

(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2004-325649

(P2004-325649A)

(43) 公開日 平成16年11月18日(2004.11.18)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	F I	テーマコード (参考)
<b>GO2B 17/00</b>	GO2B 17/00 A	2H087
<b>GO3F 7/20</b>	GO3F 7/20 501	2H097
<b>HO1L 21/027</b>	GO3F 7/20 503	5F046
	HO1L 21/30 531A	
	HO1L 21/30 517	

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2003-118479 (P2003-118479)	(71) 出願人	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
(22) 出願日	平成15年4月23日 (2003. 4. 23)	(74) 代理人	100090538 弁理士 西山 恵三
		(74) 代理人	100096965 弁理士 内尾 裕一
		(72) 発明者	佐々木 隆洋 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
		(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
		Fターム(参考)	2H087 KA21 TA02 TA06 2H097 BA10 CA12 CA15 LA10 LA12 最終頁に続く

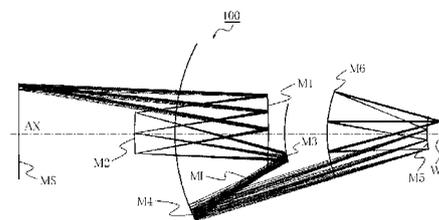
(54) 【発明の名称】 反射型投影光学系、露光装置及びデバイスの製造方法

## (57) 【要約】

【課題】従来のEUV光等を用いた反射型縮小投影光学系においては、第3反射面上での光束の広がりが比較的大きくなってしまい、空間的にゆとりの無い場所に配置されがちな第3反射面を配置しにくかったり、さらに第4反射面上での光束の広がりが大きくなるため、第4反射面の有効直径が非常に大きくなり、加工、計測が困難であったりしていた。

【解決手段】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、前記物体面からの光を、第1反射面、第2反射面、凸面形状の第3反射面、第4反射面、第5反射面、第6反射面の順に反射する6枚の反射面を有し、前記第3反射面と前記第4反射面の光路の間に前記物体面の中間像を形成することを特徴としている。

【選択図】 図1



## 【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、前記物体面からの光を、第 1 反射面、第 2 反射面、凸面形状の第 3 反射面、第 4 反射面、第 5 反射面、第 6 反射面の順に反射する 6 枚の反射面を有し、前記第 3 反射面と前記第 4 反射面の光路の間に前記物体面の中間像を形成することを特徴とする反射型投影光学系。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は、一般には、露光装置に係り、特に、紫外線や極紫外線（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  $80\text{nm}$ 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。

## 【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（なお、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】

$$R = k_1 \times \lambda / \text{NA} \quad \text{（数式 1）}$$

したがって、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、解像度は良くなる。近年では、解像度はより小さい値を要求されNAを上げるだけではこの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  $248\text{nm}$ ）及びArFエキシマレーザー（波長約  $193\text{nm}$ ）からF<sub>2</sub>レーザー（波長約  $157\text{nm}$ ）に移行しており、更には、EUV（extreme ultraviolet）光の実用化も進んでいる。

## 【0005】

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（例えば、多層膜ミラー）のみで構成する反射型投影光学系が提案されている。

## 【0006】

反射型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。また、マスクとウェハの機械的な干渉を防止するため、マスクとウェハが瞳を介して反対側に位置するよう投影光学系を構成するミラーの枚数は偶数枚であることが望ましい。更に、EUV露光装置に要求される線幅（解像度）が従来値より小さくなってきたためNAをあげる必要があるが（例えば、波長  $13.5\text{nm}$ においてNA  $0.2$ ）、従来  $3$ 、 $4$ 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の数を  $6$ 枚程度に

10

20

30

40

50

する必要が生じてきた（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）。この種の6枚ミラー系は、米国特許6033097号公報等が開示されている。

【0007】

米国特許6033079号公報には実施例として2つのEUV光用の6枚の反射鏡から成る典型的な投影光学系が示されている。物体面からの入射光を受け、第1反射面から第4反射面までの4枚の反射鏡で中間像を形成し、さらに凸面形状の第5反射面、凹面形状の第6反射面を介して像面上に再結像させている。この構成となる理由は次のとおりである。高NAを達成する為には第6反射面上に光束を大きく広げて入射させて一度に像面上に集光させる必要がある。この為第6反射面の径が大きくなり、その面で光がケラレないようにしつつ光を第4反射面から第5反射面に入射させるには、第4反射面の後で中間像を結ぶ方が好ましいからである。さらに、収差を十分に低減する為に各反射面は非球面形状となっている。

10

【0008】

また、6面の反射面を有する反射型投影光学系の例として、特開平09-211232号公報（米国特許585310号）や、特開2002-196242号公報等がある。

【0009】

【特許文献1】

米国特許6033079号公報

【特許文献2】

特開平09-211232号公報（米国特許5815310号公報）

20

【特許文献3】

特開2002-196242号公報

【0010】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、前記の米国特許6033079号公報に記載されている構成では、第3反射面上での光束の広がりが比較的大きくなり、それゆえ第3反射面の広がりも大きくなっている。そのため、空間的にゆとりの無い場所に配置されがちな第3反射面をさらに配置しにくくしている。また、第4反射面上での光束の広がりも大きくなっており、それゆえ第4面の有効直径は700mmと非常に大きく、加工、計測が困難な面となっている。

30

【0011】

また、前記の構成では、中間像が第5反射面の直前にある為に第5反射面に強い発散光束が入射することになり、第5の反射面上の入射角度の分布が大きくなってしまふ。USP6033079の第1実施例で、像側開口数0.25、像側円弧形状視野の幅が1mmの場合、第5反射面での入射角度の最大値は17.1度、最小値は0.4度となり、入射角度の分布は16.7度となる。その場合、多層膜ミラーの影響を考えると、第5のミラーでの入射角度の分布が大きいために反射率の劣化が顕著に現れ、スループットの低下、結像特性の劣化を招いてしまふと考えられる。

【0012】

また、EUV光は空気中で吸収される為、鏡筒を真空に引く必要がある。前記の構成では物像間距離が1500mmと大きく、真空に引くべき鏡筒の容積が大きくなり、高真空に引く事が困難になる等の問題も生じる。

40

【0013】

【課題を解決するための手段】

本発明の反射型投影光学系は、上記問題を解決するために、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、前記物体面からの光を、第1反射面、第2反射面、凸面形状の第3反射面、第4反射面、第5反射面、第6反射面の順に反射する6枚の反射面を有し、前記第3反射面と前記第4反射面の光路の間に前記物体面の中間像を形成することを特徴としている。

【0014】

50

## 【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縮小投影光学系の例について説明する。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。

## 【0015】

ここで図1～図3は、本発明の反射型縮小投影光学系とその光路を示す断面図を示したものである。本発明の反射縮小投影光学系は、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面）上に縮小投影する反射型投影光学系であって、特に、EUV光（波長は10～15nm、より好ましくは13.4～13.5nm）に好適な光学系である。

10

## 【0016】

この反射縮小投影光学系は、6枚の反射鏡を有し、基本的に物体面MS側から光を反射する順番に、第1の反射鏡M1（凹面）と、第2の反射鏡M2（凹面）と、第3の反射鏡M3（凸面）と、第4の反射鏡M4（凹面）と、第5の反射鏡M5（凸面）と、第6の反射鏡M6（凹面）とを有し、第3の反射面から第4の反射面との光路の間に中間像MIを形成し、さらに第5反射面と第6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。

## 【0017】

また、物体面MSから第1ミラー（M1）へ入射する光線は非テレセントリックであって、かつ像側の射出光線はテレセントリックであることも特徴となっている。別途具備されている照明光学系によって物体面MSに配置されたレチクルを照明し、その像を像面Wであるウェハ上に結像するため、物体側はある入射角を持っていることが必須となる。一方像面側は、像面に配置されるウェハWが光軸方向に移動しても倍率の変化を少なくするために、テレセントリックにすることが望ましいのである。

20

## 【0018】

また、本発明の反射型縮小投影光学系は、基本的には1本の光軸の回りに軸対称な共軸光学系となっていることで、光軸を中心とした狭いリング状の領域でのみ収差を補正すればよいという特長を有している。但し、収差補正上又は収差調整上、この反射型縮小投影光学系を構成する6枚のミラーが完全な共軸系に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や配置上の自由度を向上させる手法も行われる。

## 【0019】

NAを大きく、バックフォーカスを保って結像するためには、第5ミラー（M5）を凸面鏡、第6ミラー（M6）を凹面鏡にすることが好ましい。

30

## 【0020】

さらに、上述の中間像面と反射鏡を一致させていないため、ゴミの転写やエネルギー集中による収差の発生等もおこりにくい構成としている。また、物面から像面の間にはすべての反射面が含まれており、レチクルステージ、及びウェハステージの配置が容易である等の特長も有する。

## 【0021】

各ミラーの曲率半径を $r_1 \sim r_6$ とした場合、下記の式2式3で示したようなペッツバル項の和がゼロかほぼゼロになることが必要である。

40

## 【0022】

## 【外1】

$$\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} + \frac{1}{r_5} - \frac{1}{r_6} = 0 \quad \text{— (数式2)}$$

## 【0023】

## 【外2】

$$\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} + \frac{1}{r_5} - \frac{1}{r_6} \div 0 \quad \text{— (数式3)}$$

50

## 【0024】

本発明である反射型投影光学系は、第3反射面と第4反射面との光路の間に中間像を形成しており、前側3つの反射面から成る結像系、後側3つの反射面から成る結像系の組み合わせで構成されている。前側の結像系では第3反射面が凸面形状であり、後側の結像系では第5反射面が凸面形状である事によって、それぞれの結像系ごとにペッツバル項の和を低減し、良い結像特性が得られている。また、第3反射面が凸面で無い場合でも、第3反射面から第4反射面へと入射する主光線の光軸とのなす角が、光軸から離れる方向に12°以上、好ましくは19°以上であれば同様の効果が期待できる。また、前記主光線のなす角は70°以下が好ましい。ミラー面の有効径の端での面法線と光軸とのなす角が45°以上の場合には加工が困難になる事に加え、面法線に対する光線の入射角度が25°以上の場合に多層膜による結像特性への悪影響が生じやすい事等の理由からである。

10

## 【0025】

また、上記の場合、第4面から第5面へと入射する光束が第3反射面や第6反射面でケラレる事を防ぐ効果も有している。

## 【0026】

また、本発明である反射型縮小投影光学系は、6枚のミラーで構成されているが、少なくとも1枚以上が非球面であれば良く、その形状は下記の式4に示した一般的な式で表される。但し収差補正の観点から考えると、出来るだけ非球面の枚数が多い方がよく、6枚すべてが非球面であれば好ましい。

## 【0027】

## 【外3】

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

- (数式4)

## 【0028】

数式4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

## 【0029】

ところで非球面の加工・計測は、非球面量が大きい場合やミラーの有効径が大きい場合に困難になるという問題がある。前述のように図1～図3に示す光学系はM3からM4の光路の間に中間像を形成しており、さらにM3をM6よりも物面側に配置している。このような配置にすることで、M3の有効径が比較的小さくなり、さらにM3上での光束の広がりが小さくなる為に非球面量が小さくなり、非球面形状の計測・加工が容易となっている。

## 【0030】

またM3上での広がりが小さくなる事で、通常光束の込み合った場所に配置されがちなM3の配置を容易にし(M3の周辺の空間にミラーの保持機構や駆動機構等のスペースを確保しつつM3を配置することを容易にし)、さらにM4からM5へと入射する光束がM3でケラレる事を防ぐ等の効果も期待できる。

40

## 【0031】

また、凸面形状の反射面における非球面の加工・計測は、凹面形状の場合よりも困難である。図1～図3に示す光学系では、凸面形状の反射面としてM3とM5が存在する。M5の有効径は比較的小さいが、M3の有効径はM5に比べて大きくなる傾向に有り、加工計測が困難になる。その為本実施例では、中間像をM3～M4に配置し、M3上での光束の広がりを小さくすることによって非球面量および有効径を小さくし、加工・計測をより容易にしている。例えば凸面形状のM3の非球面量を0.01μm～8μm、好ましくは0.01μm～5μmにすれば加工、計測が容易となる。

50

## 【0032】

ところで先行技術として挙げた米国特許6033079号公報の実施例では中間像がM4~M5に配置されているが、中間像を形成する位置をM3~M4へと変更することによって、有効径を小さくし、M3を配置しやすくし、さらにM3の非球面量を低減でき、さらに加工・計測が容易な系になると考えられる。

## 【0033】

さらに、各々のミラーにはEUV光を反射させる多層膜が施されており、これによって光を強め合う作用を利用する。20nm以下のEUV光を反射するために可能な多層膜は、例えばモリブデン(Mo)とシリコン(Si)を交互に積層したMo/Si多層膜や、モリブデン(Mo)とベリリウム(Be)を交互に積層したMo/Be多層膜などがあり、使用波長によって最適な材料を選択する。但し本発明の多層膜はこの材料に限ったものではなく、同様の効果をもつ材料はいずれの適用も可能である。

10

## 【0034】

ところで典型的な6枚ミラーから成るEUV投影光学系では、中間像がM5の直前にある為にM5での入射角度分布が大きく、その為多層膜による結像特性の劣化が問題となっている。対して本提案の光学系では、中間像とM5との光路の間にM4を配置している為、M5への光線入射角をM4によって調整する事が可能となっており、上記の結像特性の劣化を低減する事が可能である。そこで本実施例では、前記第5反射面M5に入射する光の入射角度の最大値と最小値との差が8度以上15度以下とするようにしている。このように構成することによって上記のような効果が得られる。より好ましくは下限値を10度及び/又は上限値を14度とするとなお良い。

20

## 【0035】

次に、図1~3を用いて、本発明である反射型投影光学系の実施形態の1例を示す。

## 【0036】

(実施例1)

図1、表1を用いて本発明の実施例1について説明する。

## 【0037】

実施例1の反射型投影光学系は6枚の反射鏡を有し、基本的に物体面MS側から光を反射する順番に、第1の反射面M1(凹面)と、第2の反射面M2(凹面)、第3の反射面M3(凸面)、第4の反射面M4(凹面)と第5の反射面M5(凸面)、第6の反射面M6(凹面)とを有し、M3からM4の光路の間で中間像MIを結像させ、この中間像MIを残りの面で像面W上に再結像するように構成させている。

30

## 【0038】

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。照明光学系によって照明された反射型マスクを本発明である反射型縮小投影光学系によって像面であるウェハに縮小投影する。

## 【0039】

表1に、図1の光学系の詳細を記した。像側の開口数であるNAは0.26であって、倍率は1/4倍、物体高は138~146mm(像側で幅2mmの円弧形状視野)である。波面収差のRMSは15nm、ディストーションはレンジで3nmである。

40

## 【0040】

この例では、M3は凸であり、M3からM4へと入射する主光線と光軸とのなす角は、光軸から離れる方向に32.7°である。これによりM1、M2、M3からなる前側結像系のペッツバル項の和を調整し、さらにM4からM5へと入射する光束がM3およびM6でケラレる事を防いでいる。

## 【0041】

また、M3の非球面量が像側開口数0.25、像側円弧形状視の幅が1mmとした場合に1.31μmと比較的小さくなっており、加工計測の点で有利な系と成っている。

## 【0042】

また、中間像をM3~M4に置いた場合には全長がコンパクトになる傾向があり、図1の

50

光学系においても全長が1236mmと比較的小さくなっている。

【0043】

また、M5での入射角度は像側開口数0.25、像側円弧形状視野の幅1mmの場合には最小値7.7°、最大値21°であり、幅は13.3°である。入射角度幅が比較的小さくなっており、多層膜による結像特性の劣化は低減されている。

【0044】

(表1)

ミラー番号	曲率半径面間隔		
M (マスク)	0	339.4777	10
M1	-2000	-391.3436	
M2	872.6187	439.2202	
M3	375.1731	-320.8985	
M4	580.6132	737.9442	
M5	305.1026	-292.1313	
M6	375.1247	322.1313	
W (ウエハ)	0	0	20

非球面係数

M1	K : -116.931826				
A	:-.670181E-10	B :0.144096E-13	C :-.435492E-18	D :0.145193E-2	
2					
E	:-.622756E-27	F :0.231827E-31	G :-.421307E-36		30
M2	K : 2.007473				
A	:-.373122E-09	B :-.136205E-15	C :0.157375E-18	D :-.744742E-2	
2					
E	:0.236381E-25	F :-.408634E-29	G :0.292633E-33		
M3	K : 3.471994				
A	:-.901676E-08	B :0.289184E-12	C :-.657974E-16	D :0.287681E-2	40
0					
E	:0.255935E-24	F :-.390393E-28	G :0.137163E-32		
M4	K : -0.044686				
A	:0.956942E-10	B :0.736613E-17	C :-.101759E-19	D :0.207511E-2	

4

E :-.658861E-30 F :-.108501E-34 G :0.738458E-40

M5 K : 2.120289

A :-.610258E-08 B :0.542562E-12 C :0.338684E-16 D :-.158906E-1

9

E :0.800719E-23 F :-.217410E-26 G :0.251994E-30

10

M6 K : 0.041759

A :0.106631E-09 B :0.104596E-14 C :0.986450E-20 D :-.873016E-2

5

E :0.929688E-29 F :-.246930E-33 G :0.265927E-38

【 0 0 4 5 】

( 実施例 2 )

図 2、表 2 を用いて本発明の実施例 2 について説明する。

20

【 0 0 4 6 】

表 2 に、図 2 の光学系の詳細を記した。像側の開口数である NA は 0 . 2 6 であって、倍率は 1 / 4 倍、物体高は 1 4 0 ~ 1 4 4 m ( 像側で幅 1 m m の円弧形状視野 ) である。波面収差の RMS は 1 3 . 5 m 、ディストーションはレンジで 1 . 4 n m である。

【 0 0 4 7 】

この例では、M 3 は凸であり、M 3 から M 4 へと入射する主光線と光軸とのなす角は、光軸から離れる方向に 2 6 . 3 ° である。これにより M 1、M 2、M 3 からなる前側結像系のペッツバル項の和を調整し、さらに M 4 から M 5 へと入射する光束が M 3 および M 6 でケラレる事を防いでいる。

30

【 0 0 4 8 】

また、M 3 の非球面量が像側開口数 0 . 2 5、像側円弧形状視の幅が 1 m m とした場合に 1 . 9 4 μ m と比較的小さくなっており、加工計測の点で有利な系と成っている。

【 0 0 4 9 】

また、中間像を M 3 ~ M 4 に置いた場合には全長がコンパクトになる傾向があり、図 1 の光学系においても全長が 1 3 4 3 m m と比較的小さくなっている。

【 0 0 5 0 】

また、M 5 での入射角度は像側開口数 0 . 2 5、像側円弧形状視野の幅 1 m m の場合には最小値 9 . 3 °、最大値 2 1 °、幅は 1 1 . 7 ° である。入射角度幅が比較的小さくなっており、多層膜による結像特性の劣化は低減されている。

40

【 0 0 5 1 】

(表2)

ミラー番号	曲率半径面間隔		
M (マスク)	0	782.9024	
M1	-3000		-434.2191
M2	986.3720	605.0807	
M3	557.8812	-433.0176	
M4	718.6422	783.6680	10
M5	274.00041	-270.6504	
M6	356.0210	313.7101	
W (ウエハ)	0	0	

## 非球面係数

M1	K : -177.180694							
A	:0.793933E-09	B	:-.393306E-14	C	:-.139116E-19	D	:0.130527E-2	20
3								
E	:-.311665E-28	F	:0.443632E-34	G	:0.267089E-37			
M2	K : 0.449622							
A	:0.229919E-10	B	:0.156132E-14	C	:-.182568E-18	D	:0.963975E-2	
2								
E	:-.256166E-25	F	:0.351754E-29	G	:-.194839E-33			30
M3	K : -0.045120							
A	:0.659822E-09	B	:-.557183E-13	C	:0.410361E-16	D	:-.317182E-2	
0								
E	:-.237235E-24	F	:0.425191E-28	G	:-.160620E-32			
M4	K : 0.002787							
A	:0.708916E-10	B	:-.639861E-15	C	:0.839509E-20	D	:-.241587E-2	40

5

E :-.369797E-30 F :0.384196E-35 G :-.109928E-40

M5 K : 0.315310

A :0.138224E-08 B :0.105862E-11 C :0.197184E-16 D :0.895863E-2

0

E :-.304525E-23 F :0.775932E-27 G :-.877582E-31

10

M6 K : 0.039889

A :0.147010E-09 B :0.153805E-14 C :0.543962E-20 D :0.129313E-2

3

E :-.101970E-27 F :0.464801E-32 G :-.850841E-37

【 0 0 5 2 】

( 実施例 3 )

図 3、表 3 を用いて本発明の実施例 3 について説明する。

20

【 0 0 5 3 】

この図 3 に示した投影光学系の像側の開口数である NA は 0 . 2 5 であって、倍率は 1 / 4 倍、物体高は 1 2 2 ~ 1 3 0 mm ( 像側で幅 2 mm の円弧形状視野 ) である。波面収差の RMS は 9 . 7 nm 、ディストーションはレンジで 2 . 3 nm である。

【 0 0 5 4 】

この例では、M 3 は凸であり、M 3 から M 4 へと入射する主光線と光軸とのなす角は、光軸から離れる方向に 3 6 ° である。これにより M 1、M 2、M 3 からなる前側結像系のペツパールサムを調整し、さらに M 4 から M 5 へと入射する光束が M 3 および M 6 でケラレる事を防いでいる。

30

【 0 0 5 5 】

また、M 3 の非球面量が像側開口数 0 . 2 5、像側円弧形状視の幅が 1 mm とした場合に 0 . 4 4 μ m と比較的小さくなっており、加工計測の点で有利な系と成っている。

【 0 0 5 6 】

また、中間像を M 3 ~ M 4 に置いた場合には全長がコンパクトになる傾向があり、図 1 の光学系においても全長が 1 3 6 1 mm と比較的小さくなっている。

【 0 0 5 7 】

また、M 5 での入射角度は像側開口数 0 . 2 5、像側円弧形状視野の幅 1 mm の場合には最小値 5 . 6 5 °、最大値 1 9 . 1 °、幅は 1 3 . 4 ° である。入射角度幅が比較的小さくなっており、多層膜による結像特性の劣化は低減されている。

40

【 0 0 5 8 】

(表3)

ミラー番号	曲率半径面間隔	
M (マスク)	0	768.3742
M1	-1396.8231	-314.9793
開口絞り	0	-291.8614
M2	1368.8180	557.6862
M3	441.4054	-229.5154
M4	582.6684	828.6221
M5	322.1290	-366.0451
M6	452.2826	408.6979
W (ウエハ)	0	0

## 非球面係数

M1	K :	0.260716							20			
A	:	0.146445E-08	B	:	-.164758E-13	C	:	0.317627E-18	D	:	-.207116E-2	
2												
E	:	0.179601E-26	F	:	-.908835E-31	G	:	0.191325E-35	H	:	0.000000E+0	
0												
M2	K :	-14.574333										
A	:	0.741726E-09	B	:	-.275694E-14	C	:	0.992898E-19	D	:	-.174216E-2	30
2												
E	:	0.200285E-26	F	:	-.121819E-30	G	:	0.304220E-35	H	:	0.000000E+0	
0												
M3	K :	0.276803										
A	:	-.131078E-08	B	:	0.659659E-13	C	:	-.277262E-17	D	:	0.256152E-2	
2											40	
E	:	-.171689E-28	F	:	0.100339E-30	G	:	-.342734E-35	H	:	0.000000E+0	

0

M4            K :   -0.008783  
 A :0.106495E-08   B :-.233547E-13   C :0.308297E-18   D :-.194328E-2

3

E :0.153263E-29   F :0.431370E-34   G :-.146560E-39   H :0.000000E+0

0

10

M5            K :   -0.233173  
 A :0.184221E-08   B :0.780441E-12   C :-.272684E-16   D :0.210085E-

19

E :-.103583E-22   F :0.269109E-26   G :-.282927E-30   H :0.000000E+0

0

20

M6            K :   -0.026937  
 A :0.129873E-09   B :0.749528E-15   C :0.434370E-20   D :-.363118E-2

5

E :0.260695E-29   F :-.471061E-34   G :0.992951E-40   H :0.000000E+0

0

【 0 0 5 9 】

( 実施例 4 )

次に、図 4 を用いて上記の実施例 1、2、3 で示した投影光学系 100、100A、100B を適用した例示的な露光装置 200 について説明する。ここで、図 4 は、本発明の一側面としての露光装置 200 の例示的一形態を示す概略構成図である。

【 0 0 6 0 】

本発明の露光装置 200 は、露光用の照明光として E U V 光 (例えば、波長 13.4 nm) を用いて、例えば、ステップ・アンド・スキャン方式やステップ・アンド・リピート方式でマスク 220 に形成された回路パターンを被処理体 240 に露光する投影露光装置である。かかる露光装置は、サブミクロンやクォーターミクロン以下のリソグラフィ工程に好適であり、以下、本実施形態ではステップ・アンド・スキャン方式の露光装置 (「スキャナー」とも呼ばれる。) を例に説明する。ここで、「ステップ・アンド・スキャン方式」とは、マスクに対してウェハを連続的にスキャン (走査) してマスクパターンをウェハに露光すると共に、1 ショットの露光終了後ウェハをステップ移動して、次の露光領域に移動する露光方法である。「ステップ・アンド・リピート方式」は、ウェハの一括露光ごとにウェハをステップ移動して次のショットの露光領域に移動する露光方法である。

【 0 0 6 1 】

図 4 を参照するに、露光装置 200 は、光源からの光でマスク 220 を照明する照明装置 210 と、マスク 220 を載置するマスクステージ 225 と、マスク 220 からの光を被処理体 240 に導く投影光学系 230 と、被処理体 240 を載置するウェハステージ 245 と、アライメント検出機構 250 と、フォーカス位置検出機構 260 とを有する。ここで、図 4 においては、マスクを反射した後被処理体 (ウェハ) に至るまでの反射型投影光

30

40

50

学系の反射面（ミラー）の枚数が4枚であるが、これは図を簡略化するために4枚にしたものであり、この反射型投影光学系の反射面の枚数は、実施例1、2、3に記載されている通り6枚とするのが好ましい。勿論本発明の趣旨が変わらない範囲内で枚数を変化させても、それは本発明の範囲内である。

【0062】

また、図4に示すように、EUV光は、大気に対する透過率が低く、残留ガス（高分子有機ガスなど）成分との反応によりコンタミを生成してしまうため、少なくとも、EUV光が通る光路中（即ち、光学系全体）は真空雰囲気VCとなっている。

【0063】

照明装置210は、投影光学系230の円弧状の視野に対する円弧状のEUV光（例えば、波長13.4nm）によりマスク220を照明する照明装置であって、EUV光源212と、照明光学系214とを有する。 10

【0064】

EUV光源212は、例えば、レーザープラズマ光源が用いられる。これは、真空容器中のターゲット材に高強度のパルスレーザー光を照射し、高温のプラズマを発生させ、これから放射される、例えば、波長13nm程度のEUV光を利用するものである。ターゲット材としては、金属膜、ガスジェット、液滴などが用いられる。放射されるEUV光の平均強度を高くするためにはパルスレーザーの繰り返し周波数は高い方がよく、通常数kHzの繰り返し周波数で運転される。

【0065】

照明光学系214は、集光ミラー214a、オプティカルインテグレーター214bから構成される。集光ミラー214aは、レーザープラズマからほぼ等方的に放射されるEUV光を集める役割を果たす。オプティカルインテグレーター214bは、マスク220を均一に所定の開口数で照明する役割を持っている。また、照明光学系214は、マスク220と共役な位置に、マスク220の照明領域を円弧状に限定するためのアパーチャ214cが設けられている。かかる照明光学系214を構成する光学部材である集光ミラー214a及びオプティカルインテグレーター214bを冷却する冷却装置を設けても良い。集光ミラー214a及びオプティカルインテグレーター214bを冷却することにより熱膨張による変形を防止して、優れた結像性能を発揮することができる。 20

【0066】

マスク220は、反射型マスクで、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225に支持及び駆動されている。マスク220から発せられた回折光は、本実施例1乃至3に記載した投影光学系230で反射されて被処理体240上に投影される。マスク220と被処理体240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220と被処理体240を走査することによりマスク220のパターンを被処理体240上に縮小投影する。 30

【0067】

マスクステージ225は、マスク220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225は、当業界周知のいかなる構造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、少なくともX方向にマスクステージ225を駆動することでマスク220を移動することができる。露光装置200は、マスク220と被処理体240を同期した状態で走査する。 40

【0068】

投影光学系230は、複数の反射ミラー（即ち、多層膜ミラー）230aを用いて、マスク220面上のパターンを像面である被処理体240上に縮小投影する。複数のミラー230aの枚数は、4枚乃至6枚程度（好ましくは6枚であるが、4枚であっても8枚であっても構わない）である。少ない枚数のミラーで広い露光領域を実現するには、光軸から一定の距離だけ離れた細い円弧状の領域（リングフィールド）だけを用いて、マスク220と被処理体240を同時に走査して広い面積を転写する。投影光学系230の開口数（ 50

NA)は、0.2乃至0.3程度である。かかる投影光学系230を構成する光学部材であるミラー230aを冷却装置を用いて冷却するようにしても良い。ミラー230aを冷却することで熱膨張による変形を防止して、優れた結像性能を発揮することができる。

【0069】

被処理体240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。被処理体240には、フォトレジストが塗布されている。

【0070】

ウェハステージ245は、ウェハチャック245aによって被処理体240を支持する。ウェハステージ245は、例えば、リニアモーターを利用してXYZ方向に被処理体240を移動する。マスク220と被処理体240は同期して走査される。また、マスクステージ225の位置とウェハステージ245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。

10

【0071】

アライメント検出機構250は、マスク220の位置と投影光学系230の光軸との位置関係、及び、被処理体240の位置と投影光学系230の光軸との位置関係を計測し、マスク220の投影像が被処理体240の所定の位置に一致するようにマスクステージ225及びウェハステージ245の位置と角度を設定する。

【0072】

フォーカス位置検出機構260は、被処理体240面でフォーカス位置を計測し、ウェハステージ245の位置及び角度を制御することによって、露光中、常時被処理体240面を投影光学系230による結像位置に保つ。

20

【0073】

露光において、照明装置210から射出されたEUV光はマスク220を照明し、マスク220面上のパターンを被処理体240面上に結像する。本実施形態において、像面は円弧状(リング状)の像面となり、マスク220と被処理体240を縮小倍率比の速度比で走査することにより、マスク220の全面を露光する。

【0074】

ここで、露光装置においては、光学性能は投影光学系の光学部材の形状変化に対して敏感なので、冷却装置を投影光学系の光学部材(反射面)に用いることが多い。特に、光量の多いマスク側の光学部材に用いることが多い。但し、照明光学系に用いても構わない。特に、最も光源に近い反射光学部材は、光学部材の中で最も多量の光が入射するので、必然的に吸収する熱量も大きくなり、その吸収した熱による光学部材の形状の変化量も大きくなる。それを防ぐために、上述したような冷却装置により、多量の光を吸収することによる温度上昇を防ぐことができ、光学部材の温度差を低減して形状変化を抑えることができる。

30

【0075】

次に、図5及び図6を参照して、上述の露光装置200を利用したデバイス製造方法の実施例を説明する。図5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。本実施形態においては、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、それが出荷(ステップ7)される。

40

【0076】

50

図6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。本実施形態の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。

10

## 【0077】

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、本発明の冷却装置は、ArFエキシマレーザーやF<sub>2</sub>レーザーなどのEUV光以外の波長200nm以下の紫外線用の光学部材に適用することもでき、マスクやウェハにも適用可能である。

## 【0078】

本願の実施態様は以下のように記載することができる。

20

## 【0079】

(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、前記物体面からの光を、第1反射面、第2反射面、凸面形状の第3反射面、第4反射面、第5反射面、第6反射面の順に反射する6枚の反射面を有し、前記第3反射面と前記第4反射面の光路の間に前記物体面の中間像を形成することを特徴とする反射型投影光学系。

## 【0080】

(実施態様2) 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、前記物体面からの光を、第1反射面、第2反射面、第3反射面、第4反射面、第5反射面、第6反射面の順に反射する6枚の反射面を有し、前記6枚の反射面が実質的に共通の光軸に沿って配置されており、前記第3反射面と前記第4反射面の光路の間に前記物体の中間像を形成し、前記第3反射面が、前記第3反射面から出射する光束の主光線が前記光軸から離れる方向で、前記主光線と前記光軸とのなす角が12°以上70°以下となるように構成されていることを特徴とする反射型投影光学系。

30

## 【0081】

(実施態様3) 前記第3反射面から出射する主光線と前記光軸とのなす角が19°以上70°以下であることを特徴とする実施態様2記載の反射型投影光学系。

40

## 【0082】

(実施態様4) 前記第3反射面が凸面形状であることを特徴とする実施態様2又は3記載の反射型投影光学系。

## 【0083】

(実施態様5) 前記第3反射面が前記第6反射面よりも前記物体側に配置されていることを特徴とする実施態様1乃至4いずれかに記載の反射型投影光学系。

## 【0084】

(実施態様6) 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、前記物体面からの光を、第1反射面、第2反射面、第3反射面、第4反射面、第5反射面

50

、第 6 反射面の順に反射する 6 枚の反射面を有し、  
前記第 3 反射面と前記第 4 反射面の光路の間に前記物体の中間像を形成し、  
前記第 3 反射面が前記第 6 反射面よりも前記物体面側に配置されていることを特徴とする  
反射型投影光学系。

【0085】

(実施態様 7) 開口絞りを有しており、前記 6 枚の反射面のうち前記開口絞りに最も近い反射面を除く 5 面の反射面の内、いずれかが非球面量  $0.01 \mu\text{m}$  以上  $8 \mu\text{m}$  以下の凸面形状の反射面である事を特徴とする実施態様 1 乃至 6 いずれかに記載の反射型投影光学系。

【0086】

(実施態様 8) 前記第 3 反射面の非球面量が  $0.01 \mu\text{m}$  以上  $8 \mu\text{m}$  以下であることを特徴とする実施態様 1 乃至 7 いずれかに記載の反射型投影光学系。

【0087】

(実施態様 9) 前記第 3 反射面の非球面量が  $0.01 \mu\text{m}$  以上  $5 \mu\text{m}$  以下であることを特徴とする実施態様 1 乃至 8 いずれかに記載の反射型投影光学系。

【0088】

(実施態様 10) 前記 6 枚の反射面が、前記物体側から順に、前記第 2 反射面、前記第 4 反射面、前記第 1 反射面、前記第 3 反射面、前記第 6 反射面、前記第 5 反射面の順に配置されていることを特徴とする実施態様 1 乃至 9 いずれかに記載の反射型投影光学系。

【0089】

(実施態様 11) 前記 6 枚の反射面が、前記物体側から順に、前記第 2 反射面、前記第 4 反射面、前記第 3 反射面、前記第 1 反射面、前記第 6 反射面、前記第 5 反射面の順に配置されていることを特徴とする実施態様 1 乃至 9 いずれかに記載の反射型投影光学系。

【0090】

(実施態様 12) 前記第 5 反射面に入射する光の入射角度の最大値と最小値との差が  $15$  度以下であることを特徴とする実施態様 1 乃至 11 いずれかに記載の反射型投影光学系。

【0091】

(実施態様 13) 前記第 5 反射面に入射する光の入射角度の最大値と最小値との差が  $14$  度以下であることを特徴とする実施態様 1 乃至 12 いずれかに記載の反射型投影光学系。

【0092】

(実施態様 14) 前記第 5 反射面に入射する光の入射角度の最大値と最小値との差が  $8$  度以上であることを特徴とする実施態様 1 乃至 13 いずれかに記載の反射型投影光学系。

【0093】

(実施態様 15) 前記第 5 反射面に入射する光の入射角度の最大値と最小値との差が  $10$  度以上であることを特徴とする実施態様 1 乃至 13 いずれかに記載の反射型投影光学系。

【0094】

(実施態様 16) 前記 6 枚の反射面が前記物体面から前記像面の間に配置されることを特徴とする実施態様 1 乃至 15 いずれかに記載の反射型投影光学系。

【0095】

(実施態様 17) 前記反射型投影光学系の光学パワーを有する光学素子がすべて、前記物体面から前記像面の間に配置されることを特徴とする実施態様 1 乃至 16 いずれかに記載の反射型投影光学系。

【0096】

(実施態様 18) 前記中間像が前記 6 枚の反射面のいずれとも一致しないことを特徴とする実施態様 1 乃至 17 いずれかに記載の反射型投影光学系。

【0097】

(実施態様 19) 前記 6 枚の反射面は、実質的に共軸系 (共通の光軸を有する) である

10

20

30

40

50

ことを特徴とする実施態様 1 乃至 18 いずれかに記載の反射型投影光学系。(ここで、「実質的に」というのは、反射型投影光学系の収差の調整等で反射面を選択的に偏心させたり傾けたりすることがあるからである。収差の調整のために偏心させたり、傾斜させたりする場合は、ここでいう「実質的に共軸系である」ことになる。)

(実施態様 20) 前記 6 枚の反射面のうち少なくとも 1 枚は E U V 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 乃至 19 いずれかに記載の反射型投影光学系。

【0098】

(実施態様 21) 前記 6 枚の反射面はすべて E U V 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 乃至 20 いずれかに記載の反射型投影光学系。 10

【0099】

(実施態様 22) 前記反射型投影光学系で用いる光は、波長が 10 nm 以上 20 nm 以下の E U V 光であることを特徴とする実施態様 1 乃至 21 いずれかに記載の反射型投影光学系。

【0100】

(実施態様 23) 前記反射型投影光学系で用いる光は、波長 13 nm 以上 14 nm 以下の E U V 光であることを特徴とする実施態様 1 乃至 22 いずれかに記載の反射型投影光学系。

【0101】

(実施態様 24) 前記物体面側が非テレセントリックであることを特徴とする実施態様 1 乃至 23 いずれかに記載の反射型投影光学系。 20

【0102】

(実施態様 25) 前記像面側が実質的にテレセントリックであることを特徴とする実施態様 1 乃至 24 いずれかに記載の反射型投影光学系。

【0103】

(実施態様 26) 前記物体面上に反射型マスクを配置することを特徴とする実施態様 1 乃至 25 いずれかに記載の反射型投影光学系。

【0104】

(実施態様 27) 開口絞りを有し、該開口絞りの位置が前記 6 面の反射面のうち前記第 2 反射面に最も近いことを特徴とする実施態様 1 乃至 26 いずれかに記載の反射型投影光学系。 30

【0105】

(実施態様 28) 開口絞りを有し、該開口絞りが前記第 1 反射面と前記第 2 反射面の間の光路上に配置されていることを特徴とする実施態様 1 乃至 27 いずれかに記載の反射型投影光学系。

【0106】

(実施態様 29) 前記物体面上のパターンを前記像面上に縮小投影する、実施態様 1 乃至 28 いずれかに記載の反射型投影光学系と、前記物体を保持するマスクステージと、前記像面上に配置された被処理体(基板)を保持するウエハステージとを有することを特徴とする露光装置。 40

【0107】

(実施態様 30) 前記物体面を E U V 光で照明した状態で、前記マスクステージ及び前記ウエハステージを同期して走査する手段を有することを特徴とする実施態様 29 記載の露光装置。

【0108】

(実施態様 31) 光源から発する E U V 光で前記物体面を略均一に照明する照明光学系を有することを特徴とする実施態様 29 又は 30 記載の露光装置。

【0109】

(実施態様 32) 実施態様 29 乃至 31 いずれかに記載の露光装置を用いて被処理体を 50

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（現像等）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。

【0110】

【発明の効果】

本発明によれば、第3反射面の非球面量が小さく加工計測が容易であり、第3反射面を配置しやすく、全長が短くコンパクトであり、優れた結像特性を有する反射型投影光学系を構成する事が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例。

10

【図2】本発明の実施例。

【図3】本発明の実施例。

【図4】本発明の一側面としての露光装置の例示的一形態を示す概略構成図である。

【図5】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6】図5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。

【符号の説明】

M1 第1反射鏡

M2 第2反射鏡

M3 第3反射鏡

20

M4 第4反射鏡

M5 第5反射鏡

M6 第6反射鏡

MS マスク（物体面）

W ウェハ（像面）

AX 光軸

MI 中間像

200 露光装置

210 照明装置

214 照明光学系

30

214a 集光ミラー

214b オプティカルインテグレーター

220 マスク

230 投影光学系

230a 反射ミラー

240 被処理体

250 アライメント検出機構

260 フォーカス位置検出機構





フロントページの続き

Fターム(参考) 5F046 BA05 CB02 CB03 CB25 DA13 GA14 GB01