

(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2005-294087

(P2005-294087A)

(43) 公開日 平成17年10月20日(2005. 10. 20)

(51) Int. Cl.⁷

H05G 1/00
G03F 7/20
G21K 1/06
G21K 5/00
G21K 5/02

F I

H05G 1/00 E
G03F 7/20 503
G21K 1/06 A
G21K 5/00 Z
G21K 5/02 X

テーマコード (参考)

2H097
4C092
5F046

審査請求 未請求 請求項の数 35 O L (全 28 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2004-108674 (P2004-108674)

(22) 出願日 平成16年4月1日(2004. 4. 1)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(74) 代理人 100095256

弁理士 山口 孝雄

(72) 発明者 近藤 洋行

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

Fターム(参考) 2H097 AA04 BB01 CA03 CA15 LA10
4C092 AA06 AC09 BD20 CC03 CD10
CE01 DD01
5F046 DA01 DB01 DC01 GA14 GB01
GB07 GC03

(54) 【発明の名称】 光源ユニット、照明光学装置、露光装置および露光方法

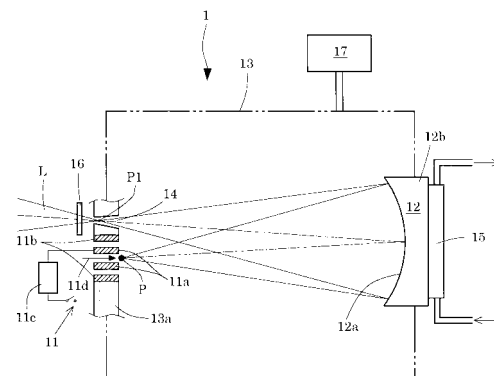
(57) 【要約】

【課題】 所望の光強度角度分布（面内分布）を有するEUV光を安定的に供給することのできる光源ユニット

。

【解決手段】 標的材料をプラズマ化し、生成されたプラズマ（P）からEUV光を輻射させる光源本体（11）と、光源本体から輻射されたEUV光を所定の方向に反射するための反射鏡（12）と、反射鏡に入射するEUV光の光強度の角度分布（面内分布）の軸対称性を検出するための検出系と、検出系の検出結果に基づいて光強度の角度分布（面内分布）がほぼ軸対称になるように光源本体を調整するための調整系とを備えている。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

標的材料をプラズマ化し、生成されたプラズマから E U V 光を輻射させる光源本体と、
前記光源本体から輻射された E U V 光を所定の方向に反射するための反射鏡と、
前記反射鏡に入射する E U V 光の光強度の角度分布の軸対称性を検出するための検出系と、

前記検出系の検出結果に基づいて、前記光強度の角度分布がほぼ軸対称になるように前記光源本体を調整するための調整系とを備えていることを特徴とする光源ユニット。

【請求項 2】

前記検出系は、前記反射鏡の周囲に配置された複数の光検出器を有することを特徴とする請求項 1 に記載の光源ユニット。 10

【請求項 3】

前記検出系は、前記光源本体から前記反射鏡の周囲に達する光のうち所定波長の E U V 光だけを反射して各光検出器へ導くための複数のミラーをさらに有することを特徴とする請求項 2 に記載の光源ユニット。

【請求項 4】

前記検出系は、前記光源本体から前記反射鏡の周囲に達する光のうち所定波長の E U V 光だけを透過させて各光検出器へ導くための複数の選択フィルタをさらに有することを特徴とする請求項 2 または 3 に記載の光源ユニット。

【請求項 5】

前記光源本体は、前記標的材料を供給するためのノズルと、該ノズルから供給される前記標的材料に対して集光するようにレーザ光を照射するためのレーザ照射系とを有し、
前記調整系は、前記レーザ光の集光位置を変化させるための集光位置変化手段を有することを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の光源ユニット。 20

【請求項 6】

前記光源本体は、前記標的材料を供給するためのノズルと、該ノズルから供給される前記標的材料に対して集光するようにレーザ光を照射するためのレーザ照射系とを有し、
前記調整系は、前記ノズルの位置および姿勢を調整するためのノズル調整手段と、レーザ光の集光位置を変化させるための集光位置変化手段とを有することを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の光源ユニット。 30

【請求項 7】

前記集光位置変化手段は、前記レーザ照射系の光路中に配置されて光軸に対して傾動可能な平行平板を有することを特徴とする請求項 5 または 6 に記載の光源ユニット。

【請求項 8】

前記光源本体は、放電により前記標的材料をプラズマ化するための一対の電極を有し、
前記調整系は、放電に際して前記一対の電極を放電軸廻りに回転させるための電極駆動手段を有することを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の光源ユニット。

【請求項 9】

標的材料をプラズマ化し、生成されたプラズマから E U V 光を輻射させる光源本体と、
前記光源本体から輻射された E U V 光を反射して所定位置に集光させるための反射鏡と 40

、
前記所定位置を介した E U V 光の光強度の角度分布の軸対称性を検出するための検出系と、

前記検出系の検出結果に基づいて、前記光強度の角度分布がほぼ軸対称になるように前記反射鏡の位置および姿勢を調整するための調整系とを備えていることを特徴とする光源ユニット。

【請求項 10】

前記検出系は、前記所定位置を介した E U V 光の有効光束の周囲に配置された複数の光検出器を有することを特徴とする請求項 9 に記載の光源ユニット。

【請求項 11】

前記検出系は、前記光源本体から前記有効光束の周囲に達する光のうち所定波長のEUV光だけを透過させて各光検出器へ導くための複数の選択フィルタをさらに有することを特徴とする請求項10に記載の光源ユニット。

【請求項12】

前記検出系は、前記光源本体から前記有効光束の周囲に達する光のうち所定波長のEUV光だけを反射して各光検出器へ導くための複数のミラーをさらに有することを特徴とする請求項10または11に記載の光源ユニット。

【請求項13】

前記光源本体は、前記標的材料を供給するためのノズルと、該ノズルから供給される前記標的材料に対して集光するようにレーザ光を照射するためのレーザ照射系とを有し、

10

前記調整系は、前記レーザ光の集光位置を変化させるための集光位置変化手段を有することを特徴とする請求項9乃至12のいずれか1項に記載の光源ユニット。

【請求項14】

前記光源本体は、前記標的材料を供給するためのノズルと、該ノズルから供給される前記標的材料に対して集光するようにレーザ光を照射するためのレーザ照射系とを有し、

前記調整系は、前記ノズルの位置および姿勢を調整するためのノズル調整手段と、レーザ光の集光位置を変化させるための集光位置変化手段とを有することを特徴とする請求項9乃至12のいずれか1項に記載の光源ユニット。

【請求項15】

前記集光位置変化手段は、前記レーザ照射系の光路中に配置されて光軸に対して傾動可能な平行平板を有することを特徴とする請求項13または14に記載の光源ユニット。

20

【請求項16】

前記光源本体は、放電により前記標的材料をプラズマ化するための一对の電極を有し、

前記調整系は、放電に際して前記一对の電極を放電軸廻りに回転させるための電極駆動手段を有することを特徴とする請求項9乃至12のいずれか1項に記載の光源ユニット。

【請求項17】

標的材料をプラズマ化し、生成されたプラズマからEUV光を輻射させる光源本体と、

前記光源本体から輻射されたEUV光を反射して集光させるための反射鏡と、

前記反射鏡で反射されたEUV光の集光位置を検出するための検出系と、

前記検出系の検出結果に基づいて、前記集光位置がほぼ所定位置になるように調整するための調整系とを備えていることを特徴とする光源ユニット。

30

【請求項18】

前記検出系は、前記所定位置に配置された二次元光検出器を有することを特徴とする請求項17に記載の光源ユニット。

【請求項19】

前記調整系は、前記反射鏡の位置および姿勢を調整するための反射鏡調整手段を有することを特徴とする請求項17または18に記載の光源ユニット。

【請求項20】

前記調整系は、前記プラズマからのEUV光の発光位置を変化させるための発光位置変化手段を有することを特徴とする請求項17乃至19のいずれか1項に記載の光源ユニット

40

【請求項21】

前記光源本体は、前記標的材料を供給するためのノズルと、該ノズルから供給される前記標的材料に対して集光するようにレーザ光を照射するためのレーザ照射系とを有し、

前記発光位置変化手段は、前記ノズルの位置および姿勢を調整するためのノズル調整手段と、レーザ光の集光位置を変化させるための集光位置変化手段とを有することを特徴とする請求項17乃至20のいずれか1項に記載の光源ユニット。

【請求項22】

前記集光位置変化手段は、前記レーザ照射系の光路中に配置されて光軸に対して傾動可能な平行平板を有することを特徴とする請求項21に記載の光源ユニット。

50

【請求項 23】

前記集光位置変化手段は、前記レーザ照射系の光路中に配置されて光軸に沿って移動可能なレンズを有することを特徴とする請求項 21 または 22 に記載の光源ユニット。

【請求項 24】

前記光源本体は、放電により前記標的材料をプラズマ化するための一对の電極を有し、
前記発光位置変化手段は、前記一对の電極の位置を変化させるための電極位置変化手段を有することを特徴とする請求項 17 乃至 20 のいずれか 1 項に記載の光源ユニット。

【請求項 25】

一对の電極間の放電により標的材料をプラズマ化し、生成されたプラズマから E U V 光を輻射させる光源本体と、

10

前記光源本体から輻射された E U V 光を所定の方向に反射するための反射鏡と、

前記プラズマからの E U V 光の発光位置を検出するための検出系と、

前記検出系の検出結果に基づいて、前記発光位置がほぼ所定位置になるように前記一对の電極の位置を調整するための調整系とを備えていることを特徴とする光源ユニット。

【請求項 26】

前記検出系は、前記プラズマからの光をピンホールを介して検出するための複数の二次元光検出器を有することを特徴とする請求項 25 に記載の光源ユニット。

【請求項 27】

請求項 1 乃至 26 のいずれか 1 項に記載の光源ユニットと、該光源ユニットからの E U V 光を被照射面へ導くための導光光学系とを備えていることを特徴とする照明光学装置。

20

【請求項 28】

標的材料をプラズマ化し、生成されたプラズマから E U V 光を輻射させる光源本体と、

前記光源本体から輻射された E U V 光を反射して集光させるための反射鏡と、

前記反射鏡で一旦集光された E U V 光をほぼ平行光に変換するためのコリメータミラーと、

前記コリメータミラーと被照射面との間に配置されたオプティカルインテグレータと、

前記オプティカルインテグレータに入射する E U V 光の光強度の角度分布の軸対称性を検出するための検出系と、

前記検出系の検出結果に基づいて、前記光強度の角度分布がほぼ軸対称になるように調整するための調整系とを備えていることを特徴とする照明光学装置。

30

【請求項 29】

前記オプティカルインテグレータは、前記コリメータミラー側から順に、第 1 フライアイミラーと第 2 フライアイミラーとを有し、

前記検出系は、前記 E U V 光の入射を受けて前記第 1 フライアイミラーの要素ミラーから放出される光電子電流を検出するための電流計を有することを特徴とする請求項 28 に記載の照明光学装置。

【請求項 30】

前記調整系は、前記反射鏡の位置および姿勢を調整するための反射鏡調整手段を有することを特徴とする請求項 28 または 29 に記載の照明光学装置。

【請求項 31】

40

前記調整系は、前記コリメータミラーの位置および姿勢を調整するためのミラー調整手段を有することを特徴とする請求項 28 乃至 30 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置。

【請求項 32】

所定のパターンが形成された反射型のマスクを照明するための請求項 27 乃至 31 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置と、前記マスクのパターン像を感光性基板上に形成するための投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置。

【請求項 33】

前記投影光学系に対して前記マスクおよび前記感光性基板を所定方向に沿って相対移動させて前記マスクのパターンを前記感光性基板上へ投影露光することを特徴とする請求項 32 に記載の露光装置。

50

【請求項 3 4】

請求項 2 7 乃至 3 1 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置を用いて所定のパターンが形成された反射型のマスクを照明する照明工程と、投影光学系を介して前記マスクのパターンを前記感光性基板上へ投影露光する露光工程とを含むことを特徴とする露光方法。

【請求項 3 5】

前記露光工程では、前記投影光学系に対して前記マスクおよび感光性基板を所定方向に沿って相対移動させて前記マスクのパターンを前記感光性基板上へ投影露光することを特徴とする請求項 3 4 に記載の露光方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0 0 0 1】

本発明は、光源ユニット、照明光学装置、露光装置および露光方法に関する。さらに詳細には、本発明は、5 ~ 5 0 n m 程度の波長を有する E U V 光（極端紫外線）を用いて半導体素子などのマイクロデバイスをフォトリソグラフィ工程で製造するのに使用される露光装置に好適な光源ユニットに関するものである。

【背景技術】

【0 0 0 2】

この種の露光装置では、転写すべき回路パターンの微細化に伴って解像力の一層の向上が要求されており、露光光としてより短波長の光を用いるようになっている。なお、本明細書における「光」とは、目に見える狭義の「光」だけではなく、電磁波のうち 1 m m よりも短い波長を有する、いわゆる赤外線から X 線までを含む広義の「光」を意味する。近年、次世代装置として、5 ~ 5 0 n m 程度の波長を有する E U V (Extreme UltraViolet) 光を用いる露光装置（以下、「E U V L (Extreme UltraViolet Lithography: 極紫外リソグラフィ) 露光装置」という）が提案されている。

20

【0 0 0 3】

現在、E U V 光を供給する光源として、以下に示す 3 つのタイプの光源が提案されている。

(1) S R (シンクロトロン放射光) を供給する光源

(2) L P P (Laser Produced Plasma) 光源

(3) D P P (Discharge Produced Plasma) 光源。

30

【0 0 0 4】

L P P 光源（レーザプラズマ光源）では、ターゲット材料（標的材料）上にレーザ光を集光し、ターゲット材料をプラズマ化して E U V 光を得る。一方、D P P 光源（放電プラズマ光源）では、電極間にターゲット材料が存在する状態で電極間に電圧を印加すると、ある電圧を越えたところで電極間に放電が生じ、ターゲット材料がプラズマ化する。この放電によって電極間に大電流が流れ、この大電流によって生じる磁場によりプラズマ自身が微小空間内に圧縮され、プラズマ温度が上昇する。この高温プラズマから E U V 光が放出（輻射）される。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

40

【0 0 0 5】

D P P 光源では、たとえば長時間に亘る運転に起因する電極の消耗により、プラズマ生成位置（すなわち発光位置）が経時的に変化することがある。また、L P P 光源では、長時間に亘って運転すると、ターゲット材料を供給するノズルの近傍に生成されるプラズマからのイオンなどの影響によりノズルが変形したり消耗したりする。その結果、ノズルの変形や消耗によりターゲット材料の供給経路が経時的に変化し、ひいてはプラズマ生成位置が経時的に変化することがある。

【0 0 0 6】

あるいは、L P P 光源では、レーザ光の集光位置が経時的に変化し、ひいてはプラズマ生成位置が経時的に変化することがある。D P P 光源や L P P 光源において、プラズマ生

50

成位置が変化すると、プラズマから輻射されて反射鏡（集光ミラー）に入射するＥＵＶ光の光強度の角度分布（面内分布）が変化し、ひいては光源ユニットから供給されるＥＵＶ光の光強度の角度分布が変化してしまう。

【０００７】

また、消耗した電極やノズルや反射鏡を交換する際に、新たな部品を元の位置に正確に取り付けることができず、交換取付け誤差が発生することがある。この場合、部品の交換前とは異なる位置にプラズマが生成されたり、反射鏡を介してＥＵＶ光の集光される位置すなわち集光位置が部品交換前の集光位置から位置ずれしたりする。このように、プラズマ生成位置や集光位置が変化すると、すなわち光源位置が変化すると、照明条件が変化することになり、露光装置に適用される場合には正確な露光を行うことができなくなる。

10

【０００８】

本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、所望の光強度角度分布（面内分布）を有するＥＵＶ光を安定的に供給することのできる光源ユニットを提供することを目的とする。また、本発明は、発光位置（プラズマ生成位置）や集光位置をほぼ所定位置に安定的に維持することのできる光源ユニットを提供することを目的とする。また、本発明は、所望の光強度角度分布（面内分布）を有するＥＵＶ光を安定的に供給する光源ユニットまたは発光位置や集光位置をほぼ所定位置に安定的に維持する光源ユニットを用いて、所望の照明条件のもとでマスクパターンを感光性基板上に忠実に転写することのできる露光装置および露光方法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】

20

【０００９】

前記課題を解決するために、本発明の第１形態では、標的材料をプラズマ化し、生成されたプラズマからＥＵＶ光を輻射させる光源本体と、

前記光源本体から輻射されたＥＵＶ光を所定の方向に反射するための反射鏡と、

前記反射鏡に入射するＥＵＶ光の光強度の角度分布（面内分布）の軸対称性を検出するための検出系と、

前記検出系の検出結果に基づいて、前記光強度の角度分布（面内分布）がほぼ軸対称になるように前記光源本体を調整するための調整系とを備えていることを特徴とする光源ユニットを提供する。

【００１０】

30

第１形態の好ましい態様によれば、前記検出系は、前記反射鏡の周囲に配置された複数の光検出器を有する。この場合、前記検出系は、前記光源本体から前記反射鏡の周囲に達する光のうち所定波長のＥＵＶ光だけを反射して各光検出器へ導くための複数のミラーをさらに有することが好ましい。あるいは、前記検出系は、前記光源本体から前記反射鏡の周囲に達する光のうち所定波長のＥＵＶ光だけを透過させて各光検出器へ導くための複数の選択フィルタをさらに有することが好ましい。

【００１１】

第１形態の好ましい態様によれば、前記光源本体は、前記標的材料を供給するためのノズルと、該ノズルから供給される前記標的材料に対して集光するようにレーザ光を照射するためのレーザ照射系とを有し、前記調整系は、前記レーザ光の集光位置を変化させるための集光位置変化手段を有する。あるいは、前記光源本体は、前記標的材料を供給するためのノズルと、該ノズルから供給される前記標的材料に対して集光するようにレーザ光を照射するためのレーザ照射系とを有し、前記調整系は、前記ノズルの位置および姿勢を調整するためのノズル調整手段と、レーザ光の集光位置を変化させるための集光位置変化手段とを有することが好ましい。これらの場合、前記集光位置変化手段は、前記レーザ照射系の光路中に配置されて光軸に対して傾動可能な平行平板を有することが好ましい。

40

【００１２】

第１形態の好ましい態様によれば、前記光源本体は、放電により前記標的材料をプラズマ化するための一対の電極を有し、前記調整系は、放電に際して前記一対の電極を放電軸廻りに回転させるための電極駆動手段を有する。

50

【 0 0 1 3 】

本発明の第 2 形態では、標的材料をプラズマ化し、生成されたプラズマから E U V 光を輻射させる光源本体と、

前記光源本体から輻射された E U V 光を反射して所定位置に集光させるための反射鏡と

、
前記所定位置を介した E U V 光の光強度の角度分布（面内分布）の軸対称性を検出するための検出系と、

前記検出系の検出結果に基づいて、前記光強度の角度分布（面内分布）がほぼ軸対称になるように前記反射鏡の位置および姿勢を調整するための調整系とを備えていることを特徴とする光源ユニットを提供する。

10

【 0 0 1 4 】

第 2 形態の好ましい態様によれば、前記検出系は、前記所定位置を介した E U V 光の有効光束の周囲に配置された複数の光検出器を有する。この場合、前記検出系は、前記光源本体から前記有効光束の周囲に達する光のうち所定波長の E U V 光だけを透過させて各光検出器へ導くための複数の選択フィルタをさらに有する。あるいは、前記検出系は、前記光源本体から前記有効光束の周囲に達する光のうち所定波長の E U V 光だけを反射して各光検出器へ導くための複数のミラーをさらに有することが好ましい。

【 0 0 1 5 】

第 2 形態の好ましい態様によれば、前記光源本体は、前記標的材料を供給するためのノズルと、該ノズルから供給される前記標的材料に対して集光するようにレーザ光を照射するためのレーザ照射系とを有し、前記調整系は、前記レーザ光の集光位置を変化させるための集光位置変化手段を有する。あるいは、前記光源本体は、前記標的材料を供給するためのノズルと、該ノズルから供給される前記標的材料に対して集光するようにレーザ光を照射するためのレーザ照射系とを有し、前記調整系は、前記ノズルの位置および姿勢を調整するためのノズル調整手段と、レーザ光の集光位置を変化させるための集光位置変化手段とを有することが好ましい。これらの場合、前記集光位置変化手段は、前記レーザ照射系の光路中に配置されて光軸に対して傾動可能な平行平板を有することが好ましい。

20

【 0 0 1 6 】

第 2 形態の好ましい態様によれば、前記光源本体は、放電により前記標的材料をプラズマ化するための一对の電極を有し、前記調整系は、放電に際して前記一对の電極を放電軸

30

【 0 0 1 7 】

本発明の第 3 形態では、標的材料をプラズマ化し、生成されたプラズマから E U V 光を輻射させる光源本体と、

前記光源本体から輻射された E U V 光を反射して集光させるための反射鏡と、

前記反射鏡で反射された E U V 光の集光位置を検出するための検出系と、

前記検出系の検出結果に基づいて、前記集光位置がほぼ所定位置になるように調整するための調整系とを備えていることを特徴とする光源ユニットを提供する。

【 0 0 1 8 】

第 3 形態の好ましい態様によれば、前記検出系は、前記所定位置に配置された二次元光検出器を有する。また、前記調整系は、前記反射鏡の位置および姿勢を調整するための反射鏡調整手段を有することが好ましい。また、前記調整系は、前記プラズマからの E U V 光の発光位置を変化させるための発光位置変化手段を有することが好ましい。

40

【 0 0 1 9 】

第 3 形態の好ましい態様によれば、前記光源本体は、前記標的材料を供給するためのノズルと、該ノズルから供給される前記標的材料に対して集光するようにレーザ光を照射するためのレーザ照射系とを有し、前記発光位置変化手段は、前記ノズルの位置および姿勢を調整するためのノズル調整手段と、レーザ光の集光位置を変化させるための集光位置変化手段とを有する。この場合、前記集光位置変化手段は、前記レーザ照射系の光路中に配置されて光軸に対して傾動可能な平行平板を有することが好ましい。また、前記集光位

50

置変化手段は、前記レーザ照射系の光路中に配置されて光軸に沿って移動可能なレンズを有することが好ましい。

【0020】

第3形態の好ましい態様によれば、前記光源本体は、放電により前記標的材料をプラズマ化するための一对の電極を有し、前記発光位置変化手段は、前記一对の電極の位置を変化させるための電極位置変化手段を有する。

【0021】

本発明の第4形態では、一对の電極間の放電により標的材料をプラズマ化し、生成されたプラズマからEUV光を輻射させる光源本体と、

前記光源本体から輻射されたEUV光を所定の方向に反射するための反射鏡と、

10

前記プラズマからのEUV光の発光位置を検出するための検出系と、

前記検出系の検出結果に基づいて、前記発光位置がほぼ所定位置になるように前記一对の電極の位置を調整するための調整系とを備えていることを特徴とする光源ユニットを提供する。

【0022】

第4形態の好ましい態様によれば、前記検出系は、前記プラズマからの光をピンホールを介して検出するための複数の二次元光検出器を有する。

【0023】

本発明の第5形態では、第1形態～第4形態の光源ユニットと、該光源ユニットからのEUV光を被照射面へ導くための導光光学系とを備えていることを特徴とする照明光学装置を提供する。

20

【0024】

本発明の第6形態では、標的材料をプラズマ化し、生成されたプラズマからEUV光を輻射させる光源本体と、

前記光源本体から輻射されたEUV光を反射して集光させるための反射鏡と、

前記反射鏡で一旦集光されたEUV光をほぼ平行光に変換するためのコリメータミラーと、

前記コリメータミラーと被照射面との間に配置されたオプティカルインテグレータと、

前記オプティカルインテグレータに入射するEUV光の光強度の角度分布（面内分布）の軸対称性を検出するための検出系と、

30

前記検出系の検出結果に基づいて、前記光強度の角度分布（面内分布）がほぼ軸対称になるように調整するための調整系とを備えていることを特徴とする照明光学装置を提供する。

【0025】

第6形態の好ましい態様によれば、前記オプティカルインテグレータは、前記コリメータミラー側から順に、第1フライアイミラーと第2フライアイミラーとを有し、前記検出系は、前記EUV光の入射を受けて前記第1フライアイミラーの要素ミラーから放出される光電子電流を検出するための電流計を有する。また、前記調整系は、前記反射鏡の位置および姿勢を調整するための反射鏡調整手段を有することが好ましい。また、前記調整系は、前記コリメータミラーの位置および姿勢を調整するためのミラー調整手段を有することが好ましい。

40

【0026】

本発明の第7形態では、所定のパターンが形成された反射型のマスクを照明するための第5形態または第6形態の照明光学装置と、前記マスクのパターン像を感光性基板上に形成するための投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置を提供する。この場合、前記投影光学系に対して前記マスクおよび前記感光性基板を所定方向に沿って相対移動させて前記マスクのパターンを前記感光性基板上へ投影露光することが好ましい。

【0027】

本発明の第8形態では、第5形態または第6形態の照明光学装置を用いて所定のパターンが形成された反射型のマスクを照明する照明工程と、投影光学系を介して前記マスクの

50

パターンを前記感光性基板上へ投影露光する露光工程とを含むことを特徴とする露光方法を提供する。この場合、前記露光工程では、前記投影光学系に対して前記マスクおよび感光性基板を所定方向に沿って相対移動させて前記マスクのパターンを前記感光性基板上へ投影露光することが好ましい。

【発明の効果】

【0028】

本発明では、反射鏡に入射するEUV光や反射鏡により一旦集光して発散するEUV光の光強度の角度分布（面内分布）が様々な原因により実質的に軸非対称になることがあっても、光強度の角度分布がほぼ軸対称になるように調整することができる。また、本発明では、反射鏡で反射されたEUV光の集光位置やプラズマからのEUV光の発光位置が様々な原因により変化することがあっても、集光位置や発光位置が所定位置になるように調整することができる。

10

【0029】

すなわち、本発明の光源ユニットでは、所望の光強度角度分布（面内分布）を有するEUV光を安定的に供給したり、発光位置（プラズマ生成位置）や集光位置をほぼ所定位置に安定的に維持したりすることができる。したがって、本発明の露光装置および露光方法では、所望の光強度角度分布（面内分布）を有するEUV光を安定的に供給する光源ユニットまたは発光位置や集光位置をほぼ所定位置に安定的に維持する光源ユニットを用いて、所望の照明条件のもとでマスクパターンを感光性基板上に忠実に転写することができ、ひいては高精度なマイクロデバイスを高スループットで製造することができる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0030】

本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。

図1は、本発明の実施形態にかかる光源ユニットを備えた露光装置の全体構成を概略的に示す図である。また、図2は、ウェハ上に形成される静止露光領域と光軸との位置関係を示す図である。図1において、投影光学系の光軸方向すなわち感光性基板であるウェハWの法線方向に沿ってZ軸を、ウェハWの面内において図1の紙面に平行な方向にY軸を、ウェハWの面内において図1の紙面に垂直な方向にX軸をそれぞれ設定している。

【0031】

図1を参照すると、本実施形態の露光装置は、露光光を供給するためのDPP光源タイプの光源ユニット1またはLPP光源タイプの光源ユニット2を備えている。光源ユニット1または2から供給された露光光、例えば13.5nm（または11.5nm）の波長を有するEUV光（X線）Lは、照明光学系3および平面反射鏡4を介して、転写すべきパターンが形成された反射型のマスク（レチクル）Mを照明する。マスクMは、そのパターン面がXY平面に沿って延びるように、Y方向に沿って移動可能なマスクステージ5によって保持されている。

30

【0032】

マスクステージ5の移動は、レーザ干渉計6により計測されるように構成されている。照明されたマスクMのパターンからの光は、反射型の投影光学系PLを介して、感光性基板であるウェハW上にマスクパターンの像を形成する。すなわち、ウェハW上には、図2に示すように、たとえばY軸に関して対称でX方向に沿って細長く延びる円弧状の露光領域（すなわち静止露光領域または実効露光領域）ERが形成される。

40

【0033】

図2を参照すると、光軸AXを中心とした円形状の領域（イメージサークル）IF内において、このイメージサークルIFに接するように円弧状の静止露光領域ERが設定されている。ウェハWは、その露光面がXY平面に沿って延びるように、X方向およびY方向に沿って二次元的に移動可能なウェハステージ7によって保持されている。ウェハステージ7の移動は、マスクステージ5と同様に、レーザ干渉計8により計測されるように構成されている。

【0034】

50

こうして、マスクステージ5およびウェハステージ7をY方向に沿って移動させながら、すなわち投影光学系PLに対してマスクMおよびウェハWをY方向に沿って相対移動させながらスキャン露光（走査露光）を行うことにより、ウェハWの1つのショット領域にマスクMのパターンが転写される。また、ウェハステージ7をX方向およびY方向に沿って二次元的に移動させながら走査露光を繰り返すことにより、ウェハWの各ショット領域にマスクMのパターンが逐次転写される。

【0035】

図3は、DPP光源タイプの光源ユニットの内部構成を概略的に示す図である。図3を参照すると、DPP光源タイプの光源ユニット1は、光源本体11と、凹面反射鏡12と、光源本体11および凹面反射鏡12を収容するチャンバ13とを備えている。光源本体11は、チャンバ13の隔壁13aに設けられた一对の電極11aおよび11bと、間隔を隔てた一对の電極11aと11bとの間にパルス高電圧を印加するための電力供給源11cとを有する。

10

【0036】

光源本体11では、例えば円筒状の形態を有する第1電極11aと、この第1電極11aを包囲する同心円筒状の形態を有する第2電極11bとの間に、図示を省略したガス供給源からキセノン(Xe)ガス11dが供給される。ターゲットガス（標的材料）としてのキセノンガス11dが供給された状態で第1電極11aと第2電極11bとの間に電力供給源11cからのパルス高電圧が印加されると、第1電極11aと第2電極11bとの間に放電が起こる。この放電によりキセノンガス11dがイオン化してプラズマが生成され、生成されたプラズマが電磁力により収斂されて高温で高密度のプラズマPとなり、このプラズマPからEUV光が輻射される。なお、ターゲットとして、たとえばスズ(Sn)等を用いることもできる。

20

【0037】

凹面反射鏡12は、凹面形状（球面形状、非球面形状、回転楕円面形状など）の反射面12aを有し、チャンバ13の隔壁13aに取り付けられている。凹面反射鏡12は、例えばニッケル(Ni)、アルミニウム(Al)、銅(Cu)、シリコン(Si)のような加工性が高く且つ熱伝導率の高い金属で形成された反射鏡本体12b上に、反射面として例えばMo/Si製の多層膜12aをコートすることにより形成されている。

【0038】

多層膜12aは、波長が13.5nmのEUV光を選択的に反射するとともに光学面の劣化および変形を防ぐ特性を有する。凹面反射鏡12の裏面側には、光源本体11からの輻射熱を受けて温度が上昇し易い凹面反射鏡12を冷却するための冷却機構14が取り付けられている。冷却機構14では、たとえば循環する冷媒（水、オイル、ガスなど）の作用により、凹面反射鏡12の反射面12aから熱伝導率の高い反射鏡本体12bを介して伝わった熱が効率良く外部へ排出される。

30

【0039】

光源本体11から輻射されたEUV光は、凹面反射鏡12により一对の電極（11a, 11b）側に向かって反射され、チャンバ13の隔壁13aに形成された開口部15の所定位置P1に集光する。一旦集光したEUV光は、開口部15を介してチャンバ13の外部へ導かれ、開口部15の近傍に配置された選択フィルタ16に入射する。選択フィルタ16は、ジルコニウム(Zr)、シリコン(Si)、または窒化シリコン(SiN)などにより形成された薄膜であって、光源本体11からの可視光および紫外光を遮るとともに13.5nmの所望波長のEUV光を選択的に透過させる特性を有する。

40

【0040】

チャンバ13には、真空ポンプのような真空排気装置17が接続されている。この真空排気装置17の作用により、チャンバ13の内部にはほぼ真空雰囲気形成されている。同様に、EUV光の減衰を抑えるために、光源ユニット1から照明光学系3および投影光学系PLを経てウェハWに至るまでのすべての光路中においてほぼ真空雰囲気が形成されている。なお、真空雰囲気に限定されることなく、適当な不活性ガスで満たされた減圧雰

50

囲気をすべての光路中において形成することもできる。一对の電極（１１ａ，１１ｂ）の間に供給されたターゲットガス１１ｄは、プラズマＰが生成された後に真空排気装置１７の作用によりチャンバ１３の外部へ排出される。

【００４１】

チャンバ１３の隔壁１３ａに形成された比較的小さな開口部１５は、チャンバ１３内の光源ユニット１側の低い真空度と後段の照明光学系３側の高い真空度とを分離する差動排気に利用される。この差動排気により、光源ユニット１側の真空度が低くても、開口部１５よりも下流側の真空度が良好に保たれる。開口部１５による差動排気が不十分な場合には、開口部１５の近傍に選択フィルタ１６を配置して差動排気に利用することが有効である。ただし、開口部１５による差動排気が十分な場合や、光源本体１１から開口部１５に達する可視光および紫外光が無視できる程度であれば、選択フィルタ１６の設置を省略することもできる。

10

【００４２】

本実施形態のＤＰＰ光源タイプＳの光源ユニット１では、キセノンガス１１ｄが供給された状態で第１電極１１ａと第２電極１１ｂとの間に電力供給源１１ｃからのパルス高電圧が印加される。その結果、一对の電極１１ａと１１ｂとの間の放電により生成されたプラズマＰからＥＵＶ光が輻射される。プラズマＰから輻射されたＥＵＶ光は凹面反射鏡１２に入射し、その多層膜反射面１２ａにより一对の電極（１１ａ，１１ｂ）側に向かって反射される。凹面反射鏡１２の多層膜反射面１２ａにより選択的に反射された所望波長（１３．５ｎｍ）のＥＵＶ光は開口部１５の所定位置Ｐ１に一旦集光し、選択フィルタ１６を介してさらに波長選択された後、ＥＵＶ光Ｌとして照明光学系３に入射する。

20

【００４３】

図４は、ＬＰＰ光源タイプの光源ユニットの内部構成を概略的に示す図である。図４を参照すると、ＬＰＰ光源タイプの光源ユニット２は、真空容器（チャンバ）２１と、真空容器２１に接続された真空ポンプ（真空排気装置）２２と、真空容器２１の内部の所定位置に配置されたガスジェットノズル２３と、真空容器２１の隔壁に取り付けられた凹面反射鏡２４とを備えている。

【００４４】

真空容器２１の内部は、真空ポンプ２２の作用により排気され、後述のプラズマＰから輻射されたＥＵＶ光が減衰しないようにほぼ真空状態に設定されている。同様に、ＥＵＶ光の減衰を抑えるために、光源ユニット２から照明光学系３および投影光学系ＰＬを経てウェハＷに至るまでのすべての光路中がほぼ真空状態に設定されている。なお、真空雰囲気限定されることなく、適当な不活性ガスで満たされた減圧雰囲気を通じてすべての光路中において形成することもできる。

30

【００４５】

ガスジェットノズル２３は、例えばステンレス鋼により形成され、キセノン（Xe）ガスのようなターゲットガスが充填されたガスボンベ（不図示）に接続されている。ガスボンベ内のターゲットガスは、配管およびバルブなどを介して、ガスジェットノズル２３から真空容器２１の内部に噴射される。ガスジェットノズル２３から所定経路に沿って噴射されたターゲットガス２３ａは、プラズマＰを生成する際の標的材料となる。なお、ターゲットとして、たとえばスズ（Sn）等を用いることもできる。

40

【００４６】

凹面反射鏡２４は、例えば回転楕円面形状の反射面２４ａを有し、真空容器２１の隔壁に取り付けられている。凹面反射鏡２４は、その第１焦点位置がプラズマＰを生成すべき所定位置とほぼ一致するように位置決めされ、反射面２４ａは真空容器２１の内部に位置し、裏面（反射面２４ａと反対側の面）は真空容器２１の外部の大気側に露出している。凹面反射鏡２４は、例えば低熱膨張ガラス（ゼロデュアーやULE等）により形成された反射鏡本体２４ｂ上に、反射面として例えばMo/Si製の多層膜２４ａをコートすることにより形成されている。

【００４７】

50

ただし、反射面としての多層膜 24 a は、凹面反射鏡 24 の表面の中央透過領域 24 c を除く領域に形成されている。多層膜 24 a は、波長が 13 . 5 nm の E U V 光を選択的に反射するとともに光学面の劣化および変形を防ぐ特性を有する。具体的には、例えば多層膜の最上層にルテニウム (R u) をコートし、有機汚染や酸化を低減している。凹面反射鏡 24 の裏面側には、プラズマ P からの輻射熱を受けて温度が上昇し易い凹面反射鏡 24 を冷却するための冷却機構 25 が取り付けられている。冷却機構 25 では、たとえば循環する冷媒 (水、オイル、ガスなど) の作用により、凹面反射鏡 24 の反射面 24 a から反射鏡本体 24 b を介して伝わった熱が外部へ排出される。

【 0 0 4 8 】

また、光源ユニット 2 は、凹面反射鏡 24 の裏面側に間隔を隔てて配置されたレーザ光源 26、およびレーザ光源 26 と凹面反射鏡 24 との間の光路中に配置されたレンズ 27 を備えている。例えば Y A G レーザ光源のようなレーザ光源 26 およびレンズ 27 は、凹面反射鏡 24 の光軸ひいては光源ユニット 2 の光軸に沿って配置されている。レーザ光源 26 から供給されたレーザ光は、レンズ 27 の集光作用を受け、凹面反射鏡 24 の中央透過領域 24 c を介して、ガスジェットノズル 23 の近傍においてプラズマ P を生成すべき光軸上の位置、すなわち凹面反射鏡 24 の第 1 焦点またはその近傍に集光する。

【 0 0 4 9 】

こうして、レーザ光源 26 およびレンズ 27 は、ガスジェットノズル 23 から供給されるターゲットガス 23 a に対して集光するようにレーザ光を照射するためのレーザ照射系を構成している。ガスジェットノズル 23 から所定経路に沿って噴射されたターゲットガス 23 a に対してレーザ光源 26 から供給されたレーザ光が集光することにより、レーザ光の集光位置またはその近傍にプラズマ P が生成され、このプラズマ P から E U V 光が輻射される。すなわち、レーザ照射系 (26 , 27) およびガスジェットノズル 23 は、ターゲットガス 23 a をプラズマ化し、生成されたプラズマ P から E U V 光を輻射させる光源本体を構成している。

【 0 0 5 0 】

なお、ガスジェットノズル 23 から噴射されたターゲットガス 23 a は、プラズマ P が生成された後に真空ポンプ 22 の作用により真空容器 21 の外部へ排出される。また、反射鏡本体 24 b を低熱膨張ガラスのような透明材料ではなく、例えばニッケル (N i) , アルミニウム (A l) , 銅 (C u) , シリコン (S i) のような加工性が高く且つ熱伝導率の高い金属で形成して冷却効率を高めることもできる。ただし、この構成では、レーザ光源 26 からのレーザ光が通過する中央透過領域 24 c に対応する部分に開口部を設け、この開口部に光透過性の光学部材 (例えば石英製の窓部材等) を取り付け必要がある。

【 0 0 5 1 】

また、光源ユニット 2 は、真空容器 21 の内部において凹面反射鏡 24 に対向する位置に配置された選択フィルタ 28 およびピンホール部材 29 を備えている。選択フィルタ 28 は、ジルコニウム (Z r) 、シリコン (S i) 、または窒化シリコン (S i N) などにより形成された薄膜であって、プラズマ P からの可視光や紫外光を遮るとともに 13 . 5 nm の所望波長の E U V 光を透過させる特性を有する。選択フィルタ 28 は、図 4 に示すようにピンホール部材 29 の前側に配置されていてもよいし、ピンホール部材 29 の後側に配置されていてもよい。

【 0 0 5 2 】

一方、ピンホール部材 29 は、そのピンホール 29 a の中心が凹面反射鏡 24 の第 2 焦点位置とほぼ一致するように配置され、凹面反射鏡 24 で散乱した不要光や、凹面反射鏡 24 の反射面 24 a で反射されることなくプラズマ P から直接入射する不要光などを遮る機能を有する。また、ピンホール部材 29 は、ピンホール 29 a の上流側すなわち光源ユニット 2 側の低い真空度とピンホール 29 a の下流側すなわち照明光学系 3 側の高い真空度とを分離する差動排気を利用される。この差動排気により、光源ユニット 2 側の真空度が低くても、ピンホール部材 29 よりも下流側の真空度が良好に保たれる。

【 0 0 5 3 】

10

20

30

40

50

本実施形態の L P P 光源タイプ S の光源ユニット 2 では、レーザ光源 26 から供給されたレーザ光が、レンズ 27 および凹面反射鏡 24 の中央透過領域 24c を介して、ガスジェットノズル 23 から所定経路に沿って噴射されたターゲットガス 23a に集光する。ガスジェットノズル 23 から超音速で噴射されたターゲットガス 23a は、集光されたレーザ光のエネルギーを受けて高温になり、凹面反射鏡 24 の第 1 焦点位置またはその近傍にプラズマ P を生成する。このプラズマ P 中のイオンが低ポテンシャル状態へ遷移する際に、プラズマ P から E U V 光が放出（輻射）される。

【0054】

プラズマ P から輻射された E U V 光は凹面反射鏡 24 に入射し、その多層膜反射面 24a によりプラズマ P 側に向かって反射される。凹面反射鏡 24 の多層膜反射面 24a により選択的に反射された所望波長（13.5 nm）の E U V 光は、選択フィルタ 28 を介してさらに波長選択され、ピンホール部材 29 のピンホール 29a の位置またはその近傍の所定位置 P1 に集光した後に、E U V 光 L として照明光学系 3 に入射する。

【0055】

図 5 は、照明光学系および投影光学系の内部構成を概略的に示す図である。図 5 を参照すると、D P P 光源タイプの光源ユニット 1 または L P P 光源タイプの光源ユニット 2 から供給された E U V 光 L は、コリメータミラー（凹面反射鏡）31 を介してほぼ平行光束となり、一对のフライアイミラー 32a および 32b からなるオプティカルインテグレータ 32 に入射する。一对のフライアイミラー 32a および 32b として、たとえば本出願の特開平 11-312638 号公報に開示されたフライアイミラーを用いることができる。なお、フライアイミラーのさらに詳細な構成および作用については、同公報における関連の記載を参照することができる。

【0056】

こうして、第 2 フライアイミラー 32b の反射面の近傍、すなわちオプティカルインテグレータ 32 の射出面の近傍には、所定の形状を有する実質的な面光源が形成される。実質的な面光源からの光は、平面反射鏡 4 により偏向された後、マスク M 上に細長い円弧状の照明領域を形成する。照明されたマスク M のパターンからの光は、複数の反射鏡（図 4 では例示的に 6 つの反射鏡 M1 ~ M6）からなる投影光学系 PL を介して、ウェハ W 上にマスクパターンの像を形成する。

【0057】

以上、本実施形態にかかる D P P 光源タイプの光源ユニット 1、L P P 光源タイプの光源ユニット 2、および照明光学系 3 について基本的な構成を説明した。以下、第 1 実施例 ~ 第 4 実施例を参照して、本実施形態の D P P 光源タイプの光源ユニット 1 および L P P 光源タイプの光源ユニット 2 の特徴的な構成について説明する。また、第 5 実施例を参照して、本実施形態の照明光学装置（1, 3; 2, 3）の特徴的な構成について説明する。

【0058】

[第 1 実施例]

図 6 は、第 1 実施例において凹面反射鏡に入射する E U V 光の光強度の角度分布の軸対称性を検出する検出系の構成を概略的に示す図である。図 7 は、図 6 の検出系の検出結果に基づいて光強度の角度分布がほぼ軸対称になるように光源本体を調整する調整系の構成を概略的に示す図である。図 6 (a) を参照すると、第 1 実施例にかかる検出系は、凹面反射鏡（12; 24）の周囲に配置された 4 つの検出ユニット 61 ~ 64（図 6 (a) では 63 および 64 は不図示）と、各検出ユニット 61 ~ 64 からの出力がそれぞれ供給される制御部 65 とを備えている。

【0059】

4 つの検出ユニット 61 ~ 64 は、互いに同じ基本構成を有し、たとえば凹面反射鏡（12; 24）の光軸に関してほぼ回転対称な位置に配置されている。一例として、第 1 検出ユニット 61 は、図 6 (b) に示すように、たとえばフォトダイオードのような光検出器 61a と、光源本体（11; 23, 26, 27）から凹面反射鏡（12; 24）の周囲に達する光のうち所定波長（13.5 nm）の E U V 光だけを反射してフォトダイオード

10

20

30

40

50

6 1 a へ導く多層膜ミラー 6 1 b とを有する。

【0060】

あるいは、別の態様として、第 1 検出ユニット 6 1 は、図 6 (c) に示すように、フォトダイオード 6 1 a と、光源本体 (1 1 ; 2 3 , 2 6 , 2 7) から凹面反射鏡 (1 2 ; 2 4) の周囲に達する光のうち所定波長 (1 3 . 5 nm) 近傍の E U V 光だけを透過させてフォトダイオード 6 1 a へ導く選択フィルタ 6 1 c とを有する。ここで、多層膜ミラー 6 1 b は凹面反射鏡 (1 2 ; 2 4) の反射面 (1 2 a ; 2 4 a) を形成する多層膜と同様の特性を有し、選択フィルタ 6 1 c は選択フィルタ (1 6 ; 2 8) と同様の特性を有する。あるいは、凹面反射鏡 (1 2 ; 2 4) の反射面が放射状に複数に分割されている場合 (ミラー基板が複数であっても良いし、1つの基板上に成膜されている多層膜が複数に分割されていても良い) 、個々の反射面から放出される光電子または個々の反射面に流れる光電子流を測定し、E U V 光強度分布をモニターしても良い。

10

【0061】

第 1 実施例では、各検出ユニット 6 1 ~ 6 4 からの出力が制御部 6 5 へそれぞれ供給される。制御部 6 5 は、各検出ユニット 6 1 ~ 6 4 からの出力に基づいて、凹面反射鏡 (1 2 ; 2 4) に入射する E U V 光の光強度の角度分布 (面内分布) の軸対称性を検出する。なお、第 1 実施例において、各検出ユニットの内部構成、検出ユニットの数や配置などについては、図 6 の構成例に限定されることなく様々な変形例が可能である。

【0062】

L P P 光源タイプの光源ユニット 2 に適用される第 1 実施例の調整系は、図 7 (a) に示すように、レーザ光源 2 6 からレーザ光の集光位置 P 2 を変化させるための集光位置変化手段として、レーザ照射系 (2 6 , 2 7) の光路中に配置されて光軸に対して傾動可能な平行平板 6 7 と、制御部 6 5 からの指令を受けて平行平板 6 7 の傾斜駆動およびレンズ 2 7 の光軸に沿った駆動を行うための駆動部 6 6 a とを有する。図 7 (a) では、平行平板 6 7 がレーザ光源 2 6 とレンズ 2 7 との間に配置されているが、レンズ 2 7 と集光位置 P 2 との間に平行平板 6 7 を配置することもできる。

20

【0063】

また、光源ユニット 2 に適用される第 1 実施例の調整系は、図 7 (b) に示すように、制御部 6 5 からの指令を受けてガスジェットノズル 2 3 の位置および姿勢を調整するためのノズル調整部 6 6 b を有する。ノズル調整部 6 6 b は、たとえばガスジェットノズル 2 3 を保持しているノズルステージ 2 3 b を適当なアクチュエータ (ピエゾ素子など) を介して駆動することにより、ガスジェットノズル 2 3 の位置および姿勢を調整し、ひいてはガスジェットノズル 2 3 から噴射されるターゲットガス 2 3 a の経路を変化させる。なお、ガス状のターゲット材料に代えて、液体状のターゲット材料を連続的に噴射したり、液滴として供給したりしても良い。

30

【0064】

図 8 は、液滴状または液柱状ターゲットに対してレーザ光の集光位置が相対的に変化すると凹面反射鏡に入射する E U V 光の光強度の角度分布が変化する様子を模式的に示す図である。図 8 において、紙面に垂直な方向に沿って供給されるターゲット 2 3 a のほぼ中心位置に、レーザ照射系 (2 6 , 2 7) からのレーザ光 L 1 (図中実線で示す) が集光する場合、凹面反射鏡 2 4 に入射する E U V 光の光強度の角度分布は図中実線 D 1 で示すようにレーザ光軸に関してほぼ軸対称になる。

40

【0065】

しかしながら、ターゲット 2 3 a の中心から実質的に外れた位置に、レーザ照射系 (2 6 , 2 7) からのレーザ光 L 2 (図中破線で示す) が集光する場合、凹面反射鏡 2 4 に入射する E U V 光の光強度の角度分布は図中破線 D 2 で示すようにレーザ光軸に関して実質的に軸非対称になる。換言すれば、ターゲット 2 3 a に対してレーザ光の集光位置 P 2 を相対的に変化させることにより、凹面反射鏡 2 4 に入射する E U V 光の光強度角度分布の軸対称性を調整することができる。

【0066】

50

そこで、光源ユニット 2 に適用される第 1 実施例の調整系では、制御部 6 5 からの指令を受けた駆動部 6 6 a を介して、平行平板 6 7 の傾斜駆動を行うことにより、また必要に応じてレンズ 2 7 の光軸方向駆動を行うことにより、レーザ光源 2 6 からのレーザ光の集光位置 P 2 を変化させる。また、制御部 6 5 からの指令を受けたノズル調整部 6 6 b を介して、ノズル 2 3 の位置および姿勢を調整し、ひいてはノズル 2 3 から噴射されるターゲット 2 3 a の経路を変化させる。こうして、レーザ光の集光位置 P 2 の変化やターゲット 2 3 a の経路の変化により、凹面反射鏡 2 4 に入射する E U V 光の光強度の角度分布をほぼ軸対称に調整することができる。ノズル調整部 6 6 b によりターゲット位置が一定になるように制御すると、発光位置を変えずに角度分布を調整することができる。

【 0 0 6 7 】

10

一方、D P P 光源タイプの光源ユニット 1 に適用される第 1 実施例の調整系は、図 7 (c) に示すように、制御部 6 5 からの指令を受けて放電に際して一对の電極 (1 1 a , 1 1 b) を放電軸廻りに回転させるための電極駆動手段として、たとえばモータのような電極駆動部 6 6 c を有する。この場合、制御部 6 5 からの指令を受けた電極駆動部 6 6 c の作用により、一对の電極 (1 1 a , 1 1 b) が放電軸廻りに回転し、ひいては凹面反射鏡 1 2 に入射する E U V 光の光強度分布も軸回転する。その結果、いわゆる平均化効果により、凹面反射鏡 1 2 に入射する E U V 光の光強度の角度分布をほぼ軸対称に調整することができる。

【 0 0 6 8 】

20

[第 2 実施例]

図 9 は、第 2 実施例において凹面反射鏡により一旦集光して発散する E U V 光の光強度の角度分布の軸対称性を検出する検出系の構成を概略的に示す図である。図 1 0 は、図 9 の検出系の検出結果に基づいて光強度の角度分布がほぼ軸対称になるように凹面反射鏡の位置および姿勢を調整する調整系の構成を概略的に示す図である。図 9 (a) を参照すると、第 2 実施例にかかる検出系は、凹面反射鏡 (1 2 ; 2 4) により所定位置 P 1 で一旦集光して発散する E U V 光の有効光束 L 3 の周囲に配置された 4 つの検出ユニット 7 1 ~ 7 4 (図 9 (a) では 7 3 および 7 4 は不図示) と、各検出ユニット 7 1 ~ 7 4 からの出力がそれぞれ供給される制御部 7 5 とを備えている。

【 0 0 6 9 】

30

4 つの検出ユニット 7 1 ~ 7 4 は、第 1 実施例の検出ユニット 6 1 ~ 6 4 と同様に、互いに同じ基本構成を有し、たとえば所定位置 P 1 を介した E U V 光の有効光束 L 3 の中心軸線に関してほぼ回転対称な位置に配置されている。一例として、第 1 検出ユニット 7 1 は、図 9 (b) に示すように、たとえばフォトダイオードのような光検出器 7 1 a と、光源本体 (1 1 ; 2 3 , 2 6 , 2 7) から有効光束 L 3 の周囲に達する光のうち所定波長 (1 3 . 5 n m) の E U V 光だけを透過させてフォトダイオード 7 1 a へ導く選択フィルタ 7 1 b とを有する。

【 0 0 7 0 】

40

あるいは、別の態様として、第 2 検出ユニット 7 1 は、図 9 (c) に示すように、フォトダイオード 7 1 a と、光源本体 (1 1 ; 2 3 , 2 6 , 2 7) から有効光束 L 3 の周囲に達する光のうち所定波長 (1 3 . 5 n m) の E U V 光だけを反射してフォトダイオード 7 1 a へ導く多層膜ミラー 7 1 c とを有する。ここで、多層膜ミラー 7 1 c は第 1 実施例の多層膜ミラー 6 1 b と同様の特性を有し、選択フィルタ 7 1 b は第 1 実施例の選択フィルタ 6 1 c と同様の特性を有する。なお、多層膜ミラーと選択フィルタとを併用しても良い。

【 0 0 7 1 】

第 2 実施例では、各検出ユニット 7 1 ~ 7 4 からの出力が制御部 7 5 へそれぞれ供給される。制御部 7 5 は、各検出ユニット 7 1 ~ 7 4 からの出力に基づいて、凹面反射鏡 (1 2 ; 2 4) により所定位置 P 1 で一旦集光して発散する E U V 光の光強度の角度分布 (面内分布) の軸対称性を検出する。なお、第 2 実施例においても、各検出ユニットの内部構成、検出ユニットの数や配置などについては、図 9 の構成例に限定されことなく様々な

50

変形例が可能である。

【0072】

第2実施例の調整系は、図10に示すように、制御部75からの指令を受けて凹面反射鏡(12; 24)の位置および姿勢を調整する反射鏡調整部76を有する。反射鏡調整部76は、凹面反射鏡(12; 24)を適当なアクチュエータ(ピエゾ素子など)を介して駆動することにより、その位置および姿勢を変化させる。こうして、制御部75からの指令を受けた反射鏡調整部76の作用により、凹面反射鏡(12; 24)の位置および姿勢を変化させて、所定位置P1で一旦集光して発散するEUV光の角度分布をほぼ軸対称に調整することができる。

【0073】

なお、第2実施例の調整系は、LPP光源タイプの光源ユニット2に適用される場合、必要に応じて、図7(a)に示す集光位置変化手段(27, 66a, 67)や、図7(b)に示すノズル調整手段(66b)を有することが好ましい。この場合、図10に示す反射鏡調整手段(76)と集光位置変化手段(27, 66a, 67)やノズル調整手段(66b)との協働作用により、所定位置P1で一旦集光して発散するEUV光の角度分布をさらに正確に且つ迅速に調整することができる。

【0074】

また、第2実施例の調整系は、DPP光源タイプの光源ユニット1に適用される場合、必要に応じて、電極駆動手段(66c)を有することが好ましい。この場合、図10に示す反射鏡調整手段(76)と電極駆動手段(66c)との協働作用により、所定位置P1で一旦集光して発散するEUV光の角度分布をさらに正確に且つ迅速に調整することができる。

【0075】

[第3実施例]

図11は、第3実施例において凹面反射鏡で反射されたEUV光の集光位置を検出する検出系の構成、およびEUV光の集光位置を調整する調整系の構成を概略的に示す図である。第3実施例にかかる検出系は、LPP光源タイプの光源ユニット2に適用される場合、図11(a)に示すように、凹面反射鏡24で反射されたEUV光が集光すべき所定位置P1に配置されたピンホール部材29の光入射側の面に取り付けられた二次元光検出器81と、二次元光検出器81からの出力が供給される制御部82とを備えている。

【0076】

二次元光検出器81は、たとえばピンホール部材29の光入射側の面を4分割して得られる扇状の各分割領域にフォトダイオード81a~81dを配置することにより形成されている。この場合、凹面反射鏡24で反射されたEUV光の集光位置がピンホール部材29のピンホール29aから位置ずれすると、4つのフォトダイオード81a~81dのうちの少なくとも1つのフォトダイオードの出力信号が変化する。

【0077】

第3実施例では、二次元光検出器81としての4つのフォトダイオード81a~81dからの出力が制御部82へそれぞれ供給される。制御部82は、各フォトダイオード81a~81dからの出力に基づいて、凹面反射鏡24で反射されたEUV光の集光位置および強度分布を検出する。同様に、DPP光源タイプの光源ユニット1に適用する場合にも、凹面反射鏡12で反射されたEUV光が集光すべき所定位置P1に4つのフォトダイオード81a~81dを配置すれば良い。

【0078】

なお、第3実施例において、ピンホール部材の光入射面における分割数をさらに増やすことにより、EUV光の集光位置や強度分布をさらに高精度に検出することができる。また、複数のフォトダイオードを用いる構成に限定されることなく、単に複数の分割された金属板を集光位置の近傍に配置し、それぞれの金属板から放出される光電子または流れる光電子流を計測しても良い。また、ピンホール部材の光入射面に配置した二次元撮像素子を用いる構成も可能であり、凹面反射鏡(12; 24)で反射されたEUV光の集光位置

10

20

30

40

50

を検出する検出系について、図 1 1 の構成例に限定されることなく様々な変形例が可能である。

【 0 0 7 9 】

第 3 実施例の調整系は、制御部 8 2 からの指令を受けて凹面反射鏡 (1 2 ; 2 4) の位置および姿勢を調整する反射鏡調整部 7 6 (図 1 0 を参照) を有する。反射鏡調整部 7 6 は、凹面反射鏡 (1 2 ; 2 4) を適当なアクチュエータ (ピエゾ素子など) を介して駆動することにより、その位置および姿勢を変化させる。こうして、制御部 8 2 からの指令を受けた反射鏡調整部 7 6 の作用により、凹面反射鏡 (1 2 ; 2 4) の位置および姿勢を変化させて、凹面反射鏡 (1 2 ; 2 4) で反射された E U V 光の集光位置がほぼ所定位置 P 1 になるように調整することができる。

10

【 0 0 8 0 】

また、第 3 実施例の調整系は、L P P 光源タイプの光源ユニット 2 に適用される場合、プラズマ P からの E U V 光の発光位置を変化させるための発光位置変化手段として、図 7 (a) に示す集光位置変化手段 (2 7 , 6 6 a , 6 7) および図 7 (b) に示すノズル調整手段 (6 6 b) を有する。こうして、制御部 8 2 からの指令を受けた集光位置変化手段 (2 7 , 6 6 a , 6 7) およびノズル調整手段 (6 6 b) の作用により、プラズマ P からの E U V 光の発光位置を変化させて、凹面反射鏡 2 4 で反射された E U V 光の集光位置がほぼ所定位置 P 1 になるように調整することができる。

【 0 0 8 1 】

また、第 3 実施例の調整系は、D P P 光源タイプの光源ユニット 1 に適用される場合、図 1 1 (b) に示すように、制御部 8 2 からの指令を受けて一対の電極 (1 1 a , 1 1 b) の位置を変化させる電極位置変化手段 8 3 を有する。電極位置変化手段 8 3 は、一対の電極 (1 1 a , 1 1 b) を適当なアクチュエータ (ピエゾ素子など) を介して一体的に駆動することにより、その位置を変化させる。こうして、制御部 8 2 からの指令を受けた電極位置変化手段 8 3 の作用により、一対の電極 (1 1 a , 1 1 b) の位置を変化させ、ひいてはプラズマ P からの E U V 光の発光位置を変化させて、凹面反射鏡 1 2 で反射された E U V 光の集光位置がほぼ所定位置 P 1 になるように調整することができる。

20

【 0 0 8 2 】

[第 4 実施例]

図 1 2 は、第 4 実施例においてプラズマからの E U V 光の発光位置を検出する検出系の構成を概略的に示す図である。図 1 2 を参照すると、第 4 実施例にかかる検出系は、プラズマ P から凹面反射鏡 (1 2 ; 2 4) へ入射する E U V 光の有効光束の周囲に配置された 2 つの検出ユニット 9 1 および 9 2 と、各検出ユニット 9 1 および 9 2 からの出力がそれぞれ供給される制御部 9 3 とを備えている。2 つの検出ユニット 9 1 および 9 2 は、互いに同じ基本構成を有する。

30

【 0 0 8 3 】

すなわち、各検出ユニット 9 1 (9 2) は、たとえば二次元 C C D のような二次元撮像素子 9 1 a (9 2 a) と、プラズマ P と二次元 C C D 9 1 a (9 2 a) との間の光路中に配置されたピンホール部材 9 1 b (9 2 b) を有する。第 4 実施例では、各検出ユニット 9 1 および 9 2 からの出力が制御部 9 3 へそれぞれ供給される。制御部 9 3 は、各検出ユニット 9 1 および 9 2 からの出力に基づいて、プラズマ P からの E U V 光の発光位置を検出する。なお、第 4 実施例においても、各検出ユニットの内部構成、検出ユニットの数や配置などについては、図 1 2 の構成例に限定されることなく様々な変形例が可能である。

40

【 0 0 8 4 】

第 4 実施例の調整系は、D P P 光源タイプの光源ユニット 1 に適用される場合、図 1 1 (b) に示すように、制御部 9 3 からの指令を受けて一対の電極 (1 1 a , 1 1 b) の位置を調整する電極位置変化手段 8 3 を有する。こうして、制御部 9 3 からの指令を受けた電極位置変化手段 8 3 の作用により、一対の電極 (1 1 a , 1 1 b) の位置 (例えば X , Y , Z 方向) を変化させ、ひいてはプラズマ P からの E U V 光の発光位置がほぼ所定位置になるように調整することができる。

50

【 0 0 8 5 】

第 4 実施例の調整系は、L P P 光源タイプの光源ユニット 2 に適用される場合、図 7 (a) に示す集光位置変化手段 (2 7 , 6 6 a , 6 7) および図 7 (b) に示すノズル調整手段 (6 6 b) を有する。こうして、制御部 9 3 からの指令を受けた集光位置変化手段 (2 7 , 6 6 a , 6 7) およびノズル調整手段 (6 6 b) の作用により、プラズマ P からの E U V 光の発光位置がほぼ所定位置になるように調整することができる。

【 0 0 8 6 】

[第 5 実施例]

図 1 3 は、第 5 実施例においてオプティカルインテグレータに入射する E U V 光の光強度の角度分布の軸対称性を検出する検出系の構成、および光強度の角度分布をほぼ軸対称に調整する調整系の構成を概略的に示す図である。図 1 3 (a) を参照すると、第 5 実施例にかかる検出系は、第 1 フライアイミラー 3 2 a を構成する多数の要素ミラー 3 2 a a のうちの複数の要素ミラーに接続された電流計 1 0 1 と、この電流計 1 0 1 の出力が供給される制御部 1 0 2 とを備えている。

【 0 0 8 7 】

要素ミラー 3 2 a a に E U V 光が入射すると、入射光の強度に応じた数の光電子が金属の表面から放出される。電流計 1 0 1 では、各要素ミラーからの光電子の放出により発生する電流すなわち光電子電流を検出する。第 5 実施例では、電流計 1 0 1 の出力が制御部 1 0 2 へ供給される。制御部 1 0 2 は、電流計 1 0 1 からの出力に基づいて、すなわち各要素ミラーで発生した光電子電流量に関する情報に基づいて、第 1 フライアイミラー 3 2 a に入射する E U V 光ひいてはオプティカルインテグレータ 3 2 に入射する E U V 光の光強度の角度分布の軸対称性を検出する。なお、検出対象の要素ミラーの数と同数の電流計 1 0 1 を用いてもよいし、1 つあるいは少数の電流計 1 0 1 により時分割方式で各要素ミラーからの光電子電流を順次検出してもよい。

【 0 0 8 8 】

第 5 実施例の調整系は、図 1 3 (b) に示すように、制御部 1 0 2 からの指令を受けてコリメータミラー 3 1 の位置および姿勢を調整するミラー調整部 1 0 3 を有する。ミラー調整部 1 0 3 は、コリメータミラー 3 1 を適当なアクチュエータ (ピエゾ素子など) を介して駆動することにより、その位置および姿勢を変化させる。こうして、制御部 1 0 2 からの指令を受けたミラー調整部 1 0 3 の作用により、コリメータミラー 3 1 の位置および姿勢を変化させて、オプティカルインテグレータ 3 2 に入射する E U V 光の光強度の角度分布 (面内分布) をほぼ軸対称に調整することができる。あるいは、光学素子の汚染などによりマスク上の照度分布が均一ではなくなったときに、コリメータミラー 3 1 の位置または姿勢を変化させることにより、角度分布 (面内分布) の軸対称性を意図的に悪化させてマスク上の照度分布が均一になるように制御しても良い。

【 0 0 8 9 】

また、第 5 実施例の調整系は、制御部 1 0 2 からの指令を受けて凹面反射鏡 (1 2 ; 2 4) の位置および姿勢を調整する反射鏡調整部 7 6 (図 1 0 を参照) を有する。この場合、制御部 1 0 2 からの指令を受けた反射鏡調整部 7 6 の作用により、凹面反射鏡 (1 2 ; 2 4) の位置および姿勢を変化させて、オプティカルインテグレータ 3 2 に入射する E U V 光の光強度の角度分布をほぼ軸対称に調整することができる。

【 0 0 9 0 】

以上のように、本実施形態では、電極やノズルの変形または消耗、消耗した電極やノズルや凹面反射鏡の交換取付け誤差、ターゲットガスに対するレーザ光の集光位置の変化など様々な原因により、凹面反射鏡 (1 2 ; 2 4) に入射する E U V 光や、凹面反射鏡 (1 2 ; 2 4) により一旦集光されて発散しつつ光源ユニット (1 ; 2) から供給される E U V 光の光強度の角度分布 (面内分布) が実質的に軸非対称になることがあっても、上述の第 1 実施例または第 2 実施例の構成を適用することにより光強度の角度分布がほぼ軸対称になるように調整することができる。すなわち、本実施形態の光源ユニットでは、所望の光強度角度分布 (面内分布) を有する E U V 光を安定的に供給することができる。

【 0 0 9 1 】

また、本実施形態では、上述したような様々な原因により、凹面反射鏡（ 1 2 ; 2 4 ）で反射された E U V 光の集光位置やプラズマ P からの E U V 光の発光位置が変化することがあっても、上述の第 3 実施例または第 4 実施例の構成を適用することにより集光位置や発光位置が所定位置になるように調整することができる。すなわち、本実施形態の光源ユニットでは、発光位置（プラズマ生成位置）や集光位置をほぼ所定位置に安定的に維持することができる。

【 0 0 9 2 】

さらに、本実施形態では、上述したような様々な原因により、オプティカルインテグレータ 3 2 に入射する E U V 光の光強度の角度分布（面内分布）が実質的に軸非対称になることがあっても、上述の第 5 実施例の構成を適用することにより光強度の角度分布がほぼ軸対称になるように調整することができる。すなわち、本実施形態の照明光学装置では、所望の光強度角度分布（面内分布）を有する E U V 光で被照射面（マスク M）を安定的に照明することができる。

【 0 0 9 3 】

したがって、本実施形態の露光装置では、所望の光強度角度分布（面内分布）を有する E U V 光を安定的に供給する光源ユニット、発光位置や集光位置をほぼ所定位置に安定的に維持する光源ユニット、または所望の光強度角度分布（面内分布）を有する E U V 光で被照射面を安定的に照明する照明光学装置を用いて、所望の照明条件（例えば均一な照射光量分布）のもとでマスクパターンを感光性基板上に忠実に転写することができる。なお、本実施形態では、第 1 乃至第 5 実施例の構成をそれぞれ単独で適用してもよいし、複数の実施例の構成を適宜組み合わせることで適用してもよい。

【 0 0 9 4 】

ところで、本実施形態では、凹面反射鏡（ 1 2 ; 2 4 ）の反射面（ 1 2 a ; 2 4 a ）がプラズマ P に直接さらされ、プラズマ P からの輻射熱の影響および E U V 光の照射熱の影響を受けるため、凹面反射鏡（ 1 2 ; 2 4 ）を交換することが必要になる。そこで、凹面反射鏡（ 1 2 ; 2 4 ）を容易に且つ正確に交換するために、凹面反射鏡（ 1 2 ; 2 4 ）の反射面（ 1 2 a ; 2 4 a ）の位置（および姿勢）を計測するための計測系と、この計測系の計測結果に基づいて凹面反射鏡（ 1 2 ; 2 4 ）の反射面（ 1 2 a ; 2 4 a ）を所定の位置に位置決めするための駆動系とを備えていることが好ましい。

【 0 0 9 5 】

図 1 4 は、凹面反射鏡の反射面の位置を計測する計測系の構成および凹面反射鏡の反射面を所定の位置に位置決めする駆動系の構成を概略的に示す図である。図 1 4 に示す計測系は、たとえば 3 つの計測ユニット 5 1 ~ 5 3（ 5 3 は不図示）と、各計測ユニット 5 1 ~ 5 3 からの出力がそれぞれ供給される制御部 5 4 とを備えている。3 つの計測ユニット 5 1 ~ 5 3 は、互いに同じ基本構成を有する。すなわち、各計測ユニット 5 1（ 5 2 , 5 3 ）は、凹面反射鏡（ 1 2 ; 2 4 ）の反射面（ 1 2 a ; 2 4 a ）に向かって計測光を射出するための半導体レーザ 5 1 a（ 5 2 a , 5 3 a ）と、凹面反射鏡（ 1 2 ; 2 4 ）の反射面（ 1 2 a ; 2 4 a ）で反射された計測光の位置を検出するための二次元 CCD 5 1 b（ 5 2 b , 5 3 b ）とを有する。

【 0 0 9 6 】

制御部 5 4 は、各計測ユニット 5 1 ~ 5 3 からの出力に基づいて、凹面反射鏡（ 1 2 ; 2 4 ）の反射面（ 1 2 a ; 2 4 a ）の位置（および姿勢）を計測する。こうして、制御部 5 4 からの指令を受けた駆動系 5 5（図 1 0 の反射鏡調整部 7 6 に対応）が、適当なアクチュエータ（ピエゾ素子など）を介して凹面反射鏡（ 1 2 ; 2 4 ）を駆動することにより、凹面反射鏡（ 1 2 ; 2 4 ）の反射面（ 1 2 a ; 2 4 a ）が所定の位置に位置決めされる。なお、図 1 4 においては、レーザダイオード（半導体レーザ）を用いたが、これに限定されることなく、発光ダイオード（LED）とレンズ等とで構成しても良いし、CCD に代えて 4 分割フォトダイオードを用いても良い。また、凹面反射鏡（ 1 2 ; 2 4 ）の反射面（ 1 2 a ; 2 4 a ）の位置を計測するための計測系の構成については、図 1 4 の構成例

に限定されることなく、様々な変形例が可能である。

【0097】

また、本実施形態では、プラズマ P からの E U V 光の輻射に際して放出される飛散粒子（デブリ）が凹面反射鏡（12；24）の反射面（12a；24a）に付着すると、凹面反射鏡（12；24）の反射特性（光学特性）が劣化し、その交換頻度が増大してしまう。そこで、本実施形態では、プラズマ P から放出される飛散粒子をプラズマ P と凹面反射鏡（12；24）との間の光路中において除去するための飛散粒子除去機構を備えていることが好ましい。

【0098】

図15は、図3に示すD P P光源タイプの光源ユニットに適用可能な飛散粒子除去機構の一例を概略的に示す図である。図15の飛散粒子除去機構は、凹面反射鏡12を覆うカバー18を備えている。カバー18の中には、回転軸19aを中心として回転可能な回転羽19（飛散粒子阻止部材）が収納されている。回転軸19aは、チャンバー13の外部にある駆動系（不図示）の作用により、回転導入部19bを介して回転駆動される。

10

【0099】

回転軸19a内には冷媒（例えば、冷却水、フロリナート、ヘリウム（He）ガスなど）が流れるように構成されており、この冷媒の作用により回転羽19が冷却される。カバー18には配管18aが取り付けられており、バッファガス（He, Ar, N₂, Ne, Kr, H₂など）が配管18aを介して凹面反射鏡12の周辺からカバー18内へ導入される。

20

【0100】

図15の飛散粒子除去機構において、一对の電極（11a, 11b）近傍のプラズマ P から放出された飛散粒子は、チャンバー13内に導入されたバッファガス分子と衝突してその運動エネルギーが減少し、チャンバー13内を浮遊する。そして、カバー18内に入った飛散粒子は、回転羽19に衝突することにより回転羽19に付着する。これにより、カバー18内に侵入した飛散粒子は回転羽19により排除されて凹面反射鏡12に実質的に達することなく、飛散粒子の付着などによる凹面反射鏡12の反射率低下を防ぐことができる。

【0101】

特に、回転羽19の冷却により飛散粒子が付着・堆積し易くなっているので、より効果的に飛散粒子を排除することができる。また、凹面反射鏡12の近傍からバッファガスがカバー18内に導入され、カバー18の開口部からバッファガスが外部へ流出するように構成することにより、このガス流の作用によってもカバー18内に侵入した飛散粒子を排除することができるのでより好ましい。また、回転羽19は交換可能であることが好ましい。回転羽19の回転速度はできるだけ速い方が、マスク上での光量ムラを低減する上で好ましい。例えば、毎分10回転以上とすれば良い。また、E U V 光の発光の繰り返し周波数の比が整数倍にならないようにすると、羽根が光束を遮る位置が同じにならなくなるので良い。あるいは、回転速度を変えながら羽根を回してもよく、特に回転速度をランダムにするとより好ましい。なお、上述の説明ではプラズマ P と凹面反射鏡12との間に飛散粒子除去機構を配置しているが、集光光学系を構成する一对の反射鏡間（たとえば凹面反射鏡と凸面反射鏡のような複数の反射鏡の間）の光路中において飛散粒子を除去するために、図15に示すような飛散粒子除去機構を配置することもできる。

30

40

【0102】

図16は、図4に示すL P P光源タイプの光源ユニットに適用可能な飛散粒子除去機構の一例を概略的に示す図である。図16の飛散粒子除去機構は、凹面反射鏡24を覆うカバー40を備えている。カバー40には配管41が取り付けられ、バッファガス（He, Ar, Kr, N₂, Ne, H₂など）が配管41を介してカバー40内に導入される。カバー40の中において、プラズマ P と凹面反射鏡24との間の光路中にフィン42が設けられている。フィン42の中心には開口部42aが形成され、レーザ光源26から射出されて凹面反射鏡24を通過したレーザ光は開口部42aを介してプラズマ P の位置に達する

50

。

【 0 1 0 3 】

図 1 6 の飛散粒子除去機構において、プラズマ P から放出された飛散粒子は、チャンバー 2 1 内に導入されたバッファガス分子と衝突してその運動エネルギーが減少し、チャンバー 2 1 内を浮遊する。そして、カバー 4 0 内に入った飛散粒子は、フィン 4 2 (飛散粒子阻止部材) に衝突することによりフィン 4 2 に付着する。これにより、カバー 4 0 内に侵入した飛散粒子はフィン 4 2 により排除されて凹面反射鏡 2 4 に実質的に達することなく、凹面反射鏡 2 4 の反射率低下を防ぐことができる。

【 0 1 0 4 】

凹面反射鏡 2 4 の近傍からバッファガスを導入し、カバー 4 0 の開口部からガスが外部へ流出するように構成することにより、このガス流の作用によってもカバー 4 0 内に侵入した飛散粒子を排除することができるのでより好ましい。フィン 4 0 の断面形状を図 1 6 に示すような形状にすることにより、光の損失を最小限に抑えることができる。フィン 4 0 を冷却することにより飛散粒子が付着・堆積し易くなるので、より効果的に飛散粒子を排除することができる。また、フィン 4 0 をレーザ光軸 (E U V 光の光軸) の周りに回転させても飛散粒子の除去能力が増すので好ましい。また、フィン 4 0 は交換可能であることが好ましい。

【 0 1 0 5 】

なお、上述の実施形態では、図 3 に示すような基本構成を有する D P P 光源タイプの光源ユニット 1、および図 4 に示すような基本構成を有する L P P 光源タイプの光源ユニット 2 に対して本発明を適用している。しかしながら、これに限定されることなく、一般的な D P P 光源タイプの光源ユニットおよび L P P 光源タイプの光源ユニットに対して本発明を適用することができる。具体的には、図 3 に示す構成とは異なり、たとえば一对の電極間の放電により生成されたプラズマから輻射された E U V 光を斜入射ミラーやシュバルツシルド光学系などを用いて集光する構成を有する L P P 光源タイプの光源ユニットに対しても本発明を適用することができる。また、図 4 に示す構成とは異なり、たとえば凹面反射鏡を通過することなくターゲットにレーザ光を集光させる構成を有する L P P 光源タイプの光源ユニットに対しても本発明を適用することができる。

【 0 1 0 6 】

上述の実施形態にかかる露光装置では、照明系によってマスクを照明し (照明工程)、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に露光する (露光工程) ことにより、マイクロデバイス (半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等) を製造することができる。以下、本実施形態の露光装置を用いて感光性基板としてのウェハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき図 1 7 のフローチャートを参照して説明する。

【 0 1 0 7 】

先ず、図 1 7 のステップ 3 0 1 において、1 ロットのウェハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ 3 0 2 において、その 1 ロットのウェハ上の金属膜上にフォトレジストが塗布される。その後、ステップ 3 0 3 において、本実施形態の露光装置を用いて、マスク (レチクル) 上のパターンの像がその投影光学系を介して、その 1 ロットのウェハ上の各ショット領域に順次露光転写される。

【 0 1 0 8 】

その後、ステップ 3 0 4 において、その 1 ロットのウェハ上のフォトレジストの現像が行われた後、ステップ 3 0 5 において、その 1 ロットのウェハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウェハ上の各ショット領域に形成される。その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。

10

20

30

40

50

【図面の簡単な説明】

【0109】

【図1】本発明の実施形態にかかる光源ユニットを備えた露光装置の全体構成を概略的に示す図である。

【図2】ウェハ上に形成される静止露光領域と光軸との位置関係を示す図である。

【図3】DPP光源タイプの光源ユニットの内部構成を概略的に示す図である。

【図4】LPP光源タイプの光源ユニットの内部構成を概略的に示す図である。

【図5】照明光学系および投影光学系の内部構成を概略的に示す図である。

【図6】第1実施例において凹面反射鏡に入射するEUV光の光強度の角度分布の軸対称性を検出する検出系の構成を概略的に示す図である。

10

【図7】図6の検出系の検出結果に基づいて光強度の角度分布がほぼ軸対称になるように光源本体を調整する調整系の構成を概略的に示す図である。

【図8】液滴状または液柱状のターゲットに対してレーザ光の集光位置が相対的に変化すると凹面反射鏡に入射するEUV光の光強度の角度分布が変化する様子を模式的に示す図である。

【図9】第2実施例において凹面反射鏡により一旦集光して発散するEUV光の光強度の角度分布の軸対称性を検出する検出系の構成を概略的に示す図である。

【図10】図9の検出系の検出結果に基づいて光強度の角度分布がほぼ軸対称になるように凹面反射鏡の位置および姿勢を調整する調整系の構成を概略的に示す図である。

【図11】第3実施例において凹面反射鏡で反射されたEUV光の集光位置を検出する検出系の構成、およびEUV光の集光位置を調整する調整系の構成を概略的に示す図である。

20

【図12】第4実施例においてプラズマからのEUV光の発光位置を検出する検出系の構成を概略的に示す図である。

【図13】第5実施例においてオプティカルインテグレートに入射するEUV光の光強度の角度分布の軸対称性を検出する検出系の構成、および光強度の角度分布がほぼ軸対称になるように調整する調整系の構成を概略的に示す図である。

【図14】凹面反射鏡の反射面の位置を計測する計測系の構成および凹面反射鏡の反射面を所定の位置に位置決めする駆動系の構成を概略的に示す図である。

【図15】図3に示すDPP光源タイプの光源ユニットに適用可能な飛散粒子除去機構の一例を概略的に示す図である。

30

【図16】図4に示すLPP光源タイプの光源ユニットに適用可能な飛散粒子除去機構の一例を概略的に示す図である。

【図17】マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例について、そのフローチャートを示す図である。

【符号の説明】

【0110】

1 DPP光源タイプの光源ユニット

2 LPP光源タイプの光源ユニット

3 照明光学系

5 マスクステージ

7 ウェハステージ

11 光源本体

11a, 11b 電極

12, 24 凹面反射鏡

13 チャンバ

15 開口部

16, 28 選択フィルタ

21 真空容器

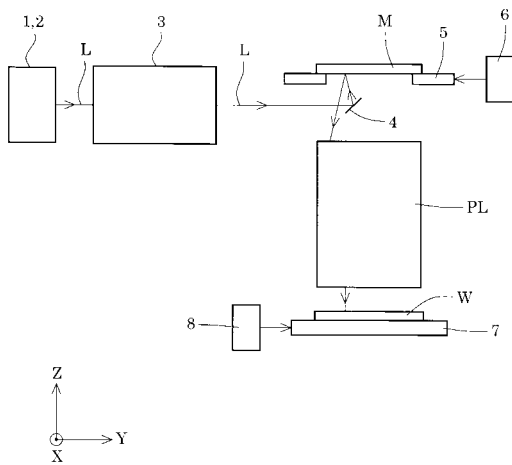
23 ガスジェットノズル

40

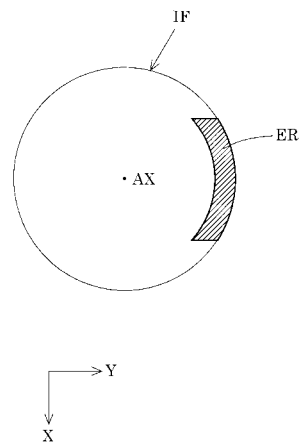
50

2 6 レーザ光源
 2 9 ピンホール部材
 3 1 コリメータミラー
 3 2 オプティカルインテグレータ
 3 2 a , 3 2 b フライアイミラー
 M マスク
 P L 投影光学系
 W ウェハ

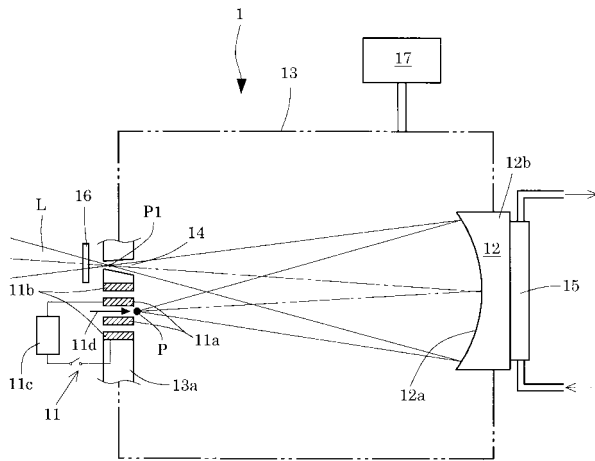
【図 1】



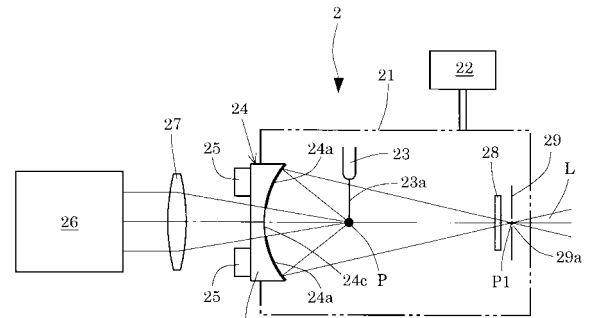
【図 2】



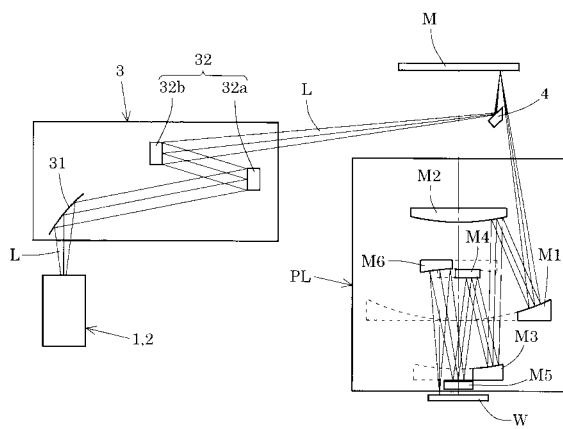
【図 3】



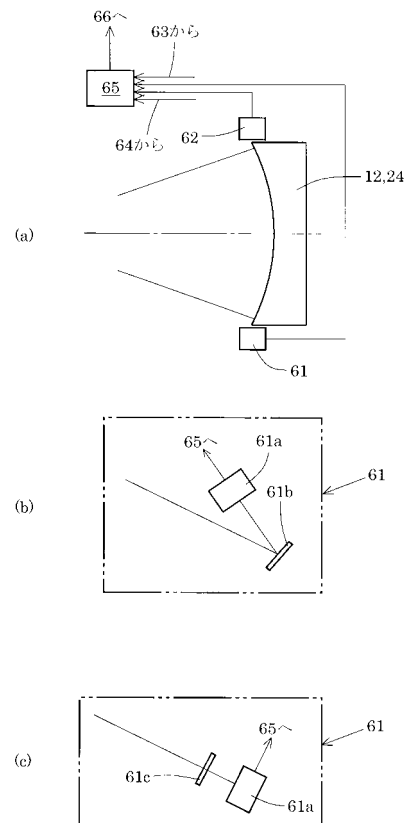
【図 4】



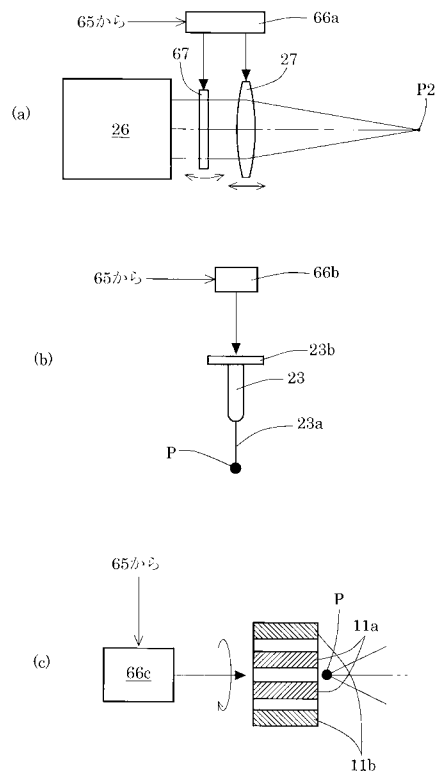
【図 5】



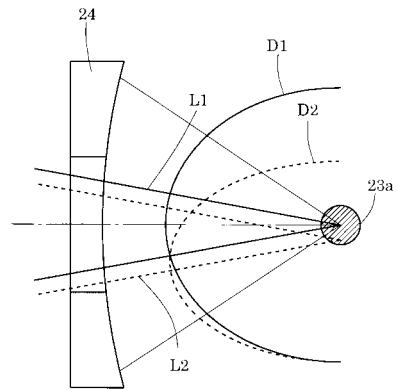
【図 6】



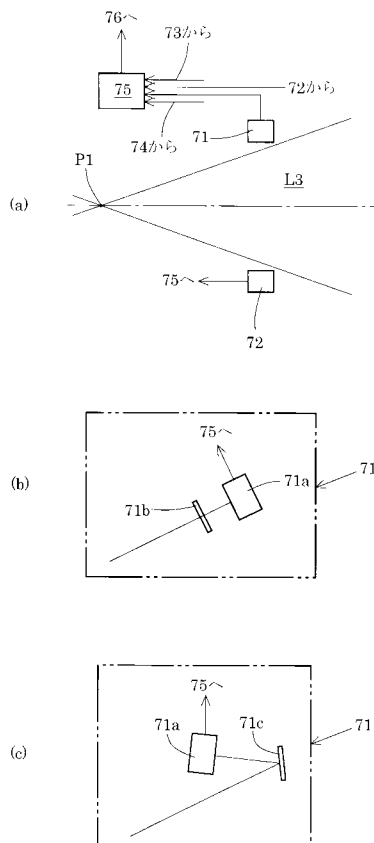
【図 7】



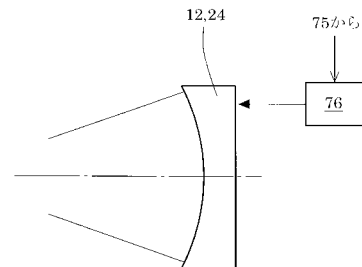
【図 8】



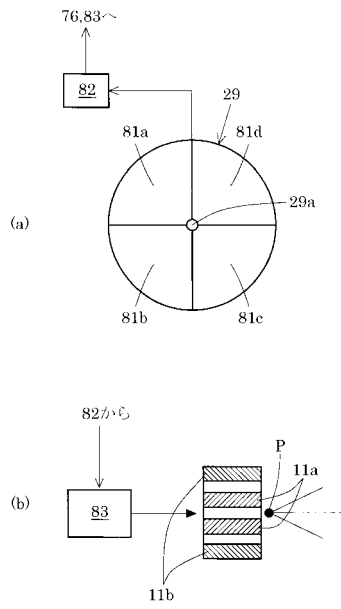
【図 9】



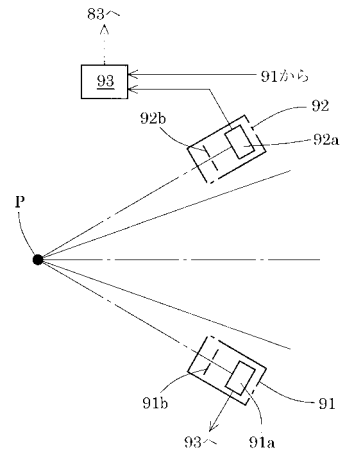
【図 10】



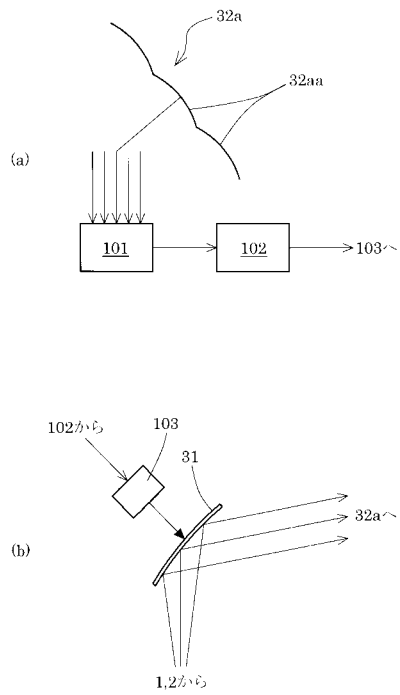
【図 1 1】



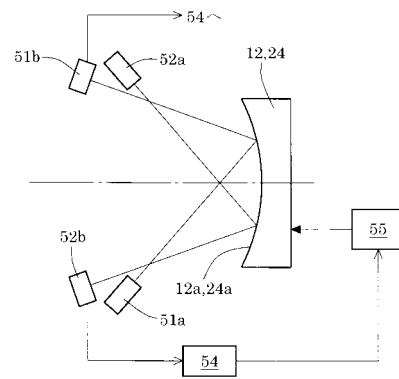
【図 1 2】



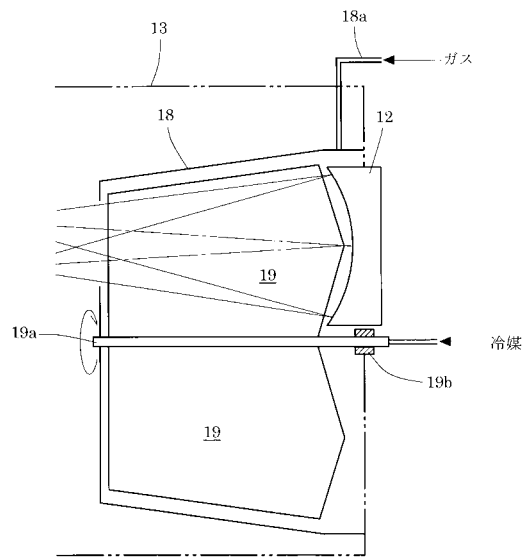
【図 1 3】



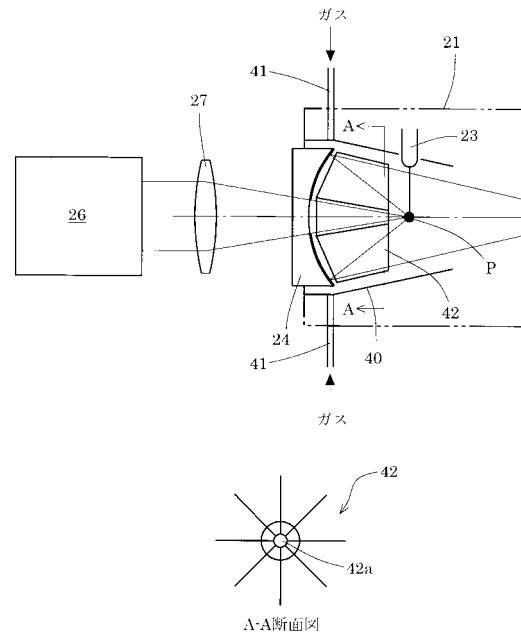
【図 1 4】



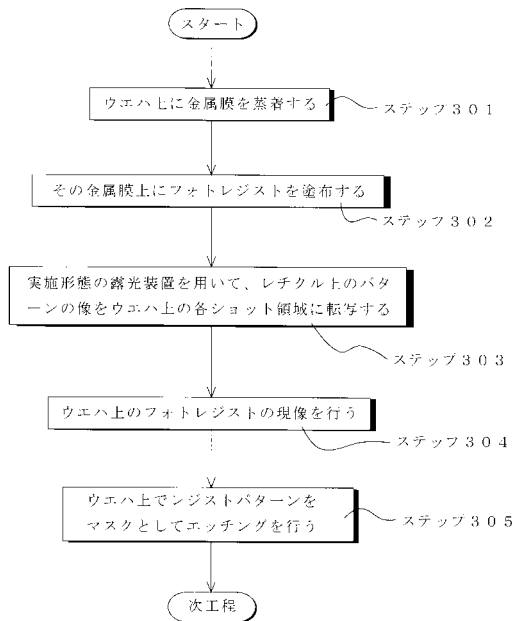
【図 15】



【図 16】



【図 17】



フロントページの続き(51)Int.Cl.⁷

H 0 1 L 21/027

H 0 5 G 2/00

F I

H 0 1 L 21/30

H 0 5 G 1/00

5 3 1 S

K

テーマコード(参考)