

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4711437号

(P4711437)

(45) 発行日 平成23年6月29日 (2011. 6. 29)

(24) 登録日 平成23年4月1日 (2011. 4. 1)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 21/027 (2006. 01)

H O 1 L 21/30 5 3 1 A

G O 3 F 7/20 (2006. 01)

H O 1 L 21/30 5 1 8

G O 2 B 17/00 (2006. 01)

G O 3 F 7/20 5 2 1

G O 2 B 17/00 A

請求項の数 10 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2006-528550 (P2006-528550)
 (86) (22) 出願日 平成17年6月22日 (2005. 6. 22)
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2005/011411
 (87) 国際公開番号 W02006/001291
 (87) 国際公開日 平成18年1月5日 (2006. 1. 5)
 審査請求日 平成20年6月20日 (2008. 6. 20)
 (31) 優先権主張番号 特願2004-184657 (P2004-184657)
 (32) 優先日 平成16年6月23日 (2004. 6. 23)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000004112
 株式会社ニコン
 東京都千代田区有楽町1丁目12番1号
 (73) 特許権者 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100095256
 弁理士 山口 孝雄
 (72) 発明者 小松田 秀基
 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
 式会社ニコン内
 (72) 発明者 高橋 友刀
 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
 式会社ニコン内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 投影光学系、露光装置および露光方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第1面の像を第2面上において光軸から離れた所定領域に形成する反射型の投影光学系であって、該投影光学系に対して前記第1面に設定されたマスクおよび前記第2面に設定された感光性基板を走査方向に相対移動させて、前記マスクのパターンを前記感光性基板上へ投影露光する露光装置に用いられる投影光学系において、

前記投影光学系の開口数を規定するための開口絞りを備え、

前記開口絞りは、直交する2方向に関する寸法が互いに異なる開口部を有し、

前記開口部は、前記走査方向に対応する方向の直径が該走査方向に垂直な方向に対応する方向の直径よりも大きい所要形状を有し、

前記開口部の前記所要形状は、前記開口絞りと前記第2面との間に配置された部分光学系が所望の射影関係を満足していないことが前記所定領域内の各点に達する光束の開口数の不均一性に及ぼす影響を補償するように規定されていることを特徴とする投影光学系。

【請求項 2】

前記第2面の前記所定領域上の複数の像点を、A1, A2, A3, ..., Anとし、

前記複数の像点は、前記第2面の前記所定領域上において、ほぼ等間隔に多数サンプリングされるものとし、

前記複数の像点のうち任意の1つをAiと称するものとし、

前記開口絞りを含む平面に平行な平面において直交する2つの座標x, yを想定し、前記開口絞りエッジのうち、座標xが最大となる点をPxuとし、座標xが最小となる点をP

xbとし、座標 y が最大となる点を Pyuとし、座標 y が最小となる点を Pybとし、

前記像点 A i を中心とする半径 1 の球面 S i を想定し、前記点 P xu を通過して前記像点 A i に到達する光線が前記球面 S i と交差する座標を (X i xu, Y i xu) とし、前記点 P xb を通過して前記像点 A i に到達する光線が前記球面 S i と交差する座標を (X i xb, Y i xb) とし、前記点 P yu を通過して前記像点 A i に到達する光線が前記球面 S i と交差する座標を (X i yu, Y i yu) とし、前記点 P yb を通過して前記像点 A i に到達する光線が前記球面 S i と交差する座標を (X i yb, Y i yb) とし、

前記像点 A i に対応する 2 つの変数 N A xi および N A yi をそれぞれ、

$$N A xi = (X i xu - X i xb) / 2$$

$$N A yi = (Y i yu - Y i yb) / 2$$

と規定するとき、

前記開口部の所要形状は、

$$\{\sum N A xi (i = 1 \sim n)\} / n = \{\sum N A yi (i = 1 \sim n)\} / n$$

をほぼ満足することを特徴とする請求項 1 に記載の投影光学系。

【請求項 3】

前記開口絞りを通過する主光線が光軸となす角度を θ とし、該主光線が前記第 2 面に達する点の前記光軸からの距離を h とし、前記部分光学系の焦点距離を F とし、前記部分光学系の射影関係が θ を変数とする関数 $g(\theta)$ を用いて $h = F \cdot g(\theta)$ で表されるとき、

前記開口部の前記所要形状は、長径と短径との比率が、 $\tan \theta : g(\theta) / (d g(\theta) / d \theta)$ の楕円であることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の投影光学系。

【請求項 4】

前記開口部の前記所要形状は、前記開口絞りと前記第 2 面との間に配置された部分光学系が正弦条件を満足していないことが前記所定領域内の各点に達する光束の開口数の不均一性に及ぼす影響を補償するように規定されていることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の投影光学系。

【請求項 5】

前記開口部の前記所要形状は、ほぼ楕円形状であることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の投影光学系。

【請求項 6】

前記開口部の前記所要形状は、メリディオナル方向に長径を有する楕円形状であることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の投影光学系。

【請求項 7】

前記開口絞りは、開口形状の異なる別の開口絞りと交換可能に構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の投影光学系。

【請求項 8】

前記第 1 面に設定されたマスクを照明するための照明系と、前記マスクに形成されたパターンの像を前記第 2 面に設定された感光性基板上に形成するための請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置。

【請求項 9】

前記照明系は、露光光として E U V 光を供給するための光源を有することを特徴とする請求項 8 に記載の露光装置。

【請求項 10】

前記第 1 面に設定されたマスクを照明する照明工程と、請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の投影光学系を介して前記マスクに形成されたパターンの像を前記第 2 面に設定された感光性基板上に投影露光する露光工程とを含むことを特徴とする露光方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、投影光学系、露光装置および露光方法に関する。さらに詳細には、本発明は、E U V 光を用いて半導体素子などのデバイスをフォトリソグラフィ工程で製造するのに

10

20

30

40

50

使用される露光装置に好適な投影光学系に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、半導体素子などの製造に使用される露光装置では、マスク（レチクル）上に形成された回路パターンを、投影光学系を介して感光性基板（たとえばウェハ）上に投影転写する。感光性基板にはレジストが塗布されており、投影光学系を介した投影露光によりレジストが感光し、マスクパターンに対応したレジストパターンが得られる。

【0003】

ここで、露光装置の解像力 W は、露光光の波長 λ と投影光学系の開口数 NA とに依存し、次の式（a）で表される。

$$W = k \cdot \lambda / NA \quad (k: \text{定数}) \quad (a)$$

【0004】

したがって、露光装置の解像力を向上させるためには、露光光の波長 λ を短くするとともに、投影光学系の開口数 NA を大きくすることが必要になる。一般に、投影光学系の開口数 NA を所定値以上に大きくすることは光学設計の観点から困難であるため、露光光の短波長化が必要になる。

【0005】

そこで、半導体パターニングの次世代の露光方法（露光装置）として、EUVL（Extreme UltraViolet Lithography：極紫外リソグラフィ）の手法が注目されている。EUVL露光装置では、波長が248nmのKrFエキシマレーザ光や波長が193nmのArFエキシマレーザ光を用いる従来の露光方法と比較して、5～20nm程度の波長を有するEUV（Extreme UltraViolet：極紫外線）光を用いる。

【0006】

露光光としてEUV光を用いる場合、使用可能な光透過性の光学材料が存在しなくなる。このため、EUVL露光装置では、必然的に、反射型のマスクを用いるとともに、反射型の投影光学系を用いることになる。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

一般に、EUVL露光装置に用いられる反射型の投影光学系では、物体面上の視野領域および像面上の結像領域が光軸上にない。これは、反射面が通過する光束を遮ることがないように光路分離を行うからである。これに対し、シュヴァルツシルト光学系では、視野領域および結像領域を光軸上に位置させるために、ミラーの中央に設けられた開口部を介して光を通過させている。

【0008】

この場合、光学系の開口が輪帯状になり、ある特定の空間周波数に限って解像力が低下する特性になるため、リソグラフィには適しない。一般に、EUVL露光装置に用いられる投影光学系では、後述するように、像面上の各点に達する光束の開口数が方向により異なる。像面上の各点に達する光束の開口数が方向により異なるということは、解像力に方向に起因するムラがあるということであり、投影光学系を介して感光性基板上に形成されるパターンの形状にばらつきが生じることになる。

【0009】

本発明は、視野領域および結像領域が光軸から離れて位置する反射光学系であって、像面上の各点に達する光束の開口数が方向に依らずほぼ均一な投影光学系を提供することを目的とする。

【0010】

また、本発明は、像面上の各点に達する光束の開口数が方向に依らずほぼ均一な反射型の投影光学系を用い、たとえば露光光としてEUV光を用いて、マスクパターンを感光性基板上に大きな解像力で且つ忠実に形成することのできる露光装置および露光方法を提供することを目的とする。

10

20

30

40

50

【課題を解決するための手段】

【0011】

前記目的を達成するために、本発明の第1形態では、第1面の像を第2面上において光軸から離れた所定領域に形成する反射型の投影光学系において、

前記投影光学系の開口数を規定するための開口絞りを備え、

前記開口絞りは、直交する2方向に関する寸法が互いに異なる開口部を有することを特徴とする投影光学系を提供する。

【0012】

本発明の第2形態では、第1面の像を第2面上において光軸から離れた所定領域に形成する反射型の投影光学系において、

前記投影光学系の開口数を規定するための開口絞りを備え、

前記開口絞りは、開口形状の異なる別の開口絞りと交換可能に構成されていることを特徴とする投影光学系を提供する。

【0013】

本発明の第3形態では、前記第1面に設定されたマスクを照明するための照明系と、前記マスクに形成されたパターンの像を前記第2面に設定された感光性基板上に形成するための第1形態または第2形態の投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置を提供する。

【0014】

本発明の第4形態では、前記第1面に設定されたマスクを照明する照明工程と、第1形態または第2形態の投影光学系を介して前記マスクに形成されたパターンの像を前記第2面に設定された感光性基板上に投影露光する露光工程とを含むことを特徴とする露光方法を提供する。

【0015】

本発明の第5形態では、第1面に設定されるマスクを照明するための照明光学系と、前記マスクに形成されたパターンの像を第2面に設定される感光性基板上において光軸から離れた円弧領域に形成するための反射型の投影光学系と、前記マスクと前記感光性基板とを相対的に走査移動可能に保持するステージとを有する投影露光装置において、

前記円弧領域は前記走査移動方向の幅が前記走査移動方向に対して垂直な方向の幅に対して相対的に狭く、

前記投影光学系は開口数を規定するための開口絞りを備え、該開口絞りの開口形状は前記走査移動方向に対応する方向の直径が該走査移動方向に垂直な方向に対応する方向の直径よりも大きい形状であることを特徴とする投影露光装置を提供する。

【発明の効果】

【0016】

本発明にかかる反射型の投影光学系では、開口絞りの開口部を円形状以外の所要の形状（例えば楕円形状）に設定しているので、像面上の各点に達する光束の開口数の方向による不均一性を小さく抑えられる。

【0017】

すなわち、本発明では、視野領域および結像領域が光軸から離れて位置する反射光学系であって、像面上の各点に達する光束の開口数が方向に依らずほぼ均一な投影光学系を実現することができる。したがって、本発明の露光装置では、像面上の各点に達する光束の開口数が方向に依らずほぼ均一な反射型の投影光学系を用い、たとえば露光光としてEUV光を用いて、マスクパターンを感光性基板上に大きな解像力で且つ忠実に形成することができる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】光軸上の開口数および光軸外の開口数の定義をそれぞれ説明する図である。

【図2】部分光学系が満足すべき広義の正弦条件および射影関係について説明する図である。

10

20

30

40

50

【図 3】本発明の実施形態にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図 4】図 3 の露光装置においてウェハ上に形成される円弧状の静止露光領域と光軸との位置関係を概略的に示す図である。

【図 5】走査露光によりウェハ上に 1 つのショット領域が形成される様子を概略的に示す図である。

【図 6】本実施形態にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。

【図 7】従来技術にしたがって開口部を円形状にしたときの結像領域の各点における開口の歪み方向および歪み方を模式的に示す図である。

【図 8】本発明にしたがって開口部を楕円形状にしたときの結像領域の各点における開口の歪み方向および歪み方を模式的に示す図である。

【図 9】メリディオナル方向に長径を有する楕円形状の開口部を有する開口絞りを概略的に示す図である。

【図 10】開口の歪みが結像に与える影響についてのシミュレーション結果を示す図である。

【図 11】開口絞りの開口部が具体的に満たすことが好ましい条件を説明する図である。

【図 12】マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例について、そのフローチャートを示す図である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

以下、本発明の実施形態の説明に先立って、従来技術の不都合について具体的に説明する。視野領域および結像領域が光軸から離れて位置する反射型の投影光学系では、本来の意味での光軸上の開口数 NA は定義できない。そこで、光軸外の開口数 NA を、図 1 に示すように定義する。

【0020】

図 1 を参照すると、光軸上の開口数 NA_o は、像面 IP に達する最外縁の光線（開口部の縁を通過して像面 IP に達する光線）が光軸 AX となす角度、すなわち入射角度 θ を用いて次の式（1）により表される。一方、光軸外の開口数 NA を、像面 IP に達する最外縁の光線の入射角度 θ_1 および θ_2 を用いて次の式（2）により定義する。

$$NA_o = \sin \theta \quad (1)$$

$$NA = (\sin \theta_1 - \sin \theta_2) / 2 \quad (2)$$

【0021】

上述した光軸外の開口数 NA の定義は、光軸外の正弦条件より必然的に導かれる。光軸外の正弦条件については、例えば、鶴田匡夫著、「第 4 光の鉛筆」、新技術コミュニケーションズ、p. 433 などを参照することができる。一般に、投影光学系において、光軸外の開口数 NA は、光軸上の NA_o と異なる。しかも、開口部が円形状であるため、光軸外の開口数 NA は、メリディオナル方向とサジタル方向とで異なる。この現象は、様々な要因に起因して発生する。

【0022】

まず、光軸上の NA_o が光軸外の開口数 NA と同一になる条件について考える。少なくとも光学系が下記の 3 つの条件を満足する場合、像面上の各点に達する光束の開口数 NA は像位置に依らず、方向に依らず、均一になる。

(1) 光学系がほぼ無収差であること。

【0023】

(2) 開口絞りと像面との間に配置された部分光学系において、広義の正弦条件が成り立つこと。すなわち、図 2 に示すように、像面 IP 上の任意の像点に到達する光線が像面 IP の法線となす x 方向の角度（ x 方向入射角度）を α とし、 y 方向の角度（ y 方向入射角度）を β とするとき、その光線が開口絞り AS を通過する際の光線の光軸 AX からの x 方向高さ ξ 、および y 方向高さ ζ は、 $\xi = A \sin \alpha + B$ 、および $\zeta = A \sin \beta + C$ でそれぞれ表されること。ここで、 A 、 B および C は、像点毎に決まる定数である。

【0024】

(3) 開口絞りと像面との間に配置された部分光学系において、 $h = F \sin \theta$ で示す射影関係を満足すること。すなわち、図 2 に示すように、開口絞り A S を通過するとき主光線が光軸 A X となす角度を θ とし、その主光線の像面 I P での光軸 A X からの高さを h とし、上記部分光学系 G R の焦点距離を F とするとき、 $h = F \sin \theta$ で示す射影関係が成り立つこと。

【0025】

露光装置に搭載される投影光学系において、光学系がほぼ無収差であるという第 1 条件は問題なく満足される。しかしながら、第 1 条件以外の条件、特に部分光学系 G R が所望の射影関係を満たすという第 3 条件については、大きな誤差が発生しがちである。以下、部分光学系 G R が広義の正弦条件を満たすという第 2 条件と第 1 条件とを満足するが、第 3 条件を満足しない場合、すなわち部分光学系 G R の射影関係が θ を変数とする関数 $g(\theta)$ を用いて $h = F \cdot g(\theta)$ で表される場合について考察する。

10

【0026】

このとき、光軸外の開口数 NA 、すなわち像面上の光軸以外の各点に達する光束のメリディオナル方向の開口数 NA_m およびサジタル方向の開口数 NA_s は、光軸上の開口数 NA_o を用いて、次の式 (3) および (4) でそれぞれ表される。

$$NA_m = NA_o \cdot \cos \theta / (dg(\theta)/d\theta) \quad (3)$$

$$NA_s = NA_o \cdot \sin \theta / g(\theta) \quad (4)$$

【0027】

式 (3) および (4) を参照すると、 $g(\theta) = \sin \theta$ であれば、 $NA_m = NA_s = NA_o$ となり、像面上の各点に達する光束の開口数 NA が像高および方向に依らず均一になることは明らかである。一般には、 $g(\theta) \neq \sin \theta$ であるため、像面上の各点に達する光束の開口数 NA は均一にならない。ここで、射影関係が $g(\theta) = \sin \theta$ から外れる場合、具体的にどのように外れるかを考えてみる。

20

【0028】

実際に露光装置に搭載される投影光学系においても収差の主成分は 3 次収差であることから、3 次収差成分のみに着目すると、関数 $g(\theta)$ を次の式 (5) で表すことができる。ここで、 δ は、光学系が持つ射影関係の $F \sin \theta$ からの外れ量を表す定数である。

$$g(\theta) = \sin \theta + \delta \cdot \sin^3 \theta \quad (5)$$

【0029】

式 (5) で表される関数 $g(\theta)$ を上述の式 (3) および (4) に代入すると、メリディオナル方向の開口数 NA_m およびサジタル方向の開口数 NA_s は、次の式 (6) および (7) でそれぞれ表される。

30

$$NA_m = NA_o / (1 + 3\delta \cdot \sin^2 \theta) \quad (6)$$

$$NA_s = NA_o / (1 + \delta \cdot \sin^2 \theta) \quad (7)$$

【0030】

式 (6) および (7) を参照すると、像面上の各点に達する光束の開口数 NA は像高により (θ に依存して) 異なり、光軸上の開口数 NA_o からの誤差量はサジタル方向を 1 とするとメリディオナル方向は 3 になることがわかる。このように、一般に投影光学系において像面上の各点に達する光束の開口数 NA は像高により異なり、また方向により異なる。一方、前述したように、投影光学系の解像力は、 λ / NA (λ は使用光の波長) に比例する。

40

【0031】

したがって、光束の開口数 NA が像高により異なるとともに方向により異なるということは、投影光学系の解像力に方向に起因するムラがあるということになる。投影光学系の解像力に方向に起因するムラがあると、半導体回路の焼付けに際して形成される微細パターンの形状が方向によって変動する。その結果、最終的に製造されるコンデンサやトランジスタが電気回路設計者の意図する所要の電気的特性 (コンダクタンス、インピーダンスなど) を持たなくなり、最悪の場合には集積回路が不良品になってしまう。

【0032】

50

以上の問題に対処するのに光学的に最も望ましい方法は、前述した第1条件～第3条件をすべて満足する光学系を設計することである。しかしながら、第1条件～第3条件をすべて満足する光学系を設計することは理論的には可能であるが、そのために要求されるミラー構造の複雑さ、ミラー枚数の増加、組み立て精度の著しい高度化は、ひいては製品価格の高騰を招くことになり、実際には現実的ではない。特に、EUV露光装置においては、反射ミラーの枚数増加は、ミラーの反射率があまり高くないことから、露光光量の低下を招くことになり、ひいては製品の価値も低下させてしまうことになる。

【0033】

本願の発明者は、投影光学系の開口数を規定する開口絞りの開口部の形状を通常の間円形状ではなく所要形状（例えば楕円形状）に設定することにより、像面上の各点に達する光束の開口数NAを方向に依らずほぼ均一にするという技術的思想を得た。以下、本発明の実施形態を参照して、本発明の技術的思想の具体的な内容について説明する。

【0034】

本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。図3は、本発明の実施形態にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。また、図4は、図3の露光装置においてウェハ上に形成される円弧状の静止露光領域（すなわち実効露光領域）と光軸との位置関係を示す図である。図3において、感光性基板であるウェハWの法線方向に沿ってZ軸を、ウェハWの面内において図3の紙面に平行な方向にY軸を、ウェハWの面内において図3の紙面に垂直な方向にX軸をそれぞれ設定している。

【0035】

図3を参照すると、本実施形態の露光装置は、露光光を供給するための光源として、たとえばレーザプラズマ光源1を備えている。光源1から射出された光は、波長選択フィルタ2を介して、照明光学系3に入射する。ここで、波長選択フィルタ2は、光源1が供給する光から、所定波長（たとえば13.5nm）のEUV光（X線）だけを選択的に透過させ、他の波長光の透過を遮る特性を有する。

【0036】

波長選択フィルタ2を透過したEUV光は、複数の反射鏡から構成された照明光学系3を介して、転写すべきパターンが形成された反射型のマスクMを照明する。マスクMは、そのパターン面がXY平面に沿って延びるように、Y方向に沿って移動可能なマスクステージMSによって保持されている。そして、マスクステージMSの移動は、図示を省略したレーザー干渉計により計測されるように構成されている。こうして、マスクM上には、Y軸に関して対称な円弧状の照明領域（視野領域）が形成される。

【0037】

照明されたマスクMのパターンからの光は、反射型の投影光学系PLを介して、感光性基板であるウェハW上にマスクパターンの像を形成する。すなわち、ウェハW上には、図4に示すように、Y軸に関して対称な円弧状の静止露光領域（実効露光領域：結像領域）ERが形成される。図4を参照すると、光軸AXを中心とした半径φを有する円形状の領域（イメージサークル）IF内において、このイメージサークルIFに接するようにX方向の長さがLXでY方向の長さがLYの円弧状の静止露光領域ERが設けられている。

【0038】

ウェハWは、その露光面がXY平面に沿って延びるように、X方向およびY方向に沿って二次元的に移動可能なウェハステージWSによって保持されている。なお、ウェハステージWSの移動は、マスクステージMSと同様に、図示を省略したレーザー干渉計により計測されるように構成されている。こうして、マスクステージMSおよびウェハステージWSをY方向に沿って移動させながら、すなわち投影光学系PLに対してマスクMおよびウェハWをY方向に沿って相対移動させながらスキャン露光（走査露光）を行うことにより、ウェハW上の1つのショット領域（露光領域）にマスクMのパターンが転写される。

【0039】

図5に示すように、1つのショット領域SRのX方向の長さは静止露光領域ERのX方向の長さLXに一致し、そのY方向の長さはウェハWの移動距離に依存した長さLYoに

10

20

30

40

50

なる。なお、投影光学系 P L の投影倍率（転写倍率）が $1/4$ である場合、ウェハステージ W S の移動速度をマスクステージ M S の移動速度の $1/4$ に設定して同期走査を行う。そして、ウェハステージ W S の X 方向に沿ったステップ移動と Y 方向に沿った走査移動を繰り返すことにより、ウェハ W の各ショット領域にマスク M のパターンが逐次転写される。

【0040】

図 6 は、本実施形態にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。図 6 を参照すると、本実施形態の投影光学系 P L は、マスク M のパターンの中間像を形成するための第 1 反射結像光学系 G 1 と、マスクパターンの中間像の像（マスク M のパターンの二次像）をウェハ W 上に形成するための第 2 反射結像光学系 G 2 とにより構成されている。

10

【0041】

第 1 反射結像光学系 G 1 は 4 つの反射鏡 M 1 ～ M 4 により構成され、第 2 反射結像光学系 G 2 は 2 つの反射鏡 M 5 および M 6 により構成されている。また、投影光学系 P L は、ウェハ側（像側）にテレセントリックな光学系である。さらに、すべての反射鏡 M 1 ～ M 6 の反射面が光軸に関して回転対称な非球面状に形成され、第 1 反射鏡 M 1 から第 2 反射鏡 M 2 へ至る光路中には開口絞り A S が配置されている。

【0042】

なお、非球面は、光軸に垂直な方向の高さを y とし、非球面の頂点における接平面から高さ y における非球面上の位置までの光軸に沿った距離（サグ量）を z とし、頂点曲率半径を r とし、円錐係数を κ とし、 n 次の非球面係数を C_n としたとき、以下の式（b）で表される。

20

$$z = (y^2 / r) / [1 + \{1 - (1 + \kappa) \cdot y^2 / r^2\}^{1/2}] + C_4 \cdot y^4 + C_6 \cdot y^6 + C_8 \cdot y^8 + C_{10} \cdot y^{10} + \dots \quad (b)$$

【0043】

本実施形態の投影光学系 P L では、マスク M（図 6 では不図示）からの光は、第 1 凹面反射鏡 M 1 の反射面、第 2 凹面反射鏡 M 2 の反射面、第 3 凸面反射鏡 M 3 の反射面、および第 4 凹面反射鏡 M 4 の反射面で順次反射された後、マスクパターンの中間像を形成する。そして、第 1 反射結像光学系 G 1 を介して形成されたマスクパターン中間像からの光は、第 5 凸面反射鏡 M 5 の反射面および第 6 凹面反射鏡 M 6 の反射面で順次反射された後、ウェハ W 上にマスクパターンの縮小像（二次像）を形成する。

30

【0044】

次の表（1）に、本実施形態にかかる投影光学系 P L の諸元の値を掲げる。表（1）において、 λ は露光光（EUV 光）の波長を、 β は投影倍率を、NA は像側（ウェハ側）開口数を、H 0 はマスク M 上における最大物体高を、 ϕ はウェハ W 上でのイメージサークル I F の半径（最大像高）を、L X は静止露光領域 E R の X 方向に沿った寸法を、L Y は静止露光領域 E R の Y 方向に沿った寸法をそれぞれ表している。

【0045】

また、面番号は物体面であるマスク面から像面であるウェハ面への光線の進行する方向に沿ったマスク側からの反射面の順序を、 r は各反射面の頂点曲率半径（mm）を、 d は各反射面の軸上間隔すなわち面間隔（mm）をそれぞれ示している。なお、面間隔 d は、反射される度にその符号を変えるものとする。そして、光線の入射方向にかかわらずマスク側に向かって凸面の曲率半径を正とし、凹面の曲率半径を負としている。

40

【0046】

表（1）

（主要諸元）

$\lambda = 13.5 \text{ nm}$

$\beta = 1/4$

NA = 0.26

H 0 = 124 mm

$\phi = 31 \text{ mm}$

50

L X = 2 6 mm

L Y = 2 mm

(光学部材諸元)

面番号	r	d	
	(マスク面)	652.352419	
1	-790.73406	-209.979693	(第1反射鏡M1)
2	∞	-141.211064	(開口絞りAS)
3	3000.00000	262.342040	(第2反射鏡M2)
4	478.68563	-262.292922	(第3反射鏡M3)
5	571.53754	842.912526	(第4反射鏡M4)
6	296.70332	-391.770887	(第5反射鏡M5)
7	471.35911	436.582453	(第6反射鏡M6)
	(ウェハ面)		

10

(非球面データ)

1面

 $\kappa = 0.000000$

$$C_4 = 0.246505 \times 10^{-8} \quad C_6 = -0.446668 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = 0.120146 \times 10^{-17} \quad C_{10} = -0.594987 \times 10^{-22}$$

$$C_{12} = 0.340020 \times 10^{-26} \quad C_{14} = 0.254558 \times 10^{-30}$$

$$C_{16} = -0.806173 \times 10^{-34} \quad C_{18} = 0.686431 \times 10^{-38}$$

$$C_{20} = -0.209184 \times 10^{-42}$$

20

3面

 $\kappa = 0.000000$

$$C_4 = -0.413181 \times 10^{-9} \quad C_6 = 0.717222 \times 10^{-14}$$

$$C_8 = -0.713553 \times 10^{-19} \quad C_{10} = 0.255721 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = -0.495895 \times 10^{-24} \quad C_{14} = 0.324678 \times 10^{-27}$$

$$C_{16} = -0.103419 \times 10^{-30} \quad C_{18} = 0.164243 \times 10^{-34}$$

$$C_{20} = -0.104535 \times 10^{-38}$$

30

4面

 $\kappa = 0.000000$

$$C_4 = -0.217375 \times 10^{-8} \quad C_6 = 0.385056 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = -0.347673 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 0.186477 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = -0.244210 \times 10^{-26} \quad C_{14} = -0.704052 \times 10^{-30}$$

$$C_{16} = 0.833625 \times 10^{-34} \quad C_{18} = -0.418438 \times 10^{-38}$$

$$C_{20} = 0.792241 \times 10^{-43}$$

40

5面

 $\kappa = 0.000000$

$$C_4 = -0.380907 \times 10^{-10} \quad C_6 = -0.334201 \times 10^{-15}$$

$$C_8 = 0.113527 \times 10^{-19} \quad C_{10} = -0.535935 \times 10^{-25}$$

$$C_{12} = -0.416047 \times 10^{-29} \quad C_{14} = 0.881874 \times 10^{-34}$$

$$C_{16} = -0.583757 \times 10^{-39} \quad C_{18} = -0.780811 \times 10^{-45}$$

$$C_{20} = 0.176571 \times 10^{-49}$$

6面

 $\kappa = 0.000000$

50

$$\begin{aligned}
C_4 &= -0.190330 \times 10^{-8} & C_6 &= 0.134021 \times 10^{-11} \\
C_8 &= -0.471080 \times 10^{-16} & C_{10} &= -0.968673 \times 10^{-20} \\
C_{12} &= 0.284390 \times 10^{-22} & C_{14} &= -0.265057 \times 10^{-25} \\
C_{16} &= 0.131472 \times 10^{-28} & C_{18} &= -0.341329 \times 10^{-32} \\
C_{20} &= 0.365714 \times 10^{-36}
\end{aligned}$$

7 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$\begin{aligned}
C_4 &= 0.668635 \times 10^{-10} & C_6 &= 0.359674 \times 10^{-15} \\
C_8 &= 0.468613 \times 10^{-20} & C_{10} &= -0.440976 \times 10^{-24} \\
C_{12} &= 0.431536 \times 10^{-28} & C_{14} &= -0.257984 \times 10^{-32} \\
C_{16} &= 0.938415 \times 10^{-37} & C_{18} &= -0.190247 \times 10^{-41} \\
C_{20} &= 0.165315 \times 10^{-46}
\end{aligned}$$

【0047】

本実施形態の投影光学系 PL では、波長が 13.5 nm の EUV 光に対して諸収差が良好に補正された結像領域として、26 mm (= L X) × 2 mm (= L Y) の円弧状の静止露光領域がウェハ W 上に確保される。したがって、ウェハ W において、たとえば 26 mm (= L X) × 33 mm (= L Y o) の大きさを有する各ショット領域に、マスク M のパターンが走査露光により転写される。

【0048】

すなわち、本実施形態の投影光学系 PL では、図 4 に示すように、有効な結像領域（静止露光領域）ER が 26 mm × 2 mm の円弧状の領域に限定され、ひいては有効な像高が 29 mm ~ 31 mm（有効な物体高が 116 mm ~ 124 mm）の相対的に狭い範囲に限定されている。これは、前述したように、本実施形態のような反射型の投影光学系 PL では、反射面が通過する光束を遮ることがないように光路分離を行わなければならないからである。

【0049】

本実施形態の投影光学系 PL では、図 4 に示すように有効な結像領域（静止露光領域）ER が 26 mm × 2 mm の部分円弧状の領域に限定され、イメージフィールド IF の円周全体に対してかなり短い一部の円弧状の領域に過ぎない。したがって、開口絞り AS の開口部を円形状にすると、図 7 に示すように、メリディオナル方向の開口数 N A m とサジタル方向の開口数 N A s との異なり方、すなわち開口の歪み方向および歪み方が、結像領域の全体に亘ってほぼ同一になる。図 7 では、開口部を円形状にしたときの開口の歪み度合いを楕円で表している。

【0050】

具体的に、本実施形態の投影光学系 PL において、従来技術にしたがって開口絞り AS の開口部を直径が 68.348 mm の円形状に設定すると、結像領域の各像高の点におけるメリディオナル方向の開口数 N A m およびサジタル方向の開口数 N A s は、以下の表（2）に示す通りである。

【0051】

表（2）

像高 29 mm の点での N A m :	0.250765182507
像高 29 mm の点での N A s :	0.258042961396
像高 31 mm の点での N A m :	0.249217797699
像高 31 mm の点での N A s :	0.257476183744

【0052】

そこで、本実施形態では、開口絞り AS の開口部を円形状以外の所要の形状、たとえば楕円形状にすることにより、図 8 に示すように、開口の歪みを結像領域の全体に亘って良好に抑え、メリディオナル方向の開口数 N A m とサジタル方向の開口数 N A s とが結像領域の全体に亘ってほぼ均一になるように構成している。図 8 では、開口部を楕円形状に

10

20

30

40

50

したときの開口の歪み度合いを太線の楕円で表している。また、図8における破線の楕円は、開口部を円形状にしたときの開口の歪み度合いを表す図7の楕円に対応している。具体的に図8を参照すると、円弧の左右の端ではX Y方向とメリディオナル・サジタル方向とが異なるので、厳密にはNAが円にならずほぼ楕円形状になる。このように、中央ではほぼ均一な円形のNAになるが、円弧の左右の端では厳密には不均一な非円形のNAになる。しかしながら、完全な円にならないとしても、メリディオナル方向とサジタル方向とのNAの差（あるいはX方向とY方向とのNAの差）を小さくすることができるという効果が得られる。

【0053】

図9は、楕円形状の開口絞りの開口部を示す一例である。同図において、開口絞りASの開口部10のY方向の直径はa、X方向の直径はbである。図9でaの方がbよりも大きいのは、EUV露光装置は上述したように露光光量の低下を防ぐために、ミラー枚数を極力少なくする必要がある、この為、一般的には射影関係が $h > F \sin \theta$ となる為、図9に示すようにサジタル方向の開口数を相対的に小さくする形状とする事が好ましいからである。しかし、射影関係が $h < F \sin \theta$ となる場合等は、図9のaの値をbの値よりも小さくすることが好ましい。また、場合によっては、正弦条件等他の光学特性も考慮して開口絞りの形状を決めることが好ましい。

【0054】

露光に使用される有効な光線の像高が相対的に狭い範囲に限定すると、前述の式(6)および(7)において所望の射影関係からの外れ量 δ がある程度大きくても、像面上の各点に達する光束の開口数NAの像高による不均一性は無視し得ることがわかる。したがって、本実施の形態のように、露光に使用される有効な光線の像高を29mm～31mmと相対的に狭い範囲に限定すると像高による開口数NAの不均一性も改善することが可能となる。

【0055】

具体的に、本実施形態の投影光学系PLにおいて、図9に示すように、本発明にしたがって開口絞りASの開口部10を長径（メリディオナル方向）が68.348mmで短径（サジタル方向）が66.254mmの楕円形状に設定すると、結像領域の各像高におけるメリディオナル方向の開口数NA_mおよびサジタル方向の開口数NA_sは、以下の表(3)に示す通りになる。なお、図9において、補助開口部11はマスクMから第1反射鏡M1に向かう所要の光束を通過させるための開口部であり、補助開口部12は第2反射鏡M2から第3反射鏡M3に向かう所要の光束を通過させるための開口部である。

【0056】

表(3)

像高29mmの点でのNA _m ：	0.250765272746
像高29mmの点でのNA _s ：	0.250272182607
像高31mmの点でのNA _m ：	0.249217758088
像高31mmの点でのNA _s ：	0.24972074902

【0057】

表(2)に示すように像高29mmの点で0.2507～0.2580と比較的大きくばらついていた開口数NAが、本発明を適用することにより、表(3)に示すように0.2507～0.2502とばらつきが小さくなり、1/15程度にばらつきを抑えることが可能になった。同様に、像高31mmの点で0.2492～0.2574と比較的大きくばらついていた開口数NAが、本発明を適用することにより、0.2492～0.2497とばらつきが小さくなり、1/16程度にばらつきを抑えることが可能になった。

【0058】

以上のように、本実施形態の投影光学系PLでは、有効な結像領域が相対的に細長い円弧状の領域に限定され、有効な像高が相対的に狭い範囲に限定されているので、像面上の各点に達する光束の開口数NAの像高による不均一性が小さく抑えられる。また、本実施形態の投影光学系PLでは、開口絞りASの開口部を所要の楕円形状に設定しているの

10

20

30

40

50

、像面上の各点に達する光束の開口数NAの方向による不均一性も小さく抑えられる。

【0059】

すなわち、本実施形態では、視野領域および結像領域が光軸から離れて位置する反射光学系であって、像面上の各点に達する光束の開口数が方向に依らずほぼ均一な投影光学系PLを実現することができる。したがって、本実施形態の露光装置では、像面上の各点に達する光束の開口数が方向に依らずほぼ均一な反射型の投影光学系PLを用い、露光光としてEUV光を用いているので、マスクMのパターンをウェハW上に大きな解像力で且つ忠実に形成することができる。

【0060】

ちなみに、本実施形態の投影光学系PLにおいて、開口絞りASとウェハW（像面）との間に配置された部分光学系GR（M2～M6）の焦点距離F、および部分光学系GR（M2～M6）の射影関係を規定する関数 $g(\theta)$ は、以下の表（4）に示す通りである。

【0061】

表（4）

$$F = -129.186524007 \text{ mm}$$

$$g(\theta) = -1.089581416414470 \times 10^{-8} + 9.983031116454740 \times 10^{-1} \times \theta$$

$$-2.608569671543950 \times 10^{-4} \times \theta^2 + 1.693133763108080 \times 10^{-1} \times \theta^3$$

$$+3.272877426399590 \times 10^{-1} \times \theta^4 - 1.064541314452320 \times 10^{+1} \times \theta^5$$

$$+2.105681558275050 \times 10^{+2} \times \theta^6 - 1.964921359054180 \times 10^{+3} \times \theta^7$$

$$+9.263250785150350 \times 10^{+3} \times \theta^8 - 2.172610074916260 \times 10^{+4} \times \theta^9$$

$$+2.026470680865160 \times 10^{+4} \times \theta^{10}$$

【0062】

表（4）に示すパラメータ $g(\theta)$ に基づいて計算すると、像高29mmの点でのサジタル方向の開口数NA_sとメリディオナル方向の開口数NA_mとの比、すなわちNA_s/NA_mは、次の式（8）で示す値になる。

$$\begin{aligned} \text{NA}_s / \text{NA}_m &= \{\sin \theta / g(\theta)\} / \{\cos \theta / (dg(\theta)/d\theta)\} \\ &= 1.034204511394000 \quad (8) \end{aligned}$$

【0063】

式（8）で示す値は、実際のNA_s/NA_mの値、すなわち1.029022286に極めて近く、結像領域の各像高における開口数NAの方向による差異の発生については前述した第3条件の要因が支配的であることが確認できる。また、式（8）を参照すると、開口絞りASの開口部を、長径と短径との比率が $\tan \theta : g(\theta) / (dg(\theta)/d\theta)$ の楕円形状に設定することが望ましいことがわかる。

【0064】

図10は、開口の歪みが結像に与える影響についてのシミュレーション結果を示す図である。図10において、横軸はNA歪み（すなわちメリディオナル方向の開口数NA_mとサジタル方向の開口数NA_sとの歪み度合い）を、縦軸は所定線幅からの誤差ΔCDをそれぞれ示している。このシミュレーションでは、投影光学系の像側NAを0.18とし、σ（コヒーレンスファクタ：照明光学系の射出側開口数／投影光学系の入射側開口数）を0.8とし、光の波長λを13.5nmとし、線幅が45nmの孤立線パターンマスクを用いて、オーバードーズにより線幅が25nmパターンをウェハ上に焼き付けた。

【0065】

したがって、図10の縦軸ΔCD（nm）は、所定線幅である25nmからの線幅誤差を示していることになる。一般に、パターン線幅について10%（このシミュレーションの場合には25nm×0.1=2.5nm）の誤差が発生すると、半導体集積回路が不良品になると言われている。図10を参照すると、数%のNA歪みが半導体集積回路の良否について深刻な影響を持つことがわかる。

【0066】

次いで、図11を参照して、開口絞りASの開口部が具体的に満たすことが好ましい条件について説明する。まず、図11（a）に示すように、投影光学系PLの像面（第2面

10

20

30

40

50

）の円弧状の結像領域（所定領域） ER 上の複数の像点を、 $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ とする。そして、複数の像点のうち任意の1つを、 A_i と称する。ここで、これらの複数の像点は、像面の円弧状の結像領域 ER 上において、ほぼ等間隔に多数サンプリングされる。図11（a）では、説明を簡略化するために、6つの像点 $A_1 \sim A_6$ だけを示している。

【0067】

また、図11（b）に示すように、開口絞り AS を含む平面に平行な平面（ XY 平面）において直交する2つの座標 x, y を想定し、開口絞りエッジのうち、座標 x が最大となる点を P_{xu} とし、座標 x が最小となる点を P_{xb} とし、座標 y が最大となる点を P_{yu} とし、座標 y が最小となる点を P_{yb} とする。さらに、像点 A_i を中心とする半径1の球面 S_i を想定し、点 P_{xu} を通過して像点 A_i に到達する光線が球面 S_i と交差する座標を（ X_{ixu}, Y_{ixu} ）とし、点 P_{xb} を通過して像点 A_i に到達する光線が球面 S_i と交差する座標を（ X_{ixb}, Y_{ixb} ）とし、点 P_{yu} を通過して像点 A_i に到達する光線が球面 S_i と交差する座標を（ X_{iyu}, Y_{iyu} ）とし、点 P_{yb} を通過して像点 A_i に到達する光線が球面 S_i と交差する座標を（ X_{iyb}, Y_{iyb} ）とする。ここで、球面 S_i での X, Y 座標の符号と、開口部における X, Y 座標の符号とが一致するように、開口部における X, Y 軸の方向を定義する。

【0068】

そして、像点 A_i に対応する2つの変数として、次の式（9）および（10）によりそれぞれ定義される変数 N_{Axi} および N_{Ayi} を導入する。

$$N_{Axi} = (X_{ixu} - X_{ixb}) / 2 \quad (9)$$

$$N_{Ayi} = (Y_{iyu} - Y_{iyb}) / 2 \quad (10)$$

【0069】

こうして、像面の円弧状の結像領域 ER 上の各点に達する光束の開口数を方向に依らずほぼ均一にするには、開口絞り AS の開口部の所要形状が、次の式（11）をほぼ満足することが好ましい。ただし、式（11）において、 $\Sigma (i = 1 \sim n)$ は $i = 1$ から $i = n$ までの総和記号である。

$$\{\Sigma N_{Axi} (i = 1 \sim n)\} / n = \{\Sigma N_{Ayi} (i = 1 \sim n)\} / n \quad (11)$$

【0070】

表（2）および（3）を参照して前述したように、図6に示す投影光学系 PL において、従来技術にしたがう従来例では開口絞り AS の開口部が直径 $\phi = 68.348 \text{ mm}$ の円形状であり、本発明にしたがう本実施例では開口絞り AS の開口部が X 方向直径 $\phi_x = 66.764 \text{ mm}$ で Y 方向直径 $\phi_y = 68.348 \text{ mm}$ の楕円形状であるものとする。以下、6つの像点 $A_1 \sim A_6$ のみに着目した評価例を示すが、これは記述が煩雑となることを避けるためであり、本来は像面の円弧状の結像領域 ER 上においてさらに多くの像点をサンプリングすることが望ましい。図11（a）に示す6つの像点 $A_1 \sim A_6$ の座標（ X 座標、 Y 座標）は、以下の表（5）に示す通りである。

【0071】

表（5）

A_1	=	(0, 29)
A_2	=	(0, 31)
A_3	=	(13, 26.037)
A_4	=	(13, 28.037)
A_5	=	(-13, 26.037)
A_6	=	(-13, 28.037)

【0072】

したがって、従来例の場合、各像点 $A_1 \sim A_6$ に到達する光線が球面 S_i と交差する座標、すなわち $X_{ixu}, X_{ixb}, Y_{iyu}, Y_{iyb}$ は、以下の表（6）に示す通りである。

【0073】

表（6）

10

20

30

40

50

$X_{1xu} = 0.258042943154$
 $X_{1xb} = -0.258042943154$
 $Y_{1yu} = 0.256357547338$
 $Y_{1yb} = -0.245172818845$

$X_{2xu} = 0.257476143154$
 $X_{2xb} = -0.257476143154$
 $Y_{2yu} = 0.255819520205$
 $Y_{2yb} = -0.242616331396$

10

$X_{3xu} = 0.259312007332$
 $X_{3xb} = -0.253769989674$
 $Y_{3yu} = 0.257306651069$
 $Y_{3yb} = -0.246969026605$

$X_{4xu} = 0.259077265506$
 $X_{4xb} = -0.252997085452$
 $Y_{4yu} = 0.256801648512$
 $Y_{4yb} = -0.244661464593$

20

$X_{5xu} = 0.253769989674$
 $X_{5xb} = -0.259312007332$
 $Y_{5yu} = 0.257306651069$
 $Y_{5yb} = -0.246969026606$

$X_{6xu} = 0.252997085391$
 $X_{6xb} = -0.259077265493$
 $Y_{6yu} = 0.256801650789$
 $Y_{6yb} = -0.244661462094$

【0074】

30

一方、本実施例の場合、各像点A1～A6に到達する光線が球面S_iと交差する座標、すなわちX_{ixu}, X_{ixb}, Y_{iyu}, Y_{iyb}は、以下の表(7)に示す通りである。

【0075】

表(7)

$X_{1xu} = 0.252165810353$
 $X_{1xb} = -0.252165810353$
 $Y_{1yu} = 0.256357547323$
 $Y_{1yb} = -0.245172893708$

$X_{2xu} = 0.25161071214$
 $X_{2xb} = -0.25161071214$
 $Y_{2yu} = 0.255819520205$
 $Y_{2yb} = -0.242616146657$

40

$X_{3xu} = 0.253346326274$
 $X_{3xb} = -0.248029134343$
 $Y_{3yu} = 0.257306648643$
 $Y_{3yb} = -0.246967652147$

$X_{4xu} = 0.253123286675$

50

$$\begin{aligned} X4xb &= -0.247265493391 \\ Y4yu &= 0.256801637468 \\ Y4yb &= -0.244660091297 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X5xu &= 0.248029134344 \\ X5xb &= -0.253346326274 \\ Y5yu &= 0.257306648643 \\ Y5yb &= -0.246967652148 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X6xu &= 0.24726549333 \\ X6xb &= -0.253123286663 \\ Y6yu &= 0.256801639745 \\ Y6yb &= -0.244660088798 \end{aligned}$$

10

【0076】

こうして、従来例の場合、式(11)の左辺 $\{\sum N A x_i (i=1 \sim n)\} / n$ および右辺 $\{\sum N A y_i (i=1 \sim n)\} / n$ は以下の表(8)に示す通りである。また、本実施例の場合、式(11)の左辺 $\{\sum N A x_i (i=1 \sim n)\} / n$ および右辺 $\{\sum N A y_i (i=1 \sim n)\} / n$ は以下の表(9)に示す通りである。

【0077】

表(8)

20

$$\begin{aligned} \{\sum N A x_i (i=1 \sim n)\} / n &= 0.256779239 \\ \{\sum N A y_i (i=1 \sim n)\} / n &= 0.2509536499 \end{aligned}$$

【0078】

表(9)

$$\begin{aligned} \{\sum N A x_i (i=1 \sim n)\} / n &= 0.2509234605 \\ \{\sum N A y_i (i=1 \sim n)\} / n &= 0.2509531806 \end{aligned}$$

【0079】

表(8)および(9)を参照すると、従来例よりも本実施例の方が式(11)を良好に満足していることがわかる。その結果、本発明にしたがう本実施例では、開口絞りASの開口部の所要形状が式(11)をほぼ満足するような楕円形状に設定されているので、像面の円弧状の結像領域ER上の各点に達する光束の開口数を方向に依らずほぼ均一にすることができる。

30

【0080】

ところで、半導体パターン露光装置に搭載される投影光学系では、開口絞りとして、例えばカメラの絞りと同様に開口径が可変の虹彩絞りを用いるのが通常である。しかしながら、本実施形態において例えば楕円形状の開口部のような変形開口部を用いる場合、開口絞りとして虹彩絞りを採用することはできない。そこで、本実施形態では、投影光学系PLの開口数NAの変化に際して、開口形状の異なる別の開口絞りと交換可能な構成を採用することが望ましい。なお、開口形状の異なる別の開口絞りは、相似形の開口絞りであってもよいことは言うまでもない。

40

【0081】

また、図6を参照すると、一般に視野領域および結像領域が光軸から離れて形成される反射型の投影光学系では、有効光束を遮ることがないように非常に狭い空間に開口絞りを配置することになる。したがって、円形状の開口部を有する通常の開口絞りを用いる場合にも、開口絞りに開口径の可変のための比較的複雑な機構を設けるよりも、開口形状の異なる別の開口絞りと交換可能な構成を採用することが望ましい場合もある。なお、上述の実施形態では反射型の投影光学系を用いているが、これに限定されことなく、反射屈折型の投影光学系を用いて、上述の実施形態と同様の作用効果を得ることができる。

【0082】

上述の実施形態にかかる露光装置では、照明系によってマスクを照明し(照明工程)、

50

【 0 0 8 3 】

10

20

【 0 0 8 6 】

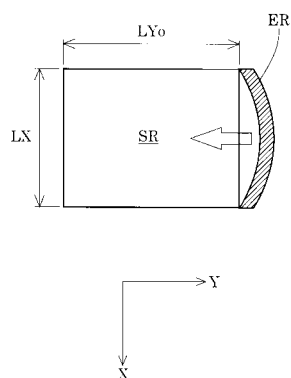
【 0 0 8 7 】

30

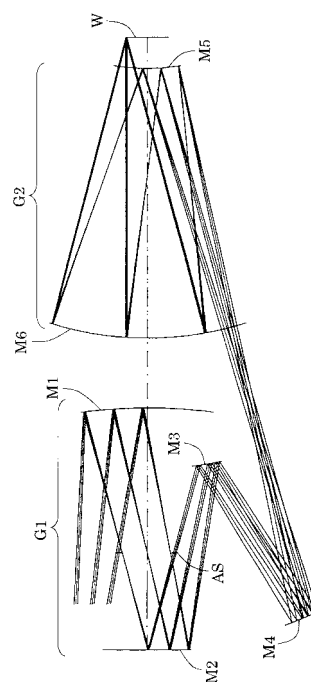
【 0 0 8 8 】

- 40

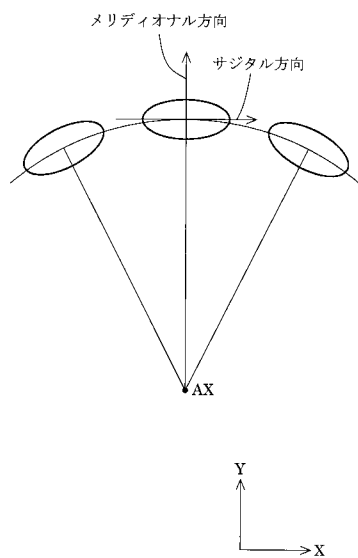
【図 5】



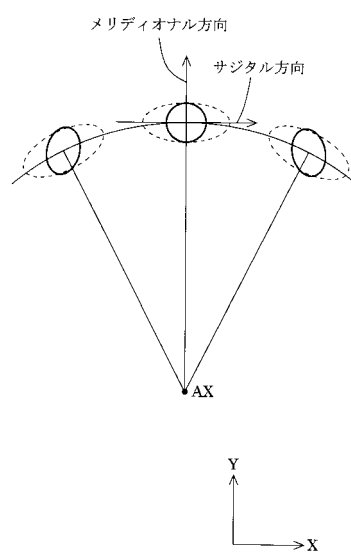
【図 6】



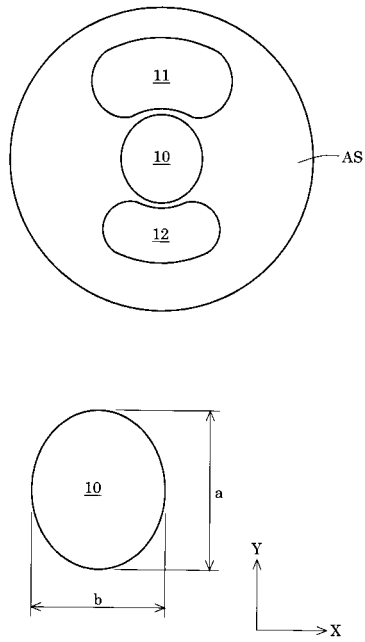
【図 7】



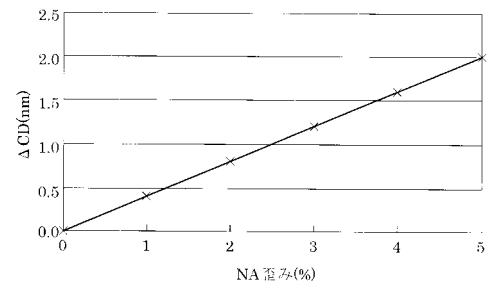
【図 8】



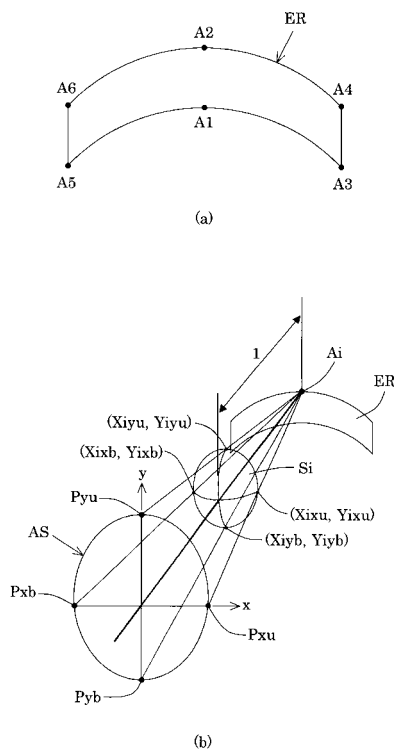
【図 9】



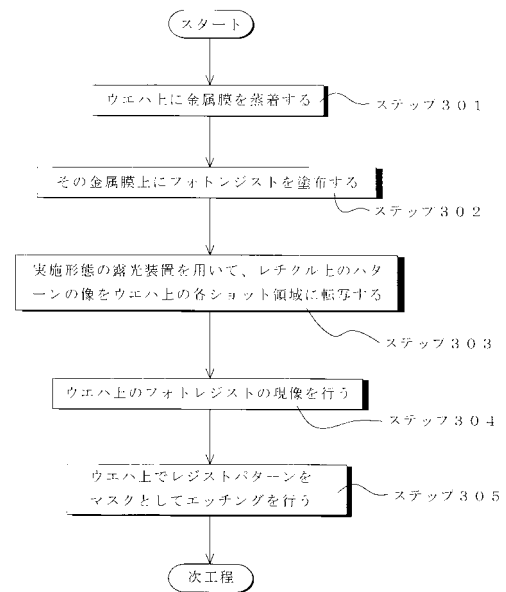
【図 10】



【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

(72)発明者 鈴木 雅之

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

審査官 新井 重雄

(56)参考文献 国際公開第2004/046771 (WO, A1)

特開2004-158786 (JP, A)

特開2003-309057 (JP, A)

特開2001-185480 (JP, A)

特開2001-110709 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027

G02B 17/00

G03F 7/20