

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号
特開2014-194552
(P2014-194552A)

(43) 公開日 平成26年10月9日(2014.10.9)

(51) Int.Cl.

F I

テーマコード (参考)

GO2B 17/08 (2006.01)

GO2B 17/08 A

2H087

HO1L 21/027 (2006.01)

HO1L 21/30 515D

5F146

審査請求 有 請求項の数 13 O L (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2014-93069 (P2014-93069)	(71) 出願人	000004112
(22) 出願日	平成26年4月28日 (2014. 4. 28)		株式会社ニコン
(62) 分割の表示	特願2013-101632 (P2013-101632) の分割		東京都千代田区有楽町1丁目12番1号
原出願日	平成15年5月6日 (2003.5.6)	(74) 代理人	230104019 弁護士 大野 聖二
		(74) 代理人	230112025 弁護士 小林 英了
		(74) 代理人	100115808 弁理士 加藤 真司
		(74) 代理人	100113549 弁理士 鈴木 守
		(74) 代理人	100174078 弁理士 大谷 寛
		(74) 代理人	100167933 弁理士 松野 知絃

最終頁に続く

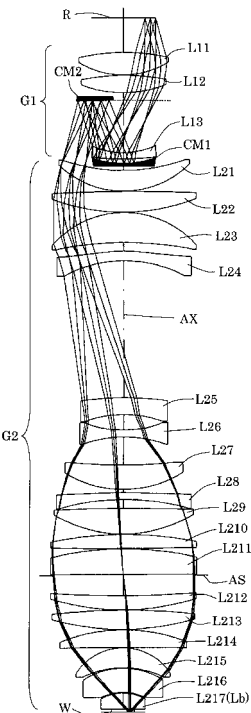
(54) 【発明の名称】 反射屈折型の投影光学系、露光装置、および露光方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】色収差や像面湾曲などの諸収差が良好に補正されて優れた結像性能を有し、光学面での反射損失を良好に抑えて大きな実効的な像側開口数を確保することのできる比較的小型の投影光学系を提供する。

【解決手段】第1面Rの縮小像を第2面W上に形成する反射屈折型の投影光学系は、少なくとも2枚の反射鏡CM1、CM2と透過部材L11～L217とを備え、且つ投影光学系の光軸AXを含まない円弧形状の有効結像領域を備え、有効結像領域を規定する円弧の曲率半径の大きさをRとし、第2面上における最大像高をY0とするとき、 $1.05 < R/Y0 < 12$ の条件を満足する。

【選択図】図5



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 面の縮小像を第 2 面上に形成する反射屈折型の投影光学系において、
前記投影光学系は、少なくとも 2 枚の反射鏡と、第 1 面側の面が正の屈折力を有する境界
レンズとを含み、

前記投影光学系の光路中の雰囲気屈折率を 1 とするとき、前記境界レンズと前記第 2
面との間の光路は 1. 1 よりも大きい屈折率を有する媒質で満たされ、

前記投影光学系を構成するすべての透過部材および屈折力を有するすべての反射部材は
単一の光軸に沿って配置され、

前記投影光学系は、前記光軸を含まない所定形状の有効結像領域を有することを特徴と
する投影光学系。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、反射屈折型の投影光学系、露光装置、および露光方法に関し、特に半導体素
子や液晶表示素子などをフォトリソグラフィ工程で製造する際に使用される露光装置に適
した高解像度の反射屈折型の投影光学系に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体素子等を製造するためのフォトリソグラフィ工程において、マスク（またはレチ
クル）のパターン像を、投影光学系を介して、フォトレジスト等が塗布されたウェハ（ま
たはガラスプレート等）上に露光する投影露光装置が使用されている。そして、半導体素
子等の集積度が向上するにつれて、投影露光装置の投影光学系に要求される解像力（解像
度）が益々高まっている。

20

【0003】

その結果、投影光学系の解像力に対する要求を満足するために、照明光（露光光）の波
長 λ を短くするとともに投影光学系の像側開口数 NA を大きくする必要がある。具体的
には、投影光学系の解像度は、 $k \cdot \lambda / NA$ （ k はプロセス係数）で表される。また、像側
開口数 NA は、投影光学系と像面との間の媒質（通常は空気などの気体）の屈折率を n と
し、像面への最大入射角を θ とすると、 $n \cdot \sin \theta$ で表される。

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

この場合、最大入射角 θ を大きくすることにより開口数 NA の増大を図ろうとすると、
像面への入射角および投影光学系からの射出角が大きくなり、光学面での反射損失が増大
して、大きな実効的な像側開口数を確保することはできない。そこで、投影光学系と像面
との間の光路中に屈折率の高い液体のような媒質を満たすことにより開口数 NA の増大を
図る技術が知られている。

【0005】

しかしながら、この技術を通常の屈折型投影光学系に適用すると、色収差を良好に補正
することやベッツバール条件を満足して像面湾曲を良好に補正することが難しく、光学系
の大型化も避けられないという不都合があった。また、光学面での反射損失を良好に抑え
て大きな実効的な像側開口数を確保することが困難であるという不都合があった。

40

【0006】

本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、色収差や像面湾曲などの諸収差が
良好に補正されて優れた結像性能を有し、光学面での反射損失を良好に抑えて大きな実効
的な像側開口数を確保することのできる比較的小型の投影光学系を提供することを目的と
する。また、本発明は、優れた結像性能を有し且つ大きな実効的な像側開口数ひいては高
い解像度を有する投影光学系を介して、微細なパターンを高精度に転写露光することので
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。

50

【課題を解決するための手段】

【0007】

前記課題を解決するために、本発明の第1形態では、第1面の縮小像を第2面上に形成する反射屈折型の投影光学系において、

前記投影光学系は、少なくとも2枚の反射鏡と、第1面側の面が正の屈折力を有する境界レンズとを含み、

前記投影光学系の光路中の雰囲気屈折率を1とするとき、前記境界レンズと前記第2面との間の光路は1より大きい屈折率を有する媒質で満たされ、

前記投影光学系を構成するすべての透過部材および屈折力を有するすべての反射部材は単一の光軸に沿って配置され、

前記投影光学系は、前記光軸を含まない所定形状の有効結像領域を有することを特徴とする投影光学系を提供する。なお、前記媒質は流体であることが好ましい。そして、前記媒質が液体であることがさらに好ましい。

【0008】

第1形態の好ましい態様によれば、前記少なくとも2枚の反射鏡は、少なくとも1つの凹面反射鏡を有する。また、前記投影光学系は偶数個の反射鏡を有することが好ましい。また、前記投影光学系の射出瞳は遮蔽領域を有しないことが好ましい。また、前記投影光学系が有するすべての有効結像領域は前記光軸から外れた領域に存在することが好ましい。

【0009】

また、第1形態の好ましい態様によれば、前記投影光学系は、少なくとも2つの反射鏡を含み前記第1面の中間像を形成するための第1結像光学系と、前記中間像からの光束に基づいて最終像を前記第2面上に形成するための第2結像光学系とを備えている。この場合、前記第1結像光学系は、正の屈折力を有する第1レンズ群と、該第1レンズ群と前記中間像との間の光路中に配置された第1反射鏡と、該第1反射鏡と前記中間像との間の光路中に配置された第2反射鏡とを備えていることが好ましい。

【0010】

また、この場合、前記第1反射鏡は、前記第1結像光学系の瞳面の近傍に配置された凹面反射鏡であり、前記凹面反射鏡が形成する往復光路中には少なくとも1つの負レンズが配置されていることが好ましい。さらに、この場合、前記往復光路中に配置された前記少なくとも1つの負レンズおよび前記境界レンズは蛍石により形成されていることが好ましい。

【0011】

また、第1形態の好ましい態様によれば、前記第1レンズ群の焦点距離を F_1 とし、前記第2面上における最大像高を Y_0 とするとき、 $5 < F_1 / Y_0 < 15$ の条件を満足する。また、前記第1レンズ群は、少なくとも2つの正レンズを有することが好ましい。また、前記第2結像光学系は、複数の透過部材のみにより構成された屈折光学系であることが好ましい。この場合、前記第2結像光学系を構成する透過部材の数の70%以上の数の透過部材は石英により形成されていることが好ましい。

【0012】

また、第1形態の好ましい態様によれば、前記有効結像領域は円弧形状を有し、前記有効結像領域を規定する円弧の曲率半径の大きさを R とし、前記第2面上における最大像高を Y_0 とするとき、 $1.05 < R / Y_0 < 12$ の条件を満足する。

【0013】

本発明の第2形態では、第1面の縮小像を第2面上に形成する反射屈折型の投影光学系において、

少なくとも2枚の反射鏡と透過部材とを備え、且つ前記投影光学系の光軸を含まない円弧形状の有効結像領域を備え、

前記有効結像領域を規定する円弧の曲率半径の大きさを R とし、前記第2面上における最大像高を Y_0 とするとき、

10

20

30

40

50

1. $0.5 < R/Y0 < 1.2$

の条件を満足することを特徴とする投影光学系を提供する。

【0014】

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。

【0015】

第3形態の好ましい態様によれば、前記投影光学系に対して前記マスクおよび前記感光性基板を所定方向に沿って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。

【0016】

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し、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ことを特徴とする露光方法を提供する。

【発明の効果】

【0017】

本発明の投影光学系では、少なくとも2枚の反射鏡と第1面側の面が正の屈折力を有する境界レンズとを含み、すべての透過部材および反射部材が単一光軸に沿って配置され、光軸を含まない有効結像領域を有する構成において、境界レンズと第2面との間の光路が1.1よりも大きい屈折率を有する媒質で満たされている。その結果、本発明では、色収差や像面湾曲などの諸収差が良好に補正されて優れた結像性能を有し、光学面での反射損失を良好に抑えて大きな実効的な像側開口数を確保することのできる比較的小型の投影光学系を実現することができる。

【0018】

したがって、本発明の投影光学系を用いる露光装置および露光方法では、優れた結像性能を有し且つ大きな実効的な像側開口数ひいては高い解像度を有する投影光学系を介して、微細なパターンを高精度に転写露光することができる。また、本発明の投影光学系を搭載した露光装置を用いて、高解像な投影光学系を介した高精度な投影露光により、良好なマイクロデバイスを製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】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2】本実施形態においてウェハ上に形成される円弧形状の実効露光領域と光軸との位置関係を示す図である。

【図3】本実施形態の第1実施例における境界レンズとウェハとの間の構成を概略的に示す図である。

【図4】本実施形態の第2実施例における境界レンズとウェハとの間の構成を概略的に示す図である。

【図5】本実施形態の第1実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。

【図6】第1実施例における横収差を示す図である。

【図7】本実施形態の第2実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。

【図8】第2実施例における横収差を示す図である。

【図9】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フローチャートである。

【図10】マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0020】

本発明の投影光学系では、境界レンズと像面（第2面）との間の光路中に1.1よりも

10

20

30

40

50

大きい屈折率を有する媒質を介在させることにより、像側開口数 NA の増大を図っている。ちなみに、M.Switkes氏およびM.Rothschild氏が「SPIE2002 Microlithography」において「Massachusetts Institute of Technology」に発表した「Resolution Enhancement of 157-nm Lithography by Liquid Immersion」には、波長 λ が 200 nm 以下の光に対して所要の透過率を有する媒質として、フロリナート（Perfluoropolyethers：米国スリーエム社の商品名）や脱イオン水（Deionized Water）などが候補として挙げられている。

【0021】

また、本発明の投影光学系では、境界レンズの物体側（第1面側）の光学面に正の屈折力を付与することにより、この光学面での反射損失を低減させ、ひいては大きな実効的な像側開口数を確保することができる。このように、像側に液体等の高屈折率物質を媒質として有する光学系では、実効的な像側開口数を 1.0 以上に高めることが可能であり、ひいては解像度を高めることができる。しかしながら、投影倍率が一定の場合、像側開口数の増大に伴って物体側開口数も大きくなるため、投影光学系を屈折部材だけで構成すると、ベッツバル条件を満足することが難しく、光学系の大型化も避けられない。

【0022】

そこで、本発明の投影光学系では、少なくとも2枚の反射鏡を含み、すべての透過部材および屈折力（パワー）を有するすべての反射部材が単一光軸に沿って配置され、光軸を含まない所定形状の有効結像領域を有するタイプの反射屈折型光学系を採用している。このタイプの投影光学系では、たとえば凹面反射鏡の作用により、色収差を良好に補正するとともに、ベッツバル条件を容易に満足して像面湾曲を良好に補正することができ、しかも光学系の小型化が可能である。

【0023】

また、このタイプの投影光学系では、すべての透過部材（レンズなど）およびパワーを有するすべての反射部材（凹面反射鏡など）が単一光軸に沿って配置されているので、光学部材が複数の光軸に沿ってそれぞれ配置される複数軸構成に比して製造上の難易度が格段に低くなり好適である。ただし、光学部材が単一光軸に沿って配置される単一軸構成の場合、色収差を良好に補正することが困難な傾向にあるが、たとえば ArF レーザ光のように、スペクトル幅を狭帯化したレーザ光を用いることにより、この色収差補正の課題を克服することができる。

【0024】

こうして、本発明では、色収差や像面湾曲などの諸収差が良好に補正されて優れた結像性能を有し、光学面での反射損失を良好に抑えて大きな実効的な像側開口数を確保することのできる比較的小型の投影光学系を実現することができる。したがって、本発明の投影光学系を用いる露光装置および露光方法では、優れた結像性能を有し且つ大きな実効的な像側開口数ひいては高い解像度を有する投影光学系を介して、微細なパターンを高精度に転写露光することができる。

【0025】

なお、本発明では、投影光学系が偶数個の反射鏡を有するように構成すること、すなわち偶数回の反射を経て第1面の像が第2面上に形成されるように構成することが好ましい。この構成により、たとえば露光装置や露光方法に適用する場合、ウェハ上にはマスクパターンの裏面像ではなく表面像（正立像または倒立像）が形成されることになるので、屈折型投影光学系を搭載する露光装置と同様に通常のマスク（レチクル）を用いることができる。

【0026】

ところで、本発明の反射屈折型投影光学系を単一光軸で構成するには、瞳位置近傍に中間像を形成する必要があるため、投影光学系は再結像光学系であることが望ましい。また、第1結像の瞳位置近傍に中間像を形成して光路分離を行いつつ光学部材同士の機械的干渉を避けるには、物体側開口数が大きくなった場合でも第1結像の瞳径をできるだけ小さくする必要があるため、開口数の小さい第1結像光学系が反射屈折光学系であることが望ましい。

【0027】

したがって、本発明では、少なくとも2つの反射鏡を含み第1面の中間像を形成するための第1結像光学系と、この中間像からの光束に基づいて最終像を第2面上に形成するための第2結像光学系とにより投影光学系を構成することが好ましい。この場合、具体的には、正屈折力の第1レンズ群と、この第1レンズ群と中間像との間の光路中に配置された第1反射鏡と、この第1反射鏡と中間像との間の光路中に配置された第2反射鏡とを用いて、第1結像光学系を構成することができる。

【0028】

また、第1反射鏡は、第1結像光学系の瞳面の近傍に配置された凹面反射鏡であり、この凹面反射鏡が形成する往復光路中には少なくとも1つの負レンズが配置されていることが好ましい。このように、第1結像光学系において凹面反射鏡が形成する往復光路中に負レンズを配置することにより、ペッツバル条件を容易に満足して像面湾曲を良好に補正することが可能になるとともに、色収差も良好に補正することが可能になる。

10

【0029】

また、往復光路中の負レンズは瞳位置近傍に配置されることが望ましいが、第1結像の瞳径をできるだけ小さくする必要があるため負レンズの有効径も小さくなるため、当該負レンズではフルエンス（＝単位面積・単位パルスあたりのエネルギー量）が高くなり易い。したがって、石英を用いて当該負レンズを形成すると、レーザ光の照射を受けて体積収縮による局所的屈折率変化すなわちコンパクションが起こり易く、ひいては投影光学系の結像性能が低下する。

20

【0030】

同様に、像面に近接して配置される境界レンズも有効径が小さく、フルエンスが高くなり易い。したがって、石英を用いて境界レンズを形成すると、コンパクションが起こり易く結像性能が低下する。本発明では、第1結像光学系において凹面反射鏡が形成する往復光路中に配置された負レンズ、および第2結像光学系において像面に近接して配置された境界レンズを蛍石で形成することにより、コンパクションに起因する結像性能の低下を回避することができる。

【0031】

また、本発明では、次の条件式（1）を満足することが望ましい。なお、条件式（1）において、 F_1 は第1レンズ群の焦点距離であり、 Y_0 は第2面上における最大像高である。

30

$$5 < F_1 / Y_0 < 15 \quad (1)$$

【0032】

条件式（1）の上限値を上回ると、第1結像の瞳径が大きくなりすぎて、上述したように光学部材同士の機械的干渉を避けることが困難になるので好ましくない。一方、条件式（1）の下限値を下回ると、反射鏡への入射光の角度の物体高による差（画角差）が大きく発生し、コマ収差や像面湾曲等の収差の補正が困難になるので好ましくない。なお、本発明の効果をさらに良好に発揮するには、条件式（1）の上限値を13に設定し、その下限値を7に設定することがさらに好ましい。

【0033】

また、本発明では、第1レンズ群が少なくとも2つの正レンズを有することが好ましい。この構成により、第1レンズ群の正屈折力を大きく設定して条件式（1）を容易に満足することができ、ひいてはコマ収差、歪曲収差、非点収差等を良好に補正することができる。

40

【0034】

また、反射率が高く且つ耐久性に富んだ反射鏡を製造することは難しく、数多くの反射面を設けることは光量損失につながる。このため、本発明では、たとえば露光装置や露光方法に投影光学系を適用する場合、スルー putt 向上の観点から、第2結像光学系は複数の透過部材のみにより構成された屈折光学系であることが好ましい。

【0035】

50

また、蛍石は固有複屈折性を有する結晶材料であり、蛍石で形成された透過部材では特に200nm以下の波長の光に対する複屈折の影響が大きい。このため、蛍石透過部材を含む光学系では、結晶軸方位の異なる蛍石透過部材を組み合わせることで複屈折による結像性能の低下を抑える必要があるが、このような対策を講じて、複屈折による性能低下を完全に抑えることはできない。

【0036】

さらに、蛍石では内部の屈折率分布が高周波成分を有することが知られており、この高周波成分を含む屈折率のばらつきがフレアの発生を招いて投影光学系の結像性能を低下させ易いため、蛍石の使用を可能な限り減らすことが好ましい。そこで、本発明では、蛍石の使用を可能な限り減らすために、屈折光学系である第2結像光学系を構成する透過部材のうち、70%以上の透過部材が石英により形成されていることが好ましい。

10

【0037】

また、本発明では、有効結像領域が円弧形状を有し、次の条件式(2)を満足することが望ましい。なお、条件式(2)において、Rは有効結像領域を規定する円弧の曲率半径の大きさであり、Y0は上述したように第2面上における最大像高である。

$$1. \quad 0.5 < R/Y0 < 1.2 \quad (2)$$

【0038】

本発明では、光軸を含まない円弧形状の有効結像領域を有することにより、光学系の大型化を回避しつつ光路分離を容易に行うことができる。しかしながら、たとえば露光装置や露光方法に適用する場合、マスク上において円弧形状の照明領域を均一に照明することは難しい。したがって、円弧形状の領域を含む矩形形状の領域に対応する矩形形状の照明光束を、円弧形状の開口部(光透過部)を有する視野絞りにより制限する手法を採用することになる。この場合、視野絞りにおける光量損失を抑えるには、有効結像領域を規定する円弧の曲率半径の大きさRができるだけ大きいことが必要である。

20

【0039】

すなわち、条件式(2)の下限値を下回ると、曲率半径の大きさRが小さくなりすぎて、視野絞りにおける光束損失が大きくなり、この照明効率の低下によりスループットが低下するので好ましくない。一方、条件式(2)の上限値を上回ると、曲率半径の大きさRが大きくなりすぎて、スキャン露光時のオーバーラン長の短縮化のために所要幅の有効結像領域を確保しようとする必要となるため、光量損失が大きくなるため、光学系が大型化するので好ましくない。なお、本発明の効果をさらに良好に発揮するには、条件式(2)の上限値を8に設定し、その下限値を1.07に設定することがさらに好ましい。

30

【0040】

なお、上述タイプの反射屈折型の投影光学系では、像面(第2面)との間の光路を液体のような媒質で満たさない場合であっても、条件式(2)を満足することにより、照明効率の低下によるスループットの低下や必要な収差補正領域の増大による光学系の大型化を回避することができる。また、本発明の投影光学系を露光装置や露光方法に適用する場合、境界レンズと像面との間に満たされる媒質(液体など)の透過率や、レーザ光の狭帯化の程度などを考慮すると、たとえばArFレーザ光(波長193.306nm)を露光光として用いることが好ましい。

40

【0041】

本発明の実施形態を、添付図面に基いて説明する。

図1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。なお、図1において、投影光学系PLの光軸AXに平行にZ軸を、光軸AXに垂直な面内において図1の紙面に平行にY軸を、図1の紙面に垂直にX軸をそれぞれ設定している。

【0042】

図示の露光装置は、紫外領域の照明光を供給するための光源100として、ArFエキシマレーザ光源を備えている。光源100から射出された光は、照明光学系ILを介して、所定のパターンが形成されたレチクルRを重畳的に照明する。なお、光源100と照明光学系ILとの間の光路はケーシング(不図示)で密封されており、光源100から照明

50

光学系 I L 中の最もレチクル側の光学部材までの空間は、露光光の吸収率が低い気体であるヘリウムガスや窒素などの不活性ガスで置換されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

【0043】

レチクル R は、レチクルホルダ R H を介して、レチクルステージ R S 上において X Y 平面に平行に保持されている。レチクル R には転写すべきパターンが形成されており、光軸 A X を含むことなく X 方向に延びる円弧形状のパターン領域が照明される。レチクルステージ R S は、図示を省略した駆動系の作用により、レチクル面（すなわち X Y 平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はレチクル移動鏡 R M を用いた干渉計 R I F によって計測され且つ位置制御されるように構成されている。レチクル R に形成された

10

【0044】

ウェハ W は、ウェハホルダテーブル W T を介して、ウェハステージ W S 上において X Y 平面に平行に保持されている。そして、レチクル R 上での円弧形状の照明領域に光学的に対応するように、ウェハ W 上においても光軸 A X を含むことなく X 方向に延びる円弧形状の静止露光領域（すなわち実効露光領域：投影光学系 P L の有効結像領域）にパターン像が形成される。ウェハステージ W S は、図示を省略した駆動系の作用によりウェハ面（すなわち X Y 平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はウェハ移動鏡 W M を用いた干渉計 W I F によって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

20

【0045】

図 2 は、本実施形態においてウェハ上に形成される円弧形状の実効露光領域と光軸との位置関係を示す図である。本実施形態では、図 2 に示すように、収差が良好に補正された領域すなわち収差補正領域 A R が、光軸 A X を中心とした外径（半径）R o の円と、内径（半径）R i の円と、距離 H だけ間隔を隔てた Y 方向に平行な 2 つの線分とにより円弧形状に規定されている。そして、実効露光領域（有効結像領域）E R は、円弧形状の収差補正領域 A R にほぼ内接するように、曲率半径の大きさが R で Y 方向に間隔を隔てた 2 つの円弧と、距離 H だけ間隔を隔てた Y 方向に平行な長さ D の 2 つの線分とにより円弧形状に設定されている。

【0046】

こうして、投影光学系 P L が有するすべての有効結像領域 E R は、光軸 A X から外れた領域に存在している。そして、円弧形状の実効露光領域 E R の X 方向に沿った寸法は H であり、Y 方向に沿った寸法は D である。したがって、図示を省略したが、レチクル R 上には、円弧形状の実効露光領域 E R に光学的に対応した大きさおよび形状を有する円弧形状の照明領域（すなわち実効照明領域）が、光軸 A X を含むことなく形成されていることになる。

30

【0047】

また、本実施形態の露光装置では、投影光学系 P L を構成する光学部材のうち最もレチクル側に配置された光学部材（各実施例ではレンズ L 1 1）と境界レンズ L b（各実施例ではレンズ L 2 1 7）との間で投影光学系 P L の内部が気密状態を保つように構成され、投影光学系 P L の内部の気体はヘリウムガスや窒素などの不活性ガスで置換されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。さらに、照明光学系 I L と投影光学系 P L との間の狭い光路には、レチクル R およびレチクルステージ R S などが配置されているが、レチクル R およびレチクルステージ R S などを密封包囲するケーシング（不図示）の内部に窒素やヘリウムガスなどの不活性ガスが充填されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

40

【0048】

図 3 は、本実施形態の第 1 実施例における境界レンズとウェハとの間の構成を概略的に示す図である。図 3 を参照すると、第 1 実施例では、境界レンズ L b は、レチクル側（第 1 面側）に向かって凸面を有する。換言すれば、境界レンズ L b のレチクル側の面 S b は

50

、正の屈折力を有する。そして、境界レンズL bとウェハWとの間の光路は、1. 1よりも大きい屈折率を有する媒質L mで満たされている。第1実施例では、媒質L mとして、脱イオン水を用いている。

【0049】

図4は、本実施形態の第2実施例における境界レンズとウェハとの間の構成を概略的に示す図である。図4を参照すると、第2実施例においても第1実施例と同様に、境界レンズL bはレチクル側に向かって凸面を有し、そのレチクル側の面S bは正の屈折力を有する。しかしながら、第2実施例では、第1実施例とは異なり、境界レンズL bとウェハWとの間の光路中に平行平板L pが挿脱自在に配置され、境界レンズL bと平行平板L pとの間の光路および平行平板L pとウェハWとの間の光路は、1. 1よりも大きい屈折率を有する媒質L mで満たされている。第2実施例においても第1実施例と同様に、媒質L mとして脱イオン水を用いている。

10

【0050】

なお、投影光学系P Lに対してウェハWを相対移動させつつ走査露光を行うステップ・アンド・スキャン方式の露光装置において、走査露光の開始から終了まで投影光学系P Lの境界レンズL bとウェハWとの間の光路中に液体媒質L mを満たし続けるには、たとえば国際公開番号WO 99/49504号公報に開示された技術や、特開平10-303114号公報に開示された技術などを用いることができる。

【0051】

国際公開番号WO 99/49504号公報に開示された技術では、液体供給装置から供給管および排出ノズルを介して所定の温度に調整された液体（媒質L m）を境界レンズL bとウェハWとの間の光路を満たすように供給し、液体供給装置により回収管および流入ノズルを介してウェハW上から液体を回収する。液体の供給量および回収量は、投影光学系P Lに対するウェハWの相対移動速度に応じて調整されることになる。

20

【0052】

一方、特開平10-303114号公報に開示された技術では、液体（媒質L m）を収容することができるようにウェハホルダテーブルWTを容器状に構成し、その内底部の中央において（液体中において）ウェハWを真空吸着により位置決め保持する。また、投影光学系P Lの鏡筒先端部が液体中に達し、ひいては境界レンズL bのウェハ側の光学面が液体中に達するように構成する。

30

【0053】

このように、光源100からウェハWまでの光路の全体に亘って、露光光がほとんど吸収されることのない雰囲気形成されている。また、上述したように、レチクルR上の照明領域およびウェハW上の露光領域（すなわち実効露光領域E R）は、X方向に延びる円弧形状である。したがって、駆動系および干渉計（R I F、W I F）などを用いてレチクルRおよびウェハWの位置制御を行いながら、Y方向に沿ってレチクルステージR SとウェハステージW Sとを、ひいてはレチクルRとウェハWとを同期的に移動（走査）させることにより、ウェハW上には実効露光領域E RのX方向寸法Hに等しい幅を有し且つウェハWの走査量（移動量）に応じた長さを有する露光領域に対してレチクルパターンが走査露光される。

40

【0054】

各実施例において、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、以下の数式（a）で表される。各実施例において、非球面形状に形成されたレンズ面には面番号の右側に*印を付している。

【0055】

$$z = (y^2 / r) / [1 + \{1 - (1 + \kappa) \cdot y^2 / r^2\}^{1/2}] + C_4 \cdot y^4 + C_6 \cdot y^6 + C_8 \cdot y^8 + C_{10} \cdot y^{10} + C_{12} \cdot y^{12} + C_{14} \cdot y^{14} \quad (a)$$

50

【0056】

また、各実施例において、投影光学系 P L は、物体面（第 1 面）に配置されたレチクル R のパターンの中間像を形成するための第 1 結像光学系 G 1 と、中間像からの光に基づいて像面（第 2 面）に配置されたウェハ W 上にレチクルパターンの縮小像を形成するための第 2 結像光学系 G 2 とにより構成されている。ここで、第 1 結像光学系 G 1 は第 1 凹面反射鏡 C M 1 と第 2 凹面反射鏡 C M 2 とを含む反射屈折光学系であり、第 2 結像光学系 G 2 は屈折光学系である。

【0057】

（第 1 実施例）

図 5 は、本実施形態の第 1 実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。図 5 を参照すると、第 1 実施例にかかる投影光学系 P L において、第 1 結像光学系 G 1 は、光の進行方向に沿ってレチクル側から順に、ウェハ側に非球面形状の凸面を向けた両凸レンズ L 1 1 と、両凸レンズ L 1 2 と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズ L 1 3 と、第 1 凹面反射鏡 C M 1 とを備えている。また、第 1 結像光学系 G 1 では、第 1 凹面反射鏡 C M 1 で反射され且つ負メニスカスレンズ L 1 3 を介した光を第 2 結像光学系 G 2 に向かって反射するための第 2 凹面反射鏡 C M 2 の反射面が、両凸レンズ L 1 2 と負メニスカスレンズ L 1 3 との間において光軸 A X を含まない領域に配置されている。したがって、両凸レンズ L 1 1 および両凸レンズ L 1 2 が、正の屈折力を有する第 1 レンズ群を構成している。また、第 1 凹面反射鏡 C M 1 が、第 1 結像光学系 G 1 の瞳面の近傍に配置された凹面反射鏡を構成している。

【0058】

一方、第 2 結像光学系 G 2 は、光の進行方向に沿ってレチクル側から順に、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズ L 2 1 と、両凸レンズ L 2 2 と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズ L 2 3 と、レチクル側に非球面形状の凸面を向けた負メニスカスレンズ L 2 4 と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L 2 5 と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた両凹レンズ L 2 6 と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズ L 2 7 と、レチクル側に非球面形状の凸面を向けた負メニスカスレンズ L 2 8 と、両凸レンズ L 2 9 と、両凸レンズ L 2 10 と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 2 11 と、開口絞り A S と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズ L 2 12 と、両凸レンズ L 2 13 と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズ L 2 14 と、レチクルに凸面を向けた正メニスカスレンズ L 2 15 と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズ L 2 16 と、ウェハ側に平面を向けた平凸レンズ L 2 17（境界レンズ L b）とにより構成されている。

【0059】

第 1 実施例では、投影光学系 P L を構成するすべての透過部材（レンズ）およびパワーを有するすべての反射部材（第 1 凹面反射鏡 C M 1、第 2 凹面反射鏡 C M 2）は単一の光軸 A X に沿って配置されている。すなわち、第 2 結像光学系 G 2 を構成する透過部材のうち、100%の透過部材が石英により形成されている。そして、境界レンズ L b としての平凸レンズ L 2 17 とウェハ W との間の光路には、脱イオン水からなる媒質 L m が満たされている。第 1 実施例では、レチクル R からの光が、レンズ L 1 1 ～ L 1 3 を介して、第 1 凹面反射鏡 C M 1 に入射する。第 1 凹面反射鏡 C M 1 で反射された光は、レンズ L 1 3 および第 2 凹面反射鏡 C M 2 を介して、第 1 凹面反射鏡 C M 1 の近傍にレチクル R の中間像を形成する。第 2 凹面反射鏡 C M 2 で反射された光は、レンズ L 2 1 ～ L 2 17（L b）を介して、ウェハ W 上にレチクル R の縮小像を形成する。

【0060】

第 1 実施例では、投影光学系 P L を構成するすべての透過部材（レンズ）が、石英（S i O₂）により形成されている。露光光である A r F エキシマレーザ光の発振中心波長は、193.306nm であり、193.306nm 付近において石英の屈折率は、+1pm の波長変化あたり -1.591×10⁻⁶ の割合で変化し、-1pm の波長変化あたり +1.591×10⁻⁶ の割合で変化する。換言すると、193.306nm 付近において、

石英の屈折率の分散 ($dn/d\lambda$) は、 $-1.591 \times 10^{-6}/\mu\text{m}$ である。また、 193.306 nm 付近において脱イオン水の屈折率は、 $+1\text{ pm}$ の波長変化あたり -2.6×10^{-6} の割合で変化し、 -1 pm の波長変化あたり $+2.6 \times 10^{-6}$ の割合で変化する。換言すると、 193.306 nm 付近において、脱イオン水の屈折率の分散 ($dn/d\lambda$) は、 $-2.6 \times 10^{-6}/\mu\text{m}$ である。

【0061】

こうして、第1実施例において、中心波長 193.306 nm に対する石英の屈折率は 1.5603261 であり、 $193.306\text{ nm} + 0.1\text{ pm} = 193.3061\text{ nm}$ に対する石英の屈折率は 1.560325941 であり、 $193.306\text{ nm} - 0.1\text{ pm} = 193.3059\text{ nm}$ に対する石英の屈折率は 1.560326259 である。また、中心波長 193.306 nm に対する脱イオン水の屈折率は 1.47 であり、 $193.306\text{ nm} + 0.1\text{ pm} = 193.3061\text{ nm}$ に対する脱イオン水の屈折率は 1.46999974 であり、 $193.306\text{ nm} - 0.1\text{ pm} = 193.3059\text{ nm}$ に対する脱イオン水の屈折率は 1.47000026 である。

【0062】

次の表(1)に、第1実施例にかかる投影光学系 PL の諸元の値を掲げる。表(1)において、 λ は露光光の中心波長を、 β は投影倍率(全系の結像倍率)を、NA は像側(ウェハ側)開口数を、 R_o および R_i は収差補正領域 AR の外半径および内半径を、H および D は実効露光領域 ER の X 方向寸法および Y 方向寸法を、R は円弧形状の実効露光領域 ER (有効結像領域) を規定する円弧の曲率半径の大きさを、Y0 は最大像高をそれぞれ表している。また、面番号は物体面(第1面)であるレチクル面から像面(第2面)であるウェハ面への光線の進行する方向に沿ったレチクル側からの面の順序を、r は各面の曲率半径(非球面の場合には頂点曲率半径:mm)を、d は各面の軸上間隔すなわち面間隔(mm)を、n は中心波長に対する屈折率をそれぞれ示している。

【0063】

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。したがって、面間隔 d の符号は、第1凹面反射鏡 CM1 から第2凹面反射鏡 CM2 までの光路中では負とし、その他の光路中では正としている。そして、光の入射方向にかかわらず、レチクル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。なお、表(1)における表記は、以降の表(2)においても同様である。

【0064】

表(1)

(主要諸元)

$\lambda = 193.306\text{ nm}$

$\beta = +1/4$

NA = 1.04

$R_o = 17.0\text{ mm}$

$R_i = 11.5\text{ mm}$

H = 26.0 mm

D = 4.0 mm

R = 20.86 mm

Y0 = 17.0 mm

(光学部材諸元)

面番号	r	d	n	光学部材
(レチクル面) 70.25543				
1	444.28100	45.45677	1.5603261	(L11)
2*	-192.24078	1.00000		
3	471.20391	35.53423	1.5603261	(L12)
4	-254.24538	122.19951		

5*	-159.65514	13.00000	1.5603261	(L 1 3)	
6	-562.86259	9.00564			
7	-206.23868	-9.00564		(C M 1)	
8	-562.86259	-13.00000	1.5603261	(L 1 3)	
9*	-159.65514	-107.19951			
10	3162.83419	144.20515		(C M 2)	
11	-389.01215	43.15699	1.5603261	(L 2 1)	
12	-198.92113	1.00000			
13	3915.27567	42.01089	1.5603261	(L 2 2)	
14	-432.52137	1.00000			10
15	203.16777	62.58039	1.5603261	(L 2 3)	
16*	515.92133	18.52516			
17*	356.67027	20.00000	1.5603261	(L 2 4)	
18	269.51733	285.26014			
19	665.61079	35.16606	1.5603261	(L 2 5)	
20	240.55938	32.43496			
21*	-307.83344	15.00000	1.5603261	(L 2 6)	
22	258.17867	58.24284			
23	-1143.34122	51.43638	1.5603261	(L 2 7)	
24	-236.25969	6.67292			20
25*	1067.55487	15.00000	1.5603261	(L 2 8)	
26	504.02619	18.88857			
27	4056.97655	54.00381	1.5603261	(L 2 9)	
28	-283.04360	1.00000			
29	772.31002	28.96307	1.5603261	(L 2 1 0)	
30	-8599.87899	1.00000			
31	667.92225	52.94747	1.5603261	(L 2 1 1)	
32	36408.68946	2.30202			
33	∞	42.27703		(A S)	
34	-2053.34123	30.00000	1.5603261	(L 2 1 2)	30
35	-514.67146	1.00000			
36	1530.45141	39.99974	1.5603261	(L 2 1 3)	
37	-540.23726	1.00000			
38	370.56341	36.15464	1.5603261	(L 2 1 4)	
39*	12719.40982	1.00000			
40	118.92655	41.83608	1.5603261	(L 2 1 5)	
41	190.40194	1.00000			
42	151.52892	52.42553	1.5603261	(L 2 1 6)	
43*	108.67474	1.12668			
44	91.54078	35.50067	1.5603261	(L 2 1 7 : L b)	40
45	∞	6.00000	1.47	(L m)	

(ウ ェ ハ 面)

(非 球 面 デ ー タ)

2 面

 $\kappa = 0$ $C4 = -8.63025 \times 10^{-9}$ $C6 = 2.90424 \times 10^{-13}$ $C8 = 5.43348 \times 10^{-17}$ $C10 = 1.65523 \times 10^{-21}$ $C12 = 8.78237 \times 10^{-26}$ $C14 = 6.53360 \times 10^{-30}$

5面および9面（同一面）

$\kappa = 0$

$$\begin{aligned} C4 &= 7.66590 \times 10^{-9} & C6 &= 6.09920 \times 10^{-13} \\ C8 &= -6.53660 \times 10^{-17} & C10 &= 2.44925 \times 10^{-20} \\ C12 &= -3.14967 \times 10^{-24} & C14 &= 2.21672 \times 10^{-28} \end{aligned}$$

16面

$\kappa = 0$

$$\begin{aligned} C4 &= -3.79715 \times 10^{-8} & C6 &= 2.19518 \times 10^{-12} \\ C8 &= -9.40364 \times 10^{-17} & C10 &= 3.33573 \times 10^{-21} \\ C12 &= -7.42012 \times 10^{-26} & C14 &= 1.05652 \times 10^{-30} \end{aligned}$$

10

17面

$\kappa = 0$

$$\begin{aligned} C4 &= -6.69596 \times 10^{-8} & C6 &= 1.67561 \times 10^{-12} \\ C8 &= -6.18763 \times 10^{-17} & C10 &= 2.65428 \times 10^{-21} \\ C12 &= -4.09555 \times 10^{-26} & C14 &= 3.25841 \times 10^{-31} \end{aligned}$$

21面

$\kappa = 0$

$$\begin{aligned} C4 &= -8.68772 \times 10^{-8} & C6 &= -1.30306 \times 10^{-12} \\ C8 &= -2.65902 \times 10^{-17} & C10 &= -6.56830 \times 10^{-21} \\ C12 &= 3.66980 \times 10^{-25} & C14 &= -5.05595 \times 10^{-29} \end{aligned}$$

20

25面

$\kappa = 0$

$$\begin{aligned} C4 &= -1.54049 \times 10^{-8} & C6 &= 7.71505 \times 10^{-14} \\ C8 &= 1.75760 \times 10^{-18} & C10 &= 1.71383 \times 10^{-23} \\ C12 &= 5.04584 \times 10^{-29} & C14 &= 2.08622 \times 10^{-32} \end{aligned}$$

30

39面

$\kappa = 0$

$$\begin{aligned} C4 &= -3.91974 \times 10^{-11} & C6 &= 5.90682 \times 10^{-14} \\ C8 &= 2.85949 \times 10^{-18} & C10 &= -1.01828 \times 10^{-22} \\ C12 &= 2.26543 \times 10^{-27} & C14 &= -1.90645 \times 10^{-32} \end{aligned}$$

43面

$\kappa = 0$

$$\begin{aligned} C4 &= 8.33324 \times 10^{-8} & C6 &= 1.42277 \times 10^{-11} \\ C8 &= -1.13452 \times 10^{-15} & C10 &= 1.18459 \times 10^{-18} \\ C12 &= -2.83937 \times 10^{-22} & C14 &= 5.01735 \times 10^{-26} \end{aligned}$$

40

（条件式対応値）

$$F1 = 164.15 \text{ mm}$$

$$Y0 = 17.0 \text{ mm}$$

$$R = 20.86 \text{ mm}$$

$$(1) F1/Y0 = 9.66$$

$$(2) R/Y0 = 1.227$$

【0065】

図6は、第1実施例における横収差を示す図である。収差図において、Yは像高を、実

50

線は中心波長 193.3060 nm を、破線は $193.306\text{ nm}+0.1\text{ pm}=193.3061\text{ nm}$ を、一点鎖線は $193.306\text{ nm}-0.1\text{ pm}=193.3059\text{ nm}$ をそれぞれ示している。なお、図6における表記は、以降の図8においても同様である。図6の収差図から明らかなように、第1実施例では、非常に大きな像側開口数($NA=1.04$)および比較的大きな実効露光領域ERを確保しているにもかかわらず、波長幅が $193.306\text{ nm}\pm0.1\text{ pm}$ の露光光に対して色収差が良好に補正されていることがわかる。

【0066】

(第2実施例)

図7は、本実施形態の第2実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。図7を参照すると、第2実施例にかかる投影光学系PLにおいて、第1結像光学系G1は、光の進行方向に沿ってレチクル側から順に、ウェハ側に非球面形状の凸面を向けた両凸レンズL11と、両凸レンズL12と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズL13と、第1凹面反射鏡CM1とを備えている。また、第1結像光学系G1では、第1凹面反射鏡CM1で反射され且つ負メニスカスレンズL13を介した光を第2結像光学系G2に向かって反射するための第2凹面反射鏡CM2の反射面が、両凸レンズL12と負メニスカスレンズL13との間において光軸AXを含まない領域に配置されている。したがって、両凸レンズL11および両凸レンズL12が、正の屈折力を有する第1レンズ群を構成している。また、第1凹面反射鏡CM1が、第1結像光学系G1の瞳面の近傍に配置された凹面反射鏡を構成している。

【0067】

一方、第2結像光学系G2は、光の進行方向に沿ってレチクル側から順に、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL21と、両凸レンズL22と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL23と、レチクル側に非球面形状の凸面を向けた負メニスカスレンズL24と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL25と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた両凹レンズL26と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL27と、レチクル側に非球面形状の凸面を向けた負メニスカスレンズL28と、両凸レンズL29と、両凸レンズL210と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL211と、開口絞りASと、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL212と、両凸レンズL213と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL214と、レチクルに凸面を向けた正メニスカスレンズL215と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL216と、ウェハ側に平面を向けた平凸レンズL217(境界レンズLb)とにより構成されている。

【0068】

第2実施例では、境界レンズLbとしての平凸レンズL217とウェハWとの間の光路中に、平行平板Lpが配置されている。そして、境界レンズLbと平行平板Lpとの間の光路および平行平板LpとウェハWとの間の光路には、脱イオン水からなる媒質Lmが満たされている。また、第2実施例では、投影光学系PLを構成する透過部材(レンズ)が、石英または蛍石(CaF_2)により形成されている。具体的には、レンズL13、レンズL216およびレンズL217(Lb)が蛍石により形成され、その他のレンズおよび平行平板Lpが石英により形成されている。すなわち、第2結像光学系G2を構成する透過部材のうち、約88%の透過部材が石英により形成されている。

【0069】

さらに、第2実施例では、投影光学系PLを構成するすべての透過部材(レンズ、平行平板)およびパワーを有するすべての反射部材(第1凹面反射鏡CM1、第2凹面反射鏡CM2)は単一の光軸AXに沿って配置されている。こうして、第2実施例では、レチクルRからの光が、レンズL11~L13を介して、第1凹面反射鏡CM1に入射する。第1凹面反射鏡CM1で反射された光は、レンズL13および第2凹面反射鏡CM2を介して、第1凹面反射鏡CM1の近傍にレチクルRの中間像を形成する。第2凹面反射鏡CM2で反射された光は、レンズL21~L217(Lb)および平行平板Lpを介して

、ウェハW上にレチクルRの縮小像を形成する。

【0070】

第2実施例では、露光光であるArFエキシマレーザ光の発振中心波長は、193.306nmであり、193.306nm付近において石英の屈折率は、+1pmの波長変化あたり -1.591×10^{-6} の割合で変化し、-1pmの波長変化あたり $+1.591 \times 10^{-6}$ の割合で変化する。換言すると、193.306nm付近において、石英の屈折率の分散($dn/d\lambda$)は、 $-1.591 \times 10^{-6}/pm$ である。また、193.306nm付近において蛍石の屈折率は、+1pmの波長変化あたり -0.980×10^{-6} の割合で変化し、-1pmの波長変化あたり $+0.980 \times 10^{-6}$ の割合で変化する。換言すると、193.306nm付近において、蛍石の屈折率の分散($dn/d\lambda$)は、 $-0.980 \times 10^{-6}/pm$ である。

10

【0071】

さらに、193.306nm付近において脱イオン水の屈折率は、+1pmの波長変化あたり -2.6×10^{-6} の割合で変化し、-1pmの波長変化あたり $+2.6 \times 10^{-6}$ の割合で変化する。換言すると、193.306nm付近において、脱イオン水の屈折率の分散($dn/d\lambda$)は、 $-2.6 \times 10^{-6}/pm$ である。こうして、第2実施例において、中心波長193.306nmに対する石英の屈折率は1.5603261であり、193.306nm+0.1pm=193.3061nmに対する石英の屈折率は1.560325941であり、193.306nm-0.1pm=193.3059nmに対する石英の屈折率は1.560326259である。

20

【0072】

また、中心波長193.306nmに対する蛍石の屈折率は1.5014548であり、193.306nm+0.1pm=193.3061nmに対する蛍石の屈折率は1.501454702であり、193.306nm-0.1pm=193.3059nmに対する蛍石の屈折率は1.501454898である。さらに、中心波長193.306nmに対する脱イオン水の屈折率は1.47であり、193.306nm+0.1pm=193.3061nmに対する脱イオン水の屈折率は1.46999974であり、193.306nm-0.1pm=193.3059nmに対する脱イオン水の屈折率は1.47000026である。次の表(2)に、第2実施例にかかる投影光学系PLの諸元の値を掲げる。

30

【0073】

表(2)

(主要諸元)

$\lambda = 193.306nm$

$\beta = +1/4$

NA = 1.04

Ro = 17.0mm

Ri = 11.5mm

H = 26.0mm

D = 4.0mm

R = 20.86mm

Y0 = 17.0mm

40

(光学部材諸元)

面番号	r	d	n	光学部材
(レチクル面) 72.14497				
1	295.66131	46.03088	1.5603261	(L11)
2*	-228.07826	1.02581		
3	847.63618	40.34103	1.5603261	(L12)
4	-207.90948	124.65407		

50

5*	-154.57886	13.00000	1.5014548	(L 1 3)	
6	-667.19164	9.58580			
7	-209.52775	-9.58580		(C M 1)	
8	-667.19164	-13.00000	1.5014548	(L 1 3)	
9*	-154.57886	-109.65407			
10	2517.52751	147.23986		(C M 2)	
11	-357.71318	41.75496	1.5603261	(L 2 1)	
12	-196.81705	1.00000			
13	8379.53651	40.00000	1.5603261	(L 2 2)	
14	-454.81020	8.23083			10
15	206.30063	58.07852	1.5603261	(L 2 3)	
16*	367.14898	24.95516			
17*	258.66863	20.00000	1.5603261	(L 2 4)	
18	272.27694	274.16477			
19	671.42370	49.62123	1.5603261	(L 2 5)	
20	225.79907	35.51978			
21*	-283.63484	15.10751	1.5603261	(L 2 6)	
22	261.37852	56.71822			
23	-1947.68869	54.63076	1.5603261	(L 2 7)	
24	-227.05849	5.77639			20
25*	788.97953	15.54026	1.5603261	(L 2 8)	
26	460.12935	18.83954			
27	1925.75038	56.54051	1.5603261	(L 2 9)	
28	-295.06884	1.00000			
29	861.21046	52.50515	1.5603261	(L 2 1 0)	
30	-34592.86759	1.00000			
31	614.86639	37.34179	1.5603261	(L 2 1 1)	
32	39181.66426	1.00000			
33	∞	46.27520		(A S)	
34	-11881.91854	30.00000	1.5603261	(L 2 1 2)	30
35	-631.95129	1.00000			
36	1465.88641	39.89113	1.5603261	(L 2 1 3)	
37	-542.10144	1.00000			
38	336.45791	34.80369	1.5603261	(L 2 1 4)	
39*	2692.15238	1.00000			
40	112.42843	43.53915	1.5603261	(L 2 1 5)	
41	189.75478	1.00000			
42	149.91358	42.41577	1.5014548	(L 2 1 6)	
43*	107.28888	1.06533			
44	90.28791	31.06087	1.5014548	(L 2 1 7 : L b)	40
45	∞	1.00000	1.47	(L m)	
46	∞	3.00000	1.5603261	(L p)	
47	∞	5.00000	1.47	(L m)	

(ウ ェ ハ 面)

(非 球 面 デ ー タ)

2 面

 $\kappa = 0$ $C4 = 9.57585 \times 10^{-9}$ $C6 = 7.09690 \times 10^{-13}$ $C8 = 1.30845 \times 10^{-16}$ $C10 = -5.52152 \times 10^{-22}$

$$C12 = 4.46914 \times 10^{-25} \quad C14 = -2.07483 \times 10^{-29}$$

5面および9面（同一面）

$$\kappa = 0$$

$$C4 = 1.16631 \times 10^{-8} \quad C6 = 6.70616 \times 10^{-13}$$

$$C8 = -1.87976 \times 10^{-17} \quad C10 = 1.71587 \times 10^{-20}$$

$$C12 = -2.34827 \times 10^{-24} \quad C14 = 1.90285 \times 10^{-28}$$

16面

$$\kappa = 0$$

$$C4 = -4.06017 \times 10^{-8} \quad C6 = 2.22513 \times 10^{-12}$$

$$C8 = -9.05000 \times 10^{-17} \quad C10 = 3.29839 \times 10^{-21}$$

$$C12 = -7.46596 \times 10^{-26} \quad C14 = 1.06948 \times 10^{-30}$$

17面

$$\kappa = 0$$

$$C4 = -6.69592 \times 10^{-8} \quad C6 = 1.42455 \times 10^{-12}$$

$$C8 = -5.65516 \times 10^{-17} \quad C10 = 2.48078 \times 10^{-21}$$

$$C12 = -2.91653 \times 10^{-26} \quad C14 = 1.53981 \times 10^{-31}$$

21面

$$\kappa = 0$$

$$C4 = -7.97186 \times 10^{-8} \quad C6 = -1.32969 \times 10^{-12}$$

$$C8 = -1.98377 \times 10^{-17} \quad C10 = -4.95016 \times 10^{-21}$$

$$C12 = 2.53886 \times 10^{-25} \quad C14 = -4.16817 \times 10^{-29}$$

25面

$$\kappa = 0$$

$$C4 = -1.55844 \times 10^{-8} \quad C6 = 7.27672 \times 10^{-14}$$

$$C8 = 1.90600 \times 10^{-18} \quad C10 = 1.21465 \times 10^{-23}$$

$$C12 = -7.56829 \times 10^{-29} \quad C14 = 1.86889 \times 10^{-32}$$

39面

$$\kappa = 0$$

$$C4 = -6.91993 \times 10^{-11} \quad C6 = 7.80595 \times 10^{-14}$$

$$C8 = 3.31216 \times 10^{-18} \quad C10 = -1.39159 \times 10^{-22}$$

$$C12 = 3.69991 \times 10^{-27} \quad C14 = -4.01347 \times 10^{-32}$$

43面

$$\kappa = 0$$

$$C4 = 8.30019 \times 10^{-8} \quad C6 = 1.24781 \times 10^{-11}$$

$$C8 = -9.26768 \times 10^{-16} \quad C10 = 1.08933 \times 10^{-18}$$

$$C12 = -3.01514 \times 10^{-22} \quad C14 = 5.41882 \times 10^{-26}$$

（条件式対応値）

$$F1 = 178.98 \text{ mm}$$

$$Y0 = 17.0 \text{ mm}$$

$$R = 20.86 \text{ mm}$$

$$(1) F1/Y0 = 10.53$$

$$(2) R/Y0 = 1.227$$

10

20

30

40

50

【0074】

図8は、第2実施例における横収差を示す図である。図8の収差図から明らかなように、第2実施例においても第1実施例と同様に、非常に大きな像側開口数 ($NA = 1.04$) および比較的大きな実効露光領域 ER を確保しているにもかかわらず、波長幅が $193.306\text{ nm} \pm 0.1\text{ pm}$ の露光光に対して色収差が良好に補正されていることがわかる。

【0075】

こうして、各実施例では、波長が 193.306 nm の ArF エキシマレーザ光に対して、 1.04 の高い像側開口数を確保するとともに、 $26.0\text{ mm} \times 4.0\text{ mm}$ の円弧形状の実効露光領域（静止露光領域）を確保することができ、たとえば $26\text{ mm} \times 33\text{ mm}$ の矩形状の露光領域内に回路パターンを高解像度で走査露光することができる。

10

【0076】

上述の実施形態の露光装置では、照明装置によってレチクル（マスク）を照明し（照明工程）、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に露光する（露光工程）ことにより、マイクロデバイス（半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等）を製造することができる。以下、本実施形態の露光装置を用いて感光性基板としてのウェハ等に所定の回路パターンを形成することによって、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き図9のフローチャートを参照して説明する。

【0077】

まず、図9のステップ301において、1ロットのウェハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウェハ上の金属膜上にフォトリソレジストが塗布される。その後、ステップ303において、本実施形態の露光装置を用いて、マスク上のパターンの像がその投影光学系を介して、その1ロットのウェハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ304において、その1ロットのウェハ上のフォトリソレジストの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウェハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウェハ上の各ショット領域に形成される。

20

【0078】

その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。なお、ステップ301～ステップ305では、ウェハ上に金属を蒸着し、その金属膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチングの各工程を行っているが、これらの工程に先立って、ウェハ上にシリコンの酸化膜を形成後、そのシリコンの酸化膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチング等の各工程を行っても良いことはいうまでもない。

30

【0079】

また、本実施形態の露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定のパターン（回路パターン、電極パターン等）を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、図10のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。図10において、パターン形成工程401では、本実施形態の露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィ工程が実行される。この光リソグラフィ工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レジスト剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程402へ移行する。

40

【0080】

次に、カラーフィルター形成工程402では、 R (Red)、 G (Green)、 B (Blue) に対応した3つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、または R 、 G 、 B の3

50

本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列されたりしたカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程 402 の後に、セル組み立て工程 403 が実行される。セル組み立て工程 403 では、パターン形成工程 401 にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程 402 にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程 403 では、例えば、パターン形成工程 401 にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程 402 にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

【0081】

その後、モジュール組み立て工程 404 にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

10

【0082】

なお、上述の実施形態では、ArFエキシマレーザ光源を用いているが、これに限定されることなく、たとえばF₂レーザ光源のような他の適当な光源を用いることもできる。さらに、上述の実施形態では、露光装置に搭載される投影光学系に対して本発明を適用しているが、これに限定されることなく、他の一般的な投影光学系に対して本発明を適用することもできる。

【符号の説明】

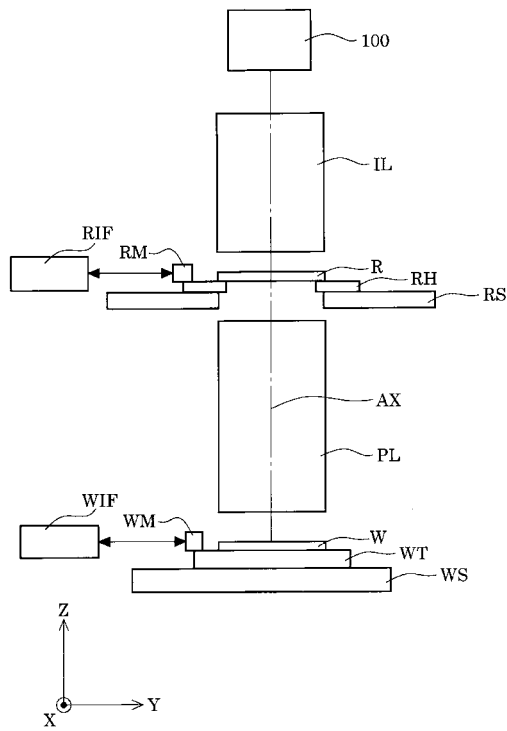
20

【0083】

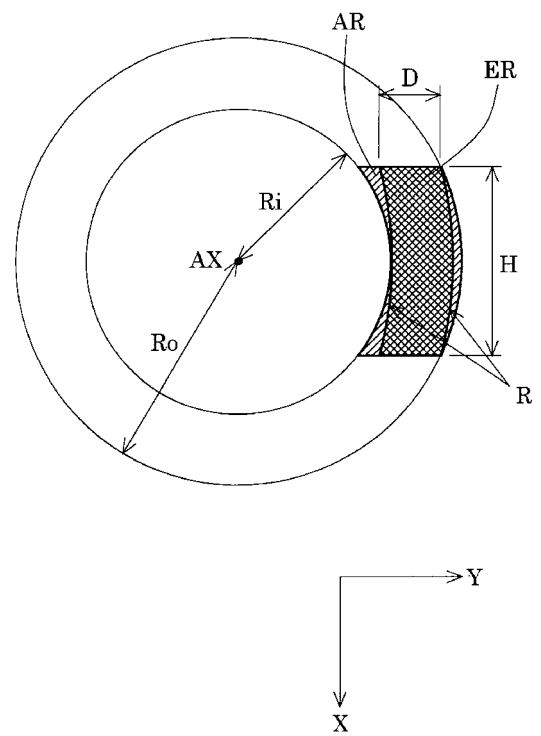
Lb 境界レンズ
Lp 平行平板
Lm 媒質（脱イオン水）
G1 第1結像光学系
G2 第2結像光学系
CM1, CM2 凹面反射鏡
Li 各レンズ成分
100 レーザ光源
IL 照明光学系
R レチクル
RS レチクルステージ
PL 投影光学系
W ウェハ
WS ウェハステージ

30

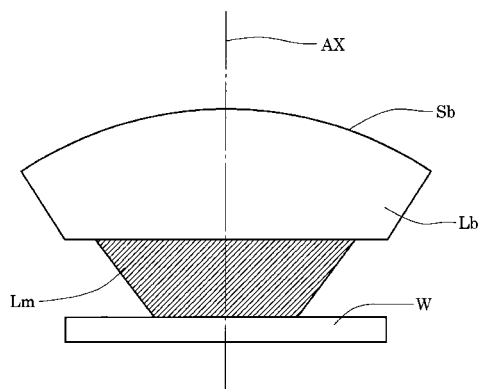
【図 1】



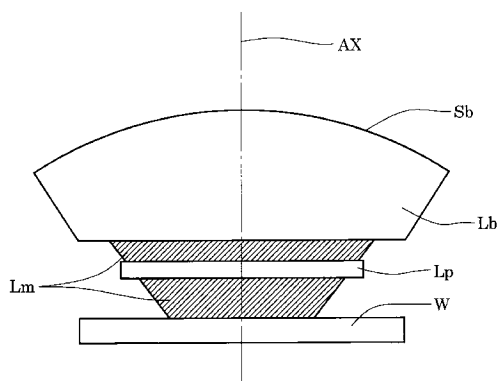
【図 2】



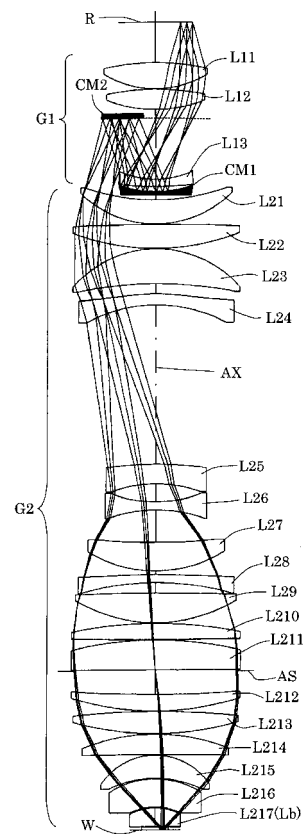
【図 3】



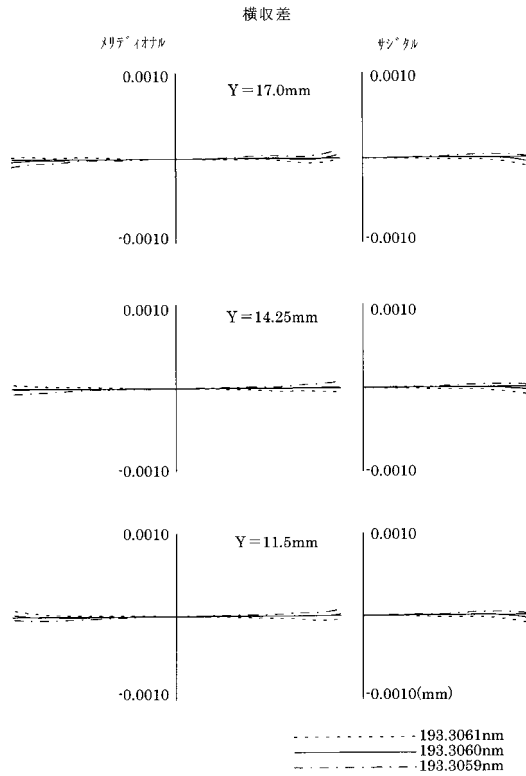
【図 4】



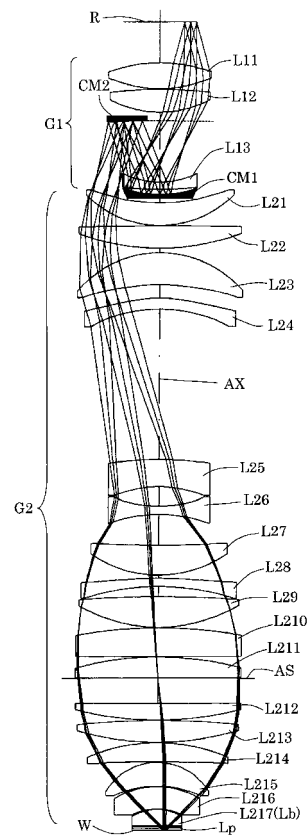
【図 5】



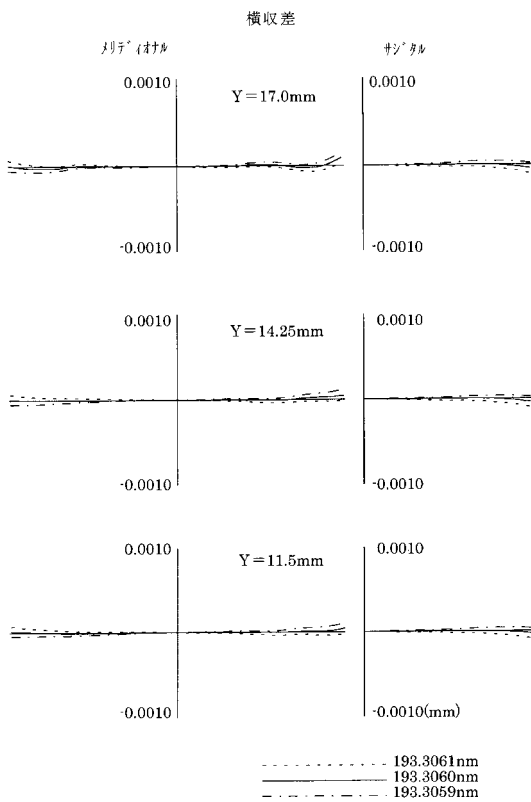
【図 6】



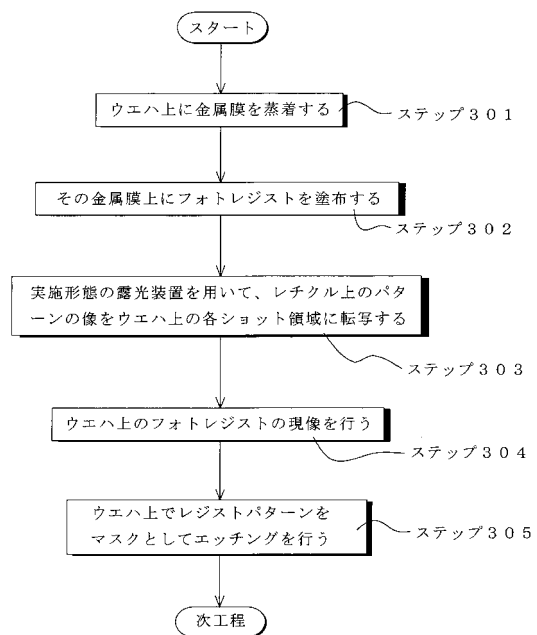
【圖 7】



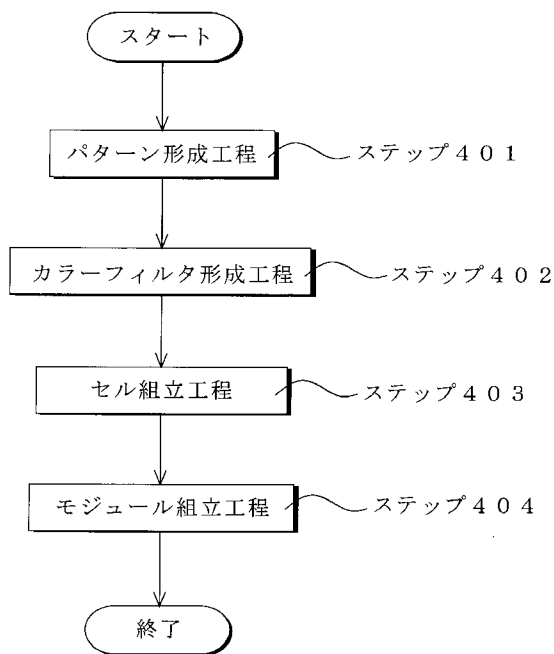
【図 8】



【図 9】



【図 10】



【手続補正書】

【提出日】平成26年8月25日(2014.8.25)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 面に設けられて光により照明される物体の縮小像を、液体を介して第 2 面に形成する投影光学系であって、

前記物体からの前記光により前記物体の中間像を形成する第 1 結像光学系と、

前記中間像からの前記光により前記縮小像を形成する第 2 結像光学系と、

を備え、

前記第 1 結像光学系は、偶数個の反射鏡を含む反射屈折光学系であり、

前記第 2 結像光学系は、複数の透過部材により構成され、射出瞳に遮蔽領域を含まない屈折光学系であり、

前記第 1 及び第 2 結像光学系に含まれるすべての反射鏡の光軸及びすべての透過部材の光軸は、単一光軸上に配置され、

前記複数の透過部材は、前記第 1 面側の面が正の屈折力を有して前記第 2 面側の面が前記液体に接するように配置されたレンズを含み、前記複数の透過部材のうち 70% 以上の数の透過部材が石英により形成され、

前記縮小像は、前記物体の倒立像であって前記第 2 面における前記単一光軸を含まない領域に形成される、

投影光学系。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の投影光学系において、

前記第 1 結像光学系は、前記物体からの前記光の光路に配置されるレンズと、前記レンズからの前記光の光路に配置される第 1 反射鏡と、前記第 1 反射鏡からの前記光の光路に配置される第 2 反射鏡と、を含む投影光学系。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の投影光学系において、

前記第 1 反射鏡及び前記第 2 反射鏡は凹面反射鏡である投影光学系。

【請求項 4】

請求項 1 ～ 3 のいずれか一項に記載の投影光学系において、

前記光は A r F エキシマレーザ光である投影光学系。

【請求項 5】

請求項 1 ～ 3 のいずれか一項に記載の投影光学系において、

前記光の中心波長は 1 9 3 . 3 n m である投影光学系。

【請求項 6】

請求項 1 ～ 5 のいずれか一項に記載の投影光学系において、

前記第 2 結像光学系は、前記複数の透過部材のうち 8 8 % の数の透過部材が石英により形成されている投影光学系。

【請求項 7】

請求項 1 ～ 5 のいずれか一項に記載の投影光学系において、

前記第 2 結像光学系は、前記複数の透過部材のすべてが石英により形成されている投影光学系。

【請求項 8】

マスクに設けられたパターンを基板に露光する露光装置であって、

前記基板を保持するステージと、

前記パターンを光で照明する照明装置と、

前記光により照明された前記パターンの縮小像を、前記ステージに保持された前記基板上に液体を介して形成する請求項 1 ～ 7 のいずれか一項に記載の投影光学系と、を含む露光装置。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の露光装置において、

前記投影光学系からの前記光の光路に前記液体を供給するための液体供給装置を備える露光装置。

【請求項 10】

マスクに設けられたパターンを基板に露光する露光方法であって、

前記基板をステージにより保持することと、

前記パターンを光で照明することと、

前記光により照明された前記パターンの縮小像を、前記ステージに保持された前記基板上に、請求項 1 ～ 7 のいずれか一項に記載の投影光学系により液体を介して形成することと、を含む露光装置。

【請求項 11】

請求項 10 に記載の露光方法において、

前記投影光学系からの前記光の光路に前記液体を供給することを含む露光方法。

【請求項 12】

請求項 8 または 9 に記載の露光装置を用いて基板にパターンを露光することと、

前記パターンが露光された前記基板を現像することと、

を含むデバイス製造方法。

【請求項 13】

請求項 8 または 9 に記載の露光方法を用いて基板にパターンを露光することと、

前記パターンが露光された前記基板を現像することと、
を含むデバイス製造方法。

フロントページの続き

(72)発明者 大村 泰弘

東京都千代田区有楽町一丁目12番1号 株式会社ニコン内

Fターム(参考) 2H087 KA21 LA27 LA29 NA14 RA05 RA12 RA13 RA32 RA42 RA45

TA01 TA04 UA03 UA04 UA09

5F146 BA05 BA11 CB03 CB12 CB45