

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3938040号

(P3938040)

(45) 発行日 平成19年6月27日(2007.6.27)

(24) 登録日 平成19年4月6日(2007.4.6)

(51) Int. Cl.		F I		
GO2B	17/00	(2006.01)	GO2B	17/00 A
GO3F	7/20	(2006.01)	GO3F	7/20 521
HO1L	21/027	(2006.01)	HO1L	21/30 517
			HO1L	21/30 531A

請求項の数 18 (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2002-378776 (P2002-378776)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成14年12月27日(2002.12.27)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2004-214242 (P2004-214242A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成16年7月29日(2004.7.29)	(74) 代理人	100110412
審査請求日	平成16年9月28日(2004.9.28)		弁理士 藤元 亮輔
審判番号	不服2006-13574 (P2006-13574/J1)	(72) 発明者	寺沢 千明
審判請求日	平成18年6月28日(2006.6.28)		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
		合議体	
		審判長	江塚 政弘
		審判官	森内 正明
		審判官	辻 徹二

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 反射型投影光学系、露光装置及びデバイス製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

物体面上のパターンを像面上に縮小投影する反射型投影光学系であって、

前記物体面側から前記像面側にかけて、第1の反射鏡、第2の反射鏡、第3の反射鏡、第4の反射鏡、第5の反射鏡、第6の反射鏡、第7の反射鏡、第8の反射鏡の順に光を反射するような8枚の反射鏡が配置され、前記第6の反射鏡から前記第7の反射鏡の光路の間に中間像を形成し、

主光線の各反射鏡における光軸からの高さ方向位置について、前記第1の反射鏡から前記第4の反射鏡までの変位方向と、前記第5の反射鏡から前記第8の反射鏡までの変位方向を逆方向とし、

前記第2の反射鏡から前記第5の反射鏡までを順次、凹面鏡、凸面鏡、凹面鏡、凹面鏡とし、前記第7の反射鏡及び前記第8の反射鏡をそれぞれ、凸面鏡、凹面鏡とし、

前記第2の反射鏡を最も前記物体面側に配置しており、

前記第5の反射鏡から前記第6の反射鏡までの距離を d_6 、前記第7の反射鏡から前記第8の反射鏡までの距離を d_8 としたとき、

$$0.75 < |d_6 / d_8| < 1.2$$

を満足することを特徴とする反射型投影光学系。

【請求項2】

前記第1の反射鏡から前記第6の反射鏡までの前記光の有効光線反射面において、子午切断面上の最大入射角が45度以下であることを特徴とする請求項1記載の反射型投影光

学系。

【請求項 3】

前記物体面から前記第 1 の反射鏡までの距離を d_1 、前記第 1 の反射鏡から前記第 2 の反射鏡までの距離を d_2 としたとき、

$$0.45 < |d_2 / d_1| < 0.8$$

を満足することを特徴とする請求項 1 記載の反射型投影光学系。

【請求項 4】

前記第 6 の反射鏡から前記第 7 の反射鏡までの距離を d_7 、前記第 7 の反射鏡から前記第 8 の反射鏡までの距離を d_8 としたとき、

$$1.0 < |d_7 / d_8| < 1.2$$

を満足することを特徴とする請求項 1 記載の反射型投影光学系。

10

【請求項 5】

前記第 2 の反射鏡から前記第 3 の反射鏡までの距離を d_3 、前記第 3 の反射鏡から前記第 4 の反射鏡までの距離を d_4 としたとき、

$$0.3 < |d_4 / d_3| < 1.0$$

を満足することを特徴とする請求項 1 記載の反射型投影光学系。

【請求項 6】

結像範囲のうち、前記第 4 の反射鏡から前記第 5 の反射鏡へ向かう最大像高の主光線の、光軸となす角度（度）は、前記第 5 の反射鏡での主光線位置を基点とする前記光軸との平行線から時計回りを正、反時計回りを負として、

$$-5.0 < \quad < 10.0$$

であることを特徴とする請求項 1 記載の反射型投影光学系。

20

【請求項 7】

前記第 6 の反射鏡は、凸面鏡であることを特徴とする請求項 1 記載の反射型投影光学系。

【請求項 8】

前記第 6 の反射鏡の光軸位置を物理的に前記第 1 の反射鏡の光軸位置より像面側に配置したことを特徴とする請求項 1 乃至 8 のうちいずれか一項記載の反射型投影光学系。

【請求項 9】

前記第 2 の反射鏡の位置を開口絞り位置としたことを特徴とする請求項 1 乃至 9 のうち

30

いずれか一項記載の反射型投影光学系。

【請求項 10】

前記 8 枚の反射鏡は、基本的に共軸系をなすように配置したことを特徴とする請求項 1 記載の投影光学系。

【請求項 11】

前記 8 枚の反射鏡のうち少なくとも 1 枚は極紫外線光を反射する多層膜を有する非球面ミラーであることを特徴とする請求項 1 記載の反射型投影光学系。

【請求項 12】

前記 8 枚の反射鏡はすべて極紫外線光を反射する多層膜を有する非球面ミラーであることを特徴とする請求項 1 記載の反射型投影光学系。

40

【請求項 13】

前記光は、波長 20 nm 以下の極紫外線であることを特徴とする請求項 1 記載の反射型投影光学系。

【請求項 14】

前記投影光学系の開口数 NA が 0.3 以上であることを特徴とする請求項 1 記載の反射型投影光学系。

【請求項 15】

前記像面側がテレセントリックであることを特徴とする請求項 1 記載の反射型投影光学系。

【請求項 16】

50

物体面上のパターンを像面上に縮小投影する反射型投影光学系であって、

前記物体面側から前記像面側にかけて、第1の反射鏡、第2の反射鏡、第3の反射鏡、第4の反射鏡、第5の反射鏡、第6の反射鏡、第7の反射鏡、第8の反射鏡の順に光を反射するような8枚の反射鏡が配置され、前記第6の反射鏡から前記第7の反射鏡の光路の間に中間像を形成し、

主光線の各反射鏡における光軸からの高さ方向位置について、前記第1の反射鏡から前記第4の反射鏡までの変位方向と、前記第5の反射鏡から前記第8の反射鏡までの変位方向を逆方向とし、

前記第2の反射鏡から前記第5の反射鏡までを順次、凹面鏡、凸面鏡、凹面鏡、凹面鏡とし、前記第7の反射鏡及び前記第8の反射鏡をそれぞれ、凸面鏡、凹面鏡とし、

10

前記第2の反射鏡を最も前記物体面側に配置しており、

前記第6の反射鏡から前記第7の反射鏡までの距離を d_7 、前記第7の反射鏡から前記第8の反射鏡までの距離を d_8 としたとき、

$$1.0 < |d_7 / d_8| < 1.2$$

を満足することを特徴とする反射型投影光学系。

【請求項17】

請求項1乃至16のうちいずれか一項記載の反射型投影光学系と、

前記物体面上にマスクのパターンを位置付けるべく当該マスクを保持するステージと、

前記像面上に感光層を位置付けるべく被処理体を保持するステージと、

前記反射型投影光学系の円弧状の視野に対応する円弧状のEUV光により前記マスクを照明する照明装置と、

20

前記EUV光で前記マスクを照明する状態で前記各ステージを同期して走査する手段とを有することを特徴とする露光装置。

【請求項18】

請求項17記載の露光装置を用いて被処理体を露光するステップと、

露光された前記被処理体に所定のプロセスを行うステップとを有することを特徴とするデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

30

本発明は、一般には、露光装置に係り、特に、紫外線や極端紫外線（EUV：Extreme ultraviolet）光を利用して半導体ウェハ用の単結晶基板、液晶ディスプレイ（LCD）用のガラス基板などの被処理体を投影露光する反射型投影光学系、露光装置及びデバイス製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年の電子機器の小型化及び薄型化の要請から、電子機器に搭載される半導体素子への微細化への要求はますます高くなっている。例えば、マスクパターンに対するデザインルールは、ライン・アンド・スペース（L&S） $0.1\mu\text{m}$ 以下の寸法像を広範囲に形成することが要求され、今後は更に 80nm 以下の回路パターン形成に移行することが予想される。L&Sは、露光においてラインとスペースの幅が等しい状態でウェハ上に投影された像であり、露光の解像度を示す尺度である。

40

【0003】

半導体製造用の代表的な露光装置である投影露光装置は、マスク又はレチクル（本出願ではこれらの用語を交換可能に使用する）上に描画されたパターンをウェハに投影露光する投影光学系を備えている。投影露光装置の解像度（正確に転写できる最小寸法） R は、光源の波長と投影光学系の開口数（NA）を用いて次式で与えられる。

【0004】

【数1】

$$R = k_1 \times \frac{\lambda}{NA}$$

10

【0005】

従って、波長を短くすればするほど、及び、NAを上げれば上げるほど、解像度はよくなる。近年では、解像度はより小さい値を要求され、NAを上げるだけではかかる要求を満足するには限界となっており、短波長化により解像度の向上を見込んでいる。現在では、露光光源は、KrFエキシマレーザー（波長約248nm）及びArFエキシマレーザー（波長約193nm）からF₂レーザー（波長約157nm）に移行しており、更には、EUV（extreme ultraviolet）光の実用化も進んでいる。

【0006】

しかし、光の短波長化が進むと光が透過する硝材に限られてしまうために屈折素子、即ち、レンズを多用することは難しく、投影光学系に反射素子、即ち、ミラーを含めることが有利になる。更に、露光光がEUV光になると使用できる硝材は存在しなくなり、投影光学系にレンズを含めることは不可能となる。そこで、投影光学系をミラーのみで構成する反射型縮小投影光学系が提案されている。

20

【0007】

反射型縮小投影光学系においては、ミラーにおける反射率を高めるために反射した光が強め合うようミラーには多層膜が形成されているが、光学系全体での反射率を高めるためにできるだけ少ない枚数で構成することが望ましい。

【0008】

また、EUV露光装置に要求される線幅（解像度）が従来の値より小さくなってきたためNAを上げる必要があるが（例えば、波長13.5nmにおいてNA0.2）、従来の3枚乃至4枚のミラーでは波面収差を減らすことが困難である。そこで、波面収差補正の自由度を増やすためにもミラーを非球面化すると共にミラーの枚数を増やす必要が生じてきた。

30

【0009】

例えば、ミラーの数を6枚程度で構成する反射型縮小投影光学系（以下、本出願では、かかる光学系を6枚ミラー系と表現する場合もある）が開示されている（例えば、特許文献1及び2参照）。なお、波長が100nm乃至300nmの紫外線光に対しての例ではあるが、6枚のミラーもしくは8枚のミラーを使用したNA0.45程度の反射型縮小投影光学系が開示されている（例えば、特許文献3参照）。また、8枚のミラーを使用した別の例として、NA0.25程度の反射型縮小投影光学系が開示されている（例えば、特許文献4参照）。

40

【0010】

【特許文献1】

特開2000-100694号公報

【特許文献2】

特開2000-235144号公報

【特許文献3】

特開平10-90602号公報

【特許文献4】

50

特開2002-116382号公報

【0011】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、特許文献1において提案されている6枚ミラー系の反射型投影光学系によれば、第1の反射鏡の頂点近傍にて主光線を反射させているため、物体側テレセン度（第1の反射鏡に入射する主光線と光軸と成す角度）が大きくなる傾向がある。従って、走査露光時において、物体面位置の光軸方向の相対位置にずれが生じた場合、像面での倍率や歪曲収差の変化を起こしやすく結像性能を劣化させてしまうという問題を有している。

【0012】

また、 $NA0.16$ 程度までは対応できるが、6枚ミラー系では収差補正上の自由度が不足しており、更なる高NA化（ $NA0.5$ 程度）に対応するのが困難になってくるとい
10
問題を有している。それは、中間像から像面までの第2の反射系に4枚もの反射鏡を有している
ので、高NA化により第2の反射光学系中の光束幅が大きくなると、反射鏡を、かかる
反射鏡での反射光以外の光線と干渉させずに配置することが難しくなるからである。
第2の反射光学系中の主光線高、特に、第3の反射鏡、第4の反射鏡の主光線高を高く
できれば干渉させずに配置できる可能性もあるが、第2の反射鏡が凹面鏡であること
から、それも難しい。唯一、物体高を高くすることにより、高NA化に対応する方法も
考えられるが、広角化することは収差補正上の困難さが著しく、また反射鏡の径も増
大してしまう。

【0013】

更に、物体面と反射鏡の最小距離が20mm乃至30mm程度と短いために、物体面をス
キャンするためのステージ機構のスペースを確保することが困難である。従って、照明系
を、その光路が投影系の光軸を横切るように構成する場合には、照明光束とステージ機
構が干渉してしまうという問題も有している。
20

【0014】

次に、特許文献2において提案されている6枚ミラー系の反射型投影光学系によれば、物
体面と反射鏡の最小距離が80mm乃至85mm程度と短いために、やはり、物体面をス
キャンするためのステージ機構のスペースを確保することが困難である。従って、照明系
を、その光路が投影系の光軸を横切るように構成する場合には、照明光束とステージ機
構が干渉してしまうという問題も有している。
30

【0015】

また、更なる高NA化（ $NA0.5$ 程度）を達成しようにも、まず6枚ミラー系であるの
で、収差補正上の自由度が不足しており十分な性能を得られない。更に、高NA化に際し
ては、第5のミラー、第6のミラーにおいて光線との干渉を避けるために第4のミラー、
第5のミラー間の主光線の角度（光軸となす角）を大きくする必要が生じ、このとき第4
のミラーの有効径が増大してしまうという問題も有している。

【0016】

特許文献3において提案されている投影光学系によれば、性能が明示されていない上に、
波長が100nm乃至300nmの紫外線光に対する光学系である。従って、かかる光学系
をEUV光に使用するには、収差を1/10程度に低減しなければならず収差補正上困
難である。
40

【0017】

また、6枚ミラー系では、上述した特許文献2と同様の問題も有し、図11に示される8
枚ミラー系においても問題がある。同公報においては、かかる光学系を $NA0.5$ の光学系
としているが、実測では、 $NA0.4$ 程度であり、また、反射表面1100及び1200
では入射角が、各々56度及び54度程度と大きくなってしまっていることである。こ
れは、反射表面1300が凹面鏡、反射表面1400が凸面鏡で、かかる間に開口絞り1
500を有していることに起因する。物体からの光線が正パワーの反射表面1300にて
大きく光軸方向へ反射され、開口絞り1500を通り、次に負パワーの反射表面1400
の光軸から下側部分で反射されるために、凸面鏡の反射表面1100への入射角が大き
く
50

になってしまうのである。ここで、図11は、従来の8枚ミラー系の反射型投影光学系1000の概略断面図である。

【0018】

また、反射表面1600から反射表面1700への光束が光軸に近づく方向に反射され、且つ、反射表面1200が反射表面1800よりも像面側に位置していることにより距離X及びYが短くなっている。従って、かかる短い空間を強いパワーで反射させなければならず、反射表面1200への入射角度も大きくなってしまふ。この大きな入射角でのEUV光の使用を仮定した場合、ミラー面上に積層する多層膜の角度特性において好ましくなく、ウェハ面上での照度低下、照度むら、解像度むらを発生してしまふ。更に、ウェハ側テレセン度も大きくなっており、総合的に限界解像の性能を有しているか疑問である。

10

【0019】

特許文献4において提案されている投影光学系によれば、NA0.25程度を8枚ミラー系にて達成している。しかしながら、総じて第4のミラーを最もマスク側に配置している構成のため、第4のミラー径が大型化しやすく、また、図2、図6、図8、図10では光路途中で光線が交差しているために、更に高NA化した場合に光線とミラーが干渉してしまふという問題がある。

【0020】

即ち、EUV光に適したNAが0.25程度より大きい、例えば、NA0.3~0.50程度と高NA化された反射型投影光学系というものは未だ存在していない。

【0021】

そこで、本発明は、8枚の反射鏡を有し、高NA化を達成可能で、優れた結像性能を有する新規な反射型投影光学系、露光装置及びデバイス製造方法を提供することを例示的目的とする。

20

【0022】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明の一側面としての反射型投影光学系は、物体面上のパターンを像面上に縮小投影する反射型投影光学系であって、前記物体面側から前記像面側にかけて、第1の反射鏡、第2の反射鏡、第3の反射鏡、第4の反射鏡、第5の反射鏡、第6の反射鏡、第7の反射鏡、第8の反射鏡の順に光を反射するような8枚の反射鏡が配置され、前記第6の反射鏡から前記第7の反射鏡の光路の間に中間像を形成し、主光線の各反射鏡における光軸からの高さ方向位置について、前記第1の反射鏡から前記第4の反射鏡までの変位方向と、前記第5の反射鏡から前記第8の反射鏡までの変位方向を逆方向とし、前記第2の反射鏡から前記第5の反射鏡までを順次、凹面鏡、凸面鏡、凹面鏡、凹面鏡とし、前記第7の反射鏡及び前記第8の反射鏡をそれぞれ、凸面鏡、凹面鏡とし、前記第2の反射鏡を最も前記物体面側に配置しており、前記第5の反射鏡から前記第6の反射鏡までの距離をd6、前記第7の反射鏡から前記第8の反射鏡までの距離をd8としたとき、 $0.75 < |d6 / d8| < 1.2$

30

を満足することを特徴とする。

本発明の更に別の側面としての反射型投影光学系は、物体面上のパターンを像面上に縮小投影する反射型投影光学系であって、前記物体面側から前記像面側にかけて、第1の反射鏡、第2の反射鏡、第3の反射鏡、第4の反射鏡、第5の反射鏡、第6の反射鏡、第7の反射鏡、第8の反射鏡の順に光を反射するような8枚の反射鏡が配置され、前記第6の反射鏡から前記第7の反射鏡の光路の間に中間像を形成し、主光線の各反射鏡における光軸からの高さ方向位置について、前記第1の反射鏡から前記第4の反射鏡までの変位方向と、前記第5の反射鏡から前記第8の反射鏡までの変位方向を逆方向とし、前記第2の反射鏡から前記第5の反射鏡までを順次、凹面鏡、凸面鏡、凹面鏡、凹面鏡とし、前記第7の反射鏡及び前記第8の反射鏡をそれぞれ、凸面鏡、凹面鏡とし、前記第2の反射鏡を最も前記物体面側に配置しており、前記第6の反射鏡から前記第7の反射鏡までの距離をd7、前記第7の反射鏡から前記第8の反射鏡までの距離をd8としたとき、 $1.0 < |d7 / d8| < 1.2$

40

50

を満足することを特徴とする。

【0023】

本発明の更なる目的又はその他の特徴は、以下添付図面を参照して説明される好ましい実施例によって明らかにされるであろう。

【0024】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して、本発明の一側面としての反射型投影光学系100及び露光装置200について説明する。但し、本発明はこれらの実施例に限定するものではなく、本発明の目的が達成される範囲において、各構成要素が代替的に置換されてもよい。なお、各図において同一の部材については同一の参照符号を付し、重複する説明は省略する。ここで、図1は、本発明の一側面としての反射型投影光学系100の例示的一形態及びその光路を示した概略断面図である。また、図2は、図1に示す反射型投影光学系100の別の形態を示した反射型投影光学系100A及びその光路を示す概略断面図、図3は、図1に示す反射型投影光学系100の別の形態を示した反射型投影光学系100B及びその光路を示す概略断面図である。なお、以下の説明において特に断らない限り、反射型投影光学系100は、反射型投影光学系100A及び100Bを総括するものとする。また、図4は、図1に示す反射型投影光学系100の主光線の光路を示す概略断面図である。

10

【0025】

図1を参照するに、本発明の反射型投影光学系100（以下、単に投影光学系100とする）は、物体面MS（例えば、マスク面）上のパターンを像面W（例えば、基板などの被処理体）上に縮小投影する反射型縮小投影光学系であって、特に、EUV光（例えば、波長13.4nm）に好適な光学系であり、開口数（NA）0.5と従来の反射型縮小投影光学系と比較して超高NAを達成している。

20

【0026】

投影光学系100は、8枚の反射鏡を有し、基本的に、軸外のリング状の物体面MSからの光を反射する順番に、第1の反射鏡110と、第2の反射鏡120（凹面鏡）と、第3の反射鏡130（凸面鏡）と、第4の反射鏡140（凹面鏡）と、第5の反射鏡150（凹面鏡）と、第6の反射鏡160と、第7の反射鏡170（凸面鏡）と、第8の反射鏡180（凹面鏡）とを有し、第1の反射鏡110乃至第6の反射鏡160までの6枚の反射鏡により中間像MIを結像させ、かかる中間像MIを第7の反射鏡170及び第8の反射鏡180の2枚の反射鏡で像面W上に再結像するように構成されている。なお、中間像MI近傍では収差が見られるが、絞っていくと第6の反射鏡160と第7の反射鏡170の間で結像している。

30

【0027】

本発明の投影光学系100は、基本的には、共軸系をなすように配置されており、1本の光軸の回りに軸対称な共軸光学系となっており、開口絞りSTは、第2の反射鏡120の位置に配置される。開口絞りSTの径は、固定であっても可変であってもよい。可変の場合には、開口絞りSTの径を変化させることにより、光学系のNAを変化させることができる。開口絞りSTを可変とすることで、深い焦点深度を得られるなどの長所が得られ、像を安定させることができる。

40

【0028】

このような配置において、本発明の投影光学系100は、まず第2の反射鏡120を正パワーの凹面鏡とし、更に、かかる位置に開口絞りSTを配置することにより、後段の反射鏡（即ち、第3の反射鏡130乃至第8の反射鏡180）における入射角の低減を図っている。

【0029】

また、開口絞り位置である第2の反射鏡120を最もマスク（MS）側に配置しつつ、相対的に第4の反射鏡140の位置に制限を付加することにより、第4の反射鏡140の径の増大を防止している。

【0030】

50

次に、本発明の投影光学系 100 は、図 4 に示すように、正方向の物体面 MS から発した主光線の各反射鏡における光軸からの高さ方向の位置 (P1 乃至 P8) について、第 1 の反射鏡 110 乃至第 4 の反射鏡 140 までは順に、P1、P2、P3、P4 と負の方向 (紙面の下方向) に変位しており、第 5 の反射鏡 150 乃至第 8 の反射鏡 180 までは順に、P5、P6、P7、P8 と正の方向 (紙面の上方向) に変位したことを特徴としている。

【0031】

即ち、第 4 の反射鏡 140 (凹面鏡) と、第 5 の反射鏡 150 (凹面鏡) の間において主光線の角度を小さくし、光軸と略平行な状態を創出することにより、第 4 の反射鏡 140 (凹面鏡) と、第 5 の反射鏡 150 (凹面鏡) の有効径のどちらか一方が突出することなく、同程度の有効径でバランスするようにしている。これはまた、双方の反射鏡における入射角をもバランスさせる要因であり、入射角の増大を低減することにもなっている。

10

【0032】

一般に、反射光学系において高 NA 化を達成しようとする、反射光の光路確保が困難になるため、各反射鏡のパワーを強くするなどして入射角が大きくなっていく。かかる高 NA 化に対して、本発明の投影光学系 100 では、NA0.5 程度と超高 NA を図りつつも、第 1 の反射鏡 110 乃至第 6 の反射鏡 160 までは、入射角を 45 度以下としている。

【0033】

また、ミラー面上に形成する多層膜の特性からすると、入射角は小さいほどよく、好ましくは 30 度以下であることがよい。第 7 の反射鏡 170 (凸面鏡) の入射角については、中間像 MI 近傍の光束と第 8 の反射鏡 180 が干渉しないように光路を確保するために、第 6 の反射鏡 160 乃至第 7 の反射鏡 170 への光線角度を設定する必要があるため、第 7 の反射鏡 170 への入射角が大きくなりやすい。第 8 の反射鏡 180 では、最終的に所望の NA で結像させ、しかも光路確保を容易にする必要から、有効径をできるだけ小さくした大きなパワーを有する凹面鏡とし、等倍に近い倍率関係を有していることと、光線が干渉しない範囲で像高をできるだけ低くしているため、入射角は問題にはならない。なお、NA0.4 又は 0.3 と小さい条件であれば、光路の確保がますます容易となるために、すべての反射面において更に入射角を小さくすることが可能である。

20

【0034】

以上により、本発明の投影光学系 100 では、NA0.5 程度の超高 NA 化を達成可能であり、より好ましくは以下の数式 2 乃至数式 6 で示す条件式を満足するのがよい。

30

【0035】

本発明の投影光学系 100 は、物体面 MS から第 1 の反射鏡 110 までの距離を d_1 、第 1 の反射鏡 110 から第 2 の反射鏡 120 までの距離を d_2 としたとき、以下の数式 2 で示す条件式を満たすことが好ましい。

【0036】

【数 2】

$$0.45 < |d_2/d_1| < 0.8$$

40

【0037】

数式 2 は、物体面 MS、第 1 の反射鏡 110 及び第 2 の反射鏡 120 の位置関係を規定するものである。下限を超えると、物体側のテレセン度が悪化することにより、製造誤差などに起因して物体面 MS が光軸方向に移動した場合、像の大きさが変化したり、歪曲収差へ悪影響を及ぼしたりするのでよくない。上限を超えると、物体面 MS と第 2 の反射鏡 120 との距離が短くなるため、駆動ステージのスペースの確保が難しくなったり、照明系の光路が制限されたりするのでよくない。

【0038】

本発明の投影光学系 100 は、第 6 の反射鏡 160 から第 7 の反射鏡 170 までの距離を d_7 、第 7 の反射鏡 170 から第 8 の反射鏡 180 までの距離を d_8 としたとき、以下の

50

数式 3 で示す条件式を満たすことが好ましい。

【 0 0 3 9 】

【 数 3 】

$$1.0 < |d7/d8| < 1.2$$

【 0 0 4 0 】

数式 3 は、第 6 の反射鏡 1 6 0、第 7 の反射鏡 1 7 0 及び第 8 の反射鏡 1 8 0 の位置関係を規定するものである。下限を超えると、第 6 の反射鏡 1 6 0 が第 8 の反射鏡 1 8 0 よりも像面 W 側に位置することになるので、第 6 の反射鏡 1 6 0 での入射角が増大したり、第 5 の反射鏡 1 5 0 についても像面 W 側の配置空間が限られているため、光線を反射するためには、パワーが大きくなったりして、入射角が大きくなるのでよくない。上限を超えると、第 6 の反射鏡 1 6 0 がより物体面 M S 側へ位置することになるので、光学系を構成する上で第 4 の反射鏡 1 4 0 及び第 5 の反射鏡 1 5 0 の有効径が大きくなってしまいよくない。

10

【 0 0 4 1 】

本発明の投影光学系 1 0 0 は、第 5 の反射鏡 1 5 0 から第 6 の反射鏡 1 6 0 までの距離を d_6 としたとき、第 7 の反射鏡 1 7 0 から第 8 の反射鏡 1 8 0 までの距離 d_8 との間以下の数式 4 で示す条件式を満たすことが好ましい。

20

【 0 0 4 2 】

【 数 4 】

$$0.75 < |d6/d8| < 1.2$$

【 0 0 4 3 】

数式 4 は、第 5 の反射鏡 1 5 0 と第 6 の反射鏡 1 6 0 の距離と、第 7 の反射鏡 1 7 0 と第 8 の反射鏡 1 8 0 の距離との関係を規定するものである。下限を超えると、第 5 の反射鏡 1 5 0 と第 6 の反射鏡 1 6 0 の狭い間隔で光線を反射させねばならず、各々の反射鏡での入射角が大きくなりよくない。上限を超えると、第 5 の反射鏡 1 5 0 及び第 6 の反射鏡 1 6 0 での光路確保が難しくなり、またその有効径が大きくなってしまいよくない。

30

【 0 0 4 4 】

本発明の投影光学系 1 0 0 は、第 2 の反射鏡 1 2 0 から第 3 の反射鏡 1 3 0 までの距離を d_3 、第 3 の反射鏡 1 3 0 から第 4 の反射鏡 1 4 0 までの距離を d_4 としたとき、以下の数式 5 で示す条件式を満たすことが好ましい。

【 0 0 4 5 】

【 数 5 】

$$0.3 < |d4/d3| < 1.0$$

40

【 0 0 4 6 】

数式 5 は、第 2 の反射鏡 1 2 0、第 3 の反射鏡 1 3 0 及び第 4 の反射鏡 1 4 0 の位置関係を規定するものである。下限を超えると、第 3 の反射鏡 1 3 0 と第 4 の反射鏡 1 4 0 の狭い間隔で光線を反射させねばならず、各々の反射鏡での入射角が大きくなるのでよくない。上限を超えると、第 4 の反射鏡 1 4 0 の有効径が大きくなってしまいよくない。好ましくは上限を 0.9 とすればより有効径を小さくすることができる。

【 0 0 4 7 】

本発明の投影光学系 1 0 0 は、結像範囲のうち、第 4 の反射鏡 1 4 0 から第 5 の反射鏡 1

50

50°へ向かう最大像高の主光線の光軸と成す角度を（度）、第5の反射鏡150での主光線位置を基点とする光軸との平行線から時計回りを正、反時計回りを負としたとき、以下の数式6で示す条件式を満たすことが好ましい。

【0048】

【数6】

$$-5.0 < \alpha < 10.0$$

【0049】

数式6は、図4中に示す角度のことであり、第5の反射鏡150での主光線位置Bを基点とした光軸と平行な線分ABに対する角度を規定している。上述したように、上限及び下限のどちらを超えても、第4の反射鏡140及び第5の反射鏡150の有効径のバランスを失することになる。特に、下限を超えると、第4の反射鏡140の有効径の増大を招き、また、第5の反射鏡150及び第6の反射鏡160での光路確保が困難になりよくない。上限を超えると、第5の反射鏡150の有効径の増大を招き、また、第6の反射鏡160の入射角が大きくなりよくない。角度は、以下の数式7で示す条件式を満たすことが更に好ましい。

【0050】

【数7】

$$0 < \alpha < 10.0$$

【0051】

これは、第4の反射鏡140と第5の反射鏡150の間では、光束が収斂しているため、主光線角度は、プラスの値を保持した方が、径のバランスが更によりよくなるからである。

【0052】

更に、本発明の投影光学系100は、第6の反射鏡160の光軸位置を物理的に第1の反射鏡110の光軸位置より像面W側に配置したことにより、反射鏡の配置や鏡筒構造の複雑化を防止している。

【0053】

次に、図2を参照して、図1に示す反射型投影光学系100の別の形態を示した反射型投影光学系100Aについて、投影光学系100と相違する点について主に述べる。投影光学系100Aは、第4の反射鏡140以外の7枚の反射鏡において、光軸中心位置が実際に光軸上に配置されている。従って、7枚の反射鏡の形状を、光軸中心を包含する360度の領域を有した形状とすることができるので、偏芯調整等の製造上の利点となっている。

【0054】

このような構成において、本発明の投影光学系100は、8枚ミラー系であり、超高NAを達成する上で好ましいという長所を有する。また、像面W側の射出光線はテレセントリックになっており、像面Wが光軸方向に移動しても倍率の変化が少なく結像性能の安定に寄与する。

【0055】

更に、投影光学系100は、共軸系をなすように配置されており、光軸を中心としたリング状の像面で収差が補正されるため好ましいという長所を有している。投影光学系100Aは、中間像MIを結像する光学系であり、よりバランスのとれた良好な収差補正を可能にしている。投影光学系100Aのミラータイプは、物体面MSからの主光線の傾きも小さくすることができるので、透過型マスク（型抜きマスク）及び反射型マスクの両方に対

10

20

30

40

50

応可能な光学系となっている。

【0056】

第1の反射鏡110乃至第8の反射鏡180は、上述したような凹面鏡又は凸面鏡から構成される。なお、本発明において、第1の反射鏡110及び第6の反射鏡160は、正負どちらのパワーを有してもよい（即ち、凹面鏡又は凸面鏡のどちらでもよい）。但し、投影光学系100全体として、後述するペッツバル項の和がゼロ又はゼロ近傍となるようにその反射鏡の形状を決定する必要がある。好ましくは、第2の反射鏡120が凹面鏡なので第1の反射鏡110は凸面鏡、第3の反射鏡130が凸面鏡なので第4の反射鏡140は凹面鏡、第5の反射鏡150が凹面鏡なので第6の反射鏡160は凸面鏡、第8の反射鏡180が凹面鏡なので第7の反射鏡170は凸面鏡とすれば、第1の反射鏡110乃至第8の反射鏡180までをペッツバル和が部分的に補正するのでなおよい。

10

【0057】

本発明において、第1の反射鏡110乃至第8の反射鏡180は、上述したように、それぞれ凹面鏡又は凸面鏡より構成され、その反射面が非球面形状を有している。但し、本発明において、第1の反射鏡110乃至第8の反射鏡180は、少なくとも1枚以上が非球面であればよい。しかし、反射鏡を非球面で構成することは収差を補正する上で好ましいという長所を有しており、できるだけ多くの反射鏡（好ましくは、8枚）を非球面で構成するとよい。かかる第1の反射鏡110乃至第8の反射鏡180において、非球面の形状は、数式8に示す一般的な非球面の式で表される。

【0058】

【数8】

$$Z = \frac{ch^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2h^2}} + Ah^4 + Bh^6 + Ch^8 + Dh^{10} + Eh^{12} + Fh^{14} + Gh^{16} + Hh^{18} + Jh^{20} + \dots$$

20

【0059】

数式8において、Zは光軸方向の座標、cは曲率（曲率半径rの逆数）、hは光軸からの高さ、kは円錐係数、A、B、C、D、E、F、G、H、J、・・・は各々、4次、6次、8次、10次、12次、14次、16次、18次、20次、・・・の非球面係数である。

30

【0060】

また、8枚の第1の反射鏡110乃至第8の反射鏡180は、光学系の像面Wを平坦にするためにペッツバル項の和がゼロ近傍、好ましくはゼロになっている。即ち、反射鏡各面の屈折力の和をゼロ近傍にしている。換言すれば、各反射鏡の曲率半径を r_{110} 乃至 r_{180} （添え字は反射鏡の参照番号に対応している）とすると、本発明の第1の反射鏡110乃至第8の反射鏡180は、数式9又は数式10を満たす。

【0061】

【数9】

$$\frac{1}{r_{110}} - \frac{1}{r_{120}} + \frac{1}{r_{130}} - \frac{1}{r_{140}} + \frac{1}{r_{150}} - \frac{1}{r_{160}} + \frac{1}{r_{170}} - \frac{1}{r_{180}} = 0$$

40

【0062】

【数10】

$$\frac{1}{r_{110}} - \frac{1}{r_{120}} + \frac{1}{r_{130}} - \frac{1}{r_{140}} + \frac{1}{r_{150}} - \frac{1}{r_{160}} + \frac{1}{r_{170}} - \frac{1}{r_{180}} \doteq 0$$

50

【0063】

更に、第1の反射鏡110乃至第8の反射鏡180の表面にはEUV光を反射させる多層膜が施されており、かかる多層膜により光を強め合う作用を奏する。本発明の第1の反射鏡110乃至第8の反射鏡180に適用可能な多層膜は、例えば、モリブデン(Mo)層とシリコン(Si)層を反射面に交互に積層したMo/Si多層膜、又は、Mo層とベリリウム(Be)層を反射面に交互に積層したMo/Be多層膜などが考えられる。波長13.4nm付近の波長域を用いた場合、Mo/Si多層膜からなる反射鏡は67.5%の反射率を得ることができ、また、波長11.3nm付近の波長域を用いた場合、Mo/Be多層膜からなる反射鏡では70.2%の反射率を得ることができる。但し、本発明の多層膜は、上記した材料に限定されず、これと同様の作用及び効果を有する多層膜の使用を妨げるものではない。

10

【0064】

ここで、本発明の反射型投影光学系100、100A及び100Bを用いて照明実験した結果について説明する。図1乃至図3において、MSは物体面位置に置かれた反射型マスク、Wは像面位置に置かれたウェハを示している。反射型投影光学系100、100A及び100Bにおいて、波長13.4nm付近のEUV光を放射する図示しない照明系によりマスクMSが照明され、マスクMSからの反射EUV光が、第1の反射鏡110、第2の反射鏡120(凹面鏡)、第3の反射鏡130(凸面鏡)、第4の反射鏡140(凹面鏡)、第5の反射鏡150(凹面鏡)、第6の反射鏡160、第7の反射鏡170(凸面鏡)、第8の反射鏡(凹面鏡)の順に反射し、像面位置に置かれたウェハW上に、マスク

20

パターンの縮小像を形成している。なお、図1に示す反射型投影光学系100において、NA=0.50、全長=1330mm、縮小倍率=1/5倍、物高=285mm乃至290mm、像高=57mm乃至58mmの1.0mm幅の円弧状像面である。ここで、図1の反射型投影光学系100の数値(曲率半径、面間隔、非球面係数、条件式の値など)を表1に示す。また、図5に、図1の反射型投影光学系100の収差図を示す。

【0065】

【表1】

反射鏡番号	曲率半径	面間隔		
物体面 (MS)	∞	883.58485	d1	
反射鏡 110	163266.04958	-692.98779	d2	
反射鏡 120	1181.80828	17.92655	d3 (=634.14081)	
絞り (S T)	∞	625.21426		
反射鏡 130	358.74702	-203.92789	d4	
反射鏡 140	883.55856	581.06761	d5	
反射鏡 150	-723.01688	-247.73207	d6	
反射鏡 160	-702.14261	327.72165	d7	
反射鏡 170	539.31155	-290.81170	d8	
反射鏡 180	376.73249	330.81170		
像面 (W)	∞			
非球面係数	k	A	B	C
反射鏡 110	-3.9998	7.08463E-10	-3.34178E-15	2.26899E-20
反射鏡 120	1.49768	-1.45489E-10	-3.35068E-16	-1.40824E-21
反射鏡 130	-0.94917	2.92201E-9	3.54949E-14	7.05051E-20
反射鏡 140	-0.38700	2.15931E-11	9.38093E-16	-1.09193E-21
反射鏡 150	-0.51003	1.79927E-10	1.48258E-16	4.96882E-21
反射鏡 160	-2.05871	5.70806E-9	-5.76999E-14	6.93548E-19
反射鏡 170	9.90823	-3.34740E-10	1.34731E-13	-3.13461E-18
反射鏡 180	0.15422	-1.54836E-10	-8.21875E-16	-4.58847E-21
	D	E	F	G
反射鏡 110	-1.14365E-25	-5.97060E-31	1.73108E-35	-1.18400E-40
反射鏡 120	1.41354E-27	-4.77486E-31	5.95018E-36	-7.17698E-41
反射鏡 130	7.34271E-24	-1.06893E-28	2.55011E-33	-1.72612E-38
反射鏡 140	6.32962E-27	-9.52122E-33	4.92155E-39	3.79060E-44
反射鏡 150	1.90325E-27	-7.14255E-32	4.10891E-37	-3.15996E-43
反射鏡 160	8.47769E-25	-2.65715E-28	4.59473E-33	-2.61818E-38
反射鏡 170	2.30514E-22	-8.90541E-26	1.05391E-29	-7.01036E-34
反射鏡 180	-3.61962E-26	1.18804E-31	-5.81515E-36	3.05021E-41
反射鏡番号	最大入射角 (度)			
反射鏡 110	16.0			
反射鏡 120	11.3			
反射鏡 130	29.5			
反射鏡 140	29.5			

【 0 0 6 6 】

表 1 を参照するに、すべての反射鏡のうち最大入射角は、第 6 の反射鏡 1 6 0 での 4 2 度であり、8 枚ミラー系の従来例より 1 0 度以上も小さくなっていることがわかる。また、図 5 を参照するに、ほぼ無収差状態に補正されていることがわかる。

【 0 0 6 7 】

図 1 に示す反射型投影光学系 1 0 0 の製造誤差を含まない収差 (像高の数点で計算) は、

10

20

30

40

50

波面収差 = 0.008 rms、|歪曲最大値| = 2.4 nmであり、NA = 0.50と超高NA化がなされたにもかかわらず、波長13.4 nmでのdiffraction limited (回折限界) な光学系となっている。

【0068】

一方、図2に示す反射型投影光学系100Aにおいて、NA = 0.50、全長 = 1156 mm、縮小倍率 = 1/5倍、物高 = 285 mm乃至290 mm、像高 = 57 mm乃至58 mmの1.0 mm幅の円弧状像面である。ここで、図2の反射型投影光学系100Aの数値(曲率半径、面間隔、非球面係数、条件式の値など)を表2に示す。また、図6に、図2の反射型投影光学系100Aの収差図を示す。

【0069】

【表2】

反射鏡番号	曲率半径	面間隔		
物体面 (MS)	∞	726.20511		d1
反射鏡 110	5216.71979	-561.83308		d2
反射鏡 120	963.67601	34.67002		d3 (=492.55137)
絞り (ST)	∞	457.88135		
反射鏡 130	376.09665	-309.88006		d4
反射鏡 140	997.64152	782.34836		d5
反射鏡 150	-1255.70705	-382.46830		d6
反射鏡 160	-2177.92776	369.47983		d7
反射鏡 170	530.05905	-344.47983		d8
反射鏡 180	435.65184	384.47983		
像面 (W)	∞			
非球面係数	k	A	B	C
反射鏡 110	-3.65466	1.63073E-9	-1.49576E-14	1.52573E-19
反射鏡 120	1.16489	-1.94962E-10	-4.64356E-16	-1.30892E-21
反射鏡 130	-1.04946	3.47277E-9	2.49462E-14	1.16196E-19
反射鏡 140	-0.34382	2.19815E-10	1.67568E-16	-1.14145E-23
反射鏡 150	2.73373	4.71206E-10	5.17335E-16	3.99300E-21
反射鏡 160	9.03849	5.75314E-9	-8.39497E-14	7.82903E-19
反射鏡 170	8.71390	-2.62883E-9	8.15892E-14	-2.23847E-18
反射鏡 180	0.16213	-1.35593E-10	-6.21776E-16	-2.92087E-21
	D	E	F	G
反射鏡 110	-1.38647E-24	4.49607E-30	1.12939E-34	-1.44006E-39
反射鏡 120	-3.35534E-27	-5.36808E-31	5.31982E-36	-1.31204E-40
反射鏡 130	4.83280E-24	-1.10087E-28	3.06869E-33	-2.95007E-38
反射鏡 140	8.62662E-28	-2.11861E-33	4.59815E-39	-3.21797E-45
反射鏡 150	-1.09786E-26	2.71956E-32	8.53382E-38	-1.60618E-43
反射鏡 160	8.62164E-24	-2.70094E-28	1.39208E-33	6.31182E-39
反射鏡 170	9.54626E-23	-2.94405E-26	3.14556E-30	-1.81432E-34
反射鏡 180	-1.88161E-26	2.05434E-32	-1.64918E-36	4.22940E-42
反射鏡番号	最大入射角 (度)			
反射鏡 110	18.4			
反射鏡 120	11.4			
反射鏡 130	26.6			
反射鏡 140	23.1			

【0070】

表2を参照するに、すべての反射鏡のうち最大入射角は、第7の反射鏡170での32.3度であり、8枚ミラー系の従来例より20度以上も小さくなっていることがわかる。また、図6を参照するに、ほぼ無収差状態に補正されていることがわかる。

【0071】

図2に示す反射型投影光学系100Aの製造誤差を含まない収差(像高の数点で計算)は、波面収差 = 0.015 rms、|歪曲最大値| = 1.0 nmであり、NA = 0.50

10

20

30

40

50

と超高NA化がなされたにもかかわらず、波長13.4nmでのdiffraction limited(回折限界)な光学系となっている。

【0072】

更に、図3に示す反射型投影光学系100Bにおいて、 $NA = 0.50$ 、全長 = 1315 mm、縮小倍率 = 1/5倍、物高 = 285 mm乃至290 mm、像高 = 57 mm乃至58 mmの1.0 mm幅の円弧状像面である。ここで、図3の反射型投影光学系100Bの数値(曲率半径、面間隔、非球面係数、条件式の値など)を表3に示す。また、図7に、図3の反射型投影光学系100Bの収差図を示す。

【0073】

【表3】

反射鏡番号	曲率半径	面間隔		
物体面 (MS)	∞	800.00000	d1	
反射鏡 110	-6596.61807	-400.00000	d2	
反射鏡 120	944.36675	10.40623	d3 (=388.01785)	
絞り (ST)	∞	377.61162		
反射鏡 130	376.68188	-317.25435	d4	
反射鏡 140	905.87411	713.54887	d5	
反射鏡 150	-1272.87295	-306.29452	d6	
反射鏡 160	-1828.76691	397.11186	d7	
反射鏡 170	478.53394	-372.11186	d8	
反射鏡 180	464.15665	412.11186		
像面 (W)	∞			
非球面係数	k	A	B	C
反射鏡 110	4.56738	1.83244E-9	-2.01836E-14	2.56470E-19
反射鏡 120	1.22586	-2.12071E-10	-1.48973E-15	5.31630E-21
反射鏡 130	-1.35020	2.68788E-9	3.43817E-14	1.36334E-19
反射鏡 140	-0.48972	8.95669E-11	2.34393E-16	3.44970E-22
反射鏡 150	2.27002	4.31614E-10	1.35068E-15	4.58111E-21
反射鏡 160	8.85971	5.79266E-9	-8.25896E-14	6.96590E-19
反射鏡 170	7.36115	-5.82425E-9	1.23430E-13	-3.94589E-18
反射鏡 180	0.16294	-1.23739E-10	-4.85845E-16	-2.18713E-21
	D	E	F	G
反射鏡 110	-3.00945E-24	1.84741E-29	9.04302E-35	-1.71018E-39
反射鏡 120	-5.41251E-26	-9.18186E-30	1.91856E-34	-3.14390E-39
反射鏡 130	-5.77798E-24	2.39984E-28	-2.44927E-33	1.61257E-38
反射鏡 140	1.07561E-28	-2.62589E-33	1.25181E-38	-1.20242E-44
反射鏡 150	-1.23676E-25	1.30469E-30	-5.88016E-36	1.04386E-41
反射鏡 160	7.30088E-24	-2.21642E-28	1.80368E-33	-4.78533E-39
反射鏡 170	-2.87637E-22	3.97720E-26	-2.60325E-30	4.32622E-35
反射鏡 180	-9.32557E-27	-6.41787E-32	1.46025E-37	-3.62381E-42
反射鏡番号	最大入射角 (度)			
反射鏡 110	18.7			
反射鏡 120	15.5			
反射鏡 130	30.0			
反射鏡 140	21.9			

【 0 0 7 4 】

表 3 を参照するに、すべての反射鏡のうち最大入射角は、第 7 の反射鏡 1 7 0 での 3 1 . 6 度であり、8 枚ミラー系の従来例より 2 0 度以上も小さくなっていることがわかる。また、図 7 を参照するに、ほぼ無収差状態に補正されていることがわかる。

【 0 0 7 5 】

図 3 に示す反射型投影光学系 1 0 0 B の製造誤差を含まない収差 (像高の数点で計算) は、波面収差 = 0 . 0 2 6 r m s 、 | 歪曲最大値 | = 1 . 5 n m であり、NA = 0 . 5 0

10

20

30

40

50

と超高NA化がなされたにもかかわらず、波長13.4nmでのdiffraction limited(回折限界)な光学系となっている。

【0076】

以上のように、本発明の反射型投影光学系100は、EUVの波長でNAを0.50程度と従来にない超高NAながら回折限界の性能を達成し、且つ、反射鏡への最大入射角度も10度乃至20度以上小さくなっている。

【0077】

以下、図8を参照して、本発明の反射型投影光学系100を適用した露光装置200について説明する。図8は、反射型投影光学系100を有する露光装置200を示す概略構成図である。本発明の露光装置200は、露光用の照明光としてEUV光(例えば、波長13.4nm)を用いて、ステップ・アンド・スキャン方式の露光を行う投影露光装置である。

10

【0078】

図8を参照するに、露光装置200は、照明装置210と、マスクMSと、マスクMSを載置するマスクステージ220と、反射型投影光学系100と、被処理体Wと、被処理体Wを載置するウェハステージ230と、制御部240とを有する。制御部240は、照明装置210、マスクステージ220及びウェハステージ230に制御可能に接続されている。

【0079】

また、図8には図示しないが、EUV光は大気に対する透過率が低いため、少なくともEUV光が通る光路は真空雰囲気であることが好ましい。なお、図8において、X、Y、Zは3次元空間を示し、XY平面の法線方向をZ方向としている。

20

【0080】

照明装置210は、反射型投影光学系100の円弧状の視野に対応する円弧状のEUV光(例えば、波長13.4nm)によりマスクMSを照明する照明装置であって、図示しない光源と、照明光学系より構成される。なお、照明装置210を構成する光源及び照明光学系は当業界で周知のいかなる技術をも適用可能であり、本明細書での詳細な説明は省略する。例えば、照明光学系は、集光光学系、オプティカルインテグレーター、開口絞り、ブレード等を含み、当業者が想達し得るいかなる技術も適用可能である。

【0081】

マスクMSは、反射型又は透過型マスクで、その上には転写されるべき回路パターン(又は像)が形成され、マスクステージ220に支持及び駆動される。マスクMSから発せられた回折光は、反射型投影光学系100で反射されて被処理体W上に投影される。マスクMSと被処理体Wとは、光学的に共役の関係に配置される。露光装置200は、ステップ・アンド・スキャン方式の露光装置であるため、マスクMSと被処理体Wを走査することによりマスクMSのパターンを被処理体W上に縮小投影する。

30

【0082】

マスクステージ220は、マスクMSを支持して図示しない移動機構に接続されている。マスクステージ220は、当業界周知のいかなる構成をも適用することができる。図示しない移動機構はリニアモーターなどで構成され、制御部240に制御されながら少なくともY方向にマスクステージ220を駆動することでマスクMSを移動することができる。露光装置200は、マスクMSと被処理体Wを制御部240によって同期した状態で走査する。

40

【0083】

反射型投影光学系100は、マスクMS面上のパターンを像面上に縮小投影する反射型光学系である。反射型投影光学系100は、上述した通りのいかなる形態をも適用可能であり、ここでの詳細な説明は省略する。なお、図8では、図1に示す反射型投影光学系100を使用するが、かかる形態は例示的であり本発明はこれに限定されない。

【0084】

被処理体Wは、本実施形態ではウェハであるが、液晶基板その他の被処理体を広く含む。

50

被処理体Wには、フォトリソが塗布されている。

【0085】

ウェハステージ230は、被処理体Wを支持する。ウェハステージ230は、例えば、リニアモーターを利用してXYZ方向に被処理体Wを移動する。マスクMSと被処理体Wは、制御部240により制御され同期して走査される。また、マスクステージ220とウェハステージ230の位置は、例えば、レーザー干渉計などにより監視され、両者は一定の速度比率で駆動される。

【0086】

制御部240は、図示しないCPU、メモリを有し、露光装置200の動作を制御する。制御部240は、照明装置210、マスクステージ220（即ち、マスクステージ220の図示しない移動機構）、ウェハステージ230（即ち、ウェハステージ230の図示しない移動機構）と電氣的に接続されている。CPUは、MPUなど名前の如何を問わずいかなるプロセッサも含み、各部の動作を制御する。メモリは、ROM及びRAMより構成され、露光装置200を動作するファームウェアを格納する。

10

【0087】

露光において、照明装置210から射出されたEUV光はマスクMSを照明し、マスクMS面上のパターンを被処理体W面上に結像する。本実施例において、像面は円弧状（リング状）の像面となり、マスクMSと被処理体Wを縮小倍率比の速度比でスキャンすることにより、マスクMSの全面を露光する。

【0088】

次に、図9及び図10を参照して、露光装置200を利用したデバイス製造方法の実施例を説明する。図9は、デバイス（ICやLSIなどの半導体チップ、LCD、CCD等）の製造を説明するためのフローチャートである。ここでは、半導体チップの製造を例に説明する。ステップ1（回路設計）では、デバイスの回路設計を行う。ステップ2（マスク製作）では、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。ステップ3（ウェハ製造）では、シリコンなどの材料を用いてウェハを製造する。ステップ4（ウェハプロセス）は前工程と呼ばれ、マスクとウェハを用いてリソグラフィ技術によってウェハ上に実際の回路を形成する。ステップ5（組み立て）は後工程と呼ばれ、ステップ4によって作成されたウェハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。ステップ6（検査）では、ステップ5で作成された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テストなどの検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷（ステップ7）される。

20

30

【0089】

図10は、ステップ4のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。ステップ11（酸化）では、ウェハの表面を酸化させる。ステップ12（CVD）では、ウェハの表面に絶縁膜を形成する。ステップ13（電極形成）では、ウェハ上に電極を蒸着などによって形成する。ステップ14（イオン打ち込み）では、ウェハにイオンを打ち込む。ステップ15（レジスト処理）では、ウェハに感光剤を塗布する。ステップ16（露光）では、露光装置200によってマスクの回路パターンをウェハに露光する。ステップ17（現像）では、露光したウェハを現像する。ステップ18（エッチング）では、現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ19（レジスト剥離）では、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行うことによってウェハ上に多重に回路パターンが形成される。かかるデバイス製造方法によれば、従来よりも高品位のデバイスを製造することができる。このように、露光装置200を使用するデバイス製造方法、並びに結果物としてのデバイスも本発明の一側面を構成する。

40

【0090】

以上、本発明の好ましい実施例について説明したが、本発明はこれらの実施例に限定されないことはいうまでもなく、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。例えば、本実施例の反射型投影光学系は、共軸系の回転対称非球面としているが、必ずしもこ

50

れに限定する必要はなく、回転非対称非球面としてもよい。また、収差補正上又は収差調整上、反射型投影光学系の各反射鏡が完全に共軸系となるように配置される必要はなく、若干の偏芯をさせて収差を改善してもよい。更に、本発明は、ArFエキシマレーザーやF₂レーザーなどのEUV光以外の波長200nm以下の紫外線用の反射型投影光学系として用いることもでき、大画面をスキャン露光する露光装置にもスキャンしない露光をする露光装置にも適用可能である。

【0091】

本出願は、更に以下の事項を開示する。

【0092】

〔実施態様1〕 物体面上のパターンを像面上に縮小投影する反射型投影光学系であって 10

、
前記物体面側から前記像面側にかけて、第1の反射鏡、第2の反射鏡、第3の反射鏡、第4の反射鏡、第5の反射鏡、第6の反射鏡、第7の反射鏡、第8の反射鏡の順に光を反射するような8枚の反射鏡が配置され、前記第6の反射鏡から前記第7の反射鏡の光路の間に中間像を形成し、

主光線の各反射鏡における光軸からの高さ方向位置について、前記第1の反射鏡から前記第4の反射鏡までの変位方向と、前記第5の反射鏡から前記第8の反射鏡までの変位方向を逆方向とし、

前記第2の反射鏡から前記第5の反射鏡までを順次、凹面鏡、凸面鏡、凹面鏡、凹面鏡とし、前記第7の反射鏡及び前記第8の反射鏡をそれぞれ、凸面鏡、凹面鏡とし、 20
前記第2の反射鏡を最も前記物体面側に配置したことを特徴とする反射型投影光学系。

【0093】

〔実施態様2〕 前記第1の反射鏡から前記第6の反射鏡までの前記光の有効光線反射面において、子午切断面上の最大入射角が45度以下であることを特徴とする実施態様1記載の反射型投影光学系。

【0094】

〔実施態様3〕 前記物体面から前記第1の反射鏡までの距離をd₁、前記第1の反射鏡から前記第2の反射鏡までの距離をd₂としたとき、

$$0.45 < |d_2 / d_1| < 0.8$$

を満足することを特徴とする実施態様1記載の反射型投影光学系。 30

【0095】

〔実施態様4〕 前記第6の反射鏡から前記第7の反射鏡までの距離をd₇、前記第7の反射鏡から前記第8の反射鏡までの距離をd₈としたとき、

$$1.0 < |d_7 / d_8| < 1.2$$

を満足することを特徴とする実施態様1記載の反射型投影光学系。

【0096】

〔実施態様5〕 前記第5の反射鏡から前記第6の反射鏡までの距離をd₆、前記第7の反射鏡から前記第8の反射鏡までの距離をd₈としたとき、

$$0.75 < |d_6 / d_8| < 1.2$$

を満足することを特徴とする実施態様1記載の反射型投影光学系。 40

【0097】

〔実施態様6〕 前記第2の反射鏡から前記第3の反射鏡までの距離をd₃、前記第3の反射鏡から前記第4の反射鏡までの距離をd₄としたとき、

$$0.3 < |d_4 / d_3| < 1.0$$

を満足することを特徴とする実施態様1記載の反射型投影光学系。

【0098】

〔実施態様7〕 結像範囲のうち、前記第4の反射鏡から前記第5の反射鏡へ向かう最大像高の主光線の、光軸となす角度（度）は、前記第5の反射鏡での主光線位置を基点とする前記光軸との平行線から時計回りを正、反時計回りを負として、

$$-5.0 < \quad < 10.0$$

であることを特徴とする実施態様 1 記載の反射型投影光学系。

【0099】

〔実施態様 8〕 前記第 6 の反射鏡は、凸面鏡であることを特徴とする実施態様 1 記載の反射型投影光学系。

【0100】

〔実施態様 9〕 前記第 6 の反射鏡の光軸位置を物理的に前記第 1 の反射鏡の光軸位置より像面側に配置したことを特徴とする実施態様 1 乃至 8 のうちいずれか一項記載の反射型投影光学系。

【0101】

〔実施態様 10〕 前記第 2 の反射鏡の位置を開口絞り位置としたことを特徴とする実施態様 1 乃至 9 のうちいずれか一項記載の反射型投影光学系。 10

【0102】

〔実施態様 11〕 前記 8 枚の反射鏡は、基本的に共軸系をなすように配置したことを特徴とする実施態様 1 記載の投影光学系。

【0103】

〔実施態様 12〕 前記 8 枚の反射鏡のうち少なくとも 1 枚は極紫外線光を反射する多層膜を有する非球面ミラーであることを特徴とする実施態様 1 記載の反射型投影光学系。

【0104】

〔実施態様 13〕 前記 8 枚の反射鏡はすべて極紫外線光を反射する多層膜を有する非球面ミラーであることを特徴とする実施態様 1 記載の反射型投影光学系。 20

【0105】

〔実施態様 14〕 前記光は、波長 20 nm 以下の極紫外線であることを特徴とする実施態様 1 記載の反射型投影光学系。

【0106】

〔実施態様 15〕 前記投影光学系の開口数 NA が 0.3 以上であることを特徴とする実施態様 1 記載の反射型投影光学系。

【0107】

〔実施態様 16〕 前記像面側がテレセントリックであることを特徴とする実施態様 1 記載の反射型投影光学系。

【0108】

〔実施態様 17〕 実施態様 1 乃至 16 のうちいずれか一項記載の反射型投影光学系と、前記物体面上にマスクのパターンを位置付けるべく当該マスクを保持するステージと、前記像面上に感光層を位置付けるべく被処理体を保持するステージと、前記反射型投影光学系の円弧状の視野に対応する円弧状の EUV 光により前記マスクを照明する照明装置と、前記 EUV 光で前記マスクを照明する状態で前記各ステージを同期して走査する手段とを有することを特徴とする露光装置。 30

【0109】

〔実施態様 18〕 実施態様 17 記載の露光装置を用いて被処理体を露光するステップと、露光された前記被処理体に所定のプロセスを行うステップとを有することを特徴とするデバイス製造方法。 40

【0110】

【発明の効果】

本発明の反射型投影光学系によれば、8 枚ミラー系とすることで高 NA 化に対応可能であり、且つ、反射面における最大入射角を低減しているため反射面上に積層する多層膜の角度特性においても好ましく、ウェハ面上での照度低下、照度むら及び解像度むらを低減することができる。また、物体面と反射鏡の最小距離も十分に確保できるので、投影光学系の反射鏡やその鏡筒と、物体面のステージ機構や照明光学系との干渉を防止することができる。これにより、本発明の反射型投影光学系は、高 NA の結像性能に優れた光学系を達 50

成することができる。よって、かかる反射型投影光学系を用いた露光装置は、高品位なデバイスを露光性能よく提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の一側面としての反射型投影光学系の例示的一形態及びその光路を示す概略断面図である。

【図 2】 図 1 に示す反射型投影光学系の別の形態を示した反射型投影光学系及びその光路を示す概略断面図である。

【図 3】 図 1 に示す反射型投影光学系の別の形態を示した反射型投影光学系及びその光路を示す概略断面図である。

【図 4】 図 1 に示す反射型投影光学系の主光線の光路を示す概略断面図である。

10

【図 5】 図 1 に示す反射型投影光学系の収差図である。

【図 6】 図 2 に示す反射型投影光学系の収差図である。

【図 7】 図 3 に示す反射型投影光学系の収差図である。

【図 8】 図 1 に示す反射型投影光学系を有する露光装置を示す概略構成図である。

【図 9】 デバイス（IC や LSI などの半導体チップ、LCD、CCD 等）の製造を説明するためのフローチャートである。

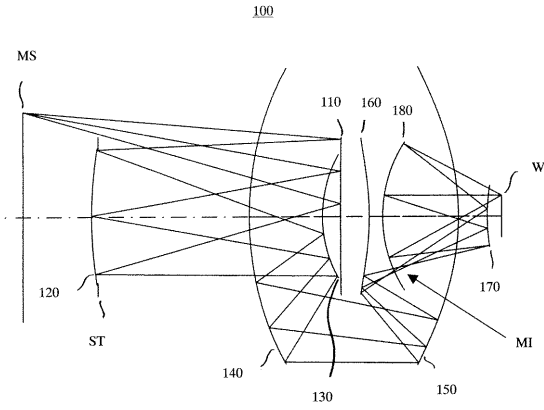
【図 10】 図 9 に示すステップ 4 のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。

【図 11】 従来の 8 枚ミラー系の反射型投影光学系の概略断面図である。

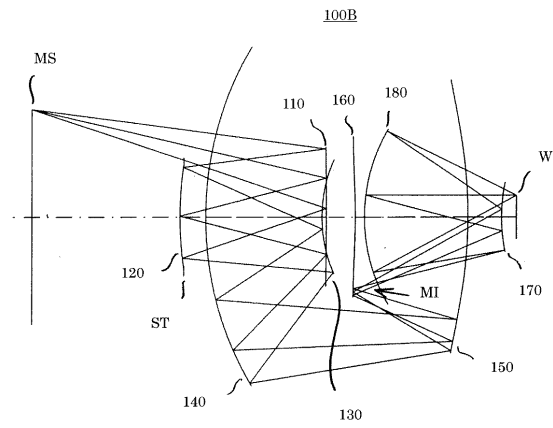
【符号の説明】

100、100A、100B	反射型投影光学系	20
110	第 1 の反射鏡	
120	第 2 の反射鏡	
130	第 3 の反射鏡	
140	第 4 の反射鏡	
150	第 5 の反射鏡	
160	第 6 の反射鏡	
170	第 7 の反射鏡	
180	第 8 の反射鏡	
200	露光装置	
210	照明装置	30
220	マスクステージ	
230	ウェハステージ	
240	制御部	
MS	マスク	
W	ウェハ	
ST	開口絞り	
MI	中間像	

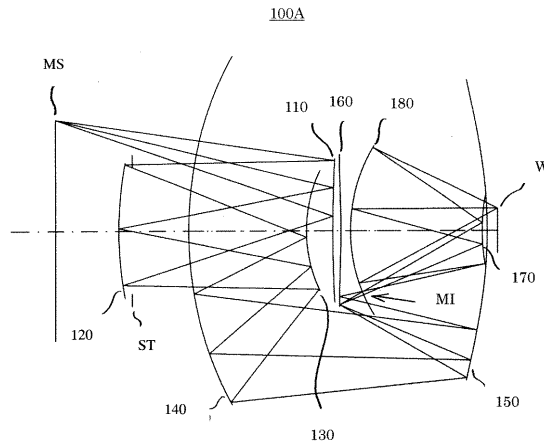
【図1】



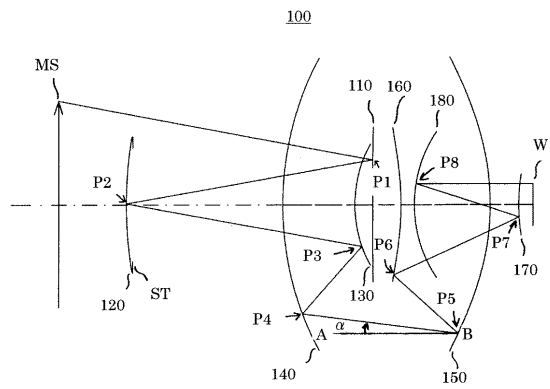
【図3】



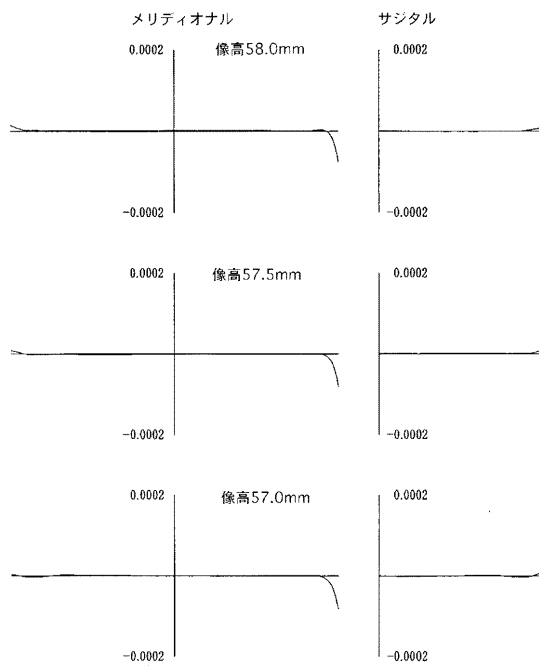
【図2】



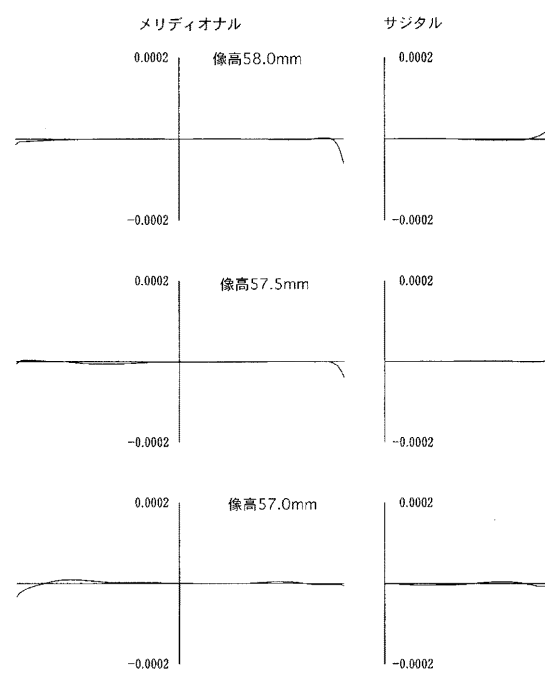
【図4】



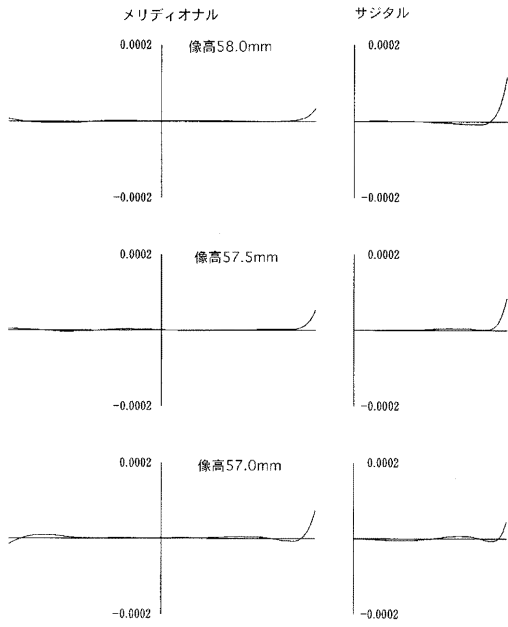
【図5】



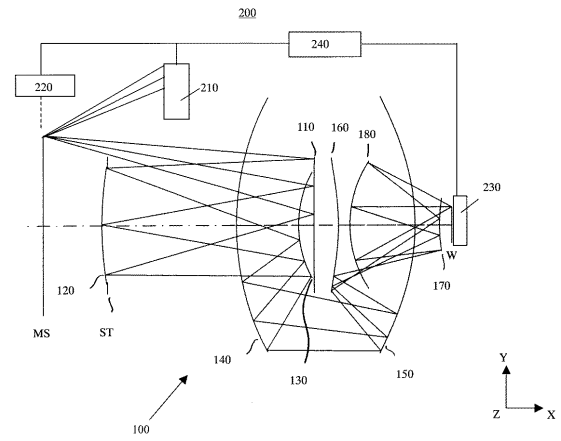
【図6】



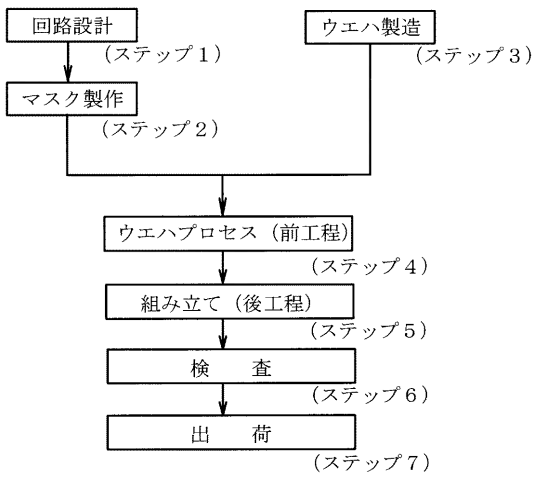
【 図 7 】



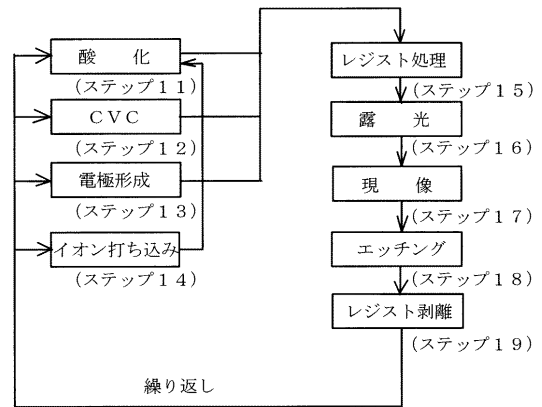
【 図 8 】



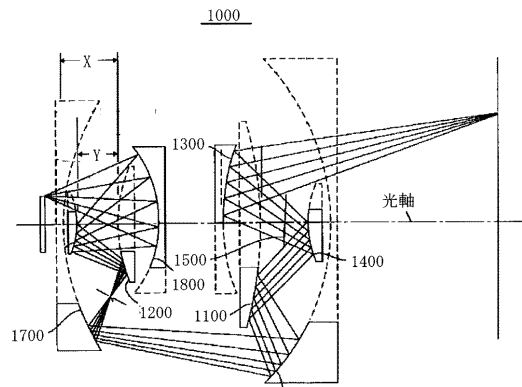
【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 11 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2002-116382(JP,A)
特開2002-107630(JP,A)
特開2002-139672(JP,A)
特開平10-90602(JP,A)