

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4393226号
(P4393226)

(45) 発行日 平成22年1月6日(2010.1.6)

(24) 登録日 平成21年10月23日(2009.10.23)

(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)	G O 3 F	7/20	5 2 1
G 2 1 K	1/06	(2006.01)	G 2 1 K	1/06	A
G 2 1 K	5/00	(2006.01)	G 2 1 K	1/06	P
G 2 1 K	5/02	(2006.01)	G 2 1 K	5/00	Z

請求項の数 5 (全 12 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2004-53238 (P2004-53238)
 (22) 出願日 平成16年2月27日(2004.2.27)
 (65) 公開番号 特開2005-244012 (P2005-244012A)
 (43) 公開日 平成17年9月8日(2005.9.8)
 審査請求日 平成19年2月23日(2007.2.23)

(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 100090538
 弁理士 西山 恵三
 (74) 代理人 100096965
 弁理士 内尾 裕一
 (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 岩本 勉

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学系及びそれを用いた露光装置、デバイスの製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光源からの波長5～20nmの光で被露光体を露光する露光装置において、
第1のミラーと第2のミラーを含み、前記光を前記被露光体に導く光学系と、
前記第1ミラーの温度が第1ゼロ交差温度になるように制御する第1の制御手段と、
前記第2ミラーの温度が前記第1ゼロ交差温度と異なる第2ゼロ交差温度になるように
制御する第2の制御手段と、を有し、

前記第1ゼロ交差温度とは、前記第1ミラーの線膨張係数がゼロになる温度であり、
前記第2ゼロ交差温度とは、前記第2ミラーの線膨張係数がゼロになる温度である
ことを特徴とする露光装置。

【請求項2】

前記第1制御手段は、輻射を用いて前記第1ミラーの温度を制御し、
前記第2制御手段は、輻射を用いて前記第2ミラーの温度を制御する
ことを特徴とする請求項1記載の露光装置。

【請求項3】

前記第1ゼロ交差温度と前記第2ゼロ交差温度との差が、2度以内である
ことを特徴とする請求項1記載の露光装置。

【請求項4】

前記第1ゼロ交差温度と前記第2ゼロ交差温度との差が、1度以内である
ことを特徴とする請求項3記載の露光装置。

10

20

【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 のいずれか一項記載の露光装置を用いて被露光体を露光するステップと

露光された前記被露光体を現像するステップと、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】

【技術分野】

【0001】

本発明は、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露光する露光装置に関する。本発明は、特に、露光光源として紫外線や極端紫外線（EUV：extreme ultraviolet）光を利用して露光を行う露光装置に好適である。

10

【背景技術】

【0002】

フォトリソグラフィ（焼き付け）技術を用いて半導体メモリや論理回路などの微細な半導体素子を製造する際に、レチクル又はマスク（本出願ではこれらの用語を交換可能に使用する。）に描画された回路パターンを投影光学系によってウェハ等に投影して回路パターンを転写する縮小投影露光装置が従来から使用されている。

【0003】

縮小投影露光装置で転写できる最小の寸法（解像度）は、露光に用いる光の波長に比例し、投影光学系の開口数（NA）に反比例する。従って、波長を短くすればするほど、解像度はよくなる。このため、近年の半導体素子の微細化への要求に伴い露光光の短波長化が進められ、超高圧水銀ランプ（i線（波長約365nm））、KrFエキシマレーザー（波長約248nm）、ArFエキシマレーザー（波長約193nm）と用いられる紫外線光の波長は短くなってきた。

20

【0004】

しかし、半導体素子は急速に微細化しており、紫外線光を用いたリソグラフィでは限界がある。そこで、0.1μm以下の非常に微細な回路パターンを効率よく転写するために、紫外線光よりも更に波長が短い、波長10nm乃至15nm程度の極端紫外線（EUV）光を用いた縮小投影露光装置（以下、「EUV露光装置」と称する。）が開発されている。

30

【0005】

露光光の短波長化が進むと物質による光の吸収が非常に大きくなるので、可視光や紫外光で用いられるような光の屈折を利用した屈折素子、即ち、レンズを用いることは難しく、EUV光の波長領域では使用できる硝材が存在しなくなり、光の反射を利用した反射素子、即ち、ミラー（例えば、多層膜ミラー）のみで光学系を構成する反射型光学系が用いられる。

【0006】

ミラーは、露光光を全て反射するわけではなく、ミラー1枚につき該ミラーに入射する露光光の30%以上を吸収する。吸収した露光光は、分熱となりミラーの表面形状を変形させて光学性能（特に、結像性能）の劣化を引き起こしてしまう。そこで、ミラーは、温度変化によるミラー形状の変化を小さくするために線膨張係数の非常に小さな、例えば、線膨張係数が5ppb/Kといった低熱膨張材料で構成される（特許文献1、2）。

40

【特許文献1】特開2003-188097号公報

【特許文献2】特開2003-267789号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、EUV露光装置は、従来の紫外線よりも1桁小さな波長を使用するため、ミラーの表面形状の変形も従来より1桁小さな値にする必要があり、0.1nm r m

50

s 程度以下の变形しか許されない。例えば、ミラーの線膨張係数を 5 ppb/K 、ミラーの厚さが 100 mm であるとする、わずかに 0.2 の温度上昇により、ミラー表面の形状が 0.1 nm 変化することになり、EUV 露光装置のミラーの表面形状の变形の許容値に達してしまう。

【0008】

そこで、本発明では、若干ミラーの温度が変化したとしても、ミラーを有する光学系の光学特性の変化を低減することができるような光学系、又はそのような光学系を備える露光装置を提供することを例示的目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記目的を達成するために、本発明の一側面としての露光装置は、光源からの波長 $5 \sim 20 \text{ nm}$ の光で被露光体を露光する露光装置において、第1のミラーと第2のミラーを含み、前記光を前記被露光体に導く光学系と、前記第1ミラーの温度が第1ゼロ交差温度になるように制御する第1の制御手段と、前記第2ミラーの温度が前記第1ゼロ交差温度と異なる第2ゼロ交差温度になるように制御する第2の制御手段と、を有し、前記第1ゼロ交差温度とは、前記第1ミラーの線膨張係数がゼロになる温度であり、前記第2ゼロ交差温度とは、前記第2ミラーの線膨張係数がゼロになる温度である。

【0020】

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。

【発明の効果】

【0021】

本発明によれば、結像性能の劣化となる光学部材の熱膨張による变形を低減させることが可能な光学系を実現することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

温度変化に対してミラーの形状変化を小さくすることが可能な原理について最初に説明する。ミラー等の光学素子は温度が変化すると形状が変化してしまう。その変化量は、そのミラーを構成する材料の線膨張係数に比例して変化する。従って、線膨張係数が 0 (ゼロ) であれば、温度が変化してもミラーの形状は変化しないが、そのように常に線膨張係数が 0 である材料は見つかってはいない。しかしながら、所定の温度において線膨張係数が 0 になる材料は存在する。そこで、本実施例においては、実際に使用する温度又はその近傍において線膨張係数が 0 (ゼロ) となるような材料でミラー (光学素子) を作成している。その結果、温度変化に対するミラーの形状変化量を低減することが可能となり、ひいてはそのミラーを備える光学系の光学性能の劣化 (変化) も低減することができる。

【0023】

ここでは、線膨張係数がゼロとなるような温度 (ゼロ交差温度) T_z が存在するミラーの材料に関して、温度 T_z 近傍においては線膨張係数 CTE が下記のような数式で表せるものとする。

$$CTE(T) = A(T - T_z) (\text{ppb/K}) : T \cdot \cdot \cdot \text{温度} ()$$

ここで、 $CTE(T)$ は線膨張係数 CTE (温度 T の関数) を、 A は $CTE(T)$ の温度 T に関する傾きを、 T_z はミラーを構成する材料の線膨張係数が 0 になる温度を表している。この数式からも明らかなように、上記のような材料を、線膨張係数がゼロとなるような温度 T_z の近傍の温度に制御して用いれば、温度変化に伴うミラーの表面形状の変化を小さくすることが可能となり、その結果そのミラーを含む光学系の光学特性を温度変化に拠らず安定化させることができる。

【0024】

しかしながら、ミラーの材料を作成する際に、その材料の線膨張係数がゼロになる温度を常に一定に保つのは製造上非常に困難である。その結果、ミラー材料の線膨張係数がゼロになる温度にはばらつきが生じてしまう。例えば、線膨張係数がゼロとなる温度が 23

10

20

30

40

50

になるように狙ってミラー材料を製造しても、実際に製造されたミラー材料の線膨張係数がゼロとなる温度は20 ~ 26 程度(22 ~ 24 もしくは22.5 ~ 23.5)の範囲でばらつく可能性がある。そのため、複数枚のミラーを用いる光学系において、光学系全体を同じ温度で管理した場合、ミラーの線膨張係数がゼロになる温度と光学系全体の温度とが近いミラーとそうではないミラーとが生じる。光学系全体の温度(ミラーの設定温度)と線膨張係数がゼロになる温度との差が大きなミラーに関しては、そのミラーの材料の線膨張係数が大きくなってしまうため、露光時の温度変化(熱)によるミラーの変形量が大きくなり、結果としてそのミラーを有する光学系が温度変化に対して収差が発生しやすい光学系になってしまうという問題がある。

【0025】

そこで、本実施例においては、線膨張係数がゼロとなる温度が存在する材料を用いた複数のミラーを含んだ露光装置において、各ミラーの材料の(製造誤差によって生じる)線膨張係数がゼロになる温度にばらつきが発生していても、温度変化に対してミラーの形状変化量を低減できるような光学系、またそれを備える露光装置、デバイスの製造方法を提供することを例示的目的としている。

【0026】

以下、添付図面を参照して本発明の例示的一態様である露光装置について説明する。ここで、図1は、本実施例としての露光装置500を示す概略構成図である。

【0027】

本実施例の露光装置500は、露光用の照明光としてEUV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520に形成された回路パターンを被処理体540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。

【0028】

図1を参照するに、露光装置500は、照明装置510と、マスク520を載置するマスクステージ525と、被処理体540を載置するウェハステージ545と、前述のマスク520の像を被処理体上に形成する投影光学系530と、アライメント検出機構550と、フォーカス位置検出機構560とを有する。

【0029】

また、図1に示すように、EUV光は大気に対する透過率が低いいため、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。

【0030】

照明装置510は、投影光学系530の円弧状の視野に対する円弧状のEUV光(例えば、波長13.4 nm)によりマスク520を照明する照明装置であって、EUV光源512と、照明光学系514とを有する。

【0031】

EUV光源512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13 nm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。

【0032】

10

20

30

40

50

照明光学系 5 1 4 は、集光ミラー 5 1 4 a (凹面ミラーでも凸面ミラーでも構わない)、オプティカルインテグレーター 5 1 4 b から構成される。集光ミラー 5 1 4 a 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 5 1 4 b は、マスク 5 2 0 を均一に所定の開口数で照明する役割を持っている。

【 0 0 3 3 】

マスク 5 2 0 は、反射型マスクであり、その上には転写されるべき回路パターン (又は像) が形成されている。このマスクは、静電チャック等を用いてマスクステージに支持、固定されており、マスクステージと一体的に駆動されている。マスク 5 2 0 から発せられた回折光は、投影光学系 5 3 0 で反射されて被処理体 5 4 0 上に投影される。マスク 5 2 0 と被処理体 5 4 0 とは、光学的に共役の関係に配置される。露光装置 5 0 0 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 5 2 0 と被処理体 5 4 0 を走査することによりマスク 5 2 0 のパターンを被処理体 5 4 0 上に縮小投影する。

10

【 0 0 3 4 】

マスクステージ 5 2 5 は、マスク 5 2 0 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 5 2 5 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 5 2 5 を駆動することでマスク 5 2 0 を移動することができる。露光装置 5 0 0 は、マスク 5 2 0 と被処理体 5 4 0 を投影光学系の倍率を考慮して同期した状態で走査する。ここで、マスク 5 2 0 又は被処理体 5 4 0 面内で走査方向を X、それに垂直な方向を Y、マスク 5 2 0 又は被処理体 5 4 0 の面に略垂直な方向を Z とする。

20

【 0 0 3 5 】

投影光学系 5 3 0 は、複数の反射ミラー (即ち、多層膜ミラー) を用いて、マスク 5 2 0 面上のパターンを像面である被処理体 5 4 0 上に縮小投影する。複数のミラーの枚数は、4 枚乃至 6 枚程度である。図 1 では、マスク側から光を反射する順に M 1、M 2、M 3、M 4 の 4 枚のミラー系の例を示した。4 枚乃至 8 枚程度 (好ましくは 4 枚、6 枚、8 枚等の偶数枚であることが好ましい) の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 5 2 0 と被処理体 5 4 0 を同時に走査して、被処理体上の広い面積に対してマスク面上のパターンを転写する。投影光学系 5 3 0 の開口数 (NA) は、0.2 乃至 0.3 程度である。

30

【 0 0 3 6 】

被処理体 5 4 0 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 5 4 0 には、フォトレジストが塗布されている。フォトレジスト塗布工程は、前処理と、密着性向上剤塗布処理と、フォトレジスト塗布処理と、プリベーク処理とを含む。前処理は、洗浄、乾燥などを含む。密着性向上剤塗布処理は、フォトレジストと下地との密着性を高めるための表面改質 (即ち、界面活性剤塗布による疎水性化) 処理であり、HMDS (Hexamethyl-disilazane) などの有機膜をコート又は蒸気処理する。プリベークは、ベーク (焼成) 工程であるが現像後のそれよりもソフトであり、溶剤を除去する。

40

【 0 0 3 7 】

ウェハステージ 5 4 5 は、ウェハチャック 5 4 5 a によって被処理体 5 4 0 を支持する。ウェハステージ 5 4 5 は、例えば、リニアモーターを利用して X Y Z 方向に被処理体 5 4 0 を移動する。この被処理体 5 4 0 を載置したウェハステージ 5 4 5 は、投影光学系の投影倍率を考慮した上で、前述のマスクステージと同期して走査される。また、マスクステージ 5 2 5 の位置とウェハステージ 5 4 5 との位置は、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。

【 0 0 3 8 】

アライメント検出機構 5 5 0 は、マスク 5 2 0 の位置と投影光学系 5 3 0 の光軸との位置関係、及び、被処理体 5 4 0 の位置と投影光学系 5 3 0 の光軸との位置関係を計測し、

50

マスク 520 の投影像が被処理体 540 の所定の位置に一致するようにマスクステージ 525 及びウェハステージ 545 の位置と角度を設定する。

【0039】

フォーカス位置検出機構 560 は、被処理体 540 面で Z 方向のフォーカス位置を計測し、ウェハステージ 545 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 540 面を投影光学系 530 による結像位置に保つ。

【0040】

露光において、照明装置 510 から射出された E U V 光はマスク 520 を照明し、マスク 520 面上のパターンを被処理体 540 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 520 と被処理体 540 を縮小倍率比の速度比で走査することにより、マスク 520 の全面を露光する。

10

【0041】

次に、図 1 の投影光学系 530 の各ミラー材料の線膨張係数の特性と、各ミラーの温度について図 2 及び図 3 を参照しながら説明する。

【0042】

図 2 は、ミラー材料の線膨張係数の温度依存性の例を示す図であり、横軸が温度 T ()、縦軸が線膨張係数 $C T E$ (C o e f f i c i e n t o f T h e r m a l E x p a n s i o n) を示す。本発明で用いるミラー材料には線膨張係数 $C T E$ がゼロになる温度が存在し、その温度を $T z$ () と記す。

【0043】

線膨張係数 $C T E$ は、 $T z$ () の近くの温度ではほぼ線形に変化する。

例えば、 $T z = 23.0$ で

傾き A が -1.25 [p p b / K / K] の材料の場合には、

$C T E = -1.25 \times (T - 23.0)$ [p p b / K] で近似される。その場合には、ミラー温度を 23.0 の近傍に制御することにより、温度変化（熱）による変形を小さくすることができる。

【0044】

ミラーの温度が $T z$ からずれてくると、 $C T E$ が徐々に大きくなってしまいうため、単位温度変化（熱）によるミラーの変形量が大きくなり、それによる収差の発生量が大きくなることになる。

30

【0045】

ここで、前述したように、複数のミラーを構成する材料の、線膨張係数がゼロになる温度を同じにするのは製造上非常に困難であるため、複数個のミラーを用いる場合には、各々のミラー材料の線膨張係数がゼロになる温度 $T z$ の値はばらつきをもっている（互いに異なっている）ことが想定される。

【0046】

そこで、本実施例においては、線膨張係数がゼロになる温度が互いに異なる複数のミラーを、それぞれのミラーが最適な温度になるように温度制御することによって、各ミラー、それらのミラーを備える光学系の光学性能の劣化（変化）を抑えている。そのミラーの温度（ミラーの温度を制御する際の制御目標温度）は、各ミラーの材料の線膨張係数がゼロになる温度であることが好ましいが、 1.5 以内（好ましくは 1.0 以内、さらに好ましくは 0.5 以内）であればずれていても構わない。

40

【0047】

具体的な数値実施例は図 3 に示すとおりである。図 3 には、本実施例 1 ~ 4 における各ミラー $M 1 \sim M 4$ の線膨張係数がゼロになる温度 $T z$ と、各ミラーを温度制御する際の各ミラーの目標温度 $T c$ を示している。図 3 のように、各ミラーごとにそれぞれのミラーの最適な温度の目標値（制御目標温度）を設定し、その目標値になるように各ミラーを不図示の冷却機構によって冷却（または / 及び加熱）して温度制御している。

【0048】

その際、複数のミラー（この実施例では 4 枚のミラー）のうち、あるミラーの制御目標

50

温度と別のミラーの制御目標温度とが互いに異なるようにしている。具体的には、図3中の第1～3実施例のように各ミラー材料の線膨張係数がゼロになる温度は互いに異なっていることが考えられるため、その場合は、複数のミラーすべてに関して互いに異なる制御目標温度を設定し、互いに異なる温度となるように制御する。また、第4実施例においては、線膨張係数が0になる温度が等しいM1、M2の両者に関して、互いに等しい温度（線膨張係数が0になる温度）となるように温度制御を行っている。

【0049】

上記のように、光学系（露光装置の投影光学系及び/又は照明光学系）を構成する複数のミラー（本実施例においては、線膨張係数が0になる温度が互いに異なる2枚のミラーを含む4枚のミラー）の温度制御を行う際、各ミラー温度（各ミラーの制御目標温度）を、各ミラーの材料の線膨張係数がゼロになる温度 T_z になるように制御することにより、各ミラーの温度変化に対する形状変化量を低減している。

10

【0050】

但し、各ミラーの材料の線膨張係数がゼロになる温度 T_z と各ミラー温度（各ミラーの制御目標温度）とを一致させると、各ミラーを有する光学系全体の収差量が大きくなる場合（光学系の波面測定結果が非常に悪かったり、光学系のある特定の収差が大きかったりする場合には、ミラーの温度（ミラーの制御目標温度）とミラーの材料の線膨張係数がゼロになる温度 T_z とが互いに異なるようにミラーの温度制御を行っても構わない。但し、ミラーの温度とミラーの材料の線膨張係数がゼロになる温度 T_z とのずれは1.5度以内（好ましくは1.0度、より好ましくは0.5度以内）とすることが望ましい。

20

【0051】

さらに、このようなミラーを有する光学系をEUV光を用いた露光装置の照明光学系や投影光学系のように、各ミラーにおける光の吸収率が高い（5%以上、好ましくは10%以上、より好ましくは25%以上）光学系に適用する場合、次のように光学系の温度を決定しても良い。このような各ミラーにおける光の吸収率が高い光学系の場合、光路上の光源（投影光学系の場合はレチクル側と言っても構わない）に近いミラーほど光の吸収量が大きくなりミラーが温度変化、変形しやすくなるため、光源に近いミラーの温度は線膨張係数がゼロになる温度に近くなるようにすることが望ましい。その逆に、被露光体（ウエハ等の基板）に近いミラーほど光の吸収量が小さくなり、ミラーの温度変化や変形が起こりにくく（発生したとしても小さく）なるため、ミラーの制御目標温度がミラー材料の線膨張係数がゼロになる温度から若干ずれていても構わない。具体的には、最も光源側のミラーの温度がゼロ交差温度（ミラーの材料の線膨張係数がゼロになる温度）から1.5度以内（好ましくは1.0度以内、より好ましくは0.5度以内）の温度となるように調整し、最も被露光体側のミラーはそのミラーのゼロ交差温度からのずれが2.0度又は3.0度以内の範囲で、光学系の収差（波面収差、歪曲収差、非点収差等の特定の収差）を所望の範囲に収めるように制御目標温度を設定するようにしても構わない。

30

【0052】

上記のように、各ミラーの材料に関して、線膨張係数が0になる温度の近傍に各ミラーの制御目標温度を設定することが望ましいが、各ミラー間の制御目標温度に差がありすぎると制御が難しくなるので、最も高温に制御するミラーと最も低温に制御するミラーの、温度の目標値（制御目標温度）の差が6度以下（好ましくは3度以下、さらに好ましくは1.5度以下）であることが望ましい。

40

【0053】

また、逆に、複数のミラーのうち線膨張係数がゼロになる温度の最高値と最低値との差を T_{dif} としたとき、前述の最も高温に制御するミラーと最も低温に制御するミラーの、温度の目標値の差が $(T_{dif} - 0.1)$ 度より大きい及び/又は0.1度（より好ましくは0.4度）より大きい。

【0054】

このように各ミラーの温度を調整することにより、これらのミラーを備える光学系の、温度変化に対する収差変化量を低減することができる。また、光学系が有する複数のミラ

50

ーを構成する材料の、線膨張係数がゼロになる温度が互いに異なる場合（複数のミラーを構成する材料のうち線膨張係数がゼロになる温度が最も高い値と最も低い値との差が0.1度以上、より好ましくは0.3度以上、さらに好ましくは1.0度以上）、それら複数のミラー各々に対して相異なる温度を制御目標温度として温度制御することにより、温度変化による各ミラーの膨張を低減し、露光によるミラーの熱変形や、その熱変形に起因して発生する光学系の収差量を低減するという効果が顕著になる。

【0055】

勿論、すべてのミラーそれぞれに関して相異なる制御目標温度を設定する必要は無く、光学系を構成する複数のミラーのうち第1ミラーの線膨張係数がゼロになる温度と、第2ミラーの線膨張係数がゼロになる温度とが異なっている場合に、第1ミラーの制御目標温度と第2ミラーの制御目標温度とが互いに異なるようにすれば良い。このとき、第3ミラーの制御目標温度及び/又は第4ミラーの制御目標温度が第1ミラーの制御目標温度と同じであっても構わない。また、第4実施例のM2とM3のように、お互いに線膨張係数がゼロになる温度が同じであっても、相異なる制御目標温度を設定しても構わないし、第3実施例のM1とM2のように、線膨張係数がゼロになる温度が互いに異なるにも関わらず、制御目標温度を同じにしても構わない。

【0056】

次に、前述の冷却機構について簡単に説明する。冷却機構としては、図6に記載したようなものがある。その他、公知のどのような冷却機構を用いても構わない。尚、図6の冷却機構は、真空チャンバに囲まれた空間（真空雰囲気）内に光学部材（図6においてはミラー）があり、その光学部材の表面側にはEUV光（13～14nm）等の露光光が照射されている。この光学部材の温度を温度センサを用いて検出する温度検出部と、この温度検出部からの温度検出結果を受けて、ペルチェ素子を制御するペルチェ素子制御部に指令を送る温度制御部（ミラー温度制御部）とを備えている。ここで、ペルチェ素子の一方には前述の光学部材（ミラー）と対向して配置され、輻射により光学部材の温度を調節する輻射板が配置されており、ペルチェ素子の他方には冷却ジャケットが配置されている。この冷却ジャケットは、熱媒体循環装置から熱媒体配管を介して流される熱媒体によって、略一定温度になるように制御されている。このような構成において、冷却ジャケットの温度と、前述のペルチェ素子を制御することにより、輻射板の温度を調節し、ひいては光学部材（ミラー）の温度を調節（冷却）している。

【0057】

ここで、温度センサはミラーの裏面側に設けているため、実際に露光光が照射されているミラーの表面側ではなくミラーの裏面側の温度を検出している。勿論温度センサはミラーの裏面側及び/又はミラーの側面側及び/又はミラーの表面側（露光光の非照射領域又はミラー表面の温度を非接触に検出可能な温度センサーを設ける）の温度を検出するようにしても良い。そして、それらの検出結果に基づいてミラーの温度分布を演算し、その温度分布に基づいて制御目標温度を決定しても良いし、予め所定の温度センサの出力と制御目標温度（温度分布も関連づけておいてもよい）を関連づけておいて、それに基づいて制御目標温度を決定しても良い。このようにミラーの制御目標温度を決定し、ミラーが所望の温度となるように輻射部材（輻射板）を用いてミラーを温度調節している。

【0058】

ここで、制御目標温度 T_c とは勿論ミラーの温度の制御目標値のことである。ここで、「ミラー（光学素子）の温度」とは、実施例中の記載においては、ミラー全体の平均温度、又はミラーの光照射領域に関する厚み方向の平均温度、又はミラーの所定領域内（所定の1点でも構わない）の厚み方向の平均温度である。しかしながら、勿論制御目標温度はその限りではなく、ミラーの表面温度であっても、ミラーの裏面側の表面温度であっても、温度センサで温度を測定する点（領域）の温度であっても良いし、複数の温度センサからの複数の検出値に基づいて計算された数値であっても構わない。但し、ミラーの温度変化に伴う変形量を低減することが目的であるので、制御目標温度 T_c は、好ましくはミラー全体の平均温度もしくはミラーの光照射領域に関する厚み方向の平均温度であることが

10

20

30

40

50

望ましい。

【0059】

また、図3の実施例1～4の記載、又はその他の記載において、各ミラーの制御目標温度は勿論光学素子（ミラー）の実際の温度と実質的に等価であると考え、光学素子の制御目標温度と光学素子の（実際の）温度とは、矛盾の無い範囲で交換可能に使用し、交換可能な言葉として解釈しても構わない。

【0060】

次に、図4及び図5を参照して、上述の露光装置500を利用したデバイス製造方法の実施例を説明する。図4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。

【0061】

図5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500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す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500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。

【0062】

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、本発明は、g線、h線、i線、ArFエキシマレーザーやF₂レーザーなどのEUV光以外で露光する反射鏡を含んだ露光装置にも適用することができる。また、投影光学系の結像ミラーだけでなく、マスクにも適用することができる。また、投影光学系だけでなく照明光学系にも適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0063】

【図1】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2】ミラー材料の線膨張係数の温度依存性の例を示す図である。

【図3】図1の実施例における投影光学系の各ミラー材料の線膨張係数がゼロになる温度と、各ミラーの制御目標温度を示す図である。

【図4】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5】図4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6】本実施例の輻射冷却機構の概略図である。

10

20

30

40

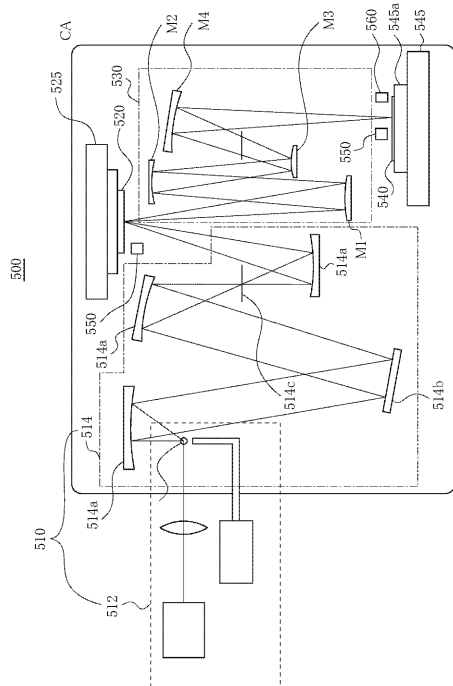
50

【符号の説明】

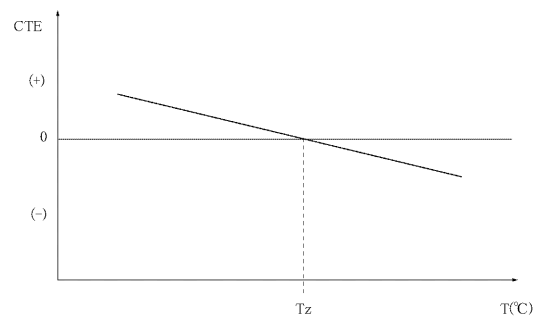
【0064】

- 500 露光装置
- 510 照明装置
- 512 E U V 光源
- 514 照明光学系
- 520 マスク
- 530 投影光学系
- M1 第1ミラー
- M2 第2ミラー
- M3 第3ミラー
- M4 第4ミラー
- Tz 線膨張係数がゼロになる温度
- Tc ミラーの制御目標温度
- CTE 線膨張係数

【図1】



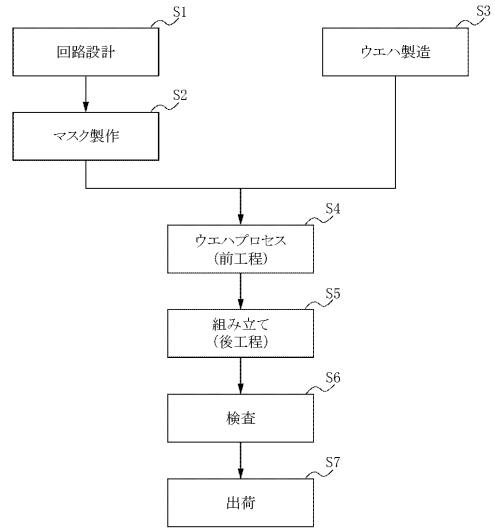
【図2】



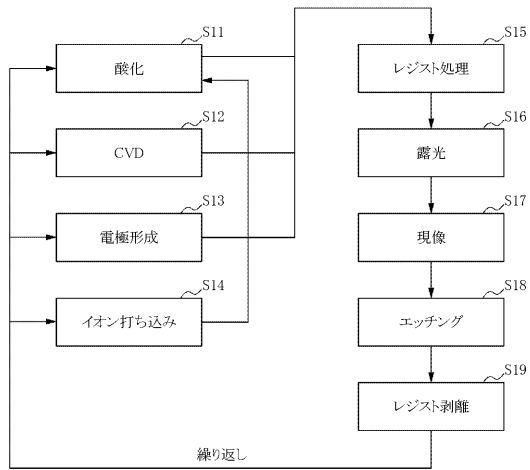
【図3】

ミラー	第1実施例		第2実施例		第3実施例		第4実施例	
	Tz	Tc	Tz	Tc	Tz	Tc	Tz	Tc
M1	24.2	24.2	23.3	23.3	23.3	23.2	23.2	23.2
M2	22.8	22.8	23.1	23.1	23.1	23.2	23.2	23.2
M3	20.5	20.5	23.2	23.2	23.2	23.1	23.1	23.1
M4	25.8	25.8	22.9	22.9	23.1	22.7	22.7	22.7

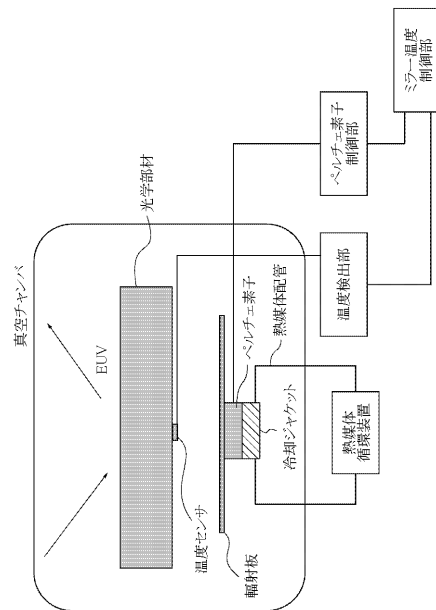
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
G 2 1 K 5/02 X

(56)参考文献 特開2004-029314(JP,A)
特開2003-188097(JP,A)
特表2007-524214(JP,A)
特開2004-039862(JP,A)
特開2001-052986(JP,A)
特開2005-175255(JP,A)
国際公開第2005/015477(WO,A1)
国際公開第03/76352(WO,A1)
国際公開第03/77038(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H 0 1 L 2 1 / 0 2 7
G 0 3 F 7 / 2 0
G 2 1 K 1 / 0 6
G 2 1 K 5 / 0 0
G 2 1 K 5 / 0 2