

(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
2014 年 11 月 6 日(06.11.2014)



(10) 国際公開番号
WO 2014/178177 A1

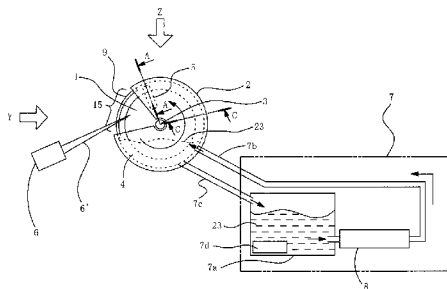
- (51) 国際特許分類:
H05G 2/00 (2006.01) *H01L 21/027* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/002306
- (22) 国際出願日: 2014 年 4 月 24 日(24.04.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2013-095235 2013 年 4 月 30 日(30.04.2013) JP
- (71) 出願人: ウシオ電機株式会社(USHIO DENKI KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒1008150 東京都千代田区大手町 2 丁目 6 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 寺本 雄介(TERAMOTO, Yusuke); 52074 アーヘンシュタインバッハシュトラッセ 15 Aachen (DE). 新美 剛太(NIIMI, Gota); 〒4120038 静岡県御殿場市駒門 1 丁目 9 0 番地 ウシオ電機株式会社内 Shizuoka (JP). 平岡 尊宏(HIRAOKA, Takahiro); 〒6710224 兵庫県姫路市別所町佐土 1 1 9 4 番地 ウシオ電機株式会社内 Hyogo (JP). ゴールドホーン ピーター(GOLD-HOORN, Pieter); 52074 アーヘンシュタインバッハシュトラッセ 15 Aachen (DE).
- (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ノ門 4 0 3 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, LT, 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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロシヤ (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]

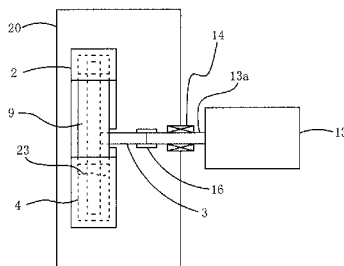
(54) Title: EXTREME UV RADIATION LIGHT SOURCE DEVICE

(54) 発明の名称: 極端紫外光光源装置

【図1A】



【図1B】



(57) Abstract: To cause a stable emission of extreme UV radiation from a laser-produced plasma, an extreme UV radiation light source device is disclosed, wherein a liquid or a solid raw material is supplied stably with fewer scattering of debris into the plasma generation space. In the device, a raw material supply mechanism is provided, comprising a disk-shaped rotor (1), a motor (3) for spinning the rotor (1), a cover-shaped structure (2) surrounding the rotor (1) via a gap, and a first reservoir (4) which is provided inside the cover-shaped structure (2) and accumulates a liquid high-temperature plasma raw material (23). When the rotor (1) spins, a portion of the surface on the rotor (1) becomes coated by the liquid high-temperature plasma raw material (23). A portion of the cover-shaped structure (2) is provided with an aperture (15) exposing the surface of the rotor (1) coated by the high temperature plasma raw material (23). The high-temperature plasma raw material is irradiated by an energy beam (6') from an energy beam supply device (6), through the aperture (15), generating EUV emission.

(57) 要約: レーザ生成プラズマによる極端紫外光を安定に放射させるため、液体または固体の原料を安定に供給し、デブリのプラズマ発生空間への飛散を少なくする極端紫外光光源装置が開示される。この装置において、円盤状の回転体(1)と、回転体(1)を回転させるモータ(3)と、回転体(1)をギャップを介して包囲するカバー状構造体(2)と、カバー状構造体(2)の内部に設けられ液体状の高温プラズマ原料(23)を貯留する第1の貯留槽(4)を備えた原料供給機構が提供される。回転体(1)が回転すると回転体(1)の表面の一部に液体状の高温プラズマ原料(23)が塗布される。カバー状構造体(2)の一部には、回転体

(1)の高温プラズマ原料(23)が塗布された面を露出する開口部(15)が設けられている。エネルギービーム供給装置(6)から開口部(15)を介してエネルギービーム(6')が高温プラズマ原料に照射されEUV放射が発生する。



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： 極端紫外光光源装置

技術分野

[0001] 本発明は、極端紫外光光源装置に関し、更に詳細にはレーザ生成プラズマによる極端紫外光を放射させるための液体または固体の原料を供給する原料供給機構を備えた極端紫外光光源装置に関する。

背景技術

[0002] 半導体集積回路の微細化、高集積化につれて、その製造用の投影露光装置においては解像力の向上が要請されている。その要請に応えるため、露光用光源の短波長化が進められ、エキシマレーザ装置に続く次世代の半導体露光用光源として、波長13～14 nm、特に波長13.5 nmの極端紫外光（以下、EUV（Extreme Ultraviolet）光ともいう）を放出する極端紫外光光源装置（以下、EUV光源装置ともいう）が開発されている。また、EUV光を用いた投影露光装置に使用されるマスクの検査用光源としてもEUV光源装置は使用される。

[0003] 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EUV放射種の加熱励起により高温プラズマを発生させ、このプラズマから放射される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光源装置の種類の一つに、DPP（Discharge Produced Plasma：放電生成プラズマ）方式EUV光源装置がある。DPP方式EUV光源装置は、電流駆動によって生成した高温プラズマからのEUV放射光を利用するものである。

[0004] EUV光源装置において、強い放射強度の波長13.5 nmのEUV光を放出する放射種、すなわち、EUV発生用高温プラズマ原料として、Li（リチウム）とSn（スズ）が注目されている。以下、DPP方式に基づくEUV放射のメカニズムを簡単に説明する。

DPP方式では、例えば内部に電極が配置された放電容器内をガス状の高

温プラズマ原料雰囲気とし、当該雰囲気中の電極間において放電を発生させて初期プラズマを生成する。ここで、放電により電極間を流れる電流の自己磁場の作用により、上記した初期プラズマは収縮される。これにより初期プラズマの密度は高くなり、プラズマ温度が急激に上昇する。このような作用を、以下ピンチ効果と称する。ピンチ効果による加熱によって、高温となったプラズマのイオン密度は $10^{17} \sim 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 、電子温度は $20 \sim 30 \text{ eV}$ 程度に到達し、この高温プラズマからEUV光が放射される。

[0005] 近年、DPP方式において、放電が発生する電極表面に供給された固体もしくは液体のスズやリチウムにレーザ等のエネルギービームを照射して気化させ、その後、放電によって高温プラズマを生成する方法が特許文献1（特表2007-505460号公報）において提案されている。以下、エネルギービームがレーザである場合を説明する。また、上記したこの方式をLDPP（Laser Assisted Gas Discharge Produced Plasma）方式と称することにする。

[0006] 以下、特許文献1（特表2007-505460号公報）に示されたLDPP方式によるEUV光源装置について説明する。図11は特許文献1（特表2007-505460号公報）に示されたEUV光源装置の断面図である。

符号114、116は円盤状の電極であり、所定の圧力に調整された放電空間112内に配置される。電極114および116は所定間隔だけ互いに離間しており、146を回転軸として回転する。符号124は、波長13.5nmのEUV光を放射する高温プラズマ用原料である。高温プラズマ原料124は、加熱された溶融金属（melted metal）例えば液体状のスズであり、コンテナ126に収容される。溶融金属124の温度は、コンテナ126内に設けられた温度調整手段130により調整される。

[0007] 上記電極114、116は、その一部が溶融金属124を収容するコンテナ126の中に浸されるように配置される。電極114、116の表面上に乗った液体状の溶融金属124は、電極114、116が回転することによ

り、放電空間 112 に輸送される。上放電空間 112 に輸送された溶解金属 124 に対して、すなわち、放電空間 112 において、所定間隔だけ互いに離間した電極 114, 116 の表面に存在する溶解金属 124 に対して、図示を省略したレーザ照射装置よりレーザ 120 が照射される。レーザ 120 が照射された溶解金属 124 は気化する。

溶解金属 124 が気化した状態で、電極 114, 116 に、パルス電力が印加されることにより、放電空間 112 においてパルス放電が開始し、プラズマ 122 が形成される。放電時に流れる大電流によりプラズマ 112 が加熱励起され高温化すると、この高温プラズマから EUV 放射が発生する。EUV 放射は図面上側に取り出される。

[0008] すなわち、特許文献 1（特表 2007-505460 号公報）に記載されている LDP 方式では、固体や液体等のターゲット（高温プラズマ原料）に対してレーザを照射し、原料を気化してガス状の高温プラズマ原料雰囲気（初期プラズマ）を生成する。DPP 方式同様、初期プラズマにおけるイオン密度は、例えば、 10^{16} cm^{-3} 程度、電子温度は、例えば、1 eV 以下程度である。その後、放電電流駆動による加熱によって、高温となったプラズマのイオン密度は $10^{17} \sim 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 、電子温度は 20 ~ 30 eV 程度に到達し、この高温プラズマから EUV が放射される。すなわち、特許文献 1（特表 2007-505460 号公報）に記載されている LDP 方式における放電電流駆動による加熱は、DPP 方式と同様、ピンチ効果が利用されている。

[0009] なお、符号 148 は電源に相当するキャパシタバンクであり、絶縁性のフィードライン 150 を介してコンテナ 126 に収容された熔融金属 124 と電氣的に接続されている。熔融金属 124 は導電性であるので、キャパシタバンク 148 より、熔融金属 124 を介して、一部が熔融金属 124 に浸漬している電極 114, 116 に電気エネルギーが供給される。

本方式によれば、常温では固体であるスズやリチウムを放電が発生する放電領域の近傍で気化させることが容易になる。すなわち、放電領域に効率よ

く気化したスズやリチウムを供給できるので、放電後、効果的に波長13.5 nmのEUV放射を取り出すことが可能となる。

[0010] また、特許文献1（特表2007-505460号公報）に記載されたEUV光源装置においては、電極を回転させているので、次のような利点がある。

＜その1＞常に新しいEUV発生種である固体または液体状の高温プラズマ原料を放電領域に供給することができる。

＜その2＞電極表面における、レーザが照射される位置、高温プラズマが発生する位置（放電部の位置）が常に変化するので、電極の熱負荷が低減し、消耗を防ぐことができる。

[0011] EUV光源装置の種類の他の方法として、LPP（Laser Produced Plasma：レーザ生成プラズマ）方式EUV光源装置がある。以下、LPP方式に基づくEUV放射のメカニズムを簡単に説明する。

LPP方式ではプラズマ生成用ドライバレーザをターゲットに照射することでプラズマを生成する。ターゲット材料は、EUV発生用高温プラズマ原料として、LDP方式同様にLi（リチウム）とSn（スズ）が注目されている。以下、特許文献2（特表2007-529869号公報）に示されたLPP方式によるEUV光源装置について説明する。

[0012] 図12は、特許文献2（特表2007-529869号公報）の図1に記載されたレーザ生成プラズマEUV光源220の概念図である。プラズマ生成用ドライバレーザは、パルスレーザシステム222、例えば高電力及び高パルス繰返し数で作動するガス放電エキシマレーザ、CO₂レーザ又は分子フッ素レーザを含むことができる。

パルスレーザシステム222は、例えば、発振器レーザシステム244と増幅器レーザシステム248とを有する例えば主発振器電力増幅器（MOPA）構成のガス放電レーザシステムであり、磁気反応器切換え式パルス圧縮及びタイミング回路250、252、パルス電力タイミングモニタリングシステム254、256とを含む。

[0013] 光源 220 はまた、例えば、液滴、固形粒子、又は液滴内に含まれた固形粒子の形でターゲットを送出するターゲット送出システム 224 を含むことができる。ターゲットは、ターゲット送出システム 224 により、例えば、チャンバ 226 内に入れ、他に点火サイトとしても公知である照射サイト 228 に至るように送出することができる。ここでは詳述しないが、システムコントローラ 260 により、所定の位置でパルスレーザシステム 222 からレーザパルスがレーザ光軸 255 に沿ってターゲットに照射されるように制御される。

[0014] 特許文献 2（特表 2007-529869 号公報）に記載のものにおいては、例えば、液滴撮像器 270, 272, 274 によりターゲットの位置が検出され、ターゲット位置検出フィードバックシステム 262 により、ターゲット位置及び軌跡が計算される。システムコントローラ 260 はこれらに基づきレーザ光の位置、方向を制御し、ターゲット送出制御システム 290 は、システムコントローラ 260 からの信号に応答して、ターゲット送出機構 292 によって放出されるターゲット液滴 294 の放出点を修正する。

上記のように、近年では、ターゲット材は、液滴として供給されることが、一般的である。特許文献 2（特表 2007-529869 号公報）に記載の LPP 方式は、パワースケラビリティがあり、デブリが少ない（クリーンな）光源であるとされてきた。

[0015] このようなターゲット送出システムは、液滴の大きさ、レーザ照射位置および液滴供給の空間的、時間的制御を行うことが必要となる。これらの制御は、外部擾乱、すなわちプラズマによる温度上昇やレーザ照射によるターゲット材およびその残渣の飛散などの影響などを受けやすく、このような制御システムについては、特許文献 2（特表 2007-529869 号公報）に詳述される。

このターゲットを適切に制御することにより、デブリ発生が比較的少ないと言われてきた LPP 方式であっても半導体製造プロセスから要求される出力を得ようとするとき光学部品に与える影響が無視できないほど大きいことが

最近、言われるようになってきている。

[0016] 現在のところ、これまでの研究により、LDP方式およびLPP方式ともにEUV放射発生用高温プラズマ原料の供給は、材料を液体錫（Sn）としている。しかしながら、LDP方式では、レーザ照射時における原料の気化および放電時における錫の飛散、電極材料の放出などの問題が発生する。

またLDP方式と比較してクリーンと言われているLPP方式においても、液滴の生成およびレーザ照射時に錫の飛散が発生し、デブリと呼ばれる光学系の寿命を損なう粒子やイオンが少なからず発生する。さらなるEUV放射の高出力化に伴い、このデブリの発生量は、さらに増大し、発光点後段の光学部品の寿命を著しく損なう要因となっている。

先行技術文献

特許文献

- [0017] 特許文献1：特表2007-505460号公報
特許文献2：特表2007-529869号公報
特許文献3：国際公開第2009/077943号
特許文献4：特開2007-5124号公報
特許文献5：特開2005-17274号公報
特許文献6：特表2010-514214号公報
特許文献7：特表2012-235043号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0018] これまで実施されてきた高温プラズマ原料の供給に関する方式の問題点について、以下に整理する。

EUV光源の高温プラズマ原料供給方法として、まず固体ターゲットが提案された。これは、DPP方式の場合、放電電極自体を固体の高温プラズマ原料から構成するものである。また、LPP方式の場合、例えば、ワイヤ状の固体の高温プラズマ原料をレーザビームのターゲットとして配置するもの

である。

[0019] この方式は、複雑な機構が必要ではない。しかし、D P P方式の場合、放電による放電電極の磨耗により電極間距離が変化し、長期間のE U V発生動作が安定しない。また、L P P方式を採用したとしても照射されたレーザによる材料の損耗があるために、長時間供給が困難である。

また、発光部（プラズマ発生部）の冷却が困難であるので、D P P方式における電極、L P P方式におけるターゲットの熱による損耗を抑制することが難しい。

[0020] 次にL P Pで採用されたガスターゲットがある。

本方式は、高温プラズマ原料であるキセノンガスや気化した錫のガスをノズルからガスジェットとしてE U V発生チャンバ内に供給し、このガスジェットに対して、プラズマ生成用ドライバレーザを照射する。本方式では、高温プラズマ原料をガスジェットとして供給するので、固体ターゲットのときのような材料の損耗といった問題は発生しない。

ここで、ガスジェットとして供給した高温プラズマ原料のうち、E U V発生に寄与しなかったものは排気する必要がある。すなわち、固体ターゲットのときと異なり、ガス状の高温プラズマ原料を供給するためのノズルおよびガス状の高温プラズマ原料を排気するための排気機構が別途必要となる。

[0021] しかしながら例えば気化した錫を含むガスの一部はE U V発生チャンバ内で液化・固体化するので、排気は困難となる。

また、ガスジェットはノズルから噴出したあと広がるので局所的な供給は難しい。よって、ドライバレーザを照射した場合、発光プラズマを小さくすることができない。

また、高温プラズマ近傍に位置するノズルの冷却は難しいので、ノズル自体にダメージが生じやすい。

[0022] 一方、現時点でL D P方式において実用されている方式として、特許文献1（特表2007-505460号公報）に記載の円盤状の電極を錫のタンクに浸漬し、回転させることにより、液体錫を電極上に薄膜として塗布し、

プラズマ原料を発光点に導入する方式がある。この方式では、錫をプラズマ原料として導入すると同時に該電極および周辺の部材の冷却を液体錫により行うものである。しかしながら、投入電力の増大により、発光に寄与する錫の増量が要求される。しかし、回転電極上に塗布される錫の量は、その回転速度に制限される。これは、円滑に錫をプラズマに導入するためには電極回転速度を増大させる必要があるが、電極回転速度を増大した分、増大する遠心力により、回転電極上の錫が放電空間に飛散するという新たな問題が発生するためである。また、電極材料上に錫の薄膜を形成するためには電極と錫の密着性（濡れ性）を維持することが困難である。

[0023] 次に現時点でL P P方式において実用されている方式として、特許文献2（特表2007-529869号公報）に記載のドロップレット方式がある。この方式は、離散ターゲットのため、励起源（プラズマ生成用ドライバレーザ）との時間・空間同期が困難であること、ターゲットの大きさを小さくすることが困難であること、ターゲットを小さくしすぎると発光効率が低下すること、発光部の発熱がドロップレット生成器に影響を与えること、ドロップレット放出のために200気圧程度の高圧力が必要であることなどから、装置が複雑となり、材料供給の時間的、空間的ばらつきにより、材料の安定供給が困難であることにより、ドーズコントロールが困難である。また、レーザがターゲットに照射された際に飛散する錫およびそのイオンが上記回転電極方式同様に発生する。

[0024] L P P方式における高温プラズマ原料の別の供給方法が、特許文献3（国際公開第2009/077943号）に提案されている。特許文献3（国際公開第2009/077943号）によれば、高温プラズマ原料の供給機構として一部が液体状の高温プラズマ原料に浸漬した円盤状の回転体を用いる。

回転体の半分は、半月形の窪みを有する金属ブロックに、所定のギャップを介して包囲されている。このギャップに対し、液体状の高温プラズマ原料がポンプ等の送液手段により供給される。これにより、回転体には液体状高

温プラズマ原料が塗布される。なお、この液体状高温プラズマ原料は、ギャップ間隔に対応した厚みでほぼ均一に回転体に塗布される。塗布された高温プラズマ原料は、回転体の回転とともに移動して、プラズマ生成用ドライバレーザの照射位置に運搬され、当該ドライバレーザにより照射される。その結果、EUV放射が発生する。

[0025] 本方式では、高温プラズマ原料の供給がドロップレット方式のように離散的ではなく連続的となる。よって、安定な高温プラズマ原料の供給を実現できる。しかしながら、プラズマ生成用ドライバレーザの照射により飛散する高温プラズマ原料（錫）およびそのイオンの飛散は、上記した他の高温プラズマ原料供給方法同様、発生する。

すなわち上記したこれらのいずれの方式においてもデブリの発生は避けることができないためにデブリを後段の光学系およびスキャナー側（マスク検査装置の場合、マスク検査用光学系側：特許文献7（特表2012-235043号公報）に到達することを抑止するために特許文献4（特開2007-5124号公報）に記載されているようなデブリ抑制装置が設けられることが一般的である。さらに現在までに提案されているデブリ抑制装置を用いても発生するデブリを完全に除去することは困難であり、デブリの発生量をさらに低減する方法が要求されている。

[0026] EUV発生装置の主な用途である半導体製造工程においては、概ね100W以上のEUV出力が要求されており、上述のデブリの対策は、光学部品の交換頻度を下げ、光源装置を安定稼働させるためには非常に重要な課題の一つである。

本発明は、上記の高温プラズマ原料供給およびプラズマ生成により発生するデブリに関する問題点に鑑み、デブリ発生をさらに低減し、高温プラズマ原料（スズ）をプラズマ生成領域に安定供給し、EUVの安定した発光が可能な極端紫外光光源装置、特にLPP方式に適用可能な高温プラズマ原料供給装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0027] 発明者は、上記課題を解決するために検討を重ねた結果、発生するデブリをプラズマ発生空間に飛散することを防ぐために回転体周辺にカバー状の構造物を設置し、飛散した液体プラズマ原料をカバー内表面に捕捉し、カバー状構造体の下部の第1の貯留槽に導入すること、さらには、第1の貯留槽に溜まった液体材料を循環利用し、再びEUV発生に利用できるように構成すること、さらに、デブリの飛散を少なくするために前記回転体に液体プラズマ原料との密着性、すなわち濡れ性を向上させるために当該回転体表面改質機構を付加することを考案した。

[0028] 即ち、本発明においては、極端紫外光光源装置を次のように構成する。

(1) 本発明のある態様に係る極端紫外光光源装置は、円盤状の回転体と、当該回転体の平面側に垂直な回転中心軸を中心として上記回転体を回転させる回転手段と、当該回転体を、ギャップを介して包囲するカバー状の構造体と、上記カバー状構造体の内部に設けられ液体状の高温プラズマ原料を貯留する第1の貯留槽と、上記回転体の一部が第1の貯留槽に貯留される高温プラズマ原料に浸漬していて、上記回転体の回転運動により上記回転体の表面の少なくとも一部に液体状の高温プラズマ原料を塗布する原料供給機構と、上記高温プラズマ原料にエネルギービームを照射するエネルギービーム供給装置を備えており、上記原料供給機構の上記カバー状構造体の一部には開口部が設けられ、該開口部を介して上記エネルギービームが上記回転体の高温プラズマ原料が塗布された表面に照射されるとともに、該エネルギービームの照射により発生した極端紫外光が該開口部から放出され、上記カバー状構造体は、上記回転手段により回転する回転体に作用する遠心力方向と対向し上記回転体を覆うように設けられる飛散防止部材を有する。

[0029] (2) 本発明の他の態様によれば、上記回転体とカバー状構造体との間のギャップ間隔は、回転体に塗布される液体状の高温プラズマ原料の膜厚が所定の膜厚となるように設定されてもよい。

(3) 本発明の他の態様によれば、上記カバー状構造体の内部には、回転体の高温プラズマ原料が塗布された表面と所定の間隙を介して対向する膜厚

制御機構が設けられてもよい。また、上記間隙は、上記回転体に塗布される液体状の高温プラズマ原料の膜厚が所定の膜厚となるように設定され、上記膜厚制御機構は、回転体のエネルギービームが照射される領域における高温プラズマ原料の膜厚を調整可能な位置に配置されてもよい。

[0030] (4) 本発明の他の態様によれば、上記カバー状構造体の内部には、チャンネル状の凹部を備えた構造体からなる膜厚制御機構が設けられてもよい。また、当該構造体の上記凹部は上記回転体に対向し、該凹部の開口両側の辺は上記回転体の円周方向に沿って配置され、該構造体の上記回転体と対向する凹部の底面と回転体との間隙は、上記回転体に塗布される液体状の高温プラズマ原料の膜厚が所定の膜厚となるように設定されてもよい。そして、上記構造体を有する膜厚制御機構は、回転体のエネルギービームが照射される領域における高温プラズマ原料の膜厚を調整可能な位置に配置され、上記構造体は、弾性体により上記回転体表面に押し付けられる方向に付勢され、上記凹部の両側が回転体表面に接触してもよい。

[0031] (5) 本発明の他の態様によれば、上記エネルギービームは、上記円盤状の回転体の回転中心軸に垂直な面の内の一方の表面に対して、その法線方向あるいは法線方向と交差する方向から照射されてもよい。また、極端紫外光を放射する高温プラズマの発生位置と極端紫外光集光鏡の設置位置もしくは上記高温プラズマの発生位置とマスク検査用光学系とから定まる極端紫外光の光軸は、上記回転体に照射された上記エネルギービームが上記回転体により反射される方向と一致しないように設定されてもよい。

(6) 本発明の他の態様によれば、上記極端紫外光の光軸は、上記回転体の高温プラズマ原料が塗布された上記円盤状の回転体の回転中心軸に垂直な面の法線方向と一致してもよい。

[0032] (7) 本発明の他の態様によれば、上記カバー状構造体に設けられた開口部を通過したエネルギービームが、回転体に照射される領域の近傍で、回転体に塗布されている液体状高温プラズマ原料が固体に変化するように、当該液体状高温プラズマ原料を冷却する冷却手段が設けられてもよい。

(8) 本発明の他の態様によれば、回転体の回転中心軸が第1の貯留槽に貯留されている液体状高温プラズマ原料の液面の法線方向と直交せず交差してもよい。

(9) 本発明の他の態様によれば、上記円盤状の回転体の回転中心軸に垂直な面の内の少なくとも一方の面であって、かつ、エネルギービームが照射される面に溝部、凹部、もしくは貫通孔が設けられてもよい。

[0033] (10) 本発明の他の態様によれば、上記円盤状の回転体の回転中心軸に垂直な面の内の少なくとも一方の面であって、かつ、エネルギービームが照射される領域にシボ加工が施されてもよい。

(11) 本発明の他の態様によれば、上記円盤状の回転体の回転中心軸に垂直な面の内の少なくとも一方の面であって、かつ、エネルギービームが照射される領域に対して、プラズマによる表面改質を施す機構が設けられてもよい。

(12) 本発明の他の態様によれば、上記円盤状の回転体の回転中心軸に垂直な面の内の少なくとも一方の面であって、かつ、エネルギービームが照射される領域に対向させて配置される電極と、当該電極と回転体間に電圧を印加する電源装置を備えてもよい。

[0034] (13) 本発明の他の態様によれば、高温プラズマ原料を貯留する第2の貯留槽と、当該第2の貯留槽と上記第1の貯留槽との間で接続され、当該第2の貯留槽からの高温プラズマ原料が第1の貯留槽に流入する原料流入管路と、上記第2の貯留槽と第1の貯留槽との間で接続され、当該第1の貯留槽からの高温プラズマ原料が第2の貯留槽に流出する原料流出管路と、上記第2の貯留槽の高温プラズマ原料を第1の貯留槽に対して送出する原料駆動部とからなる液体原料循環装置を更に備えてもよい。

[0035] (14) 本発明の他の態様によれば、液体原料循環装置における第2の貯留槽は、第1の貯留槽に貯留される液体状高温プラズマ原料の液面より上記第2の貯留槽に貯留される液体状高温プラズマ原料の液面が重力方向下方に位置するように配置されてもよい。

(15) 本発明の他の態様によれば、上記回転体の高温プラズマ原料が塗布された表面に照射されるエネルギービームがレーザービームであってよい。

(16) 本発明の他の態様によれば、上記回転体の高温プラズマ原料が塗布された表面に照射されるエネルギービームが2つのレーザービームであってよい。

発明の効果

[0036] 本発明のL P P方式の極端紫外光光源装置において、以下の効果を得ることができる。

(1) 本発明のL P P方式の極端紫外光光源装置における原料供給機構は、液体状の高温プラズマ原料を回転体上に薄膜塗布し、上記回転体のエネルギービームが照射される領域以外は、カバー状構造体により包囲されているので、回転体からの液体状の高温プラズマ原料の飛散を抑制することが可能となる。

(2) カバー状構造体の一部に少なくとも上記回転体の高温プラズマ原料が塗布された平面状表面（回転体の回転軸に直交する面、すなわち回転体の側面）を露出する開口部が設けられた場合、エネルギービームの照射に伴い発生するデブリは、開口部を介さないとカバー状構造体外部に放出されない。すなわち、EUVを放射する高温プラズマ発生空間へ放出されるデブリの量を従来より減少させることが可能となる。

[0037] (3) 回転体の一部が第1の貯留槽に貯留される高温プラズマ原料に浸漬していて、回転体の回転運動により回転体の表面の少なくとも一部に液体状の高温プラズマ原料を塗布する方式にすると、エネルギービームの照射により消費される高温プラズマ原料は安定して回転体のエネルギービームの照射領域に補充される。よって安定したEUV放射を得ることが可能となる。

(4) 回転体とカバー状構造体との間のギャップ間隔を、回転体に塗布される液体状の高温プラズマ原料の膜厚が所定の膜厚となるように設定することにより、回転体の側面の一部に塗布された液体状の高温プラズマ原料の膜

厚をエネルギービームの照射によるEUV放射に適した所望の膜厚とすることができる。

[0038] (5) 回転体に塗布される液体状の高温プラズマ原料の膜厚が所定の膜厚となるように設定する膜厚制御機構を設けることにより、回転体の側面の一部に塗布された液体状の高温プラズマ原料の膜厚をエネルギービームの照射によるEUV放射に適した所望の膜厚とすることができる。

(6) 特に、膜厚制御機構をチャンネル状の凹部を有する構造体とし、当該チャンネル状構造体の凹部を回転体に対向させて、当該構造体を回転体に接触する方向に弾性体で付勢することにより、回転体が回転中に揺れ動いたとしても、膜厚制御機構が回転体の動きに追随するので、安定して回転体の側面の一部に塗布された液体状の高温プラズマ原料の膜厚をエネルギービームの照射によるEUV放射に適した所望の膜厚とすることができる。

[0039] (7) エネルギービームを回転体の高温プラズマ原料が塗布された表面のうち、一方の平面状表面に照射するとともに、極端紫外光の光軸を回転体により反射されるエネルギービームの進行方向と一致しないように構成することにより、エネルギービーム（例えば、レーザビーム）の望まれない直達光が、後段の露光機（スキャナー）に到達することを防ぎ、必要なEUV放射のみをスキャナーに到達させることができるという利点もある。また、極端紫外光光源をマスク検査用光源として使用する場合、エネルギービーム（例えば、レーザビーム）の望まれない直達光が、後段のマスク検査用光学系に到達することを防ぎ、必要なEUV放射のみをマスク検査用光学系に到達させることができる。

[0040] (8) カバー状構造体に設けられた開口部を通過したエネルギービームが回転体に照射される領域の近傍で、回転体に塗布されている液体状高温プラズマ原料が固体に変化するように当該液体状高温プラズマ原料を冷却する冷却手段を設けることにより、エネルギービームの照射における高温プラズマ原料の飛散をさらに軽減可能となり、デブリの発生を抑制することができる。

(9) 回転体の回転中心軸が第1の貯留槽に貯留されている液体状高温プラズマ原料の液面の法線方向と直交せず交差するように構成することにより、回転体の表面の一部への液体状高温プラズマ原料の塗布がより確実に行うことができ、液体状の高温プラズマ原料が回転体の回転による引き上げをより促進される。

[0041] (10) 回転体の高温プラズマ原料が塗布された表面のうち、少なくとも一方の平面状表面であって、かつ、エネルギービームが照射される表面に対向する位置に溝部を設けることにより、溝部に液体状の高温プラズマ原料が貯留するように塗布されるので、回転体の回転により確実にエネルギービームが照射され得る領域に液体状の高温プラズマ原料を搬送することができる。

(11) 回転体の高温プラズマ原料が塗布された表面のうち、少なくとも一方の平面状表面であって、かつ、エネルギービームが照射される表面にシボ加工やプラズマによる表面改質を施すことにより、モリブデン等の高融点金属で構成される回転体の錫等の液体状の高温プラズマ原料に対する濡れ性が改善され、回転体表面と液体状の高温プラズマ原料とがなじみやすくなり、より確実に回転体に液体原料が塗布される。

[0042] (12) 高温プラズマ原料を貯留する第2の貯留槽と、原料流入管路と、原料流出管路と、上記第2の貯留槽の高温プラズマ原料を第1の貯留槽に対して送出する原料駆動部とからなる液体原料循環装置を更に設けて、第1の貯留槽と当該第1の貯留槽より大容量の第2の貯留槽との間で高温プラズマ原料を循環させることにより、第1の貯留槽に保持する高温プラズマ原料の量を長期間一定に維持して、結果としてEUV放射を長期間安定に行うことが可能となる。また、高温プラズマ原料を循環再利用することにより液体状の高温プラズマ原料の消費を抑制することができる。

[0043] (13) エネルギービームの照射により加熱された回転体により第1の貯留槽内の高温プラズマ原料も加熱され、高温プラズマ原料に対する回転体の濡れ性も変化し、回転体への高温プラズマ原料の付着状態が変化し、結果と

してEUV放射の出力も変化する可能性があったが、第1の貯留槽と当該第1の貯留槽より大容量の第2の貯留槽との間で高温プラズマ原料を循環させることにより、高温プラズマ原料の温度はさほど変化しない。よって、出力が安定したEUV放射を出力させることが可能となる。

[0044] (14) 液体原料循環装置における第2の貯留槽を、第1の貯留槽に貯留される液体状高温プラズマ原料の液面より上記第2の貯留槽に貯留される液体状高温プラズマ原料の液面が重力方向下方に位置するように配置することにより、液体原料循環装置が故障した場合に、第2の貯留槽から第1の貯留槽に液体状の高温プラズマ原料が流入することがなく、第1の貯留槽の開口部からチャンバ内に高温プラズマ原料が流出するという不具合は発生しない。

[0045] (15) さらにこの方式によれば、レーザ照射により発生したプラズマからの輻射熱を液体状の高温プラズマ原料そのものが熱媒体として機能し、回転体およびその周辺雰囲気冷却するという効果も有する。

(16) なお、この方式においては、従来のドロップレット方式や回転体の半径方向の外表面にエネルギービームを照射する場合に比較して、利用可能な立体角は、約半分(2π sr)となるが、発生するデブリの低減の効果を考えると十分に実用可能である。

上記した本発明の目的、態様(アспект)及び効果並びに上記されなかった本発明の目的、態様(アспект)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

[0046] [図1A] 図1Aは本発明の実施例であるLPP方式の極端紫外光(EUV)光源装置の構成を示す図である。

[図1B] 図1Bは図1Aの極端紫外光光源装置のY方向矢視図である。

[図2A] 図2Aは膜厚制御装置の概念図であり、図1AにおけるA-A線拡大断面図を示す。

[図2B]図2 Bは図2 Aの膜厚制御装置のB方向矢視図である。

[図3A]図3 Aは膜厚制御装置の別の概念図であり、図1 AにおけるA－A線拡大断面図を示す。

[図3B]図3 Bは図3 Aに示された凹部を有する構造体の斜視図である。

[図3C]図3 Cは膜厚制御機構の別の構成例を示す概念図であり、図1 Aにおいて膜厚制御機構5を省略した場合のC－C線拡大断面図を示す。

[図4]図4はEUV光軸とエネルギービームの進行方向との関係を説明する図であり、図1 AのZ方向矢視図である。

[図5]図5は飛散防止構造体により高温プラズマ原料の飛沫が第1の貯留槽に回収される様子を説明する図である。

[図6A]図6 Aはカバー状構造体において、回転体の側面（平面状表面）に対向する位置に開口部を設ける例を説明する図である。

[図6B]図6 Bは図6 Aのカバー状構造体のD－D断面図である。

[図7]図7は回転体の中心回転軸が液体状高温プラズマ原料の液面の法線方向に対して傾いている構成を示す図である。

[図8]図8は回転体の表面を放電プラズマで表面改質する構成を示す図である。

[図9A]図9 Aは回転体の表面に溝部を構成した例を示す図である。

[図9B]図9 Bは図9 Aの回転体のE－E断面図であり、カバー状構造体も示されている。

[図10]図10は図9 Aと同様の図であり、回転体の表面に凹部を構成した例を示す図である。

[図11]図11は従来のLDP方式の極端紫外光（EUV）光源装置の構成を示す図である。

[図12]図12は他の従来のLPP方式の極端紫外光（EUV）光源装置の構成を示す図である。

発明を実施するための形態

[0047] 図1 A及び図1 Bに本発明の実施例であるLPP方式の極端紫外光光源装

置（以下、単にEUV光源装置ともいう）の主要な構成を示す。ここで、点線で示された部分は、カバー状構造体内部に配置されていることを示すものであり、外部から観察することはできないことを示している。また、なお、図1A及び図1Bは説明のための模式図であり、図1A及び図1Bにおける各部の実際の大小関係は図1A及び図1Bの通りではない。

[0048] 〔原料供給機構の概要〕

以下、本実施例のEUV光源装置の原料供給機構各部の構成および動作について説明する。

図1A及び図1Bに本発明のLPP方式のEUV光源装置における原料供給機構を示す。図1Aは本原料供給機構に設けられた回転体1を、回転体1の回転中心軸3方向から見た場合および液体原料循環装置7を示している。図1Bは、回転体1及び回転体を回転させるモータ13を回転中心軸3に対して直交する方向から見た図を示している。

当該原料供給機構は、図1Bに示すように、プラズマ生成容器であるチャンバ20内部に配置される。なお、チャンバ20内部は真空中に保持されている。

原料供給機構は、主として回転体1、カバー状構造体2、第1の貯留槽4、液体原料循環装置7からなる。

回転体1は、回転中心軸3を中心に回転し、その一部は、液体状高温プラズマ原料23が貯留されている第1の貯留槽4（カバー状構造体2内）に浸漬している。回転体1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で構成される。

[0049] ここで、図1Bに示すように回転体1の回転中心軸3は、カップリング16を介してモータ13の回転軸13aと連結している。よって、モータ13の回転軸13aを回転させることにより、回転体1は回転する。回転中心軸3もしくはモータ13の回転軸13aは、例えば、メカニカルシール14を介してチャンバ20内に導入される。メカニカルシール14は、チャンバ20内の減圧雰囲気を維持しつつ、回転中心軸3もしくはモータ13の回転軸

13aの回転を許容する。図1Bは、モータ13の回転軸13aがメカニカルシール14を介してチャンバ20内に導入されている例を示している。

[0050] 回転体1は、エネルギービーム供給装置6からのエネルギービーム6'が照射される領域を除き、カバー状構造体2により包囲されている。言い換えると、カバー状構造体2は、エネルギービーム6'の通過領域に対応した開口部15を有する。

カバー状構造体2は、その下部が液体状の高温プラズマ原料23を貯留する第1の貯留槽4として機能するように構成されている。すなわち、カバー状構造体2の内部には、液体状の高温プラズマ原料23が導入される。なお、カバー状構造体2と第1の貯留槽4とを兼用させず、カバー状構造体2の内部に、別体として第1の貯留槽4を設けてもよい。

[0051] 回転体1が回転中心軸3を中心に回転すると、液体状の高温プラズマ原料23は、回転体1の表面との濡れ性により回転体表面になじむように第1の貯留槽4から引き上げられ、輸送される。カバー状構造体2と回転体1の間には、回転体1の回転に干渉しないようなギャップが設けられている。

[0052] [膜厚制御機構]

このように回転体1の表面の一部に薄膜塗布された液体状高温プラズマ原料23は、回転体1の回転に応じてカバー状構造体2内部に設けられた膜厚制御機構5へ導入される。

膜厚制御機構5は、所定の空隙を回転体1と当該膜厚制御機構5の間に設けられるものであり、回転体1のエネルギービーム6'が照射される領域における高温プラズマ原料23の膜厚を調整可能な位置に配置される。

この所定の空隙は、回転体1上に塗布された高温プラズマ原料23の所望の膜厚に対応している。よって、回転体1に塗布された液体状の高温プラズマ原料23は、膜厚制御機構5を通過する際に、回転体1上の膜厚が所望の膜厚となるように制御される。

[0053] この膜厚制御された回転体1の液体状高温プラズマ原料23は、回転体1の回転とともにカバー状構造体2の開口部15（すなわち、エネルギービー

ム 6' が照射される領域) に輸送される。すなわち、回転体 1 の回転方向は、図 1 A にて矢印で示すように、回転体 1 上の液体状高温プラズマ原料 2 3 が膜厚制御機構 5 を通過後、エネルギービーム 6' が照射される領域に輸送される方向である。

[0054] 膜厚制御機構 5 の一例を、図 2 A、図 2 B、図 3 A～図 3 C を用いて説明する。本発明における L P P 方式の極端紫外光 (E U V) 光源装置は、特許文献 1 (特表 2 0 0 7 - 5 0 5 4 6 0 号公報) や特許文献 3 (国際公開第 2 0 0 9 / 0 7 7 9 4 3 号) に記載されるように、回転体 1 の半径方向外端面に塗布された液体状高温プラズマ原料 2 3 を E U V 放射に利用するのではなく、回転体 1 の側面 (回転体 1 の回転中心軸に垂直な面: 以下では平面状表面ともいう) に塗布された液体状高温プラズマ原料 2 3 を利用するものである。

[0055] 膜厚制御装置 5 は、回転体 1 の上記側面の一部に塗布された液体状高温プラズマ原料 2 3 の膜厚を、E U V 放射に適した所定の膜厚に成型するものである。

図 2 A に膜厚制御機構の構成例を示す。図 2 A は、図 1 A における A - A 断面図を示す。図 2 A に示す膜厚制御機構 5 を構成する構造体は、カバー状構造体 2 の内壁に取り付けられたブロック状の構造体 5 a であり、回転体 1 の側面 (平面状表面) の一部に塗布された液体状高温プラズマ原料 2 3 の一部を削ぎとるスクレーパーとして機能する。

[0056] 膜厚制御機構 5 を構成する構造体 5 a の回転体 1 と対向する表面と、回転体 1 との間隙は K に設定される。この間隙 K は、回転体 1 の側面の一部に塗布された液体状高温プラズマ原料 2 3 の膜厚が E U V 放射に適した所定の膜厚となるように設定される。すなわち、間隙 K と上記所定の膜厚は等しい。

なお、膜厚制御機構 5 の位置は、回転体 1 におけるエネルギービーム 6' が照射される位置を含む領域に対して膜厚制御が行われるように設定される。

[0057] また、膜厚制御機構 5 自体の厚みは、カバー状構造体 2 の厚みよりも厚く

てもよい。この場合、図 2 A に破線で示したとおり、膜厚制御機構 5 は、カバー状構造体 2 から突出した構造となる。

図 2 B に、図 2 A の B 方向矢視図であって、膜厚制御機構 5 をブロック状構造体ではなく、板状構造体 5 b に代えた例を示す。

すなわち、膜厚制御機構 5 を板状構造体 5 b とし、回転体 1 の表面に対して傾斜をなすように設置しても、ブロック状の膜厚制御機構 5 と同等の機能を奏することが可能である。なお、適宜、板状構造体 5 b の回転体 1 の表面と接する側の端面をナイフエッジ状に形成してもよい。

[0058] 図 3 A に膜厚制御機構 5 の別の構成例を示す。図 3 A は、図 1 A における A-A 断面図を示す。図 3 A に示す膜厚制御機構 5 は、チャンネル状の凹部を有する構造体 5 c である。図 3 B は上記チャンネル状の凹部を有する構造体 5 c を回転体 1 に接する方向からみた斜視図である。図 3 B に示すように、上記構造体 5 c はチャンネル状（通路状）凹部 5 d を有し、凹部 5 d の開口 5 e 両側は平面状に形成されている。

上記構造体 5 c のチャンネル状の凹部 5 d は回転体 1 に対向するように回転体上に配置され、凹部 5 d の開口 5 e 両側は回転体 1 の表面に接触しており、該凹部 5 d の開口両側の辺 5 f は上記回転体 1 の円周方向に沿って（すなわち回転体 1 の半径方向に対して直交するように）配置される。上記構造体 5 c は、回転体 1 の側面（平面状表面）の一部に塗布された液体状高温プラズマ原料 2 3 の一部を削ぎとるスクレーパーとして機能する。

[0059] 膜厚制御機構 5 を構成する上記構造体 5 c の内側の回転体 1 と対向する表面（チャンネル状凹部 5 d の底面）と、回転体 1 との間隙は K に設定される。この間隙 K は、回転体 1 の側面の一部に塗布された液体状高温プラズマ原料 2 3 の膜厚が E U V 放射に適した所定の膜厚となるように設定される。すなわち、間隙 K と上記所定の膜厚は等しい。

上記構造体 5 c は、弾性体 5 g により回転体 1 表面に押し付けられる方向（矢印 G の方向）に付勢されている。よって、回転体 1 が回転中に矢印 H 方向に揺れ動いたとしても、膜厚制御機構 5 は回転体 1 の動きに追随し、回転

体 1 の側面の一部に塗布された液体状高温プラズマ原料 2 3 の膜厚が K になるように動作する。

[0060] 図 3 C に膜厚制御機構の別の構成例を示す。図 3 C に示す膜厚制御機構 5 は、カバー状構造体 2 に膜厚制御機構 5 の機能を兼用させた構造であり、図 3 C は、図 1 A において膜厚制御機構 5 を省略した場合の C-C 断面図を示す。

すなわち、カバー状構造体 2 の回転体 1 の側面（平面状表面）と対向する側の表面と、回転体 1 の側面との間隙が K に設定される。この間隙 K は、回転体 1 の側面の一部に塗布された液体状高温プラズマ原料 2 3 の膜厚が E U V 放射に適した所定の膜厚となるように設定される。すなわち、間隙 K と上記所定の膜厚は等しい。

[0061] 図 2 A、図 2 B、図 3 A～図 3 C のいずれの膜厚制御機構においても、回転体 1 の側面（平面状表面）の一部に塗布された液体状の高温プラズマ原料 2 3 は、膜厚制御機構 5 を通過する際に当該膜厚制御機構 5 により削ぎ取られる。その結果、回転体 1 の側面の一部に塗布された液体状の高温プラズマ原料 2 3 のうち、膜厚制御機構 5 を通過した領域のものは、その膜厚が E U V 放射に適した所望の膜厚となるように制御される。

[0062] [エネルギービーム]

図 1 A 及び図 1 B に戻り、上記したように、カバー状構造体 2 は、エネルギービーム 6' の通過領域に対応した開口部 1 5 を有する。カバー状構造体 2 の開口部 1 5 において露出している回転体 1 の側面（平面状表面）に塗布されている液体状光源プラズマ原料に対して、エネルギービーム供給装置 6 からのエネルギービーム 6' が照射されることにより、当該プラズマ原料は気化し、E U V 放射を発生する。

[0063] 近年、特許文献 5（特開 2 0 0 5 - 1 7 2 7 4 公報）及び特許文献 6（特表 2 0 1 0 - 5 1 4 2 1 4 号公報）に記載されているように、L P P 方式の E U V 光源装置 1 つの原料に対して複数回レーザビームを照射するプリパルス・プロセスが採用されている。この手法では、まず第 1 のエネルギービー

ム（プリパルス：例えばYAGレーザ）を高温プラズマ原料23に照射して弱いプラズマを生成して当該高温プラズマ原料23の密度を低減する。次に第2のエネルギービーム（メインパルス：例えばCO₂レーザ）を当該弱いプラズマに照射するものである。

プリパルスにより原料の密度を低減させることで、この原料へのメインパルス（CO₂レーザ）の吸収が改善され、EUV放射強度が増加する。また、プラズマが比較的低密度となりEUV放射の再吸収が低減するため、EUV発生効率の向上やデブリ発生の低減を図ることができる。

[0064] すなわち、上記したように、液体状光源プラズマ原料を照射するエネルギービームは、少なくとも2つのエネルギービームから構成されることが好ましい。エネルギービームを照射する装置としては、例えば、上記したCO₂ガスレーザ源や、YAGレーザ等の固体レーザ源の他に、ArFレーザ、KrFレーザ、XeClレーザ等のエキシマレーザ源等を採用することができる。

[0065] また本実施例では、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照射しているが、レーザの代わりにイオンビーム、電子ビームを回転体の側面（平面状表面）に塗布されている液体状高温プラズマ原料（スズ）に照射するようにしてもよい。

このエネルギービーム（例えばレーザ）は、該回転体の側面（平面状表面）方向に照射される。回転体の一方の側面（平面状表面）におけるレーザの照射位置に高温プラズマが生成し、当該プラズマより立体角 $2\pi \sin \theta$ の方向にEUVが放射される。

[0066] 図4はEUV光軸とエネルギービームの進行方向との関係を説明する図であり、図1A及び図1Bに示したものと同一のものには同一の符号が付されており、図4では、図1A及び図1Bに示した構成に加えて、高温プラズマから発生するデブリを捕捉するホイットラップ21、放射されるEUVを中間集光点1Fに集光させるEUV集光鏡22、露光機30が示されている。

[0067] 本実施例においては、図4に示すようにEUVの光軸Tが回転体1の側面

の法線方向となるようにEUV集光鏡22（斜入射ミラー）を設置する。そうすると、回転体1の側面の法線方向に設定されるEUVの光軸T上に、ホイルトラップ21の中心、EUVの中間集光点（IF）、露光機30が配置される。

このような配置において、レーザ（エネルギービーム6'）は、回転体1表面に対して斜め方向から照射する。すなわち、回転体1によるレーザの反射方向がEUVの光軸Tと一致しないように、レーザの照射方向を設定する。

[0068] 仮に、図4に破線で示すようにEUV集光鏡22を配置して、回転体1によるレーザの反射方向をEUVの光軸Tに一致させると、高温プラズマ生成（すなわち、EUV放射）に寄与しなかったレーザ（エネルギービーム6'）はチャンバ20の後段の露光機30（スキャナー）へ導入されてしまい、露光機30における温度上昇などの不具合が発生する。

また、例えば、図12に示されるような従来のドロップレット方式を利用した方式においては、エネルギービームはEUV反射鏡中央部後方よりEUV放射の光軸上に照射される。よって、上記した場合と同様、EUV放射に寄与しないエネルギービームは、後段の露光機（スキャナー）側に導入されてしまう。また、マスク検査用光源の場合、後段のマスク検査用光学系側に導入されてしまう。

[0069] 上記したように、レーザの照射方向を、回転体によるレーザの反射方向がEUVの光軸と一致しないように設定することにより、上記不具合を回避することができる。

上記した例では、EUV光源装置が露光用光源として用いられる場合を示し、EUVの光軸は、EUVを放射する高温プラズマの発生位置とEUV集光鏡の設置位置とから定まる。一方、マスク検査用光源の場合は、特許文献7（特表2012-235043号公報）に示すように、検査用光学系とEUVを放射する高温プラズマの発生位置とから定まる。

[0070] なお上記した例では、EUVの光軸が回転体1の側面の法線方向となるよ

うに構成した例を示したが必ずしもこれに限るものではない。EUVの光軸Tが回転体1の側面の法線方向とならないように構成してもよい。いずれの場合においても、レーザの照射方向を、回転体によるレーザの反射方向がEUVの光軸と一致しないように設定することにより、上記不具合を回避できる。

[0071] 〔高温プラズマ原料の飛散抑制（1）〕

図1A及び図1Bに戻り、上記したように、回転体1を包囲するカバー状構造体2はエネルギービーム6'の通過領域に対応した開口部15を有する。そのため、高温プラズマ原料23が塗布された回転体1が回転することにより、塗布された高温プラズマ原料23の一部が上記開口部15からチャンバ20内部に飛散する可能性がある。このような高温プラズマ原料23の飛沫の発散を抑制するために、回転体1の開口部15には飛散防止構造部材9が設けられる。

[0072] 飛散防止構造部材9は、円盤状の回転体1の端面部（曲面部）に対向するように、カバー状構造体2の開口部15に設けられた板状体であり、回転手段により回転する回転体に作用する遠心力方向と対向し上記回転体を覆うように設けられる。飛散防止構造部材9の回転体1の端面部に対向する面（以下、対向面ともいう）は、例えば、曲面となっている。

図5に示すように、回転体1の回転による遠心力方向に飛散した高温プラズマ原料23の飛沫10は、飛散防止構造部材9の対向面に衝突する。上記対向面と衝突した飛沫10は、対向面により反射されたり対向面に付着したりする。反射した殆どの飛沫10は、カバー状構造体2内部へ移動し、第1の貯留槽4に戻る。また、対向面に付着した飛沫10の一部は、対向面に沿って重力方向下方に移動し、第1の貯留槽4に戻る。

[0073] このように、飛散防止構造部材9は、回転体1より飛散した飛沫10を捕捉し、その一部を第1の貯留槽4に戻す機能を有する。よって、カバー状構造体2の開口部15に飛散防止構造部材9を設けることにより、高温プラズマ原料23の一部が上記開口部15からチャンバ20内部に飛散することを

抑制することができる。なお、飛散防止構造部材 9 は円盤状の回転体 1 の端面（曲面）に対向するように設けられているので、回転体 1 の側面に照射されるエネルギービーム 6' の進行を妨げない。

[0074] 〔高温プラズマ原料の飛散抑制（２）〕

図 6 A 及び図 6 B に、飛散防止構造の別の実施形態を示す。図 6 A は飛散防止構造を有するカバー状構造体 2 の側面（平面状表面）を示し、図 6 B は図 6 A における D-D 断面図である。

図 1 A 及び図 1 B に示す例では、回転体 1 を包囲するカバー状構造体 2 に設けた開口部 1 5 は、回転体 1 の側面（平面状表面）の一部と端面（曲面）の一部を露出するように設けられており、飛散防止構造部材 9 は、回転体 1 の端面（曲面）に対向するように、カバー状構造体 2 の開口部 1 5 に設けている。

[0075] 図 6 A 及び図 6 B に示す例では、回転体 1 を包囲するカバー状構造体 2 に設ける開口部 1 1 を回転体 1 の一方の側面（平面状表面）の一部のみを露出するような位置に設け、カバー状構造体 2 の一部が図 1 A に示す飛散防止構造部材 9 を兼ねるようにしたものである。上記した開口部 1 1 により露出する回転体 1 の一方の側面の一部は、エネルギービーム 6' が照射されるとともに、高温プラズマ原料 2 3 にエネルギービーム 6' が照射されることにより発生する E U V が放射される領域である。すなわち、開口部 1 1 は、エネルギービーム 6' および発生した E U V の進行を遮らないように設けられる。

[0076] このような構造によれば、カバー状構造体 2 は、回転体 1 の端面（曲面）と対向する面を全て包囲しているので、回転体 1 から遠心力方向に飛散する液体状高温プラズマ原料 2 3 の飛沫は全てカバー状構造体 2 により捕捉され、その一部は第 1 の貯留槽 4 に戻る。回転体 1 から飛散する飛沫は、開口部 1 1 を介してのみしか、チャンバ 2 0 内に進行することができない。すなわち、本構造は、カバー状構造体 2 に図 1 A における飛散防止構造部材 9 の機能を付加し、回転体 1 の露出部分をエネルギービーム 6' が進行する領

域のみに限定し、図 1 A に示すものより回転体 1 の露出部分を小さくしたので、図 1 A に示すものより大幅に回転体 1 から飛散し、チャンバ 20 内に進行する飛沫を減少させることが可能となる。

[0077] また、図 1 A に示す飛散防止構造部材 9 は、回転体 1 の遠心力方向に飛散する高温プラズマ原料 23 は回収するが、回転体 1 の一方の側面（平面状表面）にエネルギービーム 6' が照射されることにより生じるデブリに飛散を抑制することはできない。しかしながら、図 6 A に示す例では、上記デブリも開口部 11 を介してのみしか、チャンバ 20 内に進行することができない。よって、開口部 11 の大きさを適切に設定することにより、このようなデブリの拡散も抑制することが可能となる。

[0078] 〔高温プラズマ原料の飛散抑制（3）〕

なお、開口部 11 からの液体状高温プラズマ原料 23 の飛散を更に抑制する場合、開口部 11 を通過したエネルギービーム 6' が照射される領域の近傍で回転体 1 上に塗布された液体状高温プラズマ原料 23 を冷却して、当該液体状高温プラズマ原料 23 を固相にしてもよい。これにより、開口部 11 からの高温プラズマ原料 23 のプラズマ空間（チャンバ 20 内）への飛散を更に抑制することが可能となる。固相状態の高温プラズマ原料 23 にエネルギービーム 6' が照射され E U V が放射すると、回転体 1 上における上記固相状態の高温プラズマ原料 23 表面の形状は変形する。しかしながら、回転体 1 の回転によりこの固相状態の変形領域が第 1 の貯留槽 4 を通過する際、当該領域は再び液相状態となり、再度この表面に液体状の高温プラズマ原料 23 が塗布され、上記表面を再生することができる。

[0079] 上記した液体状高温プラズマ原料 23 を固相とするために冷却する手段としては、例えば、開口部 11 近傍に膜厚制御機構 5 を配置し、当該膜厚制御機構 5 に図示を省略した冷却機能を付加すればよい。具体的には、回転体 1 の回転方向に対して膜厚制御機構 5 の後ろ側に水冷等による冷却機構や、ヘリウム、アルゴン等の希ガスを高温プラズマ原料に吹き付ける機構を設け、膜厚が制御された液体状高温プラズマ原料 23 を固相とすることが考えられ

る。

[0080] 〔高温プラズマ原料の塗布性の向上（１）〕

図１Ａ、図６Ａに示す例では、回転体１の一部が液体状の高温プラズマ原料２３に進入する際の進入方向は、液体状の高温プラズマ原料の表面（液面）に対してほぼ垂直であるが、これに限るものではない。すなわち、図７に示すように、回転体１を高温プラズマ原料２３の液面方向（重力方向）に対し傾けて、回転体１の液体状の高温プラズマ原料２３の液面に対する入射角が斜め方向となるように構成してもよい。具体的には、高温プラズマ原料２３の液面の法線方向に対し、回転体１の回転中心軸３が傾いているように構成することにより、図１Ａ、図６Ａに示したものより液体状高温プラズマ原料２３の垂れ下がり量を少なくすることができ、回転体１の表面の一部への液体状高温プラズマ原料２３の塗布をより確実に行うことができる。このため、回転体１の回転による液体状高温プラズマ原料２３の引き上げをより促進させることができる。

[0081] 〔高温プラズマ原料の塗布性の向上（２）〕

上記したように、高温プラズマ原料２３は、第１の貯留槽４内に貯留されている液体状の高温プラズマ原料２３に回転体１の一部が浸漬することにより、回転体１の表面に塗布され、エネルギービーム６'が照射される領域に輸送される。よって、回転体１表面に対して液体状の高温プラズマ原料２３が、なじんでいることが好ましい。すなわち、液体状の高温プラズマ原料２３に対する回転体１表面の濡れ性が良好であることが好ましい。

[0082] しかしながら、モリブデン等の高融点金属で構成される回転体１と液体状の高温プラズマ原料２３とは一般になじみ難い。

このような場合、回転体１の表面にシボ加工を施してもよい。回転体１の表面にシボ加工を施すことにより、回転体１表面の液体状の高温プラズマ原料２３に対する濡れ性が向上し、回転体１表面と液体状の高温プラズマ原料２３とがなじみやすくなり、より確実に回転体１に液体原料が塗布される。

[0083] 〔高温プラズマ原料の塗布性の向上（３）〕

また、上記シボ加工の代わりに、放電、レーザ照射、イオンビーム照射、電子ビーム照射等により生ずるプラズマにより回転体 1 の表面の表面改質を行う機構を設けて、回転体 1 の塗布性を向上させるようにしてもよい。

例えば、回転体 1 表面に付着している、液体状高温プラズマ材料（錫）の濡れ性を阻害するような物質（例えば酸化物）を放電（スパッタリング）等のプラズマにより除去することにより、回転体 1 の材料と錫（高温プラズマ原料 2 3）の反応性を高めたり、錫の表面張力を良くしたりすることでき、結果として回転体 1 は錫に濡れやすくなる。

[0084] 図 8 は、放電 M を用いて回転体 1 の表面の表面改質を実施する例を示すものである。

図 8 に示すように、カバー状構造体 2 に設けた開口部 1 1 を介して電極 3 3 と回転体 1 表面を対向させる。そして、高電圧パルス電源や高電圧高周波交流などの電源装置 3 4 を電極 3 3 およびカバー状構造体 2 に接続する。回転体 1 は、カバー状構造体 2 の内部（すなわち、第 1 の貯留槽 4）に貯留されている高温プラズマ原料 2 3 を介して電源装置 3 4 と電氣的に接続される。

[0085] 電源装置 3 4 により電極 3 3 と回転体 1 との間に高電圧を印加することにより、電極 3 3 と回転体 1 との間で放電 M が発生する。すなわち、回転体 1 表面を放電 M に曝すことにより、回転体 1 の放電 M が発生した領域表面では、酸化物等が除去され、当該領域に液体状高温プラズマ原料 2 3 を良好に塗布することが可能となる。

上記したように、電極 3 3 はカバー状構造体 2 に設けた開口部 1 1 を介して回転体 1 表面と対向しているので、回転体 1 上の放電 M により表面改質される領域は、開口部 1 1 を介してエネルギービーム 6' が照射される領域となる。

[0086] 放電 M による回転体 1 表面の表面改質は、当然ながらエネルギービーム 6' が回転体 1 に照射される前に実施され、放電中に回転体 1 を回転させることにより、回転体 1 のエネルギービーム 6' が照射され得る領域が全て表面

改質される。上記した回転体 1 のエネルギービーム 6' が照射され得る領域は当然ながら円環状の領域となる。

放電 M による表面処理が終了すると、電極 33 は、図示を省略した駆動機構によりカバー状構造体 2 に設けた開口部 11 から退避して、エネルギービーム 6' の回転体 1 への照射を阻害しない位置に移動する。

[0087] なお、カバー状構造体 2 に開口部 11 とは別の第 2 の開口部を設けて、その開口部を介して電極 33 と回転体 1 表面とを対向させてもよい。この場合は、電極 33 はエネルギービーム 6' の回転体 1 への照射を阻害しないので、駆動機構等により移動させる必要がなくなる。

ここで、カバー状構造体 2 における第 2 の開口部の位置は、回転体 1 のエネルギービーム 6' が照射され得る円環状の領域に対向する位置であって、電極 33 を配置させることが可能な位置である。

[0088] 〔高温プラズマ原料の塗布性の向上（４）〕

上記したように、回転体 1 のエネルギービーム 6' が照射され得る領域は円環状の領域となる。そこで回転体 1 の表面に、上記した円環状の領域に対応するように溝部 12 を形成してもよい。

図 9 A 及び図 9 B に、回転体の表面に円環状の溝部 12 を形成した実施形態を示す。図 9 A は回転体 1 を、その回転中心軸 3 方向から見た図を示し、図 9 B は図 9 A における E-E 断面図であり図 9 B ではカバー状構造体 2 も示されている。

図 9 A 及び図 9 B に示すように、回転体 1 の側面（平面状表面）に円環状に溝部 12 が形成される。溝部 12 を施すことにより、溝部 12 に液体状の高温プラズマ原料 23 が貯留するように塗布されるので、回転体 1 の回転により確実にエネルギービーム 6' が照射され得る領域に液体状の高温プラズマ原料 23 を搬送することができる。なお、この溝部 12 に、上記したシボ加工や表面処理を施すことも可能である。

[0089] なお、溝部の形状は必ずしも上記したように同心円状に連続的に構成する必要はなく、図 10 に示すように離散的に設けてもよい。

図 10 は回転体 1 の側面（平面状表面）を示し、図 10 は、回転体 1 の回転中心に対して円環状に離散的な凹部 12a（へこみ）を設けた場合を示している。なお、凹部 12a に変えて、回転体 1 の回転中心に対して円環状に離散的な貫通穴を設けてもよい。貫通穴であっても液体状の高温プラズマ原料 23 は表面張力により貫通孔内に保持されるので、溝等を設けた場合と同様、エネルギービーム 6' が照射され得る領域に高温プラズマ材料を搬送することができる。

[0090] 〔高温プラズマ原料の循環機構〕

図 1A に戻り、回転体 1 の一部に塗布された液体状の高温プラズマ原料 23 のうち、上述のエネルギービーム 6' が照射されたものは消費される。回転体 1 の回転により、この回転体 1 上の高温プラズマ原料 23 の一部が消費された領域が第 1 の貯留槽 4 に還流され、高温プラズマ原料 23 の一部が消費されている領域に高温プラズマ原料 23 が補充され、再び回転体 1 の回転により輸送される。すなわち、エネルギービーム 6' が照射される領域に対して、高温プラズマ原料 23 が循環する。

[0091] 一方、液体状高温プラズマ原料 23（錫）は、液体原料循環装置 7 により第 1 の貯留槽 4 と第 2 の貯留槽 7a との間で循環している。

液体原料循環装置 7 は、高温プラズマ原料 23 を貯留する第 2 の貯留槽 7a と、第 1 の貯留槽 4 との間で高温プラズマ原料 23 を循環するための原料流入管路 7b、原料流出管路 7c、プラズマ材料を循環するための原料駆動部（ポンプ）8 から構成される。

第 1 の貯留槽 4 には、高温プラズマ原料 23 を第 2 の貯留槽 7a から導入するための原料流入管路 7b、高温プラズマ原料 23 を第 2 の貯留槽 7a に排出する原料流出管路 7c が接続されている。

[0092] EUV 放射を長期間安定に行うためには、大量に高温プラズマ原料 23 を第 1 の貯留槽 4 内に貯留することが好ましい。しかしながら、EUV 光源装置のチャンバ 20 の大きさの兼ね合いから、チャンバ 20 内部に保持される第 1 の貯留槽 4 の大きさにも制約があり、大容量の錫を第 1 の貯留槽 4 内に

保持することは困難である。

そのため、本実施例においては、大容量の高温プラズマ原料 2 3（例えば、液体錫）を内部に貯留する第 2 の貯留槽 7 a をチャンバ 2 0 の外部に設け、原料流入管路 7 b を介して第 1 の貯留槽 4 に高温プラズマ原料 2 3 を補給可能なように構成している。このように構成することにより、第 1 の貯留槽 4 に保持する高温プラズマ原料 2 3 の量は長期間一定に維持され、結果として E U V 放射を長期間安定に行うことが可能となる。

なお、上記したように、第 1 の貯留槽 4 には第 2 の貯留槽 7 a から導入するための原料流入管路 7 b に加え、高温プラズマ原料 2 3 を第 2 の貯留槽 7 a に排出する原料流出管路 7 c が接続されており、第 1 の貯留槽 4 内の高温プラズマ原料 2 3 の量が一定となるように、第 1 の貯留槽 4 と第 2 の貯留槽 7 a との間で高温プラズマ原料 2 3 が循環している。

[0093] 回転体 1 の一部に塗布されている高温プラズマ原料 2 3 にエネルギービーム 6' が照射されると、高温プラズマが生成して E U V 放射が発生するが、同時に回転体 1 自体が加熱される。この加熱された回転体 1 は、高温プラズマ原料 2 3 が貯留されている第 1 の貯留槽 4 内を通過する度に、上記高温プラズマ原料 2 3 との間で熱交換が行われる。よって、第 1 の貯留槽に貯留される高温プラズマ原料 2 3 が循環していない場合、第 1 の貯留槽 4 内の高温プラズマ原料 2 3 の温度は変化する。高温プラズマ原料 2 3 が液体状態の錫（液体錫）である場合、当該液体錫の粘度は温度により変化するので、液体錫に対する回転体 1 の濡れ性も変化し、回転体 1 への液体錫の付着状態も変化する。よって、回転体 1 の一部に塗布された高温プラズマ原料 2 3 にエネルギービーム 6' が照射される際に発生する E U V 放射の出力も変化する可能性がある。

[0094] ここで、比較的大型の第 2 の貯留槽 7 a を E U V 光源装置のチャンバ 2 0 外部に配置し、第 1 の貯留槽 4 と第 2 の貯留槽 7 a との間で高温プラズマ原料 2 3 を循環させると、第 2 の貯留槽 7 a に貯留する高温プラズマ原料 2 3（液体錫）の量を大きくできるので、当該液体錫の熱容量を大きくすること

ができる。よって、第1の貯留槽4において温度変化した液体錫が原料流出管路7cを介して第2の貯留槽7a内に流入したとしても、第2の貯留槽7a内の液体錫の液体錫の温度はさほど変化せず、温度はほぼ一定に保たれる。このほぼ一定に温度が保たれた液体錫が原料流入管路を介して第1の貯留槽4に流入することにより、第1の貯留槽4内における液体錫の温度もほぼ一定にすることが可能となる。よって、回転体1への液体錫の付着状態も安定となり、EUV放射の出力も安定となる。

[0095] また、第2の貯留槽7aの高温プラズマ原料23の温度は、第2の貯留槽7a内部に設けられた温度調整機構7dで調整される。第2の貯留槽7aがチャンバ20の外部に設けているので、チャンバ20のサイズに左右されない大容量の温度調整機構7dを用いることができる。そのため、高温プラズマ原料23（液体錫）の温度を短時間で所定の温度に設定することが可能となる。

[0096] 上記所定の温度としては、例えば高温プラズマ原料23が液体錫である場合、錫が液相状態であることを維持できるような温度である。すなわち、高温プラズマ原料23である錫が融点以上に保持されるように温度制御される。なお、高温プラズマ原料23（液体錫）の過度な温度上昇は第1の貯留槽4や第2の貯留槽7aといった構造体の劣化を促進するので、制御温度は、高温プラズマ原料23（錫）の融点近傍に設定されることが好ましい。

[0097] なお、液体錫循環装置7、第1の貯留槽4、原料流入管路7b、原料流出管路7c、カバー状構造体2の液体材料が接する面には、液体金属によるエロージョンを防止するためにTiNなどのセラミック材料がコーティングされていること、あるいは、タングステン、モリブデン、タンタル等の高融点金属及びその合金で構成することが望ましい。

第1の貯留槽4と第2の貯留槽7aとの間の高温プラズマ原料23の循環は、原料駆動部8により行われる。原料駆動部8は例えば、磁力により液体金属を輸送する電磁ポンプが使用される。

[0098] すなわち、液体原料循環装置7は、第2の貯留槽7aに貯留されている高

温プラズマ原料 23 である液体錫を電磁ポンプである原料駆動部 8 の電磁力により原料流入管路 7 b を介して第 1 の貯留槽 4 に輸送する。第 1 の貯留槽 4 に貯留された高温プラズマ原料 23 の一部は、回転体 1 の回転により回転体 1 の表面の一部に薄膜塗布される。塗布された高温プラズマ原料 23 の一部がエネルギービーム 6' であるパルスレーザにより励起され、高温プラズマが生成し、EUV 放射が発生する。エネルギービーム 6' が照射された領域を含む回転体 1 に高温プラズマ原料 23 が塗布された領域は、回転体 1 の回転により再び第 1 の貯留槽 4 に戻り、エネルギービーム 6' の照射により高温プラズマ原料 23 が消失した領域に高温プラズマ原料 23 が補充される。なお、第 1 の貯留槽 4 に貯留されている高温プラズマ原料 23 は重力および電磁力により原料流出管路 7 c を介して第 2 の貯留槽 7 a に戻り、第 2 の貯留槽 7 a で所定の温度になって、再び第 1 の貯留槽 4 へと循環する。

[0099] なお、液体原料循環装置 7 に何らかの異常が発生して第 1 の貯留槽 4 と第 2 の貯留槽 7 a との間での高温プラズマ原料 23 の循環が停止した場合、第 2 の貯留槽 7 a の液体状高温プラズマ材料の液面が第 1 の貯留槽 4 の液体状高温プラズマ材料の液面よりも重力方向上方に位置していると、第 2 の貯留槽 7 a から第 1 の貯留槽 4 に高温プラズマ原料 23 が移動する恐れがある。上記したように、第 2 の貯留槽 7 a は第 1 の貯留槽 4 と比較して大容量の高温プラズマ原料 23 を貯留しており、かつ、第 1 の貯留槽 4 として機能するカバー状構造体 2 は、回転体へのエネルギービーム 6' の照射のため開口部 15、11 を有しているので、高温プラズマ原料 23 の移動が発生した場合、高温プラズマ原料 23 が第 1 の貯留槽 4 から溢れ、プラズマ発生空間であるチャンバ 20 内に液体状の高温プラズマ原料 23 が流出する恐れがある。

[0100] 従って、液体原料循環装置 7 において、第 2 の貯留槽 7 a の液体状高温プラズマ材料の液面は、第 1 の貯留槽 4 の液体状高温プラズマ材料の液面よりも重力方向下方に位置するように第 1 の貯留槽 4 と第 2 の貯留槽 7 a に配置することが好ましい。

第 2 の貯留槽 7 a は、閉空間であるので、第 1 の貯留槽 4 から流入する余

剰の液体状高温プラズマ原料 2 3 を外部に漏出させることなく収容する。

[0101] 尚、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無い。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。

本出願は日本特許出願第 2 0 1 3 - 9 5 2 3 5 号（出願日 2 0 1 3 年 4 月 3 0 日）を基礎とした出願であり、上記日本出願の優先権を主張し、上記日本出願の開示内容は全て本出願に組み込まれたものとする。

符号の説明

- [0102] 1 回転体
2 カバー状構造体
3 回転中心軸
4 第 1 の貯留槽
5 膜厚制御機構
5 a ブロック状構造体
5 b 板状構造体
5 c チャンネル状凹部を有する構造体
5 d チャンネル状凹部
6 エネルギー供給機構（レーザ照射装置）
6' エネルギー（レーザ）ビーム
7 液体原料循環装置、
7 a 第 2 の貯留槽
8 原料駆動部（ポンプ）
9 飛散防止構造体
1 0 飛沫

1 1	開口部
1 2	溝部
1 2 a	凹部
1 3	モータ
1 3 a	モータ回転軸
1 4	メカニカルシール
1 5	開口部
1 6	カップリング
2 0	チャンバ
2 1	ホイルトラップ
2 2	E U V 集光鏡
2 3	高温プラズマ原料
3 0	露光機
3 3	電極
3 4	電源装置

請求の範囲

[請求項1] 円盤状の回転体と、当該回転体の平面側に垂直な回転中心軸を中心として上記回転体を回転させる回転手段と、当該回転体を、ギャップを介して包囲するカバー状の構造体と、上記カバー状構造体の内部に設けられ液体状の高温プラズマ原料を貯留する第1の貯留槽と、上記回転体の一部が第1の貯留槽に貯留される高温プラズマ原料に浸漬していて、上記回転体の回転運動により上記回転体の表面の少なくとも一部に液体状の高温プラズマ原料を塗布する原料供給機構と、上記高温プラズマ原料にエネルギービームを照射するエネルギービーム供給装置を備えた極端紫外光光源装置であって、

上記原料供給機構の上記カバー状構造体の一部には開口部が設けられ、該開口部を介して上記エネルギービームが上記回転体の高温プラズマ原料が塗布された表面に照射されるとともに、該エネルギービームの照射により発生した極端紫外光が該開口部から放出され、

上記カバー状構造体は、上記回転手段により回転する回転体に作用する遠心力方向と対向し上記回転体を覆うように設けられる飛散防止部材を有する

ことを特徴とする極端紫外光光源装置。

[請求項2] 上記回転体とカバー状構造体との間のギャップ間隔は、回転体に塗布される液体状の高温プラズマ原料の膜厚が所定の膜厚となるように設定されている

ことを特徴とする請求項1記載の極端紫外光光源装置。

[請求項3] 上記カバー状構造体の内部には、回転体の高温プラズマ原料が塗布された表面と所定の間隙を介して対向する膜厚制御機構が設けられ、

上記間隙は、上記回転体に塗布される液体状の高温プラズマ原料の膜厚が所定の膜厚となるように設定されていて、

上記膜厚制御機構は、回転体のエネルギービームが照射される領域における高温プラズマ原料の膜厚を調整可能な位置に配置されている

ことを特徴とする請求項 1 記載の極端紫外光光源装置。

[請求項4]

上記カバー状構造体の内部には、チャンネル状の凹部を備えた構造体からなる膜厚制御機構が設けられ、当該構造体の上記凹部は上記回転体に対向し、該凹部の開口両側の辺は上記回転体の円周方向に沿って配置され、

該構造体の上記回転体と対向する凹部の底面と回転体との間隙は、上記回転体に塗布される液体状の高温プラズマ原料の膜厚が所定の膜厚となるように設定されており、

上記構造体を有する膜厚制御機構は、回転体のエネルギービームが照射される領域における高温プラズマ原料の膜厚を調整可能な位置に配置され、

上記構造体は、弾性体により上記回転体表面に押し付けられる方向に付勢され、上記凹部の両側が回転体表面に接触している

ことを特徴とする請求項 1 記載の極端紫外光光源装置。

[請求項5]

上記エネルギービームは、上記円盤状の回転体の回転中心軸に垂直な面の内の一方の表面に対して照射され、

極端紫外光を放射する高温プラズマの発生位置と極端紫外光集光鏡の設置位置もしくは上記高温プラズマの発生位置とマスク検査用光学系とから定まる極端紫外光の光軸は、上記回転体に照射された上記エネルギービームが上記回転体により反射される方向と一致しないように設定されている

ことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の極端紫外光光源装置。

[請求項6]

上記極端紫外光の光軸が、上記回転体の高温プラズマ原料が塗布された上記円盤状の回転体の回転中心軸に垂直な面の法線方向と一致している

ことを特徴とする請求項 5 に記載の極端紫外光光源装置。

[請求項7]

上記カバー状構造体に設けられた開口部を通過したエネルギービー

ムが、回転体に照射される領域の近傍で、回転体に塗布されている液体状高温プラズマ原料が固体に変化するように、当該液体状高温プラズマ原料を冷却する冷却手段が設けられた

ことを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の極端紫外光光源装置。

[請求項8] 回転体の回転中心軸が第 1 の貯留槽に貯留されている液体状高温プラズマ原料の液面の法線方向と直交せず交差している
ことを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の極端紫外光光源装置。

[請求項9] 上記円盤状の回転体の回転中心軸に垂直な面の内の少なくとも一方の面であって、かつ、エネルギービームが照射される面に溝部、凹部、もしくは貫通孔が設けられている
ことを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の極端紫外光光源装置。

[請求項10] 上記円盤状の回転体の回転中心軸に垂直な面の内の少なくとも一方の面であって、かつ、エネルギービームが照射される領域にシボ加工が施されている
ことを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の極端紫外光光源装置。

[請求項11] 上記円盤状の回転体の回転中心軸に垂直な面の内の少なくとも一方の面であって、かつ、エネルギービームが照射される領域に対して、プラズマによる表面改質を施す機構が設けられている
ことを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の極端紫外光光源装置。

[請求項12] 上記円盤状の回転体の回転中心軸に垂直な面の内の少なくとも一方の面であって、かつ、エネルギービームが照射される領域に対向させて配置される電極と、当該電極と回転体間に電圧を印加する電源装置を備える

ことを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の極端紫外光光源装置。

[請求項13] 高温プラズマ原料を貯留する第 2 の貯留槽と、当該第 2 の貯留槽と上記第 1 の貯留槽との間で接続され、当該第 2 の貯留槽からの高温プラズマ原料が第 1 の貯留槽に流入する原料流入管路と、上記第 2 の貯留槽と第 1 の貯留槽との間で接続され、当該第 1 の貯留槽からの高温プラズマ原料が第 2 の貯留槽に流出する原料流出管路と、上記第 2 の貯留槽の高温プラズマ原料を第 1 の貯留槽に対して送出する原料駆動部とからなる液体原料循環装置を更に備える

ことを特徴とする請求項 1 乃至 12 のいずれか 1 項に記載の極端紫外光光源装置。

[請求項14] 液体原料循環装置における第 2 の貯留槽は、第 1 の貯留槽に貯留される液体状高温プラズマ原料の液面より上記第 2 の貯留槽に貯留される液体状高温プラズマ原料の液面が重力方向下方に位置するように配置されている

ことを特徴とする請求項 13 に記載の極端紫外光光源装置。

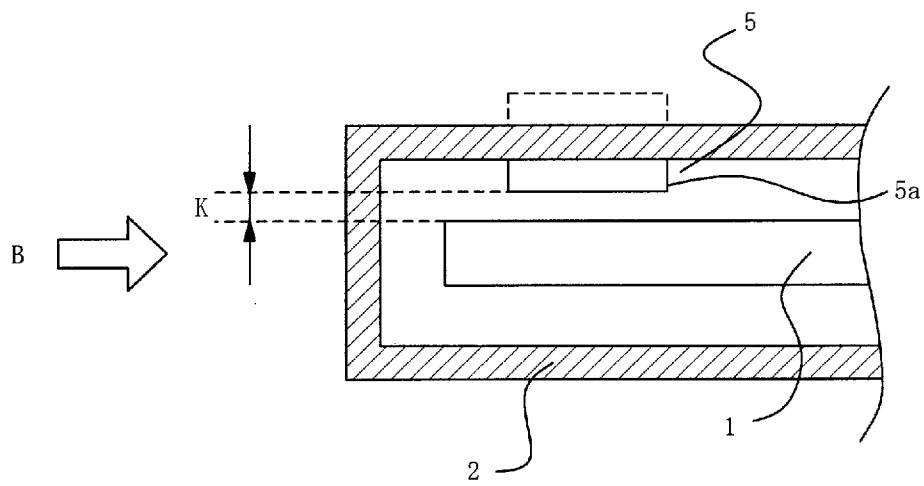
[請求項15] 上記回転体の高温プラズマ原料が塗布された表面に照射されるエネルギービームがレーザービームである

ことを特徴とする請求項 1 乃至 14 のいずれか 1 項に記載の極端紫外光光源装置。

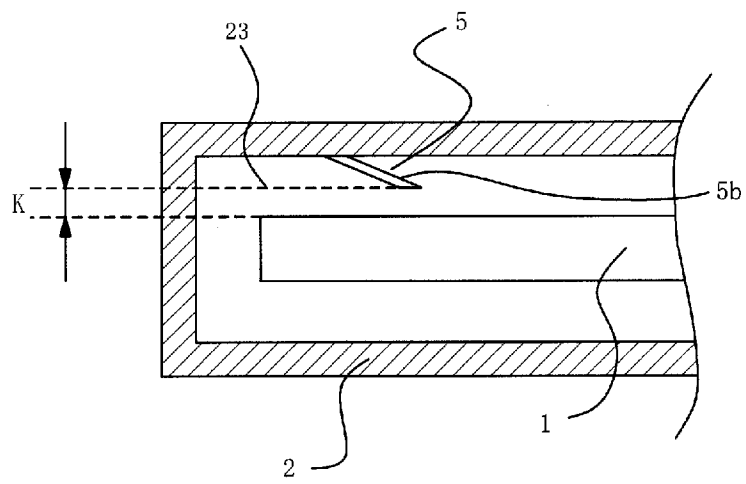
[請求項16] 上記回転体の高温プラズマ原料が塗布された表面に照射されるエネルギービームが 2 つのレーザービームである

ことを特徴とする請求項 1 乃至 14 のいずれか 1 項に記載の極端紫外光光源装置。

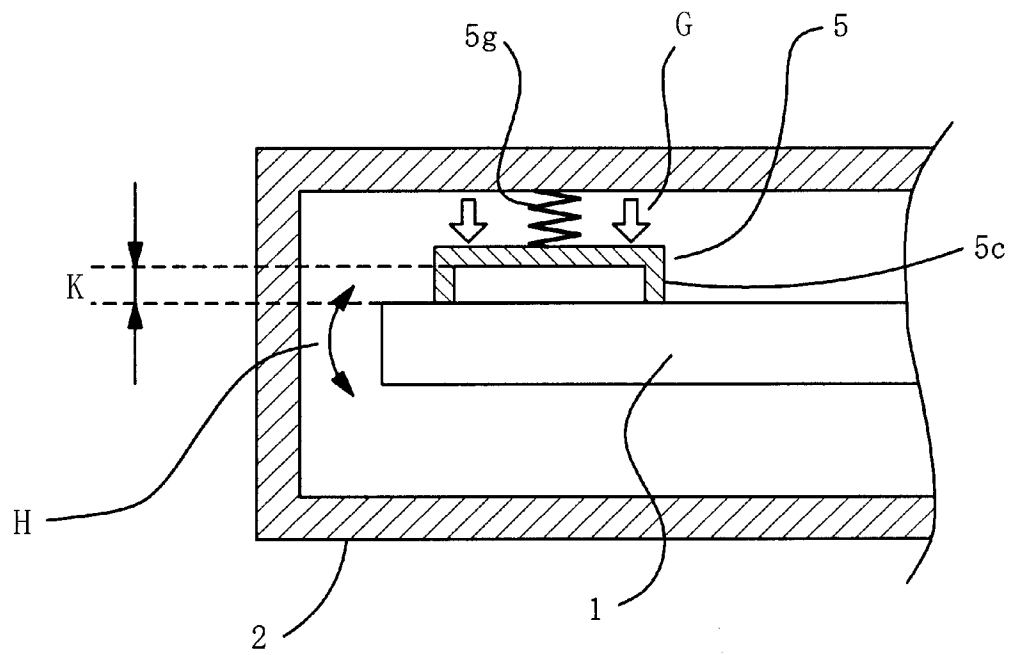
[図2A]



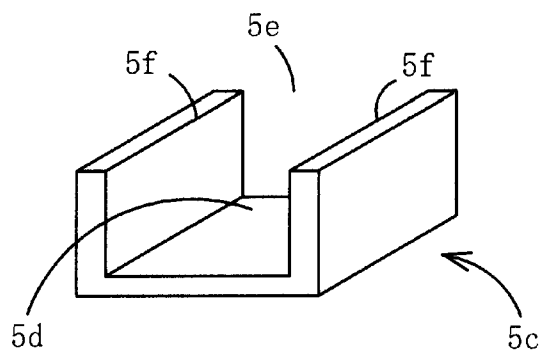
[図2B]



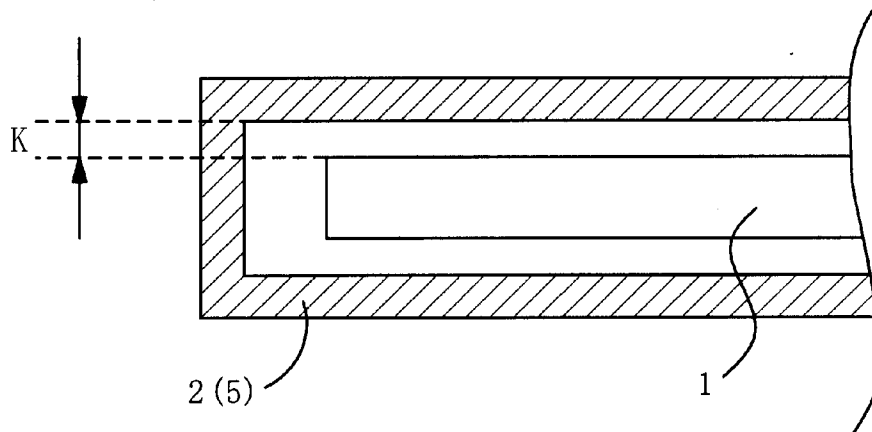
[図3A]



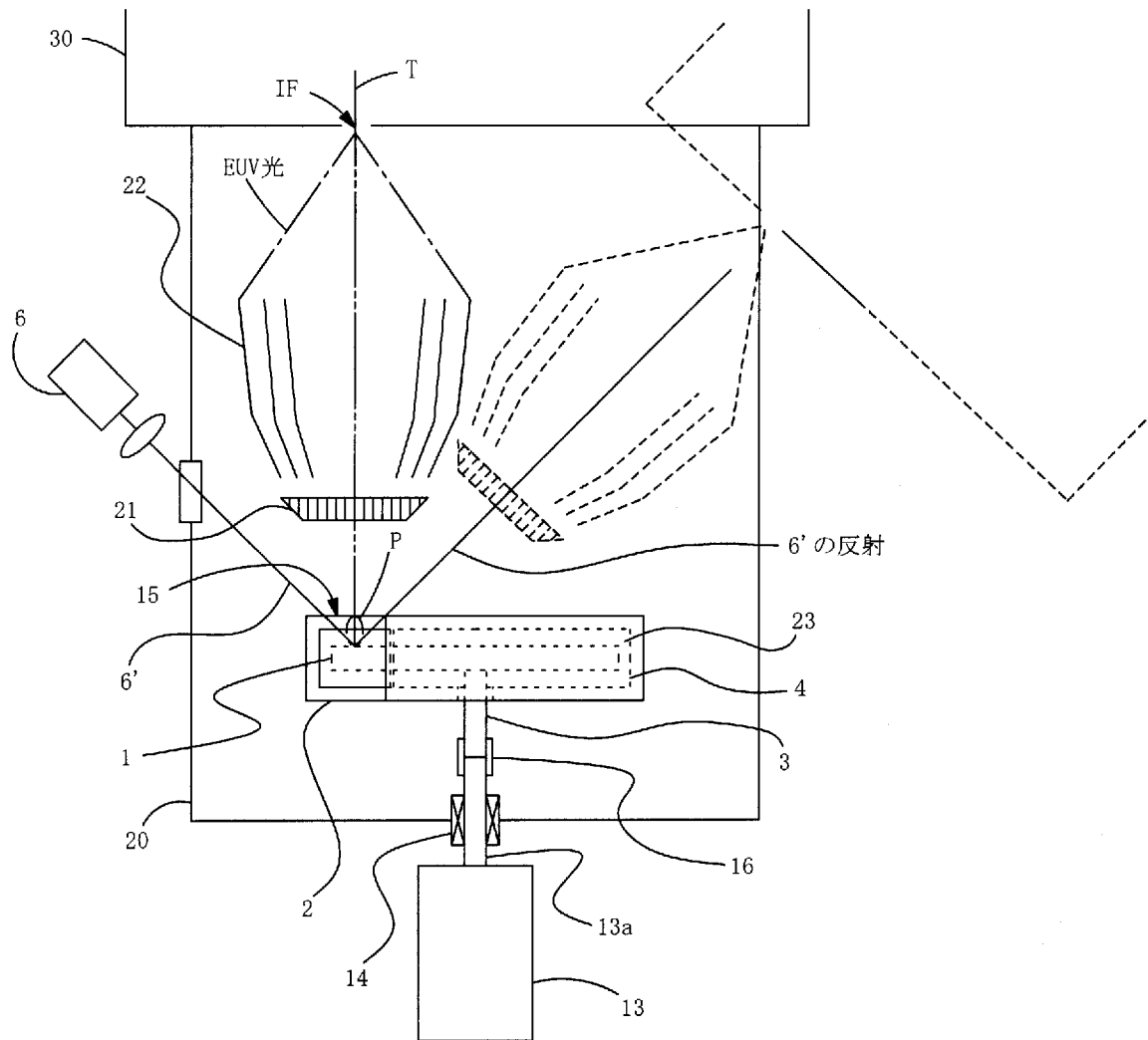
[図3B]



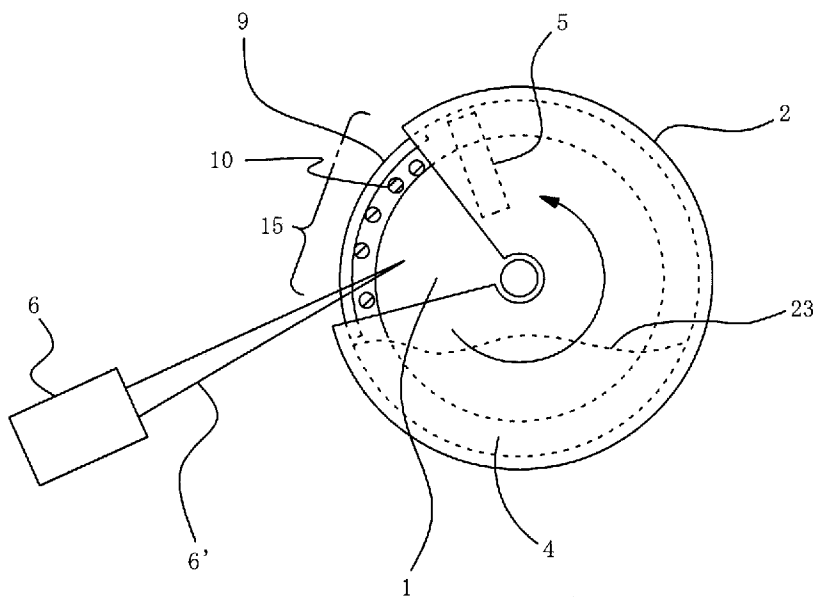
[図3C]



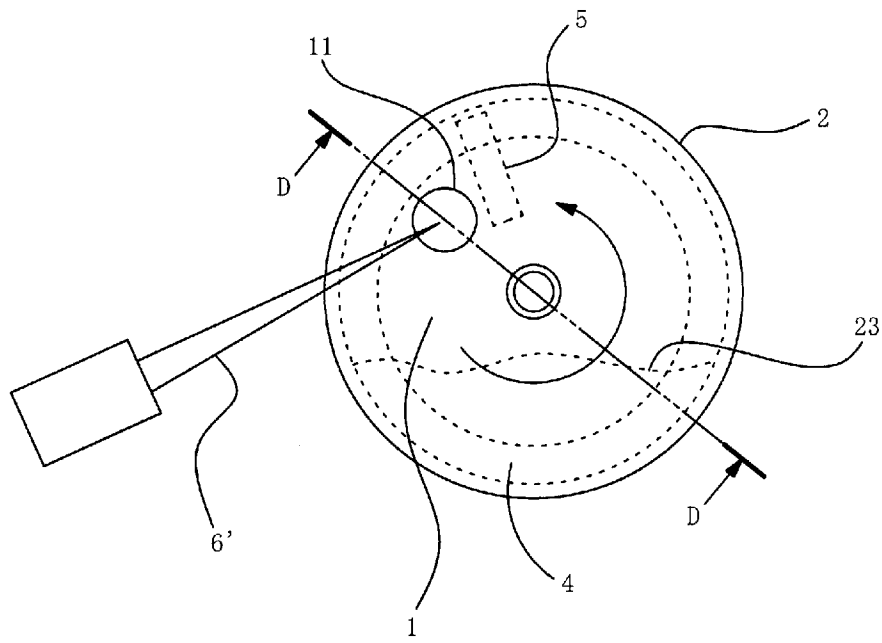
[図4]



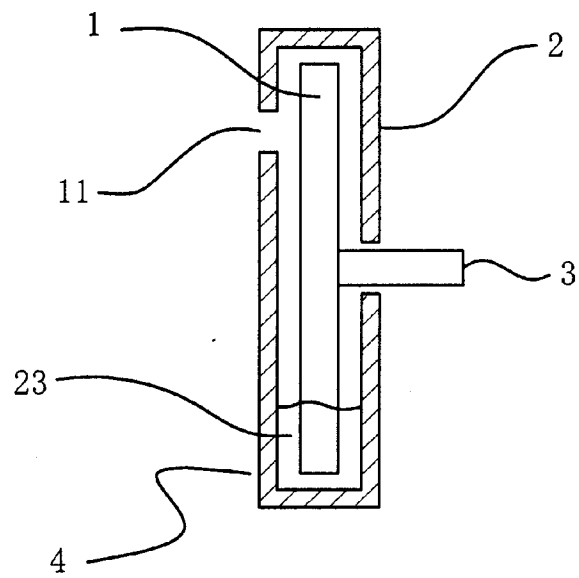
[図5]



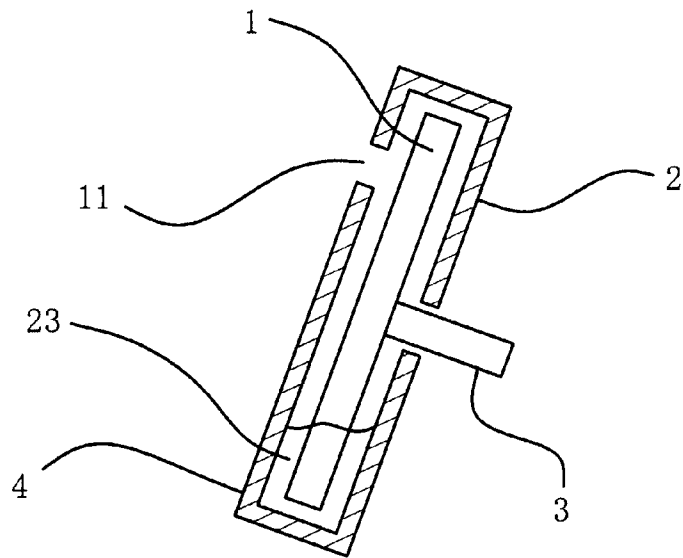
[図6A]



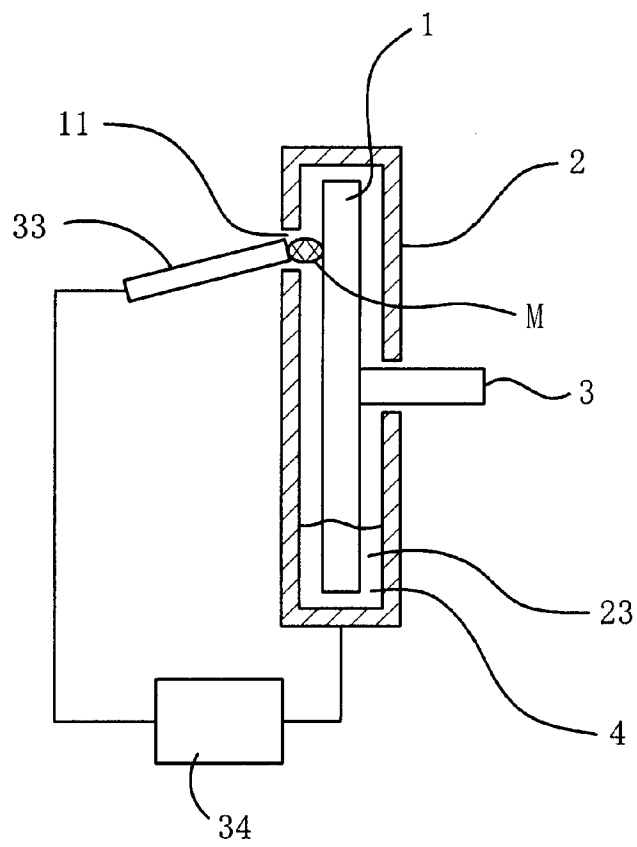
[図6B]



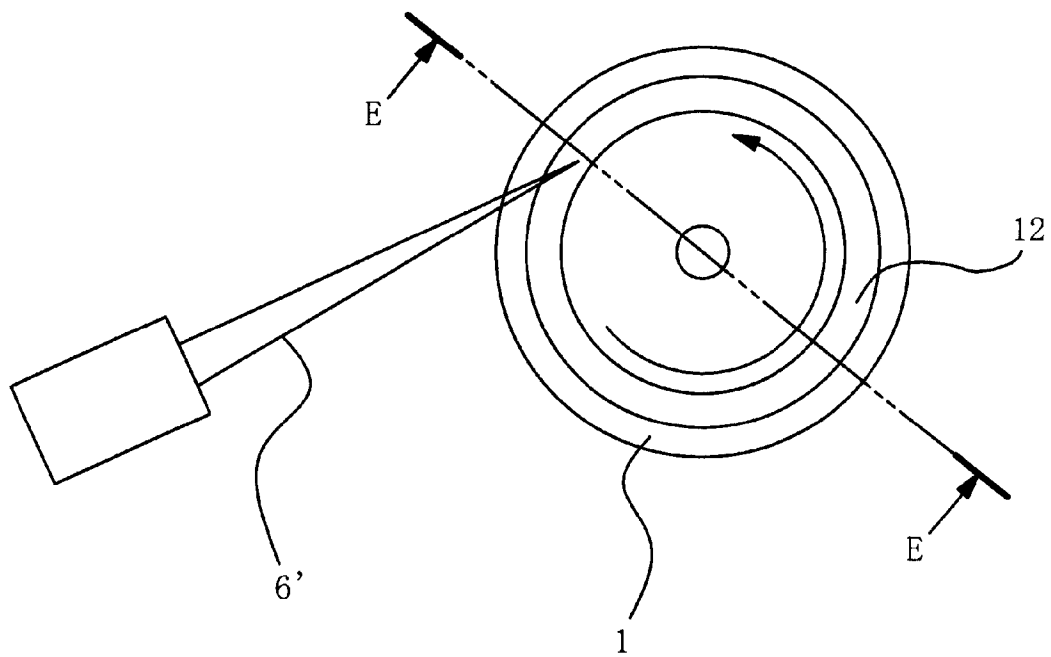
[図7]



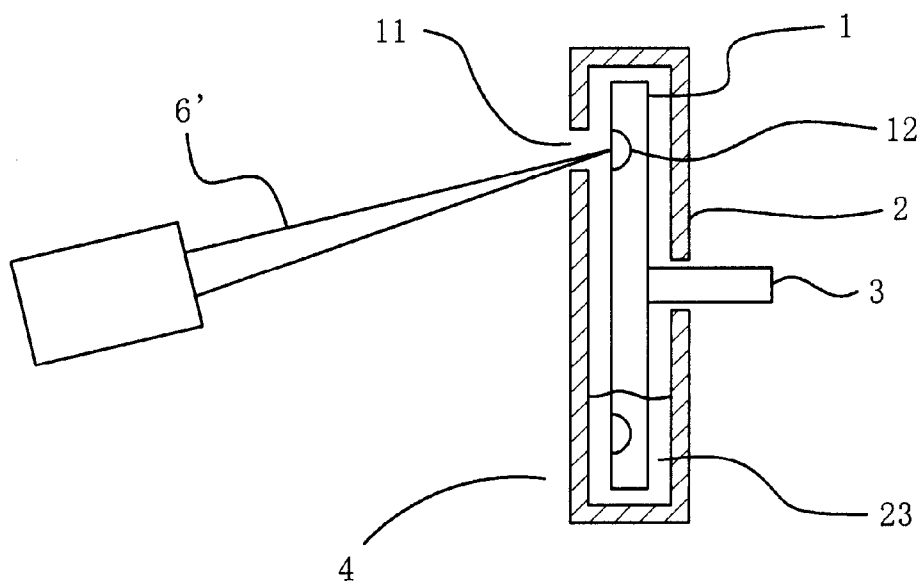
[図8]



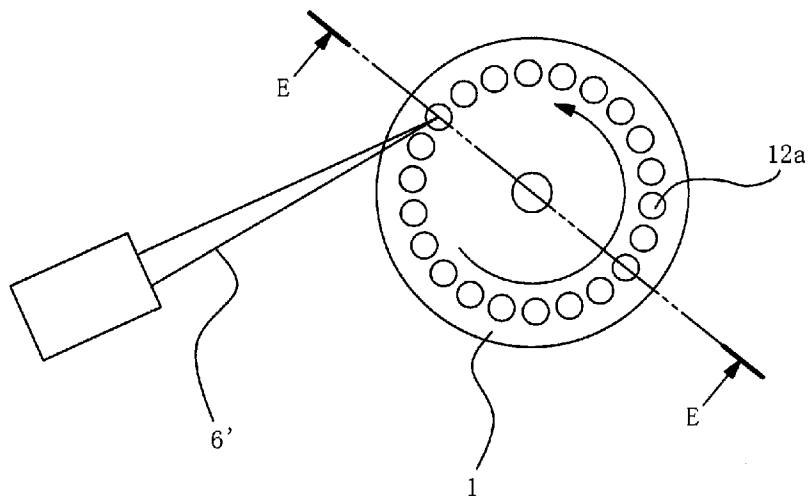
[図9A]



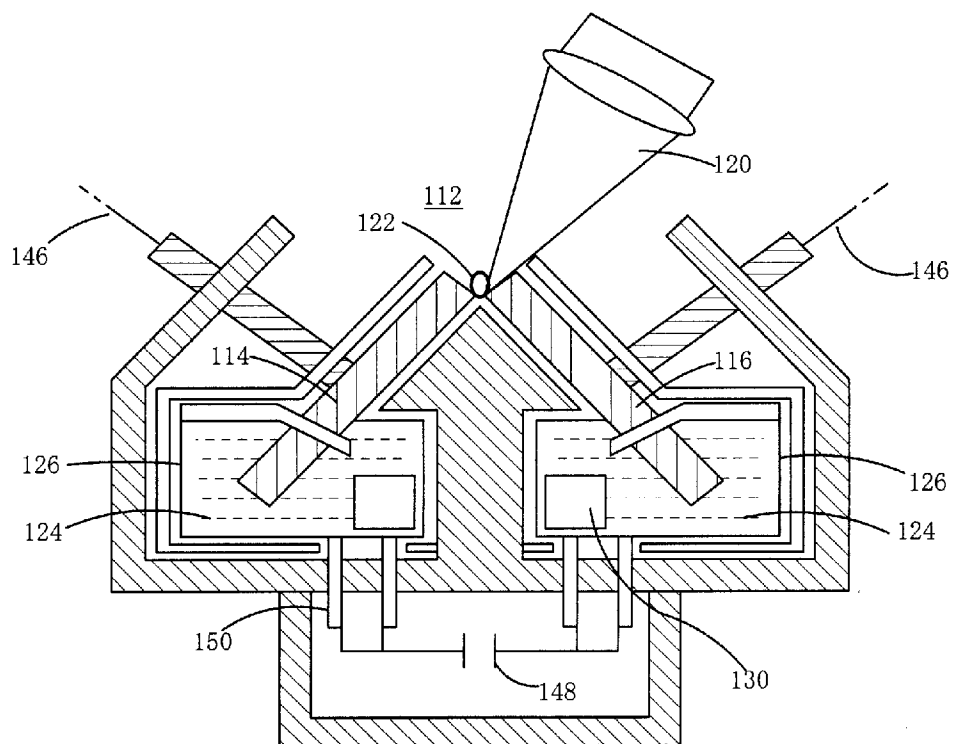
[図9B]



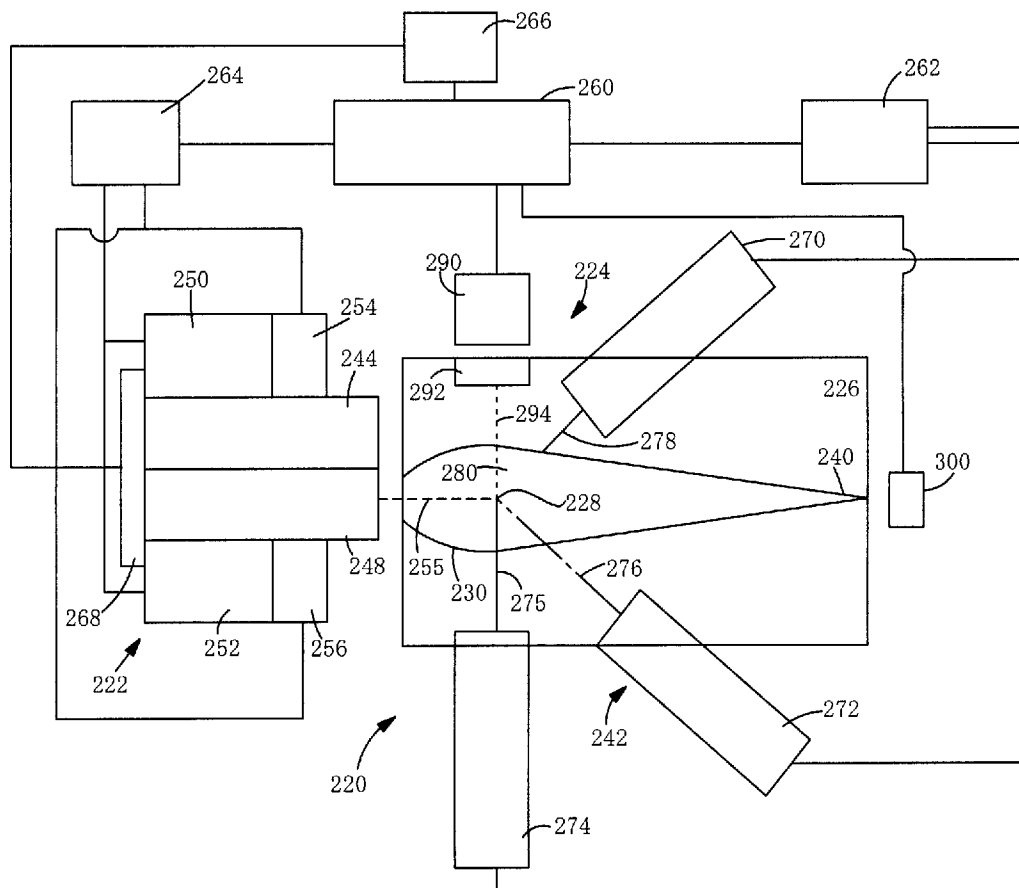
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/002306

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H05G2/00(2006.01)i, H01L21/027(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, H01L21/027

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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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.
Y A	WO 2009/077943 A1 (PHILIPS INTELLECTUAL PROPERTY & STANDARDS GMBH), 25 June 2009 (25.06.2009), entire text; all drawings (Family: none)	1-3, 5-10, 12-16 4, 11
Y A	JP 2010-263210 A (XTREME Technologies GmbH), 18 November 2010 (18.11.2010), paragraphs [0043], [0044] & NL 2004632 A & US 2010/0282987 A1 & DE 102009020776 A	1-3, 5-10, 12-16 4, 11

☒ 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
09 July, 2014 (09.07.14)

Date of mailing of the international search report
22 July, 2014 (22.07.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/002306

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2010-541123 A (Koninklijke Philips Electronics N.V.), 24 December 2010 (24.12.2010), entire text; all drawings & WO 2009/031059 A1 & TW 200920190 A & KR 10-2010-0057898 A & EP 2198674 A & CN 101796892 A & US 2011/0133621 A1 & AT 551882 T	3 1, 2, 4-16
Y A	JP 2007-200919 A (Ushio Inc.), 09 August 2007 (09.08.2007), entire text; all drawings (Family: none)	5, 6, 8, 12 1-4, 7, 9-11, 13-16
Y A	JP 2003-257698 A (Cipher Corporation Ltd.), 12 September 2003 (12.09.2003), entire text; all drawings (Family: none)	7, 9, 10 1-6, 8, 11-16
A	JP 2010-232150 A (Ushio Inc.), 14 October 2010 (14.10.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-16
A	JP 2008-541427 A (Koninklijke Philips Electronics N.V.), 20 November 2008 (20.11.2008), entire text; all drawings & US 2006/0246707 A1 & WO 2006/118789 A2 & KR 10-2008-0003865 A & GB 2439883 A & DE 112006001123 T & CN 101171671 A & JP 2008-541427 A	1-16

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H05G2/00(2006.01)i, H01L21/027(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（I P C））

Int.Cl. H05G2/00, H01L21/027

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 4 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
Y	WO 2009/077943 A1 (PHILIPS INTELLECTUAL PROPERTY & STANDARDS GMBH)	1-3, 5-10, 12-16
A	2009.06.25, 全文、全図（ファミリーなし）	4, 11
Y	JP 2010-263210 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）	1-3, 5-10, 12-16
A	2010.11.18, 段落【0043】、【0044】 & NL 2004632 A & US 2010/0282987 A1 & DE 102009020776 A	4, 11

☒ 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

0 9 . 0 7 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

2 2 . 0 7 . 2 0 1 4

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
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）

亀澤 智博

2 Q

4 7 4 6

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 2

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
Y A	JP 2010-541123 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) 2010.12.24, 全文、全図 & WO 2009/031059 A1 & TW 200920190 A & KR 10-2010-0057898 A & EP 2198674 A & CN 101796892 A & US 2011/0133621 A1 & AT 551882 T	3 1, 2, 4-16
Y A	JP 2007-200919 A (ウシオ電機株式会社) 2007.08.09, 全文、全図 (ファミリーなし)	5, 6, 8, 12 1-4, 7, 9-11, 13-16
Y A	JP 2003-257698 A (有限会社サイファー社) 2003.09.12, 全文、全図 (ファミリーなし)	7, 9, 10 1-6, 8, 11-16
A	JP 2010-232150 A (ウシオ電機株式会社) 2010.10.14, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-16
A	JP 2008-541427 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) 2008.11.20, 全文、全図 & US 2006/0246707 A1 & WO 2006/118789 A2 & KR 10-2008-0003865 A & GB 2439883 A & DE 112006001123 T & CN 101171671 A & JP 2008-541427 A	1-16