

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号
特開2023-48535
(P2023-48535A)

(43)公開日 令和5年4月7日(2023.4.7)

(51)国際特許分類

G 0 3 F 7/20 (2006.01)

F I

G 0 3 F

G 0 3 F

7/20

7/20

5 0 2

5 2 1

テーマコード(参考)

2 H 1 9 7

審査請求 未請求 請求項の数 20 O L (全16頁)

(21)出願番号 特願2021-157909(P2021-157909)
(22)出願日 令和3年9月28日(2021.9.28)(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
(74)代理人 100126240
弁理士 阿部 琢磨
(74)代理人 100124442
弁理士 黒岩 創吾
(72)発明者 星野 里佳
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 高橋 和弘
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) 2H197 AA09 BA04 BA06 BA09
BA10 BA11 BA21 CA06
最終頁に続く

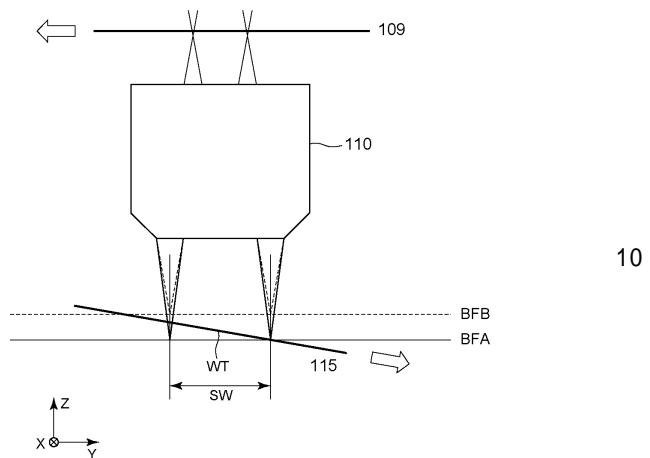
(54)【発明の名称】 露光装置、露光方法および半導体装置の製造方法

(57)【要約】

【課題】 投影光学系の焦点深度の向上に有利な技術を提供する。

【解決手段】 パターンが形成された原版を用いて基板を露光する露光装置であって、第1の波長の第1露光光と第1の波長とは異なる第2の波長の第2露光光とを含む露光光を原版に導く照明光学系と、軸上色収差を有する投影光学系であり、露光光を用いて原版のパターン像を投影光学系の光軸方向における複数の位置に結像させる投影光学系と、基板の表面の法線方向を投影光学系の光軸方向に対して傾けた状態で基板を走査させながら基板の露光を行う制御部と、を含む。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

パターンが形成された原版を用いて基板を露光する露光装置であって、

第1の波長の第1露光光と前記第1の波長とは異なる第2の波長の第2露光光とを含む露光光を前記原版に導く照明光学系と、

軸上色収差を有する投影光学系であり、前記露光光を用いて前記原版のパターン像を前記投影光学系の光軸方向における複数の位置に結像させる投影光学系と、

前記基板の表面の法線方向を前記投影光学系の光軸方向に対して傾けた状態で前記基板を走査させながら前記基板の露光を行う制御部と、を含むことを特徴とする露光装置。

【請求項 2】

前記第1露光光及び前記第2露光光はそれぞれ、光源から発振される基準波長の光から波長をずらした光であることを特徴とする請求項1に記載の露光装置。

【請求項 3】

前記第1露光光と前記第2露光光のうち、一方は光源から発振される基準波長の光から波長をずらした光であり、他方は前記基準波長の光であることを特徴とする請求項1に記載の露光装置。

【請求項 4】

前記照明光学系は、前記基板の走査方向における前記露光光の幅を規定するスリットを備えることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の露光装置。

【請求項 5】

前記制御部は、前記基板に照明される露光光の前記基板の走査方向における幅に応じて決定された、前記光軸方向に垂直な面に対する前記基板の傾け角度で前記基板を走査せながら前記基板の露光を行うことを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の露光装置。

【請求項 6】

前記第1の波長及び前記第2の波長は、前記投影光学系の軸上色収差に基づいて決定されることを特徴とする請求項1乃至5のいずれか1項に記載の露光装置。

【請求項 7】

前記基板に照明される露光光の前記基板の走査方向における幅をSW、前記光軸方向に垂直な面に対する前記基板の傾け角度をWT、前記第1の波長と前記第2の波長との差を

、前記投影光学系の軸上色収差をLとしたとき、

前記制御部は、

$$0.5 \times (SW \times WT) / (\quad \times L) = 1.5$$

という条件を満足するように前記基板の露光を行うことを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の露光装置。

【請求項 8】

前記制御部は、

$$(SW \times WT) / (\quad \times L) = 1$$

という条件を満足するように前記基板の露光を行うことを特徴とする請求項7に記載の露光装置。

【請求項 9】

前記照明光学系は、波長差の間隔がある複数の波長の露光光を前記原版に導くことを特徴とする請求項1に記載の露光装置。

【請求項 10】

前記複数の波長の露光光はそれぞれ、光源から発振される基準波長の光から波長をずらした光であることを特徴とする請求項9に記載の露光装置。

【請求項 11】

前記複数の波長の露光光の一部は、光源から発振される基準波長の光であり、他の露光光は、前記基準波長の光から波長をずらした光であることを特徴とする請求項9に記載の露光装置。

10

20

30

40

50

【請求項 1 2】

前記基板に照明される露光光の前記基板の走査方向における幅を SW、前記光軸方向に垂直な面に対する前記基板の傾け角度を WT、前記投影光学系の軸上色収差を Lとしたとき、

前記制御部は、

$$0.5 (SW \times WT) / (\quad \times L) = 1.5$$

という条件を満足するように前記基板の露光を行うことを特徴とする請求項 9 乃至 11 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 1 3】

前記制御部は、

$$(SW \times WT) / (\quad \times L) = 1$$

という条件を満足するように前記基板の露光を行うことを特徴とする請求項 1 2 に記載の露光装置。

【請求項 1 4】

パターンが形成された原版を照明する照明光学系と、軸上色収差を有する投影光学系であり前記パターンを前記投影光学系の光軸方向における複数の位置に結像させる投影光学系とを含む露光装置を用いて基板を露光する露光方法であって、

第 1 の波長の第 1 露光光と前記第 1 の波長とは異なる第 2 の波長の第 2 露光光とを含む露光光を用いて、前記基板の表面の法線方向を前記投影光学系の光軸方向に対して傾けた状態で前記基板を走査させながら前記基板を露光する露光工程を含むことを特徴とする露光方法。

【請求項 1 5】

前記第 1 露光光及び前記第 2 露光光はそれぞれ、光源から発振される基準波長の光から波長をずらした光であることを特徴とする請求項 1 4 に記載の露光方法。

【請求項 1 6】

前記露光工程において、前記基板に照明される露光光の前記基板の走査方向における幅に応じて決定された、前記光軸方向に垂直な面に対する前記基板の傾け角度で前記基板を走査させながら前記基板の露光を行うことを特徴とする請求項 1 4 または 1 5 に記載の露光方法。

【請求項 1 7】

前記第 1 の波長及び前記第 2 の波長は、前記投影光学系の軸上色収差に基づいて決定されることを特徴とする請求項 1 4 乃至 1 6 のいずれか 1 項に記載の露光方法。

【請求項 1 8】

前記基板に照明される露光光の前記基板の走査方向における幅を SW、前記光軸方向に垂直な面に対する前記基板の傾け角度を WT、前記第 1 の波長と前記第 2 の波長との差を、前記投影光学系の軸上色収差を Lとしたとき、

前記露光工程において、

$$0.5 (SW \times WT) / (\quad \times L) = 1.5$$

という条件を満足するように前記基板の露光を行うことを特徴とする請求項 1 4 乃至 1 7 のいずれか 1 項に記載の露光方法。

【請求項 1 9】

前記露光工程において、

$$(SW \times WT) / (\quad \times L) = 1$$

という条件を満足するように前記基板の露光を行うことを特徴とする請求項 1 8 に記載の露光方法。

【請求項 2 0】

基板に溝を形成する第 1 形成工程と、前記溝の中に画素分離部を形成する第 2 形成工程と、を含む半導体装置の製造方法であって、

前記第 1 形成工程は、パターンが形成された原版を照明する照明光学系と、軸上色収差を有する投影光学系であり前記パターンを前記投影光学系の光軸方向における複数の位置

10

20

30

40

50

に結像させる投影光学系とを含む露光装置を用いて前記基板を露光する露光工程を含み、前記露光工程において、第1の波長の第1露光光と前記第1の波長とは異なる第2の波長の第2露光光とを含む露光光を用いて、前記基板の表面の法線方向を前記投影光学系の光軸方向に対して傾けた状態で前記基板を走査させながら前記基板を露光することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、露光装置、露光方法および半導体装置の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体デバイス等の物品の製造において、原版（レチクル又はマスク）を照明光学系で照明し、投影光学系を介して原版のパターンを基板に投影して基板を露光する露光装置が使用されている。露光装置において、基板上に配置されたレジストに原版のパターン像が形成され、その後エッチング処理等が実施されることによって基板上に所望のパターンが形成される。

【0003】

デバイスの製造方法に応じて必要とされるレジストの厚さが異なり、必要なレジスト膜の厚さが厚いプロセスを厚膜プロセスと呼ぶことがある。この厚膜プロセスにおいては、レジストにパターン像を高精度に形成するために、露光装置に含まれる投影光学系の焦点深度を拡大することが求められる。

【0004】

特許文献1には、エキシマレーザ等の光源を相異なる2つの波長で発振させることにより、光源の波長を時間的に2つに分割して露光を行う多波長露光に関する内容が開示されている。投影光学系の軸上色収差の影響により投影光学系の光軸方向の異なる位置にパターンを結像させることができる。

【0005】

特許文献2には、露光装置の焦点深度を拡大する方法として、F L E X (F o c u s L a t i t u d e E n h a n c e m e n t E x p o s u r e) 法を開示している。F L E X 法は、基板を複数のデフォーカス状態で露光する方法、あるいは、原版によって投影光学系の像面近傍に形成される光強度が光軸方向について重ね合わされるように基板を露光する方法である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開昭64-77123号公報

【特許文献2】特開平7-153658号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

近年、厚膜プロセスにおいて塗布されるレジストの厚みが従来よりもさらに厚くなり、投影光学系の焦点深度のさらなる拡大が求められている。そのため、特許文献1で開示された多波長露光による焦点深度の拡大や、特許文献2で開示されたF L E X 法による焦点深度の拡大では不十分となるおそれがある。

【0008】

本発明は、投影光学系の焦点深度の向上に有利な技術を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記課題を解決する本発明の露光装置は、パターンが形成された原版を用いて基板を露光する露光装置であって、第1の波長の第1露光光と前記第1の波長とは異なる第2の波

10

20

30

40

50

長の第2露光光とを含む露光光を前記原版に導く照明光学系と、軸上色収差を有する投影光学系であり、前記露光光を用いて前記原版のパターン像を前記投影光学系の光軸方向における複数の位置に結像させる投影光学系と、前記基板の表面の法線方向を前記投影光学系の光軸方向に対して傾けた状態で前記基板を走査させながら前記基板の露光を行う制御部と、を含むことを特徴とする。

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、投影光学系の焦点深度の向上に有利な技術が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0011】

10

【図1】露光装置の構成を示す図である。

【図2】走査F L E X法と多波長露光法を組み合わせた走査露光を示す模式図である。

【図3】実施例1における投影光学系の焦点深度を示した模式図である。

【図4】実施例1における投影光学系の焦点深度を示した模式図である。

【図5】実施例2における投影光学系の焦点深度を示した模式図である。

【図6】実施例3における投影光学系の焦点深度を示した模式図である。

【図7】レジストに形成されたパターンの断面プロファイル形状を示す図である。

【図8】半導体装置の製造過程を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

20

以下、図面を参照して本発明の実施形態について詳細に説明する。なお、以下の実施形態は本発明の実施の具体例を示すにすぎないものであり、本発明は以下の実施形態に限定されるものではない。また、以下の実施形態の中で説明されている特徴の組み合わせの全てが本発明の課題解決のために必須のものであるとは限らない。

【0013】

図1は、本実施形態における露光装置の概略構成を示す図である。露光装置は、光源1から出た光を照明光学系104を通して原版(マスクまたはレチクルとも呼ばれる)109のパターンを照射し、投影光学系110によって基板115に投影して基板115を露光するように構成されている。

【0014】

30

本実施形態では、水平面をXY平面とするXYZ直交座標系において方向を示し、投影光学系110の光軸に平行な軸をZ軸とし、Z軸と直交する方向にX軸およびY軸をとる。X軸、Y軸、Z軸に平行な方向をそれぞれX方向、Y方向、Z方向とする。

【0015】

照明光学系104は、光源1から原版109に至る光路に配置された要素によって構成される。光源1としては、例えば、発振波長が約193nmのArFエキシマレーザや、発振波長が約248nmのKrFエキシマレーザであるが、本発明において、光源の種類や光源が発する光の波長に制限はない。光源1から射出された光は、引き回し光学系2によって回折光学素子3に導かれる。典型的には、複数のスロットを有するターレットのそれぞれのスロットに回折光学素子が搭載されており、駆動機構107によって、任意の回折光学素子(例えば回折光学素子4)を光路中に配置することができる。回折光学素子3から射出された光は、コンデンサレンズ5によって集光され、回折パターン面6に回折パターンを形成する。駆動機構107により光路中に位置する回折光学素子3を交換すれば、回折パターンの形状を変えることができる。

【0016】

40

回折パターン面6に形成された回折パターンは、プリズム群7、ズームレンズ8によって輪帯比や値などのパラメータが調整された後、ミラー9に入射する。ミラー9によって反射された光束は、オプティカルインテグレータ10に入射する。オプティカルインテグレータ10は、例えば、レンズアレイ(フライアイ)として構成されうる。

【0017】

50

プリズム群 7 は、例えば、プリズム 7 a およびプリズム 7 b を含む。プリズム 7 a とプリズム 7 b との間の距離が十分に小さい場合は、プリズム 7 a とプリズム 7 b は一体化した一枚のガラス平板とみなすことができる。プリズム 7 a とプリズム 7 b の間隔を変化させることにより光強度分布を変化させることができる。具体的には、輪帶比（外径と内径の比）等を適宜変化させることができる。

【 0 0 1 8 】

回折パターン面 6 に形成された回折パターンは、ほぼ相似形状を保ちながらズームレンズ 8 により拡大または縮小され得る。ズームレンズ 8 を透過した光は、オプティカルインテグレータ 10 の入射面に結像される。オプティカルインテグレータ 10 は、複数の微小レンズを二次元的に配置して構成されており、オプティカルインテグレータ 10 に入射した光束は分割され、各微小レンズのそれぞれの後側焦点面に光源がそれぞれ形成される。このように、オプティカルインテグレータ 10 の後側焦点面には、入射光束とほぼ同じ光強度分布を有する実質的な面光源（二次光源）が形成される。

【 0 0 1 9 】

オプティカルインテグレータ 10 からの射出光束はコンデンサレンズ 11 で集光される。オプティカルインテグレータ 10 の後側焦点面に形成された二次光源によって、被照射面である原版 109（更には基板 115）と共に位置に配置された視野絞り 14 が重畳照明される。

【 0 0 2 0 】

視野絞り 14 はマスクステージ 101 に保持される原版 109（更には基板 115）の露光範囲を規定するための絞りである。視野絞り 14 の前側（光源側）の近傍には照度ムラの補正のため露光スリット 13 が配置されており、露光スリット 13 と視野絞り 14 が共通の開口範囲が露光範囲となる。

【 0 0 2 1 】

コンデンサレンズ 11 の前側（光源側）にある視野絞り 12 は複数の可動な遮光板を有する。駆動手段 106 によって上記複数の遮光板を駆動することにより、視野絞り 12 には任意の開口形状が形成される。照明系制御部 108 によってその開口形状の直径、ひいては照明光学系 104 の開口数（NA）を所望の値に設定できるようになっている。この場合、後述する投影光学系 110 の開口数に対する照明光学系 104 の開口数の比の値がコヒーレンスファクタ（値）であるため、照明系制御部 108 は視野絞り 12 を制御することで、値を設定できることになる。結像光学系 15 は露光スリット 13 と視野絞り 14 によって形成された開口形状を、マスク 109 に投影する。投影光学系 110 は、基板ステージ 102 によって保持された基板 115 に、原版 109 のパターンを所定の倍率（例えば 1/4 倍）で投影する。これにより、基板 115 上の感光剤にパターンが形成される。

【 0 0 2 2 】

投影光学系 110 の瞳面には、開口部が略円形の開口絞り 111 が配置され、駆動機構 112 によって当該開口部の大きさが制御される。また、投影光学系 110 は、それを構成する複数のレンズの少なくとも 1 つのレンズを移動、回転および / または変形させることにより投影光学系 110 の収差を変化させる駆動機構 113 を有する。駆動機構 113 は、例えば、投影光学系 110 の光軸（Z 軸）や光軸に垂直な 2 軸（X 軸、Y 軸）に沿った方向にレンズを移動させる機構と、光軸に垂直な 2 軸（X 軸、Y 軸）に平行な軸の周りでレンズを回転させる機構とを含みうる。

【 0 0 2 3 】

投影光学系 110 を構成する光学部材の材質に関しては、光源 1 から射出される露光光の波長に応じて使用可能な材料が限定される。光源 1 として、波長約 365 nm の水銀ランプを用いる場合には、10種類程度の材料の光学部材を組み合わせることで、軸上色収差や倍率色収差等を良好に補正することができる。一方、光源 1 として、波長約 248 nm の KrF エキシマレーザや波長約 193 nm の ArF エキシマレーザ等のエキシマレーザを用いる場合には、これらのエキシマレーザからの露光光を透過する材料が限定される

10

20

30

40

50

。上記エキシマレーザの透過性やコストを考慮して、現状では石英材料のみを用いて投影光学系を構成することが一般的である。この場合、投影光学系の光学設計により色収差を良好に補正することは困難であるため、レーザの波長スペクトルを狭帯域化することによって投影光学系の色収差の影響の低減を図っている。

【0024】

基板ステージ102は、X方向、Y方向、Z方向のそれぞれに移動可能であり、基板ステージ102は、駆動機構116によって駆動される。駆動機構116は、ステージ制御部117によって制御される。走査露光時には、原版ステージ101と基板ステージ102がY方向に同期して駆動され、走査露光が行われる。また、基板ステージ102は、XY平面に対して傾けて基板115を保持することができる。

10

【0025】

主制御部103は、照明系制御部108、投影系制御部114、ステージ制御部117等を統括的に制御する。主制御部103はプログラムおよびデータを記憶するメモリを含み、メモリに格納されている制御プログラムを実行することにより露光動作を実行する。照明系制御部108は、駆動機構107、駆動機構106の駆動制御を行い、投影系制御部114は、駆動機構112、駆動機構113の駆動制御を行う。ステージ制御部117は、駆動機構116の駆動制御を行う。

【0026】

近年、3次元メモリや撮像素子の製造過程において、数 μm から数十 μm の厚さの貫通パターンを形成することが求められている。このような厚い貫通パターンを露光装置によって形成するためには、投影光学系110の焦点深度を拡張することが求められる。実質的に焦点深度を拡張する技術として、投影光学系110の光軸方向に焦点位置をずらしながら多重露光を行う方法が知られている。多重露光の一例として、FLEX (Focus Latitude Enhancement Exposure) 法が知られている。走査FLEX法(以下、FLEX法と記載)では、基板上の領域の各点が2以上のフォーカス状態で露光されるように、例えば、投影光学系110の光軸に対して基板を傾けながら走査露光が行われる。多重露光の別の例として、RELAX (Resolution Enhancement by Laser-spectrum Adjusted Exposure) 法(多波長露光法)が知られている。RELAX法では、複数の波長で光量ピークを有するようにレーザ光源の波長スペクトルを調整する。異なる波長の光は、投影光学系110に残存する軸上色収差の影響を受けて、投影光学系110の光軸方向の異なる位置に結像する。レーザ光源の波長スペクトルを調整することにより、光軸方向の結像位置を変化させることができ、結果として焦点深度を拡張する効果が得られる。

20

【0027】

以上のように、FLEX法やRELAX法により焦点深度を拡張させる技術が知られているが、昨今、従来よりもさらに厚い貫通パターンを形成することが求められており、焦点深度の拡張が十分とは言えなくなってきた。そこで、本実施例では、FLEX法とRELAX法を組み合わせることで、焦点深度のさらなる拡張を図っている。

30

【0028】

図2は、FLEX法とRELAX法を組み合わせて走査露光を行う様子を示した図である。主制御部103は、基板115の表面の法線方向を投影光学系110の光軸(Z軸に平行)に対して傾けた状態で基板115の走査露光が行われるように基板115の露光を制御する。図2では、投影光学系110の光軸方向に垂直な面(XY面)に対して基板115を角度WTだけ傾けている。ステージ制御部117が基板ステージ102の駆動制御を行うことにより、基板115が図2中の矢印の方向に走査される。基板115に入射する露光光は露光スリット13と視野絞り14によって規定される。図2において、基板115に入射する露光光の範囲はSWとして示されている。

40

【0029】

基板115は、XY平面に対してX軸周りに傾斜した平面に沿って走査方向(Y方向)に走査される。基板115に照射される露光光の走査方向(Y方向)における幅をSWと

50

すると、基板 115 のショット領域の 1 つの点は、Y 方向に SW だけ離れた 2 点の間を基板 115 が移動する間に走査露光される。このとき上記 1 つの点は、投影光学系 110 の相異なる 2 つのデフォーカス面を移動しながら露光されることになる。

【 0030 】

換言すると、FLEX 法が適用された走査露光では、基板 115 のショット領域の任意点が第 1 フォーカス状態（あるいは、第 1 デフォーカス状態）と第 2 フォーカス状態（あるいは、第 2 デフォーカス状態）を通るように露光される。該第 1 フォーカス状態（第 1 デフォーカス状態）での該任意点の位置と該第 2 フォーカス状態（第 2 デフォーカス状態）での該任意点の位置との間の投影光学系 110 の光軸方向における距離 F_f は、該任意点におけるデフォーカス量の範囲である。距離 F_f は、FLEX 法による焦点深度の拡大に寄与する距離あるいは量であり、FLEX 量とも呼ばれる。

【 0031 】

図 2 では、基板 115 の表面の法線方向を投影光学系 110 の光軸方向（Z 軸に平行）に対して傾けた状態で基板 115 の走査露光が行われる。ここで、原版 109 の表面の法線方向を投影光学系 110 の光軸方向（Z 軸に平行）に対して傾けた状態で基板 115 の走査露光が行われてもよい。

【 0032 】

また、図 2 には、原版 109 を透過した露光光が投影光学系 110 を通って基板 115 に至る様子が示されている。原版 109 からの露光光の波長スペクトルに複数のピークが含まれている場合、同じ物点から出射した光束であっても、波長に応じて結像位置が異なる。ここでは、波長スペクトルにおいて、第 1 波長及び第 1 波長とは異なる第 2 波長にピークを有するものとする。

【 0033 】

第 1 波長の光及び第 2 波長の光はそれぞれ、エキシマレーザ等の光源から発振される基準波長の光から波長をずらした光であり得る。エキシマレーザ等の光源を基準波長とは異なる複数の波長で発振されることにより、複数のピークを含む波長スペクトルの光束が得られる。また、第 1 波長の光及び第 2 波長の光のうち、一方を光源から発振される基準波長の光から波長をずらした光とし、他方を基準波長の光としても良い。

【 0034 】

図 2 において実線で示された第 1 波長の光束は、投影光学系 110 を通ってフォーカス面 BFA に集光し、図 2 において破線で示された第 2 波長の光束は、投影光学系 110 を通ってフォーカス面 BFB に集光する。以上のように、複数の波長においてピークを有する光束を用いて FLEX 法による走査露光を行うことで、投影光学系 110 の焦点深度の更なる拡張を実現することができる。

【 0035 】

図 3 は、第 1 波長及び第 1 波長とは異なる第 2 波長にピークを有する光束を用いて FLEX 法による走査露光を行ったときにおける投影光学系 110 の焦点深度を示した模式図である。第 1 波長の光束に対する投影光学系 110 のベストフォーカス位置を BFA1、第 2 波長の光束に対する投影光学系 110 のベストフォーカス位置を BFB2、BFA1 と BFB2 との差分を F_w と記載している。 F_f は上述した FLEX 量に相当するものである。

【 0036 】

投影光学系 110 の光軸方向に垂直な面に対する基板 115 の傾け角度 WT は十分小さいため、 F_f は、基板 115 に照射される露光光の走査方向における幅 SW と、投影光学系 110 の光軸方向に垂直な面に対する基板 115 の傾け角度 WT を用いて、

$$F_f = SW \times WT \dots (1)$$

と表される。

【 0037 】

また、投影光学系 110 の軸上色収差を L、第 1 波長 1 と第 2 波長 2 との差分をとして、 F_w は、

10

20

30

40

50

$$F_w = L \times \dots \quad (2)$$

と表される。

【0038】

図3に示したように、 $F_f = F_w$ を満足するときにおいて投影光学系110の焦点深度を拡張する効果が最大限得られることがわかる。つまり、式(1)及び(2)より、 $SW \times WT = L \times \dots$ のときに、 $FLEx$ 量 F_f を2倍に拡大する効果が得られる。

【0039】

具体例として、基板上に配置されるレジスト(感光剤)の厚さ $T = 12 \mu m$ の範囲で、原版109のパターンを十分な解像力で転写する場合について考える。このとき、

$$2 \times F_f = T \dots \quad (3)$$

という条件を満足するように各種パラメータを設定する。 $T = 12 \mu m$ であるから、 $F_f = 6 \mu m$ であり、 $SW \times WT = L \times \dots = 6 \mu m$ を満足する条件で $FLEx$ 法と $RELAx$ 法を組み合わせた走査露光を行う。

【0040】

ここで、基板115に照射される露光光の走査方向における幅 SW と投影光学系110の軸上色収差 L を変更することは困難である。そのため、投影光学系110の光軸方向に垂直な面に対する基板115の傾き角度 WT と第1波長 1 と第2波長 2 の差分を調整する。 $SW = 8 mm$ 、 $L = 0.2 \mu m / pm$ とすると、 $WT = 750 \mu rad$ 、 $= 30 pm$ となる。

【0041】

本実施例においては、 $(SW \times WT) / (\dots \times L) = 1$ となる。

【0042】

WT や \dots の値が大き過ぎる場合には、第1波長 1 及び第2波長 2 以外の波長において光量ピークを有する波長スペクトルの露光光を用いても良い。ピーク波長の数は3つに限らず、4以上としても良い。ピーク波長を3つ以上としたときには、隣り合うピーク波長の波長差の間隔(波長ピッチ) \dots を一定とする。例えば、エキシマレーザ等の光源を基準波長とは異なる4つの波長で発振させることにより、4つのピークを含む波長スペクトルの光束が得られる。なお、4つの波長の全てを基準波長と異ならせる必要はなく、一部の露光光を基準波長の光としても良い。

【0043】

図4は、4つの波長ピークを有する光束を用いて $FLEx$ 法による走査露光を行ったときにおける投影光学系110の焦点深度を示した模式図である。

【0044】

上記の例に当てはめると、

$4 \times F_f = T$ という条件を満足するように各種パラメータを設定することになる。 $F_f = 3 \mu m$ であり、 $SW = 8 mm$ 、 $L = 0.2 \mu m / pm$ とすると、 $WT = 375 \mu rad$ 、 $= 15 pm$ となる。

【0045】

以上のように、波長ピッチ \dots の N 個の波長ピークを有する露光光を用いれば、走査 $FLEx$ 露光における F_f を N 倍に拡張するのと等価な焦点深度の拡大効果が得られる。基板上に配置された厚膜レジストを露光する際には、 N 倍に拡張された $N \times F_f$ がレジストの厚さ T と一致するように露光を行うことが最も効果的である。すなわち、 $N \times F_f = T$ である。

【0046】

(実施例2)

投影光学系110の開口数 NA が比較的小さいときには投影光学系110の焦点深度が比較的大きくなるため、当該焦点深度を考慮して上述したパラメータを設定することが好ましい。図5は、実施例2における条件で $FLEx$ 法による走査露光を行ったときにおける投影光学系110の焦点深度を示した模式図である。

10

20

30

40

50

【0047】

図5では、投影光学系110の焦点深度をXとして、

$$F_f + X = F_w \dots (4)$$

を満足するように各種パラメータを設定している。

【0048】

例えば、 $X = 1 \mu m$ のときには、

$$F_f + 1 = F_w \dots (5)$$

となる。

【0049】

具体例として、基板上に配置されるレジスト(感光剤)の厚さ $T = 12 \mu m$ 、基準波長とは異なる2つの波長で発振させた露光光を用いて原版109のパターンを十分な解像力で転写する場合について記載する。このとき、

$$2 \times (F_f + 1) = T \dots (6)$$

という条件を満足するように各種パラメータを設定する。 $T = 12 \mu m$ であるから、 $(S_w \times W_T + 1) = 6 \mu m$ であり、 $S_w \times W_T + 1 = L \times \dots = 6 \mu m$ を満足する条件でFLEX法とRELEX法を組み合わせた走査露光を行う。

【0050】

実施例1と同様に、 $S_w = 8 mm$ 、 $L = 0.2 \mu m / pm$ とすると、 $W_T = 625 \mu r ad$ 、 $\dots = 30 pm$ となる。

【0051】

本実施例においては、 $(S_w \times W_T) / (\dots \times L) = 5 / 6$ となる。

【0052】

各種プロセス条件に依存する投影光学系110の取り得る焦点深度を考慮すると、

$$0.5 (S_w \times W_T) / (\dots \times L) \dots (7)$$

を満足するように、各種パラメータを設定することが好ましい。

【0053】

(実施例3)

図7は、レジストに形成されるパターンの断面プロファイル形状を示している。レジストの露光感度が比較的低い場合には、図7に示したように、レジストに形成される潜像パターンの先鋭度が低下しやすい。そこで、図6に示したように、上述したパラメータを設定することが好ましい。図6は、実施例3における条件でFLEX法による走査露光を行ったときにおける投影光学系110の焦点深度を示した模式図である。

【0054】

FLEX量 F_f の重なりをYとしたとき、

$$F_f = F_w + Y \dots (8)$$

を満足するように各種パラメータを設定している。

【0055】

例えば、 $Y = 1 \mu m$ のときには、

$$F_f = F_w + 1 \dots (9)$$

となる。

【0056】

具体例として、基板上に配置されるレジスト(感光剤)の厚さ $T = 12 \mu m$ 、基準波長とは異なる2つの波長で発振させた露光光を用いて原版109のパターンを十分な解像力で転写する場合について記載する。このとき、

$$2 \times (F_f) = T \dots (10)$$

という条件を満足するように各種パラメータを設定する。 $T = 12 \mu m$ であるから、 $S_w \times W_T = 6 \mu m$ であり、 $S_w \times W_T = L \times \dots + 1 = 6 \mu m$ を満足する条件でFLEX法とRELEX法を組み合わせた走査露光を行う。

【0057】

実施例1と同様に、 $S_w = 8 mm$ 、 $L = 0.2 \mu m / pm$ とすると、 $W_T = 750 \mu r$

10

20

30

40

50

$a \times d = 25 \text{ pm}$ となる。

【0058】

本実施例においては、 $(SW \times WT) / (\quad \times L) = 6 / 5$ となる。

【0059】

各種プロセス条件の取り得る値を考慮すると、

$(SW \times WT) / (\quad \times L) = 1.5 \dots (11)$

を満足するように、各種パラメータを設定することが好ましい。

【0060】

(露光装置における露光モード)

メモリや撮像素子等の半導体装置の製造工程には、基板上にパターン層を形成する工程が含まれる。当該工程において露光装置を用いてレジストにパターン像が形成され、エッチング処理等を経てトレーナーを含むパターン層が形成される。形成するパターン層によって必要とされるレジストの厚さが異なることがあり、レジストの厚さに応じて露光装置の投影光学系に必要とされる焦点深度も異なる。レジストの厚さが厚い場合には、FLEX法とRELAX法を組み合わせて走査露光を行うことによりパターン形成が行われ得る。RELAX法では、複数の波長で光量ピークを有するようにレーザ光源の発振状態を制御する必要がある。一方でレジストの厚さが薄い場合には、単一の波長で光量ピークを有するようにレーザ光源の発振状態が制御される。

【0061】

このように、基板上に形成する層ごとにレジストの厚み等の条件が異なるため、露光装置における露光モードを適宜切り替え可能とすることが好ましい。例えば、露光モードに応じて、レーザ光源の発振状態を切り替えることが考えられる。レーザ光源の発振状態を切り替えるために、光源には発振状態を切り替え可能な機構が備えられている。露光装置は、露光時の各種パラメータが設定されたレシピに基づいてレーザ光源の発振状態を切り替えることができる。

【0062】

一例として、第1モードと第2モードとの間で露光モードを切り替え可能とすることができます。第1モードは、単一の波長（基準波長）で光量ピークを有するようにレーザ光源の発振状態を制御して露光を行うモードである。第2モードは、基準波長とは異なる第1の波長の第1露光光と、基準波長及び第1の波長とは異なる第2の波長の第2露光光を含む露光光で露光を行うモードである。

【0063】

第2モードで、RELAX法に基づく露光を行う場合には、光量ピークに対応する複数の波長の値や波長差を指定する必要があるため、これらのパラメータをレシピの設定項目の1つとすれば良い。

【0064】

(物品の製造方法)

上述した実施例に代表される露光装置を利用して半導体装置（メモリや撮像素子等の光電変換装置）を製造する方法について説明する。本実施例の露光装置は、厚膜プロセスを含む半導体装置の製造方法に好適に用いられる。厚膜プロセスの一例として、撮像素子（光源変換装置）における画素分離部の形成工程が挙げられる。

【0065】

以下、図8を用いて、撮像素子の製造工程における画素分離部の形成工程について説明する。工程S101において、互いに反対側の面である第1面S1および第2面S2を有する半導体基板1101を準備する。半導体基板1101は、典型的には、シリコン基板あるいはシリコン層である。次いで、工程S102において、半導体基板1101の第1面S1の上に絶縁膜（例えば、シリコン酸化膜）1102を形成する。

【0066】

次いで、工程S103において、半導体基板1101の第1面S1の上、より具体的には、半導体基板1101の第1面S1の上の絶縁膜1102の上に、レジスト1103を

10

20

30

40

50

塗布する。さらに、工程 S 104において、上述した実施形態で説明したように露光動作を行うことにより、レジスト 1103 に対してパターン像を形成し、エッチング処理等を経て溝（トレンチ）1104を形成する。

【0067】

次に、工程 S 105において、半導体基板 1101をドライエッチング法等によりエッチングすることにより、半導体基板 1101の第1面 S 1 の側に溝 1105を形成する。このエッチングにおいて半導体基板 1101の第1面 S 1 を保護するために、レジスト 1103を厚く塗布することが求められる。

【0068】

続いて、工程 S 106では、レジスト 1103を除去した上で、溝 1105を通して半導体基板 1101にイオンを注入することによってゲッタリング領域 1106を形成する。即ち、工程 S 106では、半導体基板 1101の第1面 S 1 のうち溝 1105が存在する領域以外が絶縁膜 1102でマスクされた状態で溝 1105を通して半導体基板 1101にイオンを注入する。ゲッタリング領域 1106は、溝 1105の底の下に位置する第1部分と、溝 1105の側方に位置する第2部分とを含み得る。一例において、該第1部分における第14族元素の濃度が、該第2部分における第14族元素の濃度よりも高い。イオンは、半導体基板 1101がシリコン基板である場合、シリコン以外の第14族元素のイオンでありうる。イオンの注入には、イオン注入装置が使用されうる。イオンを注入するための加速エネルギーは、ハードマスクとしての絶縁膜 1102をイオンが突き抜けて半導体基板 1101に到達しないように決定されうる。例えば、イオンを注入する際の絶縁膜 1102の厚さが 300 nm であり、加速エネルギーが 20 keV 程度であれば、イオンが絶縁膜 1102を突き抜けることは殆どない。

【0069】

半導体基板 1101がシリコン基板である場合、工程 S 106において半導体基板 1101に注入されるイオンを構成する材料は、炭素が好適であるが、炭素を含む分子である炭化水素が採用されてもよい。半導体基板 1101がシリコン基板である場合、工程 S 106において半導体基板 1101に注入されるイオンを構成する材料は、ゲルマニウム、スズまたは鉛であってもよい。半導体基板 1101としてのシリコン基板に炭素、ゲルマニウム、スズまたは鉛のイオンを注入することによって、シリコン基板に局所的なひずみを与える、ゲッタリングサイトとして機能させることができる。溝 1105を通して半導体基板 1101にイオンを注入することによって、比較的低い加速エネルギーであっても、半導体基板 1101の深い位置にゲッタリング領域 1106を形成することができる。

【0070】

次いで、工程 S 107において、絶縁膜 1102が除去される。工程 S 108において、溝 1105の中に絶縁体が配置あるいは充填されるように、例えば、減圧 CVD 法等の膜形成方法によって、溝 1105の中および半導体基板 1101の第1面 S 1 の上に絶縁膜（例えば、シリコン窒化膜）1107を形成する。次いで、工程 S 109において、絶縁膜 1107のうち半導体基板 1101の第1面 S 1 の上に存在する部分を CMP 法等によって除去する。これにより、絶縁膜 1107のうち溝 1105の中に存在する部分が、溝 1105に配置あるいは充填された画素分離部 1108として残る。

【0071】

なお、工程 S 108および工程 S 109は、必ずしも必要ではなく、工程 S 108および工程 S 109が実施されない場合には、溝 1105が空隙として残り、これが画素分離部として機能しうる。溝 1105の中に配置される画素分離部 1108は、溝 1105を完全に充填する必要はなく、溝 1105の中に空隙が存在してもよい。画素分離部 1108は絶縁体のみで構成することができるが、絶縁体と非絶縁体（半導体あるいは導電体）とを組み合わせた構造とすることができる。この場合、非絶縁体と半導体基板 1101との接触を避けるため、絶縁体が非絶縁体と半導体基板 1101との間に配置されうる。

【0072】

以上説明したように、半導体基板 1101に溝 1105を形成する第1形成工程と、溝

10

20

30

40

50

1105の中に画素分離部1108を形成する第2形成工程を経て、画素分離部1108が形成される。その後、複数の画素分離部の間の領域に電荷蓄積領域、ゲート電極等が形成されることで撮像素子が構成される。

【符号の説明】

【0073】

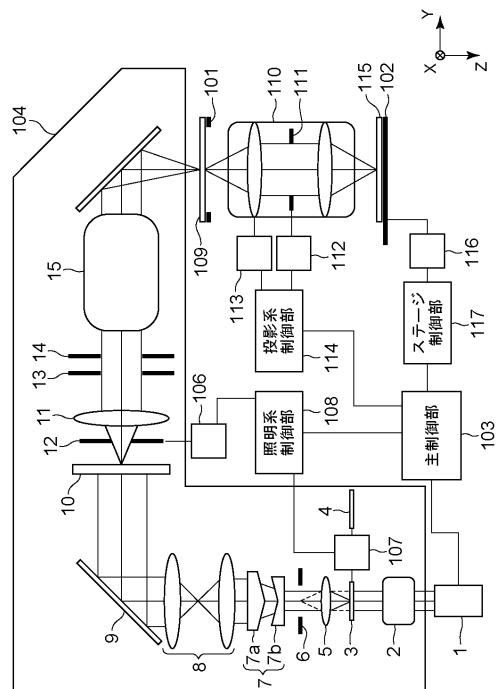
26 投影光学系

103 主制御部

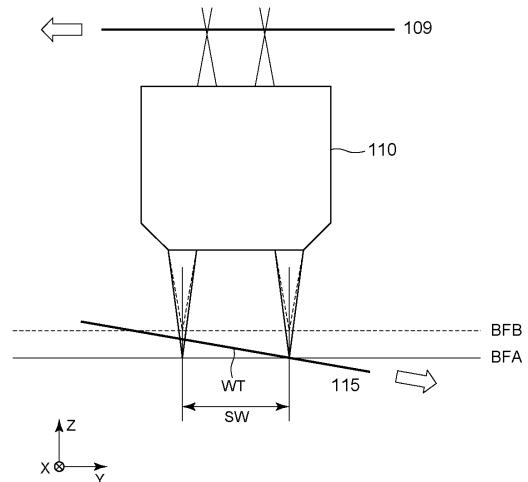
110 照明光学系

【図面】

【図1】



【図2】



10

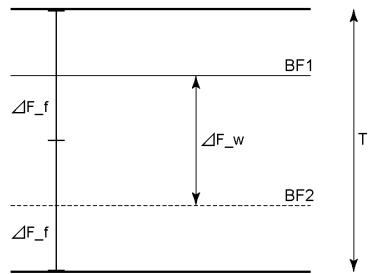
20

30

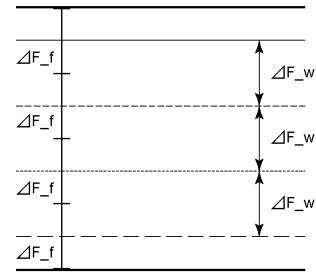
40

50

【図3】



【図4】



10

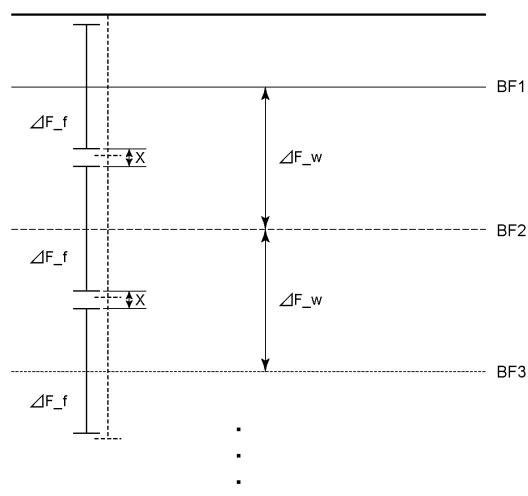
20

30

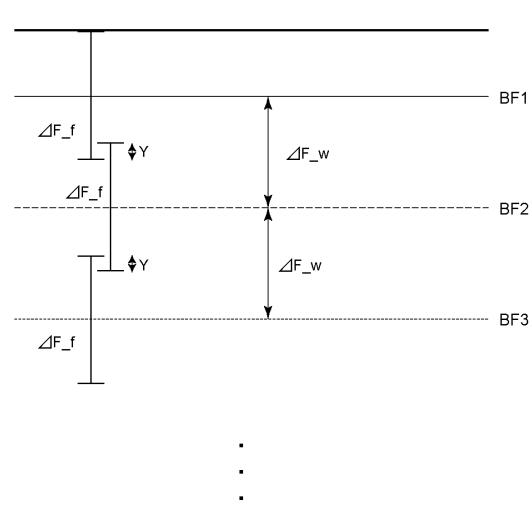
40

50

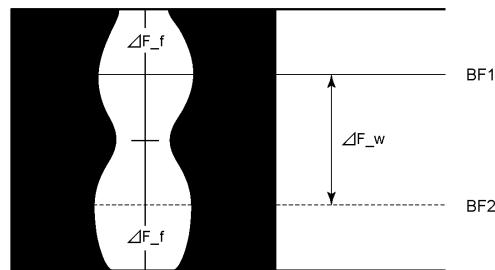
【図5】



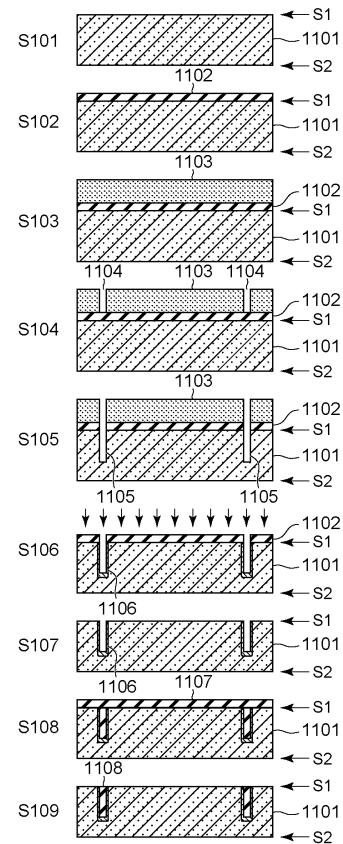
【図6】



【図7】



【図8】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

F ターム (参考)

CA08 CB16 CB17 CC16 CC22 CD12 CD13 CD15 CD17 CD35
DB03 DB08 DB10 DB11 DB23 HA03