

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6759732号
(P6759732)

(45) 発行日 令和2年9月23日(2020.9.23)

(24) 登録日 令和2年9月7日(2020.9.7)

(51) Int. Cl. F 1
G03F 7/20 (2006.01) G03F 7/20 503
H05H 1/24 (2006.01) H05H 1/24

請求項の数 10 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2016-114048 (P2016-114048)	(73) 特許権者	000102212
(22) 出願日	平成28年6月8日 (2016.6.8)		ウシオ電機株式会社
(65) 公開番号	特開2017-219698 (P2017-219698A)		東京都千代田区丸の内一丁目6番5号
(43) 公開日	平成29年12月14日 (2017.12.14)	(74) 代理人	100109380
審査請求日	平成31年3月12日 (2019.3.12)		弁理士 小西 恵
		(74) 代理人	100109036
			弁理士 永岡 重幸
		(72) 発明者	芦澤 則孝
			東京都千代田区丸の内1丁目6番5号 ウシオ電機株式会社内
		審査官	長谷 潮

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 デブリトラップおよび光源装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

プラズマの近傍に配置され、前記プラズマから放射される光を通過し、当該プラズマから発生するデブリを捕捉するデブリトラップであって、

複数のホイルと、

前記複数のホイルを固定する固定部材と、

前記光の通過方向における上流側および下流側にそれぞれ前記ホイルが存在し、少なくとも前記光の通過領域において前記ホイルが存在しない内部空間と、

前記固定部材に設けられ、前記内部空間に前記光に対して透明な透明ガスを導入可能なガス導入口と、を有する固定式ホイルトラップを備え、

前記上流側に存在する前記ホイルで区画された区画空間のコンダクタンスが、前記下流側の前記ホイルで区画された区画空間のコンダクタンスよりも大きいことを特徴とするデブリトラップ。

【請求項2】

前記複数のホイルは、

前記光の通過領域における前記上流側に配置された複数の第一のホイルと、

前記光の通過領域における前記下流側に、前記複数の第一のホイルに対して所定距離離間させて配置された複数の第二のホイルと、を有し、

前記内部空間は、前記第一のホイルと前記第二のホイルとによって形成される空間であって、

前記複数のホイルは、
前記第一のホイルと前記第二のホイルとが前記光線方向を含む同一平面内に配置された
一組のホイル組を複数有する構成であり、
前記光線方向における前記第一のホイルの長さが、前記光線方向における前記第二のホ
イルの長さよりも短く設定されていることを特徴とする請求項 1 に記載のデブリトラップ
。

【請求項 3】

前記複数のホイルは、
前記光の通過領域における前記上流側に配置された複数の第一のホイルと、
前記光の通過領域における前記下流側に、前記複数の第一のホイルに対して所定距離離
間させて配置された複数の第二のホイルと、を有し、
前記内部空間は、前記第一のホイルと前記第二のホイルとによって形成される空間であ
って、
前記第二のホイルの枚数は、前記第一のホイルの枚数よりも多く、
前記光線方向における前記第一のホイルの長さと、前記光線方向における前記第二のホ
イルの長さとが等しく設定されていることを特徴とする請求項 1 に記載のデブリトラップ
。

10

【請求項 4】

前記複数のホイルは、それぞれ開口部を有し、
前記内部空間は、前記複数のホイルの前記開口部によって形成される空間であり、
前記開口部の中心位置から前記ホイルの前記光線方向における上流側端部までの長さが
、前記開口部の中心位置から前記ホイルの前記光線方向における下流側端部までの長さよ
りも短く設定されていることを特徴とする請求項 1 に記載のデブリトラップ。

20

【請求項 5】

前記ガス導入口は、
前記固定部材における前記固定式ホイルトラップを通過する前記光の主光線方向を挟ん
で対向する面に、それぞれ設けられていることを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか 1
項に記載のデブリトラップ。

【請求項 6】

前記ガス導入口は、
前記固定部材の全周に設けられていることを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか 1 項
に記載のデブリトラップ。

30

【請求項 7】

前記複数のホイルは、
前記固定式ホイルトラップを通過する前記光の主光線方向に直交する断面において、そ
れぞれ等間隔に配置されていることを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の
デブリトラップ。

【請求項 8】

前記固定式ホイルトラップは、
前記プラズマから放射される光の一部を所定の立体角で取り出した光線束を通過し、前
記光線束の進行方向に進行するデブリを捕捉するものであり、
前記複数のホイルは、前記光線束の通過領域に相当する大きさを有することを特徴とす
る請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載のデブリトラップ。

40

【請求項 9】

前記プラズマを通る軸を回転軸として回転可能な複数の回転ホイルと、
前記回転軸上に配置され前記回転ホイルを支持する支持部材と、を有し、
前記固定式ホイルトラップに対して前記回転軸方向に並設される回転式ホイルトラップ
をさらに備えることを特徴とする請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載のデブリトラップ
。

【請求項 10】

50

請求項 1 から 9 のいずれか 1 項に記載のデブリトラップと、
前記光を放射する原料を励起し、プラズマを発生させるプラズマ発生部と、を備えることを特徴とする光源装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、高温プラズマから放出されるデブリを捕捉するデブリトラップ、およびそのデブリトラップを備える光源装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、半導体集積回路の微細化、高集積化につれて、露光用光源の短波長化が進められている。次世代の半導体露光用光源としては、特に波長 13.5 nm の極端紫外光（以下、「EUV (Extreme Ultra Violet) 光」ともいう。）を放射する極端紫外光光源装置（以下、「EUV 光源装置」ともいう。）の開発が進められている。

EUV 光源装置において、EUV 光を発生させる方法はいくつか知られているが、そのうちの一つに極端紫外光放射種（以下、「EUV 放射種」という。）を加熱して励起することにより高温プラズマを発生させ、その高温プラズマから EUV 光を取り出す方法がある。このような EUV 光源装置では、高温プラズマから種々のデブリが発生するため、当該デブリを捕捉するために、ホイルトラップ（フォイル・トラップ）を用いるのが一般的である。

【0003】

デブリトラップとしては、例えば、特許文献 1 に記載の技術がある。この技術は、回転機能を有するホイルトラップ（回転式ホイルトラップ）と、回転せず固定されたホイルトラップ（固定式ホイルトラップ）とを備えるものである。

回転式ホイルトラップは、中央に配置された回転軸を中心として、半径方向に放射状に配置された複数のホイル（薄膜や薄い平板）を備え、上記回転軸を中心に複数のホイルを回転させることでプラズマから飛来するデブリを捕捉する。ここで、上記回転軸は、例えば、プラズマの略中心を貫通する軸である。

【0004】

固定式ホイルトラップは、回転式ホイルトラップにより捕捉しきれなかった高速で進行するデブリを捕捉する。固定式ホイルトラップは、回転式ホイルトラップの回転軸と同一軸上に中心軸を有し、当該中心軸から半径方向に放射状に配置された複数のホイル（薄膜や薄い平板）を備える。固定式ホイルトラップの複数のホイルは、配置された空間を細かく分割することにより、その部分のコンダクタンスを下げ、圧力を上げる働きをする。すなわち、回転式ホイルトラップで捕捉しきれなかった高速のデブリは、固定式ホイルトラップにおける圧力が上がった領域で衝突確率が上がるために速度が低下し、固定式ホイルトラップのホイルやホイルの支持体によって捕捉されやすくなる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特表 2012 - 513653 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上述したように、固定式ホイルトラップは、ホイル間の圧力が上がった領域で高速に進行するデブリを捕捉する。このデブリの捕捉確率は、ホイル間の圧力に依存する。

そこで、本発明は、デブリの捕捉確率をより向上させることができるデブリトラップ、およびそれを備えた光源装置を提供することを課題としている。

【課題を解決するための手段】

【0007】

10

20

30

40

50

上記課題を解決するために、本発明に係るデブリトラップの一態様は、プラズマの近傍に配置され、前記プラズマから放射される光を通過し、当該プラズマから発生するデブリを捕捉するデブリトラップであって、複数のホイルと、前記複数のホイルを固定する固定部材と、前記光の通過方向における上流側および下流側にそれぞれ前記ホイルが存在し、少なくとも前記光の通過領域において前記ホイルが存在しない内部空間と、前記固定部材に設けられ、前記内部空間に前記光に対して透明な透明ガスを導入可能なガス導入口と、を有する固定式ホイルトラップを備え、前記上流側に存在する前記ホイルで区画された区画空間のコンダクタンスが、前記下流側の前記ホイルで区画された区画空間のコンダクタンスよりも大きい。

【0008】

このように、固定式ホイルトラップにガスを供給することにより、固定式ホイルトラップ内部における圧力を上げることができる。また、固定式ホイルトラップ内に内部空間を設け、当該内部空間にガスを導入することで、内部空間においてガス圧力を均一化したあと、複数のホイルによって区画された各区画空間に等圧力でガスを供給することができる。したがって、光の通過領域におけるガス圧力分布を均一化することができると共に、光の通過領域におけるガス圧力を十分確保することができる。固定式ホイルトラップにおけるデブリ捕捉能力に空間的な分布（不均一性）が生じることを抑制しつつ、デブリ捕捉能力を向上させることができる。さらに、上流側に存在するホイルで区画された区画空間のコンダクタンスを、下流側のホイルで区画された区画空間のコンダクタンスよりも大きくするので、光の通過領域における下流側の空間のガス圧力をより低くすることができる。

上記のデブリトラップにおいて、前記複数のホイルは、前記光の通過領域における前記上流側に配置された複数の第一のホイルと、前記光の通過領域における前記下流側に、前記複数の第一のホイルに対して所定距離離間させて配置された複数の第二のホイルと、を有し、前記内部空間は、前記第一のホイルと前記第二のホイルとによって形成される空間であって、前記複数のホイルは、前記第一のホイルと前記第二のホイルとが前記光線方向を含む同一平面内に配置された一組のホイル組を複数有する構成であり、前記光線方向における前記第一のホイルの長さが、前記光線方向における前記第二のホイルの長さよりも短く設定されていてもよい。また、上記のデブリトラップにおいて、前記複数のホイルは、前記光の通過領域における前記上流側に配置された複数の第一のホイルと、前記光の通過領域における前記下流側に、前記複数の第一のホイルに対して所定距離離間させて配置された複数の第二のホイルと、を有し、前記内部空間は、前記第一のホイルと前記第二のホイルとによって形成される空間であって、前記第二のホイルの枚数は、前記第一のホイルの枚数よりも多く、前記光線方向における前記第一のホイルの長さ、と、前記光線方向における前記第二のホイルの長さ、とが等しく設定されていてもよい。

さらに、上記のデブリトラップにおいて、前記複数のホイルは、それぞれ開口部を有し、前記内部空間は、前記複数のホイルの前記開口部によって形成される空間であり、前記開口部の中心位置から前記ホイルの前記光線方向における上流側端部までの長さが、前記開口部の中心位置から前記ホイルの前記光線方向における下流側端部までの長さよりも短く設定されていてもよい。

一般に、デブリの除去性能は、単位体積中の上記ガスの分子数 N とデブリの移動距離 D の積 ND に依存する傾向がある。この積 ND が小さいと、高速デブリの減速効果が小さくなり、デブリの除去性能は不十分となる。ここで光源（高温プラズマ）の形状の変化が小さい場合、デブリの移動距離 D はほぼ一定となるので、十分なデブリの除去性能を得るには、ガスの分子数 N を大きくする必要がある。すなわち、固定式ホイルトラップに導入するガスの供給量を増加させて、ガス圧力を高くする必要がある。

一方、ガス圧力が高くなると、ガス圧力の高い空間を透過するプラズマからの光の光強度は減衰する。第二のホイルの光出射側には、プラズマから放出された光の整形や光路変更等を行うための光学系が配置されることが多い。そのため、光学系にデブリが到達しないように、できるだけデブリを第二のホイルの光入射側より前方で（すなわち、光の通過領域における上流側の空間で）デブリを除去することが望ましい。この場合、光の通過領

10

20

30

40

50

域における上流側の空間のデブリ除去性能を確保するために、ガスの供給量はより大きくなる。ガスの供給量が大きくなると、第二のホイール部分（すなわち、光の通過領域における下流側の空間）でのガス圧力も大きくなり、結果として、デブリトラップにおける光強度の減衰が大きくなる。しかしながら、上記のように構成することにより、光の通過領域における下流側の空間のガス圧力をより低くすることができるので、これにより、光強度の減衰を抑制することができる。

【0009】

また、上記のデブリトラップにおいて、前記ガス導入口は、前記固定部材における前記固定式ホイールトラップを通過する前記光の主光線方向を挟んで対向する面に、それぞれ設けられていてもよい。さらに、上記のデブリトラップにおいて、前記ガス導入口は、前記固定部材の全周に設けられていてもよい。

10

これにより、内部空間におけるガス圧力をより均一化することができる。なお、複数のガス導入口からそれぞれ供給されるガスの供給量に偏差があったとしても、その影響は、バッファ空間として機能する内部空間により吸収されるため、ガス供給量を高精度に制御する必要がない。

【0016】

さらに、上記のデブリトラップにおいて、前記複数のホイールは、前記固定式ホイールトラップを通過する前記光の主光線方向に直交する断面において、それぞれ等間隔に配置されていてもよい。この場合、固定式ホイールトラップにおける光の透過率およびデブリの捕捉確率を、光の通過領域において適切に均一化することができる。

20

また、上記のデブリトラップにおいて、前記固定式ホイールトラップは、前記プラズマから放射される光の一部を所定の立体角で取り出した光線束を通過し、前記光線束の進行方向に進行するデブリを捕捉するものであり、前記複数のホイールは、前記光線束の通過領域に相当する大きさを有していてもよい。この場合、固定式ホイールトラップが必要以上に大きくなることを抑制することができ、その分のコストを削減することができる。

【0017】

さらに、上記のデブリトラップにおいて、前記プラズマを通る軸を回転軸として回転可能な複数の回転ホイールと、前記回転軸上に配置され前記回転ホイールを支持する支持部材と、を有し、前記固定式ホイールトラップに対して前記回転軸方向に並設される回転式ホイールトラップをさらに備えていてもよい。この場合、プラズマから発生するデブリのうち、回転式ホイールトラップにおいて比較的低速で進行するデブリを捕捉し、固定式ホイールトラップにおいて、回転式ホイールトラップにより捕捉しきれなかった高速で進行するデブリを捕捉することができる。

30

また、本発明に係る光源装置の一態様は、上記のいずれかのデブリトラップと、前記光を放射する原料を励起し、プラズマを発生させるプラズマ発生部と、を備える。これにより、プラズマから発生するデブリを適切に捕捉することができる光源装置とすることができる。

【発明の効果】

【0018】

本発明のデブリトラップでは、固定式ホイールトラップにおけるデブリの捕捉確率をより向上させることができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】本実施形態の極端紫外光光源装置を示す概略構成図である。

【図2】デブリトラップの構成を示す図である。

【図3】回転式ホイールトラップの一例を示す図である。

【図4】第一の実施形態における固定式ホイールトラップの正面図である。

【図5】図4の固定式ホイールトラップの側面図である。

【図6】図4の固定式ホイールトラップの上面図である。

【図7】ホイールトラップへのガス供給方法の一例である。

50

【図 8】比較例における固定式ホイルトラップの正面図である。

【図 9】比較例における固定式ホイルトラップの側面図である。

【図 10】比較例における固定式ホイルトラップの上面図である。

【図 11】ガス圧力と極端紫外光強度との関係を示す図である。

【図 12】第二の実施形態における固定式ホイルトラップの側面図である。

【図 13】第三の実施形態における固定式ホイルトラップの上面図である。

【図 14】固定式ホイルトラップの別の例を示す正面図である。

【図 15】図 14 の固定式ホイルトラップの上面図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。

(第一の実施形態)

図 1 は、本実施形態の光源装置を示す概略構成図である。本実施形態では、光源装置が極端紫外光光源装置 (EUV 光源装置) 100 である場合について説明する。

本実施形態における EUV 光源装置 100 は、例えばマスク検査装置用の光源装置である。この EUV 光源装置 100 は、例えば、EUV 光を用いた半導体露光に用いられるマスクの欠陥を検査するためのマスク検査装置に対して検査光を放出する。当該マスク検査装置の検査対象は、例えば、低熱膨張ガラス基板上にモリブデン (Mo) 膜とシリコン (Si) 膜とを交互に積層してなる EUV 反射用の多層膜が形成されたマスクブランクス上に、EUV を吸収する材料からなる吸収体パターンが形成される反射型マスクである。マスク検査装置は、EUV 光源装置 100 から放出される光を検査光として、上記マスクのブランクス検査やパターン検査を行う。

【0021】

EUV 光源装置 100 は、例えば波長 13.5 nm の極端紫外光 (EUV 光) を放出する装置である。

本実施形態の EUV 光源装置 100 は、DPP 方式の EUV 光源装置である。より具体的には、EUV 光源装置 100 は、放電を発生させる電極表面に供給された高温プラズマ原料に対してレーザビーム等のエネルギービームを照射して当該高温プラズマ原料を気化し、その後、放電によって高温プラズマを発生する LDP 方式の EUV 光源装置である。

なお、高温プラズマ原料を適宜選択し、当該高温プラズマ原料を励起する条件を調整することにより、上記光源装置において、高温プラズマから真空紫外光 (10 nm ~ 200 nm) や X 線 (軟 X 線 ~ 硬 X 線 : 10 pm ~ 10 nm) を取り出すことも可能である。

【0022】

EUV 光源装置 100 は、図 1 に示すように、放電容器であるチャンバ 11 を有する。チャンバ 11 は、開口を有する隔壁 11a によって、大きく 2 つの空間に分割されている。一方の空間は放電空間 11b であり、他方の空間は集光空間 11c である。放電空間 11b には、各々独立して回転可能な一対の放電電極 21a, 21b が互いに離間して対向配置されている。放電電極 21a, 21b は、EUV 放射種を含む高温プラズマ原料を加熱して励起するためのものである。放電空間 11b の圧力は、高温プラズマ原料を加熱励起するための放電が良好に発生するように、真空雰囲気に維持されている。

【0023】

集光空間 11c には、凹面鏡 12 と、デブリトラップ 13 と、アパーチャ部材 15 とが配置されている。

凹面鏡 12 は、例えば楕円面鏡や放物面鏡であり、高温プラズマ原料が加熱励起されることで放出される EUV 光を、チャンバ 11 に設けられた EUV 取出部 11d から、例えばマスク検査装置のマスク検査部へ導くものである。凹面鏡 12 の基体材料は、例えば、ニッケル (Ni) 等である。波長が非常に短い EUV 光を反射させるため、凹面鏡 12 の反射面は、非常に良好な平滑面として構成される。この平滑面に施される反射材は、例えば、ルテニウム (Ru)、モリブデン (Mo)、およびロジウム (Rh) などの金属膜である。凹面鏡 12 の反射面には、このような金属膜が緻密にコーティングされている。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 4 】

凹面鏡 1 2 と E U V 取出部 1 1 d との間には、着脱自在のモニタ用ミラー（不図示）が必要に応じて挿入される。このモニタ用ミラーによって E U V 光の一部が採取されて不図示の E U V モニタに導光されることで、E U V 光の強度がモニタされる。モニタの結果は制御部 4 0 に送られる。また、凹面鏡 1 2 には不図示の位置調整機構が備えられており、チャンバ 1 1 内を真空雰囲気にしたまま凹面鏡 1 2 の位置を調整することができる。

デブリトラップ 1 3 は、放電によるプラズマ生成の結果生じるデブリを捕捉し、E U V 光のみを通過させるような働きをするものである。デブリトラップ 1 3 は、回転式ホイールトラップ 1 3 a と固定式ホイールトラップ 1 3 b とを備える。デブリトラップ 1 3 の具体的構成については後で詳述する。

10

【 0 0 2 5 】

アパーチャ部材 1 5 は、高温プラズマ原料から放出される E U V 光の一部を取り出すための開口部を有する。具体的には、アパーチャ部材 1 5 は、高温プラズマ原料から放出される E U V 光の一部を所定の立体角で取り出す。具体的には後で述べる回転式ホイールトラップ 1 3 a の回転軸方向（図 1 における左右方向）に対して傾斜角度をもって所定の立体角で取り出す。ここで、上記傾斜角度は、例えば 2 0 ° ~ 3 0 ° 程度であり、E U V 光の取出角度は、例えば 1 4 ° ~ 1 6 ° 程度である。このアパーチャ部材 1 5 は、高温プラズマの近傍に配置されるため、例えば、モリブデン（M o）、タングステン（W）等の高融点材料から構成する。

なお、凹面鏡 1 2 は E U V 光源装置内には必ずしも設置する必要はなく、アパーチャ部材 1 5 の開口部を通過した E U V 光を直接マスク検査装置のマスク検査部に導光してもよい。但し、この場合にも、上記マスク検査部にデブリが到達しないように、高温プラズマとマスク検査部との間にはデブリトラップ 1 3 が配置される。

20

【 0 0 2 6 】

放電空間 1 1 b に配置された一対の放電電極 2 1 a , 2 1 b は、金属製の円盤状部材である。放電電極 2 1 a , 2 1 b は、例えば、タングステン、モリブデン、タンタル等の高融点金属からなる。ここで、2 つの放電電極 2 1 a , 2 1 b のうち、一方の放電電極 2 1 a がカソードであり、他方の放電電極 2 1 b がアノードである。

放電電極 2 1 a は、その一部（重心方向の下部）が高温プラズマ原料 2 2 a を収容するコンテナ 2 3 a の中に浸されるように配置される。放電電極 2 1 a の略中心部には、モータ 2 4 a の回転軸 2 5 a が取り付けられている。すなわち、モータ 2 4 a が回転軸 2 5 a を回転させることにより、放電電極 2 1 a は回転する。モータ 2 4 a は、制御部 4 0 によって駆動制御される。ここで、コンテナ 2 3 a とモータ 2 4 a と回転軸 2 5 a とを併せたものが、原料供給機構に対応している。なお、原料供給機構は、上記の構成に限定されるものではなく、高温プラズマ原料 2 2 a を放電電極 2 1 a に供給可能な構成であればよい。

30

また、回転軸 2 5 a は、例えば、メカニカルシール 2 6 a を介してチャンバ 1 1 内に導入される。メカニカルシール 2 6 a は、チャンバ 1 1 内の減圧雰囲気を維持しつつ、回転軸 2 5 a の回転を許容する。

【 0 0 2 7 】

放電電極 2 1 b も、放電電極 2 1 a と同様に、その一部（重心方向の下部）が高温プラズマ原料 2 2 b を収容するコンテナ 2 3 b の中に浸されるように配置される。放電電極 2 1 b の略中心部には、モータ 2 4 b の回転軸 2 5 b が取り付けられている。すなわち、モータ 2 4 b が回転軸 2 5 b を回転させることにより、放電電極 2 1 b は回転する。モータ 2 4 b は、制御部 4 0 によって駆動制御される。

40

また、回転軸 2 5 b は、例えば、メカニカルシール 2 6 b を介してチャンバ 1 1 内に導入される。メカニカルシール 2 6 b は、チャンバ 1 1 内の減圧雰囲気を維持しつつ、回転軸 2 5 b の回転を許容する。

【 0 0 2 8 】

放電電極 2 1 a , 2 1 b の表面上に乗った液体状の高温プラズマ原料 2 2 a , 2 2 b は

50

、放電電極 2 1 a , 2 1 b が回転することで放電領域に輸送される。ここで、放電領域とは、両電極 2 1 a , 2 1 b 間の放電が発生する空間であり、両電極 2 1 a , 2 1 b の周縁部のエッジ部分間距離が最も短い部分である。

高温プラズマ原料 2 2 a , 2 2 b としては、熔融金属、例えば液体状のスズ (S n) を用いる。この高温プラズマ原料 2 2 a , 2 2 b は、放電電極 2 1 a , 2 1 b に電力を供給する給電用の導電体としても働く。

【 0 0 2 9 】

コンテナ 2 3 a , 2 3 b は、チャンバ 1 1 内の減圧雰囲気を維持可能な絶縁性の電力導入部 1 1 f , 1 1 g を介して、パルス電力供給部 2 7 に接続されている。コンテナ 2 3 a および 2 3 b 、並びに高温プラズマ原料であるスズ 2 2 a および 2 2 b は導電性である。放電電極 2 1 a の一部および放電電極 2 1 b の一部はそれぞれスズ 2 2 a , 2 2 b に浸漬しているため、コンテナ 2 3 a , 2 3 b 間にパルス電力供給部 2 7 からパルス電力を印加することで、放電電極 2 1 a , 2 1 b 間にパルス電力を印加することができる。

10

【 0 0 3 0 】

なお、特に図示しないが、コンテナ 2 3 a および 2 3 b には、スズ 2 2 a , 2 2 b を熔融状態に維持する温度調節機構が設けられている。

パルス電力供給部 2 7 は、コンテナ 2 3 a および 2 3 b 間、すなわち放電電極 2 1 a および 2 1 b 間にパルス幅の短いパルス電力を印加する。パルス電力供給部 2 7 は、制御部 4 0 によって駆動制御される。また、パルス電力供給部 2 7 によって放電電力 2 1 a および 2 1 b 間に印加された電圧のモニタ値は、制御部 4 0 によって取得される。

20

【 0 0 3 1 】

レーザー源 2 8 は、放電領域に輸送された放電電極 2 1 a 上のスズ 2 2 a に対してレーザー光 (エネルギービーム) を照射するエネルギービーム照射部である。レーザー源 2 8 は、例えば N d : Y V O ₄ レーザ装置 (Neodymium-doped Yttrium Orthovanadate レーザ装置) である。このレーザー源 2 8 が放出するレーザー光 L は、レーザー光集光部 (集光レンズ) 2 9 等を介してチャンバ 1 1 の窓部 (レーザビーム入射窓部) 1 1 g に入射する。また、レーザー源 2 8 には、光量モニタが内蔵されており、レーザー源 2 8 から出力されるレーザー光 L の強度は制御部 4 0 によって取得される。

【 0 0 3 2 】

レーザー源 2 8 が放出し、集光レンズ 2 9 およびチャンバ 1 1 の窓部 1 1 g を通過したレーザー光 L は、折り返しミラー 1 4 により折り返されて放電電極 (カソード) 2 1 a の端面 (曲面) に照射される。

30

放電電極 (カソード) 2 1 a と放電電極 (アノード) 2 1 b とは、E U V 光が集光される凹面鏡 1 2 が配置されている側における両電極間の距離が狭くなるように、傾けて配置される。即ち、凹面鏡 1 2 側 (図 1 の右側) の電極間距離が狭く、凹面鏡 1 2 とは反対側 (図 1 の左側) の電極間距離が広くなるように配置される。

レーザー源 2 8 によるレーザー光の照射タイミングは、制御部 4 0 が制御する。

【 0 0 3 3 】

パルス電力供給部 2 7 により放電電極 2 1 a , 2 1 b にパルス電力電圧を印加した状態で、放電領域に輸送された高温プラズマ原料 2 2 a に対してレーザー光 L が照射されると、当該高温プラズマ原料 2 2 a が気化し、両電極 2 1 a , 2 1 b 間でパルス放電が開始される。その結果、高温プラズマ原料 2 2 a によるプラズマ P が形成される。そして、放電時に流れる大電流によりプラズマ P が加熱励起され高温化すると、この高温プラズマ P から E U V 光が放射される。

40

なお、上述したように放電電極 2 1 a , 2 1 b 間にはパルス電力電圧を印加するため、上記放電はパルス放電となり、放射される E U V 光はパルス状に放射されるパルス光となる。また、パルス電力供給部 2 7 は、上記のようにコンテナおよびスズを介して電力を供給する構成に限定されるものではなく、放電電極 2 1 a , 2 1 b にパルス電力電圧を印加可能な構成であればよい。

【 0 0 3 4 】

50

次に、デブリトラップ13の具体的構成について説明する。

EUV光源装置100では、例えば、高温プラズマPと接する金属（例えば、一对の放電電極21a, 21b）が上記プラズマPによってスパッタされて生成する金属粉等のデブリや、高温プラズマ原料であるスズ（Sn）に起因するデブリが発生する。

これらのデブリは、プラズマの収縮・膨張過程を経て、大きな運動エネルギーを得る。すなわち、高温プラズマPから発生するデブリは高速で移動するイオンや中性原子であり、このようなデブリは凹面鏡12にぶつかって反射面を削ったり、反射面上に堆積したりして、EUV光の反射率を低下させるおそれがある。

【0035】

そこで、EUV光源装置100では、放電空間11bと集光空間11cに收容された凹面鏡12との間に、上記デブリによる凹面鏡12のダメージを防ぐためのデブリトラップ13を配置する。デブリトラップ13は、デブリを捕捉してEUV光のみを通過させる働きをする。

図2は、デブリトラップ13を回転式ホイルトラップ13aの回転軸34に直交する方向から見た断面図である。デブリトラップ13は、回転機能を有するホイルトラップ（回転式ホイルトラップ）13aと、回転せず固定されたホイルトラップ（固定式ホイルトラップ）13bと、を備える。

【0036】

回転式ホイルトラップ13aは、図3に示すように、回転軸34から半径方向に放射状に伸びる複数のホイール（回転ホイール）31を備える。なお、ホイール31は、薄膜（ホイール）または薄い平板（プレート）により構成されており、本明細書では薄膜と平板を併せて「ホイール」と呼ぶ。

ホイール31は、半径方向内側端部を同心円状に配置された中心支柱（支持部材）32によって支持され、半径方向外側端部をリング状支持体である外側リング33によって支持されている。これら複数のホイール31は、支持体（中心支柱32と外側リング33）に支持された状態で、中心支柱32の回転軸34を中心に回転可能となっている。

また、ホイール31は、その平面が回転軸34に対して平行になるように配置され支持されている。そのため、回転式ホイルトラップ13aを極端紫外光源（高温プラズマP）側から見た場合、中心支柱32および外側リング33によって構成される支持体を除けば、ホイール31の厚みしか見えない。

【0037】

アパーチャ部材15には、図2に示すように、回転式ホイルトラップ13aの回転軸34から偏心した位置に、任意の形状（例えば、円形）の開口部15aが形成されている。そして、回転式ホイルトラップ13aは、アパーチャ部材15の開口部15aを通過したEUV光の光線束（以下、「EUV取出光」ともいう。）の主光線O上にホイール31が位置するように配置される。

ここで、回転式ホイルトラップ13aの回転軸34は、中心支柱32によってEUV取出光が遮光されないように当該回転式ホイルトラップ13aを回転させる軸である。本実施形態において、回転軸34は、プラズマPを通過し、中心支柱32の中心軸に一致する軸である。このような構成により、回転式ホイルトラップ13aの複数のホイール31は、回転軸34を中心に回転することで、高温プラズマPからのデブリを捕捉する。このとき、回転式ホイルトラップ13aは、上記デブリのうち比較的低速のデブリを捕捉する。

【0038】

固定式ホイルトラップ13bは、高温プラズマPからのデブリのうち、回転式ホイルトラップ13aで捕捉しきれなかった高速で進行するデブリを捕捉する。図2に示すように、固定式ホイルトラップ13bは、EUV取出光の主光線O上に配置する。

また、固定式ホイルトラップ13bは、アパーチャ部材15の開口部15aにより進行方向が制限されたEUV光であるEUV取出光が通過する領域に対応させた形状を有する。つまり、固定式ホイルトラップ13bは、回転式ホイルトラップ13aの回転軸34に直交する平面において、当該回転軸34に対してアパーチャ部材15の開口部15aが形

10

20

30

40

50

成された側（図2では回転軸34の上側）のみに配置される。

【0039】

以下、固定式ホイルトラップ13bの具体的構成について、図4～図6を参照しながら説明する。ここで、図4は、固定式ホイルトラップ13bを主光線方向から見た断面図である。また、図5は、図4におけるB-B断面図であり、図6は、図4におけるC-C断面図である。

固定式ホイルトラップ13bは、複数のホイル（第一のホイル）41と、複数のホイル（第二のホイル）42と、ホイル41および42を支持する固定枠（固定部材）43とを備える。ホイル41および42は、図4に示すように、EUV取出光の主光線方向に直交する断面において、それぞれ等間隔に配置されている。また、固定枠43は、例えば、図4に示す正面図において矩形状である。なお、固定枠43の外形は任意の形状であってよい。

10

【0040】

また、ホイル41とホイル42とは、図5に示すように、EUV取出光の主光線方向において所定の離間距離dをもって離間して配置されている。さらに、図6に示すように、内部空間43bに対してEUV光入射側（図6の下側）において、複数のホイル41は、EUV取出光の光線方向に伸びるように放射状に配置されている。同様に、内部空間43bに対してEUV光出射側（図6の上側）において、複数のホイル42は、EUV取出光の光線方向に伸びるように放射状に配置されている。また、ホイル41の枚数とホイル42の枚数とは同じである。

20

すなわち、固定式ホイルトラップ13bは、EUV取出光の光線方向に平行な1つの仮想平面内に距離dをもって離間したホイル41とホイル42との組を複数組備える構成である。このような構成により、図5および図6に示すように、複数のホイル41と複数のホイル42との間には、EUV取出光の主光線方向に長さdを持つ擬似的な内部空間43bが設けられる。

【0041】

また、固定枠43における上下方向に対向する面（EUV取出光の主光線方向を挟んで対向する面）には、それぞれ複数のガス導入口43aが形成されている。これらのガス導入口43aは、固定式ホイルトラップ13b内にガスGaを供給するための孔であり、内部空間43bに空間的に接続されるように設けられている。本実施形態では、複数のガス導入口43aがEUV取出光の主光線方向に直交する方向に等間隔に一列に設けられているものとする。ここで、上記ガスGaは、EUV光に対して透明なガス（EUV透明ガス）であり、例えばヘリウム（He）、アルゴン（Ar）等の希ガス、水素（H₂）等を用いることができる。本実施形態では、EUV透明ガスとしてArガスを用いる。

30

【0042】

さらに、ガス導入口43aは、図5および図6に示すように、EUV取出光の主光線方向におけるホイル41の長さL₁、EUV取出光の主光線方向におけるホイル42の長さL₂としたとき、L₁<L₂となるような位置に設けられている。

このような構造下で、複数のガス導入口43aを介してArガスが内部空間43bに供給されると、Arガスは、内部空間43bに一時的に貯められる。これは、内部空間43bを挟むホイル41で区画された区画空間や、ホイル42で区画された区画空間は、内部空間43bと比べてコンダクタンスが小さいためである。すなわち、擬似的な内部空間43bは、供給されたArガスが一時的に貯められ、当該Arガスの圧力分布を均一化する擬似的なバッファ空間として機能する。この擬似的なバッファ空間43bにて一旦、Arガス分布が均一になったあと、Arガスは、当該バッファ空間43bから等圧力でホイル41側の区画空間やホイル42側の区画空間に供給される。

40

【0043】

なお、ホイル41およびホイル42の離間距離dは、内部空間43bに流入するArガスの流量や当該バッファ空間の高さに相当するホイル41、ホイル42のEUV光の主光線と垂直な方向の長さ、バッファ空間の幅に相当するホイル41、ホイル43の枚数等を

50

考慮して、内部空間 4 3 b がバッファ空間として機能できるように適宜設定される。

また、回転式ホイルトラップ 1 3 a および固定式ホイルトラップ 1 3 b は、高温プラズマ P の近くに配置されるため、これらホイルトラップを構成するホイルや支持体は、例えば、モリブデン (Mo) などの高耐熱材料から形成するものとする。

【 0 0 4 4 】

このように、本実施形態における固定式ホイルトラップ 1 3 b は、1 枚のホイルを E U V 取出光の主光線方向においてホイル 4 1 とホイル 4 2 とに 2 分割し、両ホイルを上記主光線方向に距離 d だけ離間するように配置したホイル組を、複数組備える構成を有する。そして、固定式ホイルトラップ 1 3 b は、複数のホイル 4 1 と複数のホイル 4 2 とによって固定式ホイルトラップ 1 3 b 内部に形成される内部空間 4 3 b に、Ar ガスを供給可能に構成する。したがって、固定式ホイルトラップ 1 3 b によるデブリ捕捉能力を向上させることができる。以下、この点について、比較例を用いて詳細に説明する。

10

【 0 0 4 5 】

図 7 は、回転式ホイルトラップ 1 1 3 a と固定式ホイルトラップ 1 1 3 b との間の空間に向けて、E U V 透明ガス G a を供給する第一の比較例を示す図である。

この第一の比較例では、両ホイルトラップの間の空間に、図 7 の上方向から Ar ガス G a が供給される。この場合、供給される Ar ガス G a とホイルトラップにより奏されるデブリトラップ機能は、必ずしも良好ではない。

図 7 に示すように、不図示のガスノズルから同図の下方向に供給される Ar ガス G a は、下方向に進むにつれて拡散し、結果として圧力勾配が生じる。つまり、E U V 光路上における Ar ガスの圧力分布が不均一となる。そのため、ホイルトラップにおけるデブリ捕捉能力には空間的な分布 (不均一性) が生じてしまう。

20

【 0 0 4 6 】

また、回転式ホイルトラップ 1 1 3 a と固定式ホイルトラップ 1 1 3 b との間の空間の幅は、固定式ホイルトラップ 1 1 3 b のホイル間の幅よりも大きい。そのため、図 7 に示すように供給された Ar ガス G a は、固定式ホイルトラップ 1 1 3 b ホイルによって区画された区画空間に進入しにくい。したがって、固定式ホイルトラップ 1 1 3 b 内部において十分な Ar ガス圧力が得られず、回転式ホイルトラップ 1 1 3 a のデブリ捕捉能力を向上させることができない。

【 0 0 4 7 】

図 8 ~ 図 1 0 は、E U V 透明ガス (Ar ガス) を固定式ホイルトラップ内部に直接供給する第二の比較例を示す図である。

30

この第二の比較例は、固定式ホイルトラップ 1 1 3 b の複数のホイル 1 4 1 を支持する固定枠 1 4 3 に複数のガス導入口 1 4 3 a を設け、ガス導入口 1 4 3 a を介して、ホイル 1 4 1 間の区画空間に対して上下方向から直接 Ar ガス G a を供給する構成である。ここで、複数のガス導入口 1 4 3 a は、図 8 に示すように、Y 軸方向に所定の間隔をもって一列に形成されている。また、各ガス導入口 1 4 3 a は、図 9 に示すように、E U V 取出光の主光線方向におけるホイル 1 4 1 のほぼ中央部に形成されている。

【 0 0 4 8 】

この第二の比較例は、固定式ホイルトラップ内部に、上述した本実施形態のような内部空間 (バッファ空間) を有しない構成である。このような構成の場合、図 7 に示す第一の比較例と比較すると、固定式ホイルトラップ 1 1 3 b 内部への Ar ガス G a の供給量を増大することが可能となる。しかしながら、この第二の比較例の場合にも、以下のような不具合が生じる。

40

図 8 は、固定式ホイルトラップ 1 1 3 b を主光線方向から見た断面図である。この断面は、固定枠 1 4 3 に設けたガス導入口 1 4 3 a を含み、Ar ガス G a の導入方向に平行な方向の面である。

この第二の比較例では、ガス導入口 1 4 3 a は離散的に配置されており、ガス導入口 1 4 3 a が接続された区画空間とガス導入口 1 4 3 a が接続されていない区画空間とが混在している。このような構成の場合、ガス導入口 1 4 3 a と空間的に接続されている区画空

50

間 1 4 3 b は圧力が高くなり、ガス導入口 1 4 3 a と空間的に接続されていない区画空間 1 4 3 c は圧力が低くなる。

【 0 0 4 9 】

この固定式ホイルトラップ 1 1 3 b について、E U V 光束が通過する領域において、図 8 の Y 軸方向における A r ガスの圧力分布を測定したところ、圧力分布は不均一であった。つまり、所定の間隔をもって設けられたガス導入口 1 4 3 a から離散的に A r ガス G a を固定式ホイルトラップ 1 1 3 b 内部の区画空間に供給すると、固定式ホイルトラップ 1 1 3 b 内部における A r ガスの圧力分布は不均一になることが分かった。つまり、この場合、固定式ホイルトラップ 1 1 3 b におけるデブリ捕捉能力に空間的な分布（不均一性）が生じてしまうことになる。

10

上記の傾向は、各ガス導入口 1 4 3 a へ供給される A r ガス G a の供給量に偏差があると、更に顕著になる。そのため、例えばガス分配器を用いて A r ガス G a を各ガス導入口 1 4 3 a へ供給する際には、ガス分配器の分配性能は高精度である必要がある。

【 0 0 5 0 】

図 9 は、図 8 の D - D 断面図である。この図 9 は、固定式ホイルトラップ 1 1 3 b のホイル 1 4 1 により区画された区画空間のうち、ガス導入口 1 4 3 a と空間的に接続された空間の断面図である。断面方向は、ホイル 1 4 1 と平行な面が伸びる方向である。

ホイル 1 4 1 によって区画された区画空間の幅は狭く、また、コンダクタンスは流路が長いほど小さくなる。そのため、図 9 の矢印で示すように、ガス導入口 1 4 3 a から供給される A r ガス G a は直進せず、同図の左右方向に進みやすくなる。すなわち、上記区画空間において、E U V 取出光が通過する領域 1 4 3 d には A r ガス G a が届きにくく、E U V 光路上における A r ガス圧力を高くすることができない。

20

デブリは、プラズマ P より E U V 光の進行方向と同様の方向に進行するので、この第二の比較例の固定式ホイルトラップ 1 1 3 b では、デブリの捕捉性能が低いことになる。また、当然ながら、E U V 光路上での A r ガス圧力分布も不均一となる。

【 0 0 5 1 】

図 1 0 は、図 8 の E - E 断面図である。この図 1 0 に示すように、ホイル 1 4 1 は、E U V 取出光の光線方向に伸びるように放射状に配置されており、ホイル 1 4 1 間の間隔は、E U V 光入射側が狭く、E U V 光出射側が広い。そのため、ガス導入口 1 4 1 a からホイル 1 4 1 の区画空間内に供給される A r ガスは、E U V 光入射側（図 1 0 の矢印 側）の方には流れにくく、E U V 光出射側（図 1 0 の矢印 側）の方に流れやすい。そのため、固定式ホイルトラップ 1 1 3 b 内部における E U V 光出射側の空間 1 4 3 e の圧力は、E U V 光入射側の空間 1 4 3 f の圧力と比べて高くなる傾向にある。

30

【 0 0 5 2 】

図 1 1 に示すように、A r ガスの圧力が 1 . 3 3 (P a) 程度の低圧力雰囲気では、光路長が 1 0 c m である場合、A r ガス雰囲気内を通過する E U V 光の強度はそれほど減衰しない。一方、A r ガスの圧力が 1 0 (P a) 超えるような A r ガス雰囲気では、光路長が 1 0 c m である場合、A r ガス雰囲気内を通過する E U V 光の強度は顕著に減衰する。

したがって、できるだけ固定式ホイルトラップ内部における圧力が高い領域の幅（光路長）は短い方が好ましい。しかしながら、第二の比較例では、固定式ホイルトラップ 1 1 3 b 内部において、E U V 光出射側近傍の空間 1 4 3 e の圧力が高く、A r ガスによる E U V 光強度の減衰が場合によっては無視できなくなる。

40

【 0 0 5 3 】

これに対して、本実施形態における固定式ホイルトラップ 1 3 b では、上述したように、固定式ホイルトラップ 1 3 b 内部に内部空間（バッファ空間）4 3 b を設け、当該バッファ空間 4 3 b に A r ガスを供給するため、ホイル 4 1 側の各区画空間とホイル 4 2 側の各区画空間とにそれぞれ等圧力で A r ガスを供給することができる。したがって、上記の各比較例のような固定式ホイルトラップ内部における E U V 光路上の圧力分布の不均一は生じない。

また、固定枠 4 3 に間隔をもって設けられたガス導入口 4 3 a から離散的に供給された

50

A r ガスは、バッファ空間 4 3 b によって均一化される。そのため、各ガス導入口へ供給される A r ガスの供給量に偏差があったとしても、その影響はバッファ空間 4 3 b により吸収される。したがって、例えばガス分配器を用いて A r ガスを各ガス導入口 4 3 a へ供給する場合においても、ガス分配器の分配性能は高精度である必要はない。

このように、固定式ホイルトラップ 1 3 b 内部の E U V 光路上におけるガス圧力分布をほぼ均一にすることができる。

【 0 0 5 4 】

さらに、上記の第二の比較例では、固定式ホイルトラップ 1 3 1 b における E U V 取出光が通過する領域には A r ガス G a が届きにくく、E U V 光路上における A r ガス圧力を高くすることは困難であった。これに対して、本実施形態では、固定式ホイルトラップ 1 3 b に供給された A r ガスは、一時的にバッファ空間 4 3 b に貯められ、A r ガス圧力分布が均一化された状態で各区画空間に供給される。そのため、固定式ホイルトラップ 1 3 b の E U V 取出光が通過する領域にも十分に A r ガスが供給され、E U V 光路上における A r ガス圧力を高めることができる。その結果、固定式ホイルトラップ 1 3 b におけるデブリ捕捉能力を十分に確保することができる。

【 0 0 5 5 】

さらに、本実施形態における固定式ホイルトラップ 1 3 b においては、E U V 光入射側に配置されたホイル 4 1 の長さ（主光線方向の長さ）L 1 が、E U V 光出射側に配置されたホイル 4 2 の長さ L 2 よりも短くなるように設定している。

そのため、上述したように、ガス導入口 4 3 a から固定式ホイルトラップ 1 3 b 内に供給され、バッファ空間 4 3 b において均一化された A r ガスは、E U V 光入射側（図 6 の矢印 側）の方に流れやすく、E U V 光出射側（図 6 の矢印 側）の方には流れにくくすることができる。その結果、固定式ホイルトラップ 1 3 b 内部における E U V 光入射側の空間 4 3 c の圧力を、上記の第二の比較例と比較してより高くし、E U V 光出射側の空間 4 3 d の圧力を、上記の第二の比較例と比較してより低くすることが可能となる。

このように、E U V 光出射側近傍の空間 4 3 d の圧力が高くなることを抑制することで、圧力の高い A r ガス空間の光路長が長くなることを抑制することができる。すなわち、E U V 取出光の光路上において、A r ガス圧力が高い領域の幅を上記の第二の比較例と比較して短くすることが可能となり、A r ガスによる E U V 光強度の減衰を抑制することができる。

【 0 0 5 6 】

また、上述したように、バッファ空間 4 3 b において均一化された A r ガスは、E U V 光入射側（図 6 の矢印 側）の方により多く流れる。固定式ホイルトラップ 1 3 b に対して E U V 光入射側には、回転式ホイルトラップ 1 3 a が配置されているため、固定式ホイルトラップ 1 3 b において E U V 光入射側に流れた A r ガスは、回転式ホイルトラップ 1 3 a に流れ込むことになる。この場合、回転式ホイルトラップ 1 3 a 側の雰囲気圧力を高めることができ、回転式ホイルトラップ 1 3 a に入射する高速イオンの速度を減速させ、回転式ホイルトラップ 1 3 a における高速イオン（デブリ）の捕集性能を向上させることができる。

なお、固定式ホイルトラップ 1 3 b から回転式ホイルトラップ 1 3 a 側へ流れる A r ガスは、ほぼ均一の流れとなる。すなわち、固定式ホイルトラップ 1 3 b が回転式ホイルトラップ 1 3 a へ A r ガスを均一に供給するガス分配器として機能する。そのため、回転式ホイルトラップ 1 3 a へ供給される A r ガスが主光線上で均一になることが期待される。

【 0 0 5 7 】

以上のように、本実施形態における固定式ホイルトラップ 1 3 b においては、E U V 光路上でのガス圧力分布がほぼ均一であり、E U V 光通過領域でのガス圧力が十分高く、E U V 光出射側の A r ガス圧力が低いという作用を奏することができる。したがって、回転式ホイルトラップ 1 3 a で捕捉しきれなかった高速のデブリの固定式ホイルトラップ 1 3 b における捕捉確率を向上させることができる。

また、本実施形態における固定式ホイルトラップ 1 3 b は、ホイル 4 1 とホイル 4 2 と

10

20

30

40

50

がEUV取出光の光線方向を含む同一平面内に配置された構成とする。このように、ホイル41とホイル42とを光線方向を含む同一平面内に配置することで、固定式ホイルトラップ13bを通過する光を極力遮らない構成とすることができ、光の取出効率の低下を抑制することができる。

【0058】

(第二の実施形態)

次に、本発明の第二の実施形態について説明する。

上述した第一の実施形態では、ホイル41とホイル42との組を複数組設けることにより擬似的なバッファ空間を形成する場合について説明した。第二の実施形態では、開口部を有するホイルを複数枚設けることにより擬似的なバッファ空間を形成する場合について説明する。

10

図12は、第二の実施形態の固定式ホイルトラップ13b'の側面図である。この図13において、上述した第一の実施形態における固定式ホイルトラップ13bと同様の構成を有する部分には、固定式ホイルトラップ13bと同一符号を付し、以下、構成の異なる部分を中心に説明する。

図12に示すように、本実施形態における固定式ホイルトラップ13b'は、開口部44aを有する複数のホイル44と、複数のホイル44を支持する固定枠43とを備える。ホイル44は、図4に示す第一の実施形態のホイル41と同様に、EUV取出光の主光線方向に直交する断面において、等間隔に複数配置されている。また、ホイル44は、図6に示す第一の実施形態のホイル41やホイル42と同様に、EUV取出光の光線方向に伸びるように放射状に配置されている。

20

【0059】

開口部44aは、EUV取出光の主光線方向の長さが d_1 であり、EUV取出光の主光線方向に垂直な方向の長さが h_1 である開口部である。開口部44aの長さ h_1 は、少なくともEUV取出光が通過する領域の主光線方向に垂直な方向の長さを有する。開口部44aは、EUV取出光の主光線方向に垂直な方向において、ホイル44の略中心位置に形成されている。また、ガス導入口43aは、ホイル44同士で区画された区画空間と空間的に接続される位置で、且つ、主光線方向において内部空間の略中心位置に形成されている。このような構成により、第一の実施形態と同様の内部空間(擬似的なバッファ空間)を固定式ホイルトラップ13b'内部に設けることができる。

30

【0060】

なお、長さ d_1 および h_1 は、上記内部空間に流入するArガスの流量、バッファ空間の幅に相当するホイル44の枚数等を考慮して、当該内部空間がバッファ空間として機能できるように適宜設定される。また、ガス導入口43aから開口部44aの端部までの距離 h_2 は、できるだけ短い方が好ましい。距離 h_2 が短いと、この領域のコンダクタンスが比較的大きくなり、ガス導入口43aから供給されるArガスの殆どが、上記の擬似的なバッファ空間に供給されるようになるためである。

さらに、開口部44aのホイル44における位置は、開口部44aの中心からホイル44のEUV光入射側端部までの長さを L_1 、開口部44aの中心からホイル44のEUV光出射側端部までの長さを L_2 としたとき、 $L_1 < L_2$ となる位置に設定されている。このように設定することにより、第一の実施形態と同様に、EUV光束出射側のArガス圧力が低くなるようにすることが可能となる。

40

【0061】

このように、本実施形態における固定式ホイルトラップ13b'においては、上述した第一の実施形態と同様に、EUV光路上でのガス圧力分布がほぼ均一であり、EUV光通過領域でのガス圧力が十分高く、EUV光出射側のArガス圧力が低いという作用を奏することができる。したがって、回転式ホイルトラップ13aで捕捉しきれなかった高速のデブリの固定式ホイルトラップ13b'における捕捉確率を向上させることができる。

また、本実施形態における固定式ホイルトラップ13b'においては、開口部44aを有するホイル44を複数枚備える構成であるため、第一の実施形態のようにホイル41と

50

ホイル42との組をEUV取出光の光線方向に一行に並ぶように支持する必要がなく、固定枠43によるホイル44の支持が容易である。

【0062】

(第三の実施形態)

次に、本発明の第三の実施形態について説明する。

上述した第一の実施形態では、ホイル41の枚数とホイル42の枚数とを同じとする場合について説明した。第三の実施形態では、ホイル41とホイル42とを異なる枚数とした場合について説明する。

また、第一の実施形態においては、図5および図6に示すように $L1 < L2$ に設定し、複数のホイル41で区画された区画空間のコンダクタンスが、複数のホイル42で区画された区画空間のコンダクタンスより大きくなるようにした。これにより、バッファ空間に供給されたArガスが、EUV光入射側(図6の矢印側)の方に流れやすく、EUV光出射側(図6の矢印側)の方に流れにくくし、固定式ホイルトラップ13bのEUV光出射側の圧力が、EUV光入射側と比べてより低くなる傾向とした。

【0063】

本実施形態では、複数のホイル41で区画された区画空間のコンダクタンスを、複数のホイル42で区画された区画空間のコンダクタンスよりも大きくするために、図13に固定式ホイルトラップ13bの上面図を示すように、ホイル42の枚数を、ホイル41の枚数よりも多くしている。

このように設定することにより、バッファ空間43bの中心からホイル41のEUV光入射側端部までの長さ $L1$ と、バッファ空間43bの中心からホイル42のEUV光出射側端部までの長さ $L2$ とが等しい長さ L であっても、第一の実施形態と同様の効果を得ることができる。すなわち、バッファ空間43bにおいて均一化されたArガスは、EUV光入射側(図13の矢印側)の方に流れやすく、EUV光出射側(図13の矢印側)の方には流れにくくすることができる。その結果、固定式ホイルトラップ13bのEUV光入射側の空間43cの圧力をより高くし、EUV光出射側の空間43dの圧力をより低くすることが可能となる。

【0064】

このように、本実施形態における固定式ホイルトラップ13bにおいては、上述した第一の実施形態と同様に、EUV光路上でのガス圧力分布がほぼ均一であり、EUV光通過領域でのガス圧力が十分高く、EUV光出射側のArガス圧力が低いという作用を奏することができる。したがって、回転式ホイルトラップ13aで捕捉しきれなかった高速のデブリの固定式ホイルトラップ13bにおける捕捉確率を向上させることができる。

また、本実施形態における固定式ホイルトラップ13bにおいては、ホイル41とホイル42とのEUV光の光線方向における長さを同じにすることができる。このように、ホイル41とホイル42とを同一形状のホイルとすることができるので、ホイルの製造が容易である。

【0065】

(変形例)

上記各実施形態においては、固定式ホイルトラップを構成するホイルが、固定式ホイルトラップの正面図において等間隔に配置され、上面図においてEUV取出光の光線方向に伸びるように放射状に配置されている場合について説明した。しかしながら、固定式ホイルトラップを構成するホイルの配置は上記に限定されるものではない。

例えば、固定式ホイルトラップは、図14および図15に示す形状であってもよい。すなわち、固定式ホイルトラップを構成するホイル51および52は、所定の仮想軸を中心として半径方向に放射状に配置されたホイルの一部を切り取った形状であってもよい。ここで、上記仮想軸は、例えば、回転式ホイルトラップ13aの回転軸34と一致する軸とすることができる。また、固定枠52は、例えば、上記仮想軸を中心とした円弧を有する扇形とすることができる。なお、固定枠52の外形は任意の形状であってもよい。さらに、複数のホイル51および52は、仮想軸に直交する方向から見た場合、図16に示すよう

10

20

30

40

50

に、仮想軸に対して平行に配置することができる。

この場合にも、複数のホイール 5 1 と複数のホイール 5 2 との間に擬似的なバッファ空間 5 3 b を形成し、ガス導入口 5 3 a を介してバッファ空間 5 3 b に E U V 透明ガスを供給することができるので、第一および第三の実施形態と同様の効果を得ることができる。なお、第二の実施形態のような開口部を有する複数のホイールを配置する構成にも適用可能である。

【 0 0 6 6 】

また、上記各実施形態においては、デブリトラップ 1 3 として回転式ホイールトラップと固定式ホイールトラップとを両方用いる場合について説明したが、固定式ホイールトラップのみを用いてもよい。

さらに、上記各実施形態においては、固定式ホイールトラップを 1 つのみ用いる場合について説明したが、固定式ホイールトラップを複数用いることもできる。この場合、複数の固定式ホイールトラップは、E U V 取出光の主光線方向に並設される。

さらに、上記実施形態においては、E U V 透明ガスを固定式ホイールトラップの上下方向から供給する場合について説明したが、E U V 透明ガスを供給する方向は任意の方向であってよい。また、E U V 透明ガスを固定枠 4 3 の全周方向から供給してもよい。

【 0 0 6 7 】

(応用例)

上記各実施形態においては、高温プラズマ原料に照射するエネルギービームとしてレーザを用いる場合について説明したが、レーザに代えてイオンビームや電子ビーム等を用いることもできる。

また、上記各実施形態においては、D P P 方式の E U V 光源装置に適用する場合について説明したが、L P P 方式の E U V 光源装置にも適用可能である。なお、L P P 方式とは、プラズマ生成用ドライバレーザをターゲット材料に照射し、当該ターゲット材料を励起させてプラズマを生成する方式である。

【 0 0 6 8 】

さらに、上記実施形態においては、E U V 光源装置を露光用マスクの検査装置の光源として用いる場合について説明したが、これに限定されるものではなく、例えば、半導体露光用光源として用いることもできる。この場合、固定式ホイールトラップは、回転式ホイールトラップと同等の大きさとしてもよい。

また、上記実施形態においては、光源装置が E U V 光源装置である場合について説明したが、光源装置は、V U V (真空紫外光) を取り出す V U V 光源装置や、X 線を取り出す X 線発生装置であってもよい。光源装置を V U V 光源装置として機能させる場合、この V U V 光源装置は、基板の表面改質用光源、オゾン発生用光源、基板の貼り合わせ用光源として用いることもできる。

【 0 0 6 9 】

さらに、光源装置を X 線発生装置として機能させる場合、この X 線発生装置は、医療用分野においては、胸部 X 線写真撮影や、歯科 X 線写真撮影、C T (Computer Tomogram) といった用途に用いることもできる。また、この X 線発生装置は、工業用分野においては、構造物や溶接部などの物質内部を観察する非破壊検査、断層非破壊検査といった用途に用いることもできる。さらに、この X 線発生装置は、研究用分野においては、物質の結晶構造を解析するための X 線解析、物質の構成元素を分析するための X 線分光 (蛍光 X 線分析) といった用途に用いることもできる。

【 符号の説明 】

【 0 0 7 0 】

1 1 ... チャンバ、1 3 ... デブリトラップ、1 3 a ... 回転式ホイールトラップ、1 3 b ... 固定式ホイールトラップ、2 1 a , 2 1 b ... 放電電極、2 2 a , 2 2 b ... 高温プラズマ原料、2 3 a , 2 3 b ... コンテナ、2 7 ... パルス電力発供給部、2 8 ... レーザ源、4 0 ... 制御部、3 1 ... ホイール、3 2 ... 中心支柱、3 3 ... 外側リング、4 1 ... ホイール、4 2 ... ホイール、4 3 ... 固定枠、4 3 a ... ガス導入口、4 3 b ... 内部空間 (バッファ空間)、1 0 0 ... 極端紫

10

20

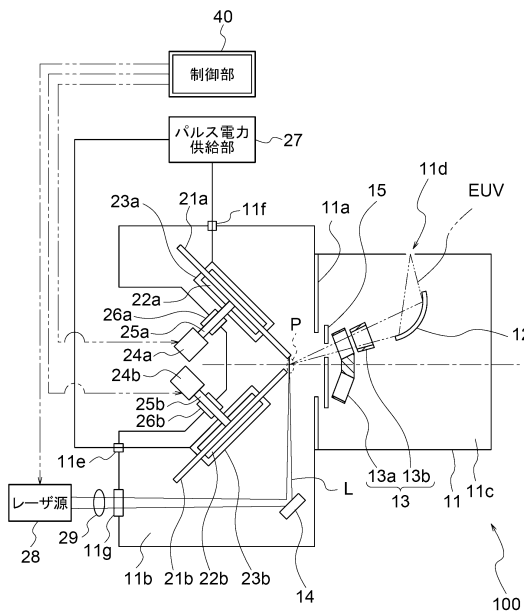
30

40

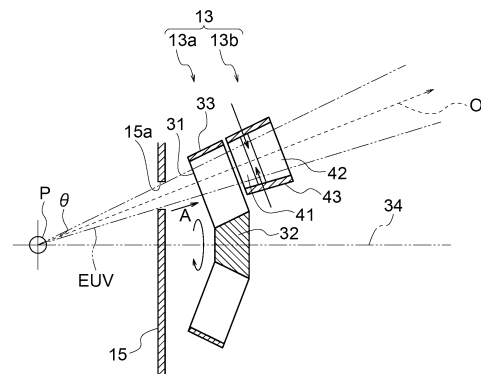
50

外光光源装置 (マスク検査用 EUV 光源装置)

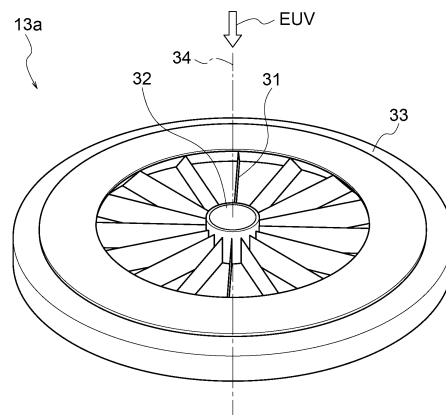
【図 1】



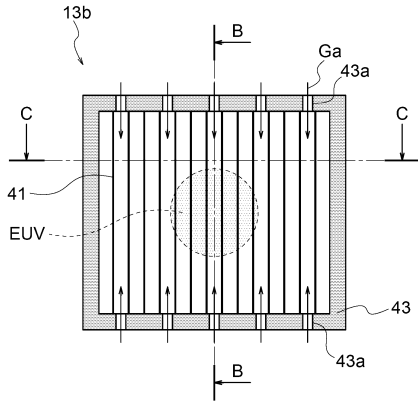
【図 2】



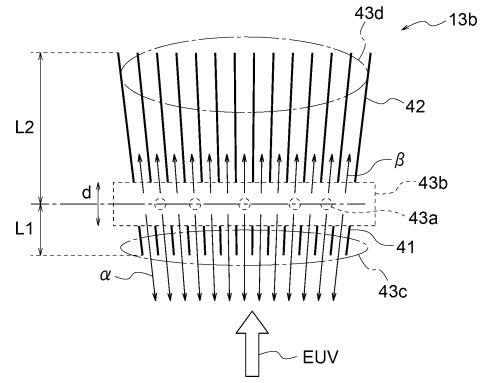
【図 3】



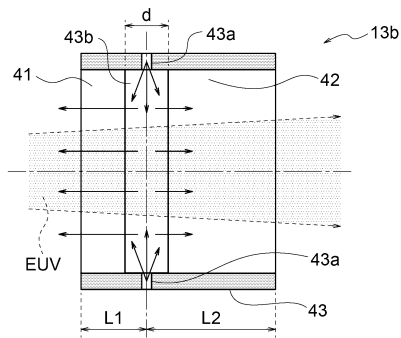
【 図 4 】



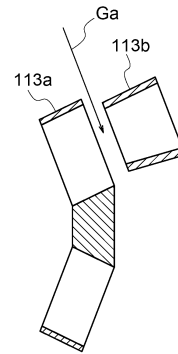
【 図 6 】



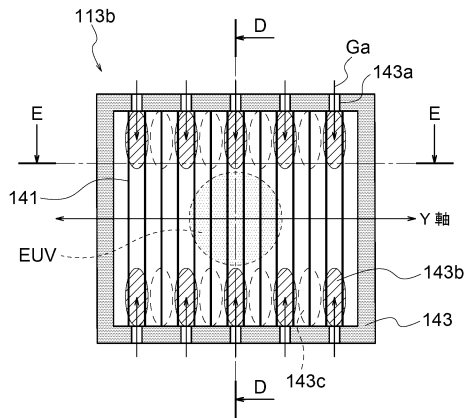
【 図 5 】



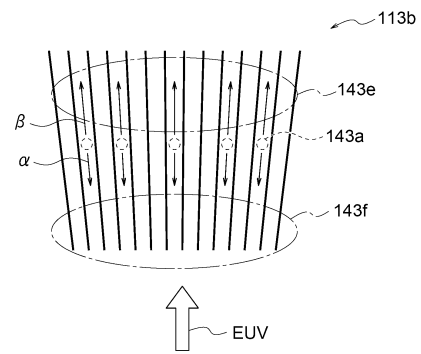
【 図 7 】



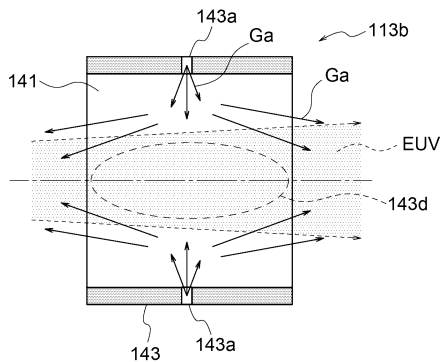
【 図 8 】



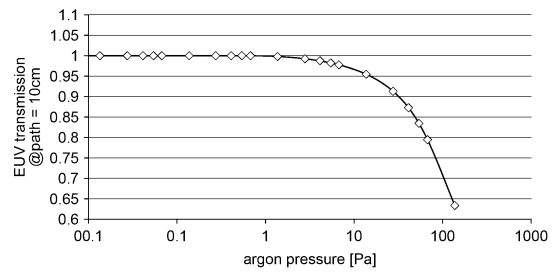
【 図 10 】



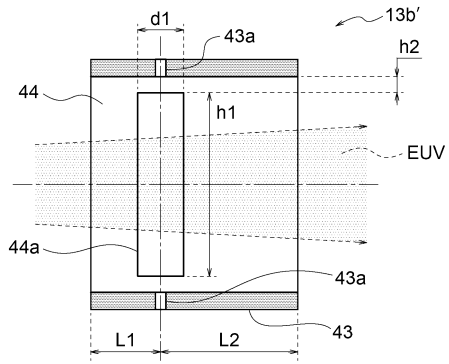
【 図 9 】



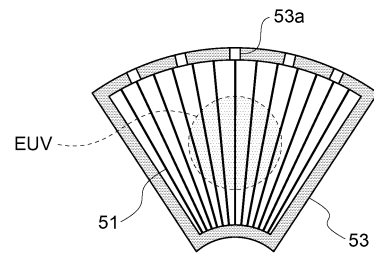
【 図 11 】



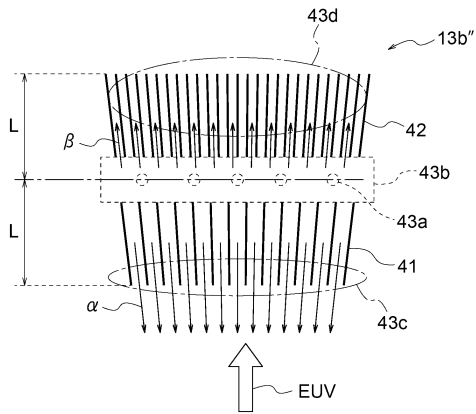
【 図 1 2 】



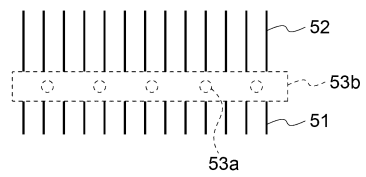
【 図 1 4 】



【 図 1 3 】



【 図 1 5 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2016-082015(JP,A)
特開2006-319328(JP,A)
特表2008-547193(JP,A)
特表2005-505945(JP,A)
特開2009-105442(JP,A)
特開2006-186366(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G03F 7/20 - 7/24
H05H 1/24