

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2016-502136

(P2016-502136A)

(43) 公表日 平成28年1月21日(2016.1.21)

(51) Int.Cl.		F I				テーマコード (参考)
G03F 7/20	(2006.01)	G03F 7/20		503		2H052
G02B 19/00	(2006.01)	G02B 19/00				2H197

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2015-541074 (P2015-541074) (86) (22) 出願日 平成25年10月25日 (2013.10.25) (85) 翻訳文提出日 平成27年5月1日 (2015.5.1) (86) 国際出願番号 PCT/EP2013/072427 (87) 国際公開番号 W02014/072190 (87) 国際公開日 平成26年5月15日 (2014.5.15) (31) 優先権主張番号 102012220465.2 (32) 優先日 平成24年11月9日 (2012.11.9) (33) 優先権主張国 ドイツ (DE) (31) 優先権主張番号 61/724,398 (32) 優先日 平成24年11月9日 (2012.11.9) (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 100092093 弁理士 辻居 幸一 (74) 代理人 100082005 弁理士 熊倉 禎男 (74) 代理人 100067013 弁理士 大塚 文昭 (74) 代理人 100086771 弁理士 西島 孝喜
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 EUVコレクター

(57) 【要約】

EUVコレクター(15)は、EUV放射線源(3)からのEUV放射線(14)を照明遠視野(17a)内に伝達するように機能する。コレクター(15)は、法線入射のための少なくとも1つのミラー(23)を含む少なくとも1つの法線ミラーコレクターサブユニット(23)を有する。更に、コレクター(15)は、かすめ入射のための少なくとも1つのミラー(30)を含む少なくとも1つのかすめ入射ミラーコレクターサブユニット(30)を有する。コレクターサブユニット(23, 30)の配置は、少なくとも同じく法線ミラーコレクターサブユニット(23)での反射によって生成される内側の法線ミラー強度分布と、少なくとも同じくかすめミラーコレクターサブユニット(30)での反射によって生成される外側のかすめミラー強度分布とで構成される遠視野(17a)にわたるEUV放射線(14)の全体強度分布がもたらされるようなものである。全体強度分布は、全遠視野(17a)の40%よりも大きい少なくとも全遠視野(17a)の区画にわたって遠視野(17a)のこの区画内の平均強度から20%未満だけずれる

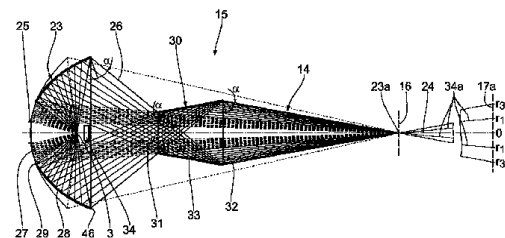


Fig. 2

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

EUV放射線源(3)からのEUV放射線(14)を照明遠視野(17a)内に伝達するためのEUVコレクター(15)であって、

前記放射線源(3)からの前記EUV放射線(14)を前記照明遠視野(17a)に伝達する法線入射のための少なくとも1つのミラー(23; 23, 45)を含む少なくとも1つの法線入射ミラーコレクターサブユニット(23; 44; 49)を含み、

前記放射線源(3)からの前記EUV放射線(14)を前記照明遠視野(17a)に伝達するかすめ入射のための少なくとも1つのミラー(30; 30, 36, 37; 30, 36, 37, 42, 43; 30, 48; 30, 51)を含む少なくとも1つのかすめ入射ミラーコレクターサブユニット(30; 35; 41; 47; 50)を含み、

前記コレクターサブユニット(23, 30; 23, 35; 23, 41; 44, 47; 49, 30; 49, 50)の配置が、異なるコレクタービーム経路を通して少なくとも同じく前記法線入射ミラーコレクターサブユニット(23; 44; 49)での反射によって生成される法線入射ミラー強度分布(I_N)と、少なくとも同じく前記かすめ入射ミラーコレクターサブユニット(30; 35; 41; 47; 50)での反射によって生成されるかすめ入射ミラー強度分布(I_G)とで構成される前記遠視野(17a)にわたる前記EUV放射線(14)の全体強度分布($I(r)$)がもたらされるようなものであり、全体遠視野(17a)の40%よりも大きい少なくとも該遠視野(17a)の区画($r_1 < r < r_3$)にわたる該全体強度分布($I(r)$)は、該遠視野(17a)の該区画($r_1 < r < r_3$)内の平均強度($C \cdot I_{max}$)から20%未満だけずれる、

ことを特徴とするコレクター(15)。

【請求項 2】

前記遠視野(17a)内で前記法線入射ミラー強度分布(I_N)が前記かすめ入射ミラー強度分布(I_G)内に連続的に融合するような前記コレクターサブユニット(23, 30; 23, 35; 23, 41; 44, 47; 49, 30; 49, 50)の配置を特徴とする請求項1に記載のコレクター。

【請求項 3】

前記法線入射ミラー強度分布(I_N)を生成する前記コレクタービーム経路の前記EUV放射線(14)の反射の回数が、前記放射線源(3)と下流に配置することができる該EUV放射線(14)のためのビーム案内構成要素(17)との間で前記かすめ入射ミラー強度分布(I_G)を生成する該コレクタービーム経路の該EUV放射線(14)の反射の回数からずれるような前記コレクターサブユニット(23, 35; 23, 41; 44, 47)の配置を特徴とする請求項1又は請求項2に記載のコレクター。

【請求項 4】

前記EUV放射線(14)は、コレクター(15)の中心軸(24)に関して内側と外側の両方から前記コレクターサブユニット(47)のうちの1つのミラー(30, 48)上に入射することを特徴とする請求項1から請求項3のいずれか1項に記載のコレクター。

【請求項 5】

前記サブユニットのうちの少なくとも1つ(50)が、外乱光の異なる成分を抑制するための異なる格子周期を有する回折格子(59, 60)を有することを特徴とする請求項1から請求項4のいずれか1項に記載のコレクター。

【請求項 6】

少なくとも1つのサブユニット(35)に連続して入射される異なるミラー(36, 37)が、外乱光の異なる成分を抑制するための異なる格子周期を有する回折格子(59, 60)を有することを特徴とする請求項5に記載のコレクター。

【請求項 7】

コレクター(15)によって集光されるEUV放射線(14)を照明光として案内するための少なくとも1つのファセットミラー(17, 18)を有する結像光学ユニット(9

10

20

30

40

50

）によって結像することができる物体視野（５）を照明するための請求項１から請求項６のいずれか１項に記載のコレクター（１５）、

を含むことを特徴とする照明光学ユニット（４）。

【請求項８】

前記ファセットミラー（１７）の全体反射面（５３）の外側輪郭（５５）が、該ファセットミラー（１７）の場所での前記コレクター（１５）の照明遠視野（１７ａ）の外側強度領域（５６）と少なくとも同じサイズのものであることを特徴とする請求項７に記載の照明光学ユニット。

【請求項９】

請求項１から請求項８のいずれか１項に記載の照明光学ユニットを含み、かつ
少なくとも１つのＥＵＶ放射線源（３）を含む、
ことを特徴とする照明系。

10

【請求項１０】

請求項９に記載の照明系を含み、
物体視野（５）を像視野（１０）内に結像するための結像光学ユニット（９）を含む、
ことを特徴とする投影露光装置（１）。

【請求項１１】

微細構造化構成要素を生成する方法であって、
レチクル（７）を与える段階と、
照明光ビーム（１４）に対して感光性であるコーティングを有するウェーハ（１２）を
与える段階と、

20

請求項１０に記載の投影露光装置を用いて前記レチクルの少なくとも１つの区画を前記ウェーハ（１２）上に投影する段階と、

前記ウェーハ（１２）上に前記照明光ビーム（１４）によって露光された前記感光層を現像する段階と、

を含むことを特徴とする方法。

【請求項１２】

請求項１１に記載の方法に従って生成された構成要素。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【０００１】

ドイツ特許出願ＤＥ １０ ２０１２ ２２０ ４６５．２の内容が引用によって本明細書に組み込まれている。

【０００２】

本発明は、ＥＵＶ（極紫外）放射線源からの放出光を主焦点内に伝達するためのコレクターに関する。本発明は、更に、そのようなコレクターを含む照明光学ユニット、そのような照明光学ユニットを含む照明系、そのような照明系を含む投影露光装置、そのような投影露光装置を用いて微細又はナノ構造化構成要素を生成する方法、及び本方法によって生成される構成要素に関する。

【背景技術】

40

【０００３】

冒頭に示したタイプのコレクターは、ＷＯ ２０１１／１３８２５９ Ａ１、ＵＳ ７, ０７５, ７１２ Ｂ２、ＵＳ ７, ５０１, ６４１ Ｂ２、ＵＳ ２００６／０１７６ ５４７ Ａ１、ＵＳ ２００６／０１２０４２９ Ａ１、ＵＳ ７, ０７５, ７１３ Ｂ２、ＥＰ １ ４６９ ３４９ Ａ１、ＵＳ ２００８／０２６６６５０ Ａ１、及びＷＯ ２００９／０９５２２０ Ａ１から公知である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００４】

【特許文献１】 ＤＥ １０ ２０１２ ２２０ ４６５．２

50

【特許文献2】WO 2011/138259 A1
【特許文献3】US 7,075,712 B2
【特許文献4】US 7,501,641 B2
【特許文献5】US 2006/0176547 A1
【特許文献6】US 2006/0120429 A1
【特許文献7】US 7,075,713 B2
【特許文献8】EP 1 469 349 A1
【特許文献9】US 2008/0266650 A1
【特許文献10】WO 2009/095220 A1
【特許文献11】WO 2012/126867 A1

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本発明の目的は、下流に配置された照明光学ユニットに対するビーム案内に課せられた要件が軽減されるようにコレクターを改善することである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明によると上述の目的は、請求項1に記載の特徴を含むコレクターを用いて達成される。

【0007】

20

本発明により、一方で法線入射のための少なくとも1つのミラーを含むサブユニットと、他方でかすめ入射のための少なくとも1つのミラーを含むサブユニットとへのコレクターの再分割により、コレクターによって生成される照明遠視野をその全体強度分布に関して予め定められた値への適応化に対して目標を定めた方式で適応させる可能性を提供することが認識されてきた。一例として、特に均一な全体強度分布を有する照明遠視野を達成することができる。それによってコレクターの下流に配置された照明光学ユニットの要件、特に、下流に配置されたミラーアレイの個々のミラーに対する傾斜角要件は、この場合に、照明視野を照明するための照明要件に準拠することに関して譲歩を行う必要なく軽減される。特に、部分的に一定の遠視野強度密度を有する照明遠視野を与えることができる。一定の遠視野強度密度は、特に照明遠視野の外側強度領域に至るまで生成することができる。それによって使用可能EUV放射線を遠視野全域に存在させることができる。ここで、照明遠視野にわたる強度分布は、遠視野の区域にわたって測定される放射線源強度の面密度として決定することができる。特に、目標を定めた遠視野分布を設定することができる。この設定は、例えば、コレクターの下流に配置された光学ユニットのテレセントリック性誤差を補償するために使用することができる。法線入射ミラーコレクターサブユニットは、放射線源の最も近くに配置されたミラー区画を有することができる。このミラー区画は、放射線源から比較的遠くに離して配置することができる。コレクターサブユニットの反射層の設計を用いて、関連する強度密度の損失を補償することができる。EUV放射線源によって放出される全EUV放射線のうちで少なくとも捕捉される立体角セグメントに対する照明ビーム経路を2つの中間フォーカスを通して案内することができる。異なるコレクタービーム経路を通して含まれる少なくとも1つの法線入射ミラー強度分布と少なくとも1つのかすめ入射ミラー強度分布とへの遠視野強度分布の再分割により、照明放射線経路を遠視野に向けて相応に案内することにより、放射線源から得られる立体角内のギャップを閉じることができる。コレクターによって均一な照明遠視野が生成される限り、特に、視野ファセットミラーと瞳ファセットミラーとを有する下流の照明光学ユニットの使用により、個々のファセットは、平均入射角からのそれぞれの入射角の偏差を殆ど伴わずに入射を受けることができる。遠視野が、照明される照明視野内で互いの上に重ね合わされるように結像される場合に、照明光学ユニット内のビーム案内は、関連する視野ファセット結像の結像スケールの変化を殆ど伴わずに行うことができる。この変化は、±10%よりも有意に小さく、例えば、±5%よりも小さくすることができる。同じことは、

30

40

50

瞳ファセット上への中間フォーカスの結像に相応に適用される。EUVコレクターは、放射線源からのEUV放射線放出光の大きい立体角度範囲を捕捉し、異なる半空間の立体角度範囲を捕捉することができるように具現化することができる。コレクターは、そのミラー区画を保護するために、特に少なくとも1つのかすめ入射ミラーコレクターサブユニットのミラーを保護するための保護絞りとして少なくとも1つの絞りを有することができる。コレクターサブユニットのミラーは、ミラー区画上へのEUV放射線のそれぞれの入射角に合わせて異なって具現化された高反射コーティングを有することができる。高反射層は、ルテニウム層とすることができる。高反射層は、多層コーティングとすることができる。多層コーティングは、モリブデン/シリコン(Mo/Si)層とすることができる。全体的に、コレクターは、小型形式で具現化することができる。コレクターの対称面に位置するか又はコレクターの対称軸、特に回転対称軸に一致することができる光軸方向のコレクターの構造長を小さくすることができる。コレクターは、中間焦点面内に比較的小さい開口数を与えることができる。それによって第1に照明光学ユニットの小型構成が可能になり、第2にコレクターの下流に配置された光学構成要素の要件が軽減される。特に、下流に配置された傾斜ミラーの傾斜角度要件、特に下流に配置された個々のミラー又は個々のファセットの傾斜角度要件が低下する。それによってこれらのミラーの効率的な冷却が可能になる。法線入射に対するミラーは、ミラーへの法線に対する反射放射線の入射角が最大で35°である場合に存在する。かすめ入射に対するミラーは、ミラーへの法線に対する入射角が少なくとも55°、好ましくは60°よりも大きく、より好ましくは65°よりも大きい場合に存在する。組み合わせられて全体強度分布を形成するそれぞれの強度分布を発生させるための異なるコレクタービーム経路に沿ったEUV放射線の反射回数は異なるとすることができる。法線入射ミラー強度分布のコレクタービーム経路は、法線入射ミラーコレクターサブユニットにおいて正確に1つの反射を有することができる。これに代えて、このコレクタービーム経路は、法線入射ミラーコレクターサブユニットでの反射と、かすめ入射ミラーコレクターサブユニットでの反射との両方を有することができる。かすめ入射ミラー強度分布に関するコレクタービーム経路は、正確に1つの反射、すなわち、かすめ入射ミラーコレクターサブユニットにおけるものを有することができる。かすめ入射ミラー強度分布に関するコレクタービーム経路は、かすめ入射ミラーにおいて複数の反射を有するか又は例えば法線入射ミラーでの反射とかすめ入射ミラーにおける少なくとも1つの反射とを有することができる。複数の反射を有するコレクタービーム経路は、異なる反射面でのそれぞれの個々の光線に対する反射の積が、予め定められた公差範囲にあるコレクタービーム経路の全ての個々の光線、又はかかわる個々の光線のうちの大部分に対して同じ値を有するように、個々の光線のかかわる入射角に関して調整することができる。かすめ入射ミラー強度分布は、反射かすめ入射ミラーが少なくとも一度かかわることによって生成される。法線入射ミラー強度分布は、反射法線入射ミラーが少なくとも一度かかわることによって生成される。原理的には、全体強度分布が、法線入射ミラーによって反射されるコレクタービーム経路だけ又はかすめ入射ミラーによって反射されるコレクタービーム経路だけによって生成されるEUVコレクター構成も可能である。この場合にも、遠視野のうちで全遠視野の40%よりも大きい区画にわたってこの遠視野区画内の平均強度から20%よりも小さくしかずれない遠視野の均一な全体強度分布を実現する可能性が提供される。この遠視野区画は、コレクターの光軸上に位置することができる遠視野の中心から進んで測定される遠視野の異なる半径の間で延びる遠視野の面積区画である。本説明では、法線入射ミラーを法線ミラーとも呼び、かすめ入射ミラーをかすめミラーとも呼ぶ。

【0008】

平均強度からの20%よりも小さい偏差が実現される遠視野区画は、全遠視野の45%よりも大きくすることができ、50%よりも大きくすることができ、55%よりも大きくすることができ、60%よりも大きくすることができ、65%よりも大きくすることができ、70%よりも大きくすることができ、更に、75%よりも大きくすることができる。この区画における平均強度からのこの区画にわたる全体強度分布の偏差は、15%よりも

10

20

30

40

50

小さくすることができ、10%よりも小さくすることができ、更に、5%よりも小さくすることができる。

【0009】

請求項2に記載の配置は、照明遠視野にわたる強度分布の特に有利なプロファイルをもたらす。

【0010】

請求項3に記載の異なる反射回数は、放出EUV放射線の大きい立体角度範囲を捕捉するのに特に適切であることが見出されている。更に、この異なる反射は、有利に法線入射に近い又は有利にかすめ入射に近いかのいずれかであるコレクターサブユニットのミラー上への入射角を有する設計の可能性をもたらす。放射線源とコレクターの下流に配置されたビーム案内構成要素との間のコレクタービーム経路に沿った反射回数Nが少なくとも2である場合(N=2)、少なくとも2つのミラー面の同時最適化によって遠視野の均一化を容易にもたすことができる。この最適化は、局所法線ベクトル、曲率、及び結像スケールを可変の反射回数及び一定でない層特性の場合でも遠視野が必要に応じて照明されるように適応させる。これに加えて、少なくとも1つの遠視野成分を生成するためにN=2である反射回数を使用することで、コレクター構造長、コレクター作動距離、コレクターの開口数、使用可能スループット(コレクターの伝達率)、及び/又は遠視野均一性に対する予め定められた値を得る上でより多くの自由選択可能設計パラメータを変更することができる。

【0011】

請求項4に記載の配置は、小型形式で実現することができる。EUV放射線は、1つの同じミラー上に内側と外側で同時に入射することができる。これに代えて、ミラーのうちの1つが内側から入射を受け、別のミラーが外側から入射を受けることができる。

【0012】

請求項5又は請求項6に記載の回折格子は、使用することができない外乱光を抑制するために効率良く使用することができる。

【0013】

請求項7に記載の照明光学ユニットの利点は、本発明によるコレクターを参照して上述したものに対応する。

【0014】

請求項8に記載のファセットミラーは、照明遠視野全域を使用する。照明遠視野の外側強度領域は、照明遠視野の最大強度密度の少なくとも5%が到達する領域である。

【0015】

請求項9に記載の照明系、請求項10に記載の投影露光装置、請求項11に記載の生成方法、及び本方法によって生成される微細又はナノ構造化構成要素の利点は、本発明によるコレクター及び本発明による照明光学ユニットを参照して上述したものに対応する。EUV放射線源は、LPP光源とすることができる。

【0016】

EUV放射線源からの放出光の効率的な集光に起因して、与えられた放射線源に対してより多くの使用光エネルギーを投影露光に利用することができる。それとは逆に、より小さい寸法を有するEUV放射線源を用いて、与えられた使用光エネルギーを達成することができる。それによって投影露光中のスループット又はEUV放射線源を与えるためのコストのいずれかが改善される。

【0017】

図面を参照して本発明の例示的实施形態を以下により詳細に説明する。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】EUV照明光学ユニットを有するEUV投影リソグラフィのための投影露光装置を通る略子午断面図である。

【図2】図1に記載の投影露光装置の無方向性EUV放射線源からの放出光を照明光学ユ

10

20

30

40

50

ニットの間中間フォーカスの場所に配置された主焦点に伝達するためのコレクターの実施形態を示す類似の子午断面図である。

【図 3】図 1 に記載の投影露光装置の無方向性 E U V 放射線源からの放出光を照明光学ユニットの間中間フォーカスの場所に配置された主焦点に伝達するためのコレクターの実施形態を示す類似の子午断面図である。

【図 4】図 1 に記載の投影露光装置の無方向性 E U V 放射線源からの放出光を照明光学ユニットの間中間フォーカスの場所に配置された主焦点に伝達するためのコレクターの実施形態を示す類似の子午断面図である。

【図 5】図 1 に記載の投影露光装置の無方向性 E U V 放射線源からの放出光を照明光学ユニットの間中間フォーカスの場所に配置された主焦点に伝達するためのコレクターの実施形態を示す類似の子午断面図である。

10

【図 6】図 1 に記載の投影露光装置の無方向性 E U V 放射線源からの放出光を照明光学ユニットの間中間フォーカスの場所に配置された主焦点に伝達するためのコレクターの実施形態を示す類似の子午断面図である。

【図 7】図 1 に記載の投影露光装置の無方向性 E U V 放射線源からの放出光を照明光学ユニットの間中間フォーカスの場所に配置された主焦点に伝達するためのコレクターの実施形態を示す類似の子午断面図である。

【図 8】図 1 に記載の投影露光装置の無方向性 E U V 放射線源からの放出光を照明光学ユニットの間中間フォーカスの場所に配置された主焦点に伝達するためのコレクターの実施形態を示す類似の子午断面図である。

20

【図 9】図 1 に記載の投影露光装置の照明光学ユニットの視野ファセットミラーの平面図である。

【図 10】図 2 から図 8 に記載の実施形態のうちの 1 つのコレクターを用いて生成することができる照明遠視野の半径方向強度分布の図である。

【図 10 A】コレクターのミラーサブユニットの配置及び成形に使用される式を導出するのに使用される変数を定めるために様式化したコレクターを通る略子午断面図である。

【図 11】図 1 に記載の投影露光装置のための照明光学ユニットの更に別の実施形態を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

30

図 1 は、マイクロリソグラフィのための投影露光装置 1 を子午断面図に略示している。投影露光装置 1 の照明系 2 は、放射線源又は光源 3 に加えて、物体平面 6 の物体視野 5 の露光のための照明光学ユニット 4 を有する。ここで、物体視野 5 に配置され、レチクルホルダ 8 (抜粋としてしか例示していない) によって保持されるレチクル 7 が露光される。投影光学ユニット 9 は、物体視野 5 を像平面 11 の像視野 10 に結像するように機能する。レチクル 7 上の構造は、像平面 11 の像視野 10 の領域に配置されたウェーハ 12 の感光層上に結像され、このウェーハは、ウェーハホルダ 13 (同じく概略的にしか例示していない) によって保持される。

【0020】

放射線源 3 は、5 nm と 30 nm の間の範囲の放出使用放射線を有する E U V 放射線源である。この放射線源は、プラズマ光源、特に L P P 光源 (レーザ生成プラズマ) とすることができる。E U V 放射線源は、例えば、G D P P 光源 (ガス放電生成プラズマ) とすることができる。放射線源 3 から射出する E U V 放射線 14 は、コレクター 15 によって集光される。以下では、E U V 放射線 14 を照明光又は結像光とも表している。コレクター 15 を図 2 により詳細に例示しており、この図に対しては、後に説明する。E U V 放射線 14 は、コレクター 15 の下流で中間焦点面 16 を通って伝播し、その後、視野ファセットミラー 17 上に入射する。視野ファセットミラー 17 は、物体平面 6 に対して光学的に共役な照明光学ユニット 4 の平面 17 a に配置される。この平面 17 a 内には、コレクター 15 によって形成される E U V 放射線 14 の照明遠視野が存在する。

40

【0021】

50

EUV放射線14は、視野ファセットミラー17の下流で瞳ファセットミラー18によって反射される。瞳ファセットミラー18は、照明光学ユニット4の瞳平面に配置され、この瞳平面は、投影光学ユニット9の瞳平面に対して光学的に共役である。瞳ファセットミラー18と、ビーム経路の順番に名付けたミラー20、21、及び22を有する伝達光学ユニット19の形態にある結像光学アセンブリとを用いて、後により詳細に説明する視野ファセットミラー17の視野ファセットが物体視野5に結像される。伝達光学ユニット19の最後のミラー22は、かすめ入射に対するミラー(「かすめ入射ミラー」)である。瞳ファセットミラー18及び伝達光学ユニット19は、照明光14を物体視野5内に伝達するための連続光学ユニットを形成する。伝達光学ユニット19は、特に瞳ファセットミラー18が投影光学ユニット9の入射瞳に配置される場合は割愛することができる。

10

【0022】

位置関係の説明を容易にするために、図1は、物体平面6と像平面11の間の投影露光装置1の構成要素の位置関係を説明するための直交xyz座標系を広域座標系として描写している。図1では、x軸は、作図面と垂直にその中に入り込むように延びている。y軸は、図1の右に向けて延びている。z軸は図1の下方に、すなわち、物体平面6及び像平面11と垂直に延びている。

【0023】

レチクルホルダ8とウェーハホルダ13は、両方共に、投影露光中にレチクル7とウェーハ12が変位方向、すなわち、y方向に一方で物体視野5により、他方で像視野10によって走査されるように制御される方式で変位可能である。以下では、変位方向yを走査方向とも表している。

20

【0024】

下記では、図2を参照してコレクター15をより詳細に説明する。コレクター15は、EUV放射線14、すなわち、無方向で放出するEUV放射線源3からの放出光を中間焦点面16内の主焦点、すなわち、中間フォーカス23aに伝達し、その後に、照明遠視野17aを生成するように機能する。

【0025】

コレクター15は、EUV放射線14が内壁上に入射する集光ミラー23の形態にある法線入射ミラーコレクターサブユニットを有する。集光ミラー23が、EUV放射線源からのEUV放射線14を直接中間フォーカス23aに伝達する場合に、EUV放射線源3は、集光ミラー23に隣接するその第1の焦点に位置するといえることができる。中間焦点面16内の中間フォーカス23aは、集光ミラー23から遠い方のその第2の焦点に位置する。

30

【0026】

集光ミラー23は、2つの焦点が乗るコレクター15の回転対称中心軸24の交点の領域内に貫通開口部25を有する。回転対称軸24をコレクター15の光軸とも表している。貫通開口部25を通して、プラズマ発生ポンプレーザ(例示していない)からのレーザ放射線を結合することができる。

【0027】

法線ミラーコレクターサブユニット23上へのEUV放射線14の個々の光線26の入射角又は反射角は、約8°と約25°の間の範囲にある。この入射角は、通例により、法線ミラーコレクターサブユニットのそれぞれの反射区画に対する法線に対する角度として示すものである。 <35°の入射角という条件が満たされることに起因して、法線ミラーコレクターサブユニット23の集光ミラーは、法線入射に対するミラーである。

40

【0028】

第1のミラー23は、内側に向けて貫通開口部25の境界を定める中心集光ミラー区画27と、この中心集光ミラー区画を取り囲む外側集光ミラー区画28とに再分割される。2つの集光ミラー区画27、28は、遷移領域29内で互いの中に継ぎ目なく融合する。集光ミラー23上への個々の光線26の入射角は、遷移領域29内で突然変化する。遷移領域29の近くでは、中心集光ミラー区画27上への入射角は約18°であり、外側

50

集光ミラー区画 28 への遷移領域 29 の近くで約 8° の値まで再度減少する。

【0029】

更に、コレクター 15 は、ほぼ切頭円錐の横面の形態に具現化されたかすみ入射に対するミラーを含むかすみ入射ミラーコレクターサブユニット 30 を有する。切頭円錐状ミラー 30 は、放射線源 3 に対面する小さめの貫通開口部 31 から中間焦点面 16 に対面するより大きい貫通開口部 32 に向けて開いている。切頭円錐状ミラー 30 の内壁 33 は、外側集光ミラー区画 28 からの EUV 放射線 14 を中間焦点面 16 内の中間フォーカスに向けて反射する。外側集光ミラー区画 28 から切頭円錐状ミラー 30 に向けて反射された個々の光線 26 は、光軸 24 と交差する。

【0030】

内壁 33 上への EUV 放射線 14 の入射角は、貫通開口部 31 の周りで最も大きく、約 75° である。他方の貫通開口部 32 に向けて、切頭円錐状ミラー 30 の内壁 33 上への EUV 放射線 14 の個々の光線 26 の入射角は、約 65° の値まで連続的に減少する。切頭円錐ミラー 30 の内壁 33 上への入射角 に対して条件 65° が満たされるので、切頭円錐状ミラー 30 は、かすみ入射に対するミラーである。

【0031】

中心集光ミラー区画 27 は、放射線源 3 からの EUV 放射線 14 を中間焦点面 16 内の中間フォーカスに直接反射し、この直接反射 EUV 放射線は、切頭円錐状ミラー 30 の両方の貫通開口部 31、32 を通過する。

【0032】

放射線源 3 とかすみミラーコレクターサブユニット 30 の間の光軸 24 の領域には、放射線源 3 からの放射線及び / 又は粒子が切頭円錐状ミラー 30 に直接到達するのを防止する保護絞り 34 が配置される。保護絞り 34 は、能動冷却方式で具現化することができる。

【0033】

図 10 は、半径 r 、すなわち、光軸 24 までの距離への EUV 放射線 14 の強度 I の依存性を略示している。最初の小さい半径値 r_0 までは、貫通開口部 25 又は保護絞り 34 による EUV 放射線 14 の中心遮蔽に起因して強度はゼロである。半径 r_0 と r_1 の間の範囲では、強度 $I(r)$ は、半径 r_0 における最大値 I_{\max} から半径 r_1 に対する値 $C \cdot I_{\max}$ までほぼ放物状に減少する。 r_0 と r_1 の間の範囲の $I(r)$ のプロファイルは、中心集光ミラー区画 27 における EUV 放射線の反射率への依存性と、局所結像スケールの変化、すなわち、前側焦点距離と後部焦点距離の比 / 前側光路と後側光路の比の変化とによって決定される。この依存性には、中心集光ミラー区画 27 の内壁の対応する高反射コーティングを用いて影響を及ぼすことができる。 0.6 と 0.8 の間の範囲にあるとすることができる定数 C の値には、例えば、コレクタービーム経路の対応する構成によって影響を及ぼすことができる。

【0034】

半径 r_1 と r_3 の間の強度 $I(r)$ の更に別のプロファイルは、値 $C \cdot I_{\max}$ において実質的に一定である。この一定のプロファイルは、入射角により、従って、第 1 に外側集光ミラー区画 28 の内壁、第 2 に切頭円錐状ミラー 30 の内壁 33 の反射面の成形によって決定される。第 1 に切頭円錐状ミラー 30 の内壁 33 上に、第 2 に外側集光ミラー区画 28 の内壁上に高反射コーティングが設けられる。照明遠視野 17a の外側強度領域は、半径 $r = r_3$ の場所に位置する。

【0035】

コレクターサブユニット 23、30 の配置は、異なるコレクタービーム経路を通して半径 r_0 と r_1 の間の法線ミラー強度分布 I_N (図 10 に実線で示す) と、半径 r_1 と r_3 の間の実質的に一定のかすみミラー強度分布 I_G (図 10 に破線及び一点鎖線で示す) とから構成される遠視野 17a にわたる EUV 放射線 14 の全体強度分布 $I(r)$ がもたらされるようなものである。法線ミラー強度分布 I_N は、法線ミラーコレクターサブユニット 23 での反射によって生成される。かすみミラー強度分布 I_G は、これに加えてかすみミラ

10

20

30

40

50

ーコレクターサブユニット 30 での反射によって生成される。その結果、第 1 に集光ミラー 23 おける反射率、第 2 に切頭円錐状ミラー 30 での反射率に適切に最適化された局所結像スケールが、 r_1 と r_3 の間の半径範囲に実質的に一定の強度 $C \cdot I_{\max}$ を生成する。

【0036】

半径 r_1 と r_3 の間では、すなわち、全遠視野 17a のうちでその 40% よりも大きい区画内では、強度分布 $I(r)$ は、遠視野のうちの半径 r_1 と r_3 の間のこの区画内の平均強度 $C \cdot I_{\max}$ から 20% よりも小さくしかずれない。図示の理想的な例では、偏差は 0 でさえある。コレクター 15 の実施形態に基づいて、平均強度からの 20% よりも小さい偏差が実現される遠視野 17a の区画は、全遠視野 17a の 45% よりも大きくすることができ、50% よりも大きくすることができ、55% よりも大きくすることができ、60% よりも大きくすることができ、65% よりも大きくすることができ、70% よりも大きくすることができ、更に、75% よりも大きくすることができる。コレクター 15 の実施形態に基づいて、この区画にわたる全体強度分布 $I(r)$ の平均強度 $C \cdot I_{\max}$ からの偏差は、15% よりも小さくすることができ、10% よりも小さくすることができ、更に、5% よりも小さくすることができる。

【0037】

法線ミラー強度分布 I_N は、半径 r_1 においてかすみミラー強度分布 I_G 内に連続的に融合する。この遷移領域内の境界ビーム経路を図 2 の 34a に破線形式に示している。

【0038】

2 回目の反射の追加により、同じ作動距離と同じ最大コレクター半径とを同時に有する連続回転楕円体 27 (図 2 に参照番号なしの細線に示す) の単独使用と比較して、中間フォーカスにおけるより小さい開口数及びより高い伝達率が得られる。ここで、2 つのサブユニット 23、30 の形態は、得られる遠視野が、この場合の中間フォーカスを廃棄する必要なく、一定の強度密度を伴って照明されるように最適化される。層の反射率は、この最適化の中に予め考慮される。追加の反射にも関わらず、均一な照明及び高い伝達率が得られる。

【0039】

均一な遠視野照明は、照明チャンネルが全て事実上同じ輝度を有するという効果を有する。従って、視野ファセットミラー 17 の視野ファセットと瞳ファセットミラー 18 の瞳ファセットとによって形成される照明チャンネルを混合することによって物体視野 5 内で互いの上に重ね合わされている照明チャンネルの強度混合を実施する必要はもはやない。ファセットミラーに対する傾斜角の要件及び入射角の負担は軽減することができる。軽減された傾斜角要件に起因して、ファセットミラーをミラー担体に熱的に十分に関連付けることができる。更に、それ程強くない混合は、第 1 に瞳ファセットミラー 18 の瞳ファセット上への放射線源 3 の結像中の結像スケール、第 2 に物体視野 5 内への視野ファセットミラー 17 の視野ファセットの結像中の結像スケールが有意には変化しないという効果を有する。従って、物体視野 5 と照明瞳の両方を高い精度で充満 / 成形することができる。軽減された傾斜角要件に起因して、物体視野 5 上への重ね合わせ結像中に視野ファセット像の互いに対する望ましくない回転を回避することができる。ファセットミラーにおけるマイクロミラーの使用により、特に矩形物体視野 5 を低い反射損失しか伴わずに生成することができる。

【0040】

上述の強度分布の方式で全体強度分布 $I(r)$ を得るようにサブユニット 23、30 の配置及び成形を設計するために、以下の手順が使用される。

【0041】

次式の微分形式のエネルギー保存則が適用可能である。

【数 1】

$$T(\theta)Q(\theta)\sin\theta d\theta d\phi = +/ - I(r)rdrd\phi \quad (1)$$

【0042】

10

20

30

40

50

上式(1)の左辺にあるものは、回転対称放出特性 $Q(\theta)$ を有する点光源によって微分立体角要素内に放出されるエネルギーに光源から目標領域までの経路上のこの光ビームの伝達率 T を乗じたものである。ここで、伝達率 T は、ミラーの反射率を含み、適切な場合はガス吸光の得られる損失を更に含む。このエネルギーは、式(1)の右辺に示す関連の目標領域、すなわち、照明遠視野17a内のエネルギーに等しくなければならない、照明遠視野17aは、望ましい強度密度又は強度分布 $I(r)$ で照明されることが更に意図される。ここで、 θ は、照明遠視野17a内の方位角である。式(1)の右辺の符号は、望ましい配置の境界条件に依存して選択される。例えば、 $d > 0$ である時に $dr < 0$ である実際に全く適切な場合が存在する。

【0043】

10

すなわち、エネルギー保存則は、求める座標変換 $r(\theta)$ を表す微分方程式を直接に生じる。

【数2】

$$\frac{dr}{d\theta} = +/ - \frac{T(\theta)Q(\theta)\sin\theta}{I(r)r} \quad (2)$$

【0044】

この変換 $r(\theta)$ を厳密にもたらす光学系を決定することが必要である。最も簡単な場合に、個々の区域は、この目的に十分である。この区域が適切にパラメータ化される場合に、第2の微分方程式がもたらされ、それと共に、次いで2つの非線形常微分方程式の連立系がもたらされる。実際問題において注目される1つの事例は、更に中間フォーカス23aを要求する場合である。中間フォーカス23aは、少なくとも2つの反射だけを用いて必要に応じて遠視野強度と合わせてもたらすことができる。この場合における例を用いて、ここで更に別の手順を以下に説明する。ここで、図10Aに示すように、法線ミラーコレクターサブユニット23の場所にあるS1とかすめミラーコレクターサブユニット30の場所にあるS2という2つのミラーは、第1のミラーS1とプラズマの間の距離 a_1 と、第2のミラーS2のz座標 z_2 とを用いてパラメータ化される。 a_1 に関する微分方程式を導出するために、ミラーS1が等ポテンシャル面($r^2 = x^2 + y^2 + z^2$)を表す関数(ψ , θ)から始める。及び ρ は、図10Aの作図面内の極座標である。ここで、 a_1 に関する微分方程式を ψ の偏微分を用いて定式化することができる。

20

30

【数3】

$$\Psi(\theta, a_1(\theta)) = \text{一定}; \frac{d\Psi(\theta, a_1(\theta))}{d\theta} = \frac{\partial\Psi}{\partial\theta} + \frac{\partial\Psi}{\partial a_1} \frac{da_1}{d\theta} = 0 \Leftrightarrow \frac{da_1}{d\theta} = - \frac{\frac{\partial\Psi}{\partial\theta}}{\frac{\partial\Psi}{\partial a_1}} \quad (3)$$

【0045】

S1は、 ψ の等ポテンシャル面であるので、このミラーに対する局所法線 \vec{n}_1

40

は、 ψ の勾配と平行でなければならない。

【数4】

$$\vec{\gamma n}_1 = \vec{\nabla}\psi|_{a_1(\theta)} = \frac{1}{a_1} \frac{\partial\Psi}{\partial\theta} \vec{e}_\theta + \frac{\partial\Psi}{\partial\rho} \vec{e}_\rho \quad (4)$$

【0046】

この式(4)では、 γ は比例定数である。

【0047】

以上により、ここで関数 ψ の偏微分を排除することができ、それによって第1のミラー

50

面に対して求める条件式がもたらされる。

【数 5】

$$\frac{da_1}{d\theta} = \frac{-1}{a_1} \frac{\vec{e}_\theta \cdot \vec{n}_1}{\vec{e}_\rho \cdot \vec{n}_1} \quad (5)$$

【 0 0 4 8 】

この例では第 2 のミラーと目標領域の間に中間フォーカス 2 3 a が要求されるので、 z_2 と r の間に単純な幾何学関係がもたらされる。

【数 6】

$$\frac{z_2 - d}{r_{s2}} = \frac{L - d}{r}, \quad z_2 = \frac{r_{s2}(L - d)}{r} + d \quad (6)$$

【 0 0 4 9 】

この場合に、 d は、光源と中間フォーカス 2 3 a の間の距離である。 r_{s2} は、ミラー S 2 の z 座標である。 L は、遠視野 1 7 a と光源 3 の間の距離である。

【 0 0 5 0 】

この関係から、ここで連鎖法則を用いて z_2 の全微分を計算することができる。

【数 7】

$$\frac{dz_2}{d\theta} = \frac{L - d}{r} \frac{dr_{s2}}{d\theta} + \frac{-r_{s2}(L - d)}{r^2} \frac{dr}{d\theta} = \frac{L - d}{r} \frac{\partial r_{s2}}{\partial z_2} \frac{dz_2}{d\theta} + \frac{-(z_2 - d)}{r} \frac{dr}{d\theta} \quad (7)$$

【 0 0 5 1 】

次いで、少しの変換により、 z_2 に関する第 3 の微分方程式がもたらされる。

【数 8】

$$\frac{dz_2}{d\theta} = \frac{-(z_2 - d)}{r - m(L - d)} \frac{dr}{d\theta}, \quad m = \frac{\partial r_{s2}}{\partial z_2} \quad (8)$$

【 0 0 5 2 】

この場合に、 m は、ミラー S 2 の面の勾配である。

【 0 0 5 3 】

式 (2)、(5)、及び (8) を使用することにより、3 つの非線形連立常微分方程式の系が陽形式で存在することになり、これらの微分方程式は、初期値問題として標準の方法で容易に解くことができる。面 S 1 に対する法線

\vec{n}_1

に対してそれにも関わらず明示的には示されていないこれらの表現式は、反射の法則から簡単な方式でもたらされる。伝達率の評価に必要とされる入射角 θ_1 及び θ_2 も同じく直接得られる。

【 0 0 5 4 】

図 3 は、コレクター 1 5 の更に別の実施形態を示している。上述した図を参照して上述したものに対応する構成要素は同じ参照番号を伴い、これらに対して再度詳細に解説することはしない。

【 0 0 5 5 】

図 3 に記載の実施形態において、一方で法線ミラーコレクターサブユニット 2 3 の集光ミラー区画 2 7 及び 2 8 と、他方ではかすみミラーコレクターサブユニットの切頭円錐状ミラー 3 0 とは、各場合に放射線源 3 によって放出される EUV 放射線 1 4 の大きい立体角を網羅する。関わっているミラー面上への個々の光線 2 6 の入射角の大きい変化が相応に生じる。外側集光ミラー区画 2 8 の外縁の領域内の最大入射角 θ_{1max} は約 28° である。貫通開口部 3 2 の領域内の切頭円錐状ミラー 3 0 の内壁 3 3 上への最小入射角 θ_{2min} は約 55° で

10

20

30

40

50

ある。従って、一方で法線入射に対して、他方でかすみ入射に対して上述の条件は、図 3 に記載のコレクター 15 の実施形態の場合にも満たされる。

【0056】

図 3 に記載の実施形態において、遠視野 17a は、図 10 に関して説明したものと質的に同じく出現する。 C 、 r_1 、及び r_3 に関する絶対値のみが相応にシフトする。

【0057】

図 4 を参照してコレクター 15 の更に別の実施形態を以下に説明する。上述した図を参照して上述したものに対応する構成要素は同じ参照番号を伴い、これらに対して再度詳細に解説することはしない。

【0058】

図 4 に記載のコレクター 15 のかすみミラーコレクターサブユニット 35 は、切頭円錐状ミラー 30 に加えて 2 つのかすみミラー区画 36、37 も含む。放射線源 3 と中間焦点面 16 内の中間フォーカスとの間には、2 つのかすみミラー区画 36、37 の入力側中間フォーカス 38 が位置する。この中間フォーカス 38 は、鮮明には定められない。中間フォーカス 38 は、空間的に放射線源 3 と切頭円錐状ミラー 30 の先行貫通開口部 31 との間に位置する。かすみミラー区画 36 は、空間的に法線ミラーコレクターサブユニット 23 の外側集光ミラー区画 28 とかすみミラー区画 37 の間に配置され、先行貫通開口部 31 の領域内で切頭円錐状ミラー 30 を取り囲む。更に別のかすみミラー区画 37 は、第 1 のかすみミラー区画 36 に直接に隣接して配置され、2 つの貫通開口部 31 と 32 の間の区画内で切頭円錐状ミラー 30 を取り囲む。

【0059】

切頭円錐状ミラー 30 及び法線ミラーコレクターサブユニット 23 は、その配置に関して、図 2 に記載のコネクタ 15 に関して上述した構成要素に対応する。1 つの相違点は、図 2 に記載の実施形態の場合の外側集光ミラー区画 28 が、図 4 に記載の集光ミラー 23 の場合に、今度は中心集光ミラー区画 27 と、図 4 に記載の実施形態の場合の更に別の外側集光ミラー区画 39 との間に配置された中間集光ミラー区画を構成する点である。

【0060】

外側集光ミラー区画 39 は、この場合に、法線ミラーコレクターサブユニット 23 の中間集光ミラー区画 28 内に更に別の遷移領域 40 を通して融合する。遷移領域 40 においても、遷移領域 29 に関して上述したように、法線ミラーコレクターサブユニット 23 上への入射角において急激な変化が発生する。

【0061】

外側集光ミラー区画 39 では、法線ミラーコレクターサブユニット 23 によって捕捉される EUV 放射線源 3 からの放出光の立体角は再度増大し、図 4 ではこれを個々の光線 26 の一点鎖線のビーム経路によって例示している。このビーム経路に沿って、EUV 放射線 14 は、最初にかすみミラーコレクターサブユニット 35 の外側かすみミラー区画 36 において、次いで、更に別のかすみミラー区画 37 で反射され、そこから中間焦点面 16 内の中間フォーカスに向けて反射される。かすみミラー 36、37 における個々の光線 26 の入射角は、ここでもまた 65° よりも大きい。

【0062】

図 4 に記載のコレクター 15 によって照明遠視野 17a 内に生成される EUV 放射線 14 の強度分布は、図 10 を参照して上述した分布に質的に対応する。遠視野 17a は、この場合に、3 つの異なるコレクタービーム経路によって生成される。半径 r_0 と r_1 の間では、遠視野 17a は、中心集光ミラー区画 27 での反射によって生成される。半径 r_1 と r_2 の間では、遠視野 17a は、切頭円錐状ミラー 30 での反射によって生成される。半径 r_2 と r_3 の間では、遠視野 17a は、かすみミラー区画 36 及び 37 でのかすみ反射によって生成される。かすみミラー区画 36 及び 37 の場合のように、2 つの連続するミラー上へのかすみ反射による光線偏向の分布は、これらのミラー上で大きい入射角をもたらす。ここで、反射率の積は、同じ全偏向角を有する個々の反射のものよりも大きい。

【0063】

図 4 に記載の実施形態の場合に、法線ミラー強度分布 I_N を生成するコレクタービーム経路における E U V 放射線の反射回数は、かすみミラー強度分布を生成するコレクタービーム経路における E U V 放射線の反射回数とは異なる。この反射面数 N は、法線ミラー強度分布に対するコレクタービーム経路の場合は $N = 1$ であり、かすみミラー強度分布 I_G に対するコレクタービーム経路の場合は $N = 2$ (図 10 に破線で示す r_1 から r_2 までの半径範囲)、又は $N = 3$ (図 10 に一点鎖線で示す r_2 と r_3 の間の半径範囲) である。

【0064】

かすみミラーコレクターサブユニット 35 のミラーは、互いに内外に位置するので、この配置を入れ子ミラー配置とも表している。

【0065】

図 5 を参照してコレクター 15 の更に別の実施形態を以下に説明する。上述した図を参照して上述したものに対応する構成要素は同じ参照番号を伴い、これらに対して再度詳細に解説することはしない。

【0066】

基本構造に関して、図 5 に記載のコレクター 15 は、図 4 に記載のものに対応する。この基本構造に加えて、図 5 に記載のコレクター 15 の場合のかすみミラーコレクターサブユニット 41 は、2 つの更に別のかすみミラー区画 42、43 を有する。これらの区画 42、43 の入力側焦点は、放射線源 3 と一致する。これらの区画 42、43 の出力側焦点の方は、中間焦点面 16 内の中間フォーカスと一致する。

【0067】

かすみミラー区画 42 は、かすみミラー区画 36 の入射側貫通開口部の領域内でかすみミラー区画 36 を取り囲む。更に別のかすみミラー区画 43 は、かすみミラー区画 37 を取り囲む。E U V 放射線 14 は、かすみミラー区画 42、43 を通して放射線源 3 から中間焦点面 16 内の中間フォーカスに向けて直接に、すなわち、法線ミラーコレクターサブユニット 23 での反射を介さずに案内される。このようにして案内される E U V 放射線 14 のビーム経路は、放射線源 3 からかすみミラー区画 42 に直接延び、そこからかすみミラー区画 43 へ、更にそこから中間焦点面 16 内の中間フォーカスに延びている。

【0068】

かすみミラー区画 36、37、42、及び 43 の場合に、E U V 放射線 14 は、各場合に内壁上に入射する。かすみミラー区画 42、43 における E U V 放射線の入射角は、ここでもまた各場合に 65° よりも大きい。

【0069】

かすみミラー区画 42、43 を使用すると、追加の第 4 のコレクタービーム経路により、遠視野 17a 内のより大きい半径の場所に更に別の遠視野区画が生成される。生成される遠視野は、ここでもまた、図 10 を参照して上述した半径方向強度分布に質的に対応する。かすみミラー区画 42、43 を使用すると、範囲 $r > r_3$ 内に強度 $I = C \cdot I_{\max}$ を有する遠視野の続き部分を生成することができる。

【0070】

図 6 を参照してコレクター 15 の更に別の実施形態を以下に説明する。上述した図を参照して上述したものに対応する構成要素は同じ参照番号を伴い、これらに対して再度詳細に解説することはしない。

【0071】

図 6 に記載のコレクターミラー 15 の場合に、法線ミラーコレクターサブユニット 44 は、図 2 に記載の実施形態に対応する集光ミラー 23 に加えて更に別の集光ミラー区画 45 も有する。集光ミラー区画 45 上への入射角は、約 $= 35^\circ$ の範囲にある。従って、上記に指定した法線入射に対する条件は、この場合にも満たされる。

【0072】

集光ミラー区画 45 は、その主開口部 46 の背後で集光ミラー 23 に続き、この場合に、この主開口部 46 の領域内では集光ミラー区画 45 の直径は集光ミラー 23 のものよりも大きく、従って、集光ミラー区画 45 は、集光ミラー 23 とは別個の構成要素を構成す

10

20

30

40

50

る。集光ミラー区画 45 は、放射線源 3 から射出する E U V 放射線 14 のより広い立体角度範囲を捕捉する。個々の光線 26 の関連のビーム経路を図 6 に一点鎖線形式で例示している。

【0073】

図 6 に記載のコレクター 15 のかすめミラーコレクターサブユニット 47 は、切頭円錐状ミラー 30 に加えて更に別のかすめミラー区画 48 も含む。かすめミラー区画 48 は、切頭円錐状ミラー 30 を取り囲む。E U V 放射線 14 は、光軸 24 に関して外側からかすめミラー 48 上に入射する。集光ミラー区画 45 上に直接入射する E U V 放射線 14 の個々の光線 26 は、集光ミラー区画 45 からかすめミラー区画 48 に向けて反射され、かすめミラー区画 48 は、E U V 放射線を更に中間焦点面 16 内の中間フォーカスに向けてかすめ方式で伝達する。

10

【0074】

図 6 に記載のコレクター 15 によって生成される照明遠視野 17 a の場合に、図 2 に記載のコレクター 15 の遠視野に加えて、範囲 $r > r_2$ (図 10 を参照されたい) 内に強度 I の遠視野成分がもたらされ、この遠視野成分は、この場合に、 $C \cdot I_{max}$ の値を有することができる。従って、図 6 に記載のコレクター 15 の照明遠視野は、ここでもまた図 10 に関して上述したものに質的に対応する。

【0075】

この過程内で焦点距離又は中間フォーカスにおける開口を変更することなしに、コレクターミラーの作動距離を増大させることも可能である。これを図 7 に記載のコレクター 15 を参照して以下に説明する。上述した図を参照して上述したものに対応する構成要素は同じ参照番号を伴い、これらに対して再度詳細に解説することはしない。

20

【0076】

図 7 に記載のコレクター 15 の法線ミラーコレクターサブユニット 49 の場合に、放射線源 3 と貫通開口部 25 の領域内の集光ミラー 49 との間の作動距離 A は、図 7 に比較目的で描写する図 2 に記載のコレクター 15 の対応する作動距離 A' と比較して有意に大きい。他の点では、図 7 に記載の実施形態は、図 2 に記載のものに質的に対応する。

【0077】

作動距離 A を増大させることにより、単位面積当たりのミラー上への汚染物の衝突が相応に低減されるので、ミラーの寿命を延長させることができる。中間フォーカスにおける開口が、増大する作動距離 A の場合に一定に保たれるように、強度密度は、他の点では図 10 に記載のものに質的に対応するそのプロファイル r_1 と r_2 の間の範囲において $C_2 > C_1$ が成り立つ値 $C_1 \cdot I_{max}$ と値 $C_2 \cdot I_{max}$ の間で一定の勾配で増大させることができる。次いで、半径 r_2 から始めて、強度 $I(r)$ を照明遠視野 17 a の縁部に至るまで $C_2 \cdot I_{max}$ において前と同じく一定にすることができる。

30

【0078】

これに代えて、強度分布 $I(r)$ をレチクル 7 の照明が可能な限り均一になるように調整することができる。同じく内部に 2 つの反射を与える入れ子コレクターが使用される場合に、一定の遠視野照明及び中間フォーカスにおける有意に小さい開口数の場合であっても、大きい作動距離を得ることができる。図 8 を参照してこれを以下に説明する。上述した図を参照して上述したものに対応する構成要素は同じ参照番号を伴い、これらに対して再度詳細に解説することはしない。

40

【0079】

図 7 に記載の実施形態とは対照的に、図 8 に記載のコレクター 15 は、切頭円錐状ミラー 30 に加えて更に別の切頭円錐状ミラー 51 を有するかすめミラーコレクターサブユニット 50 を有する。この更に別の切頭円錐状ミラー 51 は、切頭円錐状ミラー 30 の出口側貫通開口部 32 の領域に配置される。E U V 放射線は、切頭円錐状ミラー 51 の内壁 52 から反射される。E U V 放射線のビーム経路は、ここでもまた放射線源 3 から発せられ、次いで、法線ミラーコレクターサブユニット 23 の中心集光ミラー区画 27 で反射され、そこから切頭円錐状ミラー 51 の内壁 52 でかすめ方式で反射される。それによってこ

50

こでもまた、質的に図 7 に記載のコレクター 15 に関してかつ図 10 に関して上述したような強度分布を照明遠視野 17 a に達成することが可能である。特に、コレクターのこの実施形態は、光源モジュールの遠視野を全体の使用範囲にわたって一定に保つことに成功する。

【0080】

かすめミラーコレクターサブユニットのミラーに対する高反射コーティングとしてルテニウムコーティングを使用することができる。入射角が 70° よりも小さい場合に、ミラーは、2 つの異なる層タイプを用いて被覆することができる。

【0081】

特に、集光ミラー 23 の異なるミラー領域、例えば、ミラー区画 27 及び 28 にそれぞれ存在する入射角に対して EUV 放射線 14 の可能な最も高い反射を与えるために、これらの領域を異なる層タイプを用いて又は変化する層厚を有する層タイプを用いて被覆することができる。異なる層タイプの例は、WO 2012/126867 A1 によって示されている。

【0082】

コレクターが入れ子方式で具現化される場合に、例えば、 r_0 と r_3 の間の半径範囲（図 10 を参照されたい）内の異なるコレクタービーム経路間の遷移において発生する遠視野 17 a 内のギャップは、入れ子ミラー、例えば、図 4 に記載の実施形態におけるミラー 30、図 5 に記載の実施形態におけるミラー 30 及び 37、又は図 6 に記載の実施形態におけるミラー 30 の中間焦点面 16 内の中間フォーカスに対面する端部領域が面取り形式で延びるか、又は光が中間焦点面 16 内の中間フォーカスにおいて若干ぼかされることによって回避することができる。

【0083】

コレクターの異なる部分の間、例えば、遷移領域 29 又は 40 内の遷移が継ぎ目のない形式で可能ではない場合に、伝達率の代償として得られる角度スペクトル内にギャップが残される可能性がある。しかし、この場合に、ミラーは、光源モジュール、すなわち、放射線源 3 の出力における角度分布、特に照明系の第 1 のファセットの照明がギャップを持たないように成形される。

【0084】

図 10 及び図 10 A に関して上述したものと類似の方式で、関わっているミラーサブユニットの配置及び設計を予め定めるための類似の微分方程式系を図 3 から図 8 に関して上述したコレクターの幾何学形状に対して導出することができる。この関連で、いくつかの例を以下に同じく概説する。

【0085】

これまで望ましい強度 $I(r)$ だけを重視してきた。しかし、光源が非常に異方的に（ $Q(\quad)$ 内に大量の構造がある）放出を行うか、又は伝達率が立体角にわたって有意に変化する場合に、プラズマから中間フォーカスへの結像スケールの有意な変化が引き起こされる。しかし、一般的に、中間フォーカスは小さいファセット上に結像される。この目的のためには、放出角に依存しない中間フォーカスにプラズマ像を生成することが有利である。この生成は、上述の手法を用いて $T(\quad)$ 及び $Q(\quad)$ を一定に設定し、 $I(r)$ を中間フォーカスにおける角度の余弦に比例するように選択することによって達成される。プラズマを円形にせず、従って、結像スケールを $I(r)$ の適切な選択によって目標を定めた方式で変化させることも考えられる。

【0086】

複数の入れ子コレクターシェルの有する変形では、有限厚のミラーは、目標領域内に影が発生することを確実にする。遷移領域内で中間フォーカスの位置を若干変更することによって（ $d = d_0 + d(\quad)$ ）、これらの影をぼかすことができる。

【0087】

本方法は、2 つよりも多い反射に拡張することができる。しかし、この場合に、解を一意的なものにするために、追加の境界条件（すなわち、更に別の微分方程式）が必要であ

10

20

30

40

50

る。これらの境界条件は、例えば、追加の中間フォーカス、又は図 4 及び図 5 の場合のように入射角に関する境界条件（各場合に光円錐の外側の一点鎖線又は破線の部分）とすることができる。入射角に関する境界条件は、これらの例では各々かすめ方式で入射を受ける 2 つのミラー上で同一であるように設計される。それによってこのミラー組合せの伝達率が増大する。

【0088】

図 9 は、照明遠視野 17a が入射する視野ファセットミラー 17 の平面図を示している。視野ファセットミラー 17 の全体反射面 53 は、複数のファセットモジュール 54 に再分割される。ファセットモジュール 54 は、更にファセットミラー又は個々のミラーに再分割することができる。これに代えて、各ファセットモジュール 54 は、単一ファセットミラーを構成することができる。視野ファセットミラー 17 の全体反射面 53 の外側輪郭 55 は、遠視野の外側強度領域 56 を完全に包含する。言い換えれば、外側輪郭 55 は、常に外側強度領域 56 と少なくとも同じサイズのものである。従って、ファセットモジュール 54 の配置は、コレクター 15 によって照明される照明遠視野 17a を完全に網羅する。

【0089】

遠視野 17a の外側強度領域 56 は、全体反射面 53 の外側輪郭 55 に内接する全円を構成する。

【0090】

外側強度領域 56 は、遠視野 17a の中心 ($r = 0$) から最も遠くに離れ、遠視野 17a 内の最大強度 I_{\max} の少なくとも 5 % が到達する遠視野 17a の強度分布 $I(r)$ の領域である。図 9 及び図 10 に記載の概略図では、この外側強度領域 56 は、半径値 r_3 の場所に位置する。

【0091】

図 9 は、これに加えて、第 1 のファセットミラー 17 の全体反射面 53 を張る局所直交 $x-y$ 座標系を描写している。この局所座標系の y 方向は、図 1 の座標系の y 方向と平行に延びている。

【0092】

全体反射面 53 の中心 57 を通る中心 x 軸に関して小さい y 距離の範囲に、遠視野 17a は、その構成に依存する方式で、内部にいかなるファセットモジュール 54 も配置されないギャップ 58 を有する。

【0093】

図 9 に記載のファセットミラー 17 は、照明光学ユニット 4 又は照明系 2 内で上述のコレクター変形のうちの 1 つと共に使用することができる。

【0094】

図 11 を参照して図 1 に記載の照明系 2 内の照明光学ユニット 4 の更に別の実施形態を以下に説明する。上述したものに対応する構成要素は同じ参照番号を伴い、これらに対して再度詳細に解説することはしない。

【0095】

図 11 では、コレクター 15 を概略的にしか示していない。コレクター 15 は、上述の実施形態のうちの 1 つを含むことができる。図 11 に記載の照明光学ユニット 4 の場合に、瞳ファセットミラー 18 は、物体視野 5 の下流に配置された投影光学ユニット 9 の入射瞳内にちょうど収まる。従って、図 11 に関して説明した伝達光学ユニットを割愛することができる。物体視野 5 は、0.162 という開口数で照明される。

【0096】

図 11 に記載の照明光学ユニット 4 の場合に、中間焦点面 16 内の中間フォーカスは、瞳ファセットミラー 18 と空間的に直ぐ隣に位置する。その結果、相応に空間的に小型の非常に幅狭に折り返された照明系 2 がもたらされる。説明した実施形態のコレクター 15 は、 z 方向に有利に小さい広がりのみを有するので、この場合に特に適切である。

【0097】

10

20

30

40

50

説明した様々なコレクター実施形態におけるEUV放射線14に対するそれぞれのビーム経路内の各ミラー上には、特にブラッグ反射を用いて異なる波長領域を抑制するのに適切な回折格子を装着することができる。ここで、追加の中間フォーカスは有用であるが、絶対に必要というわけではない。

【0098】

異なる格子周期を有するそのような回折格子59、60を図8のミラー30、51上に非常に概略的に示している。

【0099】

対応する回折格子59、60を図4に記載の実施形態のミラー36、37上にも示している。

【0100】

上述のコレクター変形のうちの1つを有する投影露光装置1の使用中に、レチクル7と、照明光14に対して感光性を有するコーティングを担持するウェーハ12とが与えられ、次いで、投影露光装置1を用いて、レチクル7のうちの少なくとも1つの区画がウェーハ12上に投影される。最後に、ウェーハ12上に照明光ビーム14によって露光された感光層が現像される。このようにして微細又はナノ構造化構成要素、例えば、半導体チップが生成される。

【符号の説明】

【0101】

- 3 放射線源
- 14 EUV放射線
- 15 コレクター
- 23 法線入射ミラーコレクターサブユニット
- 30 かすみ入射ミラーコレクターサブユニット

【図1】

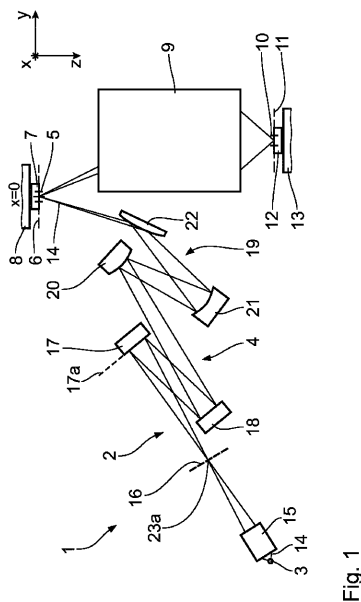


Fig. 1

【図2】

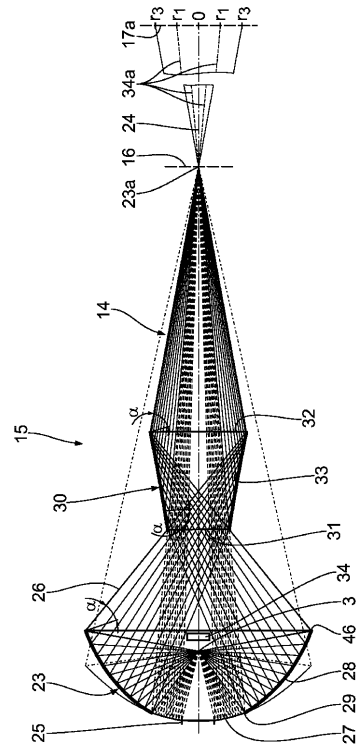


Fig. 2

【図 3】

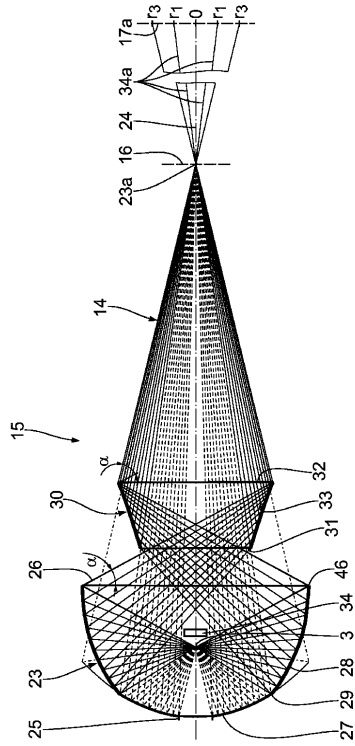


Fig. 3

【図 4】

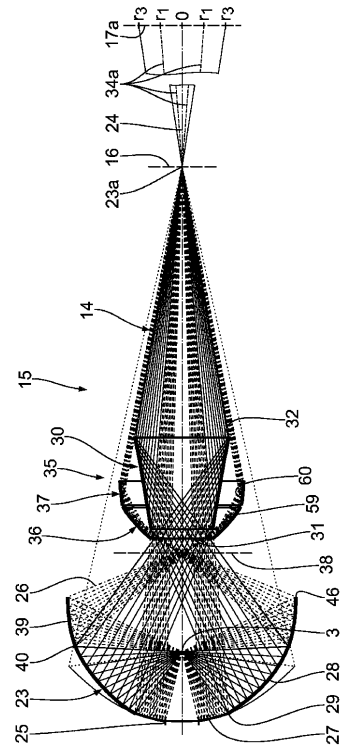


Fig. 4

【図 5】

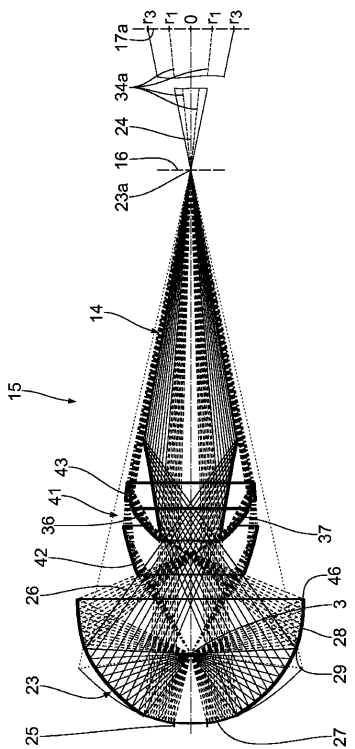


Fig. 5

【図 6】

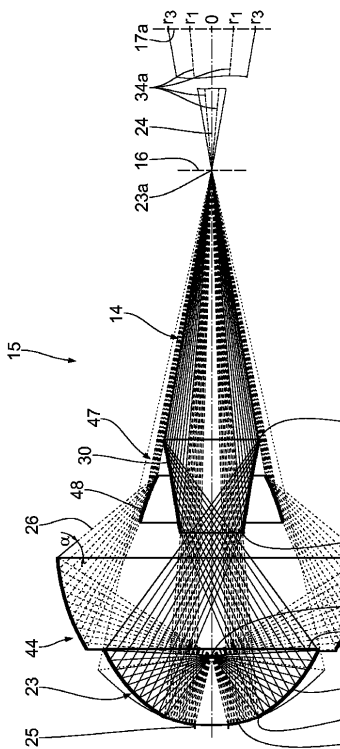
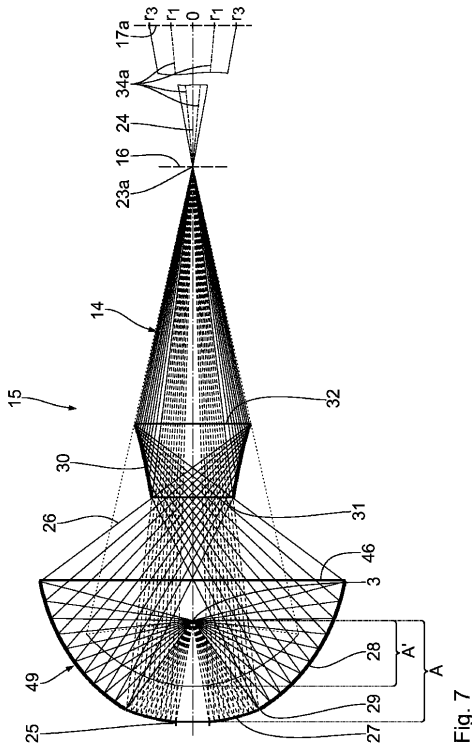
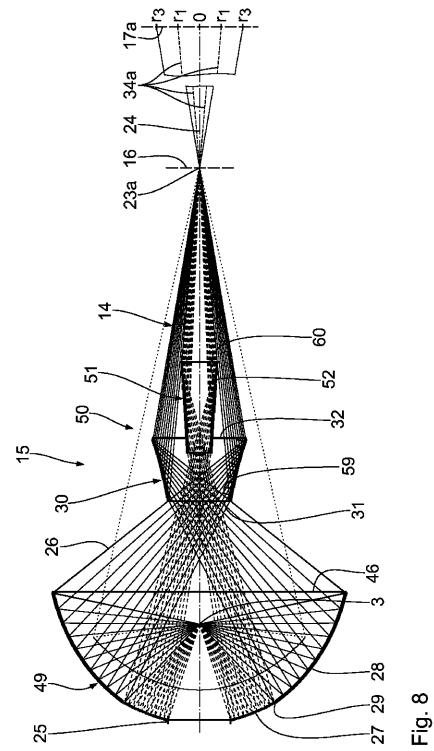


Fig. 6

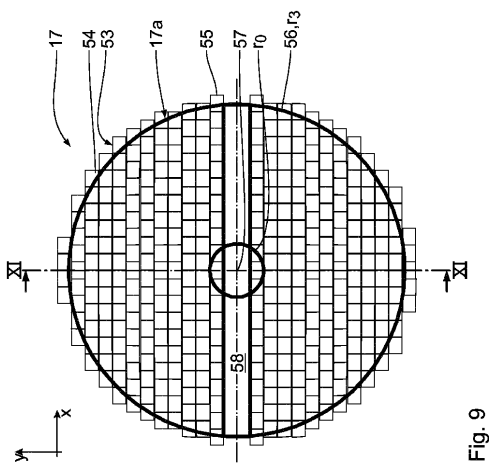
【 図 7 】



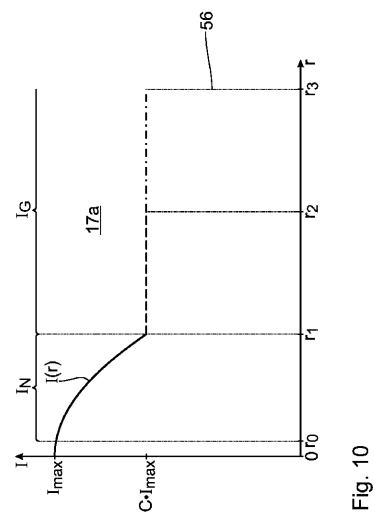
【圖 8】



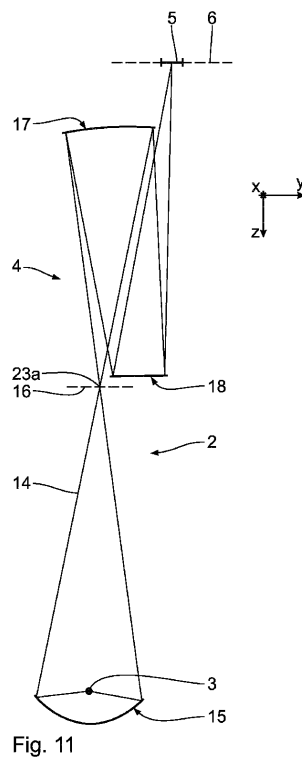
【 圖 9 】



【 図 1 0 】



【 図 1 1 】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2013/072427

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G03F7/20
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02B G03F G21K H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, COMPENDEX, INSPEC, IBM-TDB

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 7 075 713 B2 (ARENBERG JONATHAN W [US]) 11 July 2006 (2006-07-11) cited in the application column 1, line 6 - line 28 column 3, line 64 - column 4, line 67 figures 3, 4 -----	1-12
X	US 2008/266650 A1 (SASIAN JOSE [US]) 30 October 2008 (2008-10-30) cited in the application paragraphs [0002] - [0005], [0036] - [0040] figure 6 -----	1-12
X	US 2008/212327 A1 (SINGER WOLFGANG [DE] ET AL) 4 September 2008 (2008-09-04) paragraphs [0078] - [0080], [0088] figures 7, 11 -----	1-12

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"Z" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

30 January 2014

Date of mailing of the international search report

06/02/2014

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Heryet, Chris

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2013/072427

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 7075713	B2	11-07-2006	EP 1475807 A2	10-11-2004
			EP 2034490 A1	11-03-2009
			JP 2004333475 A	25-11-2004
			US 2004223531 A1	11-11-2004

US 2008266650	A1	30-10-2008	US 2006176547 A1	10-08-2006
			US 2008266650 A1	30-10-2008

US 2008212327	A1	04-09-2008	EP 1782128 A2	09-05-2007
			US 2008212327 A1	04-09-2008
			WO 2006021419 A2	02-03-2006

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US

(74)代理人 100109070

弁理士 須田 洋之

(74)代理人 100109335

弁理士 上杉 浩

(74)代理人 100120525

弁理士 近藤 直樹

(74)代理人 100158469

弁理士 大浦 博司

(72)発明者 エントレス マルティン

ドイツ連邦共和国 8 9 5 5 1 ケーニヒスブロン ゲーテシュトラッセ 3

Fターム(参考) 2H052 BA03 BA09 BA12

2H197 BA02 CA10 CB26 DB05 GA01 GA12 GA23 GA24 HA03

【要約の続き】

。これは、コレクターの下流に配置された照明光学ユニットに対するビーム案内に課せられる要件の軽減をもたらす。

【選択図】図2