

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6623156号
(P6623156)

(45) 発行日 令和1年12月18日(2019.12.18)

(24) 登録日 令和1年11月29日(2019.11.29)

(51) Int.Cl.

G03F 7/20 (2006.01)

F 1

G03F 7/20 503
G03F 7/20 521

請求項の数 10 (全 36 頁)

(21) 出願番号 特願2016-533541 (P2016-533541)
 (86) (22) 出願日 平成26年11月21日 (2014.11.21)
 (65) 公表番号 特表2016-537681 (P2016-537681A)
 (43) 公表日 平成28年12月1日 (2016.12.1)
 (86) 國際出願番号 PCT/EP2014/075257
 (87) 國際公開番号 WO2015/078776
 (87) 國際公開日 平成27年6月4日 (2015.6.4)
 審査請求日 平成29年11月21日 (2017.11.21)
 (31) 優先権主張番号 102013223935.1
 (32) 優先日 平成25年11月22日 (2013.11.22)
 (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 100086771
弁理士 西島 孝喜
(74) 代理人 100088694
弁理士 弟子丸 健
(74) 代理人 100094569
弁理士 田中 伸一郎
(74) 代理人 100067013
弁理士 大塚 文昭

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】EUV投影リソグラフィのための照明系

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

EUV投影リソグラフィのための照明系のための偏向光学ユニット(13；35；36；37，38；39；40)であつて、

複数の偏向ミラー(D1からD4；D1からD5，D1からD6；D1からD8)を含み、その上にEUV放射線(3)が、かすめ入射で共通偏向入射平面(xz)に入射し、70°よりも大きい偏向効果を前記偏向入射平面(xz)に共同で有する少なくとも4つのかすめ入射のための偏向ミラー(D1からD4)が設けられ、

前記偏向ミラー(D1からD8)のうちの少なくとも1つが、凸円柱ミラーとして具現化され、及び/又は該偏向ミラー(D1からD8)のうちの少なくとも1つが、凹円柱ミラーとして具現化される、

ことを特徴とする偏向光学ユニット(13；35；36；37，38；39；40)。

【請求項2】

前記偏向ミラー(D1；D1からD8；D1からD4)のうちの少なくとも1つが、駆動方式で変位可能であるように具現化されることを特徴とする請求項1に記載の偏向光学ユニット。

【請求項3】

前記偏向ミラー(D1からD8)のうちの少なくとも1つが、駆動方式で可変である曲率半径を用いて具現化されることを特徴とする請求項1及び請求項2のいずれか1項に記載の偏向光学ユニット。

10

20

【請求項 4】

請求項 1 に記載の偏向光学ユニットを含む、EUV 投影リソグラフィのための照明系のためのビーム案内(誘導)光学ユニット(10)であって、

それぞれのEUV 個別出力ビーム(9₁)をビーム案内(誘導)光学ユニット(10)の中間フォーカス(42)内に伝達するフォーカスアセンブリ(14；41；45；46；49；52；55)を含む、

ことを特徴とするビーム案内(誘導)光学ユニット(10)。

【請求項 5】

前記フォーカスアセンブリ(14；41；45，46；49；52；55)は、少なくとも 2 つのミラー(47，48；50；51；53，54)、すなわち

一方で少なくとも 1 つの楕円面ミラー(47；50；54)と、

他方で少なくとも 1 つの放物面ミラー(53)又は少なくとも 1 つの双曲面ミラー(48；51)と、

を含むことを特徴とする請求項 4 に記載のビーム案内(誘導)光学ユニット(10)。

【請求項 6】

EUV 投影リソグラフィのための照明系であって、

シンクロトロン放射線ベースの光源(2)のEUV 生ビーム(4)からEUV 集合出力ビーム(7)を発生させるためのビーム成形光学ユニット(6)を含み、

前記EUV 集合出力ビーム(7)から複数のEUV 個別出力ビーム(9₁)を発生させるための出力結合光学ユニット(8)を含み、

各場合に、前記それぞれのEUV 個別出力ビーム(9₁)をリソグラフィマスク(12)を配置可能である物体視野(11)に向けて案内(誘導)するための、請求項 4 に記載のビーム案内(誘導)光学ユニット(10)を含む、

ことを特徴とする照明系。

【請求項 7】

前記ビーム成形光学ユニット(6)は、

$$1 : \sqrt{N}$$

のアスペクト比寄与を有する前記EUV 集合出力ビーム(7)を発生させるように具現化され、

前記出力結合光学ユニット(8)及び/又は前記ビーム案内(誘導)光学ユニット(10)は、各場合に 1 : 1 のアスペクト比寄与を有する個数 N の前記EUV 個別出力ビーム(9₁，9_N)を続いて発生させるように具現化される、

ことを特徴とする請求項 6 に記載の照明系。

【請求項 8】

EUV 光源(2)を含むことを特徴とする請求項 6 又は請求項 7 に記載の照明系。

【請求項 9】

EUV リソグラフィのための投影露光装置(1)であって、

請求項 6 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載の照明系を含み、

光学系の照明光(3)が入射することになるレチクル(12)を物体視野(11)に装着するためのレチクルホルダ(20)を含み、

照明視野(11)を像平面(23)内の像視野(22)の中に結像するための投影光学ユニット(19)を含み、

投影露光中に前記物体視野(11)に配置されたレチクル構造が前記像視野(22)に配置されたウェーハセクションの上に結像されるようにウェーハ(24)を前記像平面(23)に装着するためのウェーハホルダ(25)を含む、

ことを特徴とする投影露光装置(1)。

【請求項 10】

構造化構成要素を生成する方法であって、

10

20

40

50

レチクル(12)及びウェーハ(24)を与える段階と、
請求項9に記載の投影露光装置(1)を用いて前記レチクル(12)上の構造を前記ウェーハ(24)の感光層の上に投影する段階と、
微細構造又はナノ構造を前記ウェーハ(24)上に生成する段階と、
を含むことを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

ドイツ特許出願第10 2013 223 935.1号明細書の内容が引用によって
本明細書に組み込まれている。

10

【0002】

本発明は、EUV投影リソグラフィのための照明系のための偏向光学ユニットに関する。本発明は、EUV投影リソグラフィのための照明系のためのビーム成形光学ユニット及びビーム案内(誘導)光学ユニットに関する。これに加えて、本発明は、EUV投影リソグラフィのための照明系及びEUVリソグラフィのための投影露光装置に関する。最後に、本発明は、構造化構成要素を生成する方法、及び本方法に従って生成された構造化構成要素に関する。

【背景技術】

【0003】

照明系を含む投影露光装置は、US 2011/0 014 799 A1、WO 2009/121 438 A1、US 2009/0 174 876 A1、US 6,438,199 B1、及びUS 6,658,084 B2から公知である。EUV光源は、DE 103 58 225 B3及びUS 6,859,515 Bから公知である。EUV投影リソグラフィに対する更に別の構成部分は、US 2003/000 2022 A1、DE 10 2009 025 655 A1、US 6,700,952、及びUS 2004/0140440 Aから公知である。EUV光源が公知である更に別の参考文献は、WO 2009/121 438 A1に見出される。EUV照明光学ユニットは、US 2003/0043359 A1及びUS 5,896,438から公知である。

20

【先行技術文献】

30

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】ドイツ特許出願第10 2013 223 935.1号明細書

【特許文献2】US 2011/0 014 799 A1

【特許文献3】WO 2009/121 438 A1

【特許文献4】US 2009/0 174 876 A1

【特許文献5】US 6,438,199 B1

【特許文献6】US 6,658,084 B2

【特許文献7】DE 103 58 225 B3

【特許文献8】US 6,859,515 B

40

【特許文献9】US 2003/000 2022 A1

【特許文献10】DE 10 2009 025 655 A1

【特許文献11】US 6,700,952

【特許文献12】US 2004/0140440 A

【特許文献13】US 2003/0043359 A1

【特許文献14】US 5,896,438

【特許文献15】US 2007/0152171 A1

【特許文献16】EP 1 072 957 A2

【特許文献17】US 6 198 793 B1

【非特許文献】

50

【0005】

【非特許文献1】Uwe Schindler著「電気的に切換可能なヘリシティーを有する超電導アンジュレーター（Ein supraleitender Undulator mit elektrisch umschaltbarer Helizität）」、ヘルムホルツ協会カールスルーエ研究センター、科学報告書FZKA 6997、2004年8月

【非特許文献2】H. Wolter著「X線に対する結像光学ユニットとしてのかすめ入射ミラーシステム（Spiegelsysteme streifenden Einfalls als abbildende Optiken fur Rontgensstrahlen）」、アナレンデアフィジーク第10巻、94ページから114ページ、1952年

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本発明の目的は、シンクロトロン放射線ベースの光源のEUV光を可能な最大程度まで損失がなくかつ柔軟に案内（誘導）することが提供されるようなEUV投影リソグラフィのための照明系のための偏向光学ユニット、ビーム成形光学ユニット、ビーム案内（誘導）光学ユニット、並びにEUV投影リソグラフィのための照明系を開発することである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

20

本発明により、これらの目的は、当初請求項1に記載の特徴を有する偏向光学ユニット、当初請求項9に記載の特徴を有するビーム案内光学ユニット、当初請求項4に記載の特徴を有するビーム成形光学ユニット、及び当初請求項11に記載の特徴を有する照明系を用いて達成される。

【0008】

シンクロトロン放射線ベースの光源によって供給されるEUV光又はEUV放射線のビーム案内は、そのような光源によって放出されるEUV生ビームの特性に起因して特定の調整を必要とする。この調整は、本発明によるビーム成形光学ユニットと、出力結合光学ユニットと、ビーム案内光学ユニットとにより、更に個々のビーム案内構成部分、すなわち、偏向光学ユニットとフォーカスアセンブリとによって確実になる。

30

【0009】

シンクロトロン放射線ベースの光源は、自由電子レーザ（FEL）、アンジュレーター、ウィグラー、又はX線レーザとすることができます。シンクロトロン放射線ベースの光源は、0.1 mm²よりも小さいエタンデュ又は更に小さいエタンデュを有することができる。本発明による光学ユニットは、一般的に、シンクロトロン放射線ベースの光源が含まれるか否かに關係なくそのような小さいエタンデュを有する光源の放出光で作動させることができる。

【0010】

ビーム成形光学ユニットは、出力結合光学ユニットによる個々の出力ビームにおけるその後の出力結合を準備するために生ビームからの集合出力ビームの予備成形を可能にする。個々の出力ビームは、ビーム案内光学ユニットによってそれぞれの物体視野に案内される。それによって複数の物体視野を1つの同じシンクロトロン放射線ベースの光源を用いて照明する可能性がもたらされ、更にそれによって微細又はナノ構造化構成要素、例えば、半導体チップ、特にメモリチップを生成するのに使用することができる複数の投影露光装置に1つの同じシンクロトロン放射線ベースの光源を用いて給光する可能性がもたらされる。

40

【0011】

出力結合光学ユニットと、下流のビーム案内光学ユニットとを使用することにより、様々なEUV個別出力ビーム内の放射線電力の分量に対して可変の強度分布を確実にすることができる。それによって給光される投影露光装置の台数への適応、及びそれぞれの投影

50

露光装置によって要求される屈折力への適応を実施することができる。従って、この場合に、特定の構造を生成するためにそれぞれ必要とされる屈折力の様々な要件を照明系の対応する適応によって満たすことができる。

【0012】

当初請求項1に記載の偏向光学ユニットは、それによって偏向されるEUV放射線の低い損失をもたらす。

【0013】

かすめ入射ミラーは、60°よりも大きい入射角に向けて設計される。この入射角は、更に大きいとすることができる。

【0014】

かすめ入射偏向ミラーのうちの少なくとも1つは、凸円柱ミラーとして具現化することができる。かすめ入射偏向ミラーのうちの少なくとも1つは、凹円柱ミラーとして具現化することができる。偏向光学ユニットの実施形態は、凸円柱ミラーよりも多い個数の凹円柱ミラーを含むことができる。

【0015】

偏向光学ユニットに平行に入射するEUVビーム、特にEUV個別出力ビームは、偏向光学ユニットを射出した後に1mradよりも小さい発散を有することができる。偏向光学ユニットのそのような設計は、EUVビームを大きい距離にわたって案内することを可能にする。

【0016】

当初請求項2に記載の偏向光学ユニットの場合に、それによって生成されるビーム案内光学ユニットのアスペクト比寄与を所定値に適応させることができる。一例として、アスペクト比に対する拡大率を値4と値5の間、又は値1.5と値2の間で、特に連続可変方式で変更することができる。偏向光学ユニットのかすめ入射偏向ミラーのうちの少なくとも1つを駆動方式で可変である曲率半径を有するように具現化することができる。その結果、偏向光学ユニットの光学効果の所定値への更に別の適応を達成することができる。

【0017】

当初請求項4に記載のビーム成形光学ユニットの場合に、群入射平面は、互いに垂直にすることができる。ビーム成形光学ユニットのミラー群は、2つのミラー、3つのミラー、又は更に多くのミラーを含むことができる。異なる群入射平面を有するより多くのミラー群の使用は、望ましいアスペクト比を生成するのに、2つの横方向寸法において独立してEUV放射線に影響を及ぼすことを可能にする。

【0018】

ミラー群は、ガリレオ望遠鏡方式で設計することができる。

【0019】

ビーム成形光学ユニットのミラーは、例えば、凸又は凹の円柱ミラーとして具現化することができる。

【0020】

かすめ入射ミラーは、60°よりも大きい入射角に向けて設計される。入射角は、更に大きいとすることができる。

【0021】

当初請求項5に記載の配置は、例えば、望ましいアスペクト比を生成するために、大きい拡大率を与えなければならない1つの同じミラー群のミラーの間に大きい距離を与える可能性をもたらす。

【0022】

当初請求項6に記載のEUV放射線の入射角は、ビーム成形光学ユニットを通過するときのEUV放射線に対する伝達率の最適化を可能にする。

【0023】

当初請求項7に記載の入射角は、ビーム成形光学ユニットの設計において柔軟性を高め、例えば、ミラーサイズが所定寸法の範囲に留まるように、かすめ入射を入射EUVビーム

10

20

30

40

50

ムの所定ビーム直径に適応させることを可能にする。

【0024】

当初請求項8に記載のビーム成形光学ユニットの設計は、例えば、ビーム成形光学ユニット内に入射するビームとビーム成形光学ユニットから射出するビームの両方を水平に案内することを可能にする。

【0025】

EUV集合出力ビームの発散は、EUV生ビームの発散の半分よりも小さいとすることが可能。ビーム成形光学ユニットの対応する設計は、EUV集合出力ビームを大きい距離にわたって案内することを可能にする。

【0026】

ビーム成形光学ユニットの少なくとも1つのミラーは、最適当に嵌め円錐から少なくとも5μmの偏差を有することができる。ビーム成形光学ユニットの少なくとも1つのミラーは、自由曲面として具現化することができる。ビーム成形光学ユニットの対応するミラー設計は、ビーム成形光学ユニットの光学効果を所定値に適応させるまでの自由度を高める。

【0027】

当初請求項9に記載のビーム案内光学ユニットは、絞り又は壁を通る比較的小さい通路開口部を通してEUV放射線を案内することを可能にする。それによってEUV放射線が内部で案内される様々なチャンバの間の望ましい分離が可能になる。これに加えて、中間フォーカスの下流において、所定開口数を有するEUV照明光の中間フォーカスと整合された投影露光装置のアセンブリを使用することができる。

【0028】

当初請求項10に記載のフォーカスアセンブリは、I型、II型、又はIII型のウォルターミラー群の方式で具現化することができる。フォーカスアセンブリの少なくとも2つのミラーは、EUV個別出力ビームのビーム経路に順次配置することができる。

【0029】

フォーカスアセンブリは、EUV個別出力ビームのビーム経路に沿うフォーカスアセンブリの構造空間が、フォーカスアセンブリの楕円面ミラーの長半軸の大きさの約2倍であるように具現化することができる。フォーカスアセンブリは、EUV個別出力ビームのビーム経路に沿うフォーカスアセンブリの構造空間が、フォーカスアセンブリに入射するときのEUV個別出力ビームの直径の大きさの約50倍であるように具現化することができる。NAが、フォーカスアセンブリの中間フォーカスにおける開口数を表す時に、フォーカスアセンブリは、楕円面ミラーの短半軸bと楕円面ミラーの長半軸aとの比b/aに関して $0.7NA < b/a < 0.9NA$ が成り立つように具現化することができる。

【0030】

フォーカスアセンブリは、少なくとも1つの放物面ミラーを含み、楕円面ミラーの長半軸aと放物面ミラーの焦点距離fとの比a/fに関して $a/f > 50$ が成り立つように具現化することができる。

【0031】

フォーカスアセンブリは、それを通るEUV個別出力ビームの周辺光線が受ける最小偏向角が5°よりも大きくないように具現化することができる。

【0032】

上述の目的は、ビーム成形光学ユニットと、出力結合光学ユニットと、各場合にビーム案内光学ユニットとを含む照明系を用いて達成される。ビーム成形光学ユニット、出力結合光学ユニット、及び/又はビーム案内光学ユニットは、特に以上の説明に従って具現化することができる。これらの利点は、それぞれの構成部分に対して記述したことで明らかである。

【0033】

当初請求項11に記載のビーム成形光学ユニットと出力結合光学ユニットとを含む照明系は、EUVビーム直径の所定アスペクト比を有する複数のEUV個別出力ビームを供給

10

20

30

40

50

することを可能にする。一方でビーム成形光学ユニットによって与えられ、他方で出力結合光学ユニット及びその下流のビーム案内光学ユニットによって与えられるアスペクト比寄与には、望ましい設定値アスペクト比、例えば、照明される物体視野のアスペクト比を乗じることができる。生ビームから始まる複数の個々の出力ビームの1:1の望ましいアスペクト比寄与の生成は、最初はビーム成形光学ユニットによる1に等しくないアスペクト比寄与の生成に割り振られ、複数の個々の出力ビームへの集合出力ビームの分割後に、出力結合光学ユニット及びビーム案内光学ユニットによる対応するアスペクト比寄与の生成によるものである。それによって光源から物体視野に至るまでのEUV照明光の経路上で、EUVビームが通過する様々な光学アセンブリによって余儀なく引き起こされるアスペクト比変化が穏やかな変化であることが可能になる。これに代えて、最初にビーム成形光学ユニットを使用することにより、異なるアスペクト比寄与を生成する、例えば、N本のEUV個別出力ビームに対して1:Nのアスペクト比寄与を生成することができる。この場合に、下流の出力結合光学ユニットは、このようにして生成されたEUV集合出力ビームをそれにも関わらず分割しなければならないが、各場合に1:1のアスペクト比寄与を有するEUV個別出力ビームを予め定めるのにこのユニット独自のアスペクト比影響効果を必要としない。各場合に1:1のアスペクト比寄与を有する個数NのEUV個別出力ビームを生成するのに、一方でビーム成形光学ユニットによって生成されるアスペクト比寄与と、他方で出力結合光学ユニット及びビーム案内光学ユニットによって生成されるアスペクト比寄与との異なる分布も可能である。

【0034】

10

当初請求項14に記載の投影露光装置、当初請求項15に記載の生成方法、及び当初請求項16に記載の構造化構成要素の利点は、先行当初請求項を参照して上述したものに対応する。

20

〔当初請求項1〕

EUV投影リソグラフィのための照明系のための偏向光学ユニット(13;35;36;37,38;39;40)であって、

複数の偏向ミラー(D1からD4;D1からD5,D1からD6;D1からD8)を含み、その上にEUV放射線(3)が、かすめ入射で共通偏向入射平面(xz)に入射し、70°よりも大きい偏向効果を前記偏向入射平面(xz)に共同で有する少なくとも4つのかすめ入射のための偏向ミラー(D1からD4)が設けられ、

30

前記偏向ミラー(D1からD8)のうちの少なくとも1つが、凸円柱ミラーとして具現化され、及び/又は該偏向ミラー(D1からD8)のうちの少なくとも1つが、凹円柱ミラーとして具現化される、

ことを特徴とする偏向光学ユニット(13;35;36;37,38;39;40)。

〔当初請求項2〕

前記偏向ミラー(D1;D1からD8;D1からD4)のうちの少なくとも1つが、駆動方式で変位可能であるように具現化されることを特徴とする当初請求項1に記載の偏向光学ユニット。

〔当初請求項3〕

前記偏向ミラー(D1からD8)のうちの少なくとも1つが、駆動方式で可変である曲率半径を用いて具現化されることを特徴とする当初請求項1及び当初請求項2のいずれか1項に記載の偏向光学ユニット。

40

〔当初請求項4〕

EUV投影リソグラフィのための照明系のためのビーム成形光学ユニット(6)であって、

ミラー(27_i,28_i)の少なくとも2つの群(27,28)を含み、その上にEUV放射線(3)が、かすめ入射で入射し、

各ミラー群(27,28)が、共通群入射平面(yz,xz)を有し、

前記ミラー群(27,28)の前記群入射平面(yz,xz)は、互いに異なっている

—

50

ことを特徴とするビーム成形光学ユニット(6)。

[当初請求項5]

前記ミラー群のうちの一方(28)の全てのミラー(28₁, 28₂)が、更に別のミラー群(27)の最初のミラー(27₁)の下流、かつ該更に別のミラー群(27)の最後のミラー(27₂; 27₃)の上流のビーム経路に配置されることを特徴とする当初請求項4に記載のビーム成形光学ユニット。

[当初請求項6]

前記ミラー群(27, 28)のうちの一方の全てのミラー(27₁, 28₁)上への前記EUV放射線の入射の角度()が、同一の大きさのものであることを特徴とする当初請求項4又は当初請求項5に記載のビーム成形光学ユニット。

10

[当初請求項7]

前記ミラー群(27, 28)のうちの一方の少なくとも2つのミラー(27₁, 27₂; 28₁, 28₂; 27₁, 27₂, 27₃)上への前記EUV放射線(3)の入射の異なる角度(, , ; , ,)を特徴とする当初請求項4又は当初請求項5に記載のビーム成形光学ユニット。

[当初請求項8]

入射の異なる角度(, ; , ,)で前記ミラー群(27)の前記群入射平面(xz)の上に投影されると、発生されたEUV集合出力ビーム(7)が、ビーム成形光学ユニット(30)に入射するEUV生ビーム(4)と同じ方向(z)に進むことを特徴とする当初請求項4から当初請求項7のいずれか1項に記載のビーム成形光学ユニット。

20

[当初請求項9]

EUV投影リソグラフィのための照明系のためのビーム案内(誘導)光学ユニット(10)であって、

それぞれのEUV個別出力ビーム(9₁)をビーム案内(誘導)光学ユニット(10)の中間フォーカス(42)内に伝達するフォーカスアセンブリ(14; 41; 45; 46; 49; 52; 55)を含む、

ことを特徴とするビーム案内(誘導)光学ユニット(10)。

[当初請求項10]

前記フォーカスアセンブリ(14; 41; 45, 46; 49; 52; 55)は、少なくとも2つのミラー(47, 48; 50; 51; 53, 54)、すなわち一方で少なくとも1つの橜円面ミラー(47; 50; 54)と、他方で少なくとも1つの放物面ミラー(53)又は少なくとも1つの双曲面ミラー(48; 51)と、

30

を含むことを特徴とする当初請求項9に記載のビーム案内(誘導)光学ユニット(10)。

[当初請求項11]

EUV投影リソグラフィのための照明系であって、

シンクロトロン放射線ベースの光源(2)のEUV生ビーム(4)からEUV集合出力ビーム(7)を発生させるためのビーム成形光学ユニット(6)を含み、

前記EUV集合出力ビーム(7)から複数のEUV個別出力ビーム(9₁)を発生させるための出力結合光学ユニット(8)を含み、

40

各場合に、前記それぞれのEUV個別出力ビーム(9₁)をリソグラフィマスク(12)を配置可能である物体視野(11)に向けて案内(誘導)するためのビーム案内(誘導)光学ユニット(10)を含む、

ことを特徴とする照明系。

[当初請求項12]

前記ビーム成形光学ユニット(6)は、

1 : \sqrt{N}

50

のアスペクト比寄与を有する前記 E U V 集合出力ビーム(7)を発生させるように具現化され、

前記出力結合光学ユニット(8)及び/又は前記ビーム案内(誘導)光学ユニット(10)は、各場合に 1:1 のアスペクト比寄与を有する個数 N の前記 E U V 個別出力ビーム(9₁, 9_N)を続いて発生させるように具現化される、

ことを特徴とする当初請求項 1 1 に記載の照明系。

[当初請求項 1 3]

E U V 光源(2)を含むことを特徴とする当初請求項 1 1 又は当初請求項 1 2 に記載の照明系。

[当初請求項 1 4]

10

E U V リソグラフィのための投影露光装置(1)であって、

当初請求項 1 1 から当初請求項 1 3 のいずれか 1 項に記載の照明系を含み、

光学系の照明光(3)が入射することになるレチクル(12)を物体視野(11)に装着するためのレチクルホルダ(20)を含み、

照明視野(11)を像平面(23)内の像視野(22)の中に結像するための投影光学ユニット(19)を含み、

投影露光中に前記物体視野(11)に配置されたレチクル構造が前記像視野(22)に配置されたウェーハセクションの上に結像されるようにウェーハ(24)を前記像平面(23)に装着するためのウェーハホルダ(25)を含む、

ことを特徴とする投影露光装置(1)。

20

[当初請求項 1 5]

構造化構成要素を生成する方法であって、

レチクル(12)及びウェーハ(24)を与える段階と、

当初請求項 1 3 に記載の投影露光装置(1)を用いて前記レチクル(12)上の構造を前記ウェーハ(24)の感光層の上に投影する段階と、

微細構造又はナノ構造を前記ウェーハ(24)上に生成する段階と、

を含むことを特徴とする方法。

[当初請求項 1 6]

当初請求項 1 5 に記載の方法に従って生成された構造化構成要素。

【 0 0 3 5 】

30

照明系の光源は、自由電子レーザ(F E L)、アンジュレーター、ウィグラー、又は X 線レーザとすることができます。

【 0 0 3 6 】

E U V 集合出力ビームは、使用断面の範囲に、その全ての点で均一な強度から 10% よりも小さくしかずれない強度分布を有することができる。それぞれの E U V 個別出力ビームは、偏向光学ユニットの下流において対応する均一性を有することができる。

【 0 0 3 7 】

照明系の全てのミラーは、高反射コーティングを担持することができる。

【 0 0 3 8 】

ビーム成形光学ユニット、偏向光学ユニット、及びフォーカスアセンブリは、自律的にも、すなわち、照明系の更に別のアセンブリなしでも本発明に対して不可欠なアセンブリである。

【 0 0 3 9 】

特許請求の全ての特徴を異なる組合せにおいて互いに組み合わせることができる。

【 0 0 4 0 】

本発明の例示的実施形態を下記で図面を参照してより詳細に説明する。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 4 1 】

【 図 1 】 E U V 投影リソグラフィのための投影露光装置の概略図である。

【 図 2 】 E U V 生ビームを生成するための E U V 光源から E U V 集合出力ビームからの複

40

50

数の個々の出力ビームを発生させるための出力結合光学ユニットの下流まで進む図1に記載の投影露光装置の複数のもののシステムに対するEUVビーム経路の案内セクションを示す類似の概略図である。

【図3】光源と投影露光装置の物体視野の上流に配置された照明光学ユニット内のビーム案内との間のEUVビーム経路の途中のEUV放射線の断面比を示す図である。

【図4】EUV生ビームからEUV集合出力ビームを発生させるためのビーム成形光学ユニットの側面図である。

【図5】図4の方向Vからの更に別の側面図である。

【図6】ビーム成形光学ユニットのミラーによって引き起こされる偏向角を明らかにするための図4に記載のビーム成形光学ユニットを示す非常に概略的な図である。 10

【図7】ビーム成形光学ユニットのミラーによって引き起こされる偏向角を明らかにするための図5に記載のビーム成形光学ユニットを示す非常に概略的な図である。

【図8】ビーム成形光学ユニットの更に別の実施形態を示す図6及び図7と類似の図である。

【図9】ビーム成形光学ユニットの更に別の実施形態を示す図6及び図7と類似の図である。

【図10】ビーム成形光学ユニットの更に別の実施形態を示す図6及び図7と類似の図である。

【図11】ビーム成形光学ユニットの更に別の実施形態を示す図6及び図7と類似の図である。 20

【図12】ビーム成形光学ユニットと、それぞれのEUV個別出力ビームを物体視野に向けて案内するためのビーム案内光学ユニットの一部としてEUV個別出力ビームのビーム経路内で出力結合光学ユニットの下流に配置された偏向光学ユニットとの間のEUVビーム経路を示す図1及び図2の場合よりもやや詳細な図である。

【図13】EUV個別出力ビームのビーム経路に最初の2つの凸円柱ミラーと、1つの下流平面ミラーと、3つの下流凹円柱ミラーとを含む偏向光学ユニットの実施形態を示す偏向ミラー上の入射平面と平行な非常に概略的な断面図である。

【図14】1つの凸円柱ミラーと、EUVビーム経路内で順次続く3つの凹円柱ミラーとを含む偏向光学ユニットの更に別の実施形態を示す図13と類似の図である。 30

【図15】EUVビーム経路内で順次縦列配置された1つの凸円柱ミラーと、1つの平面ミラーと、2つの凹円柱ミラーとを含む偏向光学ユニットの更に別の実施形態を示す図13と類似の図である。

【図16】EUVビーム経路内で順次縦列配置された1つの凸円柱ミラーと、1つの平面ミラーと、3つの凹円柱ミラーとを含む偏向光学ユニットの更に別の実施形態を示す図13と類似の図である。

【図17】EUVビーム経路内で順次縦列配置された1つの凸円柱ミラーと、2つの下流凹円柱ミラーと、1つの下流平面ミラーと、2つの下流凹円柱ミラーとを含む偏向光学ユニットの更に別の実施形態を示す図13と類似の図である。

【図18】EUVビーム経路内で順次縦列配置された1つの凸円柱ミラーと、1つの下流平面ミラーと、順次下流に続く4つの凹円柱ミラーとを含む偏向光学ユニットの更に別の実施形態を示す図13と類似の図である。 40

【図19】EUVビーム経路内で順次縦列配置された1つの凸円柱ミラーと、順次下流に続く2つの平面ミラーと、順次下流に続く3つの凹円柱ミラーとを含む偏向光学ユニットの更に別の実施形態を示す図13と類似の図である。

【図20】それぞれのEUV個別出力ビームを物体視野に案内するためのビーム案内光学ユニットのフォーカスアセンブリ又は入力結合光学ユニットの機能を明らかにするための偏向光学ユニットと中間焦点面の間のEUV個別出力ビームのうちの1つのもののビーム経路からの抜粋図である。

【図21】入力結合光学ユニットの更に別の実施形態を示す図20と類似の図である。

【図22】ウォルターI型の入力結合光学ユニットの実施形態を示す図である。 50

【図23】ウォルターII型の入力結合光学ユニットの実施形態を示す図である。
 【図24】ウォルターII型の入力結合光学ユニットの実施形態を示す図である。
 【図25】ウォルターII型の入力結合光学ユニットの更に別の実施形態を示す図である。

【図26】ビーム成形光学ユニットの様々な変形のうちの1つを示す図である。
 【図27】ビーム成形光学ユニットの様々な変形のうちの1つを示す図である。
 【図28】ビーム成形光学ユニットの様々な変形のうちの1つを示す図である。
 【図29】ビーム拡大構成部分の概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0042】

10

マイクロリソグラフィのための投影露光装置1は、複数の投影露光装置を含むシステムの一部であり、図1は、これらの投影露光装置のうちの1つの投影露光装置1を示している。投影露光装置1は、微細構造又はナノ構造の電子半導体構成要素を発生させるように機能する。システムの全ての投影露光装置に対して共通の光源又は放射線源2が、例えば、2nmと30nmの間、特に2nmと15nmの間の範囲の波長のEUV放射線を放出する。光源2は、自由電子レーザ(FEL)として具現化される。光源2は、非常に高い輝度を有するコヒーレント放射線を生成するシンクロトロン放射線源又はシンクロトロン放射線ベースの光源を含む。そのようなFELを記載している公報は、WO 2009/121438 A1に示されている。使用することができる光源2は、Uwe Schindler著「電気的に切換可能なヘリシティーを有する超電導アンジュレーター(Ein supraleitender Undulator mit elektrisch umschaltbarer Helizität)」、ヘルムホルツ協会カールスルーエ研究センター、科学報告書FZKA 6997、2004年8月、US 2007/0152171 A1、及びDE 10358225 B3に記載されている。

20

【0043】

光源2は、生ビーム内に0.1mm²よりも小さいオリジナルエタンデュを有する。エタンデュは、光源の放出光エネルギーの90%を含む最小位相空間体積である。このエタンデュに対応するエタンデュの定義は、EP 1 072 957 A2及びUS 6 198 793 B1に見出され、これらの文献は、x及びyが、照明される照明視野を張る視野寸法であり、NAが視野照明の開口数である時に、照明データx, yとNA²との乗算によって得られることを示している。光源の0.1mm²よりも一層小さいエタンデュ、例えば、0.01mm²よりも小さいエタンデュが可能である。

30

【0044】

EUV光源2は、電子ビームを生成するための電子ビーム供給デバイスとEUV生成デバイスとを有する。EUV生成デバイスには、電子ビーム供給デバイスによって電子ビームが供給される。電子ビーム供給デバイスは、アンジュレーターとして具現化される。任意的にアンジュレーターは、変位によって調節可能なアンジュレーター磁石を含むことができる。アンジュレーターは、電磁石を含むことができる。光源2の場合はウィグラーを設けることができる。

40

【0045】

光源2は2.5kWの平均電力を有する。光源2のパルス周波数は30MHzである。各個々の放射線パルスは、83μJのエネルギーを伝達する。100fsの放射線パルス長の場合に、833MWの放射線パルス電力に対応する。

【0046】

光源2の繰り返し数は、キロヘルツ範囲では、例えば、100kHz、比較的低いメガヘルツ範囲では、例えば、3MHz、中程度のメガヘルツ範囲では、例えば、30MHz、上位メガヘルツ範囲では、例えば、300MHz、又は他にギガヘルツ範囲で例えば、1.3GHzにあるとすることができます。

【0047】

下記では、位置関係の例示を容易にするために直交xyz座標系を使用する。通常これ

50

らの例示では、 x 座標は、 y 座標と共に EUV 照明結像光 3 のビーム断面を張る。相応に z 方向は、通常、照明結像光 3 のビーム方向に延びている。例えば、図 2 及び 図 12 では、 x 方向は、投影露光装置 1 のシステムが収まる構成面と垂直に延びている。図 4 から図 11 の座標系は、この x 方向に対して z 軸の周りに 90° だけ回転される。

【0048】

図 1 は、システムの投影露光装置 1 のうちの 1 つの主構成要素を非常に概略的に示している。

【0049】

光源 2 は、照明結像光 3 を最初に EUV 生ビーム 4 の形態で模造する。図 3 は、左に 1 : 1 の x / y アスペクト比を有する EUV 生ビーム 4 を通る断面を非常に概略的に示している。一般的に生ビーム 4 は、ガウス強度分布を有するビーム、すなわち、図 3 に破線境界線 5 に示す円形断面のビームとして存在する。EUV 生ビーム 4 は、非常に小さい発散を有する。

【0050】

ビーム成形光学ユニット 6 (図 1 を参照されたい) は、EUV 生ビーム 4 から EUV 集合出力ビーム 7 を発生させるように機能する。これを図 1 には非常に概略的に、図 2 にはそれよりも幾分詳細に示している。EUV 集合出力ビーム 7 は非常に小さい発散を有する。図 3 は、左から第 2 の断面図に EUV 集合出力ビーム 7 のアスペクト比を前と同じく指定している。このアスペクト比は、システム内部で光源 2 によって給光される投影露光装置 1 の台数 N に依存してビーム成形光学ユニット 6 によって予め定められる。ビーム成形光学ユニット 6 によって生成される x / y アスペクト比は、ほぼ

$$\sqrt{N} : 1$$

であり、図 3 に示すように、照明光 3 の矩形ビームプロファイルがもたらされる。EUV 集合出力ビーム 7 は、均一に照明される矩形の形状を有する。このアスペクト比寄与

$$\sqrt{N} : 1$$

は、望ましい設定値アスペクト比、例えば、照明される物体視野のアスペクト比を乗じることができる。

【0051】

図 2 は、 $N = 4$ であり、従って、光源 2 が、図 1 に記載の投影露光装置 1 のタイプによる 4 台の投影露光装置に照明光 3 を供給するためのシステム設計を示している。 $N = 4$ では、EUV 集合出力ビーム 7 の x / y アスペクト比は 2 : 1 である。投影露光装置 1 の台数 N は、より大きいとすることができます、例えば、最大で 10 台までとすることができます。

【0052】

別のシステム設計では、EUV 集合出力ビームは $N : 1$ の x / y アスペクト比を有する。この比にも、望ましい設定値アスペクト比を乗じることができます。

【0053】

出力結合光学ユニット 8 (図 1 及び図 2 を参照されたい) は、EUV 集合出力ビーム 7 から複数本、すなわち、 N 本の EUV 個別出力ビーム 9_1 から 9_N ($i = 1, \dots, N$) を発生させるように機能する。

【0054】

図 1 は、これらの個々の出力ビーム 9_i のうちの正確に 1 つのもの、すなわち、出力ビーム 9_1 の更に別の案内を示している。出力結合光学ユニット 8 によって生成された図 1 に同じく略示す他の EUV 個別出力ビーム 9_i は、システムの他の投影露光装置に供給される。

【0055】

出力結合光学ユニット 8 の下流では、照明結像光 3 は、ビーム案内光学ユニット 10 (

10

20

30

40

50

図1を参照されたい)により、投影される物体としてレチクルの形態にあるリソグラフィマスク12が内部に配置された投影露光装置1の物体視野11に向けて案内される。ビーム案内光学ユニット10と共に、ビーム成形光学ユニット6及び出力結合光学ユニット8は、投影露光装置1のための照明系を構成する。

【0056】

ビーム案内光学ユニット10は、照明光3に対するビーム経路、すなわち、EUV個別出力ビーム9₁に対するビーム経路の順番に、フォーカスアセンブリ14の形態にある入力結合光学ユニットと、下流照明光学ユニット15とを含む。照明光学ユニット15は、従来技術で公知であるものに対応する機能を有し、従って、図1には関連のEUVビーム経路なく極めて概略的にしか例示していない視野ファセットミラー16と瞳ファセットミラー17とを含む。

【0057】

視野ファセットミラー16での反射の後に、視野ファセットミラー16の個々の視野ファセット(例示していない)に割り当てられたEUV部分ビームに分割された照明光3の使用放射線ビームは、瞳ファセットミラー17上に入射する。瞳ファセットミラー17の瞳ファセット(図1には例示していない)は円形である。視野ファセットのうちの1つと瞳ファセットのうちの1つとを含む被入射ファセット対が各場合に使用放射線ビームの関連部分ビームに対する照明チャネル又はビーム案内チャネルを予め定めるように、これらの瞳ファセットのうちの1つが、視野ファセットのうちの1つから反射される使用放射線ビームの各部分ビームに割り当てられる。視野ファセットに対する瞳ファセットのチャネル別割り当ては、投影露光装置1による望ましい照明に依存して行われる。従って、照明光3は、視野ファセットのうちのそれぞれの1つと瞳ファセットのうちのそれぞれの1つとを含む対を連続して経由する照明チャネルに沿って個々の照明角度を予め定めるように案内される。それぞれ予め定められる瞳ファセットを駆動するために、視野ファセットミラーは、各場合に個々に傾斜される。

【0058】

瞳ファセットミラー17を経由し、更に適切な場合に、例えば、3つのEUVミラー(例示していない)の下流伝達光学ユニットを通して、視野ファセットは、投影露光装置1の投影光学ユニット19(図1に同じく略示す)のレチクル平面又は物体平面18内の照明視野又は物体視野11に結像される。

【0059】

視野ファセットミラー16の視野ファセットの照明によって全ての照明チャネルを通して引き起こされる個々の照明角度から、照明光学ユニット15による物体視野11の照明の照明角度分布がもたらされる。

【0060】

照明光学ユニット15の更に別の実施形態において、特に投影光学ユニット19の入射瞳の適切な位置を前提として、物体視野11の上流の伝達光学ユニットのミラーを省くことができ、それによって使用放射線ビームに関して投影露光装置1の照明の対応する増強が引き起こされる。

【0061】

使用放射線ビームを反射するレチクル12は、物体平面18内にある物体視野11の領域に配置される。レチクル12は、レチクル変位ドライブ21を用いて駆動される方式で変位可能なレチクルホルダ20によって担持される。

【0062】

投影光学ユニット19は、物体視野11を像平面23の像視野22に結像する。投影露光中に、この像平面23内に、投影露光中に投影露光装置1によって露光される感光層を担持するウェーハ24が配置される。ウェーハ24は、この場合はウェーハ変位ドライブ26を用いて制御される方式で変位可能なウェーハホルダ25によって担持される。

【0063】

投影露光中に、図1のレチクル12とウェーハ24の両方が、レチクル変位ドライブ2

10

20

30

40

50

1とウェーハ変位ドライブ26との対応する駆動によってx方向と同期方式で走査される。ウェーハは、投影露光中に一般的に600mm/sの走査速度でx方向に走査される。

【0064】

図4及び図5は、ビーム成形光学ユニット6の実施形態を示している。図4及び図5に記載のビーム成形光学ユニット6は、照明光3が入射する順番に順次番号が振られた合計で4つのミラーBS1、BS2、BS3、及びBS4を有する。図4は、xz平面と平行な図にビーム成形光学ユニット6を示している。図5は、yz平面と平行な平面図にビーム成形光学ユニット6を示している。

【0065】

図4及び図5のビーム成形光学ユニット6のミラーBS1からBS4によるビーム偏向の例示は、図4のミラーMS1及びBS4、並びに図5のミラーBS2及びBS3が、各場合に両方のミラーを反射面が観察者に向く平面図内に示すことに限って現実から離れている。実際には、図4のミラーBS4の反射面及び図5のミラーBS3の反射面は観察者から逸れている。

10

【0066】

照明光3は、ミラーBS1からBS4の全ての上にかすめ入射で入射する。かすめ入射は、照明光3の入射又は反射の主方向と、照明光3が入射するそれぞれのミラーの反射面セクションに対する法線Nとの間の入射角が60°よりも大きい場合に存在する。入射角は、例えば、65°よりも大きいとることができ、70°よりも大きいとことができ、75°よりも大きいとすることができます。

20

【0067】

図4及び図5に記載のビーム成形光学ユニット6は、2つのビーム成形ミラー群27、28、すなわち、最初に図4に27₁及び27₂によっても表記しているミラーBS1及びBS4を含むビーム成形ミラー群27と、図5に28₁及び28₂によっても表記しているミラーBS2及びBS3を含むビーム成形ミラー群28とを有する。各ミラー群27、28は、共通の群入射平面を有する。ミラー群27の入射平面は、yz平面(図5の作図面)と平行である。ミラー群28の入射平面は、xz平面(図4の作図面)と平行である。従って、ミラー群27、28の2つの群入射平面yzとxzとは、互いに異なり、図示の実施形態では互いに垂直である。

【0068】

30

ビーム成形ミラー群27は、yz平面におけるEUV集合出力ビーム7のビーム成形のためなどに機能する。ビーム成形ミラー群28は、xz平面におけるEUV集合出力ビーム7のビーム成形のためなどに機能する。

【0069】

一方でビーム成形ミラー群27と、他方で28とは、原理的にガリレオ円筒形望遠鏡の効果を有する。例えば、ガウス強度分布を有する実質的に円形の生ビーム4から矩形使用断面の範囲に均一な強度分布を有する実質的に矩形のEUV集合出力ビーム7へのビームプロファイルの再成形をもたらすために、ビーム成形ミラー群27及び/又は28のミラーの少なくとも一部に、自由形プロファイルを与えることができ、すなわち、これらのミラーは、反射面として自由曲面を有することができる。自由形プロファイルは、円錐形として表すことができない高さ分布である。この場合の円錐は、2つの直交方向に異なる円錐によって表される面形状を意味するとも理解しなければならず、そのような面形状の一例は円柱である。自由形プロファイルは、そのような円錐形によっても表すことができない。ビーム成形光学ユニット6の1又は2以上のミラーの高さ分布の偏差は、1マイクロメートル(μm)よりも大きく、特に5マイクロメートルよりも大きく、特に20マイクロメートルよりも大きいとすることができます。

40

【0070】

ミラーBS2及びBS3を含むミラー群28は、全体的に更に別のミラー群27の最初のミラーBS1の下流で、この更に別のミラー群27の第2かつ最後のミラーBS4の上流のビーム経路に配置される。

50

【0071】

ビーム成形光学ユニット6の実施形態に基づいて、照明光3の入射角は、ミラー群27、28の一方のものの全てのミラー上で同じ大きさとすることができます、又はミラー群27、28の一方のものの少なくとも2つのミラー上で異なる大きさとすることができます。この関連において、入射角は、EUV生ビーム4内で中心を進む光線の入射角を意味すると理解しなければならない。

【0072】

ミラーBS1は、x軸と平行に延びる円柱軸を有する凸円筒形ミラーとして具現化される。ミラーBS2は、y軸と平行に延びる円柱軸を有する凸円筒形ミラーとして具現化される。ミラーBS3は、y軸と平行に延びる円柱軸を有する凹円筒形ミラーとして具現化される。ミラーBS4は、x軸と平行に延びる円柱軸を有する凹円筒形ミラーとして具現化される。

10

【0073】

ミラー群27は、x座標軸に、ミラー群28のy座標軸の拡大効果と比較して2倍の生ビームのビーム直径の拡大を可能にする。更に、2つのミラー群27、28は、EUV集合出力ビーム7の矩形の断面プロファイルを成形するように機能する。

【0074】

図6から図11は、ビーム成形光学ユニット6の更に別の実施形態を示している。これらの実施形態は、様々なビーム成形ミラーBS_i(i=1,...)によって生成される偏向角の順序が異なる。従って、図6から図11では、各場合にミラー 자체を物理的に示さず、ミラーBS_iの偏向効果のみを示している。

20

【0075】

図6及び図7に記載のビーム成形光学ユニットの実施形態6は、ミラーBS1からBS4上の照明光3の入射角に関して、更にミラー群27、28へのミラーBS1からBS4の割り当てに関しても図4及び図5に記載の実施形態に対応する。ミラーBS1からBS4における照明光3の入射角は、図6及び図7に記載の実施形態の場合の全てのこれらのミラーに関して等しい。従って、EUV集合出力ビーム7の主ビーム方向は、ビーム成形光学ユニット6内に入射するEUV生ビーム4の主ビーム方向に等しい。

【0076】

図8及び図9は、図4から図7に記載のビーム成形光学ユニット6の代わりに使用することができるビーム成形光学ユニットの更に別の実施形態29を示している。ビーム成形光学ユニット6を参照して上述したものに対応する構成部分及び機能は、ビーム成形光学ユニット29の場合にも同じ参照符号を伴い、これらに対して再度詳細に解説することはしない。

30

【0077】

ビーム成形光学ユニット6とは対照的に、ビーム成形光学ユニット29の場合は、ミラーBS1からBS4上でEUV放射線の異なる入射角、が存在する。ミラーBS1及びBS2は、各場合に、第3のミラーBS3に至るまでのビーム成形光学ユニット29のビーム経路が、ビーム成形光学ユニット6内のビーム経路に対応するように入射角で反射する。ミラーBS3及びBS4において、照明光3は、入射角と比較して小さい入射角ではあるが、それにも関わらずかすめ入射で反射される。この反射は、ビーム成形光学ユニット29から射出するEUV集合出力ビーム7の主ビーム方向がz方向と平行に延びず、xz平面とyz平面の両方において、z方向と平行に延びる入射方向に対してゼロとは異なる角度を形成するという効果を有する。

40

【0078】

ビーム成形光学ユニット29の最後の2つのミラーBS3及びBS4における小さめの入射角は、これらの最後の2つのミラーBS3及びBS4の構造的に小さめの実施形態、すなわち、小さい広がりの反射面を有する実施形態を可能にする。この実施形態は、これらの最後のミラーBS3及びBS4の場所では、照明光は入射EUV生ビームと比較して断面が既にかなり拡大されているので、2つの先頭のミラーBS1及びBS2よりもビ

50

ーム成形光学ユニット 2 9 のこれらの最後の 2 つのミラー B S 3 及び B S 4 に対してより大きい意味を有する。

【 0 0 7 9 】

図 1 0 及び図 1 1 は、ビーム成形光学ユニット 6 、 2 9 の代わりに使用することができるビーム成形光学ユニットの更に別の実施形態 3 0 を示している。ビーム成形光学ユニット 6 、 2 9 を参照して上述したものに対応する構成部分及び機能は、ビーム成形光学ユニット 3 0 の場合にも同じ参照符号を伴い、これらに対して再度詳細に解説することはしない。

【 0 0 8 0 】

ビーム成形光学ユニット 3 0 は、その中で前と同じく照明光 3 が入射する順番に順次番号が振られた合計で 5 つのミラー B S 1 、 B S 2 、 B S 3 、 B S 4 、 B S 5 を有する。ミラー B S 1 、 B S 2 及び B S 5 は、 y z 入射平面を有するビーム成形光学ユニット 3 0 の最初のミラー群 2 7 に属する。残りの 2 つのミラー B S 3 及び B S 4 は、 x z 入射平面を有するミラー群 2 8 に属する。

【 0 0 8 1 】

最初のミラー B S 1 での反射の後に、ビーム成形光学ユニット 3 0 内の照明光 3 のビーム経路は、ビーム成形光学ユニット 2 9 内のものに対応し、この場合に、ビーム成形光学ユニット 3 0 のミラー B S 2 から B S 5 は、ビーム成形光学ユニット 2 9 のミラー B S 1 から B S 4 の機能を有する。

【 0 0 8 2 】

照明光 3 、すなわち、 E U V 生ビーム 4 は、ビーム成形光学ユニット 3 0 の最初のミラー B S 1 上に強いかすめ入射で入射する。従って、ビーム成形光学ユニット 3 0 の最初のミラー B S 1 上での照明光 3 の入射角 θ は、入射角 θ よりも大きい。入射角 θ は、一方でミラー B S 1 と B S 2 の間に、他方でミラー B S 5 の下流に照明光 3 によって出現する y z 平面における照明光 3 のビーム方向差を正確に補償し、それによってビーム成形光学ユニット 3 0 から射出した後の y z 平面内の照明光 3 の主ビーム方向が、ビーム成形光学ユニット 3 0 への入射時の y z 平面内の主ビーム方向と平行であり、すなわち、 z 方向と平行であるような大きさを有する。

【 0 0 8 3 】

ビーム成形光学ユニット 3 0 の上流及び下流において、照明光 3 は、内部にシステムが含まれる建物の天井と平行に進む。

【 0 0 8 4 】

個々のミラー 2 7₁ (B S 1) 、 2 7₂ (B S 2) 、 及び 2 7₃ (B S 5) が異なる入射角、すなわち、 θ_1 、 θ_2 、 及び θ_3 を内部で有するビーム成形光学ユニット 3 0 のミラー群 2 7 の群入射平面 y z 上に投影した場合に、ビーム成形光学ユニット 3 0 によって生成された E U V 集合出力ビーム 7 は、ビーム成形光学ユニット 3 0 内に入射する E U V 生ビーム 4 と同じ方向、すなわち、 z 方向に進む。

【 0 0 8 5 】

ビーム成形光学ユニット 6 及び 3 0 の最後のミラー B S 4 及び B S 5 の反射面の典型的な断面寸法は、それぞれ 1 m から 1 . 5 m であり、一般的にこれらのミラーは、第一近似として矩形である反射面を有し、指定断面寸法は、 2 つの軸のうちの長い方に関するものである。ビーム成形光学ユニットの最初のミラー B S 1 の反射面の典型的な断面寸法は 2 0 m m から 1 0 0 m m である。

【 0 0 8 6 】

ビーム成形光学ユニット 6 又は 3 0 を射出した後に、 E U V 集合出力ビーム 7 の光線は実質的に平行に進む。 E U V 集合出力ビーム 7 の発散は、 1 0 m r a d よりも小さく、特に 1 m r a d よりも小さく、特に 1 0 0 μ r a d よりも小さく、特に 1 0 μ r a d よりも小さいとすることができる。

【 0 0 8 7 】

図 2 及び図 1 2 は、 E U V 集合出力ビーム 7 から E U V 個別出力ビーム 9 を発生させる

10

20

30

40

50

ための出力結合光学ユニット 8 の例を示している。出力結合光学ユニットは、EUV 個別出力ビーム 9₁、9₂、…に割り当てられ、これらのビームを EUV 集合出力ビーム 7 から脱結合する複数の出力結合ミラー 31₁、31₂、…を有する。図 2 は、照明光 3 が、脱結合中に出力結合ミラー 31 によって 90°だけ偏向されるような出力結合ミラー 31 の配置を示している。出力結合ミラー 31 が、図 12 に略示するような照明光 3 のかすめ入射を用いて作動される実施形態が好ましい。図 2 に記載の実施形態において、出力結合ミラー 31 上での照明光 3 の入射角 は約 70°であるが、それを有意に超えることさえ可能であり、それぞれの出力結合ミラー 31 による EUV 個別出力ビーム 9 の有効な偏向が、EUV 集合出力ビーム 7 の入射方向と比較して 10°であるように、例えば、85°の領域内にあるとすることができる。

10

【0088】

出力結合ミラー 31_i の各々は、ヒートシンク（詳細には例示していない）に熱結合される。

【0089】

図 2 は、合計で 4 つの出力結合ミラー 31₁ から 31₄ を有する。図 12 は、合計で 3 つの出力結合ミラー 31₁ から 31₃ を有する出力結合光学ユニット 8 の変形を示している。例えば N = 2 又は N = 4、特に N = 8 等、光源 2 によって給光される投影露光装置 1 の台数 N に依存して異なる個数 N の出力結合ミラー 31 が可能である。

【0090】

脱結合後に、EUV 個別出力ビーム 9 の各々は、

20

$$1/\sqrt{N} : 1$$

の x / y アスペクト比を有する。図 3 の右から第 2 の断面図は、このアスペクト比を有する EUV 個別出力ビーム 9 のうちの 1 つを示している。従って、N = 4 の場合に、x / y アスペクト比は 1 : 2 である。このアスペクト比寄与にも、望ましい設定値アスペクト比を乗じることができる。

【0091】

出力結合ミラー 31_i (i = 1, 2, …) は、それぞれの最近接出力結合ミラー 31_i が、EUV 集合出力ビーム 7 の辺縁断面部分を反射し、それによってこの断面部分をこの出力結合ミラー 31_i のそばを通過する残りの EUV 集合出力ビーム 7 から脱結合するように、EUV 集合出力ビーム 7 のビーム経路に EUV 集合出力ビーム 7 のビーム方向に縦列偏差方式で配置される。縁部からのこの出力結合は、EUV 集合出力ビーム 7 のそれにも関わらず残っている最後の断面部分が脱結合されるまで、その後の出力結合ミラー 31_{i+1}, … によって繰り返される。

30

【0092】

EUV 集合出力ビーム 7 の断面内では、y 軸と平行に、すなわち、EUV 集合出力ビーム 7 の x / y 矩形断面の短辺と平行に延びる分離線 32 上で、EUV 個別出力ビーム 9_i に割り当てられた断面部分の間の分離が実施される。EUV 個別出力ビーム 9_i の分離は、各場合にビーム経路内の次の光学構成部分から最も離れている断面部分が切り離されるように実施される。それによって取りわけ出力結合光学ユニット 8 の冷却が容易になる。

40

【0093】

照明光 3 のビーム経路内で出力結合光学ユニット 8 の下流にある偏向光学ユニット 13 は、第 1 に EUV 個別出力ビーム 9 が各場合にこの偏向光学ユニット 13 の下流で垂直ビーム方向を有するように EUV 個別出力ビーム 9 を偏向するために、第 2 に、EUV 個別出力ビーム 9 の x / y アスペクト比を図 3 の右端に示すような 1 : 1 の x / y アスペクト比に適応させるように機能する。このアスペクト比寄与にも、望ましい設定値アスペクト比を乗じることができる。従って、上述の x / y アスペクト比は、設定値アスペクト比、例えば、矩形又は弓形の物体視野のアスペクト比が乗じられて望ましい実際のアスペクト比をもたらすアスペクト比寄与である。上述の x / y 設定値アスペクト比は、照明光学ユ

50

ニット 15 の最初の光学要素のアスペクト比とすることができます。上述の x / y 設定値アスペクト比は、照明光学ユニット 15 の中間フォーカス 42 における照明光 3 の角度のアスペクト比とすることができます。

【0094】

EUV 個別出力ビーム 9 の垂直ビーム経路が出力結合光学ユニット 8 の下流に既に存在する場合に、偏向光学ユニット 13 の偏向効果を省くことができ、EUV 個別出力ビーム 9 の x / y アスペクト比に関する適応効果で十分である。

【0095】

偏向光学ユニット 13 の下流の EUV 個別出力ビーム 9 は、適切な場合はフォーカスアセンブリ 14 を通した後に、照明光学ユニットの効率的な折り返しを可能にする角度で照明光学ユニット 15 内に入射するように進むことができる。偏向光学ユニット 13 の下流では、EUV 個別出力ビーム 9_i は、垂直に対して 0° から 10° までの角度、垂直に対して 10° から 20° までの角度、又は垂直に対して 20° から 30° までの角度で進むことができる。

【0096】

下記では、偏向光学ユニット 13 に関する様々な変形を図 13 から図 19 を参照して説明する。この場合に、照明光 3 を単一光線として略示し、すなわち、ビーム例示を省いている。

【0097】

偏向光学ユニットを通した後の EUV 個別出力ビーム 9_i の発散は、10 mrad よりも小さく、特に 1 mrad よりも小さく、特に 100 μrad よりも小さく、すなわち、EUV 個別出力ビーム 9_i のビーム内の任意の 2 つの光線の間の角度が 20 mrad よりも小さく、特に 2 mrad よりも小さく、特に 200 μrad よりも小さい。これは、下記で説明する変形に対して満たされる。

【0098】

図 13 に記載の偏向光学ユニット 13 は、脱結合された EUV 個別出力ビーム 9 を全体的に約 75° の偏向角で偏向する。従って、EUV 個別出力ビーム 9 は、図 13 に記載の偏向光学ユニット 13 上に、水平 ($x y$ 平面) に対して約 15° の角度で入射し、偏向光学ユニット 13 を図 13 の x 軸と平行なビーム方向で射出する。偏向光学ユニット 13 は、EUV 個別出力ビーム 9 に対して約 55% の全伝達率を有する。

【0099】

図 13 に記載の偏向光学ユニット 13 は、ビーム経路内で照明光 3 が入射する順番に順次番号が振られた合計で 6 つの偏向ミラー D1、D2、D3、D4、D5、及び D6 を有する。偏向ミラー D1 ~ D6 から、各場合にこれらの反射面を通るセクションのみを略示しており、それぞれの反射面の曲率を有意に誇張して例示している。照明光 3 は、図 13 に記載の偏向光学ユニット 13 の全てのミラー D1 から D6 上に、 $x z$ 平面と平行な共通の偏向入射平面内でかすめ入射で入射する。

【0100】

ミラー D1 及び D2 は、 y 軸と平行な円柱軸を有する凸円柱ミラーとして具現化される。ミラー D3 は平面ミラーとして具現化される。ミラー D4 から D6 は、ここでもまた、 y 軸と平行な円柱軸を有する凹円柱ミラーとして具現化される。

【0101】

凸円柱ミラーをドーム形ミラーとも呼ぶ。凹円柱ミラーを皿形ミラーとも呼ぶ。

【0102】

ミラー D1 から D6 の組合せビーム成形効果は、 x / y アスペクト比が、値

$$1/\sqrt{N} : 1$$

から値 1 : 1 に適応されるようなものである。従って、この比における x 尺法において、ビーム断面が

10

20

30

40

50

$$\sqrt{N}$$

倍だけ伸ばされる。

【0103】

偏向ミラー D 1 から D 6 のうちの少なくとも 1 つ、又は他に偏向ミラー D 1 から D 6 の全ては、割り当てアクチュエータ 3 4 を用いて x 方向及び / 又は z 方向に変位可能なものとして具現化することができる。その結果、偏向光学ユニット 1 3 の第 1 に偏向効果の適応を第 2 にアスペクト比適応効果の適応をもたらすことができる。これに代えて又はこれに加えて、偏向ミラー D 1 から D 6 のうちの少なくとも 1 つをその曲率半径に関して適応可能なミラーとして具現化することができる。この目的のために、それぞれのミラー D 1 から D 6 をこの図面には例示していないアクチュエータシステムによって互いにに対して変位可能な複数の個々のミラーから構成することができる。

10

【0104】

投影露光装置 1 を含むシステムの様々な光学アセンブリは、適応的に具現化することができる。従って、光源 2 からの EUV 個別出力ビーム 9₁ を投影露光装置 1 のうちの何台に供給するように意図するかということと共に、それぞれの偏向光学ユニット 1 3 を通した後のそれぞれの EUV 個別出力ビーム 9₁ に関してどのようなエネルギー比及びどのようなビーム幾何学形状が存在するように意図するかということを中心的に予め定めることができる。所定値に基づいて、EUV 個別出力ビーム 9₁ は、その強度及びその設定値 x / y アスペクト比が異なることができる。特に、出力結合ミラー 3 1₁ を適応可能に設定することによって EUV 個別出力ビーム 9₁ のエネルギー比を変更することができ、偏向光学ユニット 1 3 を適応可能に設定することにより、偏向光学ユニット 1 3 を通した後の EUV 個別出力ビーム 9₁ のサイズ及びアスペクト比を不变に保つことができる。

20

【0105】

N 台の投影露光装置 1 を含むシステム内で図 1 3 に記載の偏向光学ユニット 1 3 の代わりに使用することができる偏向光学ユニットの更に別の実施形態を図 1 4 から図 1 9 を参照して以下に説明する。図 1 から図 1 3 、特に図 1 3 を参照して上述した構成部分及び機能は同じ参照符号を伴い、これらに対して再度詳細に解説することはしない。

30

【0106】

図 1 4 に記載の偏向光学ユニット 3 5 は、照明光 3 のビーム経路に合計で 4 つのミラー D 1、D 2、D 3、D 4 を有する。ミラー D 1 は、凸円柱ミラーとして具現化される。ミラー D 2 から D 4 は、凹円柱ミラーとして具現化される。

【0107】

より詳細な光学データを下記の表から達成することができる。この場合に、最初の列は、それぞれのミラー D 1 から D 4 の曲率半径を表し、第 2 の列は、それぞれのミラー D 1 から D 3 とそれぞれのその後のミラー D 2 から D 4 との間の距離を表している。この距離は、対応する反射の間で EUV 個別出力ビーム 9₁ 内の中心光線が進む距離に関するものである。この表及びその後の表に使用する単位は、別途記載しない限り各場合に mm である。この場合の EUV 個別出力ビーム 9₁ は、偏向光学ユニット 1 3 内に 10 mm の半直徑 $d_{in} / 2$ を用いて入射する。

40

【表 1】

	曲率半径	次のミラーまでの距離
D1	2922.955800	136.689360
D2	-49802.074797	244.501473
D3	-13652.672229	342.941568
D4	-22802.433560	

図 1 4 に関する表

50

【0108】

図14に記載の偏向光学ユニット35は、 x/y アスペクト比を3倍拡大する。

【0109】

図15は、同じく4つのミラーD1からD4を含む偏向光学ユニットの更に別の実施形態36を示している。ミラーD1は、凸円柱ミラーである。ミラーD2は平面ミラーである。ミラーD3とD4とは、等しい曲率半径を有する2つの円柱ミラーである。

【0110】

より詳細な光学データをレイアウトに関して図14に関する表に対応する下記の表から達成することができる。

【表2】

10

	曲率半径	次のミラーまでの距離
D1	5080.620899	130.543311
D2	0.000000	187.140820
D3	-18949.299940	226.054877
D4	-18949.299940	

図15に関する表

【0111】

図15に記載の偏向光学ユニット35は、EUV個別出力ビーム9の x/y アスペクト比を2倍拡大する。

20

【0112】

図16は、5つのミラーD1からD5を含む偏向光学ユニットの更に別の実施形態37を示している。最初のミラーD1は、凸円柱ミラーである。第2のミラーD2は平面ミラーである。更に別のミラーD3からD5は、3つの凹円柱ミラーである。

【0113】

より詳細なデータをレイアウトに関して図14及び図15に関する表に対応する以下の表から達成することができる。

【表3】

30

	曲率半径	次のミラーまでの距離
D1	3711.660251	172.323866
D2	0.000000	352.407636
D3	-27795.782391	591.719804
D4	-41999.478002	717.778100
D5	-101011.739006	

図16に関する表

【0114】

図16に記載の偏向光学ユニット37は、EUV個別出力ビーム9の x/y アスペクト比を5倍拡大する。

40

【0115】

偏向光学ユニット37の更に別の実施形態は、以下の表に示す曲率半径及びミラー距離においてのみ図16に記載の実施形態と異なる。

【表4】

	曲率半径	次のミラーまでの距離
D1	4283.491081	169.288384
D2	0.000000	318.152124
D3	-26270.138665	486.408438
D4	-41425.305704	572.928893
D5	-91162.344644	

表「図16に関する代替設計」

10

【0116】

図16に記載の第1の実施形態とは対照的に、この代替設計は、 x / y アスペクト比に関して4という拡大率を有する。

【0117】

偏向光学ユニットの更に別の実施形態37は、以下の表に示す曲率半径及びミラー距離において図16に記載の実施形態と異なる。

【表5】

	曲率半径	次のミラーまでの距離
D1	5645.378471	164.790501
D2	0.000000	269.757678
D3	-28771.210382	361.997270
D4	-55107.732703	424.013033
D5	-55107.732703	

図16に関する表「更に別の代替設計」

20

【0118】

上記で記述した実施形態とは対照的に、この更に別の代替設計は、 x / y アスペクト比に関して3という拡大率を有する。最後の2つのミラーD4及びD5の曲率半径は等しい。

30

【0119】

図17は、6つのミラーD1からD6を含む偏向光学ユニット38の更に別の実施形態を示している。最初のミラーD1は、凸円柱ミラーである。次の2つの偏向ミラーD2、D3は、各場合に等しい曲率半径を有する凹円柱ミラーである。次の偏向ミラーD4は平面ミラーである。偏向光学ユニット38の最後の2つの偏向ミラーD5、D6は、再度等しい曲率半径を有する凹円柱ミラーである。

【0120】

より詳細なデータをレイアウトに関して図16に関する表に対応する以下の表から達成することができる。

【表6】

40

	曲率半径	次のミラーまでの距離
D1	7402.070457	197.715713
D2	-123031.042588	332.795789
D3	-123031.042588	459.491141
D4	0.000000	608.342998
D5	-87249.129389	857.423893
D6	-87249.129389	

図17に関する表

【0121】

50

偏向光学ユニット38は、 x / y アスペクト比に関して5という拡大率を有する。

【0122】

図18は、6つのミラーD1からD6を含む偏向光学ユニットの更に別の実施形態39を示している。偏向光学ユニット39の最初のミラーD1は、凸円柱ミラーである。下流にある第2の偏向ミラーD2は平面ミラーである。下流にある偏向ミラーD3からD6は、各場合に凹円柱ミラーである。一方でミラーD3及びD4の曲率半径と、他方でミラーD5及びD6の曲率半径とは等しい。

【0123】

より詳細なデータをレイアウトに関して図17に関する表に対応する以下の表から達成することができる。

10

【表7】

	曲率半径	次のミラーまでの距離
D1	7950.882348	196.142128
D2	0.000000	322.719989
D3	-207459.983757	451.327919
D4	-207459.983757	627.317787
D5	-90430.481262	839.555523
D6	-90430.481262	

図18に関する表

20

【0124】

偏向光学ユニット39は、 x / y アスペクト比に関して5という拡大率を有する。

【0125】

図18に関する代替設計では、凸/平面/凹/凹/凹/凹というミラー順序は、上記で記述した偏向光学ユニット39の実施形態の場合と正確に同じである。図18に関するこの代替設計は、以下の表によって例示するように、特定の曲率半径及びミラー距離が異なる。

【表8】

	曲率半径	次のミラーまでの距離
D1	10293.907897 S	192.462359
D2	0.000000 S	285.944981
D3	-101659.408806 S	360.860262
D4	-101659.408806 S	451.967976
D5	-101659.408806 S	517.093086
D6	-101659.408806	

表「図18に関する代替設計」

30

【0126】

図18に関するこの代替設計は、EUV個別出力ビーム9の x / y アスペクト比に関して4という拡大率を有する。

40

【0127】

図19は、6つのミラーD1からD6を含む偏向光学ユニットの更に別の実施形態40を示している。偏向光学ユニット40の最初の偏向ミラーD1は、凸円柱ミラーである。2つの下流偏向ミラーD2及びD3は平面ミラーである。偏向光学ユニット40の下流偏向ミラーD4からD6は、凹円柱ミラーである。最後の2つの偏向ミラーD5及びD6の曲率半径は等しい。

【0128】

より詳細なデータをレイアウトに関して図18に関する表に対応する以下の表から達成することができる。

【表9】

	曲率半径	次のミラーまでの距離
D1	8304.649871	195.440359
D2	0.000000	314.991402
D3	0.000000	435.995630
D4	-237176.552267	622.135962
D5	-85355.457233	852.531832
D6	-85355.457233	

図19に関する表

10

【0129】

偏向光学ユニット40は、 x/y アスペクト比に関して5という拡大率を有する。

【0130】

更に別の変形（例示していない）では、偏向光学ユニットは、合計で8つのミラーD1からD8を有する。EUV個別出力ビーム9のビーム経路にある2つの先頭偏向ミラーD1及びD2は、凹円柱ミラーである。4つの下流偏向ミラーD3からD6は、凸円柱ミラーである。この偏向光学ユニットの最後の2つの偏向ミラーD7及びD8は再度凹円柱ミラーである。

【0131】

これらのミラーD1からD8は、図13のミラーD1と同様な方式でアクチュエータ34に接続され、これらのアクチュエータによって隣接ミラーD1からD8の間の距離を予め定めることができる。

20

【0132】

以下の表は、8つのミラーD1からD8を含むこの偏向光学ユニットの設計を示しており、曲率半径に加えて、射出EUV個別出力ビーム9_iの様々な半直径 $d_{out}/2$ に関するミラー距離も示している。この場合に、EUV個別出力ビームは、8つのミラーD1からD8を含む偏向光学ユニット内に10mmの半直径 $d_{in}/2$ を用いて入射し、図示の距離値に基づいて、偏向を受けるEUV個別出力ビーム9_iの x/y アスペクト比に関して4.0、4.5、及び5.0という拡大率を提供する。

【表10】

30

	曲率半径 [mm]	40mmの半直径	45mmの半直径に関する距離[mm]	50 mmの半直径
D1	-24933.160828	233.314949	313.511608	355.515662
D2	-96792.387128	261.446908	184.453510	159.189884
D3	13933.786194	120.747224	278.984993	124.048048
D4	7248.275614	150.818354	311.248621	385.643707
D5	29532.874950	204.373669	219.654058	296.180993
D6	100989.002210	872.703663	698.841397	665.602749
D7	-87933.616578	1176.395997	1462.002885	1318.044212
D8	-79447.352117			

40

【0133】

偏向光学ユニットの更に別の実施形態（同じく例示していない）では、4つのミラーD1からD4が存在する。EUV個別出力ビーム9_iのビーム経路内の最初のミラーD1及び第3のミラーD3は、凹円柱ミラーとして具現化される。以下の表は、曲率半径に加えて、10mmのEUV個別出力ビーム9_iの入力半直径 $d_{in}/2$ に関して計算した距離値、すなわち、4つのミラーD1からD4を含むこの偏向群を通過する時に x/y アスペクト比に関して1.5（半直径 $d_{out}/2$ 15mm）、1.75（半直径 $d_{out}/2$ 17.5mm）、及び2.0（半直径 $d_{out}/2$ 20mm）という拡大率をもたらす距離値

50

も示している。

【表11】

	曲率半径 [mm]	15mmの半直径	17.5mmの半直径に 関する距離	20mmの半直径
D1	112692.464497	1718.226630	6884.616863	7163.537958
D2	-488601.898900	250.044362	205.433074	3185.838011
D3	112362.082498	1439.444519	263.976778	175.458248
D4	-86905.078626			

10

【0134】

偏向光学ユニット13は、平行な入射光が偏向光学ユニットを再び平行に射出するように設計することができる。偏向光学ユニット13に平行入射で入射したEUV個別出力ビーム9₁の光線方向の偏角は、偏向光学ユニットを射出した後に、10mradよりも小さく、特に1mradよりも小さく、特に100μradよりも小さいとすることができる。

【0135】

偏向光学ユニット13のミラーD_iは、屈折力を持たないように、すなわち、平面方式に具現化することができる。この平面方式での具現化は、特に、Nが、光源2によって給光される投影露光装置1の台数である時に、EUV集合出力ビーム7のx/yアスペクト比がN:1のアスペクト比を有する場合に可能である。このアスペクト比に、望ましい設定値アスペクト比を乗じることができる。

20

【0136】

屈折力を持たないミラーD_iの偏向光学ユニット13は、3個から10個のミラー、特に4個から8個のミラー、特に4個又は5個のミラーで構成することができる。

【0137】

光源2は、直線偏光光を放出することができ、偏向光学ユニット13のミラー上に入射するときの照明光3の偏光方向、すなわち、電界強度ベクトルの方向は、入射平面に対して垂直とすることができます。屈折力を持たないミラーD_iの偏向光学ユニット13は、3個よりも少ないミラー、特に1個のミラーで構成することができる。

30

【0138】

ビーム案内光学ユニット10内には、それぞれのEUV個別出力ビーム9のビーム経路内のそれぞれの偏向光学ユニットの下流に、入力結合光学ユニットとも表記するフォーカスアセンブリ41が配置される。

【0139】

図20は、EUV個別出力ビーム9₁のうちの1つに対する入力結合光学ユニット41の機能を略示している。フォーカスアセンブリ41は、それぞれのEUV個別出力ビーム9₁をビーム案内光学ユニット10の中間フォーカス42に伝達する。中間フォーカス42は、照明光3に対する貫通開口部43の場所に配置される。貫通開口部43は、投影露光装置1を含むシステムが内部に含まれる建物の天井に具現化することができる。天井は、図1にも示すビーム案内光学ユニット10の中間焦点面44内で延びている。

40

【0140】

フォーカスアセンブリ41は、中心主光線CRに対して約10°の有効偏向角を有する。

【0141】

別の構成では、が中間フォーカス42における中心主光線と周辺光線の間の角度である時に、フォーカスアセンブリ41は、中心主光線CRに対して/2との間の有効偏向角を有する。の正弦値を中間フォーカス42における放射線3の開口数(NA)とも呼ぶ。

【0142】

50

図21は、図20に記載のフォーカスアセンブリ41の代わりに使用することができる代替フォーカスアセンブリ45のフォーカス効果を示している。フォーカスアセンブリ41とは対照的に、フォーカスアセンブリ45は、入射EUV個別出力ビーム9_iの全ての個々の光線をx z入射平面内で同じ偏向方向、すなわち、負のy値に向けて偏向する。図21の左端に示すEUV個別出力ビーム9_iのフォーカス個々の光線46の最小偏向角を図21では₁で表記しており、₁は5°又はそれよりも小さい。

【0143】

フォーカスアセンブリ45は、中心主光線CRに対して約20°の有効偏向角を有する。

【0144】

別の構成では、₁が中間フォーカス42における中心主光線と周辺光線の間の角度である時に、フォーカスアセンブリ45は、中心主光線CRに対して₁/2と₂の間の有効偏向角を有する。

【0145】

フォーカスアセンブリ41又は45に対して使用することができるフォーカスアセンブリに関する実施形態変形を図22から図25を参照して以下に説明する。

【0146】

図22から図25は、各場合に、関わっているミラー反射面を通る子午断面を示している。これらのミラー面の使用反射部分を太線で強調表示している。それぞれのミラーの形状特徴に関する橯円面双曲面/放物面の面設計を解説するために、母材面切欠き部を細線で同じく描示している。

【0147】

図22に記載のフォーカスアセンブリ46は、それぞれのEUV個別出力ビーム9_iのビーム経路内で下流に配置された2つのミラー、すなわち、先頭の橯円面ミラー47と下流の双曲面ミラー48とを有する。

【0148】

フォーカスアセンブリ46の場合に、EUV個別出力ビーム9_iの中心主光線CRに対する有効偏向角は約50°である。フォーカスアセンブリ46の場合に、2つのミラー47及び48での反射時の中心主光線CRに対する偏向角は加算される。

【0149】

ミラー47及び48は、凹ミラーとして具現化される。フォーカスアセンブリ46は、I型ウォルターコレクターの方式に具現化される。様々なタイプのウォルターコレクターに関する情報は、H. Wolter著「X線に対する結像光学ユニットとしてのかすめ入射ミラーシステム(Spiegelssysteme streifenden Einfall als abbildende Optiken fur Rontgenstrahlen)」、アナーレンデアフィジーク第10巻、94ページから114ページ、1952年に見出すことができる。

【0150】

代替構成では、フォーカスアセンブリ46の場合のEUV出力ビーム9_iの中心主光線CRに対する有効偏向角は、40°よりも小さく、特に30°よりも小さく、特に15°よりも小さく、特に10°よりも小さい。

【0151】

代替構成では、フォーカスアセンブリ46の場合のEUV出力ビーム9_iの中心主光線CRに対する有効偏向角は、中間フォーカス42における中心主光線CRと周辺光線の間の角度の2倍よりも小さい。

【0152】

図23に記載のフォーカスアセンブリ49も同じく2つのミラー、すなわち、先頭の橯円面ミラー50と下流の双曲面ミラー51とを含む。

【0153】

ミラー50は、凹のものであり、ミラー51は、凸のものである。

10

20

30

40

50

【0154】

フォーカスアセンブリ49の場合に、ミラー50及び51での反射時の中心主光線CRに対する偏向角は減算される。

【0155】

フォーカスアセンブリ49の場合に、主光線CRに対する有効偏向角は約30°である。

【0156】

フォーカスアセンブリ49は、II型のウォルターコレクターの方式に具現化される。

【0157】

代替構成では、フォーカスアセンブリ49は、主光線CRに対して最大で20°、特に最大で15°、特に最大で10°の有効偏向角を有する。

10

【0158】

フォーカスアセンブリ49の1つの構成では、主光線CRに対する有効偏向角は、中間フォーカス42における主光線CRと周辺光線の間の角度の2倍よりも小さい。

【0159】

図24に記載のフォーカスアセンブリ52もまた、EUV個別出力ビーム9_iのビーム経路に経路の流れに沿って配置された2つのミラー、すなわち、先頭の放物面ミラー53と下流の楕円面ミラー54とを有する。

【0160】

ミラー53は、凸のものであり、ミラー54は、凹のものである。

20

【0161】

フォーカスアセンブリ52の場合に、ミラー53及び54での反射時の中心主光線CRに対する偏向角は減算される。

【0162】

フォーカスアセンブリ52の場合に、主光線CRに対する有効偏向角は約50°である。

【0163】

フォーカスアセンブリ52は、III型のウォルターコレクターの方式に具現化される。

【0164】

30

図25は、同じくIII型のウォルターコレクターの方式に具現化されるフォーカスアセンブリの更に別の実施形態52を示している。図21から図24に記載のフォーカスアセンブリ、特に図24に記載のフォーカスアセンブリを参照して上述した構成部分及び機能は同じ参照符号を伴い、これらに対して再度詳細に解説することはしない。

【0165】

EUV個別出力ビーム9_iの出力発散は、中間フォーカス42におけるEUV個別出力ビーム9_iの開口数NAによって予め定められる。この開口数NAに基づいて、図25に記載のフォーカスアセンブリの伝達率Tに対して近似的に次式を指定することができる。

$$T = 1 - 0.9NA$$

【0166】

40

この場合に、開口数NAは、中間フォーカス42における主光線と周辺光線の間の角度の正弦値として定められる。同等な定義は、NAがビーム発散の半分の正弦値であると説明する。

【0167】

楕円面ミラー54の反射面を説明する楕円面の長半軸は長さaを有する。フォーカスアセンブリ55に必要とされる構造空間2aは、2aという典型的な寸法を有する。

【0168】

典型的な構造空間寸法2aは、フォーカスアセンブリ55内への入射時のEUV個別出力ビーム9_iのビーム直径dの約50倍である。この比は、中間フォーカス42における開口数NAに極めて弱くしか依存しない。

50

【0169】

楕円面ミラー54の反射面の典型的な寸法も同じくaである。楕円面ミラー54の反射面の1.4mの典型的な広がりが与えられる場合に、ビーム直径dに対して約60mmの直径が続く。

【0170】

楕円面ミラー54は短半軸bを有する。この短半軸bは、図25の作図面に対して垂直である。半軸比b/aに関して、次式が成り立つ。

$$b/a \sim 0.8 NA$$

【0171】

この場合に、NAは中間フォーカス42における開口数である。

10

【0172】

放物面ミラー52は焦点距離fを有する。楕円面ミラー54の長半軸aと放物面ミラーの焦点距離fとの比に関して次式が成り立つ。

$$a/f > 50$$

【0173】

投影露光装置1を用いた微細又はナノ構造化構成要素の生成中に、最初にレチクル12とウェーハ24とが与えられる。その後に、投影露光装置1を用いてレチクル12上の構造が、ウェーハ24の感光層上に投影される。感光層の現像により、ウェーハ24上に微細構造又はナノ構造が生成され、従って、微細又はナノ構造化構成要素、例えば、メモリチップの形態にある半導体構成要素が生成される。

20

【0174】

下記では、投影露光装置1の更に別の態様、特にビーム成形光学ユニット6の更に別の態様を説明する。

【0175】

一般的に、ビーム成形光学ユニット6は、生ビーム4から搬送ビームとも呼ぶ集合出力ビーム7を成形するように機能する。集合出力ビーム7は、出力結合光学ユニット8によって様々なスキャナに案内されるEUV個別出力ビーム9に分かれる。

【0176】

搬送ビームは、大きい距離にわたって容易に搬送することができる。この目的のためには、搬送ビームが非常に小さい発散を有する方が有利である。非常に小さい発散は、ビーム成形光学ユニット6とスキャナ、特にスキャナの照明光学ユニット15の間の距離が必ずしも既知であるわけではないことで有利である。

30

【0177】

スキャナに沿って搬送ビームをより容易に分割することを可能にするためには、搬送ビームが、生ビーム4に関して慣例であるようなガウス分布ではなく、実質的に均一な強度分布を有する方が有利である。この均一な強度分布は、上述のようにビーム成形光学ユニット6により、特に自由曲面での反射を用いて達成することができる。

【0178】

均一な強度分布を有する集合出力ビーム7は、このビームを様々な個々の出力ビーム9に分割することを容易にする。しかし、本発明により、個々のスキャナの照射量安定性を達成する上で、均一性要件が絶対的に必要というわけではないことが認識されている。更に、集合出力ビーム7が、必ずしも矩形の強度分布を有する必要がないことが認識されている。

40

【0179】

1つの変形により、ビーム成形光学ユニット6は、自由曲面として具現化されない反射面を有するミラーを含む。特に、ビーム成形光学ユニット6を自由曲面として具現化されない反射面を有するミラーのみを含むように具現化することができる。

【0180】

出力結合光学ユニット8及び偏向光学ユニット13は、特に、照明光3がかすめ入射で入射するミラーのみを含む。全体的に望ましい偏向角による照明放射線3の偏向は、特に

50

複数回の反射によって発生する。出力結合光学ユニット 8 及び偏向光学ユニット 13 における全反射回数は、特に少なくとも 2 回、特に少なくとも 3 回、特に少なくとも 4 回である。

【 0 1 8 1 】

ビーム成形光学ユニット 6 は、放射線源 2 と、出力結合光学ユニット 8、すなわち、集合出力ビーム 7 を個々の出力ビーム 9_i に分割するのに使用する光学構成要素との間に配置される。

【 0 1 8 2 】

ビーム成形光学ユニット 6 は、特に生ビーム 4 が、伝播方向に対して垂直な少なくとも 1 つの方向に拡大されるように具現化される。ビーム成形光学ユニット 6 は、特に、生ビーム 4 の断面が、少なくとも 1 つの方向に、特に互い対して斜方に延びる 2 つの方向に、特に垂直に拡大されるように具現化される。拡大スケールは、好ましくは、1 : 4 と 1 : 50 の間の範囲にあり、特に少なくとも 1 : 6、特に少なくとも 1 : 8、特に少なくとも 1 : 10 である。

【 0 1 8 3 】

ビーム成形光学ユニット 6 の入力において、生ビーム 4 は、特に 1 mm から 10 mm の範囲の直径を有する断面を有する。ビーム成形光学ユニット 6 の出力において、集合出力ビーム 7 は、特に 15 mm から 300 mm の範囲の直径、特に少なくとも 30 mm、特に少なくとも 50 mm の直径を有する。

【 0 1 8 4 】

ビーム成形光学ユニット 6 の入力において、生ビーム 4 は、特に 25 μ rad から 100 μ rad の範囲の発散を有する。ビーム成形光学ユニット 6 の出力において、集合出力ビーム 7 の発散は特に 10 μ rad よりも小さい。

【 0 1 8 5 】

ビーム成形光学ユニット 6 は、特にテレセントリックなものである。ビーム成形光学ユニット 6 は、少なくとも 2 つの光学的有効面を含む。光学的有効面は、好ましくは、かすめ入射で作動される。

【 0 1 8 6 】

好ましくは、生ビーム 4 は、互いに対して斜方の特に垂直な 2 つの方向に拡大される。この場合に、ビーム成形光学ユニット 6 は、各場合に少なくとも 2 つの光学的有効面、すなわち、特に少なくとも 4 つの光学的有効面を有する少なくとも 2 つの群を含む。ビーム成形光学ユニット 6 は、特にミラー群 27、28 を含む。ミラー群 27、28 は、特に各場合に 2 つのミラー 27_i、28_i を含む。

【 0 1 8 7 】

ビーム成形光学ユニット 6 は、特に、各場合に少なくとも 2 つのミラー 27_i、28_i を有する少なくとも 1 つのビーム成形ミラー群 27、28 を含む。ミラー 27_i、28_i は、各場合にある局所座標に沿って一定であり、この座標に直交する座標に沿って球面推移を有する面プロファイルを有することができる。それによって単一方向にのみ生ビーム 4 の拡大が引き起こされる。生ビーム 4 を 2 つの異なる方向、特に 2 つの直交方向に拡大するために、この種の 2 つのミラー群 27、28 を使用することができる。

【 0 1 8 8 】

ミラー 27_i、28_i は、第 1 の局所座標に沿って曲率半径 R₁ を有する球面推移を有し、この座標に直交する座標に沿って曲率半径 R₂ を有する球面推移を有することができる。この場合に、R₁ と R₂ とは、等しいか又は異なるとすることができます。そのような変形は、2 つの互いに垂直な方向に生ビーム 4 の拡大をもたらす。

【 0 1 8 9 】

ミラー 27_i、28_i は、各場合に橜円面に対応する面プロファイルを有することができる。それによっても、2 つの方向に拡大が引き起こされる。

【 0 1 9 0 】

好ましくは、ビーム成形光学ユニット 6 は、生ビーム、特にその断面が、設置面と平行

10

20

30

40

50

に、すなわち、水平方向と平行に延びる方向に関して拡大されるように配置及び具現化される。ビーム成形光学ユニット6は、特に、ビーム成形光学ユニット6の出力における集合出力ビーム7が設置面と平行に延びるように具現化される。

【0191】

下記では、ビーム成形光学ユニット6の更に別の態様及び変形を簡単に要約して説明する。

【0192】

上述のように、ビーム成形光学ユニット6を用いて生ビーム4を均一化することが絶対的に必要というわけではない。しかし、生ビーム4の均一化は有利である可能性がある。この均一化は、特に高い材料寿命をもたらす可能性がある。この均一化は、特に出力結合光学ユニット8の生成可能性を簡易化する可能性もある。 10

【0193】

どの態様が主として重要なものであるかに基づいて、生ビーム4を1つの方向だけに均一化することは好適である場合があり、それを可能にすることができる。この点に関して、1つの方向の生ビーム4の均一化が材料寿命に対して有利な効果を有し、それに対してこの方向に直交する方向の均一化が、特に出力結合光学ユニット8の生産可能性に対して有利であることが認識されている。

【0194】

上述のように、ビーム成形光学ユニット6は、これら2つの方向に各場合にミラー27_i、28_iの別個の群27、28、特に別個のミラー対を有するので、例えば、これらのミラー対の一方をトーラスとして具現化し、他方を自由曲面として具現化することができる。これはコスト節約をもたらす。 20

【0195】

ビーム成形光学ユニット6を用いた生ビーム4の均一化の様々な変形を図26から図28に略示している。図26は、生ビーム4を2つの互いに垂直な方向に均一化するのに使用するビーム成形光学ユニット6の実施形態を略示している。この均一化は、第1の方向の強度プロファイル56のステップ状推移と、第2の方向の強度プロファイル57のステップ状推移とによって明らかになる。強度プロファイル56、57は、集合出力ビーム7の伝播方向に対して垂直なこのビームの断面内の照明放射線3の強度に関するものである。 30

【0196】

図27は、生ビーム4が第2の方向にのみ均一化されるビーム成形光学ユニット6の変形を示している。従って、強度プロファイル57はステップ状推移を有する。強度プロファイル56は、不均一で、特にステップがなく、特にガウス状の推移を有する。言い換えば、図27の垂直方向に進む集合出力ビーム7の中心領域内で局所強度増大が発生する。

【0197】

図28は、図27に記載の実施形態と比較して生ビーム4が他方の方向に精密に均一化されるビーム成形光学ユニット6の変形を相応に例示している。この実施形態において、第1の方向の強度プロファイル56がステップ状推移を有する。第2の方向の強度プロファイル57は均一ではなく、特にステップがなく、特にガウス状のものである。強度は、水平に延びる中心領域内で増大する。 40

【0198】

中間ステップも可能である。特に、生ビーム4を一方又は両方の方向に部分的に均一化することができる。特に、生ビーム4を一方又は両方の方向に、当該方向の様々な空間座標における照明放射線の強度が、各場合に最大でも25%しか異なるように均一化することができる。対応する均一化により、特に強度の急増大を回避することができる。この急増大の回避は、特に材料寿命に対して有利な効果を有する。

【0199】

強度プロファイル56及び/又は強度プロファイル57は、特に正確にガウス状のもの 50

でもなく、正確にステップ状のものでもなく、ガウス状部分とステップ状部分とを有する形態を有することができる。強度プロファイル 5 6 及び / 又は強度プロファイル 5 7 は、ガウス状部分とステップ状部分との和として説明することができる。

【 0 2 0 0 】

出力結合光学ユニット 8 によって様々な個々の出力ビーム 9 に脱結合される集合出力ビーム 7 の領域が様々なサイズのものであることによって第 2 の方向の集合出力ビーム 7 の不均一性を補償することができる。これらの領域のサイズは、集合出力ビーム 7 内のどの程度の照明放射線 3 の分量が個々のスキャナに案内されるかを予め定めることを可能にする。

【 0 2 0 1 】

図 2 9 は、照明放射線 3 を有するビームの断面を拡大するための光学要素を示している。ビーム断面を拡大するために、凸反射面を有するミラー 5 8 が、照明放射線 3 のビーム経路に配置される。ミラー 5 8 を発散ミラーとも呼ぶ。

【 0 2 0 2 】

ミラー 5 8 は、実質的に円筒形の反射面を有することができ、すなわち、第 1 の方向に凸とし、第 1 の方向と垂直に延びる第 2 の方向に平面とすることができる。ミラー 5 8 は、両方の方向に凸とすることができます。この場合に、曲率半径は、等しいか又は異なるとすることができる。原理的に、調節可能な曲率半径、特にアクチュエータシステムによって調節可能な曲率半径を有するようにミラー 5 8 を具現化することができる。第 1 の方向及びこの方向に対して垂直な第 2 の方向に関するミラー 5 8 の曲率半径の選択は、対応する方向の断面の拡大に目標を定めた方式で影響を及ぼすことを可能にする。

【 0 2 0 3 】

ミラー 5 8 は、照明放射線 3 を有するビーム又は光線ビームの断面のターゲットを定めた拡大に向けてこのように使用することができる。

【 符号の説明 】

【 0 2 0 4 】

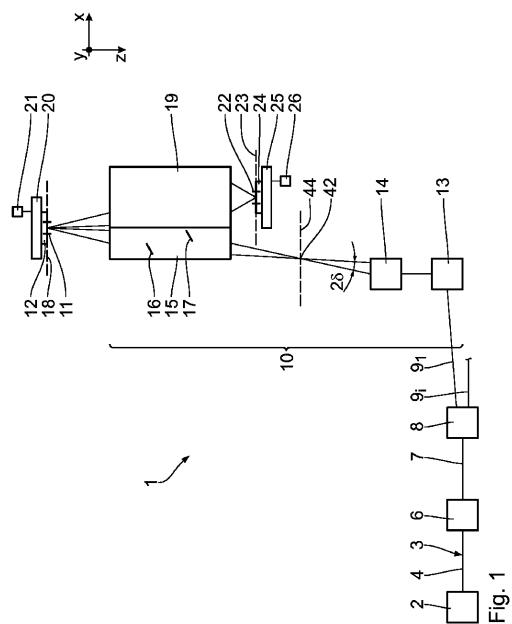
- 1 投影露光装置
- 2 シンクロトロン放射線ベースの光源
- 4 E U V 生ビーム
- 8 出力結合光学ユニット
- 10 ビーム案内光学ユニット

10

20

30

【 四 1 】



【図2】

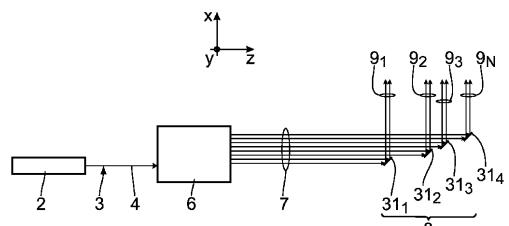


Fig. 2

【 図 3 】

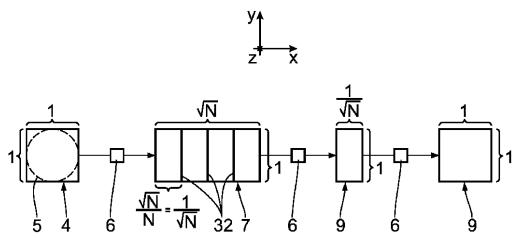


Fig. 3

【 四 4 】

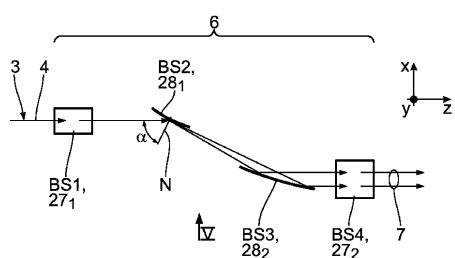


Fig. 4

【 図 5 】

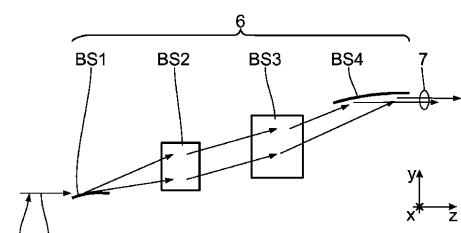


Fig. 5

【図6】

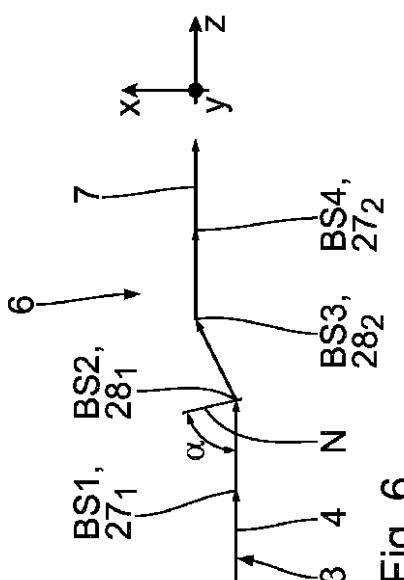


Fig. 6

【図7】

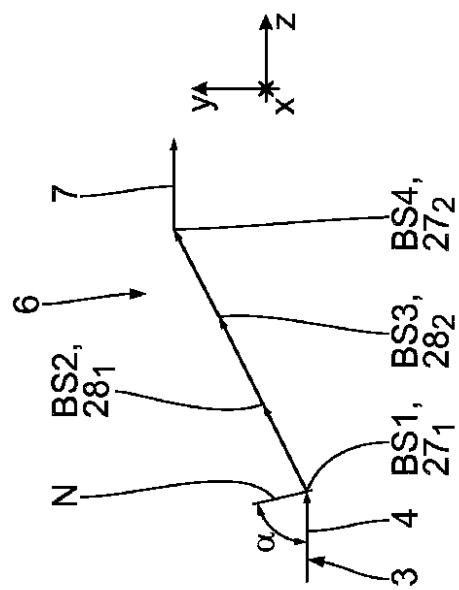


Fig. 7

【図8】

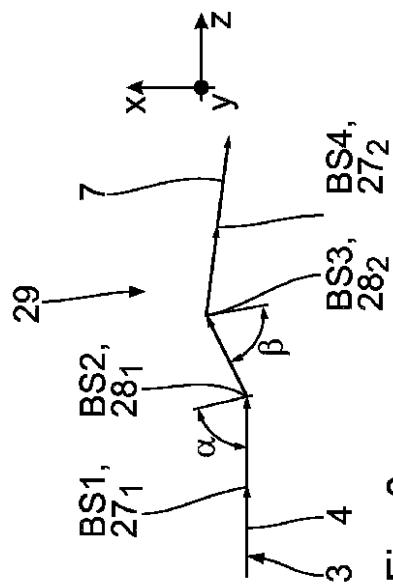


Fig. 8

【図9】

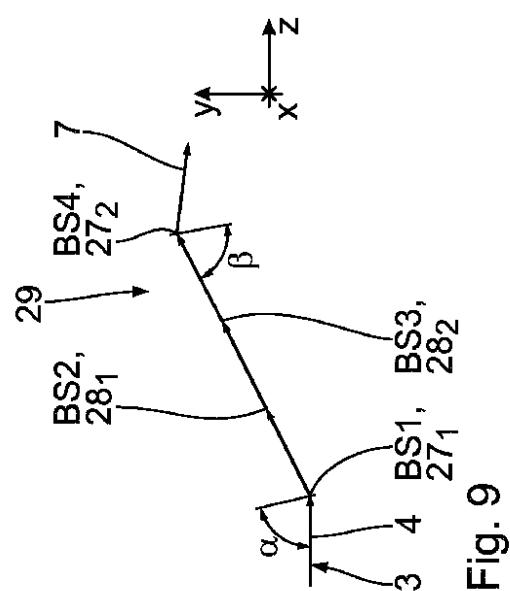


Fig. 9

【図10】

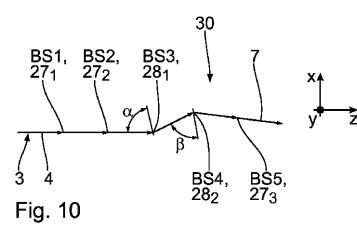


Fig. 10

【図11】

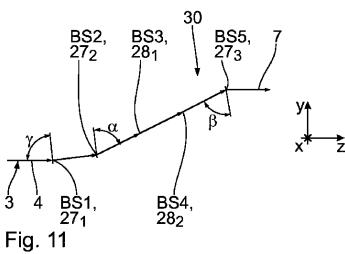


Fig. 11

【図 1 2】

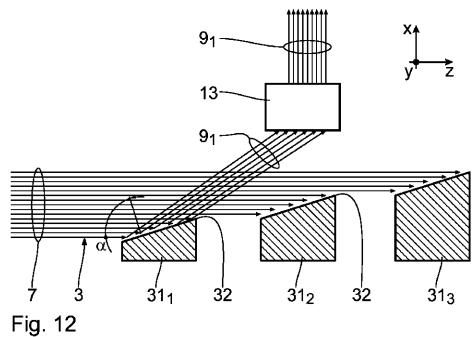


Fig. 12

【図 1 4】

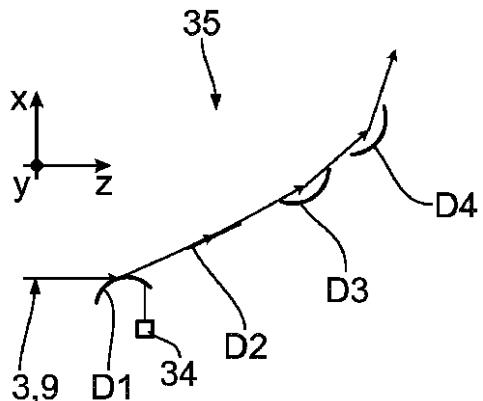


Fig. 14

【図 1 3】

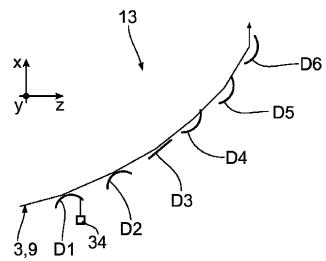


Fig. 13

【図 1 5】

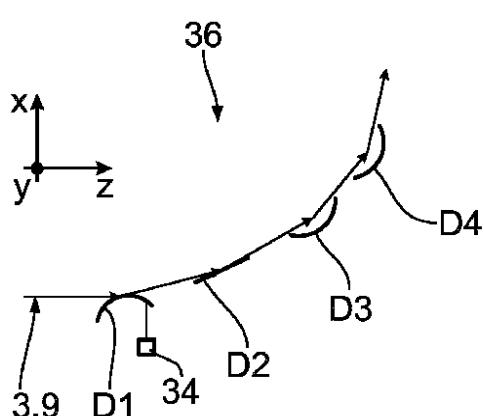


Fig. 15

【図 1 7】

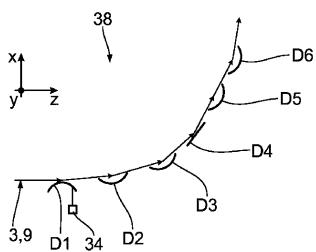


Fig. 17

【図 1 8】

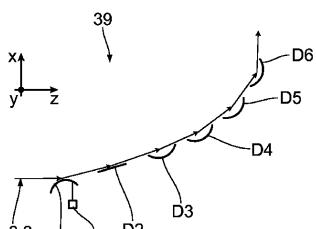


Fig. 18

【図 1 6】

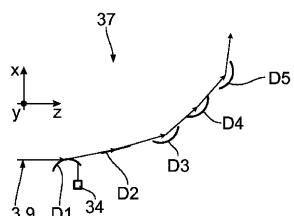


Fig. 16

【図19】

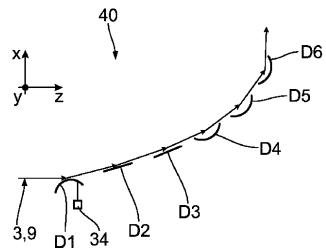


Fig. 19

【図20】

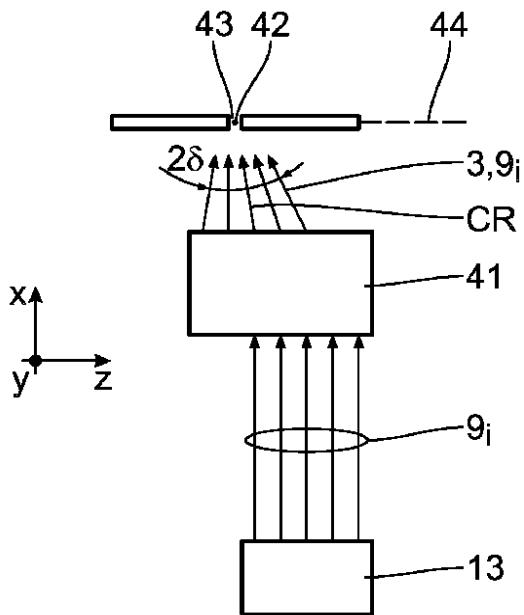


Fig. 20

【図21】

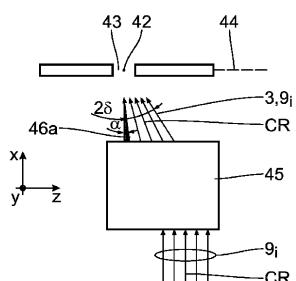


Fig. 21

【図23】

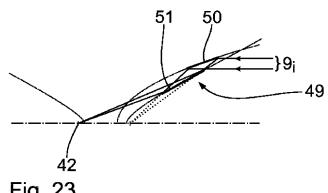


Fig. 23

【図22】

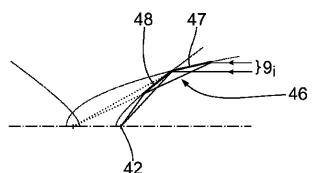


Fig. 22

【図24】

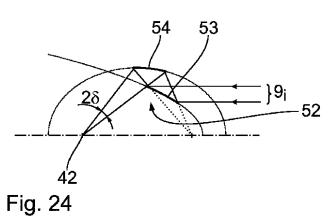


Fig. 24

【図25】

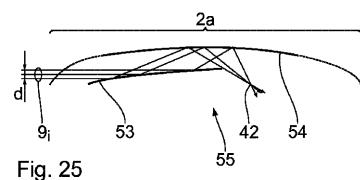


Fig. 25

【図26】

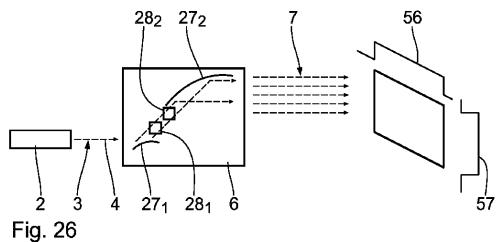


Fig. 26

【図28】

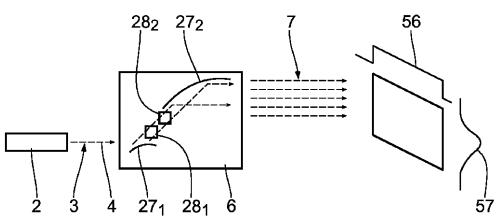


Fig. 28

【図27】

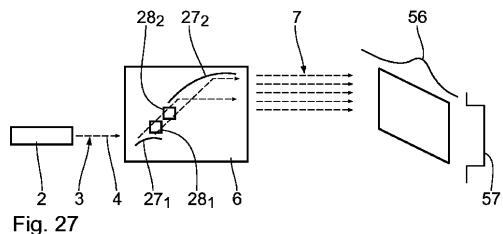


Fig. 27

【図29】

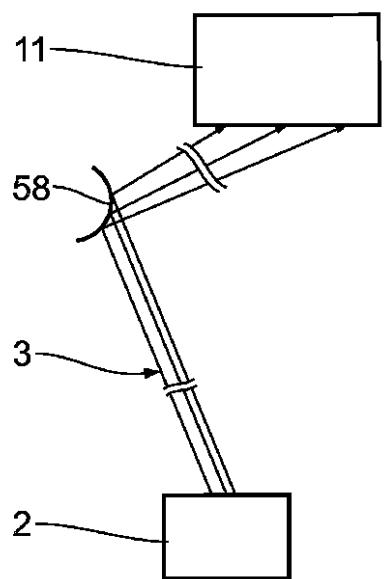


Fig. 29

フロントページの続き

(74)代理人 100109070

弁理士 須田 洋之

(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 パトラ ミハエル

ドイツ連邦共和国 7 3 4 4 7 オーバーコッヘン シュバルトヴェーク 4 1

(72)発明者 ミュラー ラルフ

ドイツ連邦共和国 7 3 4 3 0 アーレン ドクトル ポッシュ シュトラーセ 6

審査官 右 高 孝幸

(56)参考文献 特開平05-114546 (JP, A)

特開平07-078755 (JP, A)

特開平09-021900 (JP, A)

特表平09-500453 (JP, A)

特表2009-545181 (JP, A)

特表2013-506979 (JP, A)

米国特許第02766385 (US, A)

米国特許第05524039 (US, A)

米国特許出願公開第2003/0043359 (US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 03 F 7 / 20 - 7 / 24

9 / 00 - 9 / 02

H 01 L 21 / 027

21 / 30

21 / 46