(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
2016 年 10 月 13 日(13.10.2016)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2016/163108 A1

(51) 国際特許分類:
H05G 2/00 (2006.01) *H05H 1/24* (2006.01)
G03F 7/20 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2016/001884

(22) 国際出願日: 2016 年 4 月 1 日(01.04.2016)

(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 2015-078411 2015 年 4 月 7 日(07.04.2015) 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１丁目６番５号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 寺本 雄介(TERAMOTO, Yusuke); 〒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). 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). 浦上 英之(URAKAMI, Hideyuki); 〒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: 小西 恵, 外(KONISHI, Kay et al.); 〒1050001 東京都港区虎ノ門２－７－１６ エグゼクティブタワー虎の門４０３ Tokyo (JP).

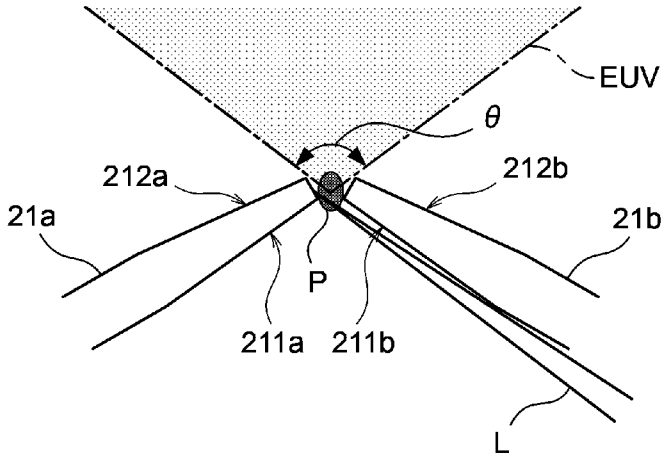
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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).

[続葉有]

(54) **Title**: DISCHARGE ELECTRODES AND LIGHT SOURCE DEVICE

(54) 発明の名称 : 放電電極及び光源装置



(57) **Abstract**: Disclosed are: discharge electrodes having a shape for obtaining the desired light output; and a light source device equipped with these discharge electrodes. The EUV light source device (100) comprises: a pair of disk-shaped discharge electrodes (21a, 21b) whereof respective peripheral portions are disposed so as to be spaced from and opposite one another; pulsed power supply means for supplying pulsed power to the discharge electrodes; raw material supply means for supplying onto the discharge electrodes raw materials for irradiating EUV light; and energy beam irradiation means for irradiating an energy beam onto the raw materials on the curved surfaces of the discharge electrodes to vaporize the raw materials. At least one of the pair of discharge electrodes is provided with a sloped surface (211a, 211b, 212a, or 212b) in the peripheral portion of at least one circular surface thereof, the sloped surface being in such a direction that, the more outward in the radial direction of the discharge electrodes, the thinner the thickness of the discharge electrodes become.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2016/163108 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

所望の光出力を得るための形状を有する放電電極、及びその放電電極を備える光源装置が開示される。 極端紫外光光源装置（１００）は、周縁部を互いに離間して対向配置した一対の円盤状の放電電極（２１ａ、２１ｂ）と、放電電極にパルス電力を供給するパルス電力供給手段と、極端紫外光を放射させるための原料を放電電極上に供給する原料供給手段と、放電電極の曲面上の原料にエネルギービームを照射して当該原料を気化するエネルギービーム照射手段とを備える。一対の放電電極の少なくとも一方における、少なくとも一方の円形表面の周縁部には、当該放電電極の半径方向外側に向かうにつれて当該放電電極の厚さが薄くなる方向に傾斜する傾斜面（２１１ａ、２１１ｂ、２１２ａ、２１２ｂ）が設けられている。

明　細　書

発明の名称 ： 放電電極及び光源装置

技術分野

[0001] 本発明は、放電により光を放射する光源装置に用いられる放電電極、及びその放電電極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１３．５ｎｍ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（ＥＵＶ放射種）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、高温プラズマからＥＵＶ光を取り出す方法がある。

このような方法を採用するＥＵＶ光源装置は、高温プラズマの生成方式により、ＬＰＰ（Laser Produced Plasma：レーザ生成プラズマ）方式と、ＤＰＰ（Discharge Produced Plasma：放電生成プラズマ）方式とに分けられる。

[0003] ＤＰＰ方式のＥＵＶ光源装置は、極端紫外光放射源を含む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。ＤＰＰ方式において、放電を発生させる電極表面にＳｎ（スズ）やＬｉ（リチウム）等の原料を供給し、当該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方式が提案されている。このような方式は、ＬＤＰ（Laser Assisted Discharge Produced Plasma）方式と称されることもある。ＬＤＰ方式のＥＵＶ光源装置としては、例えば、特許文献１に記載の技術がある。この特許文献１（特表２０

０７－５０５４６０号公報）では、上記電極として一対の円盤状の回転電極を用い、当該一対の回転電極を、周縁部のエッジ部同士が対向するように配置している。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特表２００７－５０５４６０号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] ところで、ＥＵＶ光の出力効率は、上記電極の形状に応じて変化する。しかしながら、上記特許文献１（特表２００７－５０５４６０号公報）に記載の技術では、所望のＥＵＶ出力を得るための電極形状について全く考慮されていない。電極間で発生するプラズマから放射されるＥＵＶ光を電極から取り出す際、電極の形状によってはＥＵＶ光の一部が電極端部によって遮光され、ＥＵＶ光の取出角度が所望の角度とならない場合がある。また、電極上の原料に対してエネルギービームを照射する際、電極の形状によっては当該エネルギービームの入射角度が規制され、所望の角度でエネルギービームを照射できない場合がある。

したがって、上記特許文献１に記載の技術にあっては、所望のＥＵＶ光の取出し効率を実現できなかったり、所望のプラズマを生成できなかったりするおそれがある。

そこで、本発明は、所望の光出力を得るための形状を有する放電電極、及びその放電電極を備える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

[0006] 上記課題を解決するために、本発明に係る放電電極の一態様は、周縁部を互いに離間して対向配置した一対の円盤状の放電電極と、前記放電電極にパルス電力を供給するパルス電力供給手段と、光を放射させるための原料を前記放電電極上に供給する原料供給手段と、前記放電電極の曲面上の前記原料

にエネルギービームを照射して当該原料を気化するエネルギービーム照射手段とを備える光源装置における放電電極であって、前記一対の放電電極の少なくとも一方における、少なくとも一方の円形表面の周縁部に、当該放電電極の半径方向外側に向かうにつれて当該放電電極の厚さが薄くなる方向に傾斜する傾斜面が設けられている。

[0007] これにより、例えば、光を取り出す側に位置する円形表面に傾斜面を設ければ、プラズマから放射される光が電極端部によって遮光されるのを抑制し、光の取出角を大きくすることができる。また、エネルギービームが入射される側に位置する円形表面に傾斜面を設ければ、放電電極へのエネルギービームの入射角度を大きくし、電極上での単位面積あたりのエネルギービーム強度を強めることができる。なお、ここでのエネルギービームの入射角度とは、エネルギービームの入射面と前記エネルギービームの入射方向とのなす角度とする（図３に示す角度γ）。このように、所望の光出力を得るための電極形状とすることができる。また、当該傾斜面は、切削加工等により容易に形成することができるため、複雑な製造工程を必要とすることなく所望の光出力を得ることができる。

[0008] また、上記の放電電極において、前記放電電極から前記光を取り出す側に位置する前記円形表面の周縁部に、前記放電電極からの前記光の取出角度に応じた傾斜角度を有する前記傾斜面が設けられていてもよい。これにより、所望の取出角度で放電電極から光を取り出すことができる。したがって、所望の光の取出効率を実現することができる。

さらに、上記の放電電極において、前記エネルギービームの放出源が設置された側に位置する前記円形表面の周縁部に、前記放電電極の曲面への前記エネルギービームの入射角度に応じた傾斜角度を有する前記傾斜面が設けられていてもよい。これにより、所望の入射角度でエネルギービームを放電電極に入射することができる。したがって、所望のプラズマを発生することができ、安定した光の出力が可能となる。

[0009] また、上記の放電電極において、一方の前記円形表面に設けられた前記傾

斜面の傾斜角度は、対面する他方の前記円形表面に設けられた前記傾斜面の傾斜角度とは異なる角度に設定されていてもよい。このように、放電電極の各円形表面において傾斜面の傾斜角度を異ならせるので、光の取出角度の設定やエネルギービームの入射角度の設定の自由度を高めることができる。

さらにまた、上記の放電電極において、一方の前記放電電極に設けられた前記傾斜面の傾斜角度は、他方の前記放電電極に設けられた前記傾斜面の傾斜角度とは異なる角度に設定されていてもよい。このように、各放電電極において傾斜面の傾斜角度を異ならせるので、必要な箇所にのみ傾斜面を設けることができる。したがって、不必要な加工工程を削減することができる。

また、本発明に係る光源装置の一態様は、上記のいずれかの放電電極を備える。これにより、所望の光出力が得られる光源装置とすることができる。

さらに、上記の光源装置において、前記光は、極端紫外光であってもよいし、Ｘ線であってもよいし、真空紫外光であってもよい。

発明の効果

[0010] 本発明によれば、電極間の放電によって発生するプラズマから放射される光の取出角を所望の角度としたり、所望のプラズマを生成したりするなど、所望の光出力を得ることができる。

上記した本発明の目的、態様及び効果並びに上記されなかった本発明の目的、態様及び効果は、当業者であれば添付図面及び請求の範囲の記載を参照することにより下記の発明を実施するための形態（発明の詳細な説明）から理解できるであろう。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]図１は、本実施形態の極端紫外光光源装置の一例を示す概略構成図である。

[図2]図２は、放電電極の形状を示す図である。

[図3]図３は、傾斜面の傾斜角度やレーザ光の入射角度について説明する図である。

[図4]図４は、電極上ビーム形状を示す図である。

[図5]図５は、放電電極の形状の別の例を示す図である。

[図6]図６は、放電電極の形状の別の例を示す図である。

[図7]図７は、放電電極の形状の別の例を示す図である。

[図8]図８は、ＥＵＶ放射側からレーザ光を入射する例である。

[図9]図９は、放電電極を同一平面上に配置した例である。

[図10]図１０は、傾斜面の無い放電電極を、周縁部を対向させて配置した例である。

[図11A]図９の電極上ビーム形状を示す図である。

[図11B]図１０の電極上ビーム形状を示す図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。

（第１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）である場合について説明する。

ＥＵＶ光源装置１００は、半導体露光用光源として使用可能な、例えば波長１３．５ｎｍ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光源装置であり、より具体的には、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（１０ｎｍ～２００ｎｍ）やＸ線（軟Ｘ線～硬Ｘ線：１０ｐｍ～１０ｎｍ）を取り出すことも可能である。

[0013] 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放電部材である。

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。

集光空間１１ｃには、ＥＵＶ集光鏡（集光ミラー）１２と、デブリトラップ１３とが配置されている。

ＥＵＶ集光鏡１２は、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光を集光し、そのＥＵＶ光を、チャンバ１１に設けられたＥＵＶ取出部１１ｄから、例えば露光装置の照射光学系（不図示）へ導く。

[0014] ＥＵＶ集光鏡１２は、例えば、斜入射型の集光鏡であり、複数枚の薄い凹面ミラーを入れ子状に高精度に配置した構造を有する。各凹面ミラーの反射面の形状は、例えば、回転楕円面形状、回転放物面形状、ウォルター型形状であり、各凹面ミラーは回転体形状である。ここで、ウォルター型形状とは、光入射面が、光入射側から順に回転双曲面と回転楕円面、もしくは、回転双曲面と回転放物面からなる凹面形状である。

ＥＵＶ集光鏡１２は、反射面形状が回転楕円面形状、ウォルター型形状等いずれかの形状であって、径が互いに異なる回転体形状の凹面ミラーを複数枚備える。ＥＵＶ集光鏡を構成するこれらの凹面ミラーは、同一軸上に、焦点位置が略一致するように回転中心軸を重ねて配置される。このように凹面ミラーを入れ子状に高精度に配置することにより、ＥＵＶ集光鏡１２は、２５°程度以下の斜入射角度のＥＵＶ光を良好に反射し、且つ一点に集光することが可能となる。

[0015] また、上記した各凹面ミラーの基体材料は、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、凹面ミラーの反射面

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。各凹面ミラーの反射面には、このような金属膜が緻密にコーティングされている。

デブリトラップ１３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、当該デブリがＥＵＶ光の集光部へ移動するのを抑制する。当該デブリトラップ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。

[0016] 放電空間１１ｂに配置された一対の放電電極２１ａ，２１ｂは、金属製の円盤状部材である。放電電極２１ａ，２１ｂ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２１ａ，２１ｂのうち、一方の放電電極２１ａがカソードであり、他方の放電電極２１ｂがアノードである。

放電電極２１ａは、その一部が高温プラズマ原料２２ａを収容するコンテナ２３ａの中に浸されるように配置される。放電電極２１ａの略中心部には、モータ２４ａの回転軸２５ａが取り付けられている。すなわち、モータ２４ａが回転軸２５ａを回転させることにより、放電電極２１ａは回転する。モータ２４ａは、制御部４０によって駆動制御される。

[0017] また、回転軸２５ａは、例えば、メカニカルシール２６ａを介してチャンバ１１内に導入される。メカニカルシール２６ａは、チャンバ１１内の減圧雰囲気を維持しつつ、回転軸２５ａの回転を許容する。

放電電極２１ｂも、放電電極２１ａと同様に、その一部が高温プラズマ原料２２ｂを収容するコンテナ２３ｂの中に浸されるように配置される。放電電極２１ｂの略中心部には、モータ２４ｂの回転軸２５ｂが取り付けられている。すなわち、モータ２４ｂが回転軸２５ｂを回転させることにより、放電電極２１ｂは回転する。モータ２４ｂは、制御部４０によって駆動制御される。

[0018] また、回転軸２５ｂは、例えば、メカニカルシール２６ｂを介してチャンバ１１内に導入される。メカニカルシール２６ｂは、チャンバ１１内の減圧

雰囲気を維持しつつ、回転軸２５ｂの回転を許容する。

放電電極２１ａ，２１ｂの表面上に乗った液体状の高温プラズマ原料２２ａ，２２ｂは、放電電極２１ａ，２１ｂ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２１ａ，２１ｂ間の放電が発生する空間であり、両電極２１ａ，２１ｂが最も近接した部分である。本実施形態では、放電電極２１ａ，２１ｂは、周縁部のエッジ部分を互いに一定距離離間して対向配置されている。したがって、上記放電領域は、放電電極２１ａ，２１ｂの周縁部のエッジ部分間距離が最も短い部分となる。

[0019] 高温プラズマ原料２２ａ，２２ｂとしては、溶融金属、例えば液体状のスズ（Ｓｎ）を用いる。この高温プラズマ原料２２ａ，２２ｂは、放電電極２１ａ，２１ｂに電力を供給する給電用の導電体としても働く。

コンテナ２３ａ，２３ｂは、チャンバ１１内の減圧雰囲気を維持可能な絶縁性の電力導入部１１ｅ，１１ｆを介して、パルス電力供給部２７に接続されている。コンテナ２３ａ及び２３ｂ、並びに高温プラズマ原料であるスズ２２ａ及び２２ｂは導電性である。放電電極２１ａの一部及び放電電極２１ｂの一部はそれぞれスズ２２ａ，２２ｂに浸漬している。そのため、コンテナ２３ａ，２３ｂ間にパルス電力供給部２７からパルス電力を供給することで、放電電極２１ａ，２１ｂ間にパルス電力を供給することができる。

なお、特に図示しないが、コンテナ２３ａ及び２３ｂには、スズ２２ａ，２２ｂを溶融状態に維持する温度調節機構が設けられている。

[0020] パルス電力供給部２７は、コンテナ２３ａ及び２３ｂ間、すなわち放電電極２１ａ及び２１ｂ間にパルス幅の短いパルス電力を供給する。パルス電力供給部２７は、制御部４０によって駆動制御される。

レーザ源２８は、放電領域に輸送された放電電極２１ａ上のスズ２２ａに対してレーザ光（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。レーザ源２８は、例えばＮｄ：ＹＶＯ$_4$レーザ装置（Neodymium-doped Yttrium Orthovanadate　レーザ装置）である。このレーザ源２８が放出する

レーザ光Ｌは、レーザ光集光部等を介してチャンバ１１の窓部１１ｇに入射し、放電電極２１ａ上に導かれる。レーザ源２８によるレーザ光の照射タイミングは、制御部４０が制御する。

[0021] パルス電力供給部２７が放電電極２１ａ，２１ｂにパルス電力を供給した状態で、放電領域に輸送された高温プラズマ原料２２ａに対してレーザ光が照射されると、当該高温プラズマ原料が気化し、両電極２１ａ，２１ｂ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２２ａ，２２ｂ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ＥＵＶ光が放射される。

なお、上述したように、パルス電力供給部２７は放電電極２１ａ，２１ｂ間にパルス電力を供給するため、上記放電はパルス放電となり、放射されるＥＵＶ光はパルス状に放射されるパルス光となる。

[0022] 本実施形態では、所望のＥＵＶ出力を得るために、放電電極２１ａ，２１ｂの円形表面の周縁部に、円盤の半径方向外側に向かうにつれて円盤の厚さが薄くなる方向に傾斜する傾斜面を形成する。以下、放電電極２１ａ，２１ｂの形状について具体的に説明する。

図２は、放電電極２１ａ及び２１ｂの形状を示す図である。

放電電極２１ａは、レーザ光Ｌの入射側に傾斜面２１１ａを有し、ＥＵＶ光の放射側に傾斜面２１２ａを有する。ここで、レーザ光Ｌの入射側とは、カソード（放電電極２１ａ）の曲面上に照射するレーザ光Ｌが入射してくる側であり、レーザ光Ｌの放出源であるレーザ源２８が設置された側である。また、ＥＵＶ光の放射側とは、放電電極２１ａ，２１ｂからＥＵＶ光を取り出す側である。また、放電電極２１ｂは、入射側に傾斜面２１１ｂを有し、放射側に傾斜面２１２ｂを有する。この図２に示す例では、放電電極２１ａと放電電極２１ｂとは同一形状を有するものとしている。

[0023] 入射側の傾斜面２１１ａ，２１１ｂの傾斜角度は、放電電極２１ａへのレーザ光Ｌの入射角度が所望の角度となるように決定する。また、放射側の傾

斜面２１２ａ，２１２ｂの傾斜角度は、ＥＵＶ光の放射角（取出角）θが所望の角度となるように決定する。ここで、入射側の傾斜面２１１ａの傾斜角度とは、図３に示す角度αであり、放射側の傾斜面２１２ａの傾斜角度とは、図３に示す角度βである。傾斜面２１１ｂ，２１２ｂについても同様である。また、レーザ光Ｌの入射角度とは、図３に示す角度γである。

なお、入射側の傾斜面２１１ａ，２１１ｂの傾斜角度と放射側の傾斜面２１２ａ，２１２ｂの傾斜角度とは、同一角度（α＝β）であってもよいし、異なる角度（α≠β）であってもよい。

[0024] 図９は、円盤状の放電電極１２１ａ及び１２１ｂを、略同一平面上に配置した例である。この図９に示す放電電極１２１ａ及び１２１ｂは、本実施形態の放電電極２１ａ及び２１ｂのような傾斜面を有していない。この場合、電極間の放電によって発生するプラズマＰから放射されるＥＵＶ光の一部は、放電電極１２１ａ，１２１ｂにおける放射側端部（図９における上側端部）により遮光されやすくなる。そのため、その分ＥＵＶの放射角が小さくなり、ＥＵＶ光の取り出し効率が低下してしまう。

[0025] また、放電は、上述したように、両電極が最も近接した位置で発生しやすい。図９に示す配置の場合、放電電極１２１ａの回転軸と放電電極１２１ｂの回転軸とが平行であるため、アノードとカソードとは端部側面同士が対向した配置となる。したがって、図９に示す配置の場合、放電が発生し得る領域は線状となる。すなわち、線状領域の任意の場所で放電が発生し、放電する場所が安定しない。そのため、ＥＵＶ出力が安定しない。

図１０は、図９に示す放電電極１２１ａ及び１２１ｂを、各回転軸が所定の角度で交差するように傾けて配置した例である。ここでは、ＥＵＶ光の放射側（図１０の上側）の端部側面間距離が、レーザ光Ｌの入射側（図１０の下側）の端部側面間距離に比べて広くなるように、放電電極１２１ａ及び１２１ｂのエッジ部分を対向配置している。この場合、図９に示す例と比較して、プラズマＰから放射されるＥＵＶ光が電極の放射側端部により遮光される量が少なくなり、より多くのＥＵＶ光を取り出すことができる。すなわち

、プラズマＰからのＥＵＶ光の取り出し効率を向上させることができる。

[0026] さらに、図１０に示す配置の場合、アノードとカソードとは周縁部のエッジ部同士が対向した配置である。そのため、この場合、放電が発生し得る領域は上記エッジ部の一点となる。すなわち、放電は、両電極の所定の点状領域で発生することになる。このように、放電が発生する場所が安定するので、結果的にＥＵＶ出力が安定する。

しかしながら、この図１０に示す配置では、カソード（放電電極１２１ａ）へ照射するレーザ光Ｌがアノード（放電電極１２１ｂ）の入射側端部（図１０の下側端部）によって遮光されないように、図９に示す配置と比較して、カソード（放電電極１２１ａ）へのレーザ光Ｌの入射角度を小さくする必要がある。すなわち、放電電極１２１ａ上でのレーザ光Ｌの照射領域は、図１０に示す配置の方が図９に示す配置と比較して大きくなる。

[0027] 図９に示す配置の場合、図１１Ａに示すように、放電電極１２１ａ上のビーム形状Ｂは円形状に近い楕円形状となるのに対し、図１０に示す配置の場合、図１１Ｂに示すように、放電電極１２１ａ上のビーム形状Ｂは、より長軸が長い楕円形状となる。そのため、図１０に示す配置の方が、単位面積当たりのレーザ光強度が弱くなる。したがって、高温プラズマ原料の気化量が不十分となってプラズマが生成できなかったり、気化した高温プラズマ原料が空間的に広がりすぎ、プラズマが大きくなってしまったりすることがある。このように、所望のＥＵＶ出力が得られないおそれがある。

[0028] これに対して、本実施形態では、放電電極２１ａ，２１ｂの入射側端部に傾斜面２１１ａ，２１１ｂを形成する。

アノード（放電電極２１ｂ）の入射側端部に傾斜面２１１ｂを形成することで、その分、カソード（放電電極２１ａ）へのレーザ光Ｌの入射角度γを大きくすることができる。すなわち、放電電極２１ａ，２１ｂの回転軸の配置角度が、図１０に示す放電電極１２１ａ，１２１ｂの回転軸の配置角度と同等である場合、図１０に示す構成と比較して、レーザ光Ｌの入射角度γを大きくすることができる。

これにより、本実施形態では、図４に示すように、放電電極２１ａ上のビーム形状Ｂを円形状に近い楕円形状（より長軸が短い楕円形状）とすることができる。したがって、単位面積当たりのレーザ光強度を、図１０に示す構成と比較して強めることができる。そのため、高温プラズマ原料の気化量を十分に確保し、適切にプラズマを生成することができる。また、気化した高温プラズマ原料の空間的な広がりを抑制し、プラズマが大きくなるのを抑制することができる。

レーザ光Ｌをアノード（放電電極２１ｂ）によって遮光されることなくカソード（放電電極２１ａ）に照射することが可能なレーザ光Ｌの入射角度γの最大値は、アノード（放電電極２１ｂ）に形成した傾斜面２１１ｂの傾斜角度（傾斜の深さを含む）によって決まる。したがって、傾斜面２１１ｂの傾斜角度を調整することで、レーザ光Ｌの入射角度γを所望の角度に設定することができる。

[0029] また、カソード（放電電極２１ａ）の入射側端部にも、アノード（放電電極２１ｂ）と同様に傾斜面２１１ａを形成することで、電極端部のエッジ部同士を対称的に配置することができる。そのため、放電が発生する場所を安定させることができる。したがって、ＥＵＶ光の発光点の揺れを抑制することができ、安定したＥＵＶ出力を得ることができる。

さらに、放電電極２１ａ，２１ｂの放射側端部に傾斜面２１２ａ，２１２ｂを形成することで、放電電極２１ａ，２１ｂの回転軸の配置角度が、図１０に示す放電電極１２１ａ，１２１ｂの回転軸の配置角度と同等である場合、図１０に示す構成と比較して、電極の放射側端部によって遮光されるＥＵＶ放射量が少なくなる。すなわち、より多くのＥＵＶ光を取り出すことができ、プラズマＰからのＥＵＶ光の取り出し効率をより向上させることができる。

ＥＵＶ放射角θは、放電電極２１ａ，２１ｂの放射側の傾斜面２１２ａ，２１２ｂの傾斜角度（傾斜の深さを含む）によって決まる。したがって、傾斜面２１２ａ，２１２ｂの傾斜角度を調整することで、ＥＵＶ放射角θを所

望の角度に設定することができる。

[0030] また、入射側の傾斜面の傾斜角度αと放射側の傾斜面の傾斜角度βとを等しい角度とすれば、各放電電極２１ａ，２１ｂの傾斜面を切削により加工する際の切削工具の傾斜設定が１回でよい。そのため、放電電極２１ａ，２１ｂの製造を容易にすることができる。

一方、入射側の傾斜面の傾斜角度αと放射側の傾斜面の傾斜角度βとが異なる場合には、切削工具の傾斜設定が２回必要となり、両者が等しい場合と比較して、製造工程が若干複雑になる。ただし、ＥＵＶ放射角θの設定、及びレーザ光Ｌの入射角度γの設定の自由度は増加するという利点がある。

[0031]（変形例）

上記実施形態においては、放電電極２１ａ及び２１ｂの入射側及び放射側にそれぞれ傾斜面を形成する場合について説明したが、放電電極２１ａ，２１ｂの少なくとも一方の電極の入射側及び放射側の少なくとも一方に、傾斜面を形成するようにしてもよい。

例えば、図５に示すように、放電電極２１ａ，２１ｂの入射側のみに傾斜面２１１ａ，２１１ｂを形成するようにしてもよい。この場合、ＥＵＶ放射角θについては、図１０に示す構成と同等であるが、カソード（放電電極２１ａ）へのレーザ光Ｌの入射角度γは、図１０に示す構成と比較して大きくすることができる。このように、図１０に示す構成と比較して、放電電極２１ａ上の単位面積当たりのレーザ光強度を強めることができ、所望のプラズマＰを発生させることができる。

[0032] また、例えば図６に示すように、放電電極２１ａ，２１ｂの放射側のみに傾斜面２１２ａ，２１２ｂを形成するようにしてもよい。この場合、カソード（放電電極２１ａ）へのレーザ光Ｌの入射角度γについては、１０に示す構成と同等であるが、ＥＵＶ放射角θは図１０に示す構成と比較して大きくすることができる。このように、図１０に示す構成と比較して、ＥＵＶ光の取り出し効率を向上させることができる。

さらに、例えば図７に示すように、入射側については、アノード（放電電

極２１ｂ）のみに傾斜面２１１ｂを形成するようにしてもよい。この場合にも、上述した図５に示す例と同様に、カソード（放電電極２１ａ）へのレーザ光Ｌの入射角度γは、図１０に示す構成と比較して大きくすることができる。また、放電電極２１ａの入射側の傾斜面を形成するための切削加工等の処理が不要となるため、その分、製造工程を削減することができる。なお、入射側において、片方の放電電極のみに傾斜面を形成した場合、アノードとカソードとは電極端部のエッジ部同士が対称的な配置とはならない。しかしながら、図９のように端部側面同士を対向配置する構成ではないため、放電が発生する場所をある程度固定することができ、プラズマＰの位置が不安定となるのを抑制することができる。

[0033] さらに、上記実施形態においては、放電電極２１ａ，２１ｂを挟んでＥＵＶ光の放射側とは反対側をレーザ光Ｌの入射側としているが、例えば図８に示すように、ＥＵＶ光の放射側とレーザ光Ｌの入射側とを同じ側としてもよい。そして、この場合にも、放電電極２１ａ，２１ｂの端部にそれぞれ傾斜面を形成してもよい。この場合、放射側の傾斜面２１２ａ，２１２ｂにより、上述したようにＥＵＶ放射角θを大きくすることができ、ＥＵＶ光の取り出し効率を向上させることができる。

また、ＥＵＶ光の放射側（レーザ光Ｌの入射側）とは反対側の傾斜面２１１ａ，２１１ｂにより、高温プラズマ原料（スズ）２２ａ，２２ｂを効率的に電極端部へ付着させることができる。放電電極２１ａ，２１ｂが回転すると、放電電極２１ａ，２１ｂの表面上に付着しているスズ２２ａ，２２ｂにも遠心力が作用し、スズ２２ａ，２２ｂが放電電極２１ａ，２１ｂの周縁部側に移動しようとする。このとき、周縁部に傾斜面が形成されていれば、スズ２２ａ，２２ｂが電極端部側面に流れ込みやすくなる。したがって、プラズマＰの発生に必要な領域に、適切にスズ２２ａ，２２ｂを付着させることができる。

[0034] （応用例）

上記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。

さらに、上記実施形態においては、ＥＵＶ光源装置を半導体露光用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、露光用マスクの検査装置等の光源として用いることもできる。

また、上記ＥＵＶ光源装置を、ＶＵＶ（真空紫外光）を取り出すＶＵＶ光源装置として機能させる場合、このＶＵＶ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。

さらに、上記ＥＵＶ光源装置を、Ｘ線を取り出す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、ＣＴ（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。

[0035] なお、上記において特定の実施形態が説明されているが、当該実施形態は単なる例示であり、本発明の範囲を限定する意図はない。本明細書に記載された装置及び方法は上記した以外の形態において具現化することができる。また、本発明の範囲から離れることなく、上記した実施形態に対して適宜、省略、置換及び変更をなすこともできる。かかる省略、置換及び変更をなした形態は、請求の範囲に記載されたもの及びこれらの均等物の範疇に含まれ、本発明の技術的範囲に属する。

符号の説明

[0036] １１…チャンバ、１２…ＥＵＶ集光鏡、１３…ホイルトラップ、２１ａ，２１ｂ…放電電極、２２ａ，２２ｂ…高温プラズマ原料、２３ａ，２３ｂ…コンテナ、２４ａ，２４ｂ…モータ、２７…パルス電力供給部、２８…レー

ザ源、１００…極端紫外光光源装置（ＥＵＶ光源装置）、２１１ａ，２１１ｂ…傾斜面（入射側）、２１２ａ，２１２ｂ…傾斜面（放射側）

請求の範囲

[請求項1] 周縁部を互いに離間して対向配置した一対の円盤状の放電電極と、前記放電電極にパルス電力を供給するパルス電力供給手段と、光を放射させるための原料を前記放電電極上に供給する原料供給手段と、前記放電電極の曲面上の前記原料にエネルギービームを照射して当該原料を気化するエネルギービーム照射手段と、を備える光源装置における放電電極であって、

前記一対の放電電極の少なくとも一方における少なくとも一方の円形表面の周縁部に、当該放電電極の半径方向外側に向かうにつれて当該放電電極の厚さが薄くなる方向に傾斜する傾斜面が設けられていることを特徴とする放電電極。

[請求項2] 前記放電電極から前記光を取り出す側に位置する前記円形表面の周縁部に、前記放電電極からの前記光の取出角度に応じた傾斜角度を有する前記傾斜面が設けられていることを特徴とする請求項１に記載の放電電極。

[請求項3] 前記エネルギービームの放出源が設置された側に位置する前記円形表面の周縁部に、前記放電電極の曲面への前記エネルギービームの入射角度に応じた傾斜角度を有する前記傾斜面が設けられていることを特徴とする請求項１または２に記載の放電電極。

[請求項4] 一方の前記円形表面に設けられた前記傾斜面の傾斜角度は、対面する他方の前記円形表面に設けられた前記傾斜面の傾斜角度とは異なる角度に設定されていることを特徴とする請求項１～３のいずれか１項に記載の放電電極。

[請求項5] 一方の前記放電電極に設けられた前記傾斜面の傾斜角度は、他方の前記放電電極に設けられた前記傾斜面の傾斜角度とは異なる角度に設定されていることを特徴とする請求項１～４のいずれか１項に記載の放電電極。

[請求項6] 前記請求項１～５のいずれか１項に記載の放電電極を備える光源装

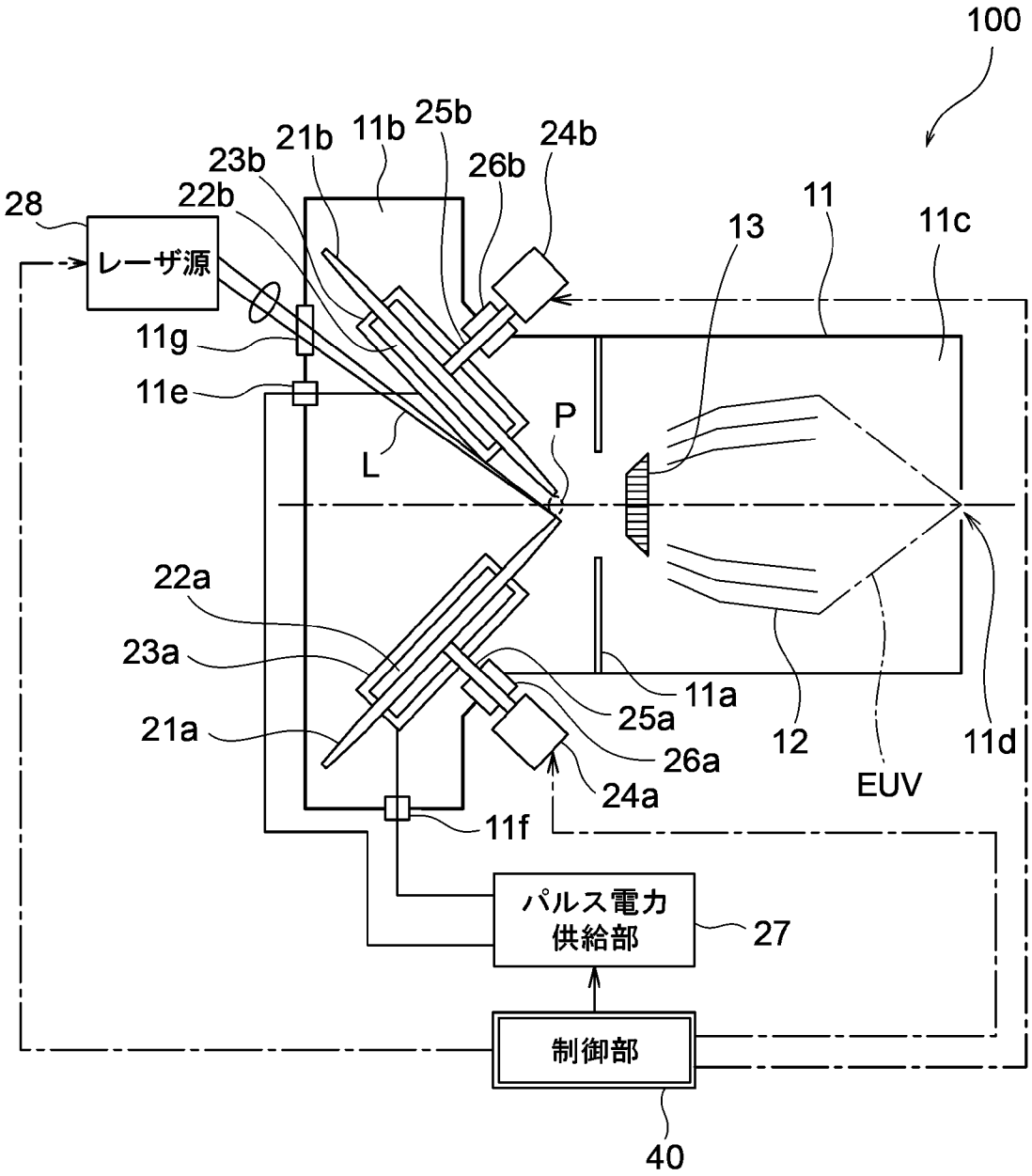
置。

[請求項7] 前記光は、極端紫外光であることを特徴とする請求項６に記載の光源装置。

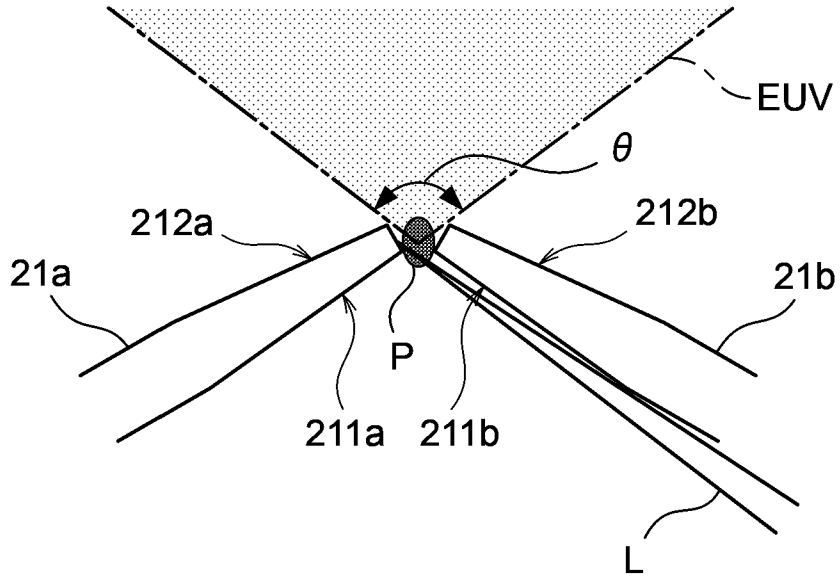
[請求項8] 前記光は、Ｘ線であることを特徴とする請求項６に記載の光源装置。

[請求項9] 前記光は、真空紫外光であることを特徴とする請求項６に記載の光源装置。

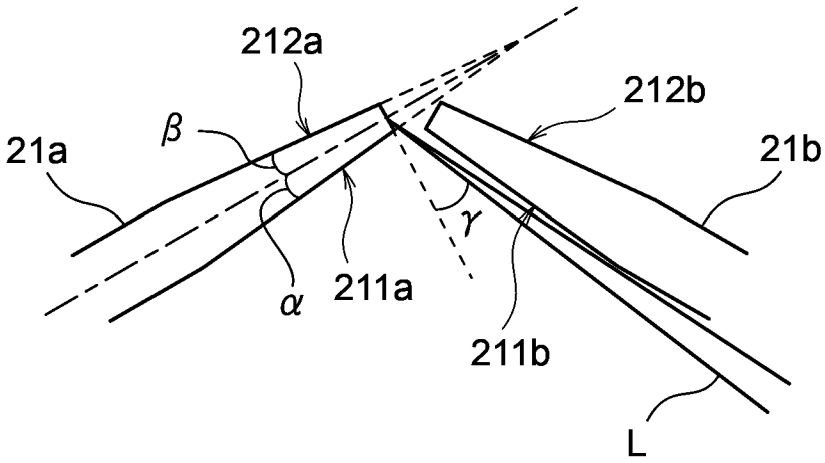
[図1]


100
28
レーザ源
22b
23b
21b
11b
25b
26b
24b
11
13
11c
11g
11e
L
P
22a
23a
21a
11a
25a
26a
24a
11f
12
EUV
11d
パルス電力
供給部
27
制御部
40

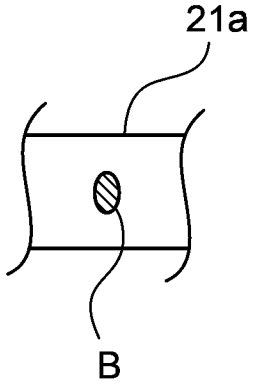
[図2]


EUV
θ
212a
212b
21a
21b
P
211a
211b
L

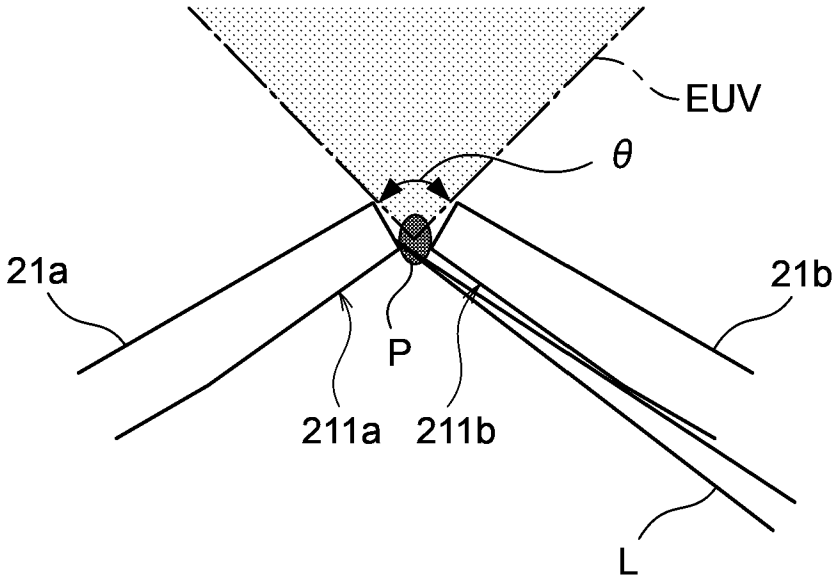
[図3]


212a
212b
β
21a
21b
γ
α
211a
211b
L

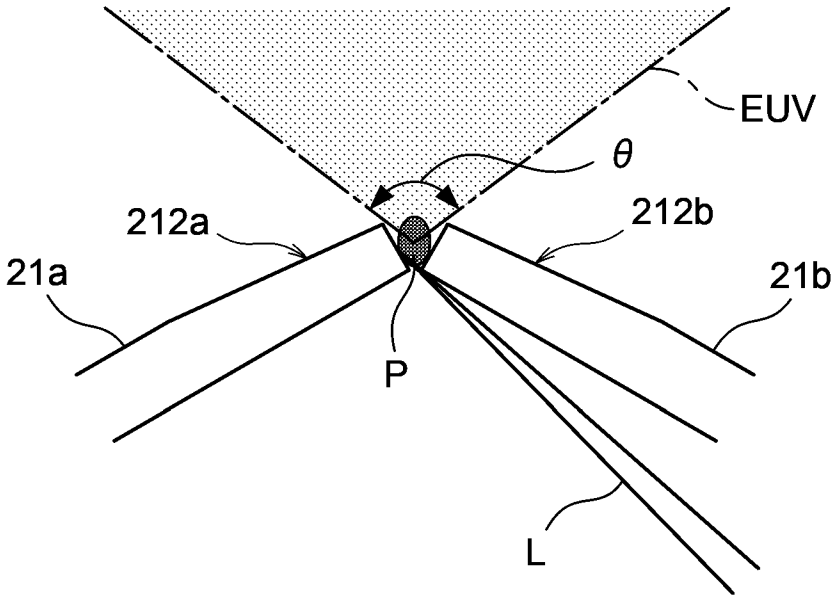
[図4]


21a
B

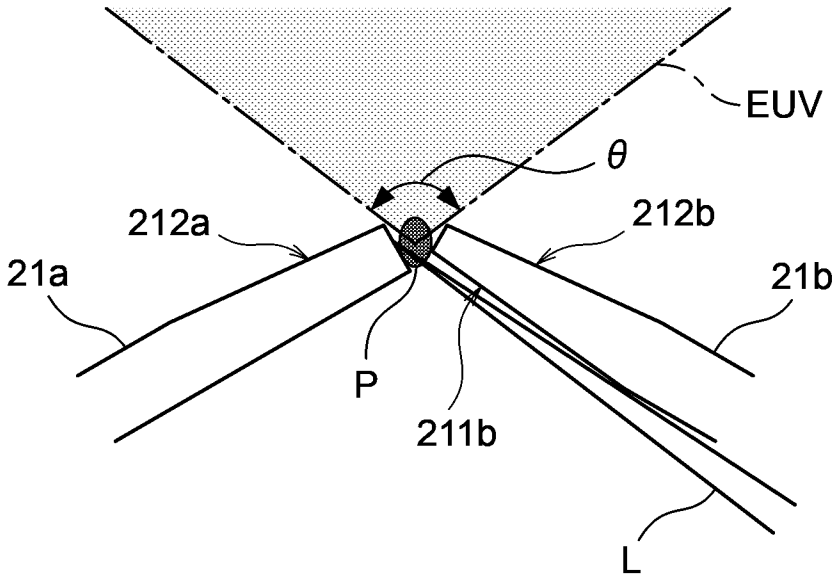
[図5]



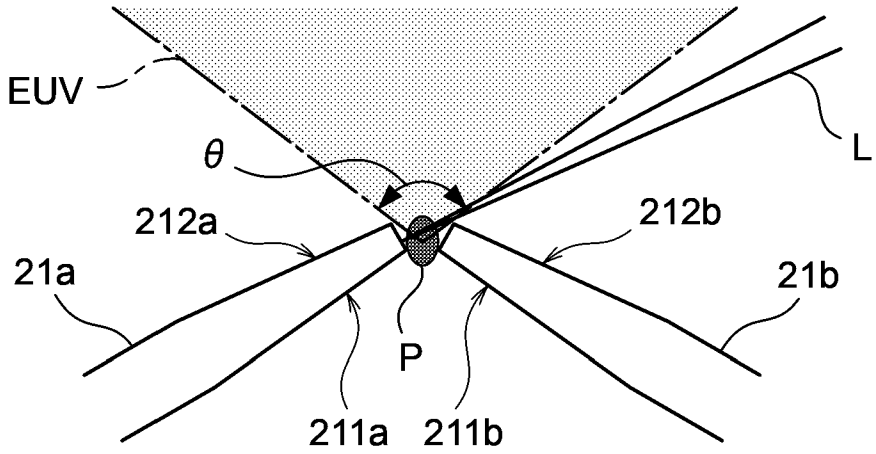
[図6]



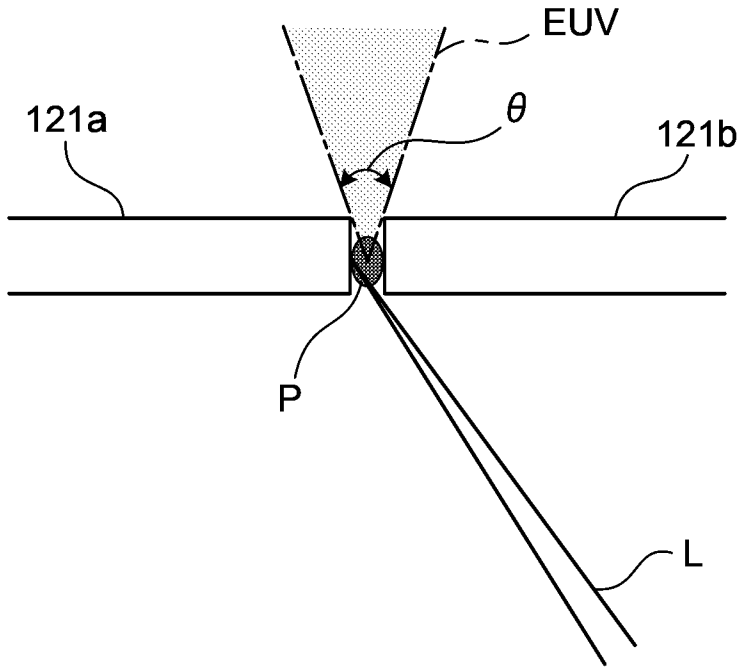
[図7]


EUV
θ
212a
212b
21a
21b
P
211b
L

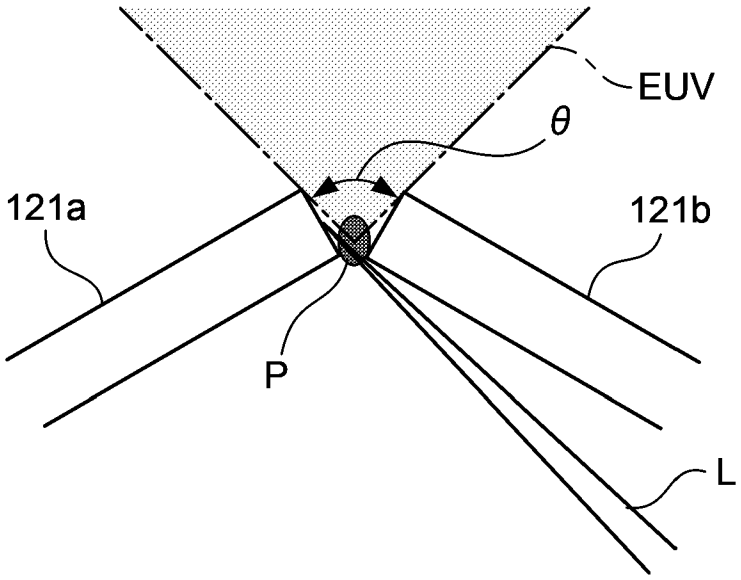
[図8]


EUV
θ
L
212a
212b
21a
21b
P
211a
211b

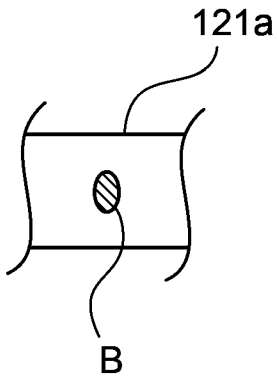
[図9]



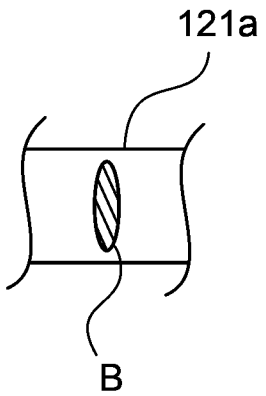
[図10]



[図11A]



[図11B]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/001884

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H05G2/00(2006.01)i, *G03F7/20*(2006.01)i, *H05H1/24*(2006.01)i

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)
H05G2/00, G03F7/20, H05H1/24

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2016 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2016

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 A	JP 2011-508377 A (ASML Netherlands B.V.), 10 March 2011 (10.03.2011), paragraphs [0047] to [0048]; fig. 7 to 8 & WO 2009/078722 A1 paragraphs [0057] to [0058]; fig. 7 to 8 & US 2011/0134405 A1 & CN 101911839 A	1,3,6-9 2,4-5
X A	JP 2010-512020 A (ASML Netherlands B.V.), 15 April 2010 (15.04.2010), paragraphs [0039], [0047]; fig. 3, 5 & WO 2008/069653 A1 paragraphs [0055], [0063]; fig. 3, 5 & US 7759663 B1 & CN 101595430 A	1-3,6-9 4-5

☒ 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
"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
03 June 2016 (03.06.16)	14 June 2016 (14.06.16)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Authorized officer Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2015)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/001884

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2007-12603 A (XTREME Technologies GmbH), 18 January 2007 (18.01.2007), paragraph [0056]; fig. 5 & US 2007/0085044 A1 paragraph [0067]; fig. 5 & DE 102005030304 A1	1-2,6-9 3-5
A	JP 2010-503170 A (Koninklijke Philips Electronics N.V.), 28 January 2010 (28.01.2010), entire text; all drawings & WO 2008/029327 A2 & US 2009/0250638 A1 & CN 101513135 A	1-9
A	JP 2007-53099 A (XTREME Technologies GmbH), 01 March 2007 (01.03.2007), entire text; all drawings & DE 102005039849 A & US 2007/0040511 A1	1-9

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１６／００１８８４

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H05G2/00(2006.01)i, G03F7/20(2006.01)i, H05H1/24(2006.01)i

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））

Int.Cl.　H05G2/00, G03F7/20, H05H1/24

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	１９７１－２０１６年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１６年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１６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 A	JP 2011-508377 A (エーエスエムエル　ネザーランズ　ビー．ブイ．) 2011.03.10, 段落［００４７］－［００４８］、図７－８ & WO 2009/078722 A1, 段落［００５７］－［００５８］、図７－８ & US 2011/0134405 A1 & CN 101911839 A	1, 3, 6-9 2, 4-5
X A	JP 2010-512020 A (エーエスエムエル　ネザーランズ　ビー．ブイ．) 2010.04.15, 段落［００３９］、［００４７］、図３、５ & WO 2008/069653 A1, 段落[００５５]、[００６３]、図３、５ & US 7759663 B1 & CN 101595430 A	1-3, 6-9 4-5

☑　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
「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矛盾するものではなく、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
０３．０６．２０１６	１４．０６．２０１６

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　２Ｕ　３７０１
遠藤　直恵
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２９２

Ｃ（続き）．　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 A	JP 2007-12603 A (イクストリーメ　テクノロジース　ゲゼルシャフト　ミット　ベシュレンクテル　ハフツング) 2007.01.18, 段落[００５６]、図５ & US 2007/0085044 A1, 段落［００６７］, 図５ & DE 102005030304 A1	1-2, 6-9 3-5
A	JP 2010-503170 A (コーニンクレッカ　フィリップス　エレクトロニクス　エヌ　ヴィ) 2010.01.28, 全文、全図 & WO 2008/029327 A2 & US 2009/0250638 A1 & CN 101513135 A	1-9
A	JP 2007-53099 A (イクストリーメ　テクノロジース　ゲゼルシャフト　ミット　ベシュレンクテル　ハフツング) 2007.03.01, 全文、全図 & DE 102005039849 A & US 2007/0040511 A1	1-9