

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6453251号
(P6453251)

(45) 発行日 平成31年1月16日(2019.1.16)

(24) 登録日 平成30年12月21日(2018.12.21)

(51) Int.Cl.

G03F 7/20 (2006.01)
G02B 17/06 (2006.01)

F 1

G03F 7/20 503
G03F 7/20 521
G02B 17/06

請求項の数 13 (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2015-562035 (P2015-562035)
 (86) (22) 出願日 平成26年3月7日 (2014.3.7)
 (65) 公表番号 特表2016-511441 (P2016-511441A)
 (43) 公表日 平成28年4月14日 (2016.4.14)
 (86) 國際出願番号 PCT/EP2014/054422
 (87) 國際公開番号 WO2014/139872
 (87) 國際公開日 平成26年9月18日 (2014.9.18)
 審査請求日 平成29年3月6日 (2017.3.6)
 (31) 優先権主張番号 102013204431.3
 (32) 優先日 平成25年3月14日 (2013.3.14)
 (33) 優先権主張国 ドイツ(DE)
 (31) 優先権主張番号 61/781179
 (32) 優先日 平成25年3月14日 (2013.3.14)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(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】投影リソグラフィのための照明光学ユニット

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

結像される物体(7)を配置することができる物体視野(5)を照明光(16)で照明するための投影リソグラフィのための照明光学ユニット(4；49；61)であって、複数の視野ファセット(20)を有する視野ファセットミラー(19)を有し、複数の瞳ファセット(28)を有する少なくとも1つの瞳ファセットミラー(25)を有し、

前記視野ファセット(20)は、伝達光学ユニット(21，25，39)によって前記物体視野(5)内に結像され、

瞳ファセットミラー偏光区画上に入射する光は、その偏光状態をそのような瞳ファセットミラー偏光区画によって変更され、

瞳ファセットミラー中立区画上に入射する光は、その偏光状態をそのような瞳ファセットミラー中立区画によって変更されず、

少なくとも1つの前記瞳ファセットミラー偏光区画(29，30；51；29，30，63)を有し、これが、前記照明光(16)の部分ビームを案内するように位置合わせされた、前記視野ファセット(20)のうちの1つと、前記瞳ファセット(28)のうちの1つとによってそれぞれ形成される照明チャネルに沿う該照明光(16)の照明ビーム経路(31)の入射角が、該瞳ファセットミラー偏光区画(29，30；51；29，30，63)の該瞳ファセット(28)上の多層反射コーティングのブリュースター角から最大で20°だけ該瞳ファセットミラー偏光区画(29，30；51；29，30，63)

10

20

の該瞳ファセット(28)においてずれるように配置され、

少なくとも1つの前記瞳ファセットミラー中立区画(34；52)を有し、これが、前記照明光(16)の部分ビームを案内するように位置合わせされた、前記視野ファセット(20)のうちの1つと、前記瞳ファセット(28)のうちの1つとによってそれぞれ形成される照明チャネルに沿う該照明光(16)の照明ビーム経路(37)の入射角が、該瞳ファセットミラー中立区画(34；52)の該瞳ファセット(28)上への法線入射から最大で20°だけ該瞳ファセットミラー中立区画(34；52)の該瞳ファセット(28)においてずれるように配置される、

ことを特徴とする照明光学ユニット(4；49；61)。

【請求項2】

前記視野ファセットミラー(19)は、視野ファセット(20)の傾斜位置に基づいて前記瞳ファセットミラー偏光区画(29，30；51；29，30，63)と前記瞳ファセットミラー中立区画(34；52)とが前記照明光(16)によって入射を交互に受けることができるよう傾斜させることができる視野ファセット(20)を用いて具現化されることを特徴とする請求項1に記載の照明光学ユニット。

【請求項3】

前記視野ファセットミラー(19)は、該視野ファセットミラー(19)の傾斜位置に基づいて前記瞳ファセットミラー偏光区画(29，30；51；29，30，63)と前記瞳ファセットミラー中立区画(34；52)とが前記照明光(16)による入射を交互に受けることができるよう全体的に傾斜させることができるように具現化されることを特徴とする請求項1に記載の照明光学ユニット。

【請求項4】

前記瞳ファセットミラー中立区画(34)に対する前記照明ビーム経路(37)の中心主光線(40)の案内が、前記少なくとも1つの瞳ファセットミラー偏光区画(29，30)に対する前記照明ビーム経路(31)の中心主光線(41)の主案内平面(42)を少なくとも区画的に外れて位置し、該主案内平面(42)は、前記視野ファセットミラー(19)の反射面の中心(43)と、前記瞳ファセットミラー(25)の反射面の中心(32a)と、中心物体視野点(44)とによって定められ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項に記載の照明光学ユニット。

【請求項5】

前記瞳ファセットミラー偏光区画(29，30；51；29，30，63)と前記瞳ファセットミラー中立区画(34；52)は、1つのかつ同じ瞳ファセットミラー(25)の区画であ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項に記載の照明光学ユニット。

【請求項6】

前記瞳ファセットミラー偏光区画(29，30)のうちの少なくとも1つが、前記瞳ファセットミラー中立区画(34)の周りに少なくとも部分円の形態に配置されることを特徴とする請求項1から請求項5のいずれか1項に記載の照明光学ユニット。

【請求項7】

前記瞳ファセットミラー中立区画(34)のうちの少なくとも1つが、前記瞳ファセットミラー偏光区画(63)の周りに少なくとも部分円の形態に配置されることを特徴とする請求項1から請求項6のいずれか1項に記載の照明光学ユニット。

【請求項8】

前記瞳ファセットミラー偏光区画(51；63)又は前記瞳ファセットミラー中立区画(34)は、前記視野ファセットミラー(19)と前記物体視野(5)の間で前記照明光(16)の前記ビーム経路から変位させることができることを特徴とする請求項1から請求項7のいずれか1項に記載の照明光学ユニット。

【請求項9】

互いに別々である少なくとも2つの瞳ファセットミラー偏光区画(29，63；30，63)を特徴とする請求項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。

10

20

30

40

50

【請求項 10】

請求項 1 から請求項 9 のいずれか 1 項に記載の照明光学ユニットと、
露光されるウェーハ（13）を配置することができる像視野（11）内に物体視野（5）
を結像するための投影光学ユニット（10）と、
を含むことを特徴とする光学系。

【請求項 11】

請求項 1 から請求項 9 のいずれか 1 項に記載の照明光学ユニットと、
EUV 光源（3）と、
を含むことを特徴とする照明系。

【請求項 12】

請求項 10 に記載の光学系と、
EUV 光源（3）と、
を含むことを特徴とする投影露光装置。

10

【請求項 13】

構造化構成要素を生成する方法であって、
感光材料で作られた層が少なくとも部分的に 付けられた ウェーハ（13）を与える段階
と、
結像される構造を有するレチクル（7）を与える段階と、
請求項 12 に記載の投影露光装置（1）を与える段階と、
前記投影露光装置（1）を用いて前記レチクル（7）の少なくとも一部を前記ウェーハ
（13）の前記層の領域上に投影する段階と、
を含むことを特徴とする方法。

20

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

ドイツ特許出願 DE 10 2013 204 431.3 の内容が引用によって組み
込まれている。

【0002】

本発明は、結像される物体を配置することができる物体視野を照明光で照明するための
投影リソグラフィのための照明光学ユニットに関する。本発明は、更に、そのような照明
光学ユニットを有する光学系及び照明系、そのような照明系を有する投影露光装置、その
ような投影露光装置を用いて微細構造化又はナノ構造化構成要素を生成するための生成
方法、並びにそれによって生成される構成要素に関する。

30

【背景技術】**【0003】**

冒頭に示したタイプの照明光学ユニットは、WO 2010/049076 A2 及び
WO 2009/095052 A1 から公知である。US 2011/0 001 9
47 A1 及び US 6 195 201 B1 の各々は、視野ファセットミラー及び瞳
ファセットミラーを用いて物体視野を照明するための投影リソグラフィのための照明光学
ユニットを記載している。個々のミラーアレイを有する照明光学ユニットは、WO 20
09/100 856 A1 から公知である。

40

【先行技術文献】**【特許文献】****【0004】**

- 【特許文献 1】DE 10 2013 204 431.3
- 【特許文献 2】WO 2010/049076 A2
- 【特許文献 3】WO 2009/095052 A1
- 【特許文献 4】US 2011/0 001 947 A1
- 【特許文献 5】US 6 195 201 B1
- 【特許文献 6】WO 2009/100 856 A1

50

【特許文献 7】 E P 1 2 2 5 4 8 1 A

【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、結像される物体の照明を柔軟な方式で構成し、かつそれを予め定められた値に十分に適応可能にすることである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明により、上述の目的は、当初請求項 1に指定する特徴を含む照明光学ユニットによって達成される。

10

【当初請求項 1】

結像される物体(7)を配置することができる物体視野(5)を照明光(16)で照明するための投影リソグラフィのための照明光学ユニット(4; 49; 61)であって、複数の視野ファセット(20)を有する視野ファセットミラー(19)を有し、複数の瞳ファセット(28)を有する少なくとも1つの瞳ファセットミラー(25)を有し、

前記視野ファセット(20)は、伝達光学ユニット(21, 25, 39)によって前記物体視野(5)内に結像され、

少なくとも1つの瞳ファセットミラー偏光区画(29, 30; 51; 29, 30, 63)を有し、これが、前記照明光(16)の部分ビームを案内するように位置合わせされた、前記視野ファセット(20)のうちの1つと、前記瞳ファセット(28)のうちの1つとによってそれぞれ形成される照明チャネルに沿う該照明光(16)の照明ビーム経路(31)の入射角が、該瞳ファセットミラー偏光区画(29, 30; 51; 29, 30, 63)の該瞳ファセット(28)上の多層反射コーティングのブリュースター角から最大で20°だけ該瞳ファセットミラー偏光区画(29, 30; 51; 29, 30, 63)の該瞳ファセット(28)においてずれるように配置され、

20

少なくとも1つの瞳ファセットミラー中立区画(34; 52)を有し、これが、前記照明光(16)の部分ビームを案内するように位置合わせされた、前記視野ファセット(20)のうちの1つと、前記瞳ファセット(28)のうちの1つとによってそれぞれ形成される照明チャネルに沿う該照明光(16)の照明ビーム経路(37)の入射角が、該瞳ファセットミラー中立区画(34; 52)の該瞳ファセット(28)上への法線入射から最大で20°だけ該瞳ファセットミラー中立区画(34; 52)の該瞳ファセット(28)においてずれるように配置される、

30

ことを特徴とする照明光学ユニット(4; 49; 61)。

【0007】

本発明により、少なくとも1つの偏光区画と少なくとも1つの中立区画との瞳ファセットミラーの再分割は、物体視野を少なくとも部分的な偏光光及び/又は非偏光光で交互に照明するオプションを提供することが識別されている。この偏光/非偏光照明は、特にレチクルの照明要件に従って選択することができるが、照明光学ユニットの光学構成要素の照明要件に従っても選択することができる。EUV照明光の偏光は、それぞれ入射を受ける瞳ファセットミラー区画を選択することによって事前選択することができる。瞳ファセットミラー区画のうちの少なくとも1つのものに関して、ブリュースター角(B r e w s t e r a n g l e)及び/又は法線入射からの入射角の偏角は、最大でも15°、最大でも10°、最大でも5°、最大でも4°、更に最大でも3°とすることができる。瞳ファセットミラーの中心区画を用いた物体視野の暗視野照明も可能である。

40

【0008】

当初請求項 2 及び当初請求項 3 に記載の実施形態は、様々な瞳ファセットミラー区画の
択一的入射に特に適することが見出されている。特に、視野ファセットミラーの支持体
(support)は、傾斜可能に具現化することができる。これに代えて又はこれに加えて、
照明光学ユニットは、瞳ファセットミラー区画のうちの少なくとも1つに対して、そ

50

それぞれの瞳ファセットミラー区画を選択するために傾斜可能であり、視野ファセットミラーと瞳ファセットミラーの間の照明ビーム経路に配置された偏向ファセットを有する偏向ファセットミラーを有することができる。これに代えて又はこれに加えて、瞳ファセットミラー区画のうちの少なくとも1つに対して照明ビーム経路を案内するために視野ファセットミラーと瞳ファセットミラーの間に少なくとも1つの更に別の偏向ミラーを設けることができる。

[当初請求項2]

前記視野ファセットミラー(19)は、視野ファセット(20)の傾斜位置に基づいて前記瞳ファセットミラー偏光区画(29, 30; 51; 29, 30, 63)と前記瞳ファセットミラー中立区画(34; 52)とが前記照明光(16)によって入射を交互に受け
10
ることができるように傾斜させることができる視野ファセット(20)を用いて具現化されることを特徴とする当初請求項1に記載の照明光学ユニット。

[当初請求項3]

前記視野ファセットミラー(19)は、該視野ファセットミラー(19)の傾斜位置に基づいて前記瞳ファセットミラー偏光区画(29, 30; 51; 29, 30, 63)と前記瞳ファセットミラー中立区画(34; 52)とが前記照明光(16)による入射を交互に受け
ることができるように全体的に傾斜させることができるように具現化されることを特徴とする当初請求項1に記載の照明光学ユニット。

【0009】

一例として、瞳ファセットミラー偏光区画に対する照明ビーム経路の中心主光線の主案内平面から離して配置される偏向ミラーは、当初請求項4に記載の主案内平面から少なくとも区画的に外れて案内される照明ビーム経路の案内をもたらすことができる。主案内平面から外れて案内されるこの案内によって障害物を回避することができる。
20

[当初請求項4]

前記瞳ファセットミラー中立区画(34)に対する前記照明ビーム経路(37)の中心主光線(40)の案内が、前記少なくとも1つの瞳ファセットミラー偏光区画(29, 30)に対する前記照明ビーム経路(31)の中心主光線(41)の主案内平面(42)を少なくとも区画的に外れて位置し、該主案内平面(42)は、前記視野ファセットミラー(19)の反射面の中心(43)と、前記瞳ファセットミラー(25)の反射面の中心(32a)と、中心物体視野点(44)とによって定められることを特徴とする当初請求項1から当初請求項3のいずれか1項に記載の照明光学ユニット。
30

【0010】

当初請求項5から当初請求項7に記載の実施形態は、小型構成を有することができる。

[当初請求項5]

前記瞳ファセットミラー偏光区画(29, 30; 51; 29, 30, 63)と前記瞳ファセットミラー中立区画(34; 52)は、1つのかつ同じ瞳ファセットミラー(25)の区画であることを特徴とする当初請求項1から当初請求項4のいずれか1項に記載の照明光学ユニット。

[当初請求項6]

前記瞳ファセットミラー偏光区画(29, 30)のうちの少なくとも1つが、前記瞳ファセットミラー中立区画(34)の周りに少なくとも部分円の形態に配置されることを特徴とする当初請求項1から当初請求項5のいずれか1項に記載の照明光学ユニット。
40

[当初請求項7]

前記瞳ファセットミラー中立区画(34)のうちの少なくとも1つが、前記瞳ファセットミラー偏光区画(63)の周りに少なくとも部分円の形態に配置されることを特徴とする当初請求項1から当初請求項6のいずれか1項に記載の照明光学ユニット。

【0011】

当初請求項8に記載の変位可能な瞳ファセットミラー区画は、例えば、照明光が、この区画の背後の照明ビーム経路に配置された更に別の瞳ファセットミラー区画上に入射するようこの経路を開通させることができる。部分的に、入射を受ける瞳ファセットミラー
50

区画の間の切り換え、従って、瞳ファセットミラー上での偏光反射と非偏光反射の間の切り換えが可能である。

[当初請求項 8]

前記瞳ファセットミラー偏光区画（51；63）又は前記瞳ファセットミラー中立区画（34）は、前記視野ファセットミラー（19）と前記物体視野（5）の間で前記照明光（16）の前記ビーム経路から変位させることができることを特徴とする当初請求項1から当初請求項7のいずれか1項に記載の照明光学ユニット。

【0012】

当初請求項9に記載の互いに別々の瞳ファセットミラー区画は、互いに対して及び／又は少なくとも1つの瞳ファセットミラー中立区画に対して変位させることができる。

10

[当初請求項 9]

互いに別々である少なくとも2つの瞳ファセットミラー偏光区画（29，63；30，63）を特徴とする当初請求項1から当初請求項8のいずれか1項に記載の照明光学ユニット。

【0013】

視野ファセットミラーと瞳ファセットミラーの間に配置される偏向ファセットミラーは、物体視野照明を設計する際に更に別の自由度を供給することができる。一例として、偏向ファセット又は瞳ファセットにおいて、特定のターゲット反射角を達成することができる。これらの反射角は、これらのファセットでの反射中のターゲットを定めた偏光効果の採のために向けて使用することができる。視野ファセットミラー及び／又は偏向ファセットミラーは、マルチミラーアレイ又はマイクロミラーアレイとして具現化することができる、特に、マイクロ電気機械システム（MEMS）として具現化することができる。これに代えて、視野ファセットミラー及び／又は偏向ファセットミラーは、巨視的な視野ファセット又は偏向ファセットを有することができる。ファセットミラーのうちの1つがマイクロミラーアレイとして具現化される場合に、ファセットのうちのそれぞれ1つは、マイクロな個々のミラー又はマイクロミラーの群によって形成することができる。以下に続く本文では、そのようなマイクロミラー群をファセット個々のミラー群とも記す。視野ファセットミラーのマイクロな個々のミラー群からのそれぞれ1つのそのような視野ファセット領域は、偏向ファセットのうちの1つ又は中立区画の瞳ファセットのうちの1つを照明することができる。原理的に、偏向ファセットのうちのそれぞれ1つをマイクロな個々のミラー群によって形成することができる。偏向ファセットは、それぞれの視野ファセット領域の方向から、すなわち、視野ファセットミラーの特定の領域の方向からの照明光を瞳ファセットのうちの正確に1つのものに案内するよう向ける。この場合に、視野ファセット領域は、複数又は多数のマイクロな個々のミラーからなる視野ファセットである。偏向ミラーは、異なる傾斜位置の間で、例えば、2つの自由度に関して傾斜させることができるミラーとして具現化することができる。その結果、例えば、任意的にマイクロミラーアレイとして具現化された視野ファセットミラーの複数の視野ファセット、特に複数のマイクロな個々のミラー群を照明光の適切な案内により、瞳ファセットのうちの正確に1つのものに割り当てることができる。偏向ファセットミラーのファセット及び／又は瞳ファセットミラーのファセットは、固定ファセット、すなわち、異なる傾斜位置の間で傾斜させることができないファセットとして具現化することができる。瞳ファセットミラーの瞳ファセットは、その全部において、傾斜角の僅かな絶対変化を用いて視野ファセット及び／又は偏向ファセットが到達することができるよう配置することができる。瞳ファセットミラーの瞳ファセットは、六方最密充填配置で、直交配置、すなわち、行列で、又は他に回転対称方式で配置することができる。瞳ファセットの配置は、例えば、歪曲効果を補正するために歪曲させることができる。偏向ファセットミラー及び／又は瞳ファセットミラーは、伝達光学ユニットの結像構成要素と/orすることができ、例えば、凹及び／又は凸の偏向ファセット又は瞳ファセットを含むことができる。偏向ファセット又は瞳ファセットは、橢円形又は双曲形の反射面を含むことができる。これに代えて、偏向ファセット又は瞳ファセットは、純粹な偏向ミラーとして具現化することもできる。伝達光学ユニット

20

30

40

50

は、瞳ファセットミラーの後部に配置することができる。視野ファセットミラーは、数百個の視野ファセットを含むことができる。瞳ファセットミラーは、数千個の瞳ファセットを含むことができる。偏向ファセットの個数は、瞳ファセットの個数に等しいとすることができます。視野ファセットの個数は、瞳ファセットの個数に等しいとすることができます。視野ファセット、及び場合によってこれらの視野ファセットを構成するマイクロな個々のミラーは、ビーム形成に向けて曲面又はこれに代えて平面の反射面を有することができる。偏向ファセットミラーの偏向ファセットは、ビーム形成に向けて曲面又はこれに代えて平面の反射面を有することができる。偏向ファセットの個数は、瞳ファセットの個数に少なくとも等しいとすることができます。視野ファセットミラーの視野ファセットの個数、又は視野ファセットを形成するマイクロな個々のミラーの個数は、偏向ファセットの個数よりもかなり大きいとすることができます、例えば10倍大きく、又は更にそれよりも大きいとすることができます。照明光学ユニットは、偏向ファセットミラーが瞳ファセット上に結像されないように構成することができます。照明光学ユニットは、視野ファセットが偏向ファセット上に結像されないように構成することができます。物体視野にわたるか又は物体視野が結像される像視野にわたる強度分布及び/又は照明角度分布を補正するために、経路を折って逸らすことにより、視野ファセットミラー及び/又は偏向ファセットミラーの補正マイクロミラーを使用することができます。視野ファセット、偏向ファセット、及び/又は瞳ファセットの反射面は、物体視野内の結像収差を補正するために、非球面として具現化することができます。この照明光学ユニットを使用することにより、照明光の偏光制御を実現することが可能である。

10

20

【0014】

特に、物体構造において回折される照明光の回折角によって予め決定される回折平面が、それぞれの回折平面の法線から45°よりも大きく、20°よりも大きく、15°よりも大きく、10°よりも大きく、又は更に5°よりも大きくずれない照明光の偏光方向との角度を含むような直線偏光照明光によって物体構造が結像される投影リソグラフィのための照明幾何学形状及び結像幾何学形状をもたらすことが可能である。結像を最適化するために、これらの幾何学形状を使用することができます。視野ファセットミラーの視野ファセットは、視野ファセットを物体視野に結像するときの結像効果を少なくとも部分的に補償するために、物体視野の形態からずれることができます。この目的をもたらすために、視野ファセットミラーは、個々の視野ファセット形態タイプが互いに異なる複数の視野ファセット形態タイプを有することができます。瞳ファセットミラーは、照明光の光源が結像される平面の領域に配置することができます。視野ファセット及び/又は瞳ファセットは、更に複数の個々のミラーに再分割することができます。瞳ファセットミラーは、最終的に照明光を案内する照明光学ユニットの構成要素とすることができます。

30

【0015】

当初請求項10に記載の光学系、当初請求項11に記載の照明系、当初請求項12に記載の投影露光装置、当初請求項13に記載の生成方法、及び当初請求項14に記載の構成要素の利点は、上述の照明光学ユニットを参照して上述したものに対応する。

[当初請求項10]

当初請求項1から当初請求項9のいずれか1項に記載の照明光学ユニットと、
露光されるウェーハ(13)を配置することができる像視野(11)内に物体視野(5)
を結像するための投影光学ユニット(10)と、
を含むことを特徴とする光学系。

40

[当初請求項11]

当初請求項1から当初請求項9のいずれか1項に記載の照明光学ユニットと、
EUV光源(3)と、
を含むことを特徴とする照明系。

[当初請求項12]

当初請求項10に記載の光学系と、
EUV光源(3)と、

50

を含むことを特徴とする投影露光装置。

【当初請求項 13】

構造化構成要素を生成する方法であって、

感光材料で作られた層が少なくとも部分的に付けられたウェーハ(13)を与える段階と、

結像される構造を有するレチクル(7)を与える段階と、

当初請求項12に記載の投影露光装置(1)を与える段階と、

前記投影露光装置(1)を用いて前記レチクル(7)の少なくとも一部を前記ウェーハ(13)の前記層の領域上に投影する段階と、

を含むことを特徴とする方法。

10

【当初請求項 14】

当初請求項13に記載の方法によって生成された構成要素。

【0016】

特に、光学系の投影光学ユニットは、8倍の縮小率を有するように具現化することができる。それによって特に反射実施形態を有する物体上への照明光の入射角が制限される。照明系の伝達光学ユニット、特に当初請求項8に記載のビーム形成ミラーは、照明光学ユニットの射出瞳が、照明ビーム経路内で物体視野の5mよりも手前に(more than 5 m in front of the object field in the illumination beam path)位置するように構成することができる。これに代えて、無限遠における照明光学ユニットの射出瞳の位置、すなわち、テレンントリック照明光学ユニットを達成するか、又は物体視野の背後の照明ビーム経路内、すなわち、下流の投影光学ユニットの結像ビーム経路内の射出瞳の位置を達成することができる。

20

【0017】

投影露光装置の照明光学ユニットは、部分的に光源によって任意的に予め事前偏光された照明光が、特に照明光学ユニットによって生成される直線偏光照明光線がこの事前偏光のうちの可能な最も大きい部分を含むように照明光学ユニット内を案内されるように光源に適応させることができる。それによって投影露光装置の使用光収率が最適化される。

【0018】

投影露光装置は、結像される物体を物体視野内に装着するための物体マウントを有することができる。物体マウントは、物体変位方向に沿った物体ホルダの制御式変位のための物体変位ドライブを有することができる。投影露光装置は、ウェーハを像視野内に装着するためのウェーハマウントを有することができる。ウェーハマウントは、物体変位方向に沿ったウェーハマウントの制御式変位のための変位ドライブを有することができる。

30

【0019】

本発明の例示的実施形態を図面に基づいて以下により詳細に説明する。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】照明光学ユニットと投影光学ユニットとを含む投影リソグラフィのための投影露光装置を示し、照明光及び結像光のビーム経路を子午断面に再現した非常に概略的な図である。

40

【図2】図1の線II-IIに沿った図1に記載の照明光学ユニットの照明ビーム経路を貫く断面図である。

【図3】瞳ファセットミラー偏光区画と瞳ファセットミラー中立区画とを含む瞳ファセットミラーと、照明ビーム経路に瞳ファセットミラーの上流に投影露光装置の照明光学ユニットの構成要素として配置された偏向ファセットミラーとの図1の視線II-IIから見た略上面図である。

【図4】瞳ファセットミラー中立区画上に入射する照明光又は照明放射線を示す図1に記載の照明光学ユニットの瞳ファセットミラー及び偏向ファセットミラーの領域内の拡大区画の図である。

50

【図5】瞳ファセットミラーの偏光区画によって反射された照明放射線を示す図1に記載の照明光学ユニットの瞳ファセットミラー及び偏向ファセットミラーの領域内の拡大区画の図である。

【図6】光源の下流に配置された中間フォーカスと照明光学ユニットの物体視野又は照明視野との間の照明ビーム経路を描示する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の図1と類似の概略図である。

【図7】図6に記載の実施形態における瞳ファセットミラーの偏光区画の図6の視線方向VIIから見た斜視図である。

【図8】図6及び図7に記載の実施形態の偏光区画を図6の視線方向VIIIから見た図である。 10

【図9】偏向ファセットミラーと瞳ファセット中立区画及び2つの偏光区画を有する瞳ファセットミラーとを図1の実施形態の方式で含む図6に記載の光学ユニットと同等の照明光学ユニットの更に別の実施形態を瞳ファセットミラー中立区画上に入射する照明ビーム経路と共に示す図である。

【図10】図9に記載の照明光学ユニットを照明光が瞳ファセットミラーの偏光区画上に入射する照明ビーム経路と共に示す図である。

【図11】瞳ファセットミラー偏光区画と関連の瞳ファセットミラー中立区画との両方が照明光による入射を受ける互いに対する第1の相対位置にある互いに別々の瞳ファセットミラー区画を有する瞳ファセットミラーの更に別の実施形態を示す図5と類似の図である。 20

【図12】照明光が図11に記載の相対位置では非アクティブ状態にあった瞳ファセットミラー偏光区画上に入射する別々の瞳ファセットミラー区画の更に別の相対位置にある図11に記載の瞳ファセットミラー及び偏向ファセットミラーを示す図である。

【図13】図11及び図12に記載の瞳ファセットミラー及び偏向ファセットミラーを図12の方向VIIIから見た図3と類似の図である。

【図14】投影露光装置の走査方向に対して予め決定可能な四重極の向きを有する四重極照明を実現するように具現化された瞳ファセットミラー及び偏向ファセットミラーのピボット可能実施形態の上面図を示す図3と類似の図である。

【発明を実施するための形態】

【0021】

図1は、マイクロリソグラフィ投影露光装置を子午断面に非常に概略的に示している。 30

【0022】

放射線源又は光源3に加えて、投影露光装置1の照明系2は、物体平面6内に物体視野5を露光するための照明光学ユニット4を含む。

【0023】

位置関係の説明を簡易化するために、以下では図面内で直交x y z座標系を使用する。x軸は、図1の中に垂直に入り込むように延びている。y軸は図1の右に延びている。z軸は、x y平面と垂直に図1の下方に延びている。z軸は、物体平面6と垂直に延びている。

【0024】

その後の選択的な図には、局所直交x y z座標系を描示しており、これらの場合に、x軸は図1に記載のx軸と平行に延び、y軸は、このx軸と共にそれぞれの光学要素の光学面又は反射面を張る。局所x y z座標系のy軸は、図1に記載の広域直交x y z座標系のy軸に対して傾斜している場合がある。 40

【0025】

物体視野5は、1よりも大きく、例えば、13/1、10/1、又は3/1に等しいx/yアスペクト比を有する矩形実施形態又は弓形実施形態を有することができる。照明光学ユニット4は、物体視野5に配置され、微細構造半導体構成要素又はナノ構造半導体構成要素を生成するために投影露光装置1によって投影される構造を支持する反射レチクル7を露光するのに使用される。レチクル7は、物体変位ドライブ9によって駆動される物 50

体マウント又はレチクルマウント 8 によって支持され、y 方向に変位させることができる。図 1 に非常に概略的に描示する投影光学ユニット 10 は、物体視野 5 を像平面 12 の像視野 11 内に結像するように機能する。投影露光装置 1 の光学構成要素の全体的に、照明光学ユニット 4 と投影光学ユニット 10 とが光学系を形成する。レチクル 7 上の構造は、像平面 12 の像視野 11 の領域に配置されたウェーハ 13 の感光層上に結像される。ウェーハ 13 は、投影露光中にウェーハ変位ドライブ 15 を用いてレチクルマウント 8 と同期した駆動方式で y 方向に変位したウェーハマウント 14 によって支持される。実際には、レチクル 7 及びウェーハ 13 は、物体視野 5 及び像視野 11 よりも有意に大きい。

【 0 0 2 6 】

投影露光装置 1 の作動中に、レチクル 7 とウェーハ 13 とは y 方向に同期して走査される。投影光学ユニット 10 の線形倍率に基づいて、ウェーハ 13 に対して反対の方向のレチクル 7 の走査も可能である。 10

【 0 0 2 7 】

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 EUV 放射線源である。この場合に、EUV 放射線源は、プラズマ光源、例えば、GDP (ガス放電生成プラズマ) 光源又は LPP (レーザ生成プラズマ) 光源とすることができる。他の EUV 放射線源、例えば、シンクロトロン又は自由電子レーザ (FEL) に基づくものも可能である。

【 0 0 2 8 】

放射線源 3 から発し、図 1 に一点鎖線の主光線に示す EUV 放射線ビーム 16 が、コレクター 17 によってフォーカスされる。一例として、適切なコレクターが EP 1 22 5 481 A から公知である。以下に続く本文では、EUV 放射線ビーム 16 を使用放射線、照明光、又は結像光とも記す。 20

【 0 0 2 9 】

コレクター 17 の後に、EUV 放射線ビーム 16 は中間フォーカス 18 を通って伝播し、その後に、視野ファセットミラー 19 上に入射する。視野ファセットミラー 19 の前には、使用 EUV 放射線ビーム 16 を投影露光に使用することができず、放射線源 3 による他の放出波長成分から分離するスペクトルフィルタを配置することができる。スペクトルフィルタは描示しなかった。

【 0 0 3 0 】

視野ファセットミラー 19 は、照明光学ユニット 4 の物体平面 6 と光学的に共役な平面に配置される。視野ファセットミラー 19 は複数の視野ファセット 20 を含み、そのうちの一部のものだけを図 1 に概略的に描示している。視野ファセットミラー 19 は、数百個の視野ファセット 20 を有することができる。視野ファセットミラー 19 の視野ファセット 20 は、物体視野 5 の x / y アスペクト比にほぼ一致する x / y アスペクト比を有する。従って、視野ファセット 20 は、1 よりも大きい x / y アスペクト比を有する。視野ファセット 20 の長いファセット辺は x 方向に延びている。視野ファセット 20 の短いファセット辺は y 方向 (走査方向) に延びている。 30

【 0 0 3 1 】

視野ファセットミラー 19 は、マイクロ電気機械システム (MEMS) として具現化することができる。この場合に、視野ファセットミラー 19 は、アレイ内に行と列とで行列状で配置された複数の視野ファセット個々のミラーを含み、図面にはこれらのミラーを描示していない。そのような個々のミラー再分割に関する例は、US 2011/0001947 A1 に示されている。ファセット個々のミラーは、正方形又は矩形の反射面を有することができ、又は例えば菱形又は平行四辺形の形態にある異なる縁部を有する反射面を有することができる。ファセット個々のミラーの縁部形状は、テッセレーションの理論から公知のものに対応することができる。特に、US 2011/0001947 A1 及びそこに引用されている参考文献から公知のテッセレーションを使用することができる。 40

【 0 0 3 2 】

ファセット個々のミラーは、平面反射面又は曲面、例えば、凹反射面を有することができる。ファセット個々のミラーは、各々アクチュエータに接続され、それぞれのファセット個々のミラーの反射平面内で互いに対し垂直な2つの軸の周りに傾斜可能であるよう設計される。これらのアクチュエータは、この図には描示していない方式で中央制御デバイス24(図1を参照されたい)に信号接続され、ファセット個々のミラーの個々の傾斜に向けてこの中央制御デバイス24によってアクチュエータを起動することができる。

【0033】

全体的に、視野ファセットミラー19は約100000個のファセット個々のミラーを有する。ファセット個々のミラーのサイズに基づいて、視野ファセットミラー19は、例えば、1000個、5000個、7000個、又は他に数十万個、例えば、50000個のファセット個々のミラーを有することができる。これに代えて、ファセット個々のミラーの個数は、有意に少ないとすることができる。ファセット個々のミラーは群に組み合わされ、ファセット個々のミラー群のうちのそれぞれ1つが視野ファセット20のうちの1つを形成する。そのような群組合せに関する例は、同じくUS 2011/0001947 A1によって示されている。ファセット個々のミラーは、EUV使用光16のそれぞれの入射角及び波長に対して最適化された高反射多層を有することができる。正方形形態に対する代替として、視野ファセット個々のミラーは、例えば、値1から50%よりも大きくずれたアスペクト比を有する反射面を有することができる。値1からずれたアスペクト比を有するそのような視野ファセット個々のミラーは、照明光16のビーム方向の視野ファセット個々のミラーの投影が、値1の領域内のアスペクト比を有するように配置することができる。

【0034】

視野ファセット20は、照明光16の部分ビームを偏向ファセットミラー21上に反射する。

【0035】

次いで、偏向ファセットミラー21の偏向ファセット22は、照明光16の部分ビームを瞳ファセットミラー25上に反射する。

【0036】

偏向ファセット22は、瞳ファセットミラー25の周りに部分リング、すなわち、半円として配置された偏向ミラー支持体26上に配置される。これを図2に描示している。偏向ミラー支持体26によって予め決定される偏向ファセットミラー21のミラー支持面は、偏向ミラー支持体26のリング平面27に対して角度付けされ、リング形偏向ミラー支持体26を円錐(錐、cone)区画として取り囲む。リング平面27は、図2の断面平面とほぼ一致する(図1の線II-II'を参照されたい)。更に、リング平面27は、瞳ファセットミラー25が配置された瞳平面とほぼ一致する。偏向ファセット22は、偏向ミラー支持体26上に配置され、この場合に、これらの偏向ファセットの反射面は、好ましくは、偏向ミラー支持体26のミラー支持面の局所的な向きと平行である。偏向ミラー支持体26の局所ミラー支持面に対する偏向ファセット22の反射面の傾斜した向きも可能である。アクチュエータ23を用いて、偏向ファセット22の反射面の向きを2つの軸の周りに傾斜させることができる。

【0037】

瞳ファセットミラー25は、投影レンズ10の瞳平面と光学的に共役な領域に位置する。同時に、瞳ファセットミラー25は、光源3又は中間フォーカス18が結像される平面の領域に配置される。

【0038】

瞳ファセットミラー25は、複数の瞳ファセット28を有し、図3にそのうちの一部を点として略描示している。図3には、偏向ファセットミラー21を通して瞳ファセットミラー25上に入射する照明光16のいくつかの部分ビームを矢印で描示している。この図では明瞭性を改善するために、偏向ファセットミラー21は、それ自体を図1に記載の図から明らかなようにその裏側ではなくその反射側が閲覧者に對面するように描示している

10

20

30

40

50

。偏向ファセット 22 の各々は、視野ファセット 20 によって反射された照明光 16 を正確に 1 つの瞳ファセット 28 にわたって案内する。アクチュエータ 23 を用いた偏向ファセット 22 の向きの切り換えにより、異なる視野ファセット 20 からの光は、1 つの同じ瞳ファセット 28 にわたって案内することができる。

【 0 0 3 9 】

視野ファセットミラー 19 の視野ファセット 20 は、偏向ファセットミラー 21 と瞳ファセットミラー 25 とによって形成されるか、又は視野ファセットミラー 19 と物体視野 5 との間、特に瞳ファセットミラー 25 と物体視野 5 との間に更に別の構成要素を含むかのいずれかである伝達光学ユニットを用いて物体視野 5 に結像される。視野ファセット 20 が照明光 16 によって完全に照明されると仮定すると、視野ファセット 20 の各々を全体の物体視野 5 に結像することができる。視野ファセット 20 を複数の個々のミラーから構成することができる。瞳ファセット 28 を複数の個々のミラーから構成することができる。

10

【 0 0 4 0 】

視野ファセットミラー 19 の視野ファセット 20 、偏向ファセット 22 、及び瞳ファセットミラー 25 の瞳ファセット 28 は、使用光 16 の波長に適合された多層反射コーティングを有する。瞳ファセット 28 は、丸形、六角形、又は矩形の実施形態を有することができ、それに関連付けられた対称性に則して配置することができる。

【 0 0 4 1 】

瞳ファセットミラー 25 は、百超から数千個 (more than hundred to several thousand) の瞳ファセット 28 、例えば、10 000 個の瞳ファセット 28 を有する。視野ファセットミラー 19 の視野ファセット 20 の個数は、瞳ファセットミラー 25 の瞳ファセット 28 の個数に等しいか又はそれ未満とすることができます。偏向ファセット 22 の個数は、瞳ファセット 28 の個数に対応し、特に、正確に等しい。

20

【 0 0 4 2 】

視野ファセット 20 及び瞳ファセット 28 の各々は、この図にはこれ以上詳細には描示していないファセットミラー支持体上に配置される。例示的実施形態において、ファセットミラー 19 のファセットミラー支持体は平面実施形態を有する。これに代えて、ファセットミラー支持体は、曲面実施形態、例えば、球面曲面実施形態を有することができる。

30

【 0 0 4 3 】

瞳ファセットミラー 25 は、各々が横切頭円錐区画 (lateral frustum sections) として具現化された 2 つの外側偏光区画 29 、 30 を有する。瞳ファセットミラー 偏光区画 29 、 30 は、これらの瞳ファセットミラー 偏光区画 29 、 30 の瞳ファセット 28 における照明ビーム経路 31 の入射角 θ が、瞳ファセットミラー 偏光区画 29 、 30 の瞳ファセット 28 上の多層反射コーティングのブリュースター角から最大でも 20° しかずれないように配置される。照明光 16 の照明ビーム経路 31 は、各々が視野ファセット 20 のうちの 1 つと瞳ファセット 28 のうちの 1 つとによって形成される照明チャネルに沿って延びている。各々照明チャネルのうちの 1 つを構成するこれらのファセット 20 、 28 は、照明光 16 の部分ビームを案内するために位置合わせする。

40

【 0 0 4 4 】

瞳ファセットミラー 25 のうちで図 3 に記載の平面図内で部分リング形状を有する偏光区画 29 は、瞳平面 27 と視野ファセットミラー 19 の間のビーム経路に位置する。偏光区画 29 の切頭円錐の半区画の円錐先端 (A cone tip of the section of half a frustum of the polarization section 29) は、瞳ファセットミラー 25 のミラー支持体の中心 32 a を通る法線上に位置する。この場合に、瞳ファセットミラー 25 の中心 32 a は、照明光学ユニット 4 の瞳平面 27 上に投影される瞳ファセットミラー支持体の円周輪郭の中心として定められる。この瞳平面 27 を図 7 の斜視図に描示している。

【 0 0 4 5 】

50

瞳ファセット 28 に対する支持体設計によって予め決定される偏光区画 29 のミラー支持面は、凸設計を有する。切頭円錐形の偏光区画 29 がセグメントを形成する円錐の開き角の半分は約 45° である。偏光区画のこの切頭円錐区画の方位角は約 180° である。この方位角は、偏光区画 29 の末端縁部 33 と末端縁部 33 の間に位置する。これらの末端縁部 33 は、偏光区画 29 の切頭円錐区画の真っ直ぐな横線に沿って延びている。

【0046】

第 2 の偏光区画 30 は、図 3 に記載の上面図で見た場合に 2 つの偏光区画 29、30 が瞳ファセットミラー 28 の中央瞳ファセットミラー中立区画 34 の周りにリングを形成するように、上述の偏光区画 29 の部分リング形状に対する相補部を構成する。第 2 の偏光区画 30 は、瞳平面 27 と物体平面 6 の間の照明光 16 の照明ビーム経路に位置する。瞳ファセットミラー 25 の第 2 の偏光区画 30 も同じく部分的な切頭円錐形状を有し、凸の偏光区画 29 とは対照的に、第 2 の偏光区画 30 のミラー支持面は、凹実施形態を有する。第 2 の偏光区画 30 のこの凹切頭円錐形状の円錐先端も、瞳ファセットミラー 25 の中心 32a を通る瞳平面 27 の法線上に位置する。図 3 に記載の上面図では、この第 2 の偏光区画 30 の末端縁部 35 は、第 1 の偏光区画 29 の末端縁部 33 と事実上一致する。瞳平面 27 上の投影において見られるように、これらの末端縁部 33、35 は、偏光区画 29、30 の間の接合部の区切ることができる。

【0047】

第 2 の偏光区画 30 の切頭円錐区画の開き角の半分は、第 1 の偏光区画 29 と同じサイズを有し、すなわち、同じく約 45° である。第 2 の偏光区画 30 の切頭円錐区画も、約 180° の方位角にわたって スイープする (sweep)。

【0048】

二重切頭円錐を区画的に有する 2 つの偏光区画 29、30 のこの実施形態は、瞳ファセットミラー 25 の偏光区画 29、30 が、偏向ファセットミラー 21 の各外周角位置から瞳ファセットミラー 25 の中心 32a に向けて半径方向に見た場合に直線で延びて、瞳平面 27 に対して同じ角度で傾斜する線を形成することを確実にする。

【0049】

図 3 から図 5 に例示的な方式で描示するように、瞳平面 27 上への投影において、照明光 16 が偏向ファセット 22 から瞳ファセット 28 に瞳ファセットミラー 25 の中心 32a に関して良い近似で半径方向に案内されると仮定すると、偏光区画 29、30 の瞳ファセット 28 における照明光 16 の全ての部分ビームは、良い近似で同じ入射角 α_p で偏向される。一例として、この入射角は、最大でも 20°、又は最大でも 15°、最大でも 10°、最大でも 5°、又は最大でも 3° の偏角しか伴わずに約 43° のブリュースター入射角の前後に並ぶ。この場合に、瞳ファセットミラー 25 の偏光区画 29、30 内で、瞳ファセット 28 及び瞳ファセットミラー 25 は、偏光子として機能する。それによって照明光 16 が瞳ファセットミラー 25 の偏光区画 29、30 に案内される起点になる偏向ファセットミラー 21 上の場所に基づいて、それぞれの入射平面に対して垂直な適正直線偏光を有する照明光 16 の部分ビームがもたらされる。

【0050】

図 3 に偏光矢印 36 に示すように、瞳平面 27 上への投影において、得られる偏光方向は、偏向ファセットミラー 21 の半円形状に対してタンジェンシャル方向に延びている。従って、xy 平面内で全ての直線偏光方向を生成することができるので、図 3 の瞳ファセットミラー 25 上の対応する偏光矢印 36 によって示すように、偏光区画 29、30 上での反射によってタンジェンシャル偏光を有する照明瞳を生成することができる。

【0051】

瞳ファセットミラー 25 のミラー支持体上で中心に配置された瞳ファセットミラー 25 の中立区画 34 は、照明チャネルに沿う照明光 16 の照明ビーム経路 37 の入射角 α_N が、中立区画 34 の瞳ファセット 28 において法線入射から最大でも 20° しかずれないように配置される。照明光学ユニット 4 の偏向ミラー 45 にわたるビーム偏向の幾何学形状に基づいて、照明チャネルに沿う照明光 16 の照明ビーム経路の入射角の偏角は、瞳ファ

10

20

30

40

50

セットミラー 25 の中立区画 34 の瞳ファセット 28 で反射される時に、最大でも 15°、最大でも 10°、最大でも 5°、又は他に最大でも 3° とすることができます。

【0052】

瞳ファセットミラー 25 の中立区画 34 は、ほぼ瞳平面 27 内で延びている。偏光区画 29、30 の各々は、中立区画 34 上で外縁 38 によって半円形形状で形成される。

【0053】

照明光 16 は、照明ビーム経路 31 内で瞳ファセットミラー 25 の偏光区画 29、30 によってビーム形成ミラー 39 に案内される。ビーム形成ミラー 39 は、照明光学ユニット 4 の射出瞳を照明ビーム経路内で物体視野 5 の 5m よりも手前に (more than 5 m in front of the object field 5 in the e illumination beam path) 位置付ける。これに代えて、無限遠における照明光学ユニット 4 の射出瞳の位置を達成することができ、すなわち、照明光学ユニットのテレセントリック性を達成するか、又は物体視野 5 の背後の照明ビーム経路、すなわち、下流の投影光学ユニット 10 の結像ビーム経路内の射出瞳の位置を達成することができる。偏光区画 29、30 の瞳ファセット 28 は、照明ビーム経路 31 を通じたビーム形成ミラー 39 上への直接入射をもたらす。

【0054】

瞳ファセットミラー 25 の中立区画 34 に対する照明ビーム経路 37 の中心主光線 40 は、瞳ファセットミラー 25 の偏光区画 29、30 に対する照明ビーム経路 31 の中心主光線 41 の主案内平面 42 内に案内されない。図 1 の作図面と一致する主案内平面 42 は、視野ファセットミラー 19 の反射面の中心 43 と、瞳ファセットミラー 25 の反射面の中心 32a と、中心物体視野点 44 とによって定められる。

【0055】

中立区画 34 に対する照明ビーム経路 37 内の照明光 16 は、視野ファセットミラー 19 と瞳ファセットミラー 25 の中立区画 34 との間でビーム経路 37 内の偏向ミラー 45 を通して案内される。偏向ミラー 45 は、傾斜可能個々のミラーとして具現化することができるが、これは必須ではない。瞳ファセットミラー 25 の中立区画 34 上での反射の後に、照明ビーム経路 37 の中心主光線は、2つの偏光区画 29、30 に対する照明ビーム経路 31 の中心主光線 41 と一致する。次いで、2つの照明ビーム経路 31、37 は、図 1 に一点鎖線に示す同じ経路 46 に沿って延びる。

【0056】

2つの偏光区画 29、30 と中立区画 34 とは、1つの同じ瞳ファセットミラー 25 の区画である。これに代えて、区画 29、30、及び 34 を互いに別々の特に互いに別々に装着される構成要素として具現化することができる。

【0057】

中間フォーカス 18 は、各々視野ファセット 20 を用いて、更に偏向ファセット 22 がビーム経路に設けられる場合はそれを用いてビーム 16 によって照明される瞳ファセット 28 に結像される。照明される瞳ファセット 28 の各々の上には、中間フォーカス 18 の像を提供する。この結像は、完全である必要はない。

【0058】

照明チャネルは、それぞれ視野ファセット 20 のうちの 1 つにより、又は視野ファセット 20 を形成する視野ファセット個々のミラー群により、偏向ファセット 22 がビーム経路に配置される場合はこれらの偏向ファセット 22 のうちの 1 つにより、更に瞳ファセット 28 のうちの 1 つによって形成される。視野ファセットミラー 19 の個々のミラーのうちの何個がそれぞれの照明チャネルに寄与するかに基づいて、この中間フォーカス像を各々視野ファセット個々のミラーのうちの 1 つにわたって照明光 16 を案内することに起因して、それぞれの瞳ファセット 28 上に達成される複数の中間フォーカス像の重ね合わせ像として生成することができる。この場合に、中間フォーカス像は、正確にそれぞれの照明チャネルの瞳ファセット 28 上に生成する必要はない。特に中間フォーカス像が瞳ファセット 28 上に完全に位置するように、それぞれの瞳ファセット 28 を中間フォーカス像

10

20

30

40

50

の領域に置くだけで十分である。同様に、例えば、照明チャネルの照明光エネルギーのうちの95%が、それぞれの瞳ファセット28上に収まり、すなわち、中間フォーカス像の僅かな部分が、瞳ファセット28上に位置しない場合でも十分とすることができる。

【0059】

視野ファセット20は、偏向ファセット22と瞳ファセット28を用いて、更に瞳ファセットミラー25の下流のビーム16のビーム経路に配置されたビーム形成ミラー39を用いて、物体視野5内で互いに重ねて結像される。照明光16が照明ビーム経路31に沿って案内されるか、又は照明ビーム経路47に沿って案内されるかに基づいて、偏向ファセットミラー21の偏向ファセット22及び偏向ミラー45がこの重ね合わせ結像に寄与することも可能である。

10

【0060】

レチクル7における照明光16の主光線CRと物体平面6との間の主光線角度は、例えば、6°であり、3°と8°の間の範囲に収まることができる。物体視野5を照明するビーム16の合計開き角は、反射レチクル7がウェーハ上に均一方式で結像されるように、この主光線角度に適合される。レチクル7によって反射されたビーム経路47は、レチクル7上に入射する照明光16のビーム経路48を完全に外れて位置する(図1及び図2を参照されたい)。

【0061】

図2は、偏向ミラー支持体26、並びに照明ビーム経路37及び48が瞳ファセットミラー25に対して可能な限り近くに配置されるように、偏向ファセットミラー21が、主案内平面に関して非対称に曲げられて配置され、瞳ファセットミラー25の周りの180°の弧の形態にある配置を明らかにしている。

20

【0062】

従って、偏向ファセットミラー21は、yz平面と平行な平面に関して鏡面対称に配置されず、z軸と平行な軸の周りに回転されて配置される。

【0063】

視野ファセット20、偏向ファセット22、又は瞳ファセット28のどれが結像伝達光学ユニットの構成要素であるかに基づいて、視野ファセット20、偏向ファセット22、及び/又は瞳ファセット28は、結像効果を有し、すなわち、特に凹設計を有するか、純粹な偏向ミラー、平面ミラー、又は平面ファセットとして具現化されるかのいずれかである。視野ファセット20、偏向ファセット22、及び/又は瞳ファセット28は、照明光学ユニット4の収差を補正するための補正非球面を有することができる。

30

【0064】

偏光区画29、30の瞳ファセット28は、その上での反射の後に瞳ファセット28上のそれぞれの照明光部分ビームの入射平面に対してs偏光状態にある照明光16をもたらす偏光要素として機能する。図1には、このs偏光を照明光16の部分ビーム上に点に示している。従って、図1の作図面内で伝播する照明ビーム経路31のビームは、瞳ファセット28での反射の後に作図面に対して垂直な偏光状態にある。

【0065】

偏向ファセット22の個数は、視野ファセット20の個数と少なくとも同じ程度に大きい。図1に記載の実施形態において、実際の偏向ファセット22の個数は、視野ファセット20の個数よりもかなり多く、特に10倍大きいか又は更にそれよりも大きいとすることができる。照明光学ユニット4は、視野ファセット20が偏向ファセット22上に結像されず、偏向ファセット22が瞳ファセット28上に結像されないように具現化される。

40

【0066】

図4は、中立区画34上に入射する照明ビーム経路37を示しており、図5は、中立区画34の瞳ファセット28によって反射された照明ビーム経路37を示している。更に、図4及び図5には、それぞれ照明ビーム経路31を区画的に表示しており、図5は、偏光区画29、30によって反射された照明ビーム経路31の一部も表示している。

【0067】

50

照明光学ユニット4の1つの変形では、第1に偏向ファセットミラー21及び第2に瞳ファセットミラー25は、瞳ファセットミラー25の中心32aを通って瞳ファセットミラー25と物体視野5との間の照明光16の光軸に沿って延びる共通のピボット軸48aの周りにピボット可能である。一例として、偏向ファセットミラー21及び瞳ファセットミラー25は、ピボット軸48aの周りに±45°の範囲のピボット角度だけ回転させることができる。このピボット回転は、共通制御又は他に互いに独立した制御によって達成することができる。ピボット回転目的のために、偏向ファセットミラー21及び瞳ファセットミラー25は、共通のピボットドライブに機能的に接続されるか、又は各々これらのミラー独自のピボットドライブに機能的に接続されるかのいずれかであり、このピボットドライブは、図1の48bに非常に概略的に描示している。ピボットドライブ48bは、ステッパモータとすることができます。

【0068】

更に、照明光学ユニット4の実施形態のこの変形では、視野ファセットミラー19は、視野ファセットミラー支持体の中心を通って延びて視野ファセットミラー19の主反射平面に対して垂直であるピボット軸48cの周りにピボット可能である。ピボット軸48cの周りの視野ファセットミラー19のピボット機能は、±90°の範囲に収まることができる。ピボット回転目的のために、視野ファセットミラーは、同じく図1に非常に概略的に示すピボットドライブ48dへの機能的接続を有する。ピボットドライブ48dも同じくステッパモータとすることができます。

【0069】

ピボットドライブ48b及び48dは、中央制御デバイス24への信号接続を有する。

【0070】

ピボット回転中に、視野ファセットミラー19が、偏向ファセットミラー21及び瞳ファセットミラー25の共通ピボット回転と比較して2倍のピボット角度サイズだけピボット回転されるように、ピボットドライブ48b、48dを作動させることができる。

【0071】

一例として、全体的にピボット可能なファセットミラー19、21、25を有する照明光学ユニットの実施形態は、例えば、物体視野5の照明の正確に1つの直線偏光方向だけ又は正確に2つの直線偏光方向が予め決定される場合に使用され、この場合に、これらの直線偏光方向の向きは、ピボット軸48a及び48cの周りのそれぞれのピボット角度に依存して予め決定される。それによって一例として、物体視野5の照明に対して正確に1つの偏光方向が予め決定される場合に、又は物体視野6の照明に対して物体平面6内で互い対して垂直な正確に2つの偏光方向が予め決定される場合に、視野ファセットミラー19の視野ファセット20を密充填方式で配置することができる照明幾何学形状がもたらされる。このピボット可能実施形態に対しては、尚も図14に基づいて下記により詳細に説明する。

【0072】

ピボット可能偏向ファセットミラー21及びピボット可能瞳ファセットミラー25を有する変形では、視野ファセットミラー19がマイクロミラーで生成された視野ファセット20を有する場合に、視野ファセットミラー19のピボット機能を割愛することができる。この場合に、視野ファセット20をこの場合に適合されたマイクロミラーの群割り当てを用いて、偏向ファセットミラー21及び瞳ファセットミラー25のそれぞれのピボット位置に従って位置合わせすることができる。

【0073】

投影露光装置1内で照明光学ユニット4の代わりに使用することができる照明光学ユニットの更に別の実施形態49を図6に基づいて以下に説明する。図1から図5を参照して上述したものに対応する構成要素及び機能は同じ参照符号を伴い、これらに対して下記で再度詳細に解説することはしない。図6は、中間フォーカス18と物体視野5との間の照明光16のビーム経路を示している。

【0074】

10

20

30

40

50

図6に記載の実施形態において、視野ファセットミラー19の傾斜位置に基づいて、照明光16を図6に照明ビーム経路50に示すように、偏向ファセットミラー21を通して瞳ファセットミラー25の偏光区画51に印加するか、又は瞳ファセットミラー25の中立区画52に直接印加するかのいずれかを任意的に行うことができるよう、視野ファセットミラー19全体が傾斜可能に具現化される。図6では、偏向ファセットミラー21上に入射し、次いで、偏光区画51に入射するための視野ファセットミラー19の傾斜位置を実線で描示している。瞳ファセットミラー25の中立区画52を作動させるためこの場合19'で表す視野ファセットミラーの対応する傾斜位置は破線で描示している。視野ファセットミラー19を傾斜させる目的のために、視野ファセットミラー19は、図6に略示する傾斜アクチュエータ53に接続される。

10

【0075】

瞳ファセットミラー25の偏光区画51は、図6に同じく略示する変位アクチュエータ54に接続される。変位アクチュエータ54を使用すると、偏光区画51が照明光16を偏向ファセットミラー21から物体視野5に案内する図6に描示する反射位置から、偏光区画51が照明光16のビーム経路に完全に変位された無効位置まで偏光区画51を移動することができる。偏光区画51のこの無効位置では、照明光16を視野ファセットミラー19から物体視野5に反射するのに瞳ファセットミラー25の中立区画52が利用可能である。

【0076】

図6に記載の実施形態における瞳ファセットミラー25の偏光区画51のミラー支持体は、横二重円錐区画の形状を有する。

20

【0077】

第1の横円錐区画(l a t e r a l c o n e s e c t i o n)55は、瞳平面27と物体平面6との間の照明光16のビーム経路に位置する。第1の横円錐区画55のミラー支持面は、凹半円錐を形成し、同時に二重円錐の先端を構成するその円錐先端56は瞳平面27に位置する。横円錐区画55が一区画を形成する円錐の開き角の半分は約45°である。横円錐区画55の方位角は180°である。この方位角は、横円錐区画55の末端縁部57の間に位置する。これらの末端縁部57は、横円錐区画55の真っ直ぐな横線に沿って延びている。

【0078】

30

照明光学ユニット49の瞳ファセットミラー25の二重円錐区画形態は、上述の横円錐区画55の円錐先端56と一致する円錐先端56を有する更に別の横円錐区画58によって相補される。第2の横円錐区画58の末端縁部59は、第1の横円錐区画55の末端縁部57の円錐先端56を通る延長部を構成する。末端縁部57及び59は、横円錐区画55、58の間の接合部60の区切る(図8を参照されたい)。

【0079】

第2の横円錐区画58のミラー支持面は、凸弧を有する。第2の横円錐区画58の開き角の半分は、第1の横円錐区画55の開き角の半分と正確に同じサイズを有する。横円錐区画58も、約180°の方位角にわたってスイープする(sweep)。

【0080】

40

2つの横円錐区画55、58の二重円錐配置、及びそれに関連付けられた半円形偏向ファセットミラー21の配置は、偏向ファセットミラー21のいかなる外周角から観察した場合にも、瞳ファセットミラー25が、瞳平面27に対して同じ角度で傾斜した直線を形成するようなものである。言い換えれば、偏向ファセットミラー21とレチクル7との光軸(図6ではCR)を通る図6と類似の各作図面では、偏向ファセットミラー21と瞳ファセットミラー25とにおける断面図形が直線である。

【0081】

照明光16が、偏向ファセット22から瞳ファセット28まで瞳平面27上への投影において瞳ファセットミラー25の中心32aに関して良い近似で半径方向に案内されると仮定すると、照明光16の全ての部分ビームは、瞳ファセット28において同じ入射角で

50

偏向される。ここでもまた、瞳ファセットミラー 25 の瞳ファセット 28 が、相応に偏向される照明光 16 に対する偏光子として機能するよう、この入射角は、最大でも 20°、又は最大でも 15°、最大でも 10°、最大でも 5°、又は最大でも 3° の偏角しか伴わずに約 43° のブリュースター入射角付近に位置する。それによって偏向ファセットミラー 21 のどの場所から光が瞳ファセットミラー 25 に案内されるかに基づいて、適切な直線偏光を有する照明光の部分ビームがもたらされる。

【0082】

瞳平面 27 上への投影において、得られる偏光方向は、偏向ファセットミラー 21 の半円形形態に対してタンジェンシャル方向に延びる。従って、全ての直線偏光方向を生成することができるので、タンジェンシャル偏光を有する照明瞳を生成することができる。 10

【0083】

瞳ファセットミラー 25 の中立区画 52 は、図 6 の作図面と垂直に、すなわち、xy 平面に配置された平面ミラー支持面を有する。

【0084】

偏光区画 51 及び中立区画 52 は、図 6 に記載の実施形態では互いに別々の瞳ファセットミラー 25 の 2 つの区画を構成する。

【0085】

全体的に傾斜させることができる視野ファセットミラー 19 に対する代替として、図 6 に記載の実施形態は、偏向視野ファセット 21 への照明ビーム経路 50 と中立区画 52 への照明ビーム経路の間の切り換えが、各々視野ファセットミラー 19 の個々の視野ファセット 20 を傾斜させることによって引き起こされるように具現化することができる。この場合に、視野ファセットミラー 19 は、照明光 16 が、視野ファセットの傾斜位置に基づいて、交互に瞳ファセットミラー 25 の偏光区画 51 又は中立区画 52 のいずれかに入射することができるように、傾斜可能視野ファセット 20 を用いて具現化される。 20

【0086】

図 9 及び図 10 は、図 1 から図 5 に記載の照明光学ユニット 4 の方式で偏向ファセットミラー 21 と瞳ファセットミラー 25 とを含む図 6 に記載の照明光学ユニット 32 の変形を示している。

【0087】

図 9 は、視野ファセットミラー 19 が、照明光 16 を瞳ファセットミラー 中立区画 34 に案内するように傾斜された照明状況を示している。 30

【0088】

図 10 は、瞳ファセットミラー 19' が、瞳ファセットミラー 25 の偏光区画 29、30 が偏向ファセットミラー 21 によって作動される傾斜位置に変位した照明状況を示している。この場合にそれによって図 4 及び図 5 に関して、更に図 6 の視野ファセットミラー 19 の傾斜変形に関して上述した照明変形がもたらされる。

【0089】

図 9 に記載の照明状況では、最大照明角度に至るまでの照明角度による非偏光作動を達成することが可能である。図 10 に記載の照明状況では、絶対値で大きい照明角度による偏光作動で物体視野 5 の照明を達成することが可能である。 40

【0090】

照明光学ユニット 32 の変形は、偏光の向きを予め定めるために及び / 又は物体視野 5 上での視野ファセット 20 の像の向きを予め定めるために、ここでもまた偏向ファセットミラー 21、瞳ファセットミラー 25、及び任意的に視野ファセットミラー 19 をピボット可能方式でピボット回転させることができるように具現化することができる。この目的をもたらすために、ファセットミラー 21、25、及び任意的に 19 は、図 6 から図 10 にはそれ以上詳細には描示していないピボットドライブと相互作用を行うことができる。

【0091】

以下に続く本文では、図 11 から図 13 に基づいて、投影露光装置 1 内で照明光学ユニット 4 又は 49 の代わりに使用することができる照明光学ユニットの更に別の実施形態 6 50

1を説明する。図1から図10を参照して上述したものに対応する構成要素及び機能は同じ参考符号を伴い、これらに対して下記で再度詳細に解説することはしない。

【0092】

照明光学ユニット61では、瞳ファセットミラー25の中立区画34に中心通路開口部62が設けられる。中心通路開口部62は、瞳ファセットミラー25の偏光区画29、30とは別々の偏光区画として具現化される更に別の偏光区画63の通過に向けて具現化される。更に別の偏光区画63の指形状支持体64は、変位アクチュエータ65を用いて中立区画34の平面に対して垂直な変位方向に沿って変位可能であるように具現化される。

【0093】

図11は、無効位置にある瞳ファセットミラー25の更に別の偏光区画63を示している。10 図11に記載の瞳ファセットミラー25は、この場合に、原理的に図1から図5、図9、及び図10を参照して上述したように作動する。この場合に、中立区画34によって照明光16を反射することができるのは通路開口部62の領域内だけである。

【0094】

図12及び図13は、更に別の中心偏光区画63の有効位置にある図11に記載の瞳ファセットミラー25を示している。この目的をもたらすために、更に別の偏光区画63は、約45°だけ傾斜したその反射面が偏向ファセットミラー21と共にz方向に静止レベル(rest level)に来るよう、変位アクチュエータ65によって中立区画34の通路開口部62を通して移動される。同時に、更に別の瞳ファセットミラー25、すなわち、中立区画34及びそれに続いて形成された偏光区画29、30は、反対方向、すなわち、図12の負のz方向に変位し、従って、照明ビーム経路31から出るように移動される。この変位は、中立区画34の領域内で瞳ファセットミラー25に接続された更に別の変位アクチュエータ66によって引き起こされる。20

【0095】

図12及び図13に記載の配置では、照明ビーム経路31内の照明光16は、それが偏光区画63上での反射の後に直線で、図12に記載の作図面に対して垂直な偏光状態にあるように、この場合に約43°の入射角、すなわち、ブリュースター入射角で偏光区画63の反射面によって偏向される。

【0096】

平面実施形態を有する偏光区画63に対する代替として、偏光区画29、30、及び51に関して上述したように、半円形偏向ファセットミラー21の作動により、横円錐形偏光区画63での反射によって前と同じく異なる偏光方向を有する直線偏光光を生成することができるよう、偏光区画63を、例えば偏光区画29に対応する凸横円錐区画の形態で形成することができる。30

【0097】

中心偏光区画63にわたる図12及び図13に記載のビーム案内は、好ましくは、位相マスクと共に使用することができる。更に別の用途は、投影光学ユニット内の偏光区画63と共に役な掩蔽との併用によるレチクル7の暗視野照明にある。この場合に、レチクル7の構造において回折された照明光16のみがウェーハ13を照明することに寄与する。

【0098】

図11から図13に記載の瞳ファセットミラー25では、中立区画34は、中心偏光区画63の周りに少なくとも部分円の形状で配置され、描示する例示的実施形態において、更に完全円として配置される。40

【0099】

図11から図13に記載の瞳ファセットミラー25は、互いに別々の2つの偏光区画を有し、すなわち、第1に中心偏光区画63及び第2に相互接続した偏光区画29、30を有する。図11から図13に記載の実施形態について例示的に記載されているように、瞳ファセットミラーの異なる別々の偏光区画は、互いに対して及び/又は瞳ファセットミラーの少なくとも1つの中立区画に対して変位可能にすることができる。

【0100】

10

20

30

40

50

複数又は他に多数の偏向ファセット 22 を視野ファセット 20 の各々に割り当てることができる。その結果、物体視野 5 に結像される視野ファセット 20 のうちの 1 つから発する照明光部分ビームを視野ファセットミラー 19 の適切にグループ分けされた個々のミラー又はマイクロミラーを用いて、複数の瞳ファセット 28 上に分散させることができる。従って、視野ファセット区画のファセット区画像は、物体視野 5 の物体視野高さ全体にわたって、すなわち、 x 広がり全体にわたって物体変位方向 y に対して直角に延びる物体視野 5 内のストリップを構成する。従って、瞳ファセット 28 のうちの異なるものを通して、視野ファセット 20 のうちの 1 つの像を例えば y 方向に線オフセットを有する線毎に物体視野 5 内に構成することができる。従って、視野ファセット 20 のマイクロミラーの適切な傾斜角割り当てを用いて、 x 方向に物体視野 5 全体にわたって延びる物体視野 5 のストリップ区画を瞳ファセットミラー 25 上のこの照明に係わる瞳ファセット 28 の位置に従う異なる照明方向から照明することができる。この照明は、例えば矩形の物体視野 5 の上面図 1 の挿入図に描示している。描示するものは、互いから破線で概略的に分離した合計で 4 つのそのような物体視野ストリップ 5a から 5d である。これらの物体視野ストリップ 5a から 5d は、視野ファセット 20 のファセット区画の像である。この挿入図には、物体視野高さ、すなわち、物体視野 5 の x 方向の広がり全体を $\underline{5_x}$ で表している。この場合に、 y 方向に沿って物体視野 5 を通して走査されるレチクル点は、走査積分方式で、様々な照明方向からの照明光を捉える。

【0101】

図 14 は、物体視野 5 の四重極照明を生成するための偏向ファセットミラー 21 及び瞳ファセットミラー 25 の実施形態を図 3 及び図 11 と類似の図に示している。四重極照明では、各物体視野点は、照明瞳の四分円のうちの 1 つの中に各々が配置された 4 つの照明極によって照明される。四分円の各々では、照明光 16 の直線偏光 36 は、それぞれの四分円の中心と照明瞳の中心の間の接続線に対して垂直な偏光方向を有する。

【0102】

図 14 では、四重極照明に向けて瞳ファセットミラー 25 が照明される 4 つの四分円を数学の慣例通りに I、II、III、及び IV で付番している。瞳ファセットミラー 25 の四分円 I 及び II 内には、 x y 角二等分線と平行な直線偏光方向 36 が存在する。2 つの他の四分円 III 及び IV 内の直線偏光 36 は、この x y 角二等分線に対して厳密に垂直に延びている。

【0103】

図 14 の偏向ファセットミラー 21 上の網掛け付きの偏向ファセット領域 66a 内にある偏向ファセットミラー 21 の偏向ファセット 22 は、瞳ファセットミラー 25 の適切な照明に寄与する。

【0104】

図 1 に関して上述したように、2 つのファセットミラー 21、25 は、ピボット軸 48a の周りにピボット可能であるように具現化することができる。その結果、四重極照明の偏光方向及び四重極照明の極の向きを予め定められた値に適応させることができる。偏向ファセットミラー 21 が瞳ファセットミラー 25 と共に実行するピボット回転移動を図 14 に双方向矢印 67 に示している。偏向ファセットミラー 21 及び瞳ファセットミラー 25 に対して、共通ピボットドライブ 48b による $\pm 45^\circ$ の範囲のピボット軸 48a の周りのピボット回転を予め定めることができる。全体としての視野ファセットミラー 19 のピボット回転により、又は視野ファセット 20 のマイクロミラー実施形態の場合は適合される視野ファセットへのマイクロミラー群の割り当てを変更することにより、関係する視野ファセットミラー 19 の視野ファセット 20 のアラインメントをもたらすことができる。

【0105】

投影露光において、レチクル 7 と、EUV 放射線ビーム 16 に対する感光コーティングを有するウェーハ 13 とが与えられる。露光の前に、照明設定、すなわち、例えば二重極設定又は環状設定、又は他に異なる設定、例えば従来照明設定又は多重極照明設定が設定

10

20

30

40

50

される。次いで、投影露光装置 1 を用いてレチクル 7 の少なくとも 1 つの区画がウェーハ 13 上に投影される。最後に、EUV 放射線ビーム 16 に露光されたウェーハ 13 上の感光層が現像される。このようにして、微細構造化又はナノ構造化構成要素、例えば、半導体構成要素、例えば、マイクロチップが生成される。

【符号の説明】

【0106】

1 投影露光装置

4 照明光学ユニット

10 投影光学ユニット

19 視野ファセットミラー

34 瞳ファセットミラー中立区画

10

【図 1】

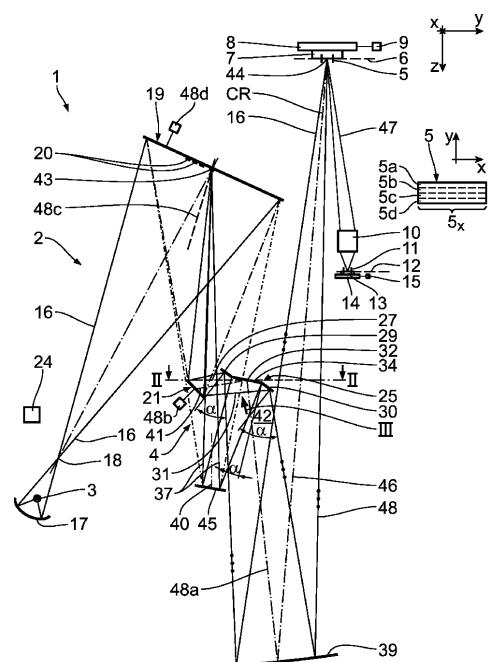


Fig. 1

【図 2】

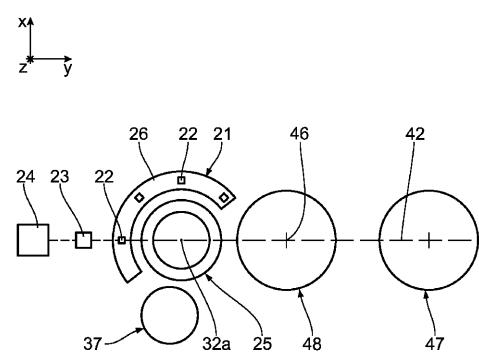


Fig. 2

【図 3】

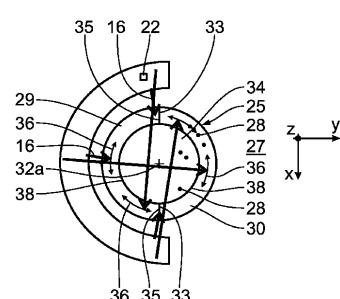


Fig. 3

【図4】

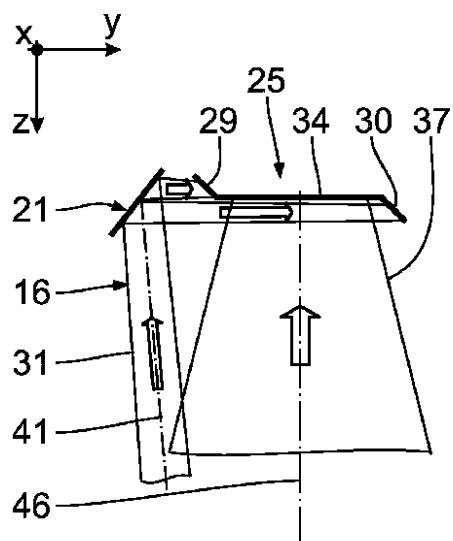


Fig. 4

【 图 5 】

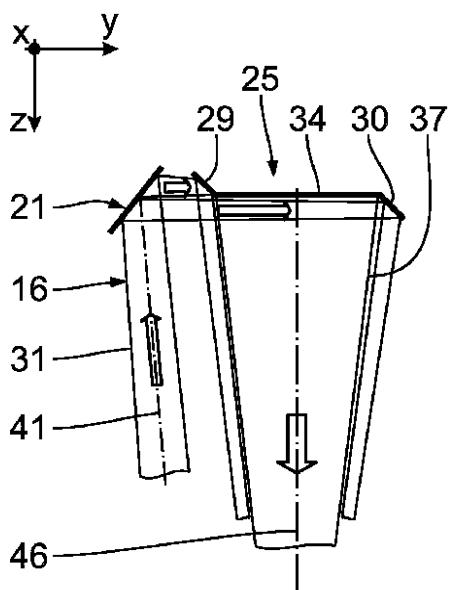


Fig. 5

【図6】

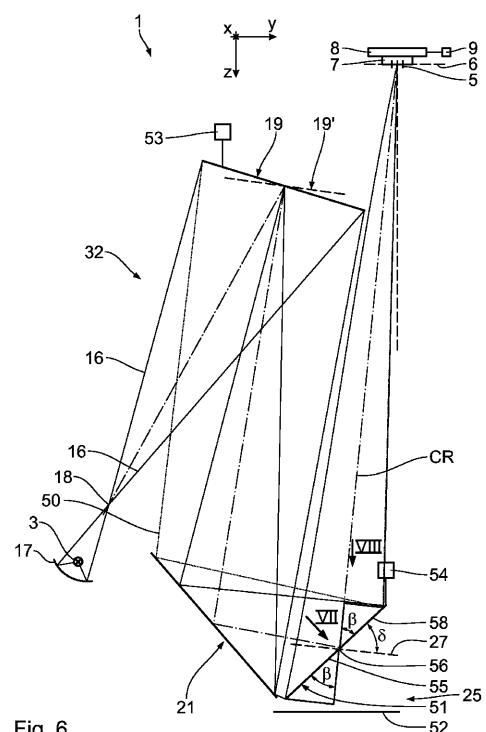


Fig. 6

【図7】

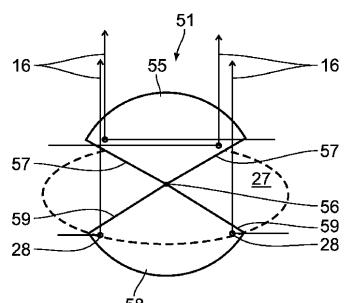


Fig. 7

【 义 8 】

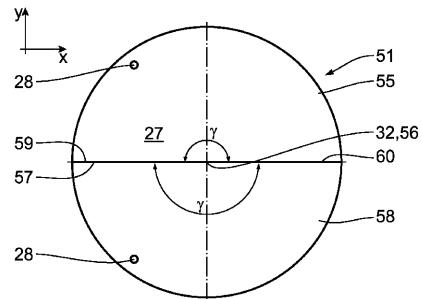


Fig. 8

【図9】

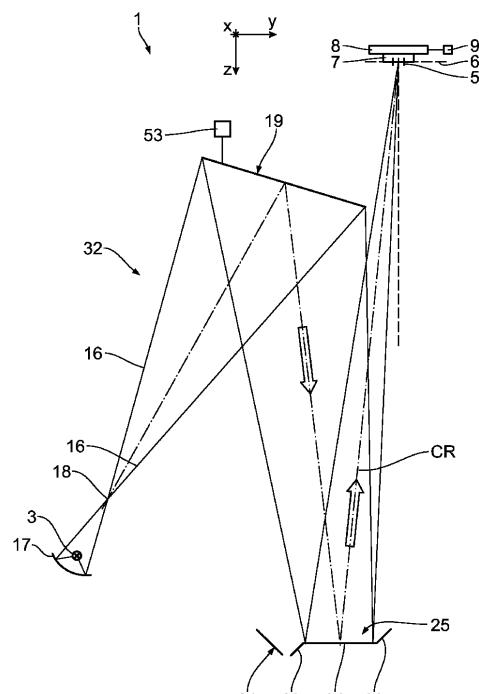


Fig. 9

【図10】

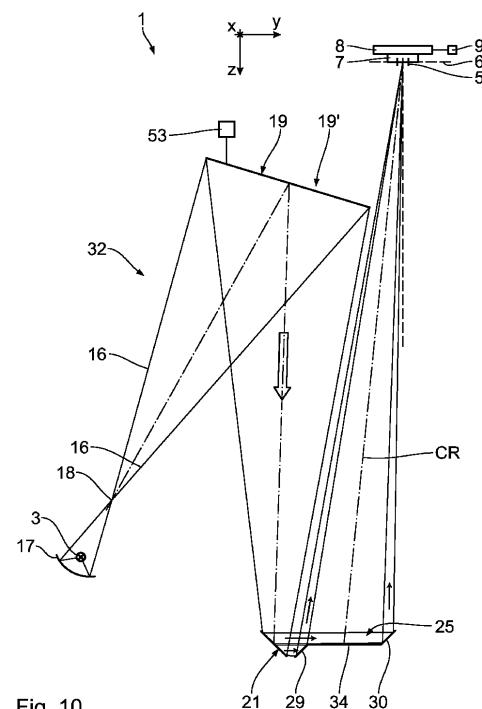


Fig. 10

【図11】

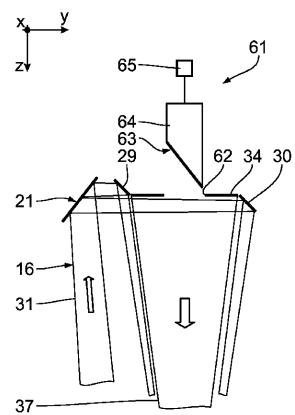


Fig. 11

【図12】

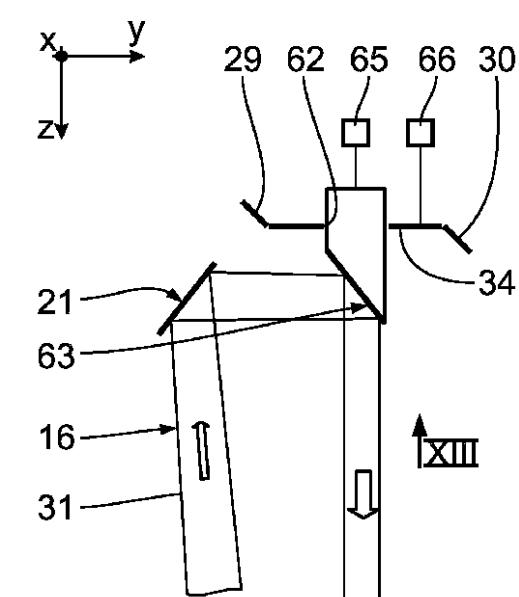


Fig. 12

【図13】

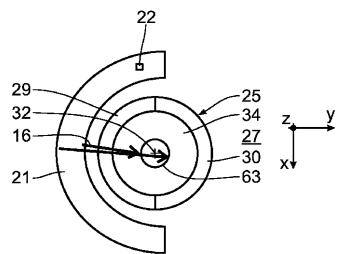


Fig. 13

【図14】

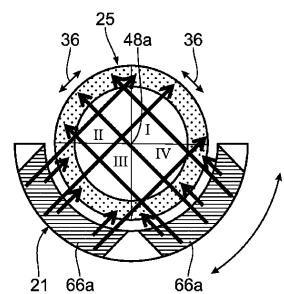


Fig. 14

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 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 マウル マンフレッド
ドイツ連邦共和国 7 3 4 3 4 アーレン エルヒヴェーク 2 9

審査官 植木 隆和

(56)参考文献 国際公開第2013/013947 (WO, A2)
特開2006-156857 (JP, A)
米国特許出願公開第2013/0021592 (US, A1)
特開2011-228698 (JP, A)
特開2003-133212 (JP, A)
特表2011-525637 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 01 L 21/027
G 03 F 7/20