

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6691105号
(P6691105)

(45) 発行日 令和2年4月28日(2020.4.28)

(24) 登録日 令和2年4月13日(2020.4.13)

(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 12 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2017-511203 (P2017-511203)
 (86) (22) 出願日 平成27年8月19日 (2015.8.19)
 (65) 公表番号 特表2017-526969 (P2017-526969A)
 (43) 公表日 平成29年9月14日 (2017.9.14)
 (86) 國際出願番号 PCT/EP2015/069038
 (87) 國際公開番号 WO2016/030248
 (87) 國際公開日 平成28年3月3日 (2016.3.3)
 審査請求日 平成30年8月17日 (2018.8.17)
 (31) 優先権主張番号 102014216802.3
 (32) 優先日 平成26年8月25日 (2014.8.25)
 (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 100094569
弁理士 田中 伸一郎
(74) 代理人 100088694
弁理士 弟子丸 健
(74) 代理人 100067013
弁理士 大塚 文昭
(74) 代理人 100086771
弁理士 西島 幸喜

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(8)を配置可能である物体視野(12)を照明光(3)で照明するための EUV 投影リソグラフィのための照明光学ユニット(11)であって、

典型的直径 G を有する上流光源(5a)の像としての 2 次光源(27)の結像生成のための第 1 のファセットミラー(6)を含み、

前記第 1 のファセットミラー(6)は、2 mm × 2 mm よりも小さくて典型的直径 F を有するミラー面を各々が含む多数の個々のミラー(21)を含み、

前記第 1 のファセットミラー(6)は、前記光源(5a)から距離 |g| を有し、

第 2 のファセットミラー(7)を含み、

前記 2 つのファセットミラー(6, 7)は、互いからの距離 b' を有し、

前記第 1 のファセットミラー(6)の前記個々のミラー(21)は、該第 1 のファセットミラー(6)の該個々のミラー(21)上への前記照明光(3)の入射平面(yz)に焦点距離 f を有し、該焦点距離に以下:

$$[0.1 b' g / (g - b')] < f < [10 b' g / (g - b')]$$

が適用され、

前記焦点距離 f は、最大で $0.3 b' G / ((b' - g) F)$ の因子で理想的焦点距離 $f_{opt} = b' g / (g - b')$ から外れる

ことを特徴とする照明光学ユニット(11)。

【請求項 2】

10

20

結像される物体(8)を配置可能である物体視野(12)を照明光(3)で照明するためのEUV投影リソグラフィのための照明光学ユニット(11)であって、

典型的直径Gを有する上流光源(5a)の像としての2次光源(27)の結像生成のための第1のファセットミラー(6)を含み、

前記第1のファセットミラー(6)は、2mm×2mmよりも小さくて典型的直径Fを有するミラー面を各々が含む多数の個々のミラー(21)を含み、

前記第1のファセットミラー(6)は、前記光源(5a)から距離|g|を有し、

第2のファセットミラー(7)を含み、

前記2つのファセットミラー(6, 7)は、互いからの距離b'を有し、

前記第1のファセットミラー(6)の前記個々のミラー(21)は、該第1のファセットミラー(6)の該個々のミラー(21)上への前記照明光(3)の入射平面(yz)に焦点距離fを有し、該焦点距離に以下：

$$[0.1b'g / (g - b')] < f < [10b'g / (g - b')]$$

が適用され、

前記焦点距離fは、最大で750μm[g / ((g - b') · F)]の因子で理想的焦点距離 $f_{opt} = b'g / (g - b')$ から外れる

ことを特徴とする照明光学ユニット(11)。

【請求項3】

前記焦点距離fは、最大で600μm[g / ((g - b') · F)]の因子で理想的焦点距離 $f_{opt} = b'g / (g - b')$ から外れることを特徴とする請求項2に記載の照明光学ユニット。

【請求項4】

結像される物体(8)を配置可能である物体視野(12)を照明光(3)で照明するためのEUV投影リソグラフィのための照明光学ユニット(11)であって、

典型的直径Gを有する上流光源(5a)の像としての2次光源(27)の結像生成のための第1のファセットミラー(6)を含み、

前記第1のファセットミラー(6)は、2mm×2mmよりも小さくて典型的直径Fを有するミラー面を各々が含む多数の個々のミラー(21)を含み、

前記第1のファセットミラー(6)は、前記光源(5a)から距離|g|を有し、

第2のファセットミラー(7)を含み、

前記2つのファセットミラー(6, 7)は、互いからの距離b'を有し、

前記第1のファセットミラー(6)の前記個々のミラー(21)は、該第1のファセットミラー(6)の該個々のミラー(21)上への前記照明光(3)の入射平面(yz)に焦点距離fを有し、該焦点距離に以下：

$$[0.1b'g / (g - b')] < f < [10b'g / (g - b')]$$

が適用され、

前記個々のミラー(21)の少なくとも一部が、一方で前記入射平面及び/又は折り返し平面(yz)、他方で該折り返し平面に垂直なもの(xz)において異なる曲率半径を有し、

前記折り返し平面(yz)における前記曲率半径r₁に対して以下：

$$-20b'g / ((g - b') \cos(\pi/2)) < r_1 < -0.2b'g / ((g - b') \cos(\pi/2))$$

が適用され、 は、前記第1のファセットミラー(6)のそれぞれの前記個々のミラー(21)での反射時の前記照明光(3)の折り返し角度である、

ことを特徴とする照明光学ユニット(11)。

【請求項5】

前記曲率半径r₁は、最大で750μm[g / ((g - b') · F)]の因子で理想的曲率半径：

$$r_{1, opt} =$$

10

20

30

40

【数1】

$$r_1 = \frac{2gb'}{(g - b') \cos(\alpha / 2)}$$

から外れることを特徴とする請求項4に記載の照明光学ユニット。

【請求項6】

前記折り返し平面に垂直(x y)な曲率半径 r_2 に対して以下:

$$-20b'g \cos(\alpha / 2) / (g - b') < r_2 < -0.2b'g \cos(\alpha / 2) / (g - b')$$

が適用され、 α は、前記第1のファセットミラー(6)のそれぞれの前記個々のミラー(21)での反射時の前記照明光(3)の折り返し角度である、

ことを特徴とする請求項4又は請求項5に記載の照明光学ユニット。

【請求項7】

前記曲率半径 r_2 は、最大で $750\mu m [g / ((g - b') \cdot F)]$ の因子で理想的曲率半径 $r_{2opt} = -2b'g \cos(\alpha / 2) / (g - b')$ から外れることを特徴とする請求項6に記載の照明光学ユニット。

【請求項8】

前記第2のファセットミラー(7)は、典型的寸法Gを有する前記第1のファセットミラー(6)の部分を前記物体視野(12)の領域内のファセット像(23a)内に結像するための複数の第2のファセット(26)を含み、

前記2つのファセットミラー(6, 7)は、互いからの距離 $|g_\perp|$ を有し、

前記第2のファセットミラーは、前記物体視野(12)からの距離 b'_\perp を有し、

前記第2のファセットミラー(7)の前記ファセット(26)は、該第2のファセットミラー(7)の該個々のミラー(26)上への前記照明光(3)の入射平面(y z)に焦点距離 f_\perp を有し、該焦点距離に対して以下:

$$[0.1b'_\perp g_\perp / (g_\perp - b'_\perp)] < f_\perp < [10b'_\perp g_\perp / (g_\perp - b'_\perp)]$$

が適用される、

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(11)。

【請求項9】

請求項1から請求項8のいずれか1項に主張する照明光学ユニット(11)を含み、

物体視野(12)を像視野(17)内に結像するための投影光学ユニット(10)を含む、

ことを特徴とする光学系。

【請求項10】

請求項1から請求項8のいずれか1項に主張する照明光学ユニット(11)を含み、

EUV光源(2)を含む、

ことを特徴とする照明系。

【請求項11】

請求項9に主張する光学系を含み、

EUV光源(2)を含む、

ことを特徴とする投影露光装置。

【請求項12】

構造化構成要素を生成する方法であって、

レチクル(8)を与える段階と、

照明光(3)に対して感受性があるコーティングを有するウェーハ(19)を与える段階と、

10

20

30

40

50

請求項 11 に主張する投影露光装置(1)を用いて前記レチクル(8)の少なくとも一部分を前記ウェーハ(19)の上に投影する段階と、

前記照明光(3)によって露光された前記ウェーハ(19)上の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。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本特許出願は、ドイツ特許出願DE 10 2014 216 802.3 の優先権を主張するものであり、その内容は、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、結像される物体を配置可能である物体視野を照明するための EUV 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含む光学系、そのような照明光学ユニットを含む照明系、そのような光学系を含む投影露光装置、そのような投影露光装置を用いた生成方法、本方法によって生成された微細構造化又はナノ構造化構成要素に関する。

【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 2009/100 856 A1 及び WO 2010/099 807 A1 から公知である。 20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】 WO 2009/100 856 A1

【特許文献 2】 WO 2010/099 807 A1

【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、2つのファセットミラーが使用される時に第2のファセットミラー及び/又は物体視野の最適な照明が現れるような冒頭に示したタイプの照明光学ユニットを開発することである。 30

【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に記載の特徴を含む照明光学ユニットによって達成される。更に、本発明により、この目的は、当初請求項 8に記載の特徴を含む照明光学ユニットによって達成される。

[当初請求項 1]

結像される物体(8)を配置可能である物体視野(12)を照明光(3)で照明するための EUV 投影リソグラフィのための照明光学ユニット(11)であって、

典型的直径 G を有する上流光源(5a)の像としての 2 次光源(27)の結像生成のための第 1 のファセットミラー(6)を含み、 40

前記第 1 のファセットミラー(6)は、2 mm × 2 mm よりも小さくて典型的直径 F を有するミラー面を各々が含む多数の個々のミラー(21)を含み、

前記第 1 のファセットミラー(6)は、前記光源(5a)から距離 |g| を有し、

第 2 のファセットミラー(7)を含み、

前記 2 つのファセットミラー(6, 7)は、互いからの距離 b' を有し、

前記第 1 のファセットミラー(6)の前記個々のミラー(21)は、該第 1 のファセットミラー(6)の該個々のミラー(21)上への前記照明光(3)の入射平面(yz)に焦点距離 f を有し、該焦点距離に以下：

$$[0.1 b' g / (g - b')] < f < [10 b' g / (g - b')]$$

が適用される、

ことを特徴とする照明光学ユニット(11)。

【当初請求項8】

結像される物体(8)を配置可能である物体視野(12)を照明光(3)で照明するためのEUV投影リソグラフィのための照明光学ユニット(11)であって、

第1のファセットミラー(6)を含み、

典型的寸法Gを有する前記第1のファセットミラー(6)の部分を前記物体視野(12)の領域内のファセット像(23a)内に結像するための複数の第2のファセット(26)を含む第2のファセットミラー(7)を含み、

前記2つのファセットミラー(6, 7)は、互いからの距離|g|を有し、

10

前記第2のファセットミラーは、前記物体視野(12)からの距離b'を有し、

前記第2のファセットミラー(7)の前記ファセット(26)は、該第2のファセットミラー(7)の該個々のミラー(26)上への前記照明光(3)の入射平面(yz)に焦点距離fを有し、該焦点距離に対して以下：

$$[0.1b'g / (g - b')] < f < [10b'g / (g - b')]$$

が適用される、

ことを特徴とする照明光学ユニット(11)。

【0007】

本発明によって明らかになったことは、その焦点距離(focal length)が事前決定された範囲にある第1のファセットミラーの個々のミラーの結像の使用が第2のファセットミラーの有利に集中した照明をもたらすことである。有利に小さい瞳充填を実現することができる。ここで、瞳充填は、全体瞳面に対する照明光が入射する瞳面の部分として定められる。これは、結果として、物体視野照明にとって望ましい照明方向の相応に改善された事前決定を有する。更に、物体視野を異なる方向から照明するように照明光学ユニットを通して案内される照明光の様々な部分ビームの良好な分離が、第1のファセットミラーの個々のミラーの焦点距離に関して指定された条件が遵守される場合に現れる。第1のファセットミラーによって2次光源内に結像される上流光源は、光源それ自体であるか、又は光源の像、例えば、原理的には従来技術で公知である照明光コレクターによって生成されて光源の下流に配置された中間フォーカスである場合がある。上流光源の典型的な直径は、光源面積、すなわち、照明光がそこから発せられる光源の面積に等しい面積の円の直径である。第1のファセットミラーの個々のミラーのミラー面の典型的な直径は、ミラー面積に等しい面積の円の直径である。第2のファセットミラーは、次に、多数の個々のミラー又はマイクロミラーから構成することができる。しかし、これは必須ではない。これに代えて、第2のファセットミラーはまた、各々が照明光を案内する巨視的なファセットから構成することができ、照明光は、第1のファセットミラーの少なくとも1つの個々のミラー群によってこれらのファセットに案内される。

20

【0008】

第1のファセットミラーの個々のミラーの反射面は、球面、非球面、円柱面(cylindrical surfaces)、互いに垂直な平面に異なる曲率半径を有する円環状面(toric surfaces)、楕円体面(ellipsoidal surfaces)、又はそのような面形態の重ね合わせである場合がある。

30

【0009】

指定の焦点距離関係では、gは、その値が0未満であってよい(the value of which may be less than 0)物体距離(object distance)である。定義では距離は0よりも大きくななければならないので、この距離は、gのマグニチュード(magnitude)である。

40

【0010】

当初請求項2及び当初請求項3に記載の焦点距離条件は、第1のファセットミラーの個々のミラーの設計に特に適することが見出されている。当初請求項2に記載の焦点距離条件下の偏差因子(deviation factor)は、0.3よりも小さいとするこ

50

とができる、例えば、0.25、0.2、0.15、又は0.1とすることができる。当初請求項3に記載の焦点距離条件の偏差パラメータ (deviation parameter er)は、750μmよりも小さいとすることができ、例えば、600μm、500μm、400μm、300μm、200μm、150μm、120μm、又は他に100μmとすることができる。

[当初請求項2]

前記焦点距離fは、最大で0.3b'G / ((b' - g)F)の因子 (factor)で理想的焦点距離f_{opt} = b'g / (g - b')から外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]

前記焦点距離fは、最大で750μm [g / ((g - b') · F)]の因子で理想的焦点距離f_{opt} = b'g / (g - b')から外れることを特徴とする当初請求項1又は当初請求項2に記載の照明光学ユニット。

【0011】

当初請求項4に記載の曲率半径条件は、第1のファセットミラーの個々のミラーで照明光が反射される時の照明光の折り返しを考慮するものである。折り返し角度は、第1のファセットミラーのそれぞれの個々のミラーでの入射角の2倍である。ここで、これは、傾斜可能な個々のミラーの最大使用作動角度 (maximum used actuating angle)と最小使用作動角度 (minimum used actuating angle)によって指定される折り返し角度範囲の平均折り返し角度とすることができます。

[当初請求項4]

前記個々のミラー(21)の少なくとも一部が、一方で前記入射平面及び/又は折り返し平面(yz)、他方で該折り返し平面に垂直なものの(xz)において異なる曲率半径を有し、

前記折り返し平面(yz)における前記曲率半径r₁に対して以下:

$$-20b'g / ((g - b') \cos(\alpha/2)) < r_1 < -0.2b'g / ((g - b') \cos(\alpha/2))$$

が適用され、は、前記第1のファセットミラー(6)のそれぞれの前記個々のミラー(21)での反射時の前記照明光(3)の折り返し角度である、

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。

【0012】

当初請求項5及び当初請求項7に記載の焦点距離条件の利点は、当初請求項2及び当初請求項3に関して上述したものに対応する。

[当初請求項5]

前記曲率半径r₁は、最大で750μm [g / ((g - b') · F)]の因子で理想的曲率半径:

$$\frac{r_{1,opt}}{[数1]} =$$

$$r_1 = \frac{2gb'}{(g - b') \cos(\alpha/2)}$$

から外れることを特徴とする当初請求項4に記載の照明光学ユニット。

[当初請求項7]

前記曲率半径r₂は、最大で750μm [g / ((g - b') · F)]の因子で理想的曲率半径r_{2,opt} = -2b'g cos(α/2) / (g - b')から外れることを特徴とする当初請求項6に記載の照明光学ユニット。

【0013】

10

20

30

40

50

当初請求項 6 に記載の焦点距離条件は、折り返し平面内と折り返し平面に対して垂直なものとの異なる結像条件を考慮するものである。

[当初請求項 6]

前記折り返し平面に垂直 (x y) な曲率半径 r₂ に対して以下 :

$$-20b'g \cos(\pi/2) / (g - b') < r_2 < -0.2b'g \cos(\pi/2) / (g - b')$$

が適用され、 は、前記第 1 のファセットミラー (6) のそれぞれの前記個々のミラー (21) での反射時の前記照明光 (3) の折り返し角度である。

ことを特徴とする当初請求項 4 又は当初請求項 5 に記載の照明光学ユニット。

【0014】

当初請求項 8 に記載の第 2 のファセットミラーの結像ファセットの使用によって対応する利点が現れる。第 2 のファセットミラーのこれらの第 2 のファセットは、モノリシックファセットであるか、又は他に第 2 のファセットミラーの個々のミラー群である場合がある。第 1 のファセットミラーのうちで結像される部分も同じくモノリシックな第 1 のファセット又は個々のミラー群に関連する場合がある。特に、第 1 のファセットミラーのうちで結像される部分を個々のミラー群として具現化する時に、そのような個々のミラー群は、物体視野をその全体において照明するか又は物体視野の単に一部を照明することができる仮想的な第 1 のファセットを形成することができる。この最後の変形は、特に、照明光学ユニットが鏡面反射器 (specular reflector) の様式に具現化される場合に使用される。

【0015】

第 1 のファセットミラーの個々のミラーの結像効果に関して上記で解説した当初請求項の特徴は、第 2 のファセットの結像の場合に同じく相応に適用することができる。第 1 のファセットミラーの個々のミラーに関して上記で解説した焦点距離及び曲率半径に関する全てのサイズ関係も同じく第 2 のファセットミラーの第 2 のファセットに相応に適用されるが、そこでは、これらの関係は、それぞれの第 1 のファセットミラーのそれぞれの部分を物体視野の領域内にあるファセット像内に結像することに関連する。

【0016】

特に、照明光学ユニットは、個々のミラーを含む第 1 のファセットミラーと第 2 のファセットを含む第 2 のファセットミラーとを含むことができ、それらは、それぞれ、上記で解説したその焦点距離及び曲率半径に関する条件を満足する。

【0017】

当初請求項 8 に記載の光学系、当初請求項 9 に記載の照明系、当初請求項 10 に記載の投影露光装置、当初請求項 11 に記載の生成方法、及び当初請求項 12 に記載の微細構造化又はナノ構造化構成要素の利点は、照明光学ユニットに関して上述したものに対応する。

[当初請求項 9]

当初請求項 1 から当初請求項 8 のいずれか 1 項に主張する照明光学ユニット (11) を含み、

物体視野 (12) を像視野 (17) 内に結像するための投影光学ユニット (10) を含む、

ことを特徴とする光学系。

[当初請求項 10]

当初請求項 1 から当初請求項 8 のいずれか 1 項に主張する照明光学ユニット (11) を含み、

EUV 光源 (2) を含む、

ことを特徴とする照明系。

[当初請求項 11]

当初請求項 9 に主張する光学系を含み、

EUV 光源 (2) を含む、

10

20

30

40

50

ことを特徴とする投影露光装置。

[当初請求項 12]

構造化構成要素を生成する方法であって、

レチクル(8)を与える段階と、

照明光(3)に対して感受性があるコーティングを有するウェーハ(19)を与える段階と、

当初請求項11に主張する投影露光装置(1)を用いて前記レチクル(8)の少なくとも一部分を前記ウェーハ(19)の上に投影する段階と、

前記照明光(3)によって露光された前記ウェーハ(19)上の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。

[当初請求項 13]

当初請求項12に主張する方法に従って生成された構成要素。

【0018】

図面を参照して本発明の例示的実施形態を下記でより詳細に説明する。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】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】個々のミラー群の配置内に個々のミラーの例示的なグループ分けを含む図1に記載の投影露光装置の照明光学ユニットの個々のミラーから構成された視野ファセットミラーの実施形態の一部分を示す平面図である。

【図3】円形様式で照明される複数の個々のミラー群が第1の照明設定を事前決定するための第2のファセットとして照明される照明光学ユニットの複数の個々のミラーから構成される瞳ファセットミラーを示す図である。

【図4】更に別の照明設定を事前決定するために同じ個数の個々のミラー群が円形様式で照明される図3による瞳ファセットミラーを示す図である。

【図5】視野ファセットミラーの個々のミラーの結像効果の光学変数を解明するための略展開図である。

【図6】楕円体(e l l i p s o i d)として具現化された視野ファセットミラーの個々のミラーを用いて結像する時の光学変数を導入するための略非展開図である。

【図7】瞳ファセットミラーの瞳ファセットの結像効果の光学変数の解明を図5と類似の図に示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

図1に非常に概略的に子午断面図に描示するマイクロリソグラフィ投影露光装置1は、照明光3のための光源2を含む。光源2は、5nmと30nmの間の波長領域の光を発生させるEUV光源である。このEUV光源は、LPP(レーザ生成プラズマ)光源又はDPP(放電生成プラズマ)光源とすることができます。

【0021】

伝達光学ユニット4は、光源2から発する照明光3を案内するように機能する。この伝達光学ユニットは、図1には反射効果に関してしか描示していないコレクター5と、投影露光装置第1の光学ユニットの視野平面に配置され、下記では視野ファセットミラー又は第1のファセットミラーとも呼び、下記でより詳細に説明する伝達ファセットミラー6とを含む。コレクター5と第1のファセットミラー6の間には、照明光3の中間フォーカス5aが配置される。図示の実施形態において、中間フォーカス5aの領域内の照明光3の開口数はNA=0.182である。第1のファセットミラー6の下流、従って、伝達光学ユニット4の下流には、同じく下記でより詳細に更に説明し、第2のファセットミラーとも呼ぶ照明事前決定ファセットミラー7が配置される。照明光3のビーム経路内で照明事前決定ファセットミラー7の下流には、下流にある投影露光装置1の投影光学ユニット10の物体平面9に配置されたレチクル8が配置される。それぞれ下記で説明する更に別の

実施形態の投影光学ユニット 10 及び投影光学ユニットは、投影レンズである。

【0022】

位置関係の例示を容易にするために、下記では直交 x y z 座標系 (x y z -coordinate system) を使用する。 x 方向は、図 1 の作図面と垂直に作図面に入り込むように延びる。図 1 では、 y 方向は右に延びる。図 1 では、 z 方向は下向きに延びる。

【0023】

光学構成要素 5 から 7 は、投影露光装置 1 の照明光学ユニット 11 の構成物である。照明光学ユニット 11 は、物体平面 9 内のレチクル 8 上の物体視野 12 を定められた方式で照明するために使用される。物体視野 12 は、円弧形又は部分円形の形状を有し、かつ互いに 対して 平行に変位して同じ半径を有する 2 つの円弧と、 y 方向に長さ y_0 を用いて伸び、 x 方向に互いから x_0 の距離を有する 2 つの真っ直ぐな側縁とによって境界が定められる。アスペクト比 (aspect ratio) x_0 / y_0 は、13 対 1 (13 to 1) である。図 1 の挿入図は、物体視野 12 の平面図（正確な縮尺のものではない）を示している。縁部形状 12a は円弧形である。別の同じく可能な物体視野 12 の場合に、その縁部形状は矩形である。

【0024】

図 1 には投影光学ユニット 10 を部分的かつ非常に概略的にしか示していない。描示するのは、投影光学ユニット 10 の物体視野側開口数 13 及び像視野側開口数 14 である。光学構成要素 15、16 の間で照明光 3 を案内するための投影光学ユニット 10 の更に別の光学構成要素が、例えば、EUV 照明光 3 を反射するミラーとして具現化することができる投影光学ユニット 10 のこれらの示す光学構成要素 15、16 の間に置かれる。

【0025】

投影光学ユニット 10 は、物体視野 12 をより詳細には描示しないホルダによってレチクル 8 と同じく 支持される (carried) ウェーハ 19 上の像平面 18 の像視野 17 に結像する。

【0026】

視野ファセットミラー 6 は、多数の個々のミラーを含む（図 2 を参照されたい）。第 1 のファセットミラー 6 は、第 2 のファセットミラー 7 と全く同様に、全体的に MMA (micro-mirror array : マイクロミラーアレイ)、特に MEMS (micro-electromechanical system : 微小電気機械システム) ミラーとして具現化される。各個々のミラー 21 は、 $100 \mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$ と $2 \text{mm} \times 2 \text{mm}$ の間の範囲の区域を有することができる。ファセットミラー 6 又は 7 全体は、 $300 \text{mm} \times 300 \text{mm}$ と $700 \text{mm} \times 700 \text{mm}$ の間の範囲の広がりを有する。図 2 には代表的なものしか描示していない個々のミラー 21 は、第 1 のファセットミラー 6 の 支持板 (carrier plate) 21a によって 支持される。各個々のミラー 21 は、例えば、WO 2009/100 856 A1 に記載されているように、入射照明光 3 の個々の偏向の目的で各場合にアクチュエータに接続される。個々のミラー群 23 を形成するために、これらのアクチュエータ及び中央制御デバイス 22 を用いて、複数の個々のミラー 21 を各場合にグループ分けすることができる。

【0027】

すなわち、第 1 のファセットミラー 6 を用いて上流光源の像として、すなわち、中間フォーカス 5a の像としての結像 2 次光源が生成される。ここで、個々のミラー 21 は、中間フォーカス 5a を実像平面 24 に結像する。この実像平面 24 は、照明光学ユニット 11 の瞳平面に一致することができるが、これは必須ではない。瞳平面内の照明強度分布は、照明光学ユニット 11 を用いた物体照明の照明角度分布に対応する。照明光学ユニット 11 の実施形態に基づいて、第 2 のファセットミラー 7 は、この瞳平面から距離を置いて又はこの瞳平面の領域に配置される。図 1 は、これに代えて可能な瞳平面の様々な可能な配置 24a、24b、及び 24c を例示的に描示している。瞳平面 24a は、第 2 のファセットミラー 7 の上流の照明光 3 のビーム経路に配置される。瞳平面 24b は、第 2 のフ

10

20

30

40

50

アセットミラー 7 の配置平面と一致する。瞳平面 24c は、第 2 のファセットミラー 7 の反射後の照明光 3 のビーム経路に配置される。個々のミラー群 23 は、第 2 のファセットミラー 7 の第 2 のファセットを通して物体視野 12 内に相互重ね合わせ方式で結像される。ここで、個々のミラー群 23 の像が各場合に物体視野 12 を完全に覆うことは必須ではない。通例では、個々のミラー群 23 の像は、物体視野 12 の一部だけしか覆わない。物体視野 12 の定められて事前決定された照明は、第 1 のファセットミラー 6 上で事前決定された全ての個々のミラー群 23 の像の重ね合わせから物体視野 12 上に生じる。

【0028】

図 3 は、投影露光装置 1 内に使用される第 2 のファセットミラー 7 の詳細を示している。第 2 のファセットミラー 7 は、多数の個々のミラー 21 がその上に配置された丸い支持板 25 を有する。支持板 25 はまた、橢円形、長円形、競技場形、又は腎臓形の縁部を有することができる。

10

【0029】

縁部内には、個々のミラー 21 が、支持板 25 を用いて格子状方式で行と列に配置される。配置と第 2 のファセットミラー 7 の個々のミラー 21 のアクチュエータによる作動 (actuation) とに関して、WO 2009/100 856 A1 に記載されていることが適用される。第 2 のファセットミラー 7 の個々のミラー 21 も同じくアクチュエータと制御デバイス 22 を用いた作動と (actuators and the actuation by way of the control device 22) を含む。

20

【0030】

第 2 のファセットミラー 7 の個々のミラー 21 も、個々のミラー群 26 を形成するように組み合わせることができる。第 2 のファセットミラー 7 のこれらの個々のミラー群 26 は、第 1 のファセットミラー 6 の割り当てられた個々のミラー群 23 によって反射された照明光 3 を物体視野 12 に案内する。

【0031】

2 つのファセットミラー 6、7 の個々のミラー 21 の傾斜角を適切に事前決定することにより、かつ群割り当てを事前決定することにより、様々な照明設定、すなわち、物体視野 21 にわたる様々な照明角度分布及び照明強度分布を事前決定することが可能である。一例として、照明設定のこの事前決定は、WO 2010/099 807 A1 に記載されている。

30

【0032】

図 3 及び図 4 は、全体で 19 個の個々のミラー群を有する第 1 のファセットミラー 6 による第 2 のファセットミラー 7 の照明を例示的に示している。第 2 のファセットミラー 7 の照明された個々のミラー 21 は、網掛けで強調表示している。ここでは、各々が円形縁部を有する個々のミラー群 26 が照明されている。

【0033】

第 2 のファセットミラー 7 の各個々のミラー群 26 は、正確に 1 つの個々のミラー群により、すなわち、例えば、視野ファセットミラー 6 の個々のミラー群 23 (図 2 を参照されたい) によって照明される。第 2 のファセットミラー 7 の上には、全体的に 19 個の照明される個々のミラー群 26 が存在する。上述のように、上流の視野ファセットミラー 6 は、19 個の割り当てられた個々のミラー群 19 に再分割される。第 2 のファセットミラー 7 上の 19 個の個々のミラー群 26 への視野ファセットミラー 6 の 19 個の個々のミラー群 23 の割り当てにより、視野ファセットミラー 6 から物体視野 12 への EUV 放射線 3 の光路に対して合計で 19 本のチャネルが現れる。

40

【0034】

図 3 に記載の照明例では、個々のミラー群 26 は、支持板 25 にわたってほぼ均一な分布を有するように配置される。従って、支持板 25 の全開口にわたって分布する照明角度からの物体視野 12 の照明が現れる。従って、投影光学ユニット 10 の像側開口数によって事前決定された全ての方向からの物体視野 12 の近似的な従来照明が現れる。

50

【0035】

図4は、図3に対して修正された第2のファセットミラー7の照明、すなわち、投影露光装置1の変更された照明設定を示している。今度は、支持板25の縁部に配置された個々のミラー群26は、視野ファセットミラー6の関連の個々のミラー群23の適切な群別の作動(appropriate group-wise actuation)によって照明される。物体視野12の照明の対応する環状照明角度分布が物体平面9に現れる。

【0036】

第1のファセットミラー6の個々のミラー21は平面ではなく、結像効果を有する。この結像効果は、第1のファセットミラー6の個々のミラー21の焦点距離により、又はそれぞれの個々のミラー21の反射面の曲率半径によって特徴付けることができる。

10

【0037】

図5は、中間フォーカス5aを実像平面24内の2次光源27内に結像する時に役割を演じる光学変数を略示している。2次光源27は、視野平面と瞳平面の間に位置するターゲット平面内に結像される。この結像は、特に、第2のファセットミラー7が、例えばWO 2009/100 856 A1に記載されているように鏡面反射器として具現化される場合のものである。ターゲット平面は、次に、鏡面反射器の配置平面に一致することができる。

【0038】

中間フォーカス5aは典型的な直径Gを有する。この典型的な直径Gは、光源面積に等しい面積、すなわち、中間フォーカス5aの場合には焦点面積に等しい面積を有する円の直径である。

20

【0039】

Fは、第1のファセットミラー6の個々のミラー21の典型的な直径を表している。典型的な直径Fは、個々のミラー21の面積に等しい面積を有する円の直径である。実際には、個々のミラー21は、矩形、特に、正方形、台形、又は六角形であり、すなわち、ファセットミラーを可能な限り高い充填で占有することを可能にする縁部輪郭を有する。

【0040】

gは、中間フォーカス5aを2次光源27に結像する時の物体距離である。ここではg0が成り立つ。この場合に、|g|は、個々のミラー群21を有する第1のファセットミラー6と中間フォーカス5aの間の距離である。

30

【0041】

Bは、2次光源27の典型的な直径を表している。

【0042】

bは、この像の像距離を表している。ここで、b0が成り立つ。

【0043】

第2のファセットミラー7の個々のミラー群26が、第1のファセットミラー6の結像する個々のミラー21から距離b'の場所にある配置平面28内の実像平面24から離して配置される限り、当該の個々のミラー群26の照明の直径B'に対して次式が成り立つ。

【数2】

40

$$B' = \frac{b'}{b} B + \left(1 - \frac{b'}{b}\right) F \quad (1)$$

【0044】

ここで、2次光源27が照明光3のビーム経路内で第2のファセットミラー7の個々のミラー群26の下流に位置すると仮定する。

【0045】

配置平面28は、瞳平面とすることができます。従って、第2のファセットミラーの個々のミラー群26は、瞳ファセットである。

50

【0046】

次式のような第1のファセットミラー6の個々のミラー21の焦点距離 f_{opt} の場合に、最小直径 B' が現れる。

【数3】

$$\frac{1}{f_{opt}} = \frac{1}{b'} - \frac{1}{g} \quad (2)$$

【0047】

次いで、個々のミラーグループ26上の最小照明直径 B'_{opt} が、次式のように現れる。

$$B'_{opt} = -b'G/g \quad (3)$$

【0048】

第1のファセットミラー6のそれぞれの個々のミラー21の実際の焦点距離 f は、上述の式(2)に従う理想的な焦点距離 f_{opt} から像倍率許容値 (image magnification tolerance value)

【数4】

$$a(f = \frac{1}{1-a} f_{opt})$$

よりも大きく外れるべきではなく、これに関して次式が成り立つ。

【数5】

$$a = \frac{b'G}{(b'-g)F} \beta \quad (4)$$

【0049】

式中の a は、0.1と0.3の間の範囲の値を取ることができる。

【0050】

像倍率許容値 a は、像の場所における点像のサイズに対する尺度 (measure)、すなわち、像の場所における物体視野点の像の直径に対する尺度である。それぞれの個々のミラー21の焦点距離 f は、像倍率許容値 a に依存する以下の範囲内にあるべきである。

$$f_{opt}/(1+a) < f < f_{opt}/(1-a) \quad (4a)$$

【0051】

上述の計算式(4)からの a は、第2のファセット26のサイズ又は直径と相対的な点像のサイズ又は直径に対する尺度である。点像は、それぞれの第2のファセット26の直径よりも有意に小さい場合がある。点像は、第2のファセット26の直径の50%よりも小さく、40%よりも小さく、30%よりも小さく、又は他に20%よりも小さい直径を有することができる。

【0052】

G 、 b' 、 g 、及び F に対する標準値、 G (10mm)、 b' (1000mm)、 g (-1000mm)、及び F (1mm) を代入した場合に、相対偏差 (relative deviation) a (0.1と0.3の間の a) に対して 0.5 と 1.5 の間の値範囲が現れる。全体的に、第1のファセットミラー6の個々のミラー21の焦点距離 f は、次式の範囲限界 (range limits) 内にあるべきである。

$$[0.1 b' g / (g - b')] < f < [10 b' g / (g - b')] \quad (5)$$

【0053】

これに代えて、倍率許容値

10

20

30

40

【数6】

$$a'(f = \frac{1}{1-a'} f_{opt})$$

を用いて次式のように偏差(deviation)をパラメータ化することができる。

【数7】

$$a' = \frac{g}{(g - b')} \gamma \quad (6)$$

10

【0054】

ここにおいて は、100 μmと750 μmの間の範囲にある。

【0055】

実際には、照明光3は、第1のファセットミラー6の個々のミラー21で反射される時に、入射平面yz内で折り返し角度で折り返され、中間フォーカス5aの像に影響を及ぼす。この場合に、/2が、個々のミラー21における照明光3の入射角である。個々のミラー21上の反射点での入射ビーム及び射出ビームそれぞれによって折り返し平面が事前決定される。図6では、折り返し平面は作図面と一致する。

20

【0056】

第1のファセットミラー6の個々のミラー21の反射面が橍円体として形成される場合に、2次光源27内への中間フォーカス5aの理想的な結像が現れ、これは、個々のミラー21の正確に1つの切り換え位置に適用される。そのような橍円体は、個々のミラー21上への照明光3の入射平面yz又は折り返し平面とこの折り返し平面に対して垂直な平面とにおける2つの曲率半径によって近似的に表すことができる。橍円体は、2次まで(to second order)、橍円体に接する(contacts)円環状面によって近似することができる。例えば、ミラーの中心における面の曲率特性(curvature property)が必要である。

30

【0057】

球面ミラーが使用される時に、点像は、そこに存在する小さい開口の場合の非点収差によって確実に決定される。折り返し角度<20°に関する点像のぼやけ r は、次式によって的確に表すことができる。

【数8】

$$\Delta r = \frac{F}{4} (b' - g) \frac{\alpha^2}{4} \quad (6a)$$

【0058】

40

式中の r は、ぼやけた点像の標準半径方向広がりを表している。

【0059】

図6は、橍円体を通じたそのような折り返し結像の場合の条件を解説している。 F_1 及び F_2 は、個々のミラー21の反射面である部分を有する橍円体を通る断面を表す橍円29の2つの焦点を表している。中間フォーカス5aは、フォーカス F_1 に位置する。2次光源27は、フォーカス F_2 に位置する。折り返し平面内の理想的な曲率半径 r_1 及びそれに対して垂直な r_2 に対して以下の値が現れる。

【数9】

$$r_{1,opt} = r_1 = -\frac{2gb'}{(g - b') \cos(\alpha/2)}$$

(7)

及び

【数10】

$$r_{2,opt} = r_2 = -\frac{2gb' \cos(\alpha/2)}{g - b'}$$

(8)

10

【0060】

ここでもまた、これらの理想的な曲率半径からの許容曲率半径の偏差に関して、上記で既に解説した偏差因子 及び が現れる。

【0061】

対応する偏差が焦点距離に対して適用され、次式が成り立つ。

$$f_{1,2} = -r_{1,2}/2$$

(9)

20

【0062】

第2のファセットミラー7の第2のファセット又は個々のミラー群26に対して、第1のファセットミラー6の個々のミラー21の焦点距離及び曲率半径に関して上記で行ったものに対応する考察を同じく行うことができる。第1のファセット又は個々のミラー群23のうちの1つは、物体として、これらの第2のファセット26によって物体視野12に結像される。

【0063】

正確な縮尺のものではない図7に記載の概略図から第2のファセット26に関する焦点距離又は曲率半径を推定するための結像条件が現れる。

【0064】

30

ここで、Gは、第1のファセットミラー6の個々のミラー群23のうちの1つの典型的寸法(typical dimension)を表している。この個々のミラー群23は、各場合に第2のファセットミラー7の第2のファセット26によって物体平面9の領域内にあるファセット像平面23b内のファセット像23aに結像される第1のファセットミラー6の一部分を表している。第1のファセットミラー6のうちで結像される部分は、モノリック視野ファセット又は他に個々のミラー群として具現化された「仮想(virtual)」視野ファセットとすることができます。第1のファセットミラー6のそのような個々のミラー群23の像是、物体視野12全体又はその一部を覆うことができる。上述したように、結像を行う第2のファセット26も、個々のミラー群によって形成することができる。

40

【0065】

第1のファセットミラー6の個々のミラー群23のうちのそれぞれ1つをファセット像23aに結像する時に役割を演じる光学変数は、図5に記載の結像機構におけるものと同じ手法で図7に表している。

【0066】

個々のミラー群23の典型的寸法Gは、それぞれの個々のミラー群23の面積に対応する面積を有する円の直径を表している。

【0067】

Fは、割り当てられた個々のミラー群の第2のファセット26のうちの1つの典型的な直径を表している。

50

【0068】

B' は、物体視野 1 2 の標準広がり、すなわち、ここでもまた物体視野 1 2 の面積に対応する面積を有する円の直径と考えることができる。 B は、ファセット像 2 3 a の典型的な直径を表している。

【0069】

g は、第 1 のファセットミラー 6 の個々のミラー群 2 3 の像から第 2 のファセットミラー 7 の個々のミラー群 2 6までの物体距離を表している。 b' は、第 2 のファセットミラー 7 の個々のミラー群 2 6 と物体視野 1 2 の間の距離を表している。 b は、ファセット像 2 3 a からの第 2 のファセットミラー 7 の個々のミラー群 2 6 の距離を表している。

【0070】

次に、第 1 のファセットミラー 6 の個々のミラー 2 1 の焦点距離及び曲率半径に関して上記で記述したものは、第 2 のファセットミラー 7 の第 2 のファセット 2 6 又は割り当てられた個々のミラー群の焦点距離及び曲率半径を推定する段階に相応に適用される。

【0071】

第 1 のファセットミラー 6 の個々のミラー群 2 3 の平面と物体平面 9 の間の点像は、 y 方向に、すなわち、物体視野 1 2 内の物体上への照明光 3 の入射平面内で走査する投影露光装置を使用する場合に、 y 座標軸において非常に鮮明とccessすることができる (a が 0 の領域内にある)。 x 座標軸では、個々のミラー群 2 3 の個々のミラー 2 1 の間の間隙が物体視野 1 2 内に鮮明に結像されることのないように、 $a = 0$ (a がゼロに等しくない) が成り立つべきである (should apply)。走査方向に対して垂直な x 座標軸における物体視野 1 2 上の点像に対する下限は、第 1 のファセットミラー 6 のそれぞれの個々のミラー群 2 3 の x 方向に隣接する個々のミラー 2 1 の間の間隙の典型的寸法である。

【0072】

第 2 のファセットミラー 7 上の非垂直入射に起因して非点収差が余儀なくもたらされ、すなわち、球面ミラーの屈折力が垂直に当たらず、従って、 x 寸法 (x -dimension) において y 寸法 (y -dimension) におけるものとは異なる値を有するので、境界条件「走査方向 y における

【数11】

$a \approx 0$

10

20

20

30

」及び

「走査方向 y に対して垂直な方向 x における

【数12】

$a \neq 0$

」
は、第 2 のファセットミラー 7 の第 2 のファセット 2 6 又は割り当てられた個々のミラー群の 1 つの同じ曲率半径を用いて通常は実現することができる。

40

【0073】

上記で定義した変数に対する典型的な絶対範囲限界は、下式の通りである。

2 mm G 10 mm

0.4 mm F 2 mm

2 mm B' 12 mm

0° alpha / 2 20°

【0074】

第 1 のファセットミラー 6 上では、焦点距離 f_1 (タングエンシャル (tangential)) 及び f_2 (サジタル (sagittal))、背面焦点距離 (back focal lengths)、及び曲率半径 (全て凹) に対して下式が成り立つ。

50

- 2 0 0 0 m m g - 1 0 0 0 m m
 1 0 0 0 m m b ' 2 0 0 0 m m
 3 0 0 m m f₁ 1 3 0 0 m m
 - 2 6 0 0 m m r₁ - 6 0 0 m m
 3 5 0 m m f₂ 1 4 0 0 m m
 - 2 8 0 0 m m r₂ - 7 0 0 m m

【0075】

第2のファセットミラー7上では、焦点距離f₁(タンジェンシャル)及びf₂(サジタル)、背面焦点距離、及び曲率半径(全て凹)に対して下式が成り立つ。

- 2 0 0 0 m m g - 1 0 0 0 m m
 1 0 0 0 m m b ' 3 0 0 0 m m
 3 0 0 m m f₁ 1 6 0 0 m m
 - 3 2 0 0 m m r₁ - 6 0 0 m m
 3 5 0 m m f₂ 1 7 0 0 m m
 - 3 4 0 0 m m r₂ - 7 0 0 m m

【0076】

投影露光装置1を用いて微細構造化構成要素、特に高集積半導体構成要素、例えば、メモリチップを生成するために、最初にレチクル8とウェーハ19が与えられる。次いで、投影露光装置1の投影光学ユニットを用いてレチクル8上の構造がウェーハ19上の感光層上に投影される。次いで、感光層を現像(developing)することにより、ウェーハ19上に微細構造が生成され、そこから微細構造化又はナノ構造化構成要素が生成される。

【符号の説明】

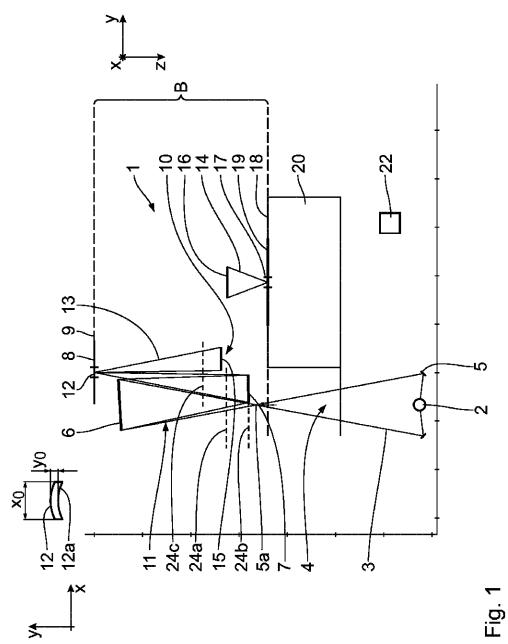
【0077】

- 5 a 中間フォーカス
- 2 1 個々のミラー
- 2 4 実像平面
- b 像距離
- g 物体距離

10

20

【図1】



【図2】

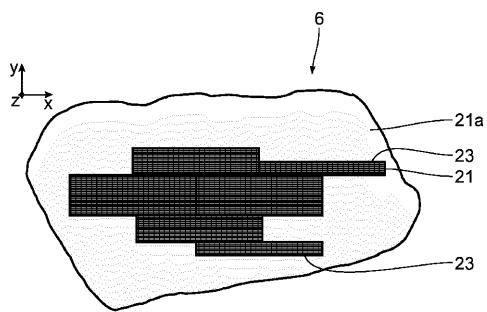


Fig. 2

【図3】

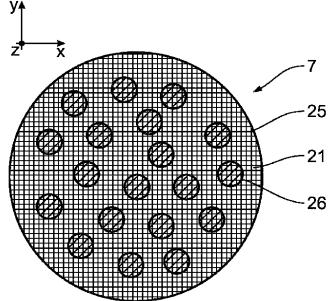
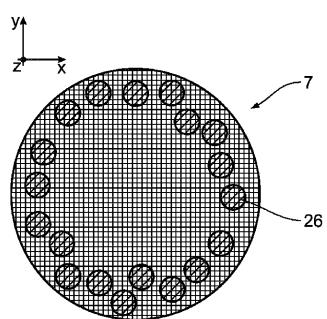


Fig. 3

【図4】



【図6】

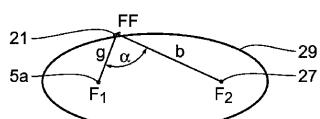
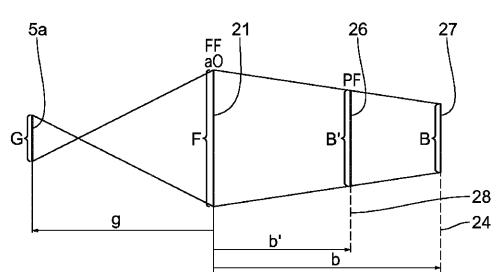


Fig. 6

【図5】



【図7】

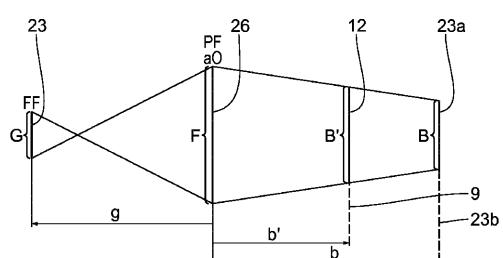


Fig. 7

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 ビーリング スティーグ
ドイツ連邦共和国 7 3 4 3 4 アーレン アルバトロスヴェーク 4 6

(72)発明者 エンドレス マルティン
ドイツ連邦共和国 8 9 5 5 1 ケーニヒスプロン ヴォレンベルクシュトラーセ 7

(72)発明者 デギュンター マルクス
ドイツ連邦共和国 7 3 4 3 2 アーレン ラングエッカーヴェーク 2 0

(72)発明者 パトラ ミヒヤエル
ドイツ連邦共和国 7 3 4 4 7 オーバーコッヘン シューバルトヴェーク 4 1

(72)発明者 ヴェングラー ヨハンネス
ドイツ連邦共和国 8 9 5 5 1 ケーニヒスプロン アン デア ロイテ 1 5

審査官 右 高 孝幸

(56)参考文献 特開2002-319536(JP,A)
特表2011-512659(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 03 F 7 / 20

G 02 B 17 / 06