

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第7部門第2区分

【発行日】平成19年12月6日(2007.12.6)

【公開番号】特開2006-128342(P2006-128342A)

【公開日】平成18年5月18日(2006.5.18)

【年通号数】公開・登録公報2006-019

【出願番号】特願2004-313484(P2004-313484)

【国際特許分類】

H 01 L	21/027	(2006.01)
G 03 F	7/20	(2006.01)
G 21 K	1/06	(2006.01)
G 21 K	5/00	(2006.01)
G 21 K	5/02	(2006.01)

【F I】

H 01 L	21/30	5 3 1 S
G 03 F	7/20	5 0 3
G 21 K	1/06	A
G 21 K	1/06	M
G 21 K	5/00	A
G 21 K	5/00	Z
G 21 K	5/02	X

【手続補正書】

【提出日】平成19年10月22日(2007.10.22)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

プラズマを生成し、前記プラズマから放射される光を集光する集光ミラーを有する光源と、前記集光ミラーが集光した前記光でレチクルを照明する照明光学系とを有し、前記レチクルのパターンを被処理体に露光する露光装置であって、

前記集光ミラーと前記照明光学系との間に配置され、前記光の特性を検出する検出手段と、

前記検出手段の検出結果に基づいて、前記プラズマの状態を変化させる手段とを有することを特徴とする露光装置。

【請求項2】

前記光の特性は、前記光の集光点の位置、前記集光点から発散する発散角度内の強度分布、前記光のスペクトル及び前記集光点での光強度の少なくとも一つ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3】

前記プラズマの状態を変化させる手段は、前記プラズマの位置及び前記プラズマの電子温度の少なくとも一方を変化させることを特徴とする請求項1又は2記載の露光装置。

【請求項4】

前記検出手段は、前記プラズマの生成中において、前記光の特性を前記プラズマの位置の変化速度に応じた時間間隔ごとに検出することを特徴とする請求項1記載の露光装置。

【請求項5】

前記検出手段は、前記プラズマの生成中において、前記光の特性を常に検出することを特徴とする請求項1記載の露光装置。

【請求項6】

前記検出手段は、前記集光点と前記照明光学系との間に配置されることを特徴とする請求項1記載の露光装置。

【請求項7】

前記光は、10nm乃至15nmの波長を有することを特徴とする請求項1記載の露光装置。

【請求項8】

プラズマを生成する生成部と、

前記プラズマから放射される光を集光する集光ミラーと、

前記生成部及び前記集光ミラーを収納するチャンバと、

前記チャンバに収納され、前記光の集光点における前記光の特性を検出する検出手段とを有することを特徴とする光源装置。

【請求項9】

前記光の特性は、少なくとも、前記光の集光点の位置、前記集光点から発散する発散角度内の強度分布、前記集光点での光強度及び前記光のスペクトルの一であることを特徴とする請求項8記載の光源装置。

【請求項10】

請求項1乃至7のうちいずれか一項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。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0001

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0001】

本発明は、露光装置、光源装置及びデバイス製造方法に関する。本発明は、例えば、露光光源として極端紫外線(EUV: Extreme ultraviolet)光を利用する露光装置に好適である。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0002

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0002】

フォトリソグラフィー(焼き付け)技術を用いて微細な半導体素子を製造する際に、レチクル(又はマスク)に描画されたパターンを投影光学系によってウェハ等に投影して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。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0003

【補正方法】変更

【補正の内容】

【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

進められている。例えば、超高圧水銀ランプ(i 線(波長約 365 nm))、KrFエキシマレーザー(波長約 248 nm)、ArFエキシマレーザー(波長約 193 nm)と用いられる紫外線光の波長は短くなってきた。

【手続補正 5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0005

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0005】

EUV露光装置は、光源として、レーザー光をターゲット材に照射してプラズマを生成することによりEUV光を発生させるレーザープラズマ光源を典型的に使用する。また、電極にガスを流して放電することによってプラズマを生成してEUV光を発生させる放電型プラズマ光源を典型的に使用する。プラズマからのEUV光は、集光ミラーによって集光点に集光され、かかる集光点から発散して後段の照明光学系に入射する。

【手続補正 6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0006

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0006】

また、露光装置の高解像度化を達成するためには、レチクルを均一に照明することが極めて重要であり、そのためには、集光点から発散されるEUV光の強度が発散角度内で均一であることが望ましい。しかし、EUV光源は、長期にわたって運転(使用)すると、集光点から照明光学系に入射するEUV光の強度の変化や、集光点から発散される発散角度での強度分布の変化を生じる。これは、EUV光源の構成部材の劣化に起因する。例えば、レーザープラズマ光源の場合には、ターゲット材を供給するノズルがプラズマから発生するデブリの衝突によって侵食されて変形することで、EUV光を発生するプラズマの位置が変動する。また、放電型プラズマ光源の場合には、プラズマからの熱により電極が溶解及び変形することで、EUV光を発生するプラズマの位置が変動する。その結果、集光点の位置が変化して照明光学系に入射するEUV光の強度が低下したり、集光点から発散される発散角度での強度分布が初期とは異なったりするからである。

【手続補正 7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0007

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0007】

そこで、プラズマの生成位置をピンホールカメラ及び/又はCCDによって検出し、ターゲットを供給する位置を制御することで、プラズマの生成位置を所定の位置に保つ提案がされている。また、パルスレーザーを照射する位置(パルスレーザーの集光点の位置)を制御することで、プラズマの生成位置を所定の位置に保つ提案がされている(例えば、特許文献1及び2参照。)。

【手続補正 8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0011

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0011】

本発明は、プラズマからのEUV光の特性(例えば、集光点の位置、集光点でのEUV光の強度、集光点から発散する発散角度での強度分布及びスペクトルなど)を維持し、

レチクルを均一に照明して優れた露光性能を発揮する露光装置を提供する。

【手続補正 9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0012

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0012】

本発明の一側面としての露光装置は、プラズマを生成し、前記プラズマから放射される光を集光する集光ミラーを有する光源と、前記集光ミラーが集光した前記光でレチクルを照明する照明光学系とを有し、前記レチクルのパターンを被処理体に露光する露光装置であって、前記集光ミラーと前記照明光学系との間に配置され、前記光の特性を検出する検出手段と、前記検出手段の検出結果に基づいて、前記プラズマの状態を変化させる手段とを有することを特徴とする。

【手続補正 10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0016

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0016】

本発明によれば、プラズマからのEUV光の特性を維持し、レチクルを均一に照明して優れた露光性能を発揮する露光装置を提供することができる。ここで、光の特性とは、例えば、集光点の位置、集光点でのEUV光の強度、集光点から発散する発散角度内の強度分布及びスペクトルなどのことである。

【手続補正 11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0018

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0018】

本発明の露光装置1は、露光用の照明光としてEUV光を用いて、例えば、ステップ・アンド・スキャン方式やステップ・アンド・リピート方式でレチクル300に形成された回路パターンを被処理体600に露光する投影露光装置である。本実施例においては、EUV光として、波長13.4nmの光を用いた。かかる露光装置は、サブミクロンやクオーターミクロン以下のリソグラフィー工程に好適であり、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、レチクルに対してウェハを連続的にスキャン（走査）してレチクル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。

【手続補正 12】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0019

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0019】

図1を参照するに、露光装置1は、光源装置100と、照明光学系200と、レチクル300を載置するレチクルステージ400と、投影光学系500と、被処理体600を載置するウェハステージ700とを有し、さらに、アライメント検出機構800と、フォーカス位置検出機構900とを有する。なお、光源装置100と照明光学系200とは、照

明装置を構成し、投影光学系 500 の円弧状の視野に対する円弧状の EUV 光（例えば、13.4 nm）によりレチクル 300 を照明する。

【手続補正 13】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0024

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0024】

プラズマ PL からの EUV 光 EL は、デブリ粒子を除去するデブリフィルタ 120 を通過し、回転槽円面を反射面とする 2 対のミラーで構成される集光ミラー 130 によって反射され、集光点 CP に集光する。なお、上述したように、EUV 光 EL は、ガスによって吸収される性質を有する。かかる吸収を防ぐために、生成部 110、デブリフィルタ 120、集光ミラー 130 及びステージ 140 は、図示しない真空排気系によって排気がなされた光源チャンバ 150 の内部に配置された構成となっている。

【手続補正 14】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0025

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0025】

集光点 CP に集光した EUV 光 EL は、後述する照明光学系 200 を構成する光学素子が内部に配置された照明系チャンバ 250 に導入される。そして、照明系ミラー 210 で反射された後、オプティカルインテグレーター 220 に入射し、更に、照明系ミラー 210 を経てレチクル 300 を均一に照明する。

【手続補正 15】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0026

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0026】

照明系チャンバ 250 は、ガスによる EUV 光の吸収を防ぐために、光源チャンバ 150 と同様に、図示しない真空排気系による排気がなされている。なお、光源チャンバ 150 の内部は、真空排気系による排気がなされているものの、ノズル 112 から供給されるガスが存在する。従って、光源チャンバ 150 と照明系チャンバ 250 との境界には、EUV 光 EL を透過し、且つ、光源チャンバ 150 に存在するガスが照明系チャンバ 250 に流入しないように、アパー・チャ 152 が設けられている。そのため、光源チャンバ 150 と照明系チャンバ 250 との間で差動排気がなされている。アパー・チャ 152 の大きさが小さいほど、光源チャンバ 150 から照明系チャンバ 250 に流入するガスの量を少なくすることができる。そのため、アパー・チャ 152 の位置を集光点 CP の位置と一致させ、アパー・チャ 152 の大きさを集光点 CP の大きさと略一致させることが好ましい。

【手続補正 16】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0027

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0027】

検出手段 170 は、集光点 CP と照明光学系 200 との間に位置する EUV 光 EL の特性を検出する機能を有し、本実施形態では、集光点 CP の近傍の EUV 光 EL の強度分布を測定する強度分布測定装置 170A として具現化される。強度分布測定装置 170A は、図示しない Y 軸ステージ及び Y 軸ステージ駆動源によって Y 軸方向に移動可能に構成さ

れる。これにより、強度分布測定装置 170A は、露光装置 1 が露光を行っている場合には、図 2 に示すように、EUV 光 EL の光路を遮らない位置に配置される。また、EUV 光 EL の強度分布を測定する場合には、図 3 に示すように、EUV 光 EL の光路上に配置することができる。

【手続補正 17】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0029

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0029】

蛍光板 172A は、EUV 光 EL の入射側に、EUV 光 EL を透過すると共に、20nm 以上の波長を有する紫外線光を吸収する材料及び赤外光を吸収する材料から構成されるフィルタ 174A を有する。ここで、20nm 以上の波長を有する紫外線光を吸収する材料とは、例えば、ジルコニウム (Zr) であり、赤外光を吸収する材料とは、例えば、シリコン (Si) である。蛍光板 172A は、EUV 光 EL と同様に照明光学系 200 に向かう紫外線光及び赤外光をフィルタ 174A で吸収し、集光点 CP からの EUV 光 EL を可視光 VL に変換する。可視光 VL は、露光に用いる EUV 光 EL に比例した強度を有する。

【手続補正 18】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0031

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0031】

図 3 に示したプラズマ PL の位置及びプラズマ PL の位置に対応して決まる集光点 CP の位置は、光源装置 100 を構成する電極 114、デブリフィルタ 120 及び集光ミラー 130 の初期状態における位置である。強度分布測定装置 170A を用いて測定した EUV 光 EL の強度分布を図 5 に示す。図 5 に示す EUV 光 EL の強度分布は、蛍光板 172A での EUV 光 EL の像と同様となっており、白い部分 WP に EUV 光 EL が照射され、黒い部分 BP には EUV 光 EL が照射されていない。

【手続補正 19】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0035

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0035】

強度分布測定装置 170A を用いた EUV 光 EL の強度分布の測定は、露光装置 1 の稼働（露光）中のうち、例えば、ウェハの交換時などの EUV 光 EL が必要ないタイミングで行なうことが好ましい。これにより、スループットを落とすことなく、EUV 光 EL の強度分布の測定が可能となる。また、EUV 光 EL の強度分布の測定を行う時間間隔は、プラズマ PL の位置の変化速度に応じて設定すればよい。例えば、時間あたりの変化が少ないと予想される場合には時間間隔を長く設定し、時間あたりの変化が大きいと予想される場合には時間間隔を小さく設定する。

【手続補正 20】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0036

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0036】

本実施形態では、強度分布測定装置 170A が EUV 光 EL の強度分布を測定（配置）

する位置を、集光点 C P と照明光学系 2 0 0 (詳細には、照明光学系 2 0 0 の最も光源装置 1 0 0 側の照明系ミラー 2 1 0)との間としたが、これに限定するものではない。例えば、強度分布測定装置 1 7 0 A は、集光点 C P の近傍や、図 1 0 に示すように、集光ミラー 1 3 0 と集光点 C P の位置との間に配置してもよい。しかし、 プラズマ P L からのノイズの影響が大きくなる可能性があるため、この観点からは、集光点 C P と照明光学系 2 0 0 との間に配置することが好ましい。但し、照明光学系 2 0 0 よりも後段で E U V 光 E L の特性を検出すると、光源装置 1 0 0 を構成する要素の劣化に、照明光学系 2 0 0 を構成する要素の劣化の要因が加わり、E U V 光 E L の特性の変化の要因が分離できないため、好ましくない。ここで、図 1 0 は、集光ミラー 1 3 0 と集光点 C P の位置との間に強度分布測定装置 1 7 0 A を配置した場合の光源装置 1 0 0 を示す概略断面図である。

【手続補正 2 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 3 7

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 0 3 7】

また、本実施形態では、光源装置 1 0 0 を長期間にわたって運転(使用)することで、プラズマ P L の位置が Z 軸方向に変化する場合を説明した。しかし、例えば、プラズマ P L の位置が Y 軸方向に変化する場合は、生成部 1 1 0 を Y 軸方向に移動させてプラズマ P L の位置を補正すればよい。

【手続補正 2 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 3 8

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 0 3 8】

このように、光源装置 1 0 0 は、集光点 C P から発散する発散角度内での E U V 光 E L の強度分布を強度分布測定装置 1 7 0 A によって検出する。そして、かかる検出結果を基にプラズマ P L の位置を補正することで、レチクル 3 0 0 を安定して均一に照明することができる。また、光源装置 1 0 0 は、レチクル 3 0 0 の照明の均一化により、照明光学系 2 0 0 が有する照明均一化のためのオプティカルインテグレーターを最小限にすることができる。これにより、E U V 光 E L の強度を低下させる要因である反射面の数を低減することができ、効率のよい照明が可能となるため、スループットの高い露光装置を実現することができる。更に、光源装置 1 0 0 は、光源装置 1 0 0 を構成する部材に劣化が生じても露光装置 1 としては初期と変わらない性能を維持することができ、光源装置 1 0 0 を交換するまでの寿命が長くなり、ランニングコストの低減につながるというメリットも有する。

【手続補正 2 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 4 0

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 0 4 0】

図 3 に示す構成においては、光源装置 1 0 0 の長期運転により、例えば、集光ミラー 1 3 0 の外周側のミラー 1 3 2 のみが劣化し、E U V 光 E L を反射しなくなった場合には、集光点 C P からの発散角度が変化する。そのため、集光点 C P の位置を把握することができない。一方、図 1 1 に示す構成においては、光源装置 1 0 0 の長期運転により、集光点 C P からの発散角度に変化が生じても、強度分布測定装置 1 7 0 A は、位置 Z A 及び位置 Z B の少なくとも 2 つの位置で E U V 光 E L の強度を検出することができる。そのため、集光点 C P の位置を把握することができる。これにより、上述したように、ステージ 1 4

0を駆動して適切な位置にプラズマPLの位置を補正することができる。

【手続補正24】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0043

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0043】

強度検出器170Bは、アパーチャ152の直後、且つ、EUV光ELの光路上に挿脱可能に設けられ、EUV光ELの強度を検出する。強度検出器170Bは、例えば、EUV光ELの入射側に、EUV光ELを透過すると共に、20nm以上の波長を有する紫外線光を吸収する材料及び赤外光を吸収する材料から構成されるフィルタを有するフォトダイオード又はCCDで構成される。そして、EUV光ELの強度に比例した信号を出力する。ここで、20nm以上の波長を有する紫外線光を吸収する材料とは、例えば、ジルコニウム(Zr)であり、赤外光を吸収する材料とは、例えば、シリコン(Si)である。

【手続補正25】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0045

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0045】

また、後段の照明光学系200において、光源装置100からのEUV光ELが最初に入射する光学素子が、図13に示すように、凹面鏡232と凸面鏡234から構成されるシュバルツシルト反射鏡230で構成される。このような場合、集光点CPから発散するEUV光ELのうち、レチクル300の照明には用いない(即ち、Z軸とのなす角が小さい)EUV光EL₁のみの強度を検出する位置に、強度検出器170Bを配置することが可能である。これにより、光源装置100の運転中(プラズマPLの生成中)において、常にEUV光EL₁の強度を検出することができる。ここで、図13は、検出手段170として強度検出器170Bを用いた光源装置100の構成を示す概略断面図である。

【手続補正26】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0046

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0046】

例えば、プラズマPLの位置の変動により、集光点CPの位置がZ軸のプラス方向に変化した場合には、強度検出器170Bに入射するEUV光EL₁が多くなるために強度検出器170Bが検出する強度は大きくなる。また、集光点CPの位置がZ軸のマイナス方向に変化した場合には、強度検出器170Bに入射するEUV光EL₁が少なくなるために強度検出器170Bが検出する強度は小さくなる。これを利用することによって、強度検出器170Bが検出するEUV光EL₁の強度に基づいて、集光点CPの位置が適正な位置となるように、プラズマPLの位置を調整することができる。

【手続補正27】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0053

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0053】

プラズマPLからのEUV光ELを集光する集光ミラー130又は130Aと照明光学系200との間における集光点CPの位置を検出する。集光点CPにおけるEUV光ELの強度を検出する。集光点CPから発散する発散角度内での強度分布を検出する。これま

で検出手段 170 は、これらのうちの少なくとも 1 つを検出したが、EUV 光 EL の特性を検出する物理量はこれらに限定されるものではない。同様に、これまでには、検出手段 170 の検出する EUV 光 EL の特性に基づいて、プラズマ PL の位置を補正していたが、補正する対称はプラズマ PL の位置に限定するものではない。

【手続補正 28】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0054

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0054】

例えば、照明光学系 200 に入射する EUV 光 EL のスペクトルを検出する。そして、かかる検出結果に基づいて（即ち、検出した EUV 光 EL のスペクトルからプラズマ PL のプラズマ電子温度が最適であるかどうかを把握し）、プラズマ PL のプラズマ電子温度を調整してもよい。

【手続補正 29】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0055

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0055】

検出手段 170 をスペクトル測定装置 170C とし、スペクトル測定装置 170C が検出する EUV 光 EL のスペクトルに基づいて、プラズマ PL のプラズマ電子温度を調整する光源装置 100 を図 15 に示す。図 15 を参照するに、照明系チャンバ 250 に入射した EUV 光 EL のほとんどは、上述したように、照明系ミラー 210 で反射される。しかし、一部の EUV 光 EL は照明系ミラー 210 に入射せず、スペクトルを測定するための被測定光 ML としてスペクトル測定装置 170C に入射する。

【手続補正 30】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0059

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0059】

次いで、被測定光 ML は、例えば、ジルコニウム (Zr) 薄膜で構成される可視光カットフィルタ 174C によって可視光や赤外光がカットされる。そして、平面結像型回折格子 175C に対して略垂直方向の向きに設けた Y 軸角度を制限するエッジアパーチャ 176C によって YZ 平面内での特定方向へ制限される。

【手続補正 31】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0060

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0060】

更に、被測定光 ML は、平面結像型回折格子 175C に入射して y 軸方向に波長分散し、検出器である CCD 177C に、短波長は y 軸のマイナス側、長波長は y 軸のプラス側に分散されて入射する。これにより、CCD 177C の出力は各波長の強度に比例した信号となる。かかる波長毎の信号強度を波長毎に高次光カットミラー 172C 及び 173C の反射率、可視光カットフィルタ 174C の透過率、平面結像型回折格子 175C の回折効率で除算する。そうすることによって、波長毎の強度比、即ち、スペクトルを検出することができる。但し、スペクトル測定装置 170C は、かかる構成に限るものではなく、被測定光 ML (EUV 光 EL) の強度等に応じて他の構成であってもよい。なお、スペク

トル測定装置 170C が検出した被測定光 M_L (EUV 光 E_L) のスペクトルは、プラズマ P_L のプラズマ電子温度を調整する調整手段 180 に送られる。

【手続補正 32】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0061

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0061】

スペクトル測定装置 170C で検出される被測定光 M_L のスペクトルは、プラズマ P_L を生成するガスをキセノン (Xe) とすると、光源装置 100 の構成部材が劣化していない場合、図 17 に示すようなグラフとなる。EUV 露光装置では、13.5 nm 近傍である約 2 % のバンド幅の EUV 光、即ち、約 13.365 nm 乃至 13.635 nm の波長を有する光 (以下、「13.5 nm 2 % バンド幅の光」と称する。) が用いられる。それに対応した 13.5 nm のピークは、 $I_{13.5\text{ nm}}$ の強度を有するが、プラズマ P_L からの EUV 光 E_L は、13.5 nm に対応したエネルギー遷移以外のエネルギー遷移の光、即ち、13.5 nm 以外の波長を有する光も多く含まれる。そのうち 11 nm の波長を有する光が最も強度が強く、 $I_{11\text{ nm}}$ の強度を有する。

【手続補正 33】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0062

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0062】

光源装置 100 の構成部材が劣化していない場合では、プラズマ P_L のプラズマ電子温度は、30 eV 程度の最適化された温度となっている。その結果、露光に用いる 13.5 nm 2 % バンド幅の光が露光に必要な十分な強度を有し、また、それ以外の光は、露光装置 1 を構成する何れかの部材に吸収される。なお、吸収された光は露光装置 1 にとって熱負荷となるが、かかる熱負荷は露光装置 1 の冷却能力を上回らないように設定されている。また、プラズマ P_L からの EUV 光 E_L の強度角度分布などの特性も、レチクル 300 での照明むらがないような状態となっている。

【手続補正 34】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0063

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0063】

しかし、光源装置 100 の構成部材が劣化し、例えば、電極 114 の形状が変わることによってプラズマ P_L の状態が変わるため、プラズマ P_L のプラズマ電子温度は変化する。プラズマ P_L のプラズマ電子温度が最適なプラズマ電子温度よりも低くなると、スペクトル測定装置 170C が検出するスペクトルは、図 18 に示すように、13.5 nm のピークは $I'_{13.5\text{ nm}}$ の強度に変わる。また、11 nm の波長を有する光は $I'_{11\text{ nm}}$ の強度に変わる。即ち、プラズマ P_L のプラズマ電子温度が最適なプラズマ電子温度よりも低い場合には、 $(I'_{11\text{ nm}} / I'_{13.5\text{ nm}}) < (I_{11\text{ nm}} / I_{13.5\text{ nm}})$ となる。また、プラズマ P_L のプラズマ電子温度が最適なプラズマ電子温度よりも高い場合には、 $(I'_{11\text{ nm}} / I'_{13.5\text{ nm}}) > (I_{11\text{ nm}} / I_{13.5\text{ nm}})$ となる。

【手続補正 35】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0064

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0064】

プラズマPLのプラズマ電子温度が最適なプラズマ電子温度でない場合には、13.5 nm 2 % バンド幅の光が露光に必要な十分な強度に満たなかったり、十分な強度はあるものの露光装置1の熱負荷が過大になったりする。また、プラズマPLからのEUV光ELの強度角度分布がレチクル300での照明むらを生じるようなものになるなど、露光装置1の性能を損なうことになる。

【手続補正36】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0065

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0065】

調整手段180は、スペクトル測定装置170Cが検出した被測定光MLのスペクトルから、(11nmの強度 / 13.5nmの強度)を算出する。それと共に、プラズマ電子温度が最適な場合の($I_{11\text{nm}} / I_{13.5\text{nm}}$)と比較し、(11nmの強度 / 13.5nmの強度) < ($I_{11\text{nm}} / I_{13.5\text{nm}}$)であればプラズマ電子温度が最適な状態よりも低いと判断する。そして、プラズマPLのプラズマ電子温度が(11nmの強度 / 13.5nmの強度) = ($I_{11\text{nm}} / I_{13.5\text{nm}}$)となるように、電極114への印加電圧を上げる。また、プラズマ電子温度が最適な場合の($I_{11\text{nm}} / I_{13.5\text{nm}}$)と比較し、(11nmの強度 / 13.5nmの強度) > ($I_{11\text{nm}} / I_{13.5\text{nm}}$)であればプラズマ電子温度が最適な状態よりも高いと判断する。そして、プラズマPLのプラズマ電子温度が(11nmの強度 / 13.5nmの強度) = ($I_{11\text{nm}} / I_{13.5\text{nm}}$)となるように、電極114への印加電圧を下げる。

【手続補正37】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0066

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0066】

このように、プラズマPLからのEUV光ELを集光する集光ミラー130と照明光学系200との間の位置におけるEUV光ELのスペクトル特性からプラズマPLのプラズマ電子温度を調整する。そして、プラズマPLのプラズマ電子温度を常に最適に維持することによって、安定して露光を行うことができる。なお、プラズマ電子温度の判断には、11nm及び13.5nmの強度だけではなく、プラズマ電子温度の変化によって強度比が変化する2つの波長を用いればよく、他の波長のEUV光や紫外光及び可視光であってもよい。また、プラズマPLを生成するガスの種類に応じて、プラズマ電子温度の変化によって強度比が変化する2つの波長を選択すればよい。また、プラズマPLのプラズマ電子温度を制御するパラメータは、電極114への印加電圧に限らず、例えば、プラズマPLを生成するガスの流量などのプラズマ電子温度を変えることができるものであればよい。

【手続補正38】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0069

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0069】

スペクトル測定装置170Cで検出される被測定光MLのスペクトルは、図20に示すグラフのように、プラズマPLからのEUV光ELに集光ミラー130Aの反射率を乗じたものとなる。そのため、EUV光の波長領域では13.5nm近傍のみの波長成分が存

在するが、複数のエネルギー遷移に応じた複数の輝線が存在する。

【手続補正39】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0070

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0070】

調整手段180は、スペクトル測定装置170Cで検出される被測定光MLのスペクトル（即ち、複数の輝線のうちの2つの強度比）から、プラズマPLのプラズマ電子温度が最適であるかどうか判断する。波長₁での強度をI₁、波長₂での強度をI₂とし、且つ、I₁ < I₂である場合を考える。図20を参照するに、調整手段180は、(I₁ / I₂) < 最適なプラズマ電子温度での(波長₁の強度 / 波長₂での強度)であればプラズマ電子温度が最適な状態よりも低いと判断する。そして、(I₁ / I₂) > 最適なプラズマ電子温度での(波長₁の強度 / 波長₂での強度)であればプラズマ電子温度が最適な状態よりも高いと判断する。更に、調整手段180は、最適なプラズマ電子温度よりも低いと判断した場合には、ステージ140を介してレーザー集光光学系112AをZ軸方向に移動させることによってレーザー光LLをターゲット材上で絞って集光面積を小さくする。そして、レーザー光LLのパワー密度を大きくしてプラズマPLのプラズマ電子温度を高くなる。また、最適なプラズマ電子温度よりも高いと判断した場合には、ステージ140を介してレーザー集光光学系112AをZ軸方向に移動させることによってレーザー光LLのターゲット材上での集光面積を大きくする。そして、レーザー光LLのパワー密度を小さくしてプラズマPLのプラズマ電子温度を低くする。

【手続補正40】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0072

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0072】

以上のように、光源装置100及び100Aは、プラズマPLからのEUV光ELを集光する集光ミラー130及び130Aと照明光学系200との間の位置におけるEUV光ELの特性を検出する。そして、かかる検出結果に基づいてプラズマPLの状態を補正することで、レチクル300を安定して均一に照明することができる。ここで、EUV光ELの特性とは、例えば、集光点CPの位置、集光点CPにおけるEUV光ELの強度、集光点CPから発散する発散角度内での強度分布及びスペクトルのことである。

【手続補正41】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0079

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0079】

アライメント検出機構800は、レチクル300の位置と投影光学系500の光軸との位置関係、及び、被処理体600の位置と投影光学系500の光軸との位置関係を計測する。そして、レチクル300の投影像が被処理体600の所定の位置に一致するようにレチクルステージ400及びウェハステージ700の位置と角度を設定する。