(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2025年1月2日(02.01.2025)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2025/004512 A1

(51) 国際特許分類:
G03F 7/20 (2006.01) *H05G 2/00* (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2024/015966

(22) 国際出願日： 2024年4月24日(24.04.2024)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(30) 優先権データ：
特願 2023-107755 2023年6月30日(30.06.2023) JP

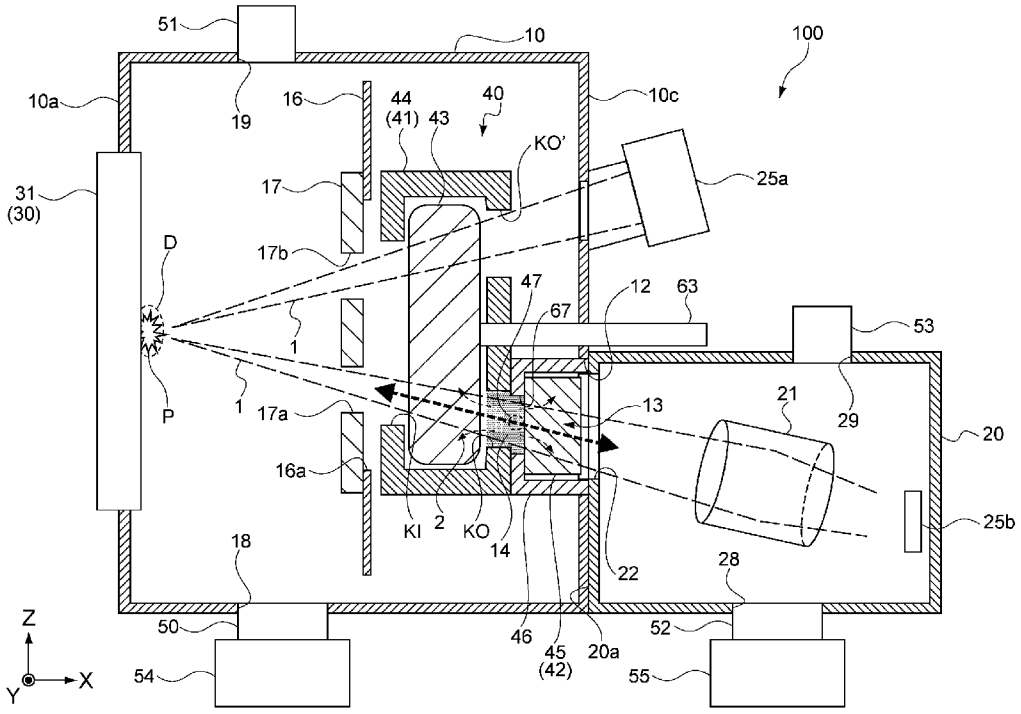
(71) 出願人: ウシオ電機株式会社 (**USHIO DENKI KABUSHIKI KAISHA**) [JP/JP]; 〒1008150 東京都千代田区丸の内一丁目６番５号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 長野 晃尚 (**NAGANO Akihisa**); 〒1008150 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 Tokyo (JP). 信田 和彦 (**SHINODA Kazuhiko**); 〒1008150 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 Tokyo (JP). 佐藤 芙貴 (**SATO Fuki**); 〒1008150 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 Tokyo (JP). 芦澤 則孝 (**ASHIZAWA Noritaka**); 〒1008150 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 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 木村 雅宜 (**KIMURA Masayoshi**); 〒2250004 神奈川県横浜市青葉区元石川町６４０９ Kanagawa (JP).

(54) **Title:** LIGHT SOURCE APPARATUS AND CLEANING METHOD

(54) 発明の名称： 光源装置及びクリーニング方法



(57) **Abstract:** Provided are: a light source apparatus capable of suppressing a change in pressure on a light source side due to a change in pressure on an introduction side of radiation light; and a cleaning method. A light source apparatus according to one embodiment of the present invention is provided with a first vacuum chamber, a light source unit, and a debris reduction device. The light source unit generates plasma which serves as a light source in the first vacuum chamber. The debris reduction device reduces debris dissipated from the plasma. The debris reduction device forms a vacuum path

WO 2025/004512 A1

[続葉有]

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

that allows radiation light emitted from the plasma to pass therethrough, and that connects the first vacuum chamber and a second vacuum chamber into which the radiation light is introduced, and generates a high-pressure region whose pressure is higher than the pressure of the first vacuum chamber and the pressure of the second vacuum chamber so as to block the vacuum path.

(57) 要約:放射光の導入側の圧力の変化による光源側の圧力の変化を抑制することが可能な光源装置及びクリーニング方法を提供すること。 本発明の一形態に係る光源装置は、第１の真空チャンバと、光源部と、デブリ低減装置とを具備する。前記光源部は、前記第１の真空チャンバ内で光源となるプラズマを発生させる。前記デブリ低減装置は、前記プラズマから放散されるデブリを低減するデブリ低減装置であって、前記第１の真空チャンバと前記プラズマから放射される放射光が導入される第２の真空チャンバとをつなぎ前記放射光を通過させる真空路を形成し、前記真空路を遮るように前記第１の真空チャンバの圧力及び前記第２の真空チャンバの圧力よりも圧力が高くなる高圧力領域を発生させる。

明　細　書

発明の名称 ： 光源装置及びクリーニング方法

技術分野

[0001] 本発明は、プラズマを光源に用いた光源装置及びクリーニング方法に関する。

背景技術

[0002] 従来、プラズマを光源として放射光を発生させる光源装置が開発されている。例えばプラズマ原料の種類やプラズマを発生させるための励起エネルギーを適宜選択することで、Ｘ線領域の放射光が得られる。このような放射光のうち、例えば波長の短いＸ線は、Ｘ線写真撮影、非破壊検査、Ｘ線解析、Ｘ線分光等の様々な用途に使用される。また、近年では、軟Ｘ線領域にある波長１３．５ｎｍの極端紫外光（以下、「ＥＵＶ（Extreme Ultra Violet）光」ともいう）が、露光光や検査光として使用されている。

[0003] 一般にＥＵＶ光源装置としては、ＤＰＰ（Discharge Produced Plasma）光源装置、ＬＤＰ（Laser Assisted Discharge Produced Plasma）光源装置、及びＬＰＰ（Laser Produced Plasma）光源装置が挙げられる。

[0004] ＤＰＰ光源装置は、ＥＵＶ放射種を含む気体状のプラズマ原料（放電ガス）が供給された電極間に高電圧を印加して、放電により高密度高温プラズマを生成し、そこから放射される極端紫外光を利用するものである。

[0005] ＬＤＰ光源装置は、ＤＰＰ光源装置が改良されたものであり、例えば、放電を発生させる電極（放電電極）表面にＥＵＶ放射種を含む液体状の高温プラズマ原料（例えば、Ｓｎ（スズ）やＬｉ（リチウム）等）を供給し、当該原料に対してエネルギービーム（例えば、電子ビームやレーザビーム等）を照射して当該原料を気化し、その後、放電によって高温プラズマを生成するものである。

[0006] ＬＰＰ光源装置は、ＥＵＶ放射種をレーザビーム等により励起して高温プラズマを生成するものである。この方式の光源装置としては、ＥＵＶ放射用

ターゲット材料である微小な液滴状に噴出されたスズ（Ｓｎ）、または、リチウム（Ｌｉ）等のドロップレットに対して、レーザ光を集光することにより当該ターゲット材料を励起してプラズマを発生させるものが知られている。また、ＬＰＰ方式の光源装置として、回転体の表面にＥＵＶ放射種を含む液体状の高温プラズマ原料を供給し、回転体の表面にエネルギービーム（レーザビーム）を照射してプラズマを発生さる装置も知られている。

[0007] なお、これらの光源装置で生成されるプラズマからは、デブリが高速で放散される。このデブリには、高温プラズマ原料の粒子や、プラズマの発生に伴いスパッタリングされる放電電極の材料粒子等が含まれる。このようなデブリがＥＵＶ光等の放射光を利用する利用装置に到達すると、利用装置内に設けられた反射膜等の光学素子を損傷することや汚染することが考えられる。このため、光源装置には、プラズマから放散されるデブリが利用装置に侵入しないように、プラズマと利用装置との間でデブリを捕捉するデブリ低減装置（ＤＭＴ（Debris Mitigation Tool）とも言う）が設けられる。

[0008] このように、プラズマを光源として放射光を発生させる光源装置では、プラズマを発生させる光源側の空間の圧力を維持することが重要となる。例えば特許文献１には、アパーチャ部材を用いて光源側の圧力を維持するＤＰＰ方式の光源装置が記載されている。この光源装置では、放電によりプラズマを発生する放電空間とＥＵＶ光集光部が設けられる集光空間との間にアパーチャ部材が設けられる。またアパーチャ部材の下流側には、プラズマからのデブリを低減するためのガスカーテンが形成される。このような構成により、集光空間と放電空間との間で圧力差を維持し、効率よくデブリを低減することが可能となっている（特許文献１の明細書段落［００２７］、［００３３］図１等）。

[0009] ところで、放射光が導入される導入側の空間の圧力については、圧力の変更が求められる場合がある。例えば特許文献２には、極端紫外線等を照射する照射装置において、光線が照射される光学要素をクリーニングする方法が記載されている。この方法では、照射装置の稼働中に、水素やハロゲンを含

む反応相手を光学要素の近傍に供給し、光線によりラジカルとなった反応相手を利用して光学要素に付着したデブリ等がクリーニングされる（特許文献１の明細書段落［０１１４］－［０１１６］図１等）。この方法では、反応相手を供給する場合や供給を停止した場合に、光学要素が設けられた空間の圧力が変化することが考えられる。この他にも、装置のメンテナンスや条件の変更等に応じて放射光の導入側の圧力が変えられる場合があり得る。

先行技術文献

特許文献

[0010] 特許文献1：特開２００７－１７９８８１号公報

特許文献2：特表２００６－５２９０５７号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0011] このように、放射光が導入される導入側の圧力を変更すると、それに伴い、光源側の圧力が変化する可能性がある。この場合、光源側でのプラズマの発生条件等が崩れ、放射光の発光が不安定になるおそれがある。このため、放射光の導入側の圧力の変化による光源側の圧力の変化を抑制する技術が求められている。

[0012] 以上のような事情に鑑み、本発明の目的は、放射光の導入側の圧力の変化による光源側の圧力の変化を抑制することが可能な光源装置及びクリーニング方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0013] 上記目的を達成するため、本発明の一形態に係る光源装置は、第１の真空チャンバと、光源部と、デブリ低減装置とを具備する。

前記光源部は、前記第１の真空チャンバ内で光源となるプラズマを発生させる。

前記デブリ低減装置は、前記プラズマから放散されるデブリを低減するデブリ低減装置であって、前記第１の真空チャンバと前記プラズマから放射さ

れる放射光が導入される第２の真空チャンバとをつなぎ前記放射光を通過させる真空路を形成し、前記真空路を遮るように前記第１の真空チャンバの圧力及び前記第２の真空チャンバの圧力よりも圧力が高くなる高圧力領域を発生させる。

[0014] この光源装置では、デブリ低減装置により、プラズマを発生させる第１の真空チャンバと、プラズマからの放射光が導入される第２の真空チャンバとをつなぐ真空路が形成される。さらに真空路を遮るように、第１の真空チャンバの圧力及び第２の真空チャンバの圧力よりも圧力が高い高圧力領域が形成される。これにより、例えば第２の真空チャンバでの圧力の変化が高圧力領域により吸収される。このため、放射光の導入側の圧力の変化による光源側の圧力の変化を抑制することが可能となる。

[0015] 前記デブリ低減装置は、前記高圧力領域と前記第２の真空チャンバとの間で前記真空路のコンダクタンスを下げるコンダクタンス低減部を有してもよい。

これにより、例えば第２の真空チャンバの圧力に影響を受けずに高圧力領域を維持することが可能となり、導入側の圧力の変化を十分に吸収することが可能となる。

[0016] 前記コンダクタンス低減部は、前記真空路に配置される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を有する固定式ホイルトラップであってもよい。

これにより、固定式ホイルトラップによりデブリを低減することが可能となる。

[0017] 前記デブリ低減装置は、前記高圧力領域と前記第１の真空チャンバとの間に設けられ、前記真空路の経路方向と交差する断面が前記高圧力領域よりも大きい筒状部材を有してもよい。

これにより、例えば高圧力領域の圧力を短い距離で低下させることが可能となり、第１の真空チャンバの圧力に維持することが可能となる。

[0018] 前記デブリ低減装置は、複数のホイルと、前記複数のホイルを放射状に支

持する回転部材とを有する回転式ホイルトラップを有してもよい。この場合、前記筒状部材は、前記回転式ホイルトラップを囲む回転式ホイルトラップカバーであってもよい。

これにより、回転式ホイルトラップによりデブリを低減することが可能となる。

[0019] 前記デブリ低減装置は、前記第２の真空チャンバの圧力が少なくとも前記高圧力領域の圧力以下の範囲で変化する際に、前記第１の真空チャンバの圧力を実質的に変化させなくてもよい。

これにより、例えば第２の真空チャンバの圧力が変化しても、第１の真空チャンバの圧力を十分に維持することが可能となる。

[0020] 前記高圧力領域の圧力は、前記第１の真空チャンバの圧力の６倍以上の圧力であってもよい。

これにより、例えば導入側の圧力の変化を確実に吸収することが可能となる。

[0021] 前記光源装置は、さらに、前記第２の真空チャンバの圧力を変化させるバッファガスを導入する導入口と、前記第２の真空チャンバの圧力を調整する圧力調整機構とを具備してもよい。

これにより、例えば第２の真空チャンバの圧力を容易に調整することが可能となり、様々な運転モードを実現することが可能となる。

[0022] 前記高圧力領域は、前記バッファガスが導入される領域であってもよい。この場合、前記導入口は、前記高圧力領域につながる第１の導入口を含んでもよい。

これにより、例えば高圧力領域を実現しつつ第２の真空チャンバの圧力を変化させることが可能となる。

[0023] 前記光源装置は、さらに、前記第２の真空チャンバを具備してもよい。この場合、前記導入口は、前記第２の真空チャンバに設けられる第２の導入口を含んでもよい。

これにより、例えば第２の真空チャンバの圧力を容易に変化させることが

可能となる。

[0024] 前記バッファガスは、前記放射光により電離する電離ガスであってもよい。この場合、前記光源装置は、通常運転と、前記電離ガスによるクリーニング運転とが可能であってもよい。

これにより、例えば放射光を安定して発生させたまま、第２の真空チャンバに設けられた光学素子等をクリーニングすることが可能となる。

[0025] 前記クリーニング運転は、前記通常運転時の圧力である第１の圧力に維持された第２の真空チャンバに前記電離ガスを導入し、前記第２の真空チャンバの圧力を前記第１の圧力よりも高い第２の圧力まで上昇させ、前記第２の圧力を維持した状態で、前記第２の真空チャンバ内に配置されたターゲットに対し、前記放射光により電離した前記電離ガスによるスパッタを行う運転であってもよい。

これにより、例えば第２の真空チャンバに設けられた光学素子等を所望のレートでスパッタすることが可能となる。

[0026] 前記第２の圧力は、６Ｐａ以上であってもよい。

これにより、例えば所望のレートでのスパッタを行うことが可能となる。

[0027] 前記通常運転時の前記第１の真空チャンバの圧力は、前記放射光が安定する第３の圧力に設定されてもよい。この場合、前記第２の圧力は、前記第３の圧力の３倍以上の圧力であってもよい。

これにより、例えば比較的高いレートでのスパッタを行うことが可能となる。

[0028] 前記電離ガスは、希ガスであってもよい。

これにより、例えば各チャンバ内の部材が電離ガスにより腐食されるといった事態を回避できるとともに、各チャンバから排気されるガスを容易に処理することが可能となる。

[0029] 前記光源装置は、さらに、前記第２の真空チャンバと、前記第２の真空チャンバに設けられ前記放射光の光量を検出する光量モニタとを具備してもよい。この場合、前記通常運転及び前記クリーニング運転は、前記光量モニタ

の検出結果に基づいて切り替えて実行されてもよい。

これにより、例えば光学素子の汚染に合わせてクリーニングを行うことが可能となる。

[0030] 前記圧力調整機構は、前記導入口から導入される前記バッファガスの流量を調整する流量調整バルブ、又は、前記第２の真空チャンバの排気量を調整する排気量調整バルブの少なくとも一方であってもよい。

これにより、例えば第２の真空チャンバの圧力を精度よく調整することが可能となる。

[0031] 前記放射光は、ＥＵＶ光であってもよい。

これにより、例えばメンテナンスが容易で光量が安定したＥＵＶ光源装置を実現することが可能となる。

[0032] 前記光源部は、前記第１の真空チャンバ内に放電領域を挟んで配置された一対の回転電極と、前記一対の回転電極にプラズマ原料を供給する原料供給部と、前記一対の回転電極のうち一方の回転電極の前記放電領域に面した部位に前記プラズマ原料を気化するエネルギービームを入射するエネルギービーム入射部と、前記一対の回転電極に前記エネルギービームにより気化した前記プラズマ原料をプラズマ化する電圧を印加する電圧源とを有してもよい。

[0033] 前記光源部は、前記第１の真空チャンバ内に配置された回転体と、前記回転体にプラズマ原料を供給する原料供給部と、前記回転体に供給された前記プラズマ原料をプラズマ化するエネルギービームを入射するエネルギービーム入射部とを有してもよい。

[0034] 本発明の一形態に係るクリーニング方法は、前記光源装置を用いて行われるクリーニング方法であって、以下の工程を備える。

前記プラズマを発生させた状態で、通常運転時の圧力である第１の圧力に維持された第２の真空チャンバに前記放射光により電離する電離ガスを導入し、前記第２の真空チャンバの圧力を前記第１の圧力よりも高い第２の圧力まで上昇させる圧力上昇工程。

前記第２の圧力を維持した状態で、前記第２の真空チャンバ内に配置されたターゲットに対し、前記放射光により電離した前記電離ガスによるスパッタを行うスパッタ工程。

[0035] これにより、放射光の導入側の圧力の変化による光源側の圧力の変化を抑制することが可能となり、電離ガスを導入してスパッタを行う場合でも安定して放射光を発生させることが可能となる。これにより、第２の真空チャンバに設けられた光学素子等を容易にクリーニングすることが可能となる。

[0036] 前記光源装置は、さらに、前記第２の真空チャンバと、前記第２の真空チャンバに設けられ前記放射光の光量を検出する光量モニタとを有してもよい。この場合、前記光量モニタが検出した光量が第１の閾値よりも低くなった場合に、前記圧力上昇工程と前記スパッタ工程とを実行してもよい。さらに、前記光量モニタが検出した光量が前記第１の閾値以上の第２の閾値よりも高くなった場合に、前記第２の真空チャンバの圧力を前記第１の圧力になるまで下降させる圧力下降工程を備えてもよい。

これにより、例えば光学素子の汚染に合わせてクリーニングを行うことが可能となる。

[0037] 前記スパッタ工程は、前記第２の圧力を維持した状態で、前記放射光の光量を前記通常運転時の前記放射光の光量から変化させる工程を含んでもよい。

これにより、例えばスパッタレート等を細かく制御することが可能となる。

発明の効果

[0038] 以上のように、本発明によれば、放射光の導入側の圧力の変化による光源側の圧力の変化を抑制すること。なお、ここに記載された効果は必ずしも限定されるものではなく、本開示中に記載されたいずれかの効果であってもよい。

図面の簡単な説明

[0039] [図1]本発明の一実施形態に係る光源装置の構成例を示す模式図である。

[図2]光源装置に搭載されたデブリ低減装置の構成例を示す模式図である。

[図3]回転式ホイルトラップの構成例を示す模式的な断面図である。

[図4]回転式ホイルトラップの構成例を示す模式的な正面図である。

[図5]回転式ホイルトラップカバーの構成例を示す模式的な断面図である。

[図6]回転式ホイルトラップカバーの構成例を示す模式的な正面図である。

[図7]固定式ホイルトラップの構成例を示す模式的な断面図である。

[図8]固定式ホイルトラップの構成例を示す模式的な正面図である。

[図9]固定式ホイルトラップカバーの構成例を示す模式的な断面図である。

[図10]固定式ホイルトラップカバーの構成例を示す模式的な正面図である。

[図11]デブリ低減装置の構成例を示す模式的な断面図である。

[図12]光源装置内の圧力のシミュレーション結果を示すグラフである。

[図13]第１の真空チャンバ及び第２の真空チャンバの圧力の関係を示すグラフである。

[図14]スパッタの実験に用いたサンプルの配置例を示す模式図である。

[図15]スパッタレートと圧力との関係を示すグラフである。

[図16]スパッタレートと圧力とサンプル位置との関係を示すグラフである。

[図17]スパッタレートとプラズマの発光周波数との関係を示すグラフである。

[図18]光源装置の動作例を示すフローチャートである。

[図19]スパッタが生じるスパッタ領域について説明する模式図である。

[図20]遮光板を利用した光学系の構成例を示す模式図である。

[図21]遮光板を利用した光学系の他の構成例を示す模式図である。

[図22]ＬＰＰ方式の光源部の構成例を示す模式図である。

[図23]ＬＰＰ方式の光源部の他の構成例を示す模式図である

発明を実施するための形態

[0040] 以下、本発明に係る実施形態を、図面を参照しながら説明する。

[0041] ［光源装置の概要］

図１は、本発明の一実施形態に係る光源装置の構成例を示す模式図である

。図１は、光源装置１００を設置面から所定の高さの位置で水平方向に沿って切断した場合の模式的な断面を、Ｚ方向の正方向側から見た場合の図である。以下、Ｘ方向を左右方向（Ｘ軸の正側が右側、負側が左側）、Ｙ方向を奥行方向（Ｙ軸の正側が手前側、負側が奥側）、Ｚ方向を上下方向（Ｚ軸の正側が上側、負側が下側）として説明を行う。もちろん、本技術の適用について、光源装置１００が使用される向き等が限定される訳ではない。

[0042] 光源装置１００は、ＬＤＰ方式のＥＵＶ光源装置であり、極端紫外光（ＥＵＶ光１）を放射する。ＥＵＶ光１の波長は、例えば１３．５ｎｍである。

[0043] 光源装置１００は、例えば半導体デバイス製造におけるリソグラフィ装置の光源装置、又はリソグラフィに使用されるマスクの検査装置の光源装置として使用可能である。例えば、光源装置１００がマスク検査装置用の光源装置として使用される場合、プラズマＰから放射されるＥＵＶ光１の一部が取り出され、マスク検査装置に導光される。そして、マスク検査装置により、光源装置１００から放射されるＥＵＶ光１を検査光として、マスクのブランクス検査又はパターン検査が行われる。

[0044] 本実施形態では、ＥＵＶ光１は、プラズマから放射される放射光の一例である。なお、放射光の種類は限定されない。本発明は、例えばＥＵＶ光１以外の軟Ｘ線領域の光や、よりエネルギーの高い硬Ｘ線等が放射される場合にも適用可能である。

[0045] 光源装置１００は、第１の真空チャンバ１０、第２の真空チャンバ２０、光源部３０、及びデブリ低減装置４０を有する。第１の真空チャンバ１０は、光源部３０がプラズマＰを発生させる真空チャンバである。第２の真空チャンバ２０は、プラズマＰから放射されるＥＵＶ光１が導入される真空チャンバである。デブリ低減装置４０は、第１の真空チャンバ１０と第２の真空チャンバ２０との間でプラズマＰから放散されるデブリを低減する装置である。

[0046] ［第１の真空チャンバ］

第１の真空チャンバ１０は、光源部３０が有する種々の機構を収容する筐

体である。第１の真空チャンバ１０は、例えば直方体又は円筒型の形状を有し、金属等の剛体により構成される。もちろん第１の真空チャンバ１０の具体的な形状や材料等は限定されない。

[0047] 第１の真空チャンバ１０の内部は、図示しない真空ポンプにより所定圧力以下の減圧雰囲気に維持される。第１の真空チャンバ１０の左側の側壁１０ａには、フィードスルーＦＡ及びＦＢが配置される。フィードスルーＦＡ及びＦＢは、第１の真空チャンバ１０の内部の減圧雰囲気を維持しつつ、第１の真空チャンバ１０の内部に電線等を挿入することを可能とするシール部材である。

[0048] 第１の真空チャンバ１０の手前側の側壁１０ｂには、透明窓１１が配置される。透明窓１１は、後述するレーザビームＬＢに対して透明な材料により構成される。透明窓１１の材料や形状等の具体的な構成は限定されない。また第１の真空チャンバ１０の右側の側壁１０ｃには、第２の真空チャンバ２０と接続するための貫通孔１２が設けられる。また本実施形態では、第１の真空チャンバ１０の内部に、貫通孔１２を覆うようにデブリ低減装置４０が配置される。

[0049] ［第２の真空チャンバ］

第２の真空チャンバ２０は、例えばＥＵＶ光１が入射する光学素子２１等を収容する筐体である。光学素子２１は、例えばＥＵＶ光１を集光するための集光ミラーや、ＥＵＶ光１の光路を曲げるための反射ミラー等である。また例えば、ＥＵＶ光１を利用する利用装置（マスク検査装置やリソグラフィ装置等）と、光源装置とを接続する容器として、第２の真空チャンバ２０が構成されてもよい。第２の真空チャンバ２０は、例えば直方体又は円筒型の形状を有し、金属等の剛体により構成される。もちろん第２の真空チャンバ２０の具体的な形状や材料等は限定されない。

[0050] 第２の真空チャンバ２０の内部は、図示しない真空ポンプにより所定圧力以下の減圧雰囲気に維持される。第２の真空チャンバ２０の左側の側壁２０ａには、第１の真空チャンバ１０の貫通孔１２と連通する貫通孔２２が配置

される。また例えば、第２の真空チャンバ２０には、光学素子２１を通ったＥＵＶ光１を出射する出射口（図示省略）等が適宜設けられる。

[0051] なお、光源装置１００は、必ずしも第２の真空チャンバ２０を備える必要は無い。例えば利用装置側に第２の真空チャンバ２０が設けられてもよい。この場合、ＥＵＶ光１を導入するために利用装置に設けられた真空チャンバ等が、第２の真空チャンバとして用いられる。

[0052] ［光源部］

光源部３０は、第１の真空チャンバ１０内で光源となるプラズマＰを発生させる。光源部３０は、放電モジュール３１、制御部３２、パルス電力供給部３３、レーザ源３４、集光レンズ３５、及び可動ミラー３６を有する。このうち、制御部３２、パルス電力供給部３３、レーザ源３４、集光レンズ３５、及び可動ミラー３６は、第１の真空チャンバ１０の外に設けられる。

[0053] 放電モジュール３１は、第１の真空チャンバ１０内でプラズマＰを発生させるための放電を行うモジュールである。放電モジュール３１は、コンテナＣＡ及びＣＢ、放電電極ＥＡ及びＥＢ、並びにモータＭＡ及びＭＢを有する。このうち、コンテナＣＡ及びＣＢ、放電電極ＥＡ及びＥＢは、第１の真空チャンバ１０の内部に配置される。

[0054] コンテナＣＡ及びＣＢは、プラズマ原料を貯留するための容器である。本実施形態では、コンテナＣＡ及びＣＢは導電性を有する材料により構成される。コンテナＣＡにはプラズマ原料ＳＡが貯留される。また、コンテナＣＢにはプラズマ原料ＳＢが貯留される。プラズマ原料ＳＡ及びＳＢは、加熱された液相の原料である。本実施形態では、プラズマ原料ＳＡ及びＳＢとしてスズ（Ｓｎ）が用いられる。あるいはリチウム（Ｌｉ）等の、プラズマを発生させることが可能な他の原料が用いられてもよい。

[0055] 放電電極ＥＡ及びＥＢは、円板形状を有する。放電電極ＥＡ及びＥＢは、例えばモリブデン（Ｍｏ）、タングステン（Ｗ）またはタンタル（Ｔａ）等の高融点金属により構成される。放電電極ＥＡ及びＥＢの具体的な材料は限定されない。

[0056] 例えば放電電極ＥＡがカソード（陰極）として使用され、放電電極ＥＢがアノード（陽極）として使用される。放電電極ＥＡ及びＥＢは互いに離隔して配置される。また、放電電極ＥＡ及びＥＢは、放電電極ＥＡ及びＥＢの各々の周縁部の一部が近接するように配置される。放電電極ＥＡ及びＥＢの周縁部が互いに最も接近した位置の間隙が、放電電極ＥＡ及びＥＢによる放電領域Ｄとなる。

[0057] また、放電電極ＥＡは、放電電極ＥＡの下部がコンテナＣＡに貯留されたプラズマ原料ＳＡに浸されるように配置される。同様に放電電極ＥＢも、下部がプラズマ原料ＳＢに浸されるように配置される。

[0058] モータＭＡは、放電電極ＥＡを回転させる。モータＭＡは回転軸ＪＡを有する。モータＭＡの基体部は第１の真空チャンバ１０の左側の外部に配置され、基体部に接続された回転軸ＪＡが、第１の真空チャンバ１０の外部から内部に延びる。回転軸ＪＡの第１の真空チャンバ１０の内部側の端部は、放電電極ＥＡの中心（円形面の中心）に接続される。

[0059] 回転軸ＪＡと第１の真空チャンバ１０の壁の間の隙間は、シール部材ＰＡで封止される。シール部材ＰＡとして、例えばメカニカルシールが用いられる。シール部材ＰＡにより、第１の真空チャンバ１０内の減圧雰囲気が維持されつつ、回転軸ＪＡが回転自在に支持される。

[0060] 同様に、モータＭＢは回転軸ＪＢを有し、回転軸ＪＢは放電電極ＥＢの中心に接続される。また、回転軸ＪＢと第１の真空チャンバ１０の壁の間の隙間は、シール部材ＰＢで封止される。

[0061] なお、放電電極ＥＡ及びＥＢは、各々の軸線（回転軸の延在方向）が平行でないように配置される。具体的は、図１に示すように、放電電極ＥＡは手前側（図１の下側）を右側に、奥側（図１の上側）を左側に傾けた状態で配置される。一方で、放電電極ＥＢは手前側を左側に、奥側を右側に傾けた状態で配置される。回転軸ＪＡ及びＪＢの奥行方向（図１の上下方向、Ｚ方向）における間隔も、モータＭＡ及びＭＢ側が狭く、放電電極ＥＡ及びＥＢ側が広くなっている。さらに、放電電極ＥＢ、モータＭＢ及び回転軸ＪＢは、

放電電極ＥＡ、モータＭＡ及び回転軸ＪＡに対して若干左側に配置される。

[0062] 制御部３２は、光源部３０の各部の動作を制御する。例えば制御部３２により、モータＭＡ及びＭＢの回転駆動が制御され、放電電極ＥＡ及びＥＢが所定の回転数で回転する。

また、制御部３２により、パルス電力供給部３３の動作、及びレーザ源３４によるレーザビームの照射タイミング等が制御される。

[0063] 例えばＣＰＵ、ＧＰＵ、ＤＳＰ等のプロセッサ、ＲＯＭやＲＡＭ等のメモリ、ＨＤＤ等の記憶デバイス等、コンピュータの構成に必要なハードウェアを有するコントローラにより、制御部３２が実現される。具体的には、コントローラのＣＰＵが本技術に係るプログラム（例えばアプリケーションプログラム）を実行することで、機能ブロックとして制御部３２が実現される。

[0064] パルス電力供給部３３は、放電電極ＥＡ及びＥＢへパルス電力を供給することにより、放電領域Ｄで放電を発生させる。パルス電力供給部３３には給電線ＱＡ及びＱＢが接続される。給電線ＱＡはフィードスルーＦＡを介して第１の真空チャンバ１０の内部に挿入され、コンテナＣＡに接続される。給電線ＱＢはフィードスルーＦＢを介して第１の真空チャンバ１０の内部に挿入され、コンテナＣＢに接続される。

[0065] レーザ源３４は、プラズマ原料ＳＡ及びＳＢを気化させるエネルギービームを出射する。レーザ源３４は、第１の真空チャンバ１０の外部に配置される。レーザ源３４としては、例えばＮｄ：ＹＶＯ$_4$（Neodymium-doped Yttrium Orthovanadate）レーザ装置が用いられる。この場合、レーザ源３４により、波長１０６４ｎｍの赤外領域のレーザビームＬＢが出射される。もちろん、プラズマ原料ＳＡ及びＳＢを気化させることが可能であれば、レーザ源３４の装置の種類や、照射されるレーザビームＬＢの波長等、レーザ源３４の具体的な構成は限定されない。

[0066] 集光レンズ３５は、第１の真空チャンバ１０の外部の、レーザビームＬＢの光路上に配置される。レーザ源３４により出射されたレーザビームＬＢが集光レンズ３５に入射することで、レーザビームＬＢのスポット径が調整さ

れる。

[0067] 可動ミラー３６は、第１の真空チャンバ１０の外部の、レーザビームＬＢの光路上に配置される。ここでは、可動ミラー３６は、レーザビームＬＢの光路上の、集光レンズ３５の後ろ側に配置される。従って、集光レンズ３５を通過したレーザビームＬＢが、可動ミラーに入射する。

[0068] 可動ミラー３６に入射したレーザビームＬＢは、可動ミラー３６により反射され、第１の真空チャンバ１０の透明窓１１を通過する。そして、第１の真空チャンバ１０の内部の、放電領域Ｄの近傍の放電電極ＥＡの周縁部にレーザビームＬＢが到達する。なお、可動ミラー３６の姿勢を変えることにより、放電電極ＥＡに対するレーザビームＬＢの照射位置を調整することが可能である。

[0069] このように、光源部３０では、第１の真空チャンバ１０内に放電領域Ｄを挟んで放電電極ＥＡ及びＥＢが配置される。また放電電極ＥＡ及びＥＢには、コンテナＣＡ及びＣＢから、プラズマ原料ＳＡ及びＳＢがそれぞれ供給される。本実施形態では、放電電極ＥＡ及びＥＢは、一対の回転電極に相当し、コンテナＣＡ及びＣＢは、原料供給部に相当する。

[0070] またレーザ源３４、集光レンズ３５、及び可動ミラー３６により、放電電極ＥＡ及びＥＢのうち一方の放電電極ＥＡの放電領域Ｄに面した部位にレーザビームＬＢが入射される。これにより、放電電極ＥＡの回転に伴い放電領域Ｄの近傍に輸送された液相のプラズマ原料ＳＡは、気相のプラズマ原料ＳＡとなる。同様に、放電電極ＥＢにより輸送されたプラズマ原料ＳＢも、放電領域Ｄにおいて気相のプラズマ原料ＳＢとなる。本実施形態では、レーザ源３４、集光レンズ３５、及び可動ミラー３６を用いて、エネルギービーム入射部が実現される。また、レーザビームＬＢは、プラズマ原料を気化するエネルギービームに相当する。

[0071] またパルス電力供給部３３により、放電電極ＥＡ及びＥＢにレーザビームＬＢにより気化したプラズマ原料をプラズマ化する電圧（パルス電力）が印加される。これにより、放電電極ＥＡ及びＥＢの間の放電領域Ｄで放電が生

じる。この放電により、放電領域Ｄに存在する気相のプラズマ原料ＳＡ及びＳＢが電流により加熱励起され、プラズマＰが発生する。本実施形態では、パルス電力供給部３３は、電圧源に相当する。

[0072] 放電領域Ｄにおいて発生したプラズマＰからはＥＵＶ光１が放射される。放射されたＥＵＶ光１の一部（右向きの光）は、後述するデブリ低減装置４０を通過して第２の真空チャンバ２０の内部に導入される。図１には、ＥＵＶ光１の光路の一例が、破線の矢印で図示されている。プラズマＰは、本技術に係る光源の一実施形態に相当する。

[0073] なお本実施形態では、第１の真空チャンバ１０の内部は、所定圧力以下の減圧雰囲気に維持されている。これにより、プラズマ原料ＳＡ及びＳＢを加熱励起するための放電を良好に発生させることが可能となる。また、ＥＵＶ光１の減衰を抑制することが可能となる。

[0074] また、プラズマＰからは、ＥＵＶ光１とともにデブリが高速で様々な方向に放散される。デブリには、プラズマ原料ＳＡ、ＳＢであるスズ粒子が含まれる。また、デブリには、プラズマＰの発生に伴いスパッタリングされる放電電極ＥＡ及びＥＢの材料粒子が含まれる。具体的には、デブリには、高速で移動するイオン、中性原子及び電子が含まれる。これらのデブリは、プラズマＰの収縮および膨張過程を経て、大きな運動エネルギーを得る。デブリの一部は、デブリ低減装置４０に向けて放散される。

[0075] ［デブリ低減装置］

図２は、光源装置１００に搭載されたデブリ低減装置４０の構成例を示す模式図である。図２には、光源装置１００をＸＺ平面で切断した場合の断面を、手前側から見た状態が図示されている。なお図２では、放電モジュール３１以外の光源部３０の構成については図示を省略している。また、放電モジュール３１についても、構成を省略して図示している。

[0076] デブリ低減装置４０は、プラズマＰから放散されるデブリを低減する装置である。デブリ低減装置４０は、第１の真空チャンバ１０内で発生したプラズマＰから第２の真空チャンバ２０に向かうＥＵＶ光１の光路と重なるよう

に配置される。また、デブリ低減装置４０は、ＥＵＶ光の光路上でデブリを捕捉するための機構を備える。すなわち、デブリ低減装置４０は、プラズマＰからのＥＵＶ光１を通過させる一方で、プラズマＰからのデブリを捕捉するように構成される。デブリ低減装置４０は、ＤＭＴ（Debris Mitigation Tool）と呼ばれることもある。

[0077] 本実施形態では、デブリを捕捉するための機構として、ホイルトラップ（後述する回転式ホイルトラップ４３及び固定式ホイルトラップ４５）が用いられる。ホイルトラップは、複数のホイルを用いてプラズマＰからのデブリを捕捉するデブリトラップである。ホイルトラップでは、複数のホイルが離間して配置される。このため、ホイルの間を通してＥＵＶ光１を通過させることが可能である。ホイルトラップを用いることで、例えばｍｍサイズの大きなデブリから、原子サイズの小さなデブリまでを捕捉することが可能となる。

[0078] さらに、デブリ低減装置４０は、第１の真空チャンバ１０と第２の真空チャンバ２０とをつなぎＥＵＶ光１を通過させる真空路１３を形成する。ここで、真空路１３とは、例えば２つの独立した真空チャンバをリークさせることなく接続して排気経路を構成する構造のことである。例えば真空路１３でつながる２つの真空チャンバのうち、一方の真空チャンバだけを排気した場合、他方の真空チャンバは必ず真空路１３（排気経路）を介して排気されることになる。

[0079] デブリ低減装置４０の内部には、このような真空路１３が形成される。第１の真空チャンバ１０の内部空間及び第２の真空チャンバ２０の内部空間は、この真空路１３によってリークすることなく連通する。また真空路１３は、ＥＵＶ光１を通過させる通路としても機能する。このため、真空路１３には、少なくともＥＵＶ光１を遮ることなく通過させる直線状の経路が含まれる。ここでは、ＥＵＶ光１が通過する直線状の経路の方向を真空路１３の経路方向と記載する。図２には、真空路１３の経路方向が点線の矢印を用いて模式的に図示されている。

[0080] さらにデブリ低減装置４０は、真空路１３を遮るように第１の真空チャンバ１０の圧力及び第２の真空チャンバ２０の圧力よりも圧力が高くなる高圧力領域１４を発生させる。

ここで真空路１３を遮る領域とは、例えば真空路１３の経路方向と交差するような真空路１３の断面を完全に覆うような領域を意味する。従って、真空路１３を通過するには、必ず高圧力領域１４を通過する必要がある。デブリ低減装置４０は、このような高圧力領域１４を真空路１３の途中に発生させることが可能なように構成される。図２には、高圧力領域１４となる部分が、ドットを用いたハッチングの領域により模式的に図示されている。

[0081] 高圧力領域１４は、上記したように第１の真空チャンバ１０及び第２の真空チャンバ２０のどちらの圧力よりも、内部の圧力を高く維持することが可能な領域である。すなわち、高圧力領域１４では、バッファガス２（雰囲気ガス）の圧力（密度）を各真空チャンバの圧力よりも高くすることができる。デブリ低減装置４０は、基本的に高圧力領域１４が発生した状態で用いられる。

[0082] 例えば、一方の真空チャンバの圧力が変化したとする。この場合、高圧力領域１４があることで、その圧力の変化が吸収される。このため、一方の真空チャンバの圧力の変化が他方の真空チャンバに伝わりにくくなる。すなわち、高圧力領域１４は、第１の真空チャンバ１０の圧力と、第２の真空チャンバ２０の圧力とを分離する領域であるともいえる。

[0083] 高圧力領域１４を形成するための構成として、デブリ低減装置４０には、筒状部材４１と、コンダクタンス低減部４２とが設けられる。

[0084] 筒状部材４１は、真空路１３となる空間を囲む筒状の部材であり、高圧力領域１４と第１の真空チャンバ１０との間に設けられる。筒状部材４１は、高圧力領域１４に接続される開口部（回転式ホイルトラップカバー４４の出射側開口部ＫＯ）と、第１の真空チャンバ１０に接続される開口部（回転式ホイルトラップカバー４４の入射側開口部ＫＩ）とを有し、真空路１３を形成する。

[0085] 筒状部材４１としては、真空路１３の経路方向と交差する断面が高圧力領域１４よりも大きい部材が用いられる。つまり、筒状部材４１は、第１の真空チャンバ１０側で高圧力領域１４が形成する真空路１３の太さを拡大する部材である。このような構成により、高圧力領域１４から筒状部材４１側に流出するバッファガス２は、後述する回転式ホイルトラップ４３に巻き込まれながら広い空間に拡散され、第１の真空チャンバ１０を排気する真空ポンプ（第１の真空ポンプ５４）により排気される。このため、例えば高圧力領域１４の圧力を短い距離で低下させることが可能となる。すなわち、筒状部材４１を通過する間に真空路１３の圧力が急激に低下する。これにより、第１の真空チャンバ１０の圧力は、高圧力領域１４の圧力の影響をほとんど受けることなく維持される。

[0086] コンダクタンス低減部４２は、高圧力領域１４と第２の真空チャンバ２０との間で真空路１３のコンダクタンスを下げる部材である。コンダクタンス低減部４２は、真空路１３を形成する筒状の構造を持ち、高圧力領域１４に接続される開口部（固定式ホイルトラップ４５の入射端）と、第２の真空チャンバ２０に接続される開口部（固定式ホイルトラップ４５の出射端）とを有する。これら２つの開口部の間には、他の真空路１３と比べて真空のコンダクタンスを低下させる部材が配置される。

[0087] 真空のコンダクタンスとは、バッファガス２の流れやすさを表すパラメータであり、例えば排気抵抗の逆数に対応する。コンダクタンスが低いほど排気抵抗は高くなり、バッファガス２は流れにくくなる。従って、コンダクタンス低減部４２は、バッファガス２を流れにくくする部材であると言える。コンダクタンス低減部４２を設けることで、第２の真空チャンバ２０と高圧力領域１４との間でバッファガス２が流れにくくなる。この結果、第２の真空チャンバ２０の圧力に影響を受けずに高圧力領域１４を維持することが可能となり、導入側の圧力の変化を十分に吸収することが可能となる。

[0088] ここで、デブリを捕捉するための構成について説明する。図２に示すように、デブリ低減装置４０は、回転式ホイルトラップ４３と、回転式ホイルト

ラップカバー４４と、固定式ホイルトラップ４５と、固定式ホイルトラップカバー４６とを有する。

[0089] 回転式ホイルトラップ４３は、複数のホイルを回転させて複数のホイルがデブリと能動的に衝突する作用を加えたホイルトラップである。回転式ホイルトラップ４３は、ＲＦＴ（Rotating Foil Trap）ともいう。回転式ホイルトラップカバー４４は、回転式ホイルトラップ４３の外周を覆うように構成された筒状のカバーである。回転式ホイルトラップ４３及び回転式ホイルトラップカバー４４は、第１の真空チャンバ１０側に配置される。

[0090] 固定式ホイルトラップ４５は、複数のホイルの位置が固定されたホイルトラップである。固定式ホイルトラップ４５は、ＳＦＴ（Static Foil Trap）ともいう。固定式ホイルトラップカバー４６は、固定式ホイルトラップ４５を覆うカバーである。固定式ホイルトラップカバー４６は、固定式ホイルトラップ４５を回転式ホイルトラップカバー４４に接続する部材としても機能する。なお、回転式ホイルトラップカバー４４と固定式ホイルトラップカバー４６とが必ずしも完全につながっている必要はなく、例えば、高圧力領域１４の圧力を維持することが可能な範囲であれば、多少隙間が存在していてもよい。固定式ホイルトラップ４５及び固定式ホイルトラップカバー４６は、第２の真空チャンバ２０側に配置される。

[0091] 上記した真空路１３、筒状部材４１、及びコンダクタンス低減部４２は、デブリを捕捉するためのこれらの構成を利用して実現される。本実施形態では、回転式ホイルトラップカバー４４、固定式ホイルトラップカバー４６、及び固定式ホイルトラップ４５を接続して構成される中空の領域が、真空路１３となる。また、回転式ホイルトラップカバー４４が、筒状部材４１として機能する。また、固定式ホイルトラップ４５が、コンダクタンス低減部４２として機能する。従って、回転式ホイルトラップカバー４４から固定式ホイルトラップ４５までの空間に高圧力領域１４が形成される。各ホイルトラップ等の具体的な構成については後に詳しく説明する。

[0092] ［バッファガスの導入口］

光源装置１００には、バッファガス２を導入する導入口４７が設けられる。バッファガス２は、第２の真空チャンバ２０の圧力を変化させるガスとして機能する。バッファガス２の導入口４７は、一つだけ設けられてもよいし、複数の導入口４７が設けられてもよい。導入口４７には、バッファガス２を通す配管が接続され、配管にはバッファガス２の流量を調整する流量調整バルブが取付けられる。

[0093] 本実施形態では、高圧力領域１４は、デブリ低減装置４０においてバッファガス２が導入される領域であり、デブリ低減装置４０には、高圧力領域１４につながる導入口４７が設けられる。これにより、高圧力領域１４に対して直接バッファガス２が供給され、高圧力領域１４の圧力を高い状態で容易に維持することが可能となる。この導入口４７は、例えば固定式ホイルトラップカバー４６に設けられる。図２では、高圧力領域１４につながる導入口４７が点線の円により模式的に図示されている。本実施形態では、高圧力領域１４につながる導入口４７は、第１の導入口に相当する。

[0094] また、第２の真空チャンバ２０にバッファガスの導入口（図示省略）が設けられてもよい。この場合、第２の真空チャンバ２０に対して直接バッファガス２が供給されるため、第２の真空チャンバ２０の圧力を容易に変化させることが可能となる。本実施形態では、第２の真空チャンバ２０に設けられる導入口は、第２の導入口に相当する。

[0095] このように、光源装置１００は、ＥＵＶ光１（プラズマＰ）が発生する第１の真空チャンバ１０と、ＥＵＶ光１を利用するための光学素子等が収容された第２の真空チャンバ２０とを、デブリ低減装置４０が形成する真空路１３を介して接続した構造を備える。またデブリ低減装置４０（高圧力領域１４）、又はデブリ低減装置４０よりも下流側（第２の真空チャンバ２０側）に、バッファガス２の導入口４７が設けられる。

[0096] バッファガス２としては、希ガスが用いられる。典型的には、バッファガス２は、アルゴンガスである。アルゴンガスは、他の原子との化合物を構成しにくい不活性ガスである。従ってアルゴンガスは、例えば水素ガスやハロ

ゲンガス等の活性ガスと異なり、チャンバ内の金属等を腐食するといった心配がない。また、アルゴンガスは、不活性化等の処理をしなくても排気することが可能であるため、活性ガスを排気するような場合と比べて、排気システムの小型化や低コスト化が可能である。

[0097] さらに、ＥＵＶ領域の光は、アルゴン原子（Ａｒ）を励起および電離させることが知られている。そのため、ＥＵＶ光１を照射することでアルゴンプラズマを生成することが可能となる。このように、アルゴンガス（バッファガス２）は、ＥＵＶ光１により電離する電離ガスである。この現象を利用して、光源装置１００では、後述するクリーニング運転等が行われる。

[0098] なお、アルゴン原子は、１３．５ｎｍの波長に関しても若干の吸収があるものの、３０ｎｍ－８０ｎｍの光と比べると、吸収量が一桁低い。このため、アクティニック波長となる１３．５ｎｍの減衰は少なく、アルゴンガスをバッファガス２として用いた場合でも十分な光量を確保することが可能である。

[0099] ［仕切り板］

図２に示すように、第１の真空チャンバ１０には、デブリ低減装置４０と放電モジュール３１との間に、第１の仕切り板１６及び第２の仕切り板１７が設けられる。

[0100] 第１の仕切り板１６は、デブリ低減装置４０（回転式ホイルトラップカバー４４）よりも平面サイズが大きい板状の部材であり、デブリ低減装置４０のプラズマＰに向けられる側を覆うように配置される。第１の仕切り板１６は、第２の仕切り板１７が取付けられる開口部１６ａを有する。第１の仕切り板１６は、例えば液相のプラズマ原料の蒸気（ここではスズ蒸気）が、デブリ低減装置４０側の空間や第２の真空チャンバ２０等に回り込むことを制限する。

[0101] 第２の仕切り板１７は、第１の仕切り板１６に設けられた開口部１６ａを覆う板状の部材であり、第１の仕切り板１６のプラズマＰに向けられる側に固定される。第２の仕切り板１７は、第２の真空チャンバ２０に導入するＥ

ＵＶ光１を通す開口部１７ａと、所定の計測機器（第１の光量モニタ２５ａ）に導入するＥＵＶ光１を通す開口部１７ｂとを有する。第２の仕切り板１７は、放電により発生するプラズマＰからデブリ低減装置４０に加わる熱負荷を低減するとともに、デブリ低減装置４０に向かうデブリ量を制限する。

[0102] ［排気システム］

図２に示すように、光源装置１００は、第１の真空チャンバ１０に接続された第１の真空バルブ５０及び第１の真空計５１と、第２の真空チャンバ２０に接続された第２の真空バルブ５２及び第２の真空計５３を有する。

[0103] 第１の真空チャンバ１０には、排気孔１８と、計測孔１９とが設けられる。第１の真空バルブ５０は、排気孔１８に接続され、第１の真空チャンバ１０を第１の真空ポンプ５４につなぐバルブである。第１の真空計５１は、計測孔１９に接続され、第１の真空チャンバ１０の圧力を検出する。また、第２の真空チャンバ２０には、排気孔２８と、計測孔２９とが設けられる。第２の真空バルブ５２は、排気孔２８に接続され、第２の真空チャンバ２０を第２の真空ポンプ５５につなぐバルブである。第２の真空計５３は、計測孔２９に接続され、第２の真空チャンバ２０の圧力を検出する。

[0104] このように、光源装置１００は、第１の真空チャンバ１０及び第２の真空チャンバ２０は、それぞれが個別に排気される。また各真空チャンバをつなぐ真空路１３には、上記した高圧力領域１４が形成され、バッファガスの流れが制限される。これにより、第１の真空チャンバ１０及び第２の真空チャンバ２０は、真空路１３で接続されているものの、それぞれの内部空間を独立に排気する差動排気が可能となる。

[0105] 本実施形態では、主に第２の真空チャンバ２０の圧力が調整される。このため、光源装置１００には、第２の真空チャンバ２０の圧力を調整する圧力調整機構が設けられる。圧力調整機構は、例えば第２の真空チャンバ２０から流出するバッファガス２の量、又は、第２の真空チャンバ２０に流入するバッファガス２の量を調節する機構である。

[0106] 例えば、導入口４７から導入されるバッファガス２の流量を調整する流量

調整バルブ（図示省略）が、圧力調整機構として用いられる。この場合、例えばバッファガス２の流量を増やすことで第２の真空チャンバ２０に流入するバッファガス２の流量が増え、第２の真空チャンバ２０の圧力を上昇させることが可能である。

[0107] また例えば、第２の真空チャンバ２０の排気量を調整する第２の真空バルブ５２が、圧力調整機構として用いられる。この場合、例えば排気量を減らすことで第２の真空チャンバ２０から流出するバッファガス２の流量が減り、結果として第２の真空チャンバ２０の圧力を上昇させることが可能である。本実施形態では、第２の真空バルブ５２は、排気量調整バルブに相当する。

[0108] なお、圧力調整機構として、バッファガスの流量調整バルブと、第２の真空バルブ５２との両方が用いられてもよいし、どちらか一方が用いられてもよい。また、第２の真空チャンバ２０の圧力を調整可能な機構であれば、上記以外の機構が用いられもよい。圧力調整機構を用いることで、例えば第２の真空チャンバの圧力を容易に調整することが可能となり、様々な運転モードを実現することが可能となる。

[0109] ［光量モニタ］

光源装置１００は、ＥＵＶ光１の光量を検出する光量モニタを有する。ここでは、第１の光量モニタ２５ａと、第２の光量モニタ２５ｂとが設けられる。第１の光量モニタ２５ａは、第１の真空チャンバ１０の右側の側壁１０ｃに接続され、回転式ホイルトラップ４３を通過したＥＵＶ光１を検出する。従って、第１の光量モニタ２５ａは、プラズマＰからのＥＵＶ光１の光量、すなわちプラズマＰの発光強度を検出するセンサとして機能する。

[0110] 第２の光量モニタ２５ｂは、第２の真空チャンバ２０に設けられＥＵＶ光１の光量を検出する。例えば、光学素子２１（ここでは筒形の集光ミラー）を通過したＥＵＶ光が照射される位置に第２の光量モニタ２５ｂが設けられる。これに限定されず、例えば反射ミラー等を使って分岐させたＥＵＶ光１を検出してもよい。これにより、第２の光量モニタ２５ｂは、集光ミラーや

反射ミラーを介して導光されたＥＵＶ光１の光量を検出することが可能となる。

[0111] 例えば集光ミラーや反射ミラーの表面がデブリにより汚染されると、ＥＵＶ光の反射率が低下し、集光されるＥＵＶ光１や反射されるＥＵＶ光１の光量が低下する。従って、第２の光量モニタ２５ｂの検出結果は、集光ミラーや反射ミラーの汚染の度合いを表すパラメータとして機能する。この点を利用して、第２の光量モニタ２５ｂの検出結果は、クリーニング運転を行うかどうかの判定に用いられる。

[0112] ［デブリ低減装置の各部の構成］

以下では、デブリ低減装置４０を構成する各部の構成について具体的に説明する。

[0113] ［回転式ホイルトラップ］

図３は、回転式ホイルトラップ４３の構成例を示す模式的な断面図である。図４は、回転式ホイルトラップ４３の構成例を示す模式的な正面図である。図３及び図４に示すように、回転式ホイルトラップ４３は、複数のホイル（ブレード）Ｆと、中心支柱６０と、外側リング６１とを有する。また中心支柱６０は、回転軸を中心に回転する軸部材６３に接続される。

[0114] 複数のホイルＦは、薄膜または薄い平板である。中心支柱６０は、複数のホイルＦを放射状に支持する部材である。外側リング６１は、中心支柱６０に同心に配置され、中心支柱６０から放射状に延びる各ホイルＦの先端に接続される。本実施形態では、中心支柱６０は、回転部材に相当する。各ホイルＦは、ほぼ等しい角間隔をおいて中心支柱６０の周りに放射状に配置される。この時、各ホイルＦは、中心支柱６０の中心軸線Ｃ０を含む平面上にある。回転式ホイルトラップ４３の材料は、例えば、タングステン（Ｗ）またはモリブデン（Ｍｏ）などの高融点金属である。

[0115] 図４に示すように、回転式ホイルトラップ４３の複数のホイルＦは、プラズマＰ（発光点）から第２の真空チャンバ２０に向かうＥＵＶ光１を遮らないように、ＥＵＶ光１の光線方向に平行に配置される。すなわち、各ホイル

Ｆが中心支柱６０の中心軸線Ｃ０を含む平面上に配置された回転式ホイルトラップ４３は、中心支柱６０の中心軸線Ｃ０の延長線上にプラズマＰ（発光点）が存在するように配置される（図１１参照）。これにより、中心支柱６０および外側リング６１を除けば、ＥＵＶ光は各ホイルＦの厚みの分のみ遮光され、回転式ホイルトラップ４３を通過するＥＵＶ光１の割合（透過率ともいう）を最大にすることが可能となる。

[0116] ［回転式ホイルトラップカバー］

図５は、回転式ホイルトラップカバー４４の構成例を示す模式的な断面図である。図６は、回転式ホイルトラップカバー４４の構成例を示す模式的な正面図である。回転式ホイルトラップカバー４４は、回転式ホイルトラップ４３の外周部を包囲して、回転式ホイルトラップ４３から飛散するデブリを捕集する。回転式ホイルトラップカバー４４を設けることで、回転式ホイルトラップ４３により捕捉されたデブリが第１の真空チャンバ１０の内部に飛散するのを防止することが可能となる。

[0117] 以下では、ＥＵＶ光１が入射する側（プラズマＰに向けられる側）を入射側と記載し、その反対側を出射側と記載する。回転式ホイルトラップカバー４４は、入射側開口部ＫＩ、出射側開口部ＫＯ、及び出射側開口部ＫＯ’を備える。

[0118] 入射側開口部ＫＩは、回転式ホイルトラップ４３に入射するＥＵＶ光が遮光されない位置に設けられる。出射側開口部ＫＯは、第２の仕切り板１７の開口部１７ａを通過して入射側開口部ＫＩに侵入するＥＵＶ光１が遮光されない位置に設けられる。出射側開口部ＫＯを通過したＥＵＶ光１は、第２の真空チャンバ２０に導入される光となる。出射側開口部ＫＯ’は、第２の仕切り板１７の開口部１７ｂを通過して入射側開口部ＫＩに侵入するＥＵＶ光１が遮光されない位置に設けられる。出射側開口部ＫＯ’を通過したＥＵＶ光１は、第１の光量モニタ２５ａに導入される光となる。

[0119] また回転式ホイルトラップカバー４４の出射側の面には、回転式ホイルトラップ４３の回転軸となる軸部材６３を通す貫通孔６４が設けられる。なお

貫通孔６４の端部は、例えば第１の真空チャンバ１０の内壁等に接続され、解放端にはならない。また回転式ホイルトラップカバー４４の下部には、デブリを排出するための排出管６５が設けられる。

[0120] 回転式ホイルトラップ４３により捕捉されたデブリの少なくとも一部は、遠心力により回転式ホイルトラップ４３のホイルＦ上を径方向に移動し、ホイルＦの端部から離脱して、回転式ホイルトラップカバー４４の内面に付着する。回転式ホイルトラップカバー４４は、図示しない加熱手段（カバー加熱部）や、ＥＵＶ光の放射に伴う輻射によって加熱され、当該加熱により回転式ホイルトラップカバー４４の内面に付着したデブリは固化せず、液相状態を保持する。回転式ホイルトラップカバー４４の内面に付着したデブリは、重力により回転式ホイルトラップカバー４４の下部に集まり、排出管６５を介して回転式ホイルトラップカバー４４の外に排出されて廃原料となる。廃原料となったデブリは、図示しないデブリ収容部に収容される。

[0121] 回転式ホイルトラップカバー４４の内部空間は、回転式ホイルトラップ４３を収容することが可能なサイズである。これは、第２の真空チャンバ２０につながる出射側開口部ＫＯの直径に比べて、十分に大きいサイズとなる。このように、出射側開口部ＫＯから見ると、真空路１３となる空間の広さ（経路方向と交差する断面積）が急激に広がることになる。これに加え、回転式ホイルトラップの回転の効果も相まって、バッファガス２の圧力を急激に低下させることが可能となっている。

[0122] ［固定式ホイルトラップ］

図７は、固定式ホイルトラップ４５の構成例を示す模式的な断面図である。図８は、固定式ホイルトラップ４５の構成例を示す模式的な正面図である。固定式ホイルトラップ４５は、複数のホイルＦを固定したホイルトラップＦＴであり、回転式ホイルトラップ４３の下流側に配置され、回転式ホイルトラップ４３を通過したデブリを捕捉する。固定式ホイルトラップ４５は、第１の真空チャンバ１０の貫通孔１２から取り出されるＥＵＶ光１の光線束（ＥＵＶ取出光）が通る中心経路を基準に配置される。中心経路は、例えば

プラズマＰの発光点と貫通孔１２の中心点とを結ぶ経路である。

[0123] 図７は、ＥＵＶ光の中心経路に沿って固定式ホイルトラップ４５を切断した図である。

また図８は、ＥＵＶ光の中心経路の方向から固定式ホイルトラップ４５を見た図である。

図７および図８に示すように、固定式ホイルトラップ４５は、真空路１３に配置される複数のホイルＦと、複数のホイルＦを固定する固定枠６６とを備える。本実施形態では、固定枠６６は、固定部材に相当する。

[0124] 図８に示すように、複数のホイルＦは、ＥＵＶ光１の中心経路の方向から見て、それぞれ等間隔に配置される。また、固定枠６６は、例えば、正面から見て矩形状となっている。なお、固定枠６６の外形は、任意の形状であってよい。さらに、複数のホイルＦは、図７に示すように、中心経路に沿って切断した断面では、ＥＵＶ光の光線方向に伸びるように放射状に配置される。

[0125] 固定式ホイルトラップ４５の複数のホイルＦは、固定式ホイルトラップ４５が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る働きをする。例えば固定式ホイルトラップ４５には、高圧力領域１４からバッファガス２が供給される。

バッファガス２は、固定式ホイルトラップ４５を流れにくいため、ホイルＦの間に滞留しやすくなる。

[0126] 回転式ホイルトラップ４３で捕捉できなかった高速のデブリは、固定式ホイルトラップ４５に滞留したガスとの衝突確率が上がるために速度が低下する。また、ガスとの衝突によりデブリの進行方向も変わる。固定式ホイルトラップ４５は、このようにして速度が低下して進行方向が変わったデブリを、ホイルＦまたは固定枠６６により捕捉する。このように、回転式ホイルトラップ４３と固定式ホイルトラップ４５とを設けることで、デブリを十分に捕捉することが可能となる。

[0127] また、固定式ホイルトラップ４５は、そのコンダクタンスが低いため、第

２の真空チャンバ２０へのバッファガス２の流出、及び、第２の真空チャンバ２０からのバッファガス２の流入を制限する。これにより、例えば高圧力領域１４のバッファガス２が漏れにくくなるとともに、第２の真空チャンバ２０の圧力変化も、高圧力領域１４の圧力に影響を与えにくくなる。これにより、第２の真空チャンバ２０の圧力に係わらず、高圧力領域１４を維持することが可能となる。

[0128] ［固定式ホイルトラップカバー］

図９は、固定式ホイルトラップカバーの構成例を示す模式的な断面図である。図１０は、固定式ホイルトラップカバーの構成例を示す模式的な正面図である。固定式ホイルトラップカバー４６は、固定式ホイルトラップ４５を包囲するカバーであり、固定式ホイルトラップ４５を回転式ホイルトラップカバー４４に接続する部材である。固定式ホイルトラップカバー４６は、開口部６７及び導入口４７が設けられた支持板６８と、支持板６８の外縁からＥＵＶ光１出射側に延びる包囲部６９とを有する。

[0129] 支持板６８は、固定式ホイルトラップ４５が固定される板である。包囲部６９は、固定式ホイルトラップ４５の側面を囲むように形成される。支持板６８に設けられた開口部６７は、ＥＵＶ光１の入射口である。また支持板６８の内部には、開口部６７と連通するように、バッファガス２を導入するための導入口４７が設けられる。ここでは、開口部６７を挟んで互いに反対側となる位置に２つの導入口４７が設けられる。導入口４７からバッファガス２が供給されることで、開口部６７を構成する空間は、高圧力領域１４となる。

[0130] 図１１は、デブリ低減装置４０の構成例を示す模式的な断面図である。図１１に示すデブリ低減装置４０は、上記した回転式ホイルトラップ４３、回転式ホイルトラップカバー４４、固定式ホイルトラップ４５、及び固定式ホイルトラップカバー４６を組み立てて構成される。

[0131] 具体的には、回転式ホイルトラップカバー４４の内部に、回転式ホイルトラップ４３が配置される。また回転式ホイルトラップカバー４４の後方には

、出射側開口部ＫＯと開口部６７とが重なるように、固定式ホイルトラップカバー４６の支持板６８が接続される。

また固定式ホイルトラップカバー４６の内部では、支持板６８の開口部６７を覆うように固定式ホイルトラップ４５の固定枠６６が接続される。また、固定式ホイルトラップカバー４６の後端は、図示しないフランジ等を介して、第２の真空チャンバ２０の貫通孔２２に接続される。

[0132] このような構成により、デブリ低減装置４０内部の高圧力領域１４を通る真空路１３により、第１の真空チャンバ１０と第２の真空チャンバ２０とが接続される。以下では、デブリ低減装置４０を用いた場合の、光源装置１００内の圧力について具体的に説明する。

[0133] ［光源装置内の圧力］

図１２は、光源装置内の圧力のシミュレーション結果を示すグラフである。このシミュレーションには、図１１に示すデブリ低減装置４０のモデルを形成し、モデルにおける圧力の分布を算出した。図１２には、ＥＵＶ光１の中心経路Ｏに沿った圧力のプロファイルを図示している。グラフの横軸は、中心経路Ｏに沿った距離である。ここでは、プラズマＰから第２の真空チャンバ２０内の測定端までの距離Ｄに対する相対距離を用いている。

グラフの縦軸は、各位置での圧力［Ｐａ］である。

[0134] またグラフ上の点Ｏａは、プラズマＰの発生位置に対応する。点Ｏｂは、真空路１３の入射端（回転式ホイルトラップカバー４４の入射側開口部ＫＩ）に対応する。点Ｏｃは、高圧力領域１４（支持板６８の開口部６７）に対応する。点Ｏｄは、真空路１３の出射端（固定式ホイルトラップ４５の後端）に対応する。

[0135] 図１２には、第２の真空チャンバ２０の圧力Ｐ２を０．７Ｐａに設定した場合の圧力プロファイル（実線のグラフ）と、Ｐ２を５Ｐａに設定した場合の圧力プロファイル（点線のグラフ）とが示されている。なお、いずれのグラフにおいても第１の真空チャンバ１０を排気する第１の真空ポンプ５４の排気量およびバッファガス２の流量は一定値に設定してシミュレーションを

行った。結果として第１の真空チャンバ１０の圧力Ｐ１は３Ｐａになった。

[0136] 例えば、点Ｏｃを中心とする斜線の領域では高い圧力が維持される。この斜線の領域が、高圧力領域１４である。例えば回転式ホイルトラップカバー４４の入射側開口部ＫＩと、固定式ホイルトラップカバー４６の開口部６７とが形成する領域が、高圧力領域１４となる。このシミュレーションから、Ｐ２＝０．７Ｐａとした場合に、点Ｏａ近傍の圧力に対して高圧力領域１４の圧力Ｐｈは１８Ｐａ以上になる。

[0137] 高圧力領域１４から第２の真空チャンバ２０側の点Ｏｄまでは、固定式ホイルトラップ４５が設けられ、圧力が略一様に低下する。また、高圧力領域１４から第１の真空チャンバ１０側の点Ｏｂまでは、回転式ホイルトラップ４３を含む回転式ホイルトラップカバー４４が設けられるが、この場合も点Ｏｂにかけて圧力が低下する。なお圧力の勾配が屈曲している部分は、回転式ホイルトラップ４３の入射側の端部に対応する。点Ｏｂに至るまでの圧力の減少は、回転式ホイルトラップカバー４４内にバッファガス２が急激に広がることで生じる。

[0138] ここで、第２の真空チャンバ２０の圧力Ｐ２が０．７Ｐａである状態から、Ｐ２が５Ｐａである状態に圧力が増加したとする。高圧力領域１４の圧力Ｐｈは、Ｐ２の増加に伴い多少増加する。ここでは、Ｐｈの増加量は、０．５Ｐａ程度であり、Ｐ２の増加量（４．３Ｐａ）に比べると１／８程度となる。このように、Ｐｈの変化量は、Ｐ２の変化量に比べて十分に小さい。つまり、第２の真空チャンバ２０の圧力Ｐ２の変化は、高圧力領域１４と回転式ホイルトラップ４３でのガス拡散効果により、ほとんど吸収されてしまい、第１の真空チャンバ１０には伝わりにくい。

[0139] さらに、Ｐ２が増加しても、高圧力領域１４から第１の真空チャンバ１０側の圧力の分布はほとんど変化しない。例えば点Ｏａから点Ｏｂまでの圧力（プラズマＰからデブリ低減装置４０の入射端までの圧力）は、Ｐ２の増減に係わらず略一定（３Ｐａ程度）である。これは、第２の真空チャンバ２０の圧力Ｐ２によらず、第１の真空チャンバ１０の圧力Ｐ１が略一定であるこ

とを意味する。

[0140] このように、デブリ低減装置４０では、真空路１３を遮るように高圧力領域１４を発生させることで、Ｐ１とＰ２とを分離することが可能となる。この結果、ＥＵＶ光の導入側の圧力Ｐ２の変化による光源側の圧力Ｐ１の変化を抑制することが可能となる。

[0141] またデブリ低減装置４０でのデブリ捕捉能力を踏まえて、高圧力領域１４の圧力Ｐｈは、第１の真空チャンバ１０の圧力Ｐ１の６倍以上の圧力に設定することが好ましい。これにより、プラズマＰからのデブリを十分に捕捉しつつ、第１の真空チャンバ１０の圧力Ｐ１を確実に維持することが可能となる。

[0142] 図１３は、第１の真空チャンバ１０及び第２の真空チャンバ２０の圧力の関係を示すグラフである。図１３には、光源装置１００において実測した第１の真空チャンバ１０の圧力Ｐ１と、第２の真空チャンバ２０の圧力Ｐ２との関係が示されている。グラフの縦軸はＰ１であり、横軸はＰ２である。ここでは、Ｐ１がおよそ２Ｐａとなるように第１の真空チャンバ１０の排気量を一定にした状態で、第２の真空チャンバ２０の圧力Ｐ２を変化させた。

[0143] 図１３のグラフに示すように、第２の真空チャンバ２０の圧力Ｐ２を２０Ｐａ以下の範囲で変化させても、第１の真空チャンバ１０の圧力Ｐ１は２Ｐａ前後の値を示すことがわかった。すなわち、デブリ低減装置４０を挟んで下流側は、圧力が高いにも関わらず、プラズマＰが発生している上流側の空間の圧力は設定値からほとんど変化しない。つまり、第２の真空チャンバ２０の圧力Ｐ２の高い・低いにかかわらず、プラズマＰが発生している第１の真空チャンバ１０の圧力Ｐ１を一定にできていることが分かった。

[0144] また図１３に示す圧力を測定する際には、高圧力領域１４に供給されるバッファガス２の流量を図１２に示すシミュレーションで用いた流量と同程度に設定した。このため、高圧力領域１４の圧力Ｐｈは、２０Ｐａ程度となっている。従って、デブリ低減装置４０は、第２の真空チャンバの圧力Ｐ２が少なくとも高圧力領域Ｐｈの圧力以下の範囲で変化する際に、第１の真空チ

ャンバ１０の圧力を実質的に変化させないと言える。これにより、例えば第２の真空チャンバの圧力が変化しても、第１の真空チャンバの圧力を十分に維持することが可能となる。

[0145] ［ＥＵＶ光とバッファガスによるスパッタ］

ここまでは、主に、光源装置１００における圧力の特性について説明した。以下では、光源装置１００においてＥＵＶ光１とバッファガス２により生じるスパッタについて説明する。

[0146] 一般に、ＥＵＶ光１を扱う光学系は、プラズマＰから放散されるデブリや、炭素系の付着物（カーボンコンタミ）により汚染され、性能が低下する可能性がある。またチャンバ内を飛翔する高速のデブリが光学系に衝突することで、光学系の表面に設けられた反射膜等が削られる可能性もある。この対策として、高速のデブリについては、例えばバッファガス２と衝突させて低減する方法が知られている。また光学系に付着したデブリやカーボンコンタミは、活性ガス等のラジカルを利用して除去する方法が知られている。

[0147] 本発明者は、バッファガス２であるアルゴンガスの圧力分布と、デブリ低減装置４０（ＤＭＴ）とを利用して、デブリ低減装置４０より下流の光学素子２１等を保護する方法を検討した。この方法は、例えば、低速のデブリを回転式ホイルトラップ４３で捕捉し、高速のデブリをバッファガス２で減速して固定式ホイルトラップ４５で捕捉するものである。

[0148] 一方で、デブリ低減装置４０により捕捉されなかったデブリが、第２の真空チャンバ２０に侵入することもあり得る。この場合、デブリ低減装置４０の下流の光学素子２１に高速のデブリが衝突して光学素子２１がスパッタされるといった可能性がある。そこで、デブリによる光学素子２１のスパッタが抑制されることを期待して、光学素子２１の周辺のアルゴンガスの圧力（第２の真空チャンバ２０の圧力）を上げたところ、逆に光学素子２１に対するスパッタが促進されることが分かった。

[0149] このように、本発明者は、アルゴンガスを導入することでスパッタが生じる点を見出した。これは、ＥＵＶ光１により電離（イオン化）したアルゴン

ガスが光学素子２１に衝突することで、光学素子２１の表面がスパッタされたものと考えられる。例えば、ＥＵＶ光１が照射されることでアルゴンガスが電離してプラズマ（ＥＵＶ誘起プラズマ）が形成される。ＥＵＶ誘起プラズマが形成されると、アルゴンイオンが光学素子２１に向かって加速され、光学素子２１の表面にイオンが衝突してスパッタが発生する。イオンが加速される原因としては、ＥＵＶ誘起プラズマと光学素子２１との間に電位差が生じているためであると考えられる。このように、バッファガス２として、ＥＵＶ光１により電離する電離ガス（ここではアルゴンガス）を用いることで、電離ガスによるスパッタを実現することができる。以下では、スパッタの実験結果について説明する。

[0150] ［スパッタの実験］

図１４は、スパッタの実験に用いたサンプルの配置例を示す模式図である。図１４Ａ及び図１４Ｂに示すように、実験ではデブリ低減装置４０の下流側に配置されるステージ２６上にスパッタ用のサンプル２７を配置した。ここでは、ルテニウム（Ｒｕ）の薄膜を形成したサンプル２７として、サンプル２７に対するスパッタレートを測定した。ルテニウムの薄膜は、例えばＥＵＶ光１を反射する反射面等に用いられる材料である。

[0151] 図１４Ａでは、ＥＵＶ光１の中心経路Ｏに対してステージ２６の傾斜角度を約２０°に設定した。またＥＵＶ光１を放射するプラズマＰが発生する第１の真空チャンバ１０の圧力Ｐ１（デブリ低減装置４０の図中左側のエリアの圧力）は、約２Ｐａとした。またサンプル２７が配置される第２の真空チャンバ２０の圧力Ｐ２（デブリ低減装置４０の図中左側のエリアの圧力）は、約０．５Ｐａから約１１Ｐａの範囲で設定した。

[0152] また図１４Ａに示すように、ステージ２６には、ＥＵＶ光１が照射されるように５つのサンプル２７を配置した。以下では、これらのサンプル２７をプラズマＰに近い側から順番に、Ｓａｍｐｌｅ１、Ｓａｍｐｌｅ２、Ｓａｍｐｌｅ３、Ｓａｍｐｌｅ４、Ｓａｍｐｌｅ５と記載する。プラズマＰとＳａｍｐｌｅ１のプラズマＰ側の端部との距離は、約３５ｃｍとした。またＳａ

ｍｐｌｅ１～Ｓａｍｐｌｅ５の間隔は約５ｃｍとした。

[0153] 図１４Ｂでは、ＥＵＶ光１の中心経路Ｏに対してステージ２６の傾斜角度を約２５°から約４５°の間で設定した。また第１の真空チャンバ１０の圧力Ｐ１は、図１４Ａと同様に約２Ｐａとした。また第２の真空チャンバ２０の圧力Ｐ２は、約１３Ｐａから約１９Ｐａの範囲で設定した。ステージ２６には、ＥＵＶ光１が照射されるように１つのサンプル２７（Ｓａｍｐｌｅ６と記載する）を配置した。プラズマＰとＳａｍｐｌｅ６のプラズマＰ側の端部との距離は、図１４ＡのＳａｍｐｌｅ１の場合と同様に、約３５ｃｍとした。

[0154] 図１５は、スパッタレートと圧力との関係を示すグラフである。グラフの横軸は、第２の真空チャンバ２０の圧力Ｐ２［Ｐａ］である。また、グラフの縦軸は、スパッタレートである。なおスパッタレートの単位には、ｎｍ／Ｇｐｕｌｓｅを用いている。これはプラズマＰの発光回数（電力パルスの回数）が１×１０^{9}回である場合にスパッタされる膜厚（ｎｍ）を表している。

[0155] 図１５に示す各ポイントのうち、右端のポイント以外は、図１４Ａに示すＳａｍｐｌｅ１について、スパッタレートを評価したものであり、傾斜角が約２０°での結果である。

また、右端のポイントは、図１４Ｂに示すＳａｍｐｌｅ６について、傾斜角を約２５°に設定してスパッタレートを評価した結果である。なお、いずれのポイントも、プラズマＰからの距離は、約３５ｃｍとした。

[0156] 図１５に示すように、第２の真空チャンバ２０の圧力Ｐ２が、６Ｐａ以下の場合には、ルテニウム薄膜に対するスパッタレートは、圧力を変えても大きく変化せず、およそ５ｎｍ／Ｇｐｕｌｓｅ以下となる。これに対し、Ｐ２が６Ｐａ以上になると、圧力の増加に伴い、スパッタレートが上昇することが確認された。

[0157] 図１６は、スパッタレートと圧力とサンプル位置との関係を示すグラフである。図１６には、図１４Ａに示す５つのサンプル２７（Ｓａｍｐｌｅ１～Ｓａｍｐｌｅ５）について、第２の真空チャンバ２０の圧力Ｐ２を０．７Ｐ

ａ、２．０Ｐａ、５．５Ｐａ、及び１１Ｐａにした場合のスパッタレートが角柱を用いた棒グラフにより図示されている。なお、Ｐ２＝１１Ｐａの条件については、Ｓａｍｐｌｅ１、Ｓａｍｐｌｅ３、及びＳａｍｐｌｅ５のデータだけを示している。

[0158] 例えば、Ｓａｍｐｌｅ１についてのスパッタレートは、Ｐ２が５．５Ｐａまでの範囲ではスパッタレートが低いが、Ｐ２＝１１Ｐａの場合には、それまでの値と比べスパッタレートが大幅に増大する。同様に、Ｓａｍｐｌｅ３及びＳａｍｐｌｅ５についても、Ｐ２が５．５Ｐａ以下の範囲では、スパッタレートが低いが、Ｐ２＝１１Ｐａの場合には、スパッタレートの大幅な増大が見られる。ここから、図１５に示すデータと同様に、一定の圧力以下では、十分なスパッタレートが得られず有意なスパッタが生じないことがわかる。

[0159] また例えば、Ｐ２＝０．７Ｐａの場合、プラズマＰに近いＳａｍｐｌｅ１でスパッタレートが最も大きく、プラズマＰから離れるほどスパッタレートが低下し、例えばＳａｍｐｌｅ５ではスパッタレートは略０となる。すなわち、プラズマＰから離れるほどスパッタレートが低下することがわかる。これは、スパッタレートが全体に低い他の圧力（Ｐ２＝２．０ＰａやＰ２＝５．５Ｐａ）でも同様である。またスパッタレートが増大する圧力（Ｐ２＝１１Ｐａ）でも、プラズマＰから離れるほどスパッタレートが低下する。ここから、圧力Ｐ２に関係なく、プラズマＰからの距離が大きいほどスパッタレートが低下することがわかる。

[0160] 図１７は、スパッタレートとプラズマの発光周波数との関係を示すグラフである。図１７には、プラズマＰ（ＥＵＶ光１）の発光周波数に対するスパッタレートの周波数依存性を示す。ここでは、図１４Ｂに示すＳａｍｐｌｅ６について、発光周波数を３０００Ｈｚ及び６０００Ｈｚにしてスパッタレートを測定した。なお、第２の真空チャンバ２０の圧力Ｐ２は約１３Ｐａとし、サンプル２７の傾斜角は約２５°とした。

[0161] 図１７に示すように、発光周波数が３０００Ｈｚの場合に比べ、６０００

Ｈｚの場合には、スパッタレートが上昇した。すなわち、発光周波数に応じてスパッタレートが上昇することが確認できた。一般に、発光周波数を上げると、ＥＵＶ光１の平均パワー（光量）が増加し、ＥＵＶ光１により電離するアルゴンの総数、すなわち、ＥＵＶ光１により生成されたアルゴンイオンの総数が増加する。図１７では、このような理由でスパッタレートが上昇したものと考えられる。

[0162] 例えば、発光周波数を低く設定している場合、Ｐ２の値を発光周波数が高い場合と同じ圧力に設定するとスパッタの速度が遅くなる。このような場合には、Ｐ２を高くして、クリーニングのスピードを確保することができる。逆に、Ｐ２の調整が難しい場合等には、発光周波数を調整して、スパッタレートを変えることもできる。

[0163] ［スパッタによるクリーニング運転］

ＥＵＶ光１により電離した電離ガス（バッファガス２）によるスパッタ現象は、光源装置１００においては第２の真空チャンバ２０に設けられた光学素子２１の表面を削る効果がある。すなわち、スパッタを利用することで、光学素子２１に付着したデブリやカーボンコンタミを除去し、光学素子２１をスパッタクリーニングすることが可能となる。

[0164] 本発明者は、この点に着目し、光源装置１００に対して、ＥＵＶ光１を利用装置等に供給する通常運転に加え、バッファガス２である電離ガスによるクリーニング運転を行う機能を持たせた。すなわち、光源装置１００は、通常運転と、クリーニング運転とが可能である。

[0165] 通常運転は、例えばプラズマＰ（ＥＵＶ光１）を安定的に発生させて、利用装置等にＥＵＶ光１を供給する運転である。すなわち通常運転は、光源装置１００の本来の目的であるＥＵＶ光１の光源としての動作を行う運転である。以下では、通常運転時の第２の真空チャンバ２０の圧力Ｐ２を通常圧力Ｐ２ｎと記載する場合がある。本実施形態では、通常圧力Ｐ２ｎは第１の圧力に相当する。

[0166] 通常運転時の第１の真空チャンバ１０の圧力Ｐ１は、ＥＵＶ光１が安定す

る圧力Ｐ０に設定される。Ｐ０は、典型的にはプラズマＰが安定して生成される圧力であり、例えば２Ｐａ程度である。なおＰ０の具体的な値は限定されない。例えばプラズマ原料の種類や、放電の条件等に応じて、プラズマＰを安定して生成可能な圧力がＰ０に設定されてよい。

本実施形態では、ＥＵＶ光１が安定する圧力Ｐ０は、第３の圧力に相当する。

[0167] クリーニング運転は、通常運転とは異なり、スパッタによる光学素子のクリーニングを行う運転である。光源装置１００では、通常運転とクリーニング運転とが適宜切り換えて実行される。以下では、クリーニング運転時の第２の真空チャンバ２０の圧力Ｐ２をクリーニング圧力Ｐ２ｃと記載する場合がある。本実施形態では、クリーニング圧力Ｐ２ｃは、第２の圧力に相当する。

[0168] 上記したように光源装置１００では、第１の真空チャンバ１０の圧力Ｐ１を維持したまま、第２の真空チャンバ２０の圧力Ｐ２（光学素子２１の周辺の圧力）だけを変えることが可能である。この特性を利用することで、プラズマＰ側の圧力Ｐ１を変えずに、光学素子２１に対するスパッタ量をコントロールすることが可能となる。

[0169] 例えば第２の真空チャンバ２０に設けられた光学素子２１が光源であるプラズマＰより飛来するデブリ等で汚染された場合には、第１の真空チャンバ１０において光源の点灯動作を行ったまま、第２の真空チャンバ２０の圧力Ｐ２を変化させることで、光学素子２１に付着したデブリ等をスパッタ現象により削り、光学素子２１をクリーニングすることが可能である。このように、光源装置１００では、例えばＥＵＶ光１を安定して発生させたまま、第２の真空チャンバ２０に設けられた光学素子２１等をクリーニングすることができる。

[0170] 図１５及び図１６等を参照して説明したように、バッファガス２によるスパッタは、第２の真空チャンバ２０の圧力Ｐ２が一定の圧力よりも高い場合に発生する。従ってその圧力よりも低い圧力では、スパッタはほとんど生じ

ない。このため、通常圧力Ｐ２ｎには、スパッタが生じない圧力を設定し、クリーニング圧力Ｐ２ｃには、Ｐ２ｎよりも高く、有意なスパッタが生じる圧力を設定することになる。

[0171] すなわちクリーニング運転は、通常運転時の圧力である通常圧力Ｐ２ｎに維持された第２の真空チャンバ２０にバッファガス２を導入し、第２の真空チャンバ２０の圧力を通常圧力Ｐ２ｎよりも高いクリーニング圧力Ｐ２ｃまで上昇させ、クリーニング圧力Ｐ２ｃを維持した状態で、第２の真空チャンバ２０内に配置された光学素子２１に対し、ＥＵＶ光１により電離したバッファガス２によるスパッタを行う運転である。

[0172] このように、クリーニング運転では、第２の真空チャンバ２０の圧力Ｐ２を通常圧力Ｐ２ｎからクリーニング圧力Ｐ２ｃに上昇させてスパッタが行われる。この方法では、例えば第２の真空チャンバ２０の排気量等を調整するだけで、容易にクリーニング運転を行うことが可能である。

[0173] なお、第２の真空チャンバ２０の圧力が変化する場合でも、デブリ低減装置４０の高圧力領域１４の作用により、第１の真空チャンバ１０の圧力Ｐ１はほとんど変化せず、ＥＵＶ光１が安定する圧力Ｐ０に維持される。従って、クリーニング運転を開始する場合や、通常運転に戻る場合において、第１の真空チャンバ１０の排気量等を調整する必要は無い。

[0174] 本実施形態では、クリーニング圧力Ｐ２ｃは、６Ｐａ以上に設定される。例えば図１５を参照すると、６Ｐａ以上であれば、スパッタレートが圧力に応じて上昇することがわかる。従って、６Ｐａ以上の範囲でクリーニング圧力Ｐ２ｃを設定することで、例えば所望のスパッタレートでのスパッタを行うことが可能となる。

[0175] またクリーニング圧力Ｐ２ｃは、第１の真空チャンバ１０に設定されるＥＵＶ光１が安定する圧力Ｐ０の３倍以上の圧力に設定されることが好ましい。例えばＰ２ｃがＰ０と同程度の圧力では、十分なスパッタレートを実現することが難しいが、３倍以上の圧力とすることで比較的高いスパッタレートを実現することができる。これにより、光学素子２１のクリーニング時間を

短縮するといったことが可能となる。

[0176] 一方で、第２の真空チャンバ２０の通常圧力Ｐ２ｎは、例えばＥＵＶ光１が安定する圧力Ｐ０と同程度の圧力に設定される。この場合、スパッタレートを十分に下げることが可能であり、通常運転時には有意なスパッタが生じないような状態を維持することができる。これにより、通常運転中に不必要に光学素子２１がスパッタされるといった事態を回避することが可能となる。

[0177] クリーニング運転では、第２の真空チャンバ２０をクリーニング圧力Ｐ２ｃに維持した状態で、光学素子２１がスパッタされる。例えばクリーニング圧力Ｐ２ｃに応じたスパッタレートと、目的とするスパッタ量とに基づいてスパッタ時間が算出される。そしてスパッタ時間だけ、クリーニング圧力Ｐ２ｃが維持される。あるいは、光学素子２１の特性（反射光の光量等）が汚染前の状態に戻るまで、クリーニング圧力Ｐ２ｃを維持するといったことも可能である。

[0178] またスパッタ工程には、クリーニング圧力Ｐ２ｃを維持した状態で、ＥＵＶ光１の光量を通常運転時のＥＵＶ光１の光量から変化させる工程が含まれてもよい。例えば、図１７を参照して説明したように、ＥＵＶ光１の光量（平均パワー）を変化させた場合にもスパッタレートの調整が可能である。従って、この工程では、ＥＵＶ光１の光量を変化させることが可能な任意のパラメータが調整される。

[0179] 例えば、図１７の場合と同様に、発光周波数を調整してもよい。この場合、スパッタレートを増加させる場合には、発光周波数を増加させればよい。また、レーザビームＬＢの照射強度を調整してもよいし、放電電極ＥＡ及びＥＢに印加するパルス電力（充電エネルギー）を調整してもよい。レーザビームの照射強度やパルス電力は、その値を増加させることで、スパッタレートを増加させることが可能である。

[0180] また、スパッタ工程において、スパッタレートを変化させる他の条件が適宜変更されてもよい。例えば、光学素子２１の位置をプラズマに近づけるこ

とで、スパッタレートを増加させてもよい。また、図１４Ａ及び図１４Ｂでの実験から、サンプル２７の傾斜角度を変えることでスパッタレートを調整できることがわかった。すなわち、スパッタレートを調整するために、光学素子２１等に対するＥＵＶ光１の照射角度を調整してもよい。この場合、照射角度を浅くすることで、スパッタレートを下げることができる。この他、スパッタ工程において調整されるパラメータの種類は限定されない。

[0181] ［光源装置の動作］

図１８は、光源装置１００の動作例を示すフローチャートである。図１８に示す処理は、本実施形態に係るクリーニング方法を実行するための処理である。以下では、第２の真空チャンバ２０に設けられた光学素子２１をクリーニングする場合を例に挙げて説明する。

[0182] クリーニング運転を行うかどうかの判定には、光学素子２１を通過したＥＵＶ光１の光量を検出する第２の光量モニタ２５ｂ（図２参照）の検出結果が用いられる。すなわち、図１８に示す処理では、通常運転及びクリーニング運転が、第２の光量モニタ２５ｂの検出結果に基づいて切り替えて実行される。

[0183] 図１８に示す処理は、光源装置１００のコントローラ等を用いて自動的に行われてもよい。この場合、第２の光量モニタ２５ｂの検出結果をもとに、圧力等が自動的に制御される。また、光源装置１００のユーザが第２の光量モニタ２５ｂの検出結果を確認することで、圧力等の制御を手動で行うようにしてもよい。また第２の光量モニタ２５ｂの検出結果を読み込んだコントローラから、ユーザに対してクリーニング運転を行うための指示を出力するようにしてもよい。

[0184] まず、通常運転が実行される（ステップ１０１）。通常運転では、第１の真空チャンバ１０の圧力Ｐ１は、ＥＵＶ光１を安定する圧力Ｐ０に設定される。また第２の真空チャンバ２０の圧力Ｐ２は、通常圧力Ｐ２ｎに設定される。これにより、安定したＥＵＶ光１を利用装置等に供給することができる。

[0185] 次に、クリーニング運転を開始するか否かが判定される（ステップ１０２）。具体的には、第２の光量モニタ２５ｂが検出した光量（光学素子２１を通過したＥＵＶ光１の光量）が、所定の閾値（開始判定閾値）よりも低いか否かが判定される。開始判定閾値は、例えば通常運転において利用装置等に供給されるＥＵＶ光１の光量の下限値である。この他、開始判定閾値の設定方法は限定されない。本実施形態では、開始判定閾値は、第１の閾値に相当する。

[0186] 例えば光量が開始判定閾値以上である場合、光学素子２１の汚れは許容できる範囲であるとして、クリーニング運転を開始しないと判定される（ステップ１０２のＮｏ）。この場合、ステップ１０１に戻り通常運転が継続される。

[0187] 一方、光量が開始判定閾値よりも低い場合、光学素子２１の汚れは許容できないレベルに達したものとして、クリーニング運転を開始すると判定される（ステップ１０２のＹｅｓ）。この場合、第２の真空チャンバ２０の圧力を上昇させる圧力上昇工程が実行される（ステップ１０３）。

[0188] 圧力上昇工程は、プラズマＰを発生させた状態で、通常運転時の圧力である通常圧力Ｐ２ｎに維持された第２の真空チャンバ２０にＥＵＶ光１により電離する電離ガス（バッファガス２）を導入し、第２の真空チャンバ２０の圧力Ｐ２を通常圧力Ｐ２ｎよりも高いクリーニング圧力Ｐ２ｃまで上昇させる工程である。例えば、第２の真空チャンバ２０の排気量が少なくして、Ｐ２＝Ｐ２ｃとなるように第２の真空バルブ５２が調整される。また例えば、第２の真空チャンバ２０に流入するバッファガス２の流量が増加するように流量調整バルブが調整されてもよい。

[0189] 第２の真空チャンバ２０の圧力がクリーニング圧力に到達すると、光学素子２１をスパッタするスパッタ工程が実行される（ステップ１０４）。スパッタ工程は、クリーニング圧力Ｐ２ｃを維持した状態で、第２の真空チャンバ２０内に配置されたターゲットである光学素子２１に対し、ＥＵＶ光１により電離したバッファガス２によるスパッタを行う工程である。ここでは、

第２の真空チャンバ２０をクリーニング圧力Ｐ２ｃに維持することで、Ｐ２ｃに応じたスパッタレートで、光学素子２１の表面がスパッタされ、デブリ等が除去される。

[0190] また、スパッタ工程では、クリーニング圧力Ｐ２ｃを維持した状態で、ＥＵＶ光１の光量を通常運転時のＥＵＶ光１の光量から変化させる工程（光量調整工程）が実行されてもよい。光量調整工程は、例えば所望のスパッタレートが得られるように、ＥＵＶ光１の光量を変化させることが可能なパラメータ（ＥＵＶ光１の発光周波数、レーザビームＬＢの輝度、及びパルス電力等）を調整する工程である。

[0191] 光量調整工程を導入することで、例えばクリーニング圧力Ｐ２ｃだけではスパッタレートの調整が難しいような場合でも、所望のスパッタレートを実現することが可能となる。

なお、スパッタレートを調整する方法は限定されない。例えば光学素子２１の位置（プラズマＰからの距離）や、姿勢（ＥＵＶ光１の照射角度）等が調整されてもよい。

[0192] このように、図１８に示す処理では、第２の光量モニタ２５ｂが検出した光量が開始判定閾値よりも低くなった場合に、圧力上昇工程とスパッタ工程とが実行される。これにより、光学素子２１のクリーニングが必要になったタイミングで、クリーニング運転（圧力上昇工程及びスパッタ工程）を行うことが可能となる。また不必要なクリーニング運転を回避することも可能となる。

[0193] スパッタ工程が実行されると、クリーニング運転を終了するか否かが判定される（ステップ１０５）。具体的には、第２の光量モニタ２５ｂが検出した光量が、所定の閾値（終了判定閾値）よりも高いか否かが判定される。終了判定閾値は、上記した開始判定閾値以上の値に設定される。本実施形態では、終了判定閾値は、第２の閾値に相当する。

[0194] 例えば通常運転において利用装置等に供給されるＥＵＶ光１の光量の適正値が終了判定閾値に設定される。これによりＥＵＶ光１の光量を適正値に戻

すことが可能となる。あるいは、ＥＵＶ光１の光量の上限値が終了判定閾値に設定されてもよい。また、開始判定閾値と同じ値が終了判定閾値に設定されてもよい。この他、終了判定閾値の設定方法は限定されない。

[0195] 第２の光量モニタ２５ｂが検出した光量が終了判定閾値よりも低い場合、光学素子２１の汚れが残っているとして、クリーニング運転を終了しないと判定される（ステップ１０５のＮｏ）。この場合、ステップ１０４に戻りスパッタ工程が継続される。

[0196] 一方、光量が終了判定閾値よりも高い場合、光学素子２１が許容できるレベルにまでクリーニングされたものとして、クリーニング運転を終了すると判定される（ステップ１０５のＹｅｓ）。この場合、第２の真空チャンバ２０の圧力を下降させる圧力下降工程が実行される（ステップ１０６）。

[0197] 圧力下降工程は、第２の光量モニタ２５ｂが検出した光量が終了判定閾値よりも高くなった場合に、第２の真空チャンバ２０の圧力Ｐ２を通常圧力Ｐ２ｎになるまで下降させる工程である。例えば、第２の真空チャンバ２０の排気量が多くして、Ｐ２＝Ｐ２ｎとなるように第２の真空バルブ５２が調整される。また例えば、第２の真空チャンバ２０に流入するバッファガス２の流量が減少するように流量調整バルブが調整されてもよい。

[0198] この工程は、例えば第２の真空バルブ５２や流量調整バルブを通常運転時の状態に戻す工程であると言える。なお、スパッタ工程において、ＥＵＶ光１の光量を変化させるパラメータや、光学素子２１の位置・姿勢等を調整した場合には、通常運転時の状態に戻される。これにより、クリーニング運転を終了し、通常運転に戻ることが可能となる。

[0199] 第２の真空チャンバ２０の圧力Ｐ２が通常圧力Ｐ２ｎに戻ると、光源装置１００の運転を停止するか否かが判定される（ステップ１０７）。例えばメンテナンス等で運転を停止する場合（ステップ１０７のＹｅｓ）、光源装置１００が停止される。また運転を停止しない場合（ステップ１０７のＮｏ）、ステップ１０１に戻り通常運転が再開される。

[0200] このように、クリーニング運転では、光学素子２１が置かれたデブリ低減

装置４０より下流の圧力（第２の真空チャンバ２０の圧力Ｐ２）を変化させる運転である。これに対し、光源装置１００は、デブリ低減装置４０より下流の圧力を変えても、デブリ低減装置４０より上流にあるプラズマＰの発光点がある空間の圧力（第１の真空チャンバ１０の圧力Ｐ２）が変わらない。つまり、クリーニング運転を行う場合でも、光源側では、主要な動作条件を変える必要がない。これにより、クリーニング運転が終了した場合には、速やかに通常運転に復帰することが可能となる。

[0201] ［スパッタ領域とマスクの利用］

図１９は、スパッタが生じるスパッタ領域について説明する模式図である。ここでは、ＥＵＶ光１が照射されたバッファガス２によるスパッタが生じる領域（スパッタ領域７０）を確認するために行った実験について模式図を用いて説明する。なおスパッタ領域７０とは、スパッタ現象により実際にサンプル２７の表面がエッチングされる領域のことである。

[0202] 図１９の左側の図は、スパッタされる前のサンプル２７の状態を示す模式図である。実験では、第２の真空チャンバ２０に導入されるステージ２６に板状のサンプル２７をボルトで固定した。サンプル２７としては、表面が酸化さているタングステン（Ｗ）の薄膜を使用した。サンプル２７の表面に形成された酸化タングステンは、金属光沢がなく黒色であった。ここでは、酸化タングステンの色を暗いグレーで模式的に図示している。

[0203] 次に、図１９の中央の図に示すように、サンプル２７の一部がＥＵＶ光１の光路と重なるように第２の真空チャンバ２０に導入し、Ｐ２＝１３Ｐａとしてスパッタを行った。図中の点線の範囲は、ＥＵＶ光１の光路を表している。実験では、サンプル２７の設置場所をＥＵＶ光１の光路（ＥＵＶ光１の照射範囲）の端に設定し、不純物を発生するような遮光部材を使わずに、サンプル２７の左半分にだけＥＵＶ光１が照射されるようにした。

[0204] 図１９の右側の図は、スパッタされた後のサンプル２７の状態を示す模式図である。ＥＵＶ光１が照射されていないサンプル２７の右半分では、酸化タングステンの黒色が残った。一方で、ＥＵＶ光１が照射されたサンプル２

７の左半分では、金属光沢が確認された。つまり、ＥＵＶ光１が照射された部位では、酸化タングステンがエッチングされたことになる。ここでは、酸化タングステンが除去されて露出したタングステンの色を明るいグレーで模式的に図示している。また、サンプル２７において明るいグレーの領域が、スパッタ領域７０となる。

[0205] このように、ＥＵＶ光１が照射される領域が、スパッタによるエッチングが生じるスパッタ領域７０となることが分かった。また、第２の真空チャンバ２０の内部であっても、ＥＵＶ光１が照射されない領域では、スパッタによるエッチングがほとんど発生しないことが分かった。つまり、ＥＵＶ光１の照射を制限することで、スパッタ領域７０を制限することが可能となる。以下では、遮光板を利用してＥＵＶ光１の照射を制限する構成について説明する。

[0206] 図２０は、遮光板を利用した光学系の構成例を示す模式図である。図２０に示す光学系２４ａは、プラズマＰから放射されデブリ低減装置４０を通過したＥＵＶ光１を集光する光学系である。デブリ低減装置４０の左側は、プラズマＰが発生する第１の真空チャンバ１０内の空間であり、デブリ低減装置４０の右側は、光学系２４ａが配置される第２の真空チャンバ２０内の空間である。

[0207] 光学系２４ａは、筒形の集光ミラー７１ａと、遮光板７２ａとを有する。集光ミラー７１ａは、第２の真空チャンバ２０に設けられる光学素子２１の一例である。また光学系２４ａは、例えば図２を参照して説明した光源装置１００に、遮光板７２ａを追加した構成となっている。

[0208] 集光ミラー７１ａは、内側に回転対称な筒状の反射面を有し、反射面の中心軸がＥＵＶ光１の中心経路Ｏと一致するように配置される。また集光ミラー７１ａは、中心経路Ｏを軸として回転可能に支持される。遮光板７２ａは、板状の部材であり、デブリ低減装置４０を通過して集光ミラー７１ａに向かうＥＵＶ光の一部を遮光する。ここでは、集光ミラー７１ａにおいてＥＵＶ光１が入射する領域の上半分を覆うように遮光板７２ａが配置される。な

お、ＥＵＶ光１が入射する領域の２／３の領域を覆うような遮光板７２ａや、３／４の領域を覆うような遮光板７２ａが用いられてもよい。

[0209] 光学系２４ａでは、デブリ低減装置４０を通過したＥＵＶ光１のうち、遮光板７２ａにより遮光されずに集光ミラー７１ａに入射したＥＵＶ光１が集光される。この場合、集光ミラー７１ａにおいてＥＵＶ光１が照射される反射面では、バッファガス２によるエッチングが生じる。このため、時間の経過とともに反射面の劣化が生じる可能性がある。一方で、遮光板７２ａにより遮光された反射面では、バッファガス２によるエッチングが生じないため、劣化の無い反射面を維持することができる。

[0210] 例えば、それまでＥＵＶ光１を反射していた反射面の特性が悪化した場合には、集光ミラー７１ａを回転させて劣化の無い反射面を使用することができる。また集光ミラー７１ａは、中心経路Ｏを軸に回転されるため、集光ミラー７１ａの回転によりＥＵＶ光１の光路は変更されない。これにより、集光ミラー７１ａの交換等を行わなくても、集光性能を維持することが可能となり、例えばメンテナンス期間を延長するといったことが可能となる。

[0211] 図２１は、遮光板を利用した光学系の他の構成例を示す模式図である。図２１に示す光学系２４ｂは、例えば第１の真空チャンバ１０に設けられ、プラズマＰから放射されたＥＵＶ光１を集光する光学系である。光学系２４ｂは、凹型の集光ミラー７１ｂと、遮光板７２ｂとを有する。

[0212] 集光ミラー７１ｂは、例えば回転曲面により構成される凹状の反射面を有し、反射面をプラズマＰに向けて配置される。また集光ミラー７１ｂは、反射面の中心軸Ｃの周りに回転可能に支持される。なお、集光ミラー７１ｂは、中心軸Ｃの周りに回転した場合にＥＵＶ光１の集光位置が変化しないような構成であれば、複数のミラーで構成されてもよい。

遮光板７２ｂは、プラズマＰから集光ミラー７１ｂに向かうＥＵＶ光の一部を遮光する。

ここでは、集光ミラー７１ｂの下半分の反射面を覆うように遮光板７２ｂが配置されるが、遮光板７２ｂが覆う反射面の範囲は限定されない。

[0213] 例えばプラズマＰが発生する第１の真空チャンバ１０においても、プラズマＰの発光条件等によっては、集光ミラー７１ｂのような光学素子を劣化させるようなスパッタが発生することが考えられる。光学系２４ｂでは、例えば集光ミラー７１ｂの反射面の特性が悪化した場合、図２０の場合と同様に、集光ミラー７１ｂを回転させて劣化の無い反射面を使用することができる。これにより、集光ミラー７１ｂの交換等を行わなくても、集光性能を維持することが可能となる。

[0214] 以上、本実施形態に係る光源装置１００では、デブリ低減装置４０により、プラズマＰを発生させる第１の真空チャンバ１０と、プラズマＰからのＥＵＶ光１が導入される第２の真空チャンバ２０とをつなぐ真空路１３が形成される。さらに真空路１３を遮るように、第１の真空チャンバ１０の圧力Ｐ１及び第２の真空チャンバ２０の圧力Ｐ２よりも圧力が高い高圧力領域１４が形成される。これにより、例えば第２の真空チャンバ２０での圧力の変化が高圧力領域１４により吸収される。このため、ＥＵＶ光１の導入側の圧力Ｐ２の変化による光源側の圧力Ｐ１の変化を抑制することが可能となる。

[0215] 一般に、プラズマＰから放射されるＥＵＶ光１等の放射光は、真空状態に維持された通路を通して利用装置に導入される。このため通路の途中に設けられた光学系のメンテナンスや利用装置側の条件変更等により、導入側の圧力を変化させると、それがプラズマＰ周辺の圧力の変化につながることが考えられる。この場合、プラズマＰの発光条件が変化し、ＥＵＶ光１等の放射光が不安定になる可能性がある。

[0216] 本実施形態に係る光源装置１００では、デブリ低減装置４０の内部に、差動排気を可能にする高圧力領域１４が形成される。これにより、ＥＵＶ光１の導入側となる第２の真空チャンバ２０の圧力Ｐ２の変化が、高圧力領域１４のバッファガス２の流量により吸収され、プラズマＰが発生する光源エリアとなる第１の真空チャンバ１０の圧力Ｐ１に影響を与えない。もちろん、高圧力領域１４を発生させるデブリ低減装置４０では、プラズマＰからのデブリを低減する機能も維持される。

[0217] これにより、第２の真空チャンバ２０へのデブリの侵入を抑制するとともに、第２の真空チャンバ２０の圧力Ｐ２の変化によりＥＵＶ光１が不安定になるといった事態を十分に回避することが可能となる。このため、例えば光学系のメンテナンスや利用装置側の条件変更等を行うために、第２の真空チャンバ２０の圧力Ｐ２を変化させるような場合でも、ＥＵＶ光１の発光動作を安定して行うことが可能となる。これにより、光源装置１００やそれを利用する利用装置の操作性やメンテナンス性を向上することが可能となる。

[0218] さらに、本実施形態では、ＥＵＶ光１を安定して供給しつつ第２の真空チャンバ２０の圧力Ｐ２を変化させることができるという光源装置１００の特性を利用して、第２の真空チャンバ２０に設けられた光学素子２１のスパッタによるクリーニングが行われる。

[0219] スパッタによるクリーニングでは、例えば第２の真空チャンバ２０の圧力を増減させることでスパッタレートを変化させることが可能である。例えば、光学素子２１等を損傷させたくない場合には、スパッタされにくい条件で装置が稼働される。また光学素子２１等の汚染が許容レベルを超えた場合には、あえてスパッタを行う圧力に設定することで、汚れた表面をエッチングしてクリーニングすることが可能となる。

[0220] また、第１の真空チャンバ１０において発光出力（ＥＵＶ光１の光量）を増減させてもスパッタレートの調整が可能である。また光学素子２１の位置や姿勢を変えることで、スパッタのむら等を改善することが可能である。また光学素子２１の前方に遮蔽物を置いてスパッタしたい部分を限定するといったことも可能である。

[0221] このようなスパッタ現象を発生させる電離ガスとしては、ＥＵＶ光１に対して比較的吸収の少ない希ガス（典型的にはアルゴンガス）が用いられる。すなわち、電離ガスは、ＥＵＶ光１の光量をほとんど低下させないため、バッファガス２として利用することができる。逆に言えば、バッファガス２として利用可能なガスを、そのままスパッタを発生させる電離ガスとして利用することが可能となる。これにより、光学素子等のクリーニングを行うため

に、専用のガスを用意するといった必要がなくなり、システムの構成をシンプルにするとともに、装置コストやランニングコストを抑えることが可能となる。

[0222] 例えばＥＵＶ光１の光学系をクリーニングする方法として、爆発性の高いガスや反応性が強いガスを用いた化学洗浄を行う方法がある。例えば、特許文献２では、金属の蒸気を用いた極端紫外光光源において、ホイルトラップやそれ以降の下流側に、水素ガスやハロゲンガスなどの反応ガスが供給される。そして光源から発生する真空紫外光や、専用の紫外光光源から発生する紫外光等を用いて反応性ガスを励起し、光学要素が洗浄される。

[0223] しかしながら、水素ガスは爆発性があるため使用することが危険である。また、ハロゲンガスは反応性が高く取り扱いが難しいガスである。このため、設備の安全の確保や装置容器の耐食などを確保するために、専門家による操作や設備のコストが必要となる。例えば反応性ガスを安全に、また装置に悪影響を及ぼすことなく排気するには、排気装置の前に反応性ガスを処理する装置を設ける必要がある。また光源や利用装置の内部に設けられる部材は、反応性ガスにより腐食される。このため、腐食に対する装置内部のメンテナンスや、反応性ガスに耐食性のある材料やコーティングを用いる必要がある。

[0224] また特開２００７－１３０５４号公報には、ＥＵＶ光源を備える投影露光装置において、不活性ガスを利用して光学系を洗浄する方法が記載されている。この方法は、窒素ガス等の不活性ガスを冷却し、液体または固体になった不活性ガスを光学素子に噴射してその衝撃により付着した汚染物質をクリーニングする方法である。

[0225] しかしながら、窒素ガス等を液体あるいは固体にするには、少なくとも－５０℃以下に冷却することが必要であり、この冷却には膨大な量の液体窒素など冷却媒体を必要する。

また、金属の蒸気を用いた極端紫外光光源等では、光源から飛来する金属が、低温になっている箇所で冷却され固化することが考えられる。このように

金属が固化すると光学経路や光源内部に設置している部材にさまざまな悪影響を及ぼす。また、気化している金属が冷却されると微小な金属粒子を発生させる可能性がある。このような金属粒子が真空排気系に入ると、排気系の寿命を大きく縮める要因となり得る。

[0226] これに対し、本発明者が見出したスパッタ現象では、希ガス等の不活性な電離ガス（バッファガス２）によるスパッタ（エッチング）が可能である。このように、不活性ガスを用いているので、安全に操作することが可能な光源装置１００を実現できる。また、光源装置１００では、反応性ガスを処理する機構や、反応性ガスを取り除く機構等は不要となる。このため反応性ガスを用いる装置等と比べて、装置コストを大幅に下げることが可能となる。また装置構成がシンプルになり、装置をコンパクトに構成することが可能となる。また電離ガスは活性ガスのような腐食を発生させない。このため、容器等の材質の選択幅が比較的広くなり、装置コストを抑えることが可能となる。

[0227] また冷却した不活性ガスを利用するような方法と違い、電離ガスを液体や固体に変えるための冷却設備等を設ける必要がなく、装置コストを下げることや、装置構成をシンプルにすることができる。また装置内には、極端に低温になるような箇所は存在しないため、スズ等の金属が集中的に固化するといった問題や、排気系に影響を与える金属粒子が増加するといった問題は発生しない。

[0228] また上記したように、電離ガスには、ＥＵＶ光１に対して吸収の少ないガスを用いることができる。これにより、ＥＵＶ光１を減光せずに、デブリ低減装置４０の下流の部材をクリーニングすることが可能となる。この結果、例えば比較的高いスパッタレートが実現可能となり、短い時間でクリーニングを完了することが可能となる。

[0229] ＜その他の実施形態＞

本発明は、以上説明した実施形態に限定されず、他の種々の実施形態を実現することができる。

[0230] 上記の実施形態では、レーザビームＬＢ及び放電によりプラズマ原料をプラズマ化するＬＤＰ方式の光源部が用いられた。光源部の種類は限定されず、プラズマから放射光を発生させる形式であれば、任意の形式が用いられてよい。

[0231] 図２２は、ＬＰＰ方式の光源部の構成例を示す模式図である。図２２には、レーザビームＬＢによりプラズマ原料を直接プラズマ化するＬＰＰ方式の光源部８０が模式的に図示されている。光源部８０は、第１の真空チャンバ１０内に配置された回転体８１と、回転体８１にプラズマ原料Ｓを供給するコンテナＣと、回転体８１に供給されたプラズマ原料Ｓをプラズマ化するレーザビームＬＢを入射するレーザ源８２とを有する。光源部８０では、コンテナＣは、原料供給部に相当し、レーザ源８２は、エネルギービーム入射部に相当する。

[0232] 回転体８１は、プラズマＰが生成される領域までプラズマ原料Ｓを輸送する。ここでは、円盤状の回転体８１の主面にレーザビームＬＢが照射される。この照射位置が、プラズマＰが発生する位置となる。図２２に示すように、回転体８１は、鉛直方向に沿って回転可能に支持される。なお回転体８１は、鉛直方向から傾斜した状態で配置されてもよい。

また回転体８１の形状は円盤形状に限定されず、例えば多角形形状の回転体等が用いられてもよい。回転体８１は、例えばタングステン（Ｗ）、モリブデン（Ｍｏ）、タンタル（Ｔａ）等の高融点金属を用いて構成される。

[0233] コンテナＣは、回転体８１の下部が浸漬するように設けられ、回転体８１に液体状のプラズマ原料Ｓを供給する。例えば回転体８１の表面にはコンテナＣに収容されたプラズマ原料Ｓが付着する。この状態で回転体８１が回転することにより、レーザビームＬＢの照射位置にプラズマ原料Ｓが供給される。そして照射位置にレーザビームＬＢが入射することで、プラズマＰが生成され、ＥＵＶ光等の放射光が放射される。

[0234] このように、回転体８１の一部をコンテナＣに浸漬させるタイプの光源部８０は、例えば光源モジュールの薄型化を図ることが可能である。またＬＰ

Ｐ方式では、図１を参照して説明したＬＤＰ方式の光源部とは異なり、回転体が１つだけでよく、またパルス電力を供給するための設備も不要である。これにより、装置を小型化することや、装置コストを抑制することが可能となる。

[0235] 図２３は、ＬＰＰ方式の光源部の他の構成例を示す模式図である。図２３に示す光源部９０には、第１の真空チャンバ１０内に設けられ、液体状のプラズマ原料Ｓを貯留した状態で回転する回転ドラム９１が設けられる。光源部９０は、回転ドラム９１に貯留されたプラズマ原料Ｓをレーザビーム ＬＢによりプラズマ化するＬＰＰ方式の光源モジュールである。

[0236] 回転ドラム９１は、上方に開口し液体状のプラズマ原料Ｓを貯留する貯留部９２を有する。貯留部９２には、図示しない原料供給部から、液体又は固体の状態でプラズマ原料Ｓが供給される。また回転ドラム９１には、貯留部９２に供給されるプラズマ原料Ｓを液体状態で維持するために、図示しない加熱機構が設けられる。加熱機構としては、電熱線等を利用して回転ドラム９１を直接加熱するヒータが用いられる。また、輻射等を利用して外側から回転ドラム９１を加熱するヒータ等が用いられてもよい。

[0237] 回転ドラム９１は、円盤状の基体９３と当該基体９３の一方の面に基体９３の周縁に沿って形成された円環状の外壁部９４とを有する。回転ドラム９１では、基体９３と外壁部９４により囲まれた領域が液体状のプラズマ原料Ｓを貯留する貯留部９２となる。回転ドラム９１の貯留部９２が形成される面とは反対側の面には、所定の回転軸を中心に回転する軸部材９５が、回転ドラム９１の中心軸と回転軸とが一致するように連結される。軸部材９５は、図示を省略したモータにより回転駆動される。

[0238] 回転軸を中心に回転ドラム９１を連続的に回転すると、貯留部９２に供給された液体状のプラズマ原料Ｓは、遠心力により外壁部９４の内周面９４ａ側に移動し、内周面９４ａに沿って分布する。また内周面９４ａに分布する液体状のプラズマ原料Ｓの膜厚は、回転体の回転速度に応じて調整される。

[0239] このように、回転ドラム９１は、貯留部９２の内周面９４ａに液体状のプ

ラズマ原料Ｓを貯留する。また、貯留部９２の内周面９４ａには、液体状のプラズマ原料Ｓをプラズマ化するレーザビームＬＢが照射される。これにより、レーザビームＬＢの照射位置にプラズマＰが発生し、ＥＵＶ光等の放射光が放射される。回転体として回転ドラム９１を用いたタイプの光源部９０では、例えば多量のプラズマ原料を貯留するコンテナ等を設ける必要がない。このため、プラズマ原料の加熱に要する電力等を抑制することができる。

[0240] 上記の実施形態では、回転式ホイルトラップと固定式ホイルトラップとの両方を備えるデブリ低減装置について説明した。デブリ低減装置の構成は限定されず、例えば装置内に形成される真空路を遮るように高圧力領域を発生させることが可能な構成であれば、任意の構成が用いられてよい。

[0241] 例えば、デブリ低減装置の第２の真空チャンバ側に配置する部材として、固定式ホイルトラップに代えて、コンダクタンスを下げるような他の部材が用いられてもよい。例えばメッシュ構造やハニカム構造によりコンダクタンスを下げる部材等が用いられてもよい。

またＥＵＶ光のビーム径が小さい場合には、真空路を細くしてコンダクタンスを下げる部材等が用いられてもよい。

[0242] また例えば、デブリ低減装置の第１の真空チャンバ側には、回転式ホイルトラップ及び回転式ホイルトラップカバーを配置しなくてもよい。この場合、回転式ホイルトラップカバーのように、経路方向に交差する断面を急激に広げる筒状部材を設けることで、高圧力領域を維持することが可能となる。

[0243] また上記の実施形態では、スパッタを発生させる電離ガスとして、バッファガスを利用する構成について説明した。これに限定されず、例えばバッファガスと、電離ガスとが異なる種類のガスであってもよい。

[0244] 例えば、バッファガスには窒素やヘリウム等の不活性ガスを使用し、電離ガスにはアルゴンガス等の希ガスを使用してもよい。この場合、例えば通常運転時には、バッファガス（窒素やヘリウム等）で高圧力領域等を発生させておき、クリーニング運転を行う場合にだけ、第２の真空チャンバに電離ガス（アルゴン等）を放出するようにしてもよい。このように電離ガスを必要

な場合に導入する構成であっても、電離ガスによるスパッタを利用して光学素子等のクリーニングが可能である。

[0245] 図１及び図２等を参照して説明した光源装置１００では、第１の真空チャンバ１０の内部にデブリ低減装置３０を設けられた。デブリ低減装置を設ける部位は限定されない。例えば、第１の真空チャンバ及び第２の真空チャンバの外部にデブリ低減装置を設けてもよい。この場合、第１の真空チャンバの外壁と第２の真空チャンバの外壁とをつなぐようにデブリ低減装置が設けられる。また、第２の真空チャンバの内部にデブリ低減装置が設けられてもよい。

[0246] 上記の実施形態では、真空路上に高圧力領域を発生させるデブリ低減装置を搭載した光源装置を用いて、プラズマからの放射光と電離ガスとを利用したスパッタを行う方法について説明したが、放射光と電離ガスとを利用したスパッタを行うための装置の構成は限定されない。

[0247] 例えば、光源装置において、デブリ低減装置は、必ずしも真空路を形成しなくてもよい。この場合、プラズマが発生する空間（第１の真空チャンバ）と放射光が導入される空間（第２の真空チャンバ）とをつなぐ真空路がデブリ低減装置とは別部材により構成される。なおデブリ低減装置は、放射光の光路上に適宜配置される。このような光源装置であっても、放射光が導入される空間に電離ガスを放出することで、放射光と電離ガスとを利用したスパッタを行うことが可能である。

[0248] この他、スパッタを行うための光源装置の構成や、光源装置に搭載されるデブリ低減装置の構成は限定されず、例えば放射光が照射される領域に電離ガスを放出することが可能な任意の装置を利用して、上記したスパッタ現象を発生させることが可能である。

[0249] 本開示において、「Ａより大きい」「Ａより小さい」といった「より」を使った表現は、Ａと同等である場合を含む概念と、Ａと同等である場合を含なまい概念の両方を包括的に含む表現である。例えば「Ａより大きい」は、Ａと同等は含まない場合に限定されず、「Ａ以上」も含む。また「Ａより小

さい」は、「Ａ未満」に限定されず、「Ａ以下」も含む。

本技術を実施する際には、上記で説明した効果が発揮されるように、「Ａより大きい」及び「Ａより小さい」に含まれる概念から、具体的な設定等を適宜採用すればよい。

[0250] 以上説明した本技術に係る特徴部分のうち、少なくとも２つの特徴部分を組み合わせることも可能である。すなわち各実施形態で説明した種々の特徴部分は、各実施形態の区別なく、任意に組み合わされてもよい。また上記で記載した種々の効果は、あくまで例示であって限定されるものではなく、また他の効果が発揮されてもよい。

符号の説明

[0251] Ｐ…プラズマ

１…ＥＵＶ光

２…バッファガス

１０…第１の真空チャンバ

１３…真空路

１４…高圧力領域

２０…第２の真空チャンバ

２１…光学素子

３０、８０、９０…光源部

４０…デブリ低減装置

４１…筒状部材

４２…コンダクタンス低減部

４４…回転式ホイルトラップカバー

４５…固定式ホイルトラップ

４７…導入口

１００…光源装置

請求の範囲

[請求項1] 第１の真空チャンバと、

前記第１の真空チャンバ内で光源となるプラズマを発生させる光源部と、

前記プラズマから放散されるデブリを低減するデブリ低減装置であって、前記第１の真空チャンバと前記プラズマから放射される放射光が導入される第２の真空チャンバとをつなぎ前記放射光を通過させる真空路を形成し、前記真空路を遮るように前記第１の真空チャンバの圧力及び前記第２の真空チャンバの圧力よりも圧力が高くなる高圧力領域を発生させるデブリ低減装置と

を具備する光源装置。

[請求項2] 請求項１に記載の光源装置であって、

前記デブリ低減装置は、前記高圧力領域と前記第２の真空チャンバとの間で前記真空路のコンダクタンスを下げるコンダクタンス低減部を有する

光源装置。

[請求項3] 請求項２に記載の光源装置であって、

前記コンダクタンス低減部は、前記真空路に配置される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を有する固定式ホイルトラップである

光源装置。

[請求項4] 請求項１に記載の光源装置であって、

前記デブリ低減装置は、前記高圧力領域と前記第１の真空チャンバとの間に設けられ、前記真空路の経路方向と交差する断面が前記高圧力領域よりも大きい筒状部材を有する

光源装置。

[請求項5] 請求項４に記載の光源装置であって、

前記デブリ低減装置は、複数のホイルと、前記複数のホイルを放射

状に支持する回転部材とを有する回転式ホイルトラップを有し、

前記筒状部材は、前記回転式ホイルトラップを囲む回転式ホイルトラップカバーである　光源装置。

[請求項6] 請求項１に記載の光源装置であって、

前記デブリ低減装置は、前記第２の真空チャンバの圧力が少なくとも前記高圧力領域の圧力以下の範囲で変化する際に、前記第１の真空チャンバの圧力を実質的に変化させない　光源装置。

[請求項7] 請求項１に記載の光源装置であって、

前記高圧力領域の圧力は、前記第１の真空チャンバの圧力の６倍以上の圧力である

光源装置。

[請求項8] 請求項１に記載の光源装置であって、さらに、

前記第２の真空チャンバの圧力を変化させるバッファガスを導入する導入口と、前記第２の真空チャンバの圧力を調整する圧力調整機構とを具備する

光源装置。

[請求項9] 請求項８に記載の光源装置であって、

前記高圧力領域は、前記バッファガスが導入される領域であり、

前記導入口は、前記高圧力領域につながる第１の導入口を含む

光源装置。

[請求項10] 請求項８に記載の光源装置であって、さらに、

前記第２の真空チャンバを具備し、

前記導入口は、前記第２の真空チャンバに設けられる第２の導入口を含む

光源装置。

[請求項11] 請求項１から１０のうちいずれか一項に記載の光源装置であって

前記バッファガスは、前記放射光により電離する電離ガスであり、

前記光源装置は、通常運転と、前記電離ガスによるクリーニング運

転とが可能である

光源装置。

[請求項12] 請求項１１に記載の光源装置であって、

前記クリーニング運転は、前記通常運転時の圧力である第１の圧力に維持された第２の真空チャンバに前記電離ガスを導入し、前記第２の真空チャンバの圧力を前記第１の圧力よりも高い第２の圧力まで上昇させ、前記第２の圧力を維持した状態で、前記第２の真空チャンバ内に配置されたターゲットに対し、前記放射光により電離した前記電離ガスによるスパッタを行う運転である

光源装置。

[請求項13] 請求項１２に記載の光源装置であって、

前記第２の圧力は、６Ｐａ以上である

光源装置。

[請求項14] 請求項１２に記載の光源装置であって、

前記通常運転時の前記第１の真空チャンバの圧力は、前記放射光が安定する第３の圧力に設定され、

前記第２の圧力は、前記第３の圧力の３倍以上の圧力である

光源装置。

[請求項15] 請求項１１に記載の光源装置であって、

前記電離ガスは、希ガスである

光源装置。

[請求項16] 請求項１１に記載の光源装置であって、さらに、

前記第２の真空チャンバと、前記第２の真空チャンバに設けられ前記放射光の光量を検出する光量モニタとを具備し、

前記通常運転及び前記クリーニング運転は、前記光量モニタの検出結果に基づいて切り替えて実行される

光源装置。

[請求項17] 請求項８に記載の光源装置であって、

前記圧力調整機構は、前記導入口から導入される前記バッファガスの流量を調整する流量調整バルブ、又は、前記第２の真空チャンバの排気量を調整する排気量調整バルブの少なくとも一方である

光源装置。

[請求項18] 請求項１に記載の光源装置であって、

前記放射光は、ＥＵＶ光である

光源装置。

[請求項19] 請求項１に記載の光源装置であって、

前記光源部は、

前記第１の真空チャンバ内に放電領域を挟んで配置された一対の回転電極と、

前記一対の回転電極にプラズマ原料を供給する原料供給部と、

前記一対の回転電極のうち一方の回転電極の前記放電領域に面した部位に前記プラズマ原料を気化するエネルギービームを入射するエネルギービーム入射部と、

前記一対の回転電極に前記エネルギービームにより気化した前記プラズマ原料をプラズマ化する電圧を印加する電圧源とを有する

光源装置。

[請求項20] 請求項１に記載の光源装置であって、

前記光源部は、

前記第１の真空チャンバ内に配置された回転体と、

前記回転体にプラズマ原料を供給する原料供給部と、

前記回転体に供給された前記プラズマ原料をプラズマ化するエネルギービームを入射するエネルギービーム入射部とを有する

光源装置。

[請求項21] 光源装置を用いて行われるクリーニング方法であって、

前記光源装置は、

第１の真空チャンバと、

前記第１の真空チャンバ内で光源となるプラズマを発生させる光源部と、

前記プラズマから放散されるデブリを低減するデブリ低減装置であって、前記第１の真空チャンバと前記プラズマから放射される放射光が導入される第２の真空チャンバとをつなぎ前記放射光を通過させる真空路を形成し、前記真空路を遮るように前記第１の真空チャンバの圧力及び前記第２の真空チャンバの圧力よりも圧力が高くなる高圧力領域を発生させるデブリ低減装置とを有し、

前記プラズマを発生させた状態で、通常運転時の圧力である第１の圧力に維持された第２の真空チャンバに前記放射光により電離する電離ガスを導入し、前記第２の真空チャンバの圧力を前記第１の圧力よりも高い第２の圧力まで上昇させる圧力上昇工程と、

前記第２の圧力を維持した状態で、前記第２の真空チャンバ内に配置されたターゲットに対し、前記放射光により電離した前記電離ガスによるスパッタを行うスパッタ工程と

を備えるクリーニング方法。

[請求項22] 請求項２１に記載のクリーニング方法であって、

前記光源装置は、さらに、前記第２の真空チャンバと、前記第２の真空チャンバに設けられ前記放射光の光量を検出する光量モニタとを有し、

前記光量モニタが検出した光量が第１の閾値よりも低くなった場合に、前記圧力上昇工程と前記スパッタ工程とを実行し、

さらに、前記光量モニタが検出した光量が前記第１の閾値以上の第２の閾値よりも高くなった場合に、前記第２の真空チャンバの圧力を前記第１の圧力になるまで下降させる圧力下降工程を備える

クリーニング方法。

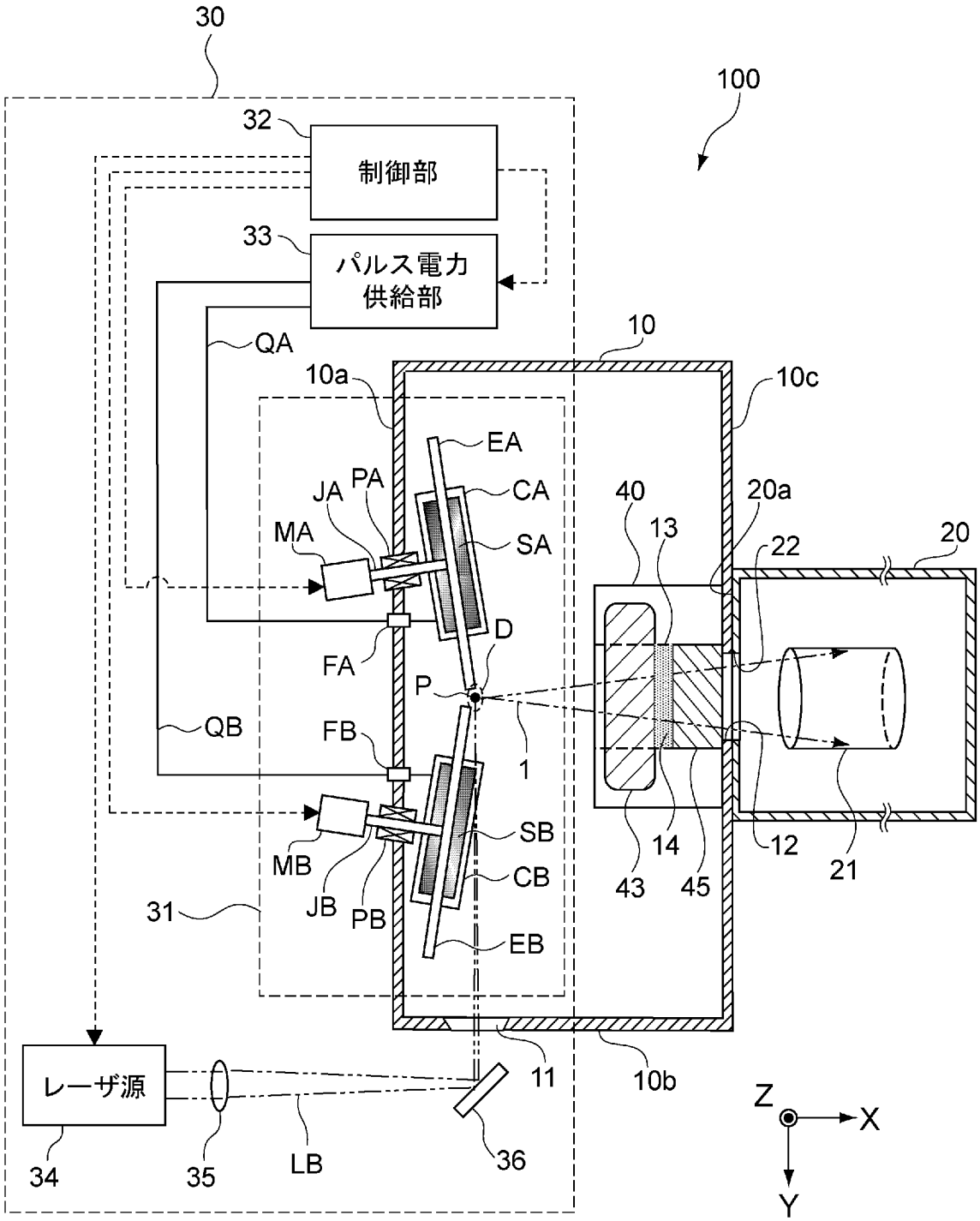
[請求項23] 請求項２１に記載の光源装置であって、

前記スパッタ工程は、前記第２の圧力を維持した状態で、前記放射

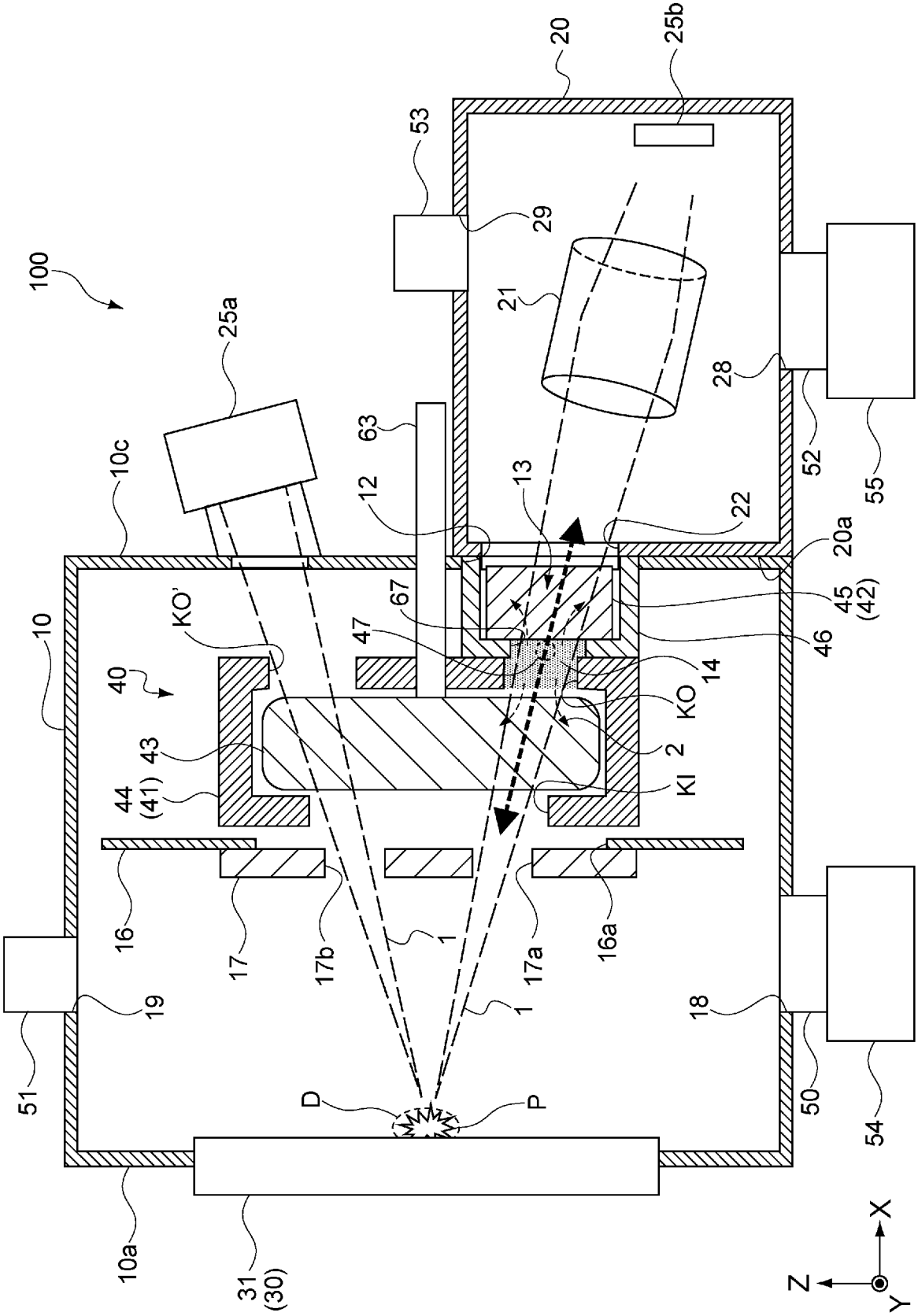
光の光量を前記通常運転時の前記放射光の光量から変化させる工程を含む

クリーニング方法。

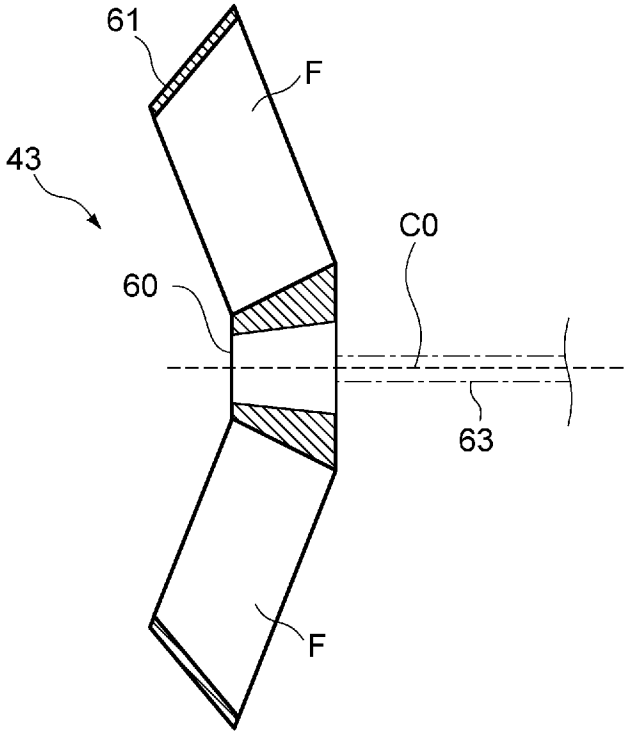
[図1]


30
100
32
制御部
33
パルス電力
供給部
QA
10
10a
10c
EA
JA
PA
CA
MA
SA
40
13
20a
22
20
D
FA
P
QB
FB
1
SB
MB
JB
PB
CB
31
EB
14
12
43
45
21
レーザ源
11
10b
34
35
LB
36
Z
X
Y

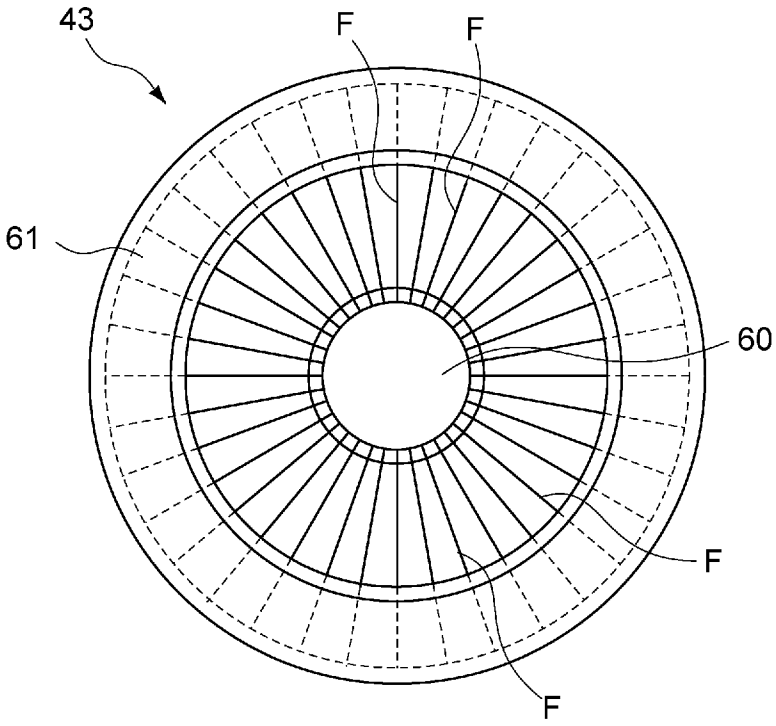
[図2]


100
10
10a
10c
16
17
17b
16a
17a
18
19
20
20a
21
22
25a
25b
28
29
31
(30)
40
41
42
43
44
45
46
47
50
51
52
53
54
55
63
67
1
2
12
13
14
D
P
KO
KO'
KI
X
Y
Z

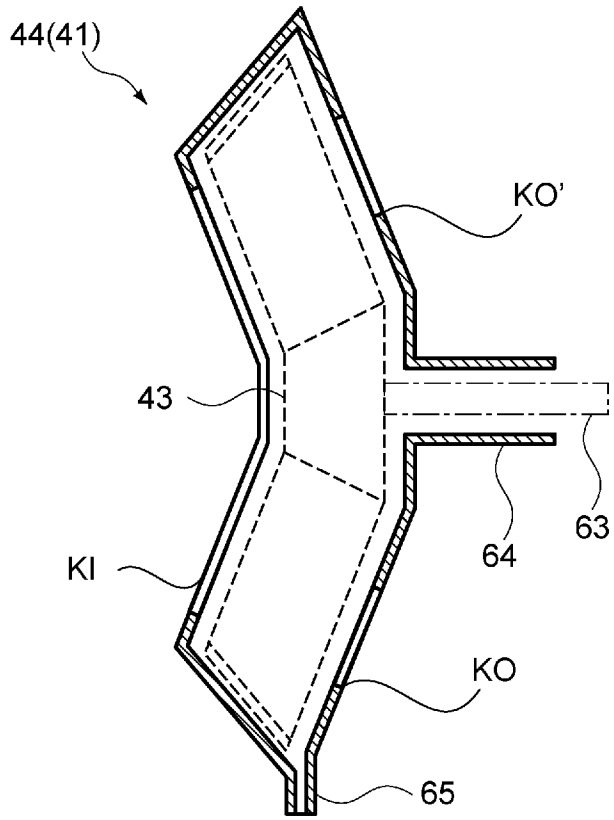
[図3]



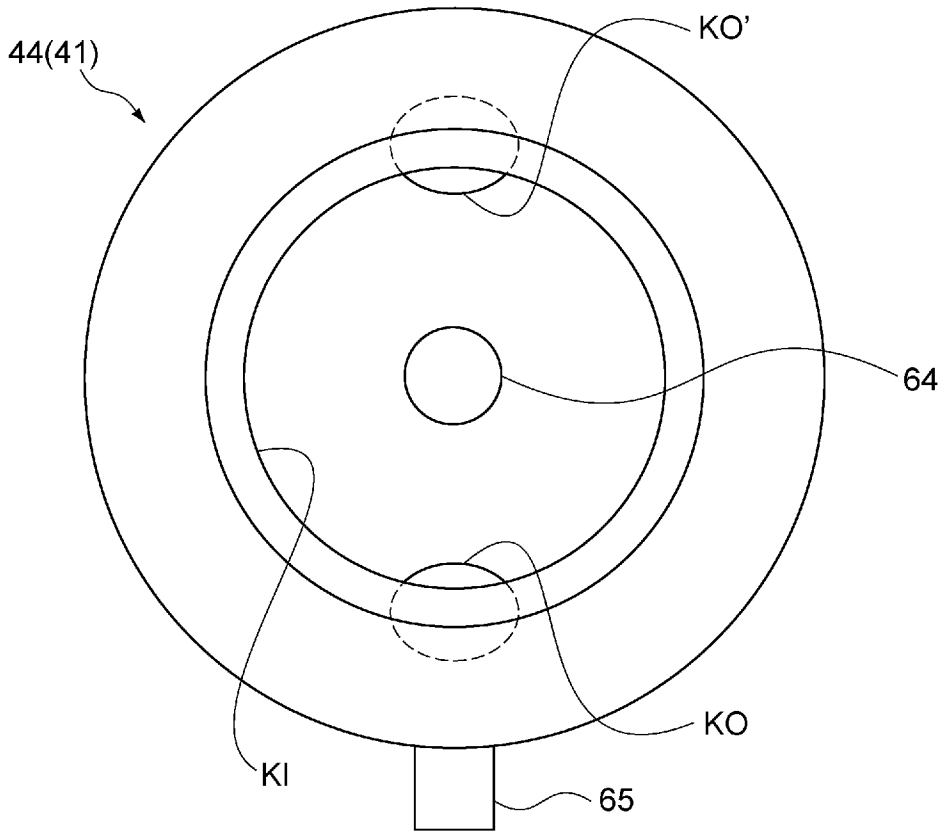
[図4]



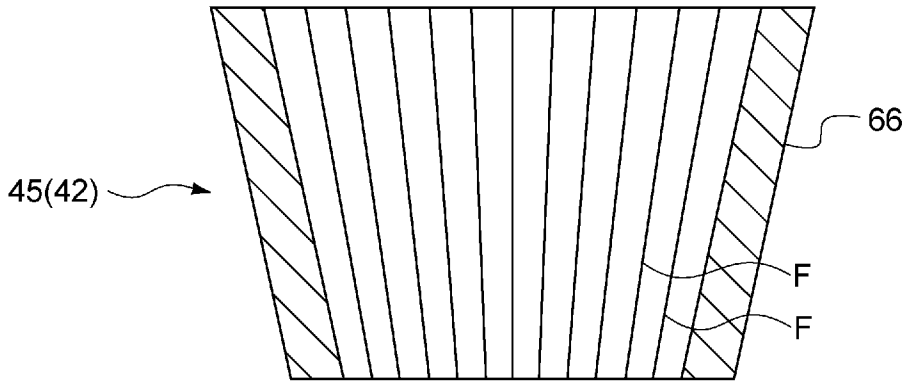
[図5]



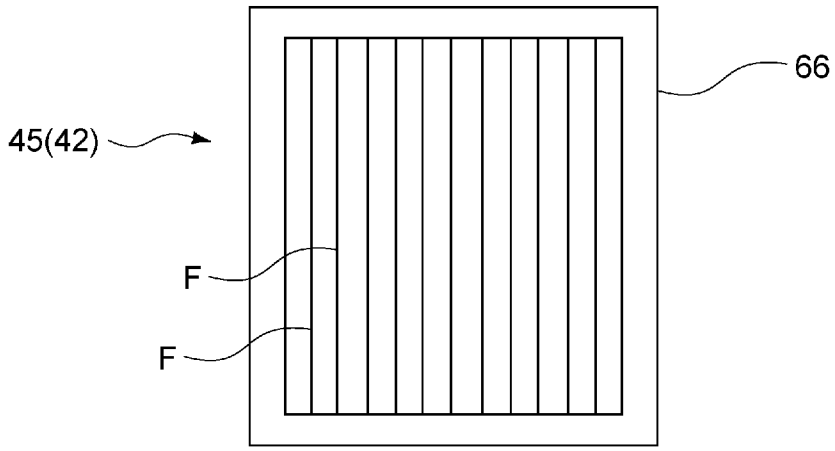
[図6]



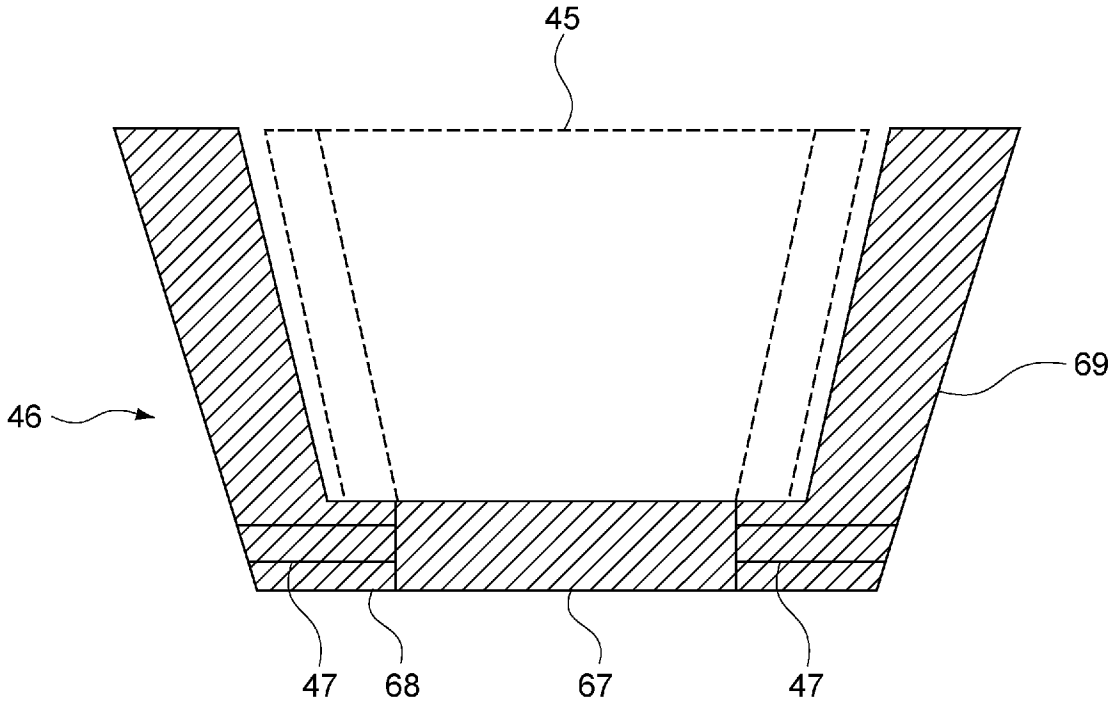
[図7]



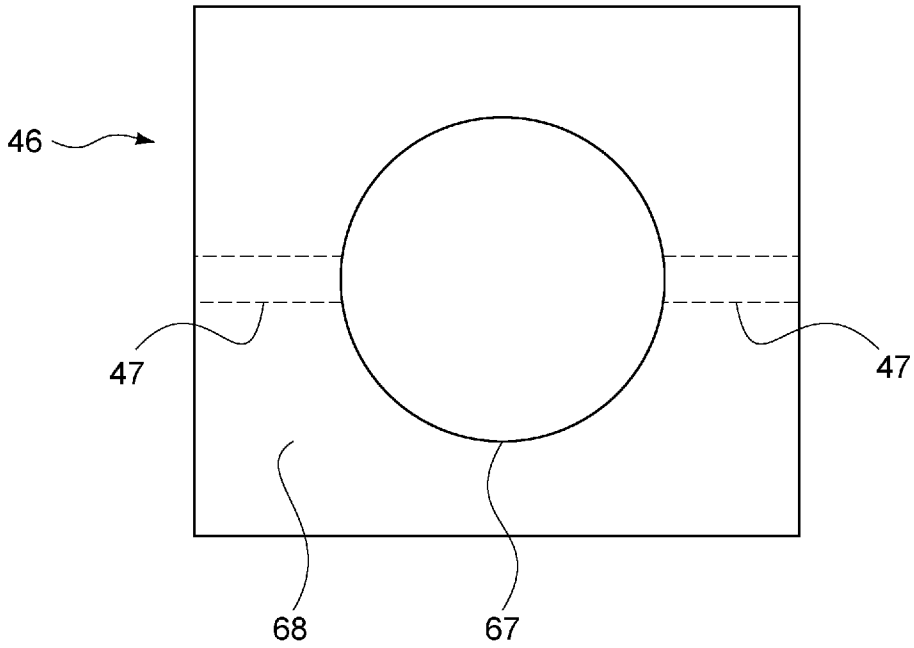
[図8]



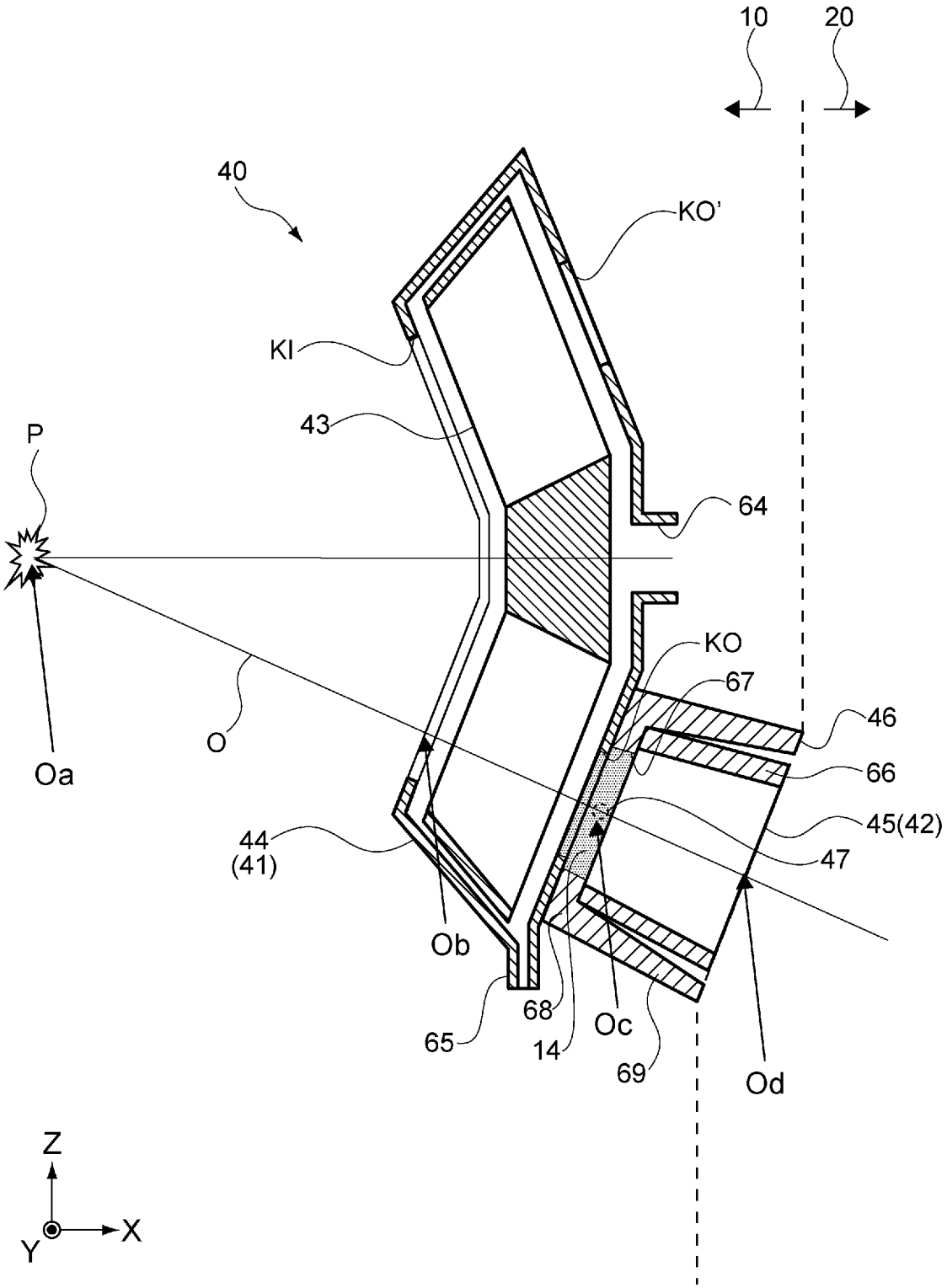
[図9]



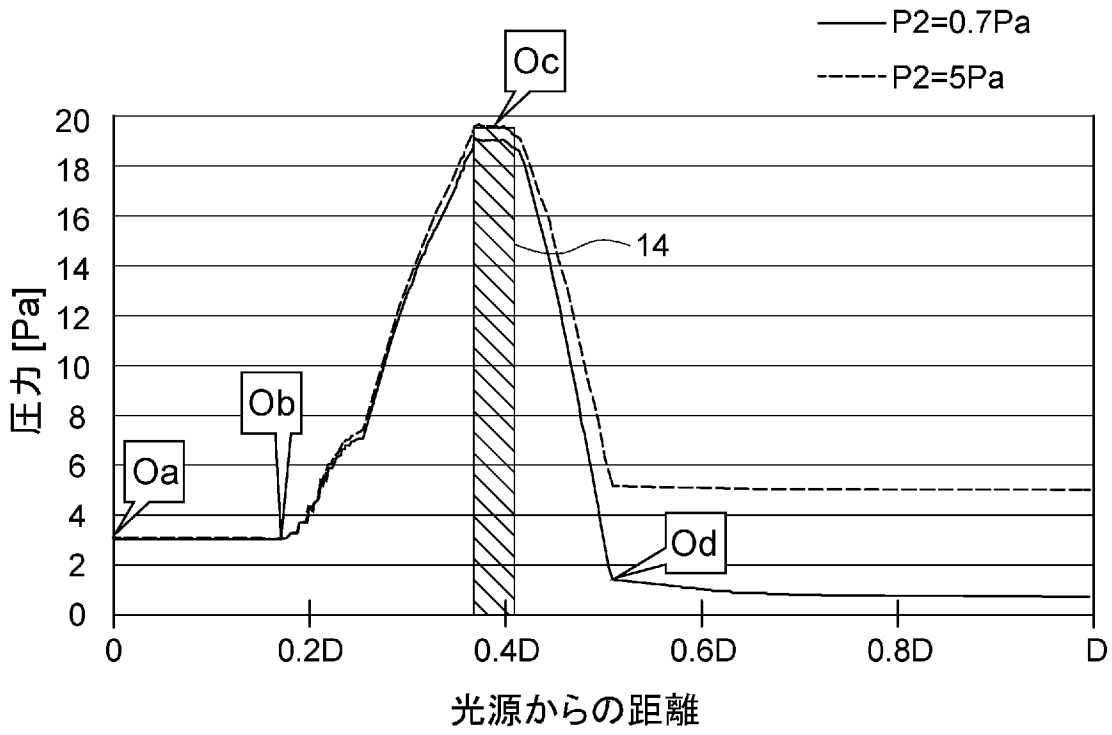
[図10]



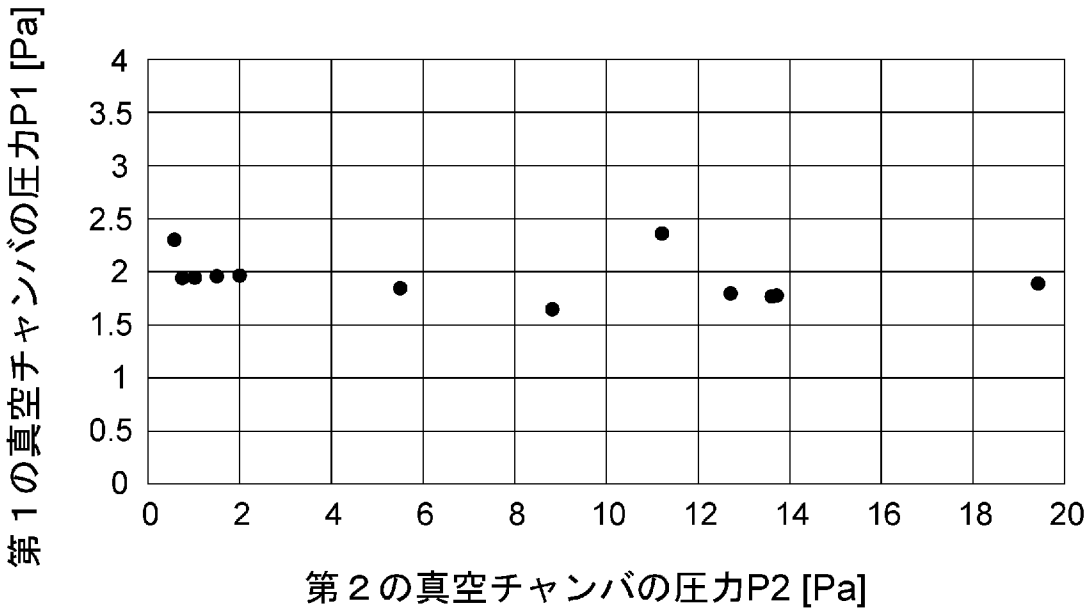
[図11]


10
20
40
KO'
KI
43
P
64
KO
67
46
O
66
Oa
45(42)
44
(41)
47
Ob
68
65
14
Oc
69
Od
Z
X
Y

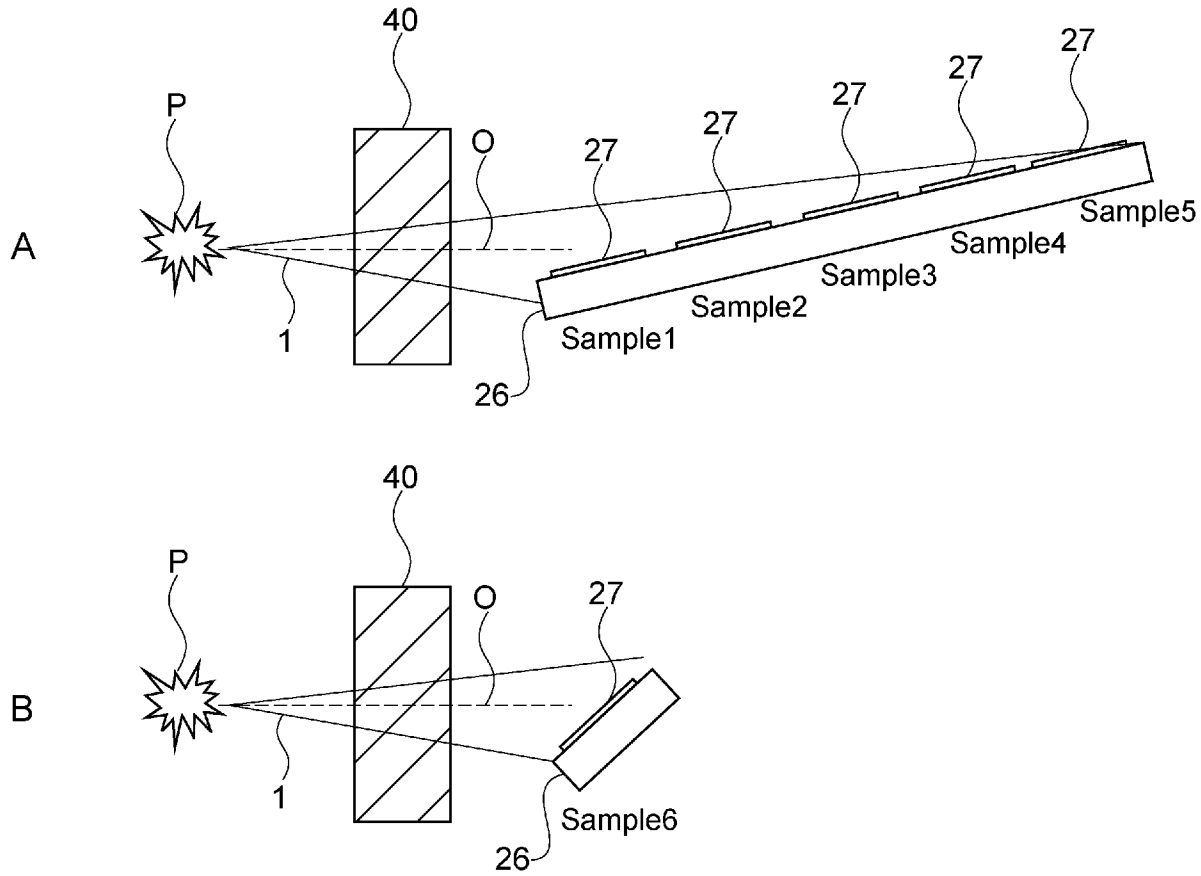
[図12]


P2=0.7Pa
P2=5Pa
Oc
Ob
Oa
Od
14
圧力 [Pa]
光源からの距離
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
0
0.2D
0.4D
0.6D
0.8D
D

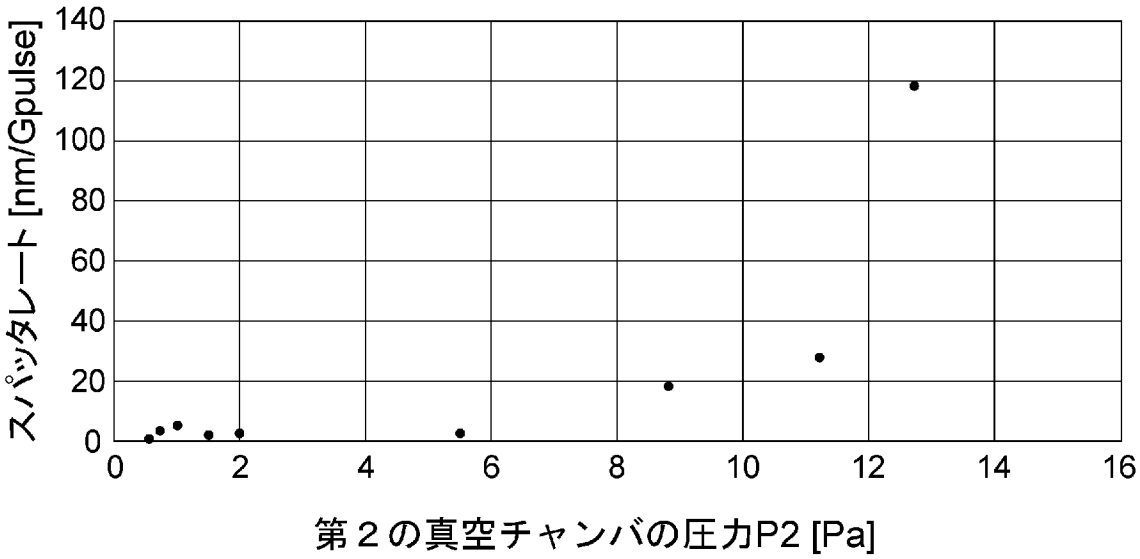
[図13]


第１の真空チャンバの圧力P1 [Pa]
第２の真空チャンバの圧力P2 [Pa]
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20

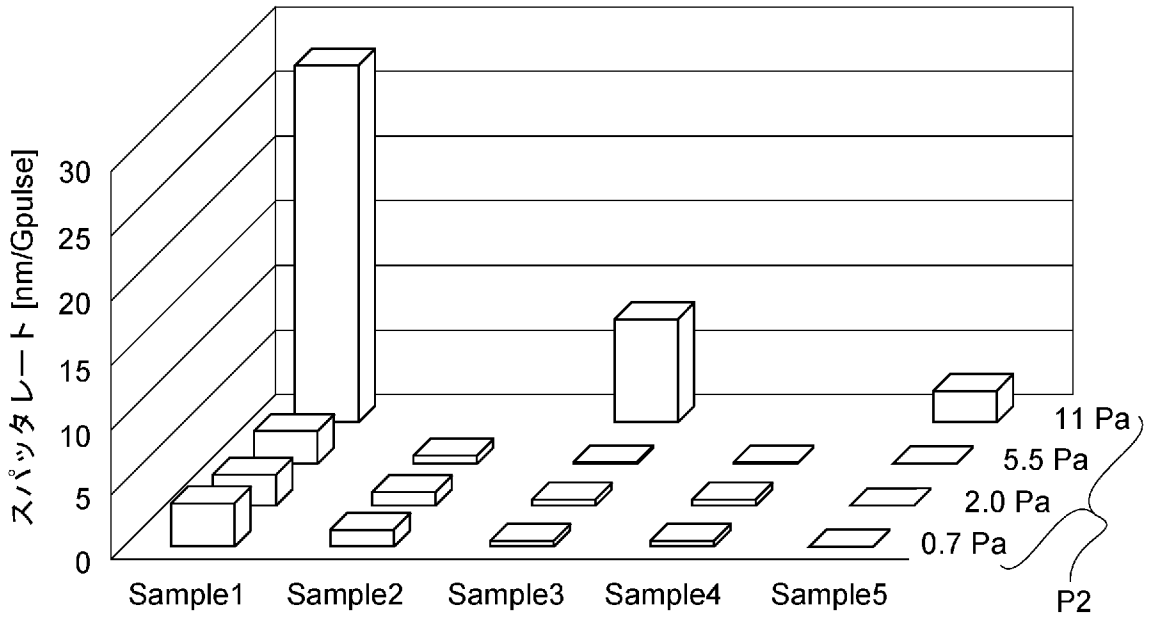
[図14]


A
P
40
O
27
27
27
27
27
Sample5
Sample4
Sample3
Sample2
Sample1
1
26
B
P
40
O
27
1
Sample6
26

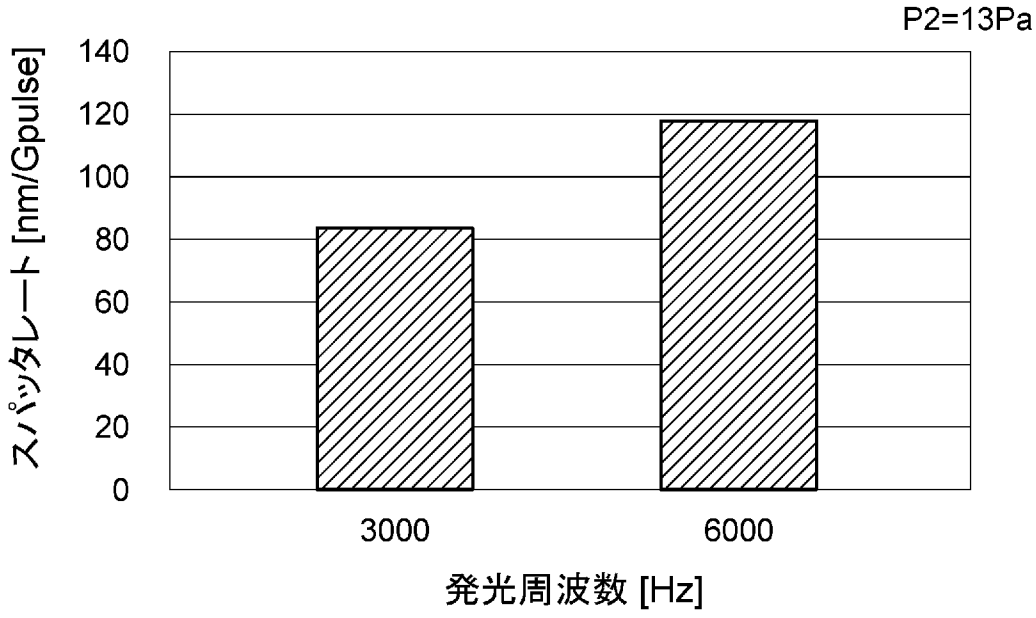
[図15]


スパッタレート [nm/Gpulse]
140
120
100
80
60
40
20
0
0
2
4
6
8
10
12
14
16
第２の真空チャンバの圧力P2 [Pa]

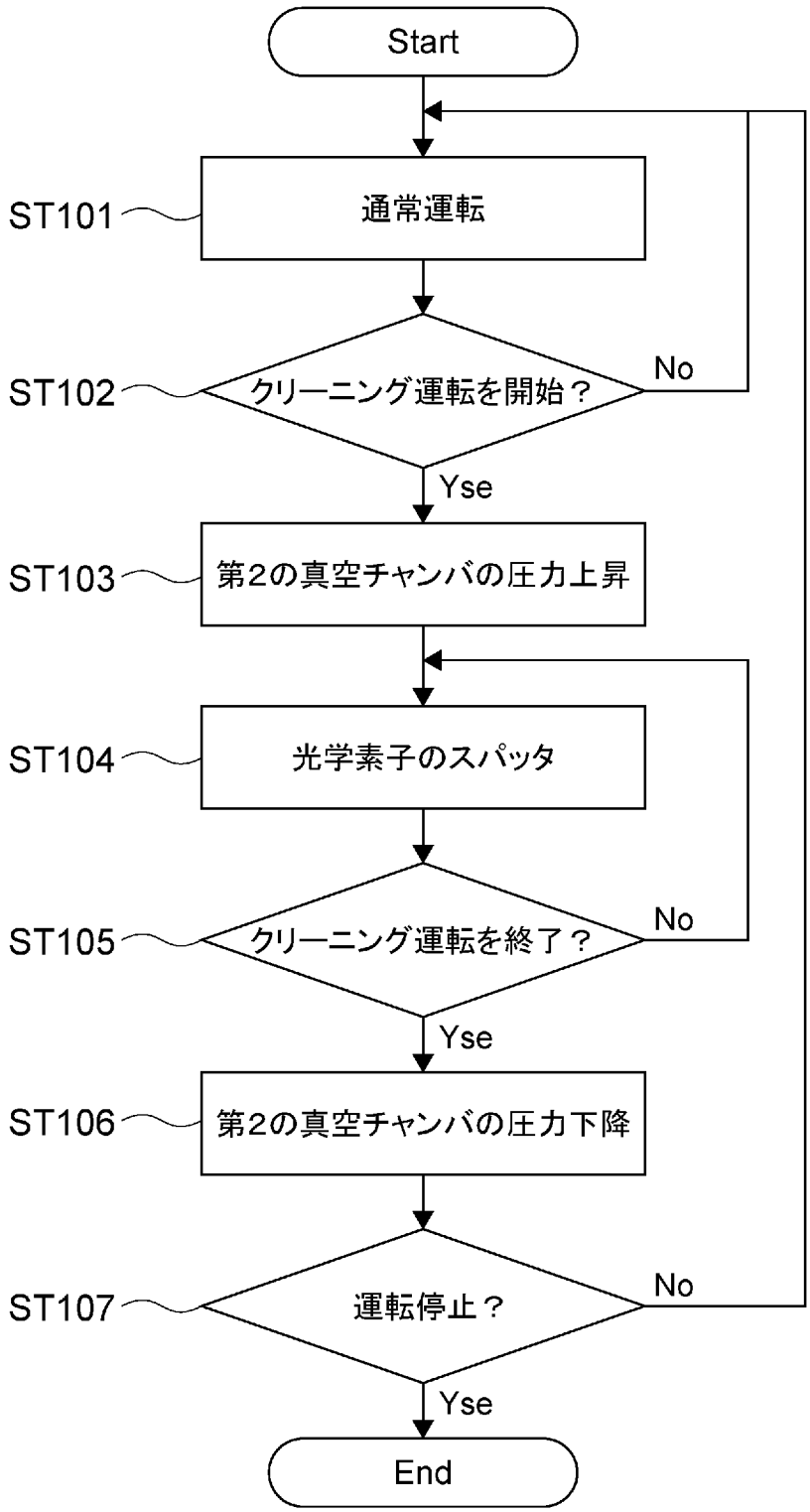
[図16]


スパッタレート [nm/Gpulse]
30
25
20
15
10
5
0
Sample1
Sample2
Sample3
Sample4
Sample5
11 Pa
5.5 Pa
2.0 Pa
0.7 Pa
P2

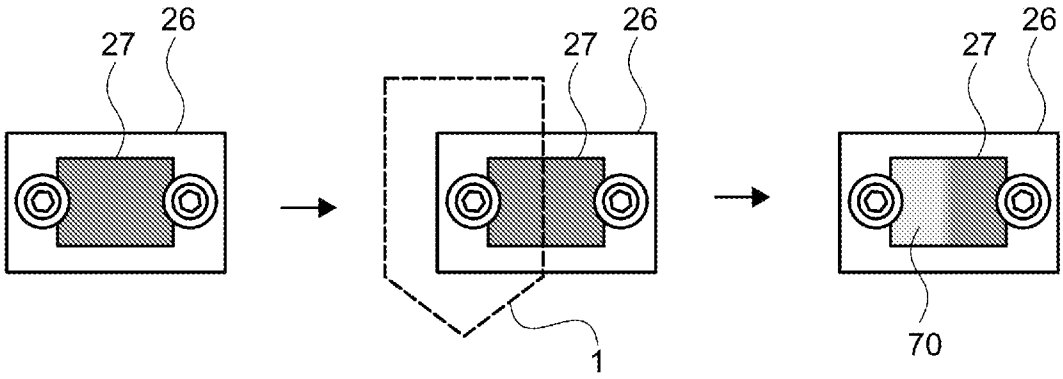
[図17]


P2=13Pa
スパッタレート [nm/Gpulse]
140
120
100
80
60
40
20
0
3000
6000
発光周波数 [Hz]

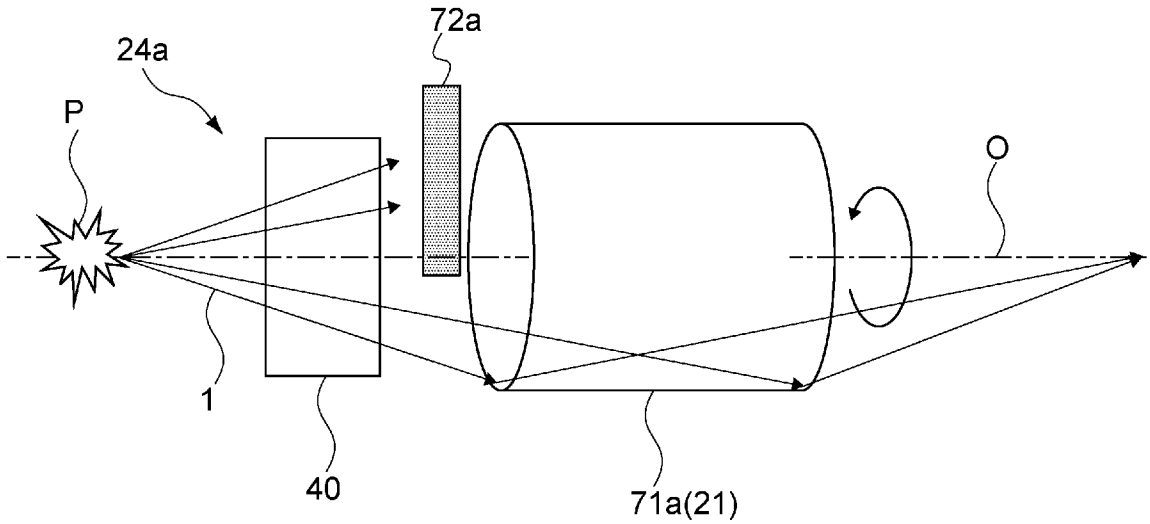
[図18]


Start
ST101
通常運転
ST102
クリーニング運転を開始？
No
Yse
ST103
第2の真空チャンバの圧力上昇
ST104
光学素子のスパッタ
ST105
クリーニング運転を終了？
No
Yse
ST106
第2の真空チャンバの圧力下降
ST107
運転停止？
No
Yse
End

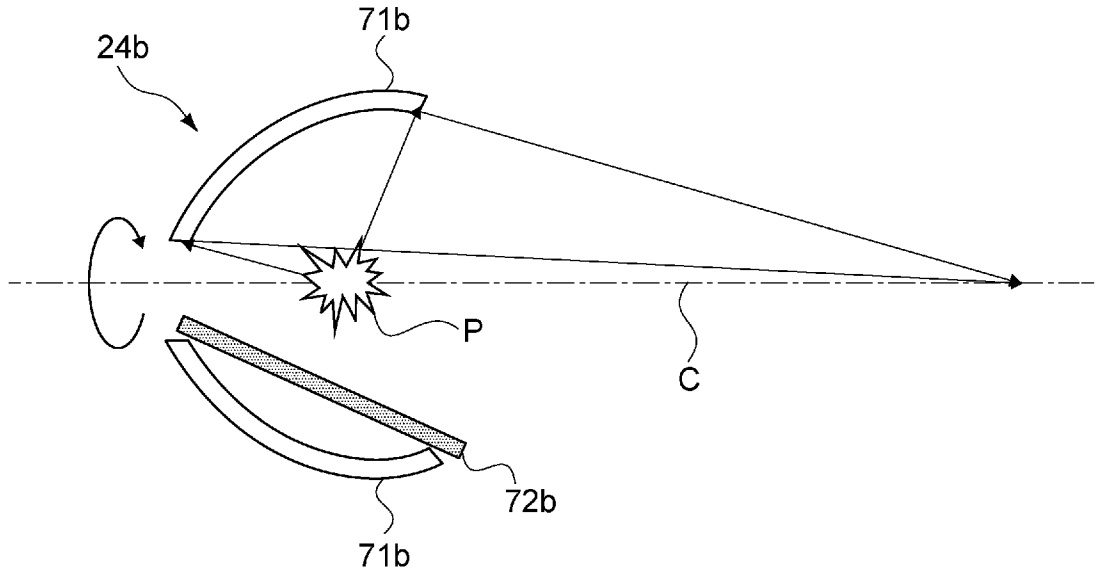
[図19]



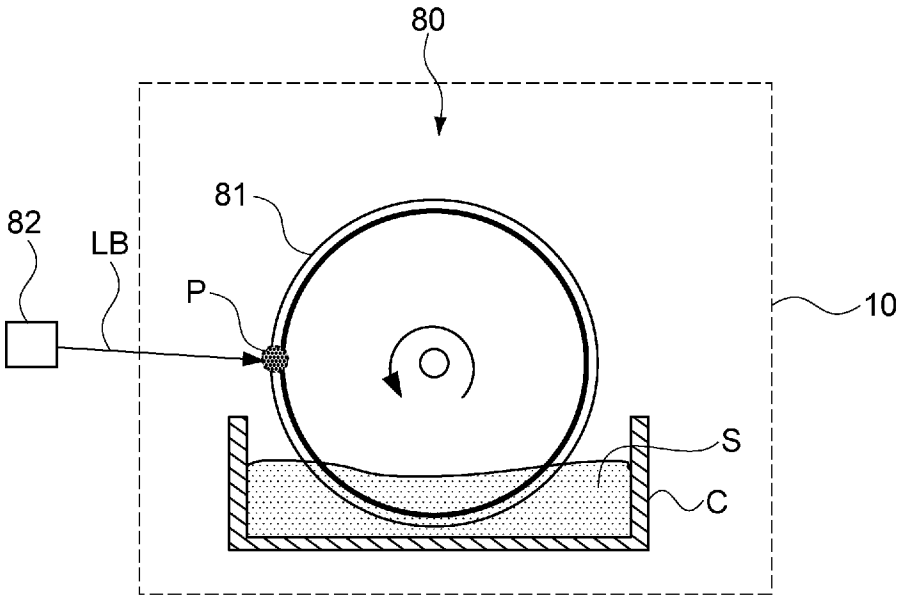
[図20]



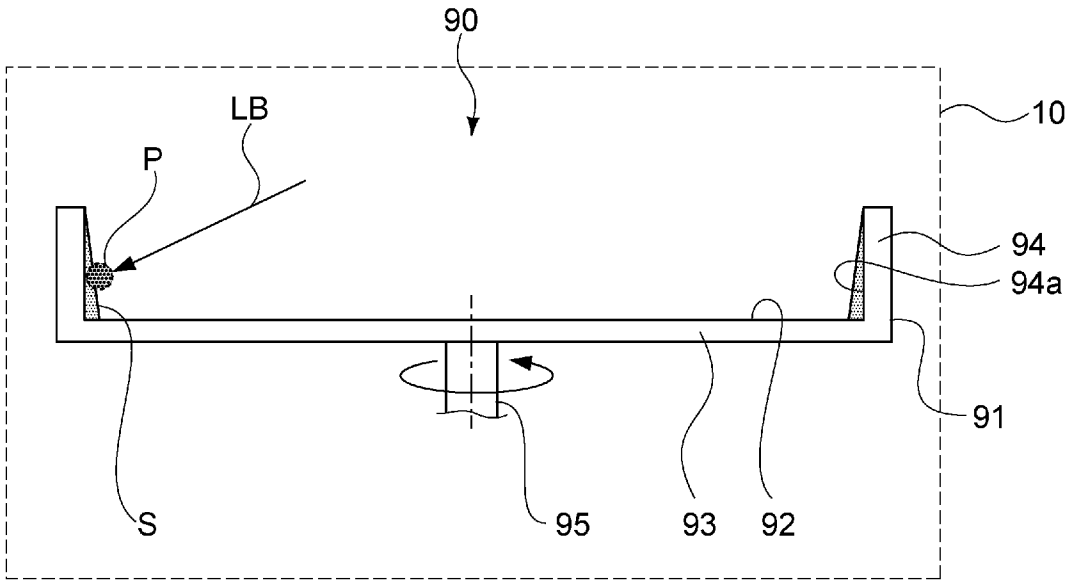
[図21]



[図22]



[図23]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2024/015966

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G03F 7/20(2006.01)i; ***H05G 2/00***(2006.01)i
FI: G03F7/20 503; G03F7/20 521; H05G2/00 K

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G03F7/20; H05G2/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024
Registered utility model specifications of Japan 1996-2024
Published registered utility model applications of Japan 1994-2024

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2007-179881 A (USHIO ELECTRIC INC.) 12 July 2007 (2007-07-12) paragraphs [0017], [0019], [0027]-[0039], fig. 1-7	1-4, 6-15, 17-19, 21, 23
Y		5, 16, 20, 22
Y	JP 2022-138771 A (USHIO ELECTRIC INC.) 26 September 2022 (2022-09-26) paragraphs [0052]-[0070], fig. 2-4	5
Y	JP 2009-88439 A (USHIO ELECTRIC INC.) 23 April 2009 (2009-04-23) paragraph [0030]	16, 22
Y	JP 2014-216286 A (USHIO ELECTRIC INC.) 17 November 2014 (2014-11-17) paragraphs [0047]-[0064], fig. 1	20

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"D" document cited by the applicant in the international application
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
31 May 2024	**11 June 2024**

Name and mailing address of the ISA/JP	Authorized officer
Japan Patent Office (ISA/JP) **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2024/015966

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2007-179881 A	12 July 2007	US 2007/0158594 A1 paragraphs [0040], [0046]-[0047], [0103]-[0135], fig. 1-7 EP 1804555 A1	
JP 2022-138771 A	26 September 2022	US 2022/0291597 A1 paragraphs [0065]-[0083], fig. 2-4 EP 4057070 A1	
JP 2009-88439 A	23 April 2009	(Family: none)	
JP 2014-216286 A	17 November 2014	US 2016/0073486 A1 paragraphs [0108]-[0149], fig. 1	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2024/015966

A.　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

G03F 7/20(2006.01)i; H05G 2/00(2006.01)i
FI: G03F7/20 503; G03F7/20 521; H05G2/00 K

B.　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

G03F7/20; H05G2/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０２４年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２４年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２４年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C.　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X	JP 2007-179881 A (ウシオ電機株式会社) 12.07.2007 (2007-07-12) 段落0017, 0019, 0027-0039, 図1-7	1-4, 6-15, 17-19, 21, 23
Y		5, 16, 20, 22
Y	JP 2022-138771 A (ウシオ電機株式会社) 26.09.2022 (2022-09-26) 段落0052-0070, 図2-4	5
Y	JP 2009-88439 A (ウシオ電機株式会社) 23.04.2009 (2009-04-23) 段落0030	16, 22
Y	JP 2014-216286 A (ウシオ電機株式会社) 17.11.2014 (2014-11-17) 段落0047-0064, 図1	20

☐ Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

*　引用文献のカテゴリー
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献
“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
“&” 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
31.05.2024	11.06.2024

名称及びあて先

日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）

田中　秀直 2G 3409

電話番号 03-3581-1101 内線 3226

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2024/015966

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2007-179881 A	12.07.2007	US 2007/0158594 A1 段落0040，0046-0047，0103-0135，図1-7 EP 1804555 A1	
JP 2022-138771 A	26.09.2022	US 2022/0291597 A1 段落0065-0083，図2-4 EP 4057070 A1	
JP 2009-88439 A	23.04.2009	（ファミリーなし）	
JP 2014-216286 A	17.11.2014	US 2016/0073486 A1 段落0108-0149，図1	