からずれた入射方向である。種々の変形実施形態によれば、すれば少なくとも 3 ° 又は少なくとも 1 0 ° である。シアリング干渉計は、テストマスク 2 4 、解析格子 3 8 、及び有効検出器 4 2 を備える。 10

【 0 0 5 2 】

テストマスク 2 4 は、例えば 2 次元チエス盤パターンの形態のテスト構造が配置されたテスト構造領域 2 6 を有する。図 1 に示す実施形態では、テストマスク 2 4 は透過マスクの形態である。代替的に、テストマスク 2 4 は反射マスクの形態であってもよく、この場合、装置 1 0 の構成、特に照射機構 1 4 の構成を適宜適合させなければならない。

【 0 0 5 3 】

テストマスク 2 4 は、センサ放射線 4 8 をテストマスク 2 4 に入射する電磁放射線 1 8 から逸らす分離デバイス 4 6 をテスト構造領域に有する。図示の実施形態における分離デバイス 4 6 を用いた取出しは、センサ放射線 4 8 が入射放射線 1 8 の入射方向に対する反射角度でテストマスク 2 4 によって再度発せられるよう実行される。図 2 ~ 図 4 は、上記取出し機能を実施するテストマスク 2 4 の種々の変形実施形態を示す。 20

【 0 0 5 4 】

図 2 に示す変形実施形態によれば、テストマスク 2 4 は、テスト構造領域 2 6 の領域を薄くしてメンブレン 3 2 にしたマスク基板 2 8 を含む。上述のテスト構造は、メンブレン 3 2 に導入される。メンブレン 3 2 は、第 1 スペクトル領域の入射電磁放射線 1 8 、例えば E U V 放射線に関して透過性である一方で、第 2 スペクトル領域の入射放射線 1 8 に関しては部分反射効果を有するよう構成される。第 2 スペクトル領域の放射線は、例えば 1 0 0 n m を超える波長を有する光、特に可視光であり得る。図 2 に示すメンブレン 3 2 は、この場合、放射線 1 8 から第 2 スペクトル領域の放射線をセンサ放射線 4 8 として反射することによって分離デバイス 4 6 を形成する。放射線 1 8 のうち第 1 スペクトル領域の部分は、メンブレン 3 2 を主に通過し、有効放射線 4 7 として有効ビーム経路 4 5 に沿って続く。図 2 に示すテストマスクを用いる場合、照明系 2 0 の構成中に、照明系 2 0 が第 2 スペクトル領域の放射線の成分に関して十分に高い透過率を有することに注意すべきである。 30

【 0 0 5 5 】

図 3 に示すテストマスク 2 4 の変形実施形態は、前述した第 1 スペクトル領域の放射線、特に E U V 放射線を部分的に反射する部分反射層構成 3 0 が入射放射線 1 8 に面した上側に設けられる点のみが、図 2 に示すテストマスク 2 4 とは異なる。この場合の部分反射層構成 3 0 は、分離デバイス 4 6 を形成し、例えば M o S i 層系を含むことができる。この場合、反射されたセンサ放射線 4 8 の波長は、通過する有効放射線 4 7 の波長と実質的に同じ領域にある。 40

【 0 0 5 6 】

図 4 に示すテストマスク 2 4 の変形実施形態は、部分反射層構成 3 0 ではなく蛍光層の形態の放射線変換層 3 1 を備える点のみが、図 3 によるテストマスク 2 4 とは異なる。放射線変換層 3 1 は、メンブレン 3 2 が実質的に透過させる第 1 スペクトル領域の入射放射線 1 8 の一部の波長を、放射線がメンブレン 3 2 で反射される波長に変換するよう構成される。蛍光波長とも称するこの波長は、例えば、前述した第 2 スペクトル領域にあり得る。したがって、この場合のセンサ放射線 4 8 は、メンブレン 3 2 で反射した蛍光放射線によって形成される。蛍光層は、例えば、P 4 3 、すなわちテルビウムでドープした酸硫化 50

ガドリニウム (Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>S: Tb)、又はセリウムでドープしたYAG、YAP、若しくは石英等のキャリア材料から形成することができる。

【0057】

図1にさらに示すように、カメラの形態の強度センサ50が、センサ放射線48のセンサビーム経路49に配置される。強度センサ50は、光学結像系の物体平面22内の少なくとも1つの点にある、特にテストマスク24のテスト構造領域26における少なくとも1つの点にある角度分解強度分布を記録するように、センサビーム経路49に配置される。角度分解強度分布は、物体平面22に対する入射角に応じて入射放射線18の強度を再現する。

【0058】

物体平面22における入射放射線18の角度分解強度分布は、照明系20の瞳平面における放射線18の強度分布に対応する。したがって、角度分解強度分布を記録する目的での強度センサ50の上述の配置に関して、強度センサ50を照明系20の瞳平面と共に平面に配置する可能性がある。これは、角度分解強度分布を直接記録することを可能にする。角度分解強度分布を記録するための強度センサ50の配置に関する別の可能性として、計測された強度値がレイトレーシングによって入射角依存強度分布に逆算され得る平面に強度センサ50を配置する。

【0059】

図5a～図5cは、強度センサ50の種々の変形実施形態を示す。図5aに示す変形実施形態は、図1に例として示す強度センサ50の構成に対応する。この実施形態では、強度センサ50は、集束レンズの形態の光学素子52と2次元分解検出器54とを備える。図5bに示す変形実施形態では、絞り56を用いてセンサ放射線49の角度分布のフィルタリングが行われ、これは、放射線18がテストマスク24のメンブレン32を通過する際に生じる放射線18の角度分布のフィルタリングに対応する。換言すれば、絞り56は、テストマスク24を通過した直後の放射線18の角度分布を確認することを可能にする。例えば図5aに示す変形実施形態のように、こうした絞りを用いない場合、角度分布に対するメンブレン32を通したフィルタリングの影響を計算的に考慮に入れることもできる。

【0060】

装置10が光学結像系12の瞳分解透過挙動を計測するよう設計された実施形態では、テストマスク24に対する照射機構14の相対移動を、検出系を用いて計測することができ、瞳分解透過挙動に対するその影響を適宜補正することができる。

【0061】

図5a及び図5bに示す変形実施形態における強度センサは、例えば図2及び図3に示すテストマスク24の使用時に発生するような100nmを超える波長を有する放射線、特に可視光の形態のセンサ放射線48を検出するよう設計される。センサ放射線48が100nm未満の波長、特にEUV波長を有する場合、強度センサ50は、図5cに示す変形実施形態で具現することができる。この変形では、センサ放射線48は、2次元分解検出器54に直接入射する。

【0062】

強度センサ50は、装置10において、テストマスク24のテスト構造領域26の全視野点に届くことが可能であるよう6自由度で移動可能な変位デバイス上に配置される。このようにして、各視野点に関連するセンサ放射線49の角度分布を強度センサ50の対応する位置決めによって記録することができる。

【0063】

強度センサ50に加えて、別の強度センサ51を装置10で用いることも可能である。強度センサ51は、物体平面22における入射放射線18のスポット分布又は空間分解強度分布を計測するのに役立つ。図6a及び図6bは、このような強度センサ51の2つの変形実施形態を示し、これらは、センサ放射線48の波長に応じて、一方の場合はレンズの形態の集束光学素子52を有し、他方の場合はセンサ放射線を2次元分解検出器54に

10

20

30

40

50

集束させる集束ミラー 5 8 を有する構成である。

【 0 0 6 4 】

強度センサ 5 0 を用いて、図 1 に示す照射デバイス 1 4 からテストマスク 2 4 へ放射された放射線パケットの放射エネルギーを角度分解的に、したがって光学系 1 2 の瞳 1 5 に關して分解して測定することができる。上述の解析格子 3 8 は、光学結像系 1 2 の像平面 4 0 に配置されて変位デバイス 4 1 に取り付けられ、変位デバイス 4 1 により、解析格子 3 8 が図 1 の座標系による x y 平面で、したがって光軸 1 3 に対して横方向に変位可能である。

【 0 0 6 5 】

解析格子 3 8 における回折によって発生した波を重ね合わせることによって、具体的にはテスト波を参照波に重ね合わせることによって、変更された有効放射線 3 9 が発生し、これが有効検出器 4 2 の検出器表面 4 3 上でインターフェログラム 4 4 の形態の重ね合わせパターンを形成する。

【 0 0 6 6 】

装置 1 0 は、制御デバイス 6 8 をさらに備え、制御デバイス 6 8 により、後述するように、ビーム遮断デバイス 6 0 の変位デバイス 6 4 、解析格子 3 8 の変位デバイス 4 1 、及び有効検出器 4 2 を相互に同期して動作させることができる。制御デバイス 6 8 からの制御信号に基づいて、ビーム遮断デバイス 6 0 は、電磁放射線 1 8 が時限放射線パケットとして光学系 1 2 を通過するよう電磁放射線 1 8 を周期的に順次遮断する。

【 0 0 6 7 】

放射線パケットの最大時間長は 4 秒である。一実施形態では、時間長は 1 0 0 ミリ秒～ 1 0 0 0 ミリ秒である。解析格子 3 8 は、個々の放射線パケット間で、変位デバイス 4 1 を用いて解析格子 3 8 の周期の数分の一だけ、例えば格子周期の 1 / 1 6 だけ変位させる。この場合、1 6 個のいわゆる位相ステップが実行され、位相ステップ間で、解析格子 3 8 をいずれの場合も格子周期の数分の一だけ変位させる。位相ステップは、電磁放射線 1 8 が遮断されるたびに、すなわち閉鎖要素 6 2 が閉じられるたびに位相ステップが生じるような形態で連続した放射線パケットといずれの場合も同期される。有効検出器 4 2 は、単一の位相ステップ中に生成されたインターフェログラム 4 4 が放射線パケットの全露光時間にわたって有効検出器 4 2 によって記録又は積分されるよう制御デバイス 6 8 によって制御される。

【 0 0 6 8 】

素子 2 4 、 3 8 、 4 1 、及び 4 2 を備えたシアリング干渉計の一実施形態では、テストマスク 2 4 のテスト構造領域 2 6 は 2 次元計測パターンを有し、解析格子 3 8 も同様に 2 次元構造である。この場合、解析格子 3 8 は、いずれの場合も n 個のステップで x 方向及び y 方向の両方で位相シフトする。評価デバイス 6 6 を用いて、x 方向及び y 方向の位相シフトによって生成されたインターフェログラム 4 4 からの x 方向及び y 方向の波面の偏差が計算される。2 つの偏差を積分することにより、光学結像系 1 2 を通過した後の有効放射線 4 7 の波面が計算される。

【 0 0 6 9 】

光学結像系 1 2 の収差挙動は、こうして測定された波面から確認することができる。波面を計算するためにインターフェログラム 4 4 を評価する前に、インターフェログラム 4 4 は、最初に、個々の放射線パケットについて強度センサ 5 0 によって計測された瞳分解放射エネルギーを用いて評価デバイス 6 6 において操作される。すでに述べたように、強度センサ 5 0 は、個々の位相ステップのそれぞれについて、関連する放射線パケットの各放射エネルギーを角度分解的且つ瞳分解的に計測する。計測された各瞳分解放射エネルギーは、続いて対応する放射線パケットによって生成された各インターフェログラムと関連付けられる。

【 0 0 7 0 】

インターフェログラム 4 4 の操作の第 1 実施形態では、検出器 4 2 によって取り込まれた個々のインターフェログラム 4 4 の各強度が、各インターフェログラム 4 4 と関連付け

10

20

30

40

50

られた瞳分解放射エネルギーに計算的に適合される。これは、例えば、個々のインターフェログラムが関連する各放射エネルギー分布によってさらに処理される前にこれらを分割することによって行われる。

【0071】

インターフェログラムの操作の別の実施形態では、強度センサ50を用いて測定された関連する瞳分解放射エネルギー分布の1つ又は複数の値が固定の最大分布を超えるか又は固定の最小値分布に及ばない場合に、有効検出器42を用いて記録されたインターフェログラム44が廃棄される。廃棄されたインターフェログラム44の計測が繰り返される。別の実施形態では、記録されたインターフェログラム44の評価において、数学的基準に基づいて、各インターフェログラム44を光学結像系12の光学特性の測定に用いるか、その代わりに廃棄するかが決定される。これは、完全な個別計測(full individual measurement)にも関係し得る。特に、インターフェログラムから計算された波面の偏差又は偏差から計算された波面を削除することも可能である。

【0072】

上述のように解析格子38がn個の異なる位相ステップにおいて格子周期の数分の一だけ変位することは、いわゆる「低速位相シフト(slow phase shifting)」とも称する。さらに、テストマスク24のテスト構造領域26及び解析格子38の両方が2次元構成を有するシアリング干渉計の実施形態では、いわゆる「高速位相シフト(fast phase shifting)」がさらに実行される。

【0073】

装置10が光学結像系12の瞳分解透過挙動の計測に用いるためのものである場合、例えばホールマスクのピンホールの形態の点型テスト構造の2次元配置を有するマスクがテストマスク24として用いられる。有効検出器42は、像平面40にある有効放射線47の角度分布が検出器表面43上で可視となるように、像平面40のはるかに下に配置される。この目的で、有効検出器42は、例えば、光学結像系12の瞳平面と共に平面に配置することができる。解析格子38は、ここでは像平面40に残っていても除去されてもよい。

【0074】

評価デバイス66は、続いて強度センサ50によって記録された角度分解強度分布を有効検出器42によって記録された強度分布と比較し、偏差があればそれに基づいて、光学結像系12の瞳分解透過挙動を測定する。こうして、強度センサ50によって計測された強度分布に基づいて、有効検出器42によって計測された光学系全系のアポダイゼーションに対する光学結像系12の寄与を計測することが可能である。光学系全系は、この状況では照射機構14及び光学結像系12を含む。

【0075】

図7は、強度センサが照明系20に組み込まれた装置10のさらに別の実施形態を示す。照明系20は、この実施形態では照明モジュール70を備え、これは、原理上はその構成に関して米国出願第2006/0109544号明細書の図8から当業者には既知である。放射源16が発生させた電磁放射線18は、照明モジュール70を通って進む。実施形態に応じて、電磁放射線18は、最初に照明モジュール70の上流に接続された別の照明モジュール71を通って進む。照明モジュール70は、波面形成散乱構造74を有する基板72と、回折集束構造を有する反射動作する多層構成の形態の集束素子76とを備える。集束素子76は、散乱構造74からの放射線18を同様に基板72に配置されたテスト構造領域26に集束させる。基板72は、散乱構造74及びテスト構造領域26に共通のキャリアとして働き、したがって同時に図1に示すテストマスク24を形成する。

【0076】

光学結像系12、解析格子38、及び有効検出器42は、図1に示す実施形態と同様に基板72のテスト構造領域26の下に配置される。センサ放射線48を取り出す分離デバイス46が、特に図2～図4を参照して前述した変形形態と同様に基板72のテスト構造領域26に組み込まれる。反射角でテスト構造領域26が発したセンサ放射線48は、照

10

20

30

40

50

明モジュール 70 の集束素子 76 で反射し、その下に配置された強度センサ 50 へ指向される。

【 0 0 7 7 】

図 8 は、本発明による装置 10 のさらに別の実施形態を示す。これは、強度センサ 50 がテストマスク 24 より上に配置されるのではなく、解析格子 38 の下に配置された一体型検出器 80 に有効検出器 42 と共に組み込まれる限り、図 1 に示す実施形態とは異なる。有効放射線 47 は、第 1 スペクトル領域の放射線、特に EUV 放射線であり、図 1 を参照してすでに説明したように、対応する評価のために有効検出器 42 上でインターフェログラム 44 を生成する。照射機構 14 は、これが発した放射線 18 がより大きな波長を有する第 2 スペクトル領域の放射線、例えば 100 nm を超える波長を有する光、特に可視光も放射するようさらに構成され、この放射線は、続いてセンサ放射線 48 として用いられる。センサ放射線 48 の波長がより大きいことにより、上記センサ放射線 48 は、有効放射線 47 よりも強く解析格子 38 で回折する。

【 0 0 7 8 】

照射機構 14 は、放射線 18 のビーム経路に配置された周波数フィルタ 78 をさらに備える。上記周波数フィルタは、例えば、ジルコニウムフィルタ又はメッシュグリッドを含み、明確な縁を有する瞳を検出器 80 上の強度センサ 50 として働く領域で検出できるようセンサ放射線 48 の帯域幅を制限するよう構成される。センサ放射線 48 の瞳は、相互に空間的に分離されているので、インターフェログラムを形成しない。解析格子 38 で始まり且つ図 8 の断面図で有効放射線 47 に対して左側及び右側に示すセンサ放射線 48 の放射コーンは、例えば、解析格子 38 でのセンサ放射線 48 の +1 次又は -1 次の回折によって形成される。センサ放射線 48 の 0 次の回折は、検出器 80 のうち有効検出器 42 として働く領域に入射し、有効検出器信号の計測における一定の地盤 (underground) を形成する。センサ放射線 48 の瞳の時間分解強度分布を用いて、インターフェログラム 44 の強度を較正することができる。こうして、よりよい再現性を達成することが可能である。

【 0 0 7 9 】

図 9 は、本発明による装置 10 のさらに別の実施形態を示す。これは、強度センサ 50 がテストマスク 24 より上に配置されるのではなく、下に、すなわち結像系 12 の側に配置される限り、図 1 に示す実施形態とは異なる。強度センサ 50 は、ここでは、より高次の回折からテスト構造領域 26 で発生した光を取り込むことができるよう配置される。したがって、より高次の回折から発生した光は、センサ放射線 48 として働く。このようにより高次の回折光は、+/-4 次の回折及び / 又は絶対値に関してより大きな次数の回折で発生した光を意味すると理解される。上記のより高次の回折は、光学結像系 12 よりも大きな開口を有し、したがって光学結像系 12 によって概して遮られるので有効検出器 42 に届かない。強度センサ 50 は、図 9 に示すように、テストマスク 24 と光学結像系 12 との間の領域に、又は結像系 12 の光学素子のマウントに配置することができる。結像系 12 の光学素子のマウントにおける強度センサ 50 のこのような配置は、マイクロソリューション投影露光装置への装置 10 の組み込みと共に、投影露光装置の動作中の露光エネルギーの制御を可能にする。

【 0 0 8 0 】

図 10 は、本発明による装置 10 のさらに別の実施形態を示す。これは、テストマスク 24 が透過の代わりに反射動作し、強度センサ 50 がテストマスク 24 のうち照射機構 14 からの放射線 18 を照射される側とは反対側に位置する側に配置される限り、図 1 に示す実施形態とは異なる。図 10 に示す実施形態におけるテストマスク 24 は、キャリア素子 86 と、テストマスク 24 のうち照射機構 14 及び光学結像系に面した表面を形成する多層構成 82 とを備える。多層構成 82 は、MoSi 層系として設計することができ、EUV 放射線の形態の入射放射線 18 を高効率で反射するよう構成される。多層構成 82 と入射放射線 18 に関して不透過性であるキャリア素子 86 との間には、多層構成 82 を通過する放射線 18 の一部をキャリア素子 86 が透過させる波長を有する放射線に変換する

10

20

30

40

50

よう構成されたシンチレータ層 8 4 が配置される。この波長変換された放射線は、続いてセンサ放射線 4 8 としてキャリア素子 8 6 を通過し、強度センサ 5 0 によって記録される。

#### 【 0 0 8 1 】

図 1 に示す、又は別の上述の実施形態による装置 1 0 は、マイクロリソグラフィ投影光学系等の個々の光学結像系 1 2 を計測するために研究室で投影露光装置とは独立して用いることができるよう構成される。代替的な実施形態では、装置 1 0 は、マイクロリソグラフィ投影露光装置に組み込まれる。

#### 【 0 0 8 2 】

図 1 1 は、図 1 に示す装置 1 0 に関してわずかに変更した実施形態における装置 1 0 を組み込んだ、EUV 波長域で動作するマイクロリソグラフィ投影露光装置 1 0 0 の実施形態を示す。投影露光装置 1 0 0 は、ステッパ又はスキャナとして設計され得る。図 1 1 に示す装置 1 0 は、コヒーレンスマスク 2 4 が透過マスクではなく反射マスクとして設計される点、及びビーム遮断デバイス 6 0 が照明系 2 0 の照明ミラーの上流ではなく照明系 1 2 0 の照明ミラーとテストマスク 2 4 との間に配置される点で、図 1 に示す装置 1 0 とは異なる。

#### 【 0 0 8 3 】

放射源 1 1 6 及び照明系 1 2 0 は、投影露光装置 1 0 0 の露光動作中に製品マスクを露光する投影露光装置 1 0 0 の照明機構 1 1 4 の一部である。投影露光装置 1 0 0 は、「レチクルステージ」とも称するマスクステージ 1 2 5 を備える。本発明による計測法の実施中、テストマスク 2 4 はマスクステージ 1 2 5 によって保持される。図 1 1 は、複数の反射光学素子 1 1 3 を備えた例示的な投影光学系 1 2 を示す。

#### 【 0 0 8 4 】

投影露光装置 1 0 0 は、基板ステージ 1 4 4 をさらに備え、これは、「ウェーハステージ」と称することもでき、その上に投影露光装置 1 0 0 の露光動作中に露光すべきウェーハが配置される。図示の実施形態では、有効検出器 4 2 は、基板ステージ 1 4 4 の周辺領域に組み込まれる。

#### 【 0 0 8 5 】

図 1 2 は、図 1 1 で説明したタイプの投影露光装置 1 0 0 の放射源 1 1 6 を示し、この放射源 1 1 6 は、例えば米国特許第 8,102,511 号明細書の図 2 から当業者には既知である。放射源 1 1 6 は、例えばプラズマ源の形態のビーム発生ユニット 1 1 8 と、放射線コレクタ 1 2 1 と、回折格子を組み込んだ反射動作するスペクトルフィルタ 1 2 3 とを備える。ビーム発生ユニット 1 1 8 での発生後、放射線 1 8 は、放射線コレクタ 1 2 1 を通過してからスペクトルフィルタ 1 2 3 の回折格子で反射される。この過程で 0 次の回折で反射される放射線は、その後、図 1 2 には示されていない照明系に使用放射線 4 7 として入る。本発明による一実施形態によれば、強度センサ 5 0 がスペクトルフィルタ 1 2 3 より上に配置されることで、スペクトルフィルタ 1 2 3 の回折格子で反射された放射線 1 8 の、0 次の回折とは異なるより高次の回折が、センサ放射線 4 8 として強度センサ 5 0 によって記録される。

#### 【 0 0 8 6 】

図 1 3 は、例えば米国出願第 2012/0182537 号明細書の図 2 から当業者には既知である放射源 1 1 6 を示す。米国特許第 8,102,511 号明細書の図 2 によれば、これは、実質的にスペクトルフィルタ 1 2 3 が反射の代わりに透過動作する点で、図 1 2 に示す放射源 1 1 6 とは異なる。図 1 1 に示す本発明による実施形態によれば、強度センサ 5 0 は、スペクトルフィルタ 1 2 3 を通過してより高次の回折で発生したセンサ放射線 4 8 を強度センサ 5 0 によって取り込むのに適した位置に配置される。

#### 【 符号の説明 】

#### 【 0 0 8 7 】

1 0 光学特性を測定する装置

1 2 光学結像系

10

20

20

30

40

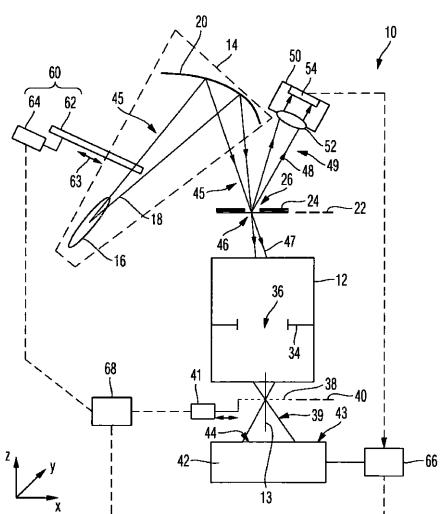
50

1 3	光軸	
1 4	照射機構	
1 6	放射源	
1 8	電磁放射線	
2 0	照明系	
2 2	物体平面	
2 4	テストマスク	
2 6	テスト構造領域	
2 8	マスク基板	
3 0	部分反射層構成	10
3 1	放射線変換層	
3 2	メンブレン	
3 4	開口絞り	
3 6	瞳	
3 8	解析格子	
3 9	変更された有効放射線	
4 0	像平面	
4 1	変位デバイス	
4 2	有効検出器	
4 3	検出器表面	20
4 4	インターフェログラム	
4 5	有効ビーム経路	
4 6	<u>分離</u> デバイス	
4 7	有効放射線	
4 8	センサ放射線	
4 9	センサビーム経路	
5 0	強度センサ	
5 1	さらに別の強度センサ	
5 2	光学素子	
5 4	2次元分解検出器	30
5 6	絞り	
5 8	集束ミラー	
6 0	ビーム遮断デバイス	
6 2	閉鎖要素	
6 3	変位方向	
6 4	変位デバイス	
6 6	評価デバイス	
6 8	制御デバイス	
7 0	照明モジュール	
7 1	さらに別の照明モジュール	40
7 2	基板	
7 4	散乱構造	
7 6	集束素子	
7 8	周波数フィルタ	
8 0	一体型検出器	
8 2	多層構成	
8 4	シンチレータ層	
8 6	キャリア素子	
1 0 0	投影露光装置	
1 1 3	反射光学素子	50

- 1 1 4 照射機構  
 1 1 6 放射源  
 1 1 8 放射線発生ユニット  
 1 2 0 照明系  
 1 2 1 放射線コレクタ  
 1 2 3 スペクトルフィルタ  
 1 2 5 マスクステージ  
 1 4 4 基板ステージ

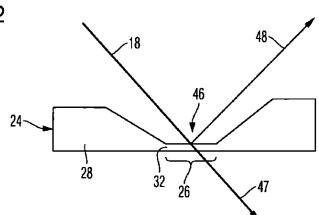
【図 1】

Fig. 1



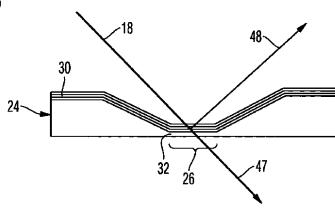
【図 2】

Fig. 2



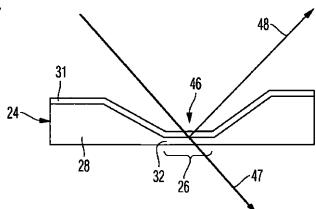
【図 3】

Fig. 3

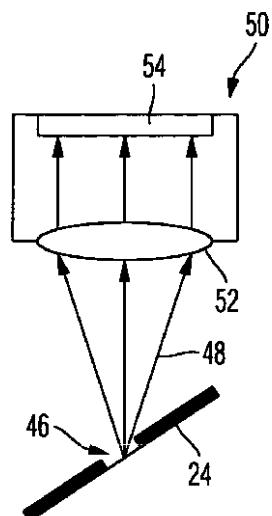


【図 4】

Fig. 4

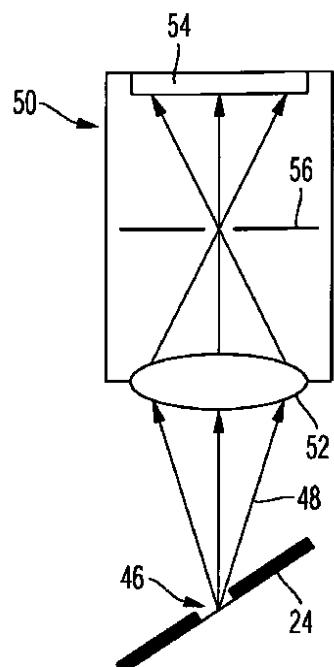


【図 5 ( a )】



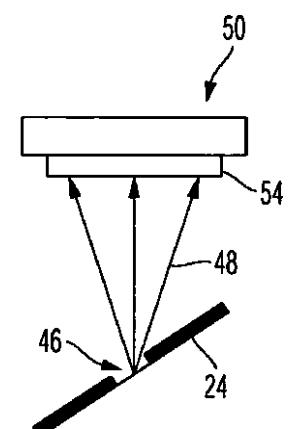
(a)

【図 5 ( b )】



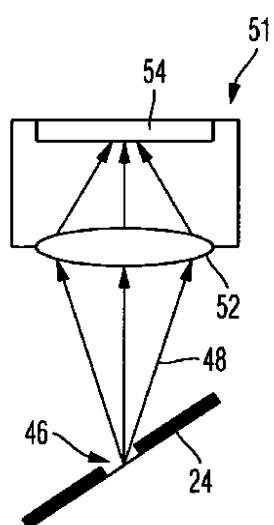
(b)

【図 5 ( c )】



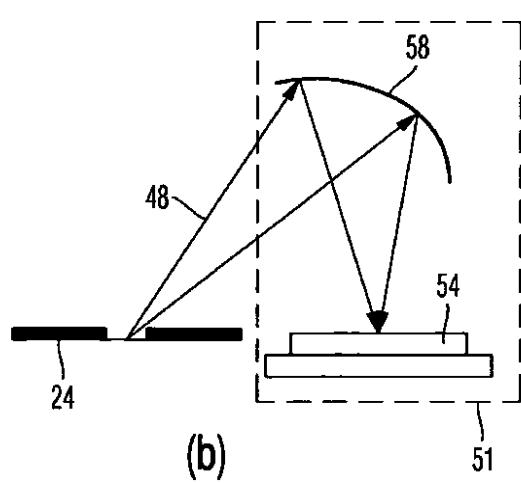
(c)

【図 6 ( a )】



(a)

【図6 (b)】



(b)

【図7】

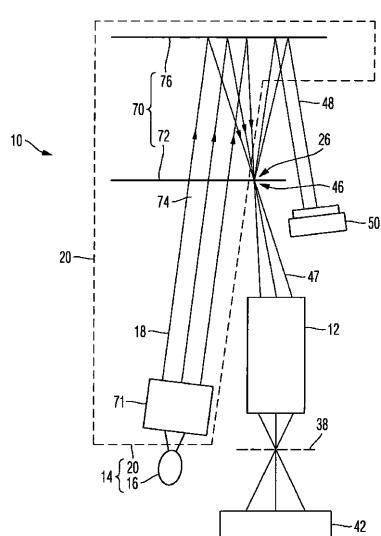
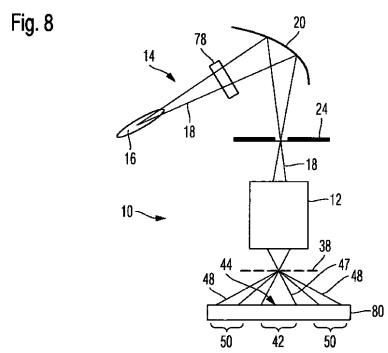


Fig. 7

【図8】



【図9】

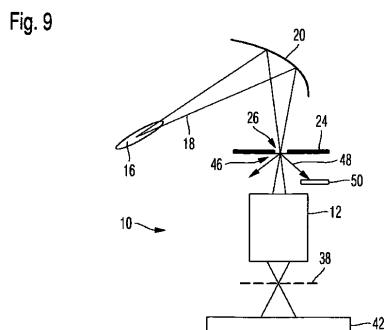


Fig. 9

【図10】

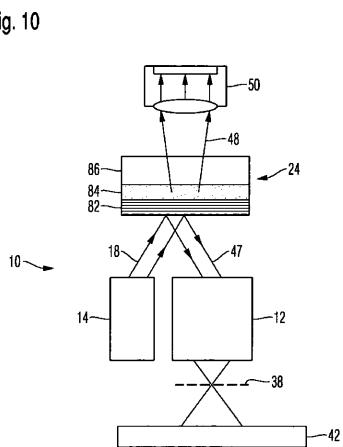
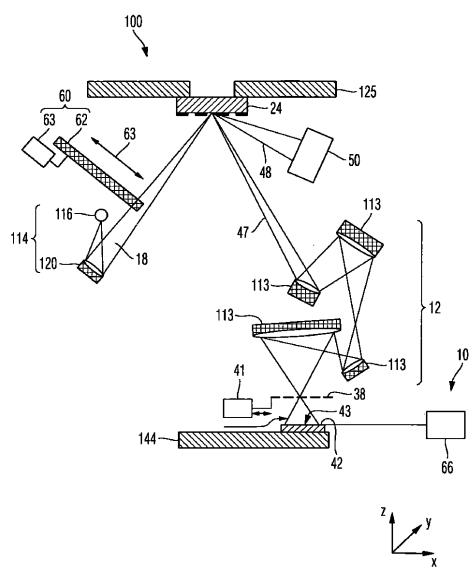


Fig. 10

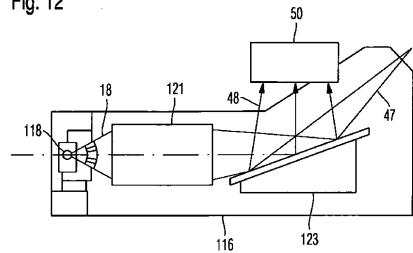
【図11】

Fig. 11



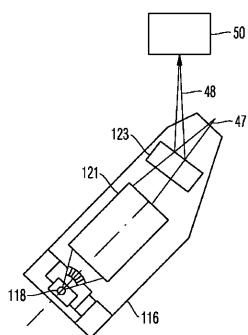
【図12】

Fig. 12



【図13】

Fig. 13



---

フロントページの続き

(72)発明者 マルクス ゲッパート

ドイツ国 76131 カールスルーエ マンハイマー シュトラーセ 73

(72)発明者 ヘルムート ハイドナー

ドイツ国 73430 アーレン ヤーコブ シュヴァイカー シュトラーセ 33

審査官 田口 孝明

(56)参考文献 特開2004-289123(JP, A)

特開2006-080446(JP, A)

国際公開第2005/031466(WO, A1)

特開2002-110540(JP, A)

国際公開第2012/013320(WO, A2)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

IPC H01L 21/30、

21/027、

21/46、

G03F 7/20 - 7/24、

9/00 - 9/02