

(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
2018年2月22日(22.02.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/034020 A1

(51) 国際特許分類:

G03F 7/20 (2006.01) H05G 2/00 (2006.01)
G21K 5/02 (2006.01) H05H 1/24 (2006.01)
G21K 7/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2017/012554

(22) 国際出願日: 2017年3月28日(28.03.2017)

(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 2016-160860 2016年8月18日(18.08.2016) JP

(71) 出願人: 国立大学法人東北大学 (TOHOKU UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 Miyagi (JP).

(72) 発明者: 江島丈雄(EJIMA, Takeo); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 加道雅孝(KADO, Masataka); 〒6190215 京都府木津川市梅見台8-1-7 国立研究開発法人量子科学技術

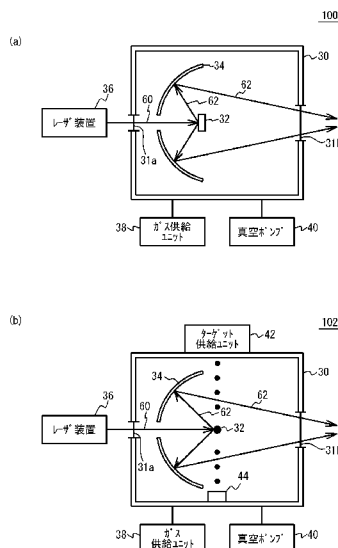
研究開発機構 関西光科学研究所内 Kyoto (JP). 篠原邦夫(SHINOHARA, Kunio); 〒6190215 京都府木津川市梅見台8-1-7 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 関西光科学研究所内 Kyoto (JP). 岸本牧(KISHIMOTO, Maki); 〒6190215 京都府木津川市梅見台8-1-7 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 関西光科学研究所内 Kyoto (JP).

(74) 代理人: 片山修平 (KATAYAMA, Shuhei); 〒1040031 東京都中央区京橋1-6-1 三井住友海上テプコビル 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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, 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,

(54) Title: SOFT X-RAY SOURCE, EXPOSURE APPARATUS, AND MICROSCOPE

(54) 発明の名称: 軟X線光源、露光装置および顕微鏡



36 Laser device
38 Gas supply unit
40 Vacuum pump
42 Target supply unit

(57) Abstract: This soft X-ray source is provided with: a laser device 36 which generates a plasma containing an element included in a target 32 by irradiating the target with a laser beam 60, and causes soft X-rays 62 to radiate from the plasma; and a chamber 30 which houses the target in the interior thereof and which, when the laser device irradiates the target with the laser beam, adjusts the gas pressure of a gas in the interior to a pressure not lower than 10 Pa but lower than the atmospheric pressure.

(57) 要約: ターゲット32にレーザ光60を照射することにより前記ターゲットに含まれる元素を含むプラズマを生成し、前記プラズマから軟X線62を放射させるレーザ装置36と、前記ターゲットを内部に収納し、前記レーザ装置が前記ターゲットに前記レーザ光を照射するとき、前記内部のガスのガス圧力を10Pa以上かつ大気圧未満とするチャンバ30と、を具備する軟X線光源。

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).

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：軟X線光源、露光装置および顕微鏡

技術分野

[0001] 本発明は、軟X線光源、露光装置および顕微鏡に関し、例えばレーザ光をターゲットに照射することにより軟X線を放射させる軟X線光源、露光装置および顕微鏡に関する。

背景技術

[0002] 極紫外（EUV：Extreme Ultraviolet）光または軟X線の光源として、レーザ生成プラズマ（LPP：Laser Produced Plasma）光源が知られている（例えば特許文献1～4）。LPP光源は、ターゲット材料にレーザ光を照射することでターゲット材料がプラズマ化し、このプラズマから放射される極紫外光または軟X線を利用する光源である。

[0003] EUV光源において、チャンバ内に緩衝ガスを導入することによりデブリと呼ばれる飛散粒子が光学系を汚染または損傷することを抑制することが知られている（例えば特許文献5）。緩衝ガスをプラズマ放電中のチャンバ内に導入することで、プラズマにより生成されたイオンを遅くし光学系等への損傷を抑制することが知られている（例えば特許文献6）。

先行技術文献

特許文献

- [0004] 特許文献1：特表2000-509190号公報
特許文献2：特開2001-35688号公報
特許文献3：特開2013-251100号公報
特許文献4：特開2013-93308号公報
特許文献5：特開2008-41391号公報
特許文献6：特表2014-510404号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] L P P光源では、高出力化が求められている。このため、照射するレーザー光のエネルギーに対し出射される軟X線のエネルギーを示す変換効率を高めることが求められている。特許文献5および6には、光学系等の汚染や損傷を抑制するためにチャンバ内に緩衝ガスを導入することが記載されている。しかし、プラズマから放射される軟X線自体を高出力化する方法については記載されていない。

[0006] 本発明は、上記課題に鑑みなされたものであり、軟X線光源において、レーザー光から軟X線への変換効率を高めることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明は、ターゲットにレーザー光を照射することにより前記ターゲットに含まれる元素を含むプラズマを生成し、前記プラズマから軟X線を放射させるレーザー装置と、前記ターゲットを内部に収納し、前記レーザー装置が前記ターゲットに前記レーザー光を照射するときに、前記内部のガスのガス圧力を10 Pa以上かつ大気圧未満とするチャンバと、を具備することを特徴とする軟X線光源である。

[0008] 上記構成において、前記ターゲットのうち前記レーザー光が照射される領域の周囲の前記ガスのガス圧を10 Pa以上かつ大気圧未満とし、前記チャンバ内の前記軟X線の経路の少なくとも一部のガス圧を前記領域の周囲のガス圧より低くするガス圧調整ユニットを具備する構成とすることができる。

[0009] 上記構成において、前記ガス圧調整ユニットは、前記領域の周囲の前記ガスの流束を、前記チャンバ内の前記軟X線の経路のうち最も前記ガスの流束の大きい箇所の流束より小さくする構成とすることができる。

[0010] 上記構成において、前記ガス圧調整ユニットは、前記領域の周囲に前記ガスを導入するガス導入ユニットと、前記領域の周囲から前記ガスを排気するガス排気ユニットと、を有する構成とすることができる。

[0011] 上記構成において、前記ガス導入ユニットは、前記領域を囲む第1壁と第2壁との間に形成される第1空洞を介し前記領域の周囲に前記ガスを導入し、前記ガス排気ユニットは、前記領域を囲む第3壁と第4壁との間に形成さ

れる第2空洞を介し前記領域の周囲から前記ガスを排気し、前記第1壁と前記第2壁の間の距離は前記領域の周囲に近づくに従い大きくなり、前記第3壁と前記第4壁との間の距離は前記領域の周囲に近づくに従い小さくなる構成とすることができる。

[0012] 上記構成において、前記チャンバから前記軟X線が導入され、前記軟X線の経路の前記少なくとも一部のガス圧より内部のガス圧が低い別のチャンバを具備する構成とすることができる。

[0013] 上記構成において、前記チャンバと前記別のチャンバとの間に前記軟X線を前記別のチャンバに導入し開放状態より低いコンダクタンスを有する光学系を具備する構成とすることができる。

[0014] 上記構成において、前記別のチャンバの前記光学系側と、前記光学系から出射した軟X線がフォーカスする位置側とに排気口を設ける構成とすることができる。

[0015] 上記構成において、前記内部の前記ガスのガス圧力は10Pa以上かつ1000Pa以下である構成とすることができる。

[0016] 上記構成において、前記内部の前記ガスのガス圧力は、前記プラズマにより形成されるプラズマ球が真空中のプラズマ球より小さくなるようなガス圧力である構成とすることができる。

[0017] 上記構成において、前記軟X線の波長は13nm以上かつ14nm以下であり、前記ガスはシリコンを含むガス、モリブデンを含むガス、ヘリウムガスおよび水素ガスの少なくとも1つである構成とすることができる。

[0018] 上記構成において、前記軟X線の波長は6nm以上かつ7nm以下であり、前記ガスは炭素を含むガス、ボロンを含むガス、ヘリウムガスおよび水素ガスの少なくとも1つである構成とすることができる。

[0019] 上記構成において、前記軟X線の波長は4.5nm以上かつ5nm以下であり、前記ガスは炭素を含むガス、窒素を含むガス、ヘリウムガスおよび水素ガスの少なくとも1つである構成とすることができる。

[0020] 上記構成において、前記軟X線の波長は2.3nm以上かつ4.5nm以

下であり、前記ガスは酸素を含むガス、窒素を含むガス、ヘリウムガスおよび水素ガスの少なくとも1つである構成とすることができる。

[0021] 本発明は、上記軟X線光源を含む露光装置である。

[0022] 本発明は、上記軟X線光源を含む顕微鏡である。

発明の効果

[0023] 本発明によれば、軟X線光源において、レーザ光から軟X線への変換効率を高めることができる。

図面の簡単な説明

[0024] [図1]図1(a)および図1(b)は、実験1における波長に対する相対発光強度を示す図である。

[図2]図2は、実験1における相対圧力に対する相対発光強度を示す図である。

[図3]図3(a)および図3(b)は、実験2における波長に対する発光強度を示す図である。

[図4]図4は、実験2におけるN₂ガス圧力に対する発光強度を示す図である。

[図5]図5(a)および図5(b)は、実験3における波長に対する発光強度を示す図である。

[図6]図6は、実験3における吸収補正後の波長に対する相対発光強度を示す図である。

[図7]図7(a)および図7(b)は、実験4におけるプラズマ球の平均画像である。

[図8]図8(a)および図8(b)は、それぞれ図7(a)および図7(b)の画像内のA-Bにおけるピクセルに対するグレー値を示す図である。

[図9]図9(a)は、実験5における時間に対するファラデーカップの荷電粒子数を示す図、図9(b)は、図9(a)の時間をエネルギーに変換した図である。

[図10]図10(a)および図10(b)は、考察した真空中のプラズマから

の荷電粒子の拡散過程を示す模式図である。

[図11]図11(a)から図11(c)は、考察したガス中のプラズマからの荷電粒子の拡散過程を示す模式図である。

[図12]図12(a)および図12(b)は、実施形態1に係る軟X線光源のブロック図である。

[図13]図13(a)および図13(b)は、各元素の波長に対するUTA発光の線強度を示す図(その1)である。

[図14]図14(a)および図14(b)は、各元素の波長に対するUTA発光の線強度を示す図(その2)である。

[図15]図15(a)および図15(b)は、波長に対する軟X線の透過率を示す図(その1)である。

[図16]図16(a)および図16(b)は、波長に対する軟X線の透過率を示す図(その2)である。

[図17]図17は、波長に対する軟X線の透過率を示す図(その3)である。

[図18]図18は、実施形態2の露光装置のブロック図である。

[図19]図19は、実施形態3の顕微鏡のブロック図である。

[図20]図20は、実施形態4に係る軟X線光源のブロック図である。

[図21]図21(a)は、実施形態5に係る軟X線光源のブロック図、図21(b)は、ガス圧調整ユニットの平面図である。

[図22]図22(a)は、実施形態4におけるガス圧調整ユニットおよびターゲットの別の例を示す平面図、図22(b)および図22(c)は、図22(a)のA-A断面図およびB-B断面図である。

[図23]図23(a)は、シミュレーションしたガス圧調整ユニットの断面図、図23(b)は、シミュレーションの結果の一例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0025] まず、発明者らが行なった実験について説明する。

実験の手順は以下である。

チャンバ内にターゲットを配置する。

チャンバ内にガスを導入する。

ターゲットにレーザ光を照射する。

ターゲットから出射する軟X線のスペクトルを分光器および軟X線検出器を用い測定する。

[0026] [実験1]

実験1の条件を以下に示す。

レーザ装置：激光（G e k k o）X I I（大阪大学 レーザエネルギー学研究センター）

レーザ光波長：1 0 5 3 n m

パルスエネルギー：1 2 0 J

パルス幅：5 0 0 ピコ秒

ターゲット：A u（金）、またはA l（アルミニウム） 膜厚が1 0 0 μ mの薄膜

チャンバ内ガス：N₂（窒素）ガス

分光器：F l a t - f i e l d型斜入射分光器（回折格子溝間隔2 4 0 0 本／m m）

ターゲットから分光器の入射窓までの距離：8 0 0 m m

分光器から検出器までの距離：8 0 0 m m

ターゲットから検出器までは一定圧力のガスで満たされている。

[0027] 図1（a）および図1（b）は、実験1における波長に対する相対発光強度を示す図である。図1（a）および図1（b）のターゲットはそれぞれA uおよびA lである。相対発光強度は、N₂ガスによる軟X線の吸収を補正（以下吸収補正）した後、ガスをチャンバ内に導入しないガス圧力が0 P aの発光強度で規格化している。吸収補正は、ターゲットから検出器までの距離1 6 0 0 m mとしたときのN₂ガスの軟X線の透過率より算出した。波長は、N₂ガスに起因するK殻吸収端N－K（約3. 0 n m）および分光器の炭素に起因するK殻吸収端C－K（約4. 4 n m）で較正した。

[0028] 図1（a）に示すように、ターゲットがA uのとき、波長が3 n mから6

n mにおいて、 N_2 ガスの圧力が高くなると相対発光強度が大きくなる。特にN－K端およびC－K端の長波長側で相対発光強度が大きく、ガス圧力が400 Paのとき、相対発光強度は約5となる。図1（b）に示すように、ターゲットがAlのとき、ガス圧力が267 PaでN－K端の長波長側における相対発光強度は12となる。

[0029] 図2は、実験1における相対圧力に対する相対発光強度を示す図である。図示した相対発光強度は波長が3.2 nmの発光強度である。相対圧力はガス圧力が67 Paを1としている。図2に示すように、ターゲットの種類によらずガス圧力に対して相対発光強度は線形に増大する。

[0030] [実験2]

実験2の条件を以下に示す。

レーザ装置：Nd：YAGレーザ

レーザ光波長：1064 nm

パルスエネルギー：1 J未満

パルス幅：7 ナノ秒

ターゲット：Au

チャンバ内ガス： N_2 ガス

分光器：Flat-field型斜入射分光器（回折格子溝間隔2400本/mm）

ターゲットから分光器および検出器までの距離：1000 mm

ターゲットから検出器までは一定圧力のガスで満たされている。

[0031] 図3（a）および図3（b）は、実験2における波長に対する発光強度を示す図である。図3（a）および図3（b）は、それぞれ吸収補正前および吸収補正後の発光強度を示す。発光強度は任意単位（arbitrary unit）である。吸収補正後の発光強度は、ターゲットから検出器までの距離1000 mmとしたときの N_2 ガスの軟X線の透過率より算出した。

[0032] 図3（a）に示すように、波長が2 nmから4.5 nmにおいて、ガス圧力が50 Paから99 Paではガス圧力が0 Paに比べ発光強度が小さい。

ガス圧力が125 Pa以上ではガス圧力が0 Paに比べ発光強度が大きくなる。波長が4.5 nmから7 nmにおいて、ガス圧力が0 Paの発光強度は波長が長くなると大きくなる。図3 (b) に示すように、吸収補正後では、ガス圧力が99 Pa以上で発光強度が0 Paより大きくなる。ガス圧力が大きくなると、発光強度は大きくなる。このように、吸収補正すると、3 nmから6 nmにおいて、ガス圧力が100 Pa以上で、ガス圧力が0 Paより発光強度が大きくなる。

[0033] 図4は、実験2におけるN₂ガス圧力に対する発光強度を示す図である。発光強度は、波長が2.3 nmから4.4 nmにおける積算値（任意単位）である。同様の実験を3回行ない、3回の実験結果をそれぞれ白四角、黒丸および白丸で示す。ガス圧力が0 Paに比較し、ガス圧力を大きくすると発光強度が大きくなる。特にガス圧力が50 Pa以上では、ガス圧力に対して発光強度は線形に増大する。発光強度を大きくするためには、ガス圧力は100 Pa以上が好ましく、150 Pa以上がより好ましく、200 Pa以上がさらに好ましい。

[0034] [実験3]

実験3の条件を以下に示す。

レーザ装置：Nd：YAGレーザ

レーザ光波長：1064 nm

パルスエネルギー：0.85 J 未満

パルス幅：8 ナノ秒から12 ナノ秒

レーザ光径：22 μm

レーザ光照射強度： $2.0 \times 10^{13} \pm 5 \times 10^{11} \text{ W/cm}^2$

ターゲット：W（タングステン） 膜厚が0.3 mmの薄膜

チャンバ内ガス：He（ヘリウム）ガス

分光器：166° 定偏角型分光器（回折格子溝間隔600本/mm）

ターゲットから分光器までの距離：1500 mm

ターゲットから分光器の入射スリットまでの距離：1000 mm

分光器から出射スリットまでの距離：250 mm

出射スリットの下流に波長1 nmから30 nmに特に感度を持つ検出器（フォトダイオード：IRD社製 EUVUV100）を設ける。

ターゲットから分光器の入射スリットまではほぼ一定圧力のガスで満たされている。

[0035] 図5（a）および図5（b）は、実験3における波長に対する発光強度を示す図である。図5（a）および図5（b）は、それぞれ吸収補正前および吸収補正後の発光強度を示す。図6は、吸収補正後の波長に対する相対発光強度を示す図である。発光強度は100パルスの積算値であり任意単位である。吸収補正後の発光強度は、ターゲットから分光器の入射スリットまでの距離1000 mmとしたときのHeガスの軟X線の透過率より算出した。

[0036] 図5（a）に示すように、波長が8 nmから30 nmにおいて、ガス圧力が大きくなると、発光強度は小さくなる。これは、Heにより軟X線が吸収されるためである。図5（b）に示すように、吸収補正すると、波長が8 nmから30 nmにおいて、ガス圧力が大きくなると、発光強度が大きくなる。波長が17 nm以下と17 nm以上で振る舞いが異なる。波長が8 nmから17 nmにおいてブロードな発光ピークが観察される。ガス圧力を30 Pa以上とすると、この波長領域の発光強度は、ガス圧力の増加に対して、線形に増加する。波長が17 nmから30 nmにおいては、明確なピーク構造は観測されない。この波長域での発光強度は、ガス圧力の増加に対して、指数関数的に増大する。

[0037] 図6に示すように、実験3におけるガス圧力が0 Paの発光強度で規格化すると、波長が8.5 nm付近、9.5 nm付近、10.5 nm付近および20 nm付近にピークP1からP4が観察される。ガス圧力が大きくなると、ピークP1からP4の強度も大きくなる。

[0038] 図5（b）の波長が12 nmから17 nmの発光は、T. Putterich et al., Plasma Phys. Control. Fusion 50 (2008) 085016に示されているプラズマ温度が1 keVのときの W^{24+} から W^{27+} の発光と考えられる。一方、図6の

ピーク P 1 から P 3 は、C. S. Harte, et al., J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys., 43 205004 に記載されているそれぞれ W^{20+} 、 W^{19+} 、および W^{18+} の発光と考えられる。ピーク P 4 は、C. Suzuki, et al., J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys., 44 175004. に記載されている W^{20+} の発光と考えられる。波長が 17 nm 以上の発光は 17 nm 以下の発光とは振る舞いが異なるため、発光機構が異なると考えられる。波長が 17 nm 以上の発光は、例えば電子の制動輻射と考えられる。

[0039] 実験 1 から実験 3 の結果をまとめると、ガス雰囲気中のターゲットにレーザー光を照射すると出射される軟 X 線の強度が大きくなる。すなわち変換効率が上がる。ターゲットとして Au、Al および W においても同様の現象が生じる。ガスとして N_2 および He において同様の現象が生じる。また、波長が 2 nm から 30 nm の範囲で同様の現象が生じる。

[0040] このようなチャンバ内へのガスの導入による発光強度の増大の機構を調べるため以下の実験を行なった。

[0041] [実験 4]

実験 3 の実験装置を用い、シャッタを 0.1 秒開放しプラズマ球を写真撮影した。ガス圧力が 0 Pa と 60 Pa について、それぞれ 85 枚の写真を撮影した。PCA (Principal Component Analysis) 処理し、それぞれの平均画像を算出した。

[0042] 図 7 (a) および図 7 (b) は、実験 4 におけるプラズマ球の平均画像である。図 7 (a) および図 7 (b) において、左側の円形状の白パターンがプラズマ球である。右側の白いパターンはプラズマ球の反射画像である。図 7 (a) および図 7 (b) はそれぞれガス圧力が 0 Pa および 60 Pa である。図 7 (a) と図 7 (b) を比較すると、図 7 (b) ではプラズマ球が小さくなっているように見える。

[0043] 図 8 (a) および図 8 (b) は、それぞれ図 7 (a) および図 7 (b) の画像内の A-B におけるピクセルに対するグレイ値を示す図である。図 8 (a) および図 8 (b) において、グレイ値が白 (0.0045) の半分とな

るピクセル位置を破線で示す。破線の間隔がプラズマ球の直径に対応するとする。ガス圧力が60 Paのプラズマ球の直径は、ガス圧力が0 Paの約80%となっている。このように、ガスの導入によりプラズマ球は収縮することがわかる。

[0044] [実験5]

実験3の実験装置を用い、チャンバ内にガスを導入しない（ガス圧力が0 Pa）のときのプラズマから飛来する荷電粒子の速度を測定した。ターゲットの法線方向に沿ってレーザ光を入射し、ターゲット面上のレーザ照射点から伸ばした法線に対して角度 θ の直線上でかつ照射点から距離が115 mmの場所にファラデーカップを配置した。レーザ光のパルスと同期させ、飛来する荷電粒子のレーザ光照射直後からの時間応答を測定した。

[0045] 図9（a）は、実験5における時間に対するファラデーカップの荷電粒子数を示す図である。図9（a）は、ファラデーカップの計測値から求めた荷電粒子数を絶対値で示している。図9（b）は、図9（a）の時間をエネルギーに変換した図である。角度 θ が、 23.7° 、 43.7° 、 53.7° および 76.0° の結果を示している。

[0046] 図9（a）および図9（b）に示すように、4つのピークPa、Pb、PcおよびPdが観察される。図9（a）および図9（b）のピーク記号Pb、PcおよびPdは、それぞれ対応するピークを表わしている。各ピークの時間から荷電粒子の速度を算出すると以下となる。

Pa : $3.2 \times 10^5 \text{ m/秒}$

Pb : $2.5 \times 10^4 \text{ m/秒}$

Pc : $8.9 \times 10^3 \text{ m/秒}$

Pd : $3.3 \times 10^3 \text{ m/秒}$

[0047] ピークPa、Pb、PcおよびPdをWイオンによる信号と考えて、エネルギーに換算すると、それぞれ50000 eV、620 eV、70 eVおよび12 eVとなる。ピークPaのエネルギーは投入エネルギーから予想される黒体輻射温度ピークの値（180 eV～600 eV）に対して2桁ほど大

きく、投入エネルギーに対して高すぎるエネルギー値であるため、プラズマ中のWイオンからの信号とは考えられない。一方で、ピークP aを電子による信号と考えて、エネルギーに換算すると0.3 eVとなり、プラズマ中の電子として十分とりうる値である。以上のことより、ピークP aは電子に相当し、ピークP b、P cおよびP dは価数の異なるWイオンに相当すると考えられる。

[0048] [実験の考察]

実験1から実験3において、チャンバ内へのガスの導入により発光強度が増大する機構については明確でないが、実験4および実験5の結果に基づき、例えば以下のように考えられる。

[0049] 実験5の結果より、真空中のプラズマからの荷電粒子の拡散について、以下のように考えられる。図10(a)および図10(b)は、考察した真空中のプラズマからの荷電粒子の拡散過程を示す模式図である。図10(a)に示すように、ターゲット10にレーザ光12を照射すると、ターゲット10の一部10aが溶融する。ターゲット10の材料(例えばW)のプラズマ球18が生成される。プラズマ球18には、電子14およびターゲット材料のイオン16が含まれる。レーザ光12の照射からピコ秒程度経過すると、プラズマ球18から軟X線20が出射される。

[0050] 図10(b)に示すように、レーザ光12の照射からマイクロ秒程度経過すると、レーザ光からエネルギーを得た荷電粒子は真空中を飛散する。レーザ光のエネルギーは荷電粒子に等分配されると、イオン16aから16dの束縛を離れた一部の電子14は最も速く飛散し、価数の異なるイオン16aから16dは電子14より遅く飛散する。イオン16aから16dは価数が異なり、価数により速度が異なる。このように、最も外側が電子14となりイオン16aから16dが内側となる。

[0051] 次に、実験4の結果より、ガス中のプラズマ球18は以下のように収縮すると考えられる。図11(a)から図11(c)は、考察したガス中のプラズマからの荷電粒子の拡散過程を示す模式図である。図11(a)に示すよ

うに、チャンバ内にはガス分子 22 が存在する。ターゲット 10 にレーザ光 12 を照射すると、図 10 (a) と同様にプラズマ球 18 が生成される。図 11 (b) に示すように、レーザ光 12 の照射からピコ秒程度経過すると、プラズマ球 18 から軟 X 線 20 が放射される。図 11 (c) に示すように、軟 X 線 20 が放射されてからナノ秒程度経過すると、ガス分子 22 が軟 X 線 20 に照射され光電効果によってガス分子 22 が電離する。

[0052] ガス分子 22 の電離によりイオン 22 a および電子 22 b が生成される。イオン 22 a および電子 22 b と電子 14 の間にはクーロン相互作用が働く。これを通じて電子 14 が冷却され、電子 14 の飛散速度が抑えられる。同様に、プラズマ球 18 内のイオン 16 の飛散も抑制される。これにより、実験 4 のように、ガス雰囲気ではプラズマ球 18 が収縮すると考えられる。このとき、電子 14 およびイオン 16 は最小発熱の原理を満たすように運動する。これにより、電子 14 は光などの形でエネルギーを放出し運動速度を低下させプラズマ球 18 内の電子密度を増加させる。一方、イオン 16 は光の形でエネルギーを放出することが出来ないので、運動エネルギーの一部を内部エネルギーに変換し、価数を増加させる。その結果、イオン 16 の密度の増加が起こる。すなわち、圧縮されたプラズマ球 18 においては、電子密度とイオン密度の増大が同時に起こると考えられる。

[0053] 膨張するプラズマ球 18 から放射される軟 X 線 20 のエネルギーについて考える。1 個のイオンが放射する光子束 p_{rad} は電子密度 n_e に比例する。比例係数 b を用い、光子束 p_{rad} は数式 1 で表される。

[数1]

$$p_{rad} = bn_e$$

比例係数 b は、イオンの振動子強度 f と電子温度 T_e によって定まる。放射する光のエネルギーを ΔE とすると、比例係数 b は数式 2 で表される。

[数2]

$$b = 3.2 \times 10^{-6} \frac{f}{\Delta E \cdot \sqrt{T_e} \cdot \exp(\Delta E / T_e)}$$

プラズマ中での波長 λ の軟X線を発生するイオン密度を $N_{i,emit}$ 、レーザー光の持続時間（パルス時間）を t_{laser} とくと、プラズマから放射される波長 λ の軟X線のエネルギー $E(\lambda)$ は数式3となる。 h はプランク定数、 ν は軟X線の振動数である。

[数3]

$$E(\lambda) = h\nu \cdot t_{laser} \cdot bn_e \cdot N_{i,emit}$$

[0054] パルスレーザー光により生成されたプラズマは膨張してエネルギーを失う。このときプラズマの発光領域の径方向の幅 L はプラズマの吸収係数 α に反比例する。吸収係数 α を比例係数 a 、電離度 Z および電子密度 n_e を用いて $\alpha = aZn_e^2$ と表すと、発光領域の幅 L は吸収係数 α の逆数となる。よって L は数式4で表される。

[数4]

$$L = 1 / aZn_e^2$$

[0055] プラズマが速度 V_{exp} で膨張するとき、軟X線の発光領域は、時間 $t_{exp} = L / V_{exp}$ で倍の大きさに膨張する。このため、発光領域の膨張に対応する分、発光するイオンはエネルギーを失い、その数が減少する。イオンの数の減少に伴う強度の減少を単純に、 t_{laser} / t_{exp} として、数式2に代入すると、軟X線のエネルギー $E(\lambda)$ は数式5となる。

[数5]

$$E(\lambda) = h\nu \cdot t_{laser}^2 \cdot N_{i,emit} \cdot bn_e^3 \cdot aZV$$

数式5の最大値は $t_{laser} = t_{exp}$ のときで、このときは数式3となる。数式3および5におけるイオン密度 $N_{i,emit}$ と電子密度 n_e が増大し、軟X線の発光強度を増大させるためには、プラズマの膨張を抑制し、イオン密度 $N_{i,emit}$ と電子密度 n_e を増大させればよいことがわかる。

[0056] 図10(a)から図11(c)において説明したように、ターゲット10

をガス雰囲気とすることで、プラズマ球18の大きさが収縮する。これによりイオン密度および電子密度が増大する。よって、数式3および5におけるイオン密度 $N_{i, emit}$ と電子密度 n_e が増大し、軟X線の発光強度が増大したものと考えられる。この考察によれば、ガスによる発光強度の増大は、ターゲットの種類、ガスの種類およびレーザ光の種類には依存しないことがわかる。

[0057] 以上の実験1から実験5およびその考察に基づき、本発明の実施形態について説明する。

[0058] [実施形態1]

図12(a)および図12(b)は、実施形態1に係る軟X線光源のブロック図である。図12(a)はターゲットが固体の場合であり、図12(b)はターゲットが液体の場合である。

[0059] 図12(a)に示すように、軟X線光源100は、チャンバ30、ターゲット32、光学系34、レーザ装置36、ガス供給ユニット38および真空ポンプ40を備えている。チャンバ30には窓31aおよび31bが設けられている。ターゲット32はチャンバ30内に設置される。レーザ装置36はレーザ光60を出射する。レーザ光60は窓31aを介しターゲット32に照射される。ターゲット32から放射された軟X線62は、光学系34により集光される。軟X線62は窓31bを介しチャンバ30から出射される。ガス供給ユニット38はチャンバ30内にガスを供給し、チャンバ30内のガス圧力を一定に維持する。真空ポンプ40はチャンバ30内のガスを排気する。

[0060] 図12(b)に示すように、軟X線光源102において、ターゲット供給ユニット42は、ターゲット32の液滴をチャンバ30内に供給する。ターゲット32は重力により落下する。レーザ光60はターゲット32が落下する途中にターゲット32に照射される。ターゲット回収ユニット44は落下したターゲット32を回収する。その他の構成は図12(a)と同じであり説明を省略する。

- [0061] 実施形態1によれば、レーザ装置36は、ターゲット32にレーザ光60を照射することによりターゲット32に含まれる元素を含むプラズマを生成し、プラズマから軟X線62を放射させる。チャンバ30は、ターゲット32を内部に収納し、レーザ装置36がターゲット32にレーザ光60を照射するときに、内部のガスのガス圧力を10Pa以上かつ大気圧未満とする。すなわち、ガス供給ユニット38は、ターゲット32にレーザ光60を照射するときにターゲット32周囲が10Pa以上かつ大気圧未満のガス圧となるようにガスを供給する。これにより、軟X線光源100および102において、レーザ光60から軟X線62への変換効率を高めることができる。
- [0062] ターゲット32として固体または液体の例を説明したが、ターゲット32は、気体でもよい。ターゲット32が気体の場合、ターゲットの気体を含むチャンバ内部のガスのガス圧力が10Pa以上かつ大気圧以下であればよい。ターゲットの気体を含まないガスの分圧が10Pa以上であることが好ましい。また、固体または液体のターゲットにレーザ光をプレパルス照射し、ターゲットの一部または全てをプラズマ化し、プラズマ化したターゲットにさらにレーザ光を照射することで、プラズマを生成してもよい。
- [0063] レーザ光60の波長は、プラズマを生成するものであれば特に限定されない。レーザ光60の波長は、例えば数100nm程度から数10 μ mとすることができる。レーザ装置36としては、高出力の可能なYAGレーザ装置またはCO₂レーザ装置等を用いることができる。レーザ光60はパルスレーザ光である。パルス幅は、図11(c)において、軟X線20がガス分子22に到達する時間より長いことが好ましい。ガス分子22が存在する範囲を30cm程度と想定すると、パルス幅は1ナノ秒以上が好ましく、2ナノ秒以上がより好ましく、5ナノ秒以上がさらに好ましい。パルス幅は500ナノ秒以下が好ましく、100ナノ秒以下がより好ましい。
- [0064] 軟X線62の波長は、一般的に0.3nmから200nmである。実験1から実験3では、軟X線の波長は2nmから30nmである。2nmから30nmの波長域は極紫外線とも呼ばれる。軟X線の波長は、目的に応じ任意

に設定できる。

[0065] ターゲット32として好ましい材料を考察する。プラズマからの発光機構は大きく3つに分類される。1つめは黒体輻射である。黒体輻射はターゲットの種類に依存しない。プラズマ温度および／またはプラズマ密度を高くすることにより発光強度を大きくできる。2つめは制動輻射による発光である。制動輻射は、プラズマ中の電子がイオンの周りを通過したときなど荷電粒子間のクーロン力により荷電粒子に加速度が加わったときに発生する。制動輻射はターゲットの種類に依存しない。

[0066] 3つめは電子遷移による発光である。電子遷移による発光は、短波長においても強度が大きいため、最も用い易い。原子番号とイオンの価数によりイオン化エネルギーが異なるため、プラズマから出射される軟X線には複数の発光線が観察できる。原子番号が3のLi（リチウム）から94のAm（アメリシウム）までの1価のイオンにおけるK殻、L殻およびM殻からの発光線のエネルギーは例えばA. Thompson et al., "X-ray Data Booklet" (Lawrence Berkely National Laboratory, Univ. of Cal., Berkeley, CA 94720 (2009)) Section 1.2.に記載されている。原子番号が大きくなると、多価イオンから多数の遷移が生じ、UTA (Unresolved Transition Array) と呼ばれる幅の広い発光を示す。発光強度を大きくするにはUTA発光を用いることが好ましい。

[0067] 各元素からのUTA発光についてはT Higashiguchi, et al., J. Physics: Conf. Series 463 (2013) 012024に記載されている。図13(a)から図14(b)は、この文献に記載された各元素の波長に対するUTA発光の線強度を示す図である。図13(a)は、原子番号が49から59であるIn（インジウム）、Sn（スズ）、Sb（アンチモン）、Te（テルル）、I（ヨウ素）、Xe（キセノン）、Cs（セシウム）、Ba（バリウム）、La（ランタン）、Ce（セリウム）およびPr（プラセオジウム）における波長が7nmから26nmの範囲の線強度を示す図である。図13(b)は、原子番号が60から70であるNd（ネオジウム）、Pm（プロメチウム）、S

m (サマリウム)、E u (ユウロピウム)、G d (ガドリニウム)、T b (テルビウム)、D y (ジスプロシウム)、H o (ホルミウム)、E r (エルビウム)、T m (ツリウム) および Y b (イッテルビウム) における波長が 4 nm から 13 nm の範囲の線強度を示す図である。

[0068] 図 14 (a) は、原子番号が 71 から 81 である L u (ルテチウム)、H f (ハフニウム)、T a (タンタル)、W (タングステン)、R e (レニウム)、O s (オスミウム)、I r (イリジウム)、P t (白金)、A u (金)、H g (水銀) および T l (タリウム) における波長が 3 nm から 9 nm の範囲の線強度を示す図である。図 14 (b) は、原子番号が 82 から 92 である P b (鉛)、B i (ビスマス)、P o (ポロニウム)、A t (アスタチン)、R n (ラドン)、F r (フランシウム)、R a (ラジウム)、A c (アクチニウム)、T h (トリウム)、P a (プロトアクチニウム) および U (ウラン) における波長が 1 nm から 8 nm の範囲の線強度を示す図である。

[0069] 図 13 (a) から図 14 (b) に示すように、原子番号が大きくなると U T A 発光の波長が短くなる。ターゲット 32 の材料は、発光波長に合わせ適宜選択することができる。ターゲット 32 はチャンバ 30 内において、固体または液体であることが好ましい。U T A 発光の波長およびターゲット 32 が固体または液体であるという観点で、ターゲット 32 の材料は以下であることが好ましい。

[0070] 軟 X 線光源を用いる応用として E U V L (Extreme ultraviolet lithography) がある。E U V L には、波長が 13.5 nm 付近、例えば 13 nm から 14 nm の軟 X 線を用いる。図 13 (a) に 13.5 nm の波長を実線で示し、波長 13 nm および 14 nm を点線で示した。波長が 13 nm から 14 nm の波長範囲のターゲット材料としては、I n、S n、S b、T e または I 等が好ましい。

[0071] さらに、次世代の E U V L として、波長が 6 nm から 7 nm が検討されている。図 13 (b) に波長 6 nm および 7 nm を点線で示した。波長が 6 nm

mから7 nmの波長範囲のターゲット材料としては、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、TmまたはYb等が好ましい。

[0072] さらに、4.5 nmから5 nmの範囲は、炭素の窓と呼ばれている。この範囲は、炭素のK殻吸収端の長波長側の範囲である。酸素、窒素および炭素のK殻吸収端より長波長のため、生物構成元素すべてに比較的透明である。このため、細胞やポリマーなどの軽元素化合物などの観察に適した軟X線となる。図14(a)に波長4.5 nmおよび波長5.0 nmを一点鎖線で示した。この波長範囲のターゲット材料としては、Lu、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Au、HgまたはTl等が好ましい。

[0073] さらに、2.3 nmから4.5 nmの範囲は、水の窓と呼ばれている。この範囲は、炭素と酸素のK殻吸収端の間の範囲である。酸素のK殻吸収端より短波長のため、水には透明であり、炭素には不透明となる。このため、細胞等の観察に適した軟X線となる。図14(a)および14(b)に波長2.3 nmおよび4.5 nmを点線で示した。この波長範囲のターゲット材料としては、Lu、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Au、Hg、Tl、PbまたはBi等が好ましい。

[0074] 次に、ガスとして好ましい材料を考察する。前述の「実験の考察」のように、発光強度の増大はガスの種類に依存しない。しかし、軟X線を吸収するガスは好ましくない。吸収端の長波長側では透過率が高くなる。このため、吸収端が軟X線の波長の短波長側になるようにガスを選択することが好ましい。

[0075] また、「実験の考察」に示したようにプラズマから飛散する電子がガスによって冷却されてプラズマ球18の圧縮が起こる結果、発光強度が増大する。このため、より強く電子が冷却される方が、プラズマ球18がより小さく圧縮される。電子の冷却の程度は、ガスの持つ内部エネルギーに比例する。例えば単原子気体であるHeと2原子分子気体であるN₂を比較した場合、N₂の方が分子の空間対称性が悪く、そのため分子の回転に伴うエネルギーが大きく、その結果として内部エネルギーが大きくなる。したがって仮にHeと

N₂が同じ透過率を持つ波長では、プラズマから飛散する電子は、N₂によってより強く冷却され、結果として発光強度が強くなると考えられる。このため、吸収端が軟X線の波長の短波長側になるようにすることに加えて、より空間対称性の悪い分子からなるガスを選択することが好ましい。空間対称性の観点からは希ガスのような単原子ガスより多原子分子ガスが好ましい。また、H₂ガスおよびN₂ガスのような単一元素のガスより、複数種類の元素を含むガスが好ましい。

[0076] 吸収端の観点および空間対称性の観点において示したガスは、互いに反応性でない場合においては、混合して用いることもできる。これにより、より強い電子の冷却効果が期待できるガスが安全上の理由により使用できない場合などにおいて、混合することにより安全性の高い状態に変えて使用することが可能となる。

[0077] 15 nm以上の波長範囲では、吸収端のないHeまたはM殻吸収端が約13.2 nmのKr（クリプトン）が好ましい。

[0078] 12.3 nmから15 nm程度の波長範囲ではL殻吸収端が12.4 nmであるSi（シリコン）を含むガスが好ましい。Siを含むガスは、例えばSiCl₄、SiF₄、SiH₄、SiH₃（CH₃）、SiH₂（CH₃）₂、SiH（CH₃）₃、Si₂H₆、SiHCl₃、SiH₂Cl₂、またはSi（OCH₃）₄などのシラン系ガスである。

[0079] 10 nmから12.3 nmの波長範囲ではL殻吸収端が約9.2 nmのP（リン）を含むガスが好ましい。Pを含むガスは、例えばPF₃、PF₅、PCl₃、PCl₅、PH₃またはPOCl₃である。

[0080] 9 nmから12 nmの波長範囲では、N殻吸収端が9.0 nmであるSn（スズ）を含むガスが好ましい。Snを含むガスは、例えばSnH₄またはSnCl₄である。

[0081] 7.6 nmから10 nmの波長範囲ではL殻吸収端が約7.6 nmのS（硫黄）を含むガスが好ましい。Sを含むガスは、例えばS₂H、SF₆またはSO₂である。

- [0082] 6.6 nmから7.6 nmの波長範囲ではK殻吸収端が6.6 nmのB（ボロン）を含むガスが好ましい。Bを含むガスは、例えば BBr_3 、 BCl_3 、 BF_3 または B_2H_6 である。
- [0083] 波長5.4 nmから20 nmまでの波長範囲では、N殻吸収端が5.4 nmであるMo（モリブデン）を含むガスが好ましい。Moを含むガスは、例えば MoF_6 または MoCl_5 である。
- [0084] 4.5 nmから6.6 nmの波長範囲ではK殻吸収端が約4.4 nmのC（炭素）を含むガスが好ましい。Cを含むガスは、例えば CH_4 、 C_2H_2 、 C_2H_4 、 C_2H_6 、 C_3H_6 、 C_4H_6 、 C_4H_{10} 、 C_3H_8 、 C_3H_6 、 C_6H_6 、 $(\text{CH}_3)_{20}$ 、 CO_2 またはフルオロカーボン類である。
- [0085] 3.4 nmから4.5 nmの波長範囲ではK殻吸収端が約3.0 nmのN（窒素）を含むガスが好ましい。Nを含むガスは、例えば N_2 、 ND_3 、 NF_3 、 NH_3 、 NO 、 N_2O 、 NO_2 または $\text{N}(\text{CH}_3)_3$ である。
- [0086] 2.3 nmから3.4 nmの波長範囲ではK殻吸収端が約2.3 nmのO（酸素）を含むガスが好ましい。Oを含むガスは、例えば CO_2 、 NO 、 N_2O 、 NO_2 、 SO_2 またはフルオロカーボン類である。
- [0087] 2.3 nm以下では、多くのガスにおいて透過率が高い。例えば不活性ガスを用いることができる。不活性ガスは、例えば、He（ヘリウム）、Ne（ネオン）、アルゴン（Ar）、Kr（クリプトン）、Xe（キセノン）、Rn（ラドン）、 N_2 、 CO_2 またはフルオロカーボン類である。
- [0088] 明確な吸収端を有さない元素を含むガスは軟X線の波長によらず用いることができる。明確な吸収端を有さない元素は例えばHeまたはH（水素）である。
- [0089] 以上より、軟X線の波長範囲が13 nm以上かつ14 nm以下では、ガスはシリコンを含むガス、Moを含むガス、ヘリウムガスおよび水素ガスの少なくとも1つであることが好ましい。
- [0090] また、軟X線の波長範囲が6 nm以上かつ7 nm以下では、ガスは炭素を含むガス、ボロンを含むガス、ヘリウムガスおよび水素ガスの少なくとも1

つであることが好ましい。

[0091] また、軟X線の波長範囲が4.5 nm以上かつ5 nm以下では、ガスは炭素を含むガス、ヘリウムガスおよび水素ガスの少なくとも1つであることが好ましい。

[0092] 軟X線の波長範囲が2.3 nm以上かつ4.5 nm以下では、ガスは酸素を含むガス、窒素を含むガス、ヘリウムガスおよび水素ガスの少なくとも1つであることが好ましい。

[0093] 次に、好ましいガス圧力について考察する。ガス圧力の下限は、真空中より軟X線の発光強度が大きくなるようなガス圧力である。このようなガス圧力は、図7(a)から図8(b)のように、ガス圧力をプラズマにより形成されるプラズマ球が真空中のプラズマ球より小さくなるようなガス圧力とすることにより実現できる。ガス雰囲気中のプラズマ球の大きさ(径)は真空中のプラズマ球の95%以下が好ましく、90%以下がより好ましい。

[0094] 図1(a)、図4および図6より、ガス圧力は10 Pa以上が好ましく、50 Pa以上がより好ましく、100 Pa以上がさらに好ましい。

[0095] ガス圧力の上限は、軟X線の吸収が少ない範囲となる。ガスを通過後の軟X線の強度 $I(\lambda, p)$ は、軟X線の波長 λ とガス圧力 p の関数である。真空中の発光強度 $I_0(\lambda, 0)$ 、ガスを導入したことによる発光強度の増幅率 $\alpha(\lambda, p)$ 、ガス中の軟X線の透過率 $T(\lambda, p)$ とすると、強度 $I(\lambda, p)$ は以下の式で表される。

$$I(\lambda, p) = I_0(\lambda, 0) \times \alpha(\lambda, p) \times T(\lambda, p)$$

実験1から実験3より、 $\alpha(\lambda, p)$ として10程度とすると、 $I(\lambda, p)$ を $I_0(\lambda, 0)$ より大きくするためには、 $T(\lambda, p)$ を0.1以上とすることが好ましい。また、 $I(\lambda, p)$ をより大きくするためには、 $T(\lambda, p)$ を0.6以上とすることが好ましい。

[0096] 透過率 $T(\lambda, p)$ は軟X線がガスを通過する距離に依存する。軟X線をガスで吸収させないためには、軟X線がガス内を通過する距離を短くすることが有効である。しかし、光学系等を考慮すると、この距離は少なくとも1

0 cm 程度となる。そこで、各種ガスのガス圧を変え軟 X 線がガスを 10 cm 通過する場合の透過率を算出した。

[0097] 図 15 (a) から図 17 は、波長に対する軟 X 線の透過率を示す図であり、それぞれ N_2 、 $CHClF_2$ 、 SiH_4 、 Kr および He の軟 X 線の透過率を示す図である。 N_2 、 $CHClF_2$ 、 SiH_4 、 Kr は吸収端を有するガスの例であり、 He は吸収端を有さない例である。

[0098] 図 15 (a) に示すように、 N_2 では 3.0 nm 付近が N の K 殻吸収端となる。ほぼ全ての波長範囲で透過率を 0.1 以上および 0.6 以上とするためには、 N_2 ガスのガス圧はそれぞれ約 100 Pa 以下および約 30 Pa 以下となる。ガス圧が 1000 Pa では、透過率が 0.1 以上となる波長範囲は 1.5 nm 以下または 3 nm から 5 nm である。ガス圧が 5000 Pa では、透過率が 0.1 以上となる波長範囲は 1 nm 以下または 3 nm から 3.6 nm である。

[0099] N の K 殻吸収端の長波長側の水の窓付近で透過率を 0.1 以上および 0.6 以上とするためにはガス圧はそれぞれ約 1000 Pa 以下および約 700 Pa 以下が好ましい。6 nm - 7 nm の波長範囲で透過率を 0.1 以上および 0.6 以上とするためには、ガス圧はそれぞれ約 800 Pa 以下および約 500 Pa 以下であることが好ましい。13 nm - 14 nm の波長範囲で透過率を 0.1 以上および 0.6 以上とするためには、ガス圧はそれぞれ約 300 Pa 以下および約 80 Pa 以下であることが好ましい。

[0100] 図 15 (b) に示すように、 $CHClF_2$ では、約 1.8 nm に F の K 殻吸収端、約 4.4 nm に C の K 殻吸収端および約 6.2 nm に Cl の L 殻吸収端が存在する。ほぼ全ての波長範囲で透過率を 0.1 以上および 0.6 以上とするためには、 $CHClF_2$ ガスのガス圧はそれぞれ約 50 Pa 以下および約 10 Pa 以下となる。水の窓付近で透過率を 0.1 以上および 0.6 以上とするためにはガス圧はそれぞれ約 200 Pa 以下および約 50 Pa 以下が好ましい。6 nm - 7 nm の波長範囲で透過率を 0.1 以上および 0.6 以上とするためには、ガス圧はそれぞれ約 200 Pa 以下および約 10

0 Pa以下であることが好ましい。13 nm－14 nmの波長範囲で透過率を0.1以上および0.6以上とするためには、ガス圧力はそれぞれ約100 Pa以下および約30 Pa以下であることが好ましい。

[0101] 図16(a)に示すように、SiH₄では、12.4 nm付近がSiのL殻吸収端となる。13 nm－14 nmの波長範囲で透過率を0.1以上および0.6以上とするためには、SiH₄のガス圧力はそれぞれ約2000 Pa以下および約500 Pa以下であることが好ましい。

[0102] 図16(b)に示すように、Krでは、13.2 nm付近がM殻吸収端である。波長が14 nmから20 nmの範囲で透過率を0.1以上および0.6以上とするためには、ガス圧力はそれぞれ約1000 Pa以下および約400 Pa以下であることが好ましい。

[0103] 図17に示すように、Heでは明確な吸収端が存在しない。水の窓では、ガス圧力が5000 Pa以下で透過率は0.6以上となる。6 nmから7 nmの波長範囲では、5000 Pa以下で透過率は0.1以上である。13 nmから14 nmの波長範囲ではガス圧力が500 Pa以下で透過率が0.6以上である。

[0104] 図15(a)から図16(b)のように、吸収端を有するガスにおいて吸収端の長波長側に軟X線の波長が位置する場合、ガス圧力は1000 Pa以下が好ましく、500 Pa以下がより好ましく、200 Pa以下がさらに好ましい。図17のように、K殻吸収端を有さないガスでは、水の窓付近では、ガス圧力は大気圧未満であればよい。13 nmから14 nmの波長範囲でもガス圧力は1000 Pa以下であればよい。

[0105] 以上より、ターゲット32周囲のガス圧力は10 Pa以上かつ大気圧未満であり、10 Pa以上かつ1000 Pa以下が好ましく、50 Pa以上かつ500 Pa以下がより好ましい。

[0106] [実施形態2]

実施形態2は、実施形態1の軟X線光源を用いた露光装置である。図18は、実施形態2の露光装置のブロック図である。図18に示すように、露光

装置 104 は、軟 X 線光源 100 または 102、チャンバ 50、光学系 52 および 54 を備えている。チャンバ 50 内は軟 X 線が吸収されない程度の真空度を有する真空に維持されている。光学系 52 は、軟 X 線光源 100 または 102 を出射した軟 X 線 62 をマスク 56 に集光する。光学系 54 は、マスク 56 で反射した軟 X 線をウエハ 58 に集光する。これにより、マスク 56 上のパターンがウエハ 58 に転写される。

[0107] 波長が 13.5 nm を用いた EUVL における軟 X 線光源の出力は例えば 250 W が要求されている。実施形態 1 に係る軟 X 線光源を用いることで、変換効率が高まり、軟 X 線光源の出力を高めることができる。

[0108] 実施形態 2 のように、実施形態 1 に係る軟 X 線光源 100 または 102 を露光装置に用いることができる。

[0109] [実施形態 3]

実施形態 3 は、実施形態 1 の軟 X 線光源を用いた顕微鏡である。図 19 は実施形態 3 の顕微鏡のブロック図である。図 19 に示すように、顕微鏡 105 は、軟 X 線光源 100 または 102、チャンバ 70、光学系 72、74 および 2 次元検出器 76 を備えている。チャンバ 70 内は、軟 X 線が吸収されない程度の真空度を有する真空に維持されている。光学系 72 は、軟 X 線光源 100 または 102 を出射した軟 X 線 62 を、軟 X 線 63 として観察したい試料 78 に集光する。試料 78 を透過または反射した軟 X 線 64 は、光学系 74 によって、2 次元検出器 76 に集光される。これにより、試料の透過像または反射像が、2 次元検出器 76 に拡大投影される。

[0110] 軟 X 線を用いた顕微鏡は、これまでの可視光顕微鏡に比べて空間分解能が一桁以上高く、内殻吸収端により非染色で物質の元素分布が得られることから、ナノ領域の分析装置として要望されている。しかし強い軟 X 線光源が必要とされるため、光源として放射光を用いる方法が主であった。実施形態 3 のように、実施形態 1 に係る軟 X 線光源 100 または 102 を軟 X 線顕微鏡に用いることができる。

[0111] 実施形態 1 に係る軟 X 線光源 100 または 102 は、露光装置および軟 X

線頭微鏡以外にも、発光分光装置、吸収分光装置計または光電子分光装置等の計測機器に用いることもできる。例えば実施形態 1 の軟 X 線光源を水の窓または炭素の窓の波長に適用することで、生物細胞の観察および分析を行なうことができる。

[0112] [実施形態 4]

図 20 は、実施形態 4 に係る軟 X 線光源のブロック図である。図 20 に示すように、軟 X 線光源 106 は、チャンバ 30、30 a、光学系 35 およびガス圧調整ユニット 80 を有している。チャンバ 30 は固体のターゲット 32 を収納する。チャンバ 30 内のガスは真空ポンプにより排気 86 a されている。窓 31 a を透過して入射されたレーザ光はターゲット 32 に照射される。プラズマ球 18 から軟 X 線 62 が放射される。チャンバ 30 a とチャンバ 30 との間には遮断壁 37 が設けられている。チャンバ 30 a 内のガスは真空ポンプにより排気 86 b されている。遮断壁 37 には光学系 35 が埋め込まれている。プラズマ球 18 から放射された軟 X 線 62 は光学系 35 により収束し、チャンバ 30 a 内のフォーカス位置 82 にフォーカスされる。光学系 35 としては、開放状態よりコンダクタンスの低いものを用いる。これにより、チャンバ 30 と 30 a との間のガス圧差が大きくなる。コンダクタンスの小さい光学系 35 として例えばキャピラリー光学系を用いる。

[0113] ターゲット 32 の周囲にはドーナツ状のガス圧調整ユニット 80（例えばガス圧アジャスタ）が設けられている。ガス圧調整ユニット 80 の上面は、レーザ光 60 および軟 X 線 62 の障害とならないように傾斜している。ガス圧調整ユニット 80 は、ガス導入ユニット 80 a（例えばガス導入ガイド）とガス排気ユニット 80 b（例えばガス排気ガイド）を備えている。ガス導入ユニット 80 a の内部はガス 84 が充満する空洞である。ガス導入ユニット 80 a は、ガス 84 の一部のガス 84 a をターゲット 32 のうちレーザ光 60 が照射される領域（その後プラズマ球 18 となる領域）の周囲に導入する。ガス排気ユニット 80 b は、ガス導入ユニット 80 a のターゲット 32 側に設けられている。ガス排気ユニット 80 b は、ガス 84 の一部のガス 8

4 bを真空ポンプにより排気85する。このように、ガス圧調整ユニット80は、チャンバ30内のうちレーザ光60が照射されるターゲット32の周囲にガスを導入する。これにより、ターゲット32の周囲のガス圧を、レーザ光60および軟X線62の経路の少なくとも一部のガス圧より高く維持する。

[0114] 実施形態4によれば、ガス圧調整ユニット80は、ターゲット32のうちレーザ光60が照射される領域の周囲のガス圧を実施形態1で示したガス圧（例えば10Pa以上かつ大気圧未満）とし、チャンバ30内の軟X線62の経路の少なくとも一部のガス圧をターゲット32のうちレーザ光60が照射される領域の周囲のガス圧より低くする。プラズマ球18の周囲のガス圧を高くすることで、プラズマ球18から出射される軟X線の強度を大きくできる。軟X線62の経路のガス圧を低くすることで、ガスによる軟X線の吸収を抑制できる。

[0115] チャンバ30内の軟X線62の経路における最も低いガス圧は、プラズマ球18の周囲のガス圧の1/2以下上が好ましく、1/5以下がより好ましく、1/10以下がより好ましい。チャンバ30内の軟X線62の経路のうちプラズマ球18の周囲のガス圧より低い部分は経路全体の1/2以上が好ましく、9/10以上がより好ましい。

[0116] ガス導入ユニット80aは、プラズマ球18の周囲の周囲にガスを導入し、ガス排気ユニット80bはプラズマ球18の周囲からガスを排気する。これにより、プラズマ球18の周囲のガス圧を軟X線62の経路のガス圧より高くできる。ガス圧調整ユニット80は、他の方法で、チャンバ30内のガス圧を調整してもよい。

[0117] 別のチャンバ30aには、チャンバ30から軟X線66が導入され、チャンバ30a内部のガス圧はチャンバ30内の軟X線62の経路のガス圧より低い。これにより、別のチャンバ30a内での軟X線66の減衰を抑制できる。チャンバ30a内部のガス圧は、軟X線62の経路のうち最も低いガス圧より低いことが好ましく、軟X線62の経路のうち最も低いガス圧の1/

2以下がより好ましく、1／10以下がさらに好ましい。

[0118] チャンバ30と30aとの間に軟X線66を別のチャンバ30aに導入する光学系35を設ける。これにより、ターゲット32から発散する軟X線62を収束光または平行光としてチャンバ30aに導入できる。ターゲット32から発散する軟X線62の多くを収束または平行光とするため、光学系35の開口数は大きい。また、光学系35は開放状態より低いコンダクタンスを有する。これにより、光学系35はガスを通過させにくいため、チャンバ30a内のガス圧をチャンバ30より小さくできる。よって、軟X線66の減衰を抑制できる。開放状態より低いコンダクタンスとは、例えば光学系35を設けるために遮断壁37に設けられた開口よりコンダクタンスが低いという意味である。例えば、キャピラリー光学系は、キャピラリーチューブを用い軟X線の通る経路を狭くする。このため、ガスのコンダクタンスも低くなる。例えば図12(a)および図12(b)のような光学系ではコンダクタンスは低くならない。光学系35としてはガスのコンダクタンスが低くなる光学系であれば、キャピラリー光学系以外でもよい。

[0119] [実施形態5]

図21(a)は、実施形態5に係る軟X線光源のブロック図、図21(b)は、ガス圧調整ユニット80の平面図である。図21(a)に示すように、チャンバ30a内のフォーカス位置82の直前に軟X線66を通過させる開口33を有する遮断壁37aが設けられている。遮断壁37aによりチャンバ30aは部屋39aと39bとに分割される。遮断壁37aの光学系35側の部屋39aのガスおよびフォーカス位置82側の部屋39bのガスはそれぞれ真空ポンプにより排気口から排気86cおよび86bされている。これにより、光学系35を介しチャンバ30からチャンバ30aに漏れるガスをそれぞれ排気86bおよび排気86cすることができる。よって、フォーカス位置82のガス圧を低くできる。排気86cの排気量は排気86bより大きいことが好ましい。

[0120] 図21(a)および図21(b)に示すように、ガス圧調整ユニット80

の上面に傾斜面が設けられていない。ガス圧調整ユニット 80 の上面には、レーザ光 60 および軟 X 線 62 の障害とならないように開口 81 が設けられている。ガス 84 a はプラズマ球 18 の周囲 360° から均一にプラズマ球 18 に向けて導入される。ガス 84 の一部のガス 84 c は開口 81 からチャンバ 30 内に拡散する。ガス圧調整ユニット 80 の下面はガスを巻き込まないようにターゲット 32 近くに設けられている。その他の構成は実施形態 4 と同じであり説明を省略する。

[0121] 図 22 (a) は、実施形態 4 におけるガス圧調整ユニットおよびターゲットの別の例を示す平面図、図 22 (b) および図 22 (c) は、図 22 (a) の A-A 断面図および B-B 断面図である。図 22 (a) および図 22 (b) に示すように、ターゲットは液体または気体であり、ターゲット供給ユニット 92 a からターゲット回収ユニット 92 b に矢印 91 のようにターゲットの液体または気体が移動する（例えば落下する）。ターゲットの移動途中にレーザ光がターゲットに照射されプラズマ球 18 が生成される。ガス圧調整ユニット 80 の底 87 は閉じている。その他の構成は図 21 (a) および図 21 (b) と同じであり説明を省略する。

[0122] ガス圧調整ユニット 80 内のガスの流れをシミュレーションした。図 23 (a) は、シミュレーションしたガス圧調整ユニット 80 の断面図、図 23 (b) は、シミュレーションの結果の一例を示す図である。図 23 (a) に示すように、ガス圧調整ユニット 80 は遮断壁 88 a から 88 c を有している。ガス導入ユニット 80 a は、遮断壁 88 a と 88 b との間に形成される空洞 85 a を有している。ガス導入ユニット 80 a は、空洞 85 a を介しガス 84 a をプラズマ球 18 の周囲に導入する。ガス排気ユニット 80 b は、遮断壁 88 b と 88 c との間に形成される空洞 85 b を有している。ガス排気ユニット 80 b は、空洞 85 b を介しガス 84 b をプラズマ球 18 の周囲から排気する。遮断壁 88 a および 88 b には開口 81 a および 81 b が設けられている。遮断壁 88 c は、図 21 (a) のターゲット 32 の上面、および図 22 (b) および図 22 (c) の底 87 に対応する。遮断壁 88 a は

遮断壁 88c (ターゲット 32 の上面) に略平行である。遮断壁 88b はプラズマ球 18 側が下方に傾斜している。すなわち、遮断壁 88a と 88b との間隔はプラズマ球 18 側が広くなる。遮断壁 88b と 88c との間隔はプラズマ球 18 側が狭くなる。

[0123] 図 23 (b) のシミュレーションではガスを室温の窒素ガスとした。図 23 (b) において、矢印の方向はガスの流れる方向を、矢印の長さはガスの流束を示している。濃淡はガス圧を示し濃い領域はガス圧が高いことを示している。プラズマ球 18 が形成される領域 90 では、ガスの流束がほとんどなくかつガス圧が高い。ガスの流束が小さいことで、プラズマ球 18 を安定に遮蔽することができる。ガス圧が高いことで、軟 X 線 62 の強度を大きくできる。

[0124] 実施形態 5 によれば、ガス圧調整ユニット 80 は、ターゲット 32 にレーザ光 60 が照射される領域の周囲のガスの流束を、チャンバ 30 内の軟 X 線の経路のうち最もガスの流束の大きい箇所の流束より小さくする。これにより、プラズマ球 18 を安定に遮蔽できる。

[0125] ターゲット 32 にレーザ光 60 が照射される領域の周囲のガスの流束は、チャンバ 30 内の軟 X 線の経路のうち最もガスの流束の大きい箇所の流束の $1/2$ 以下が好ましく、 $1/5$ 以下がより好ましい。

[0126] 図 23 (a) のように、ガス導入ユニット 80a は、プラズマ球 18 を囲む遮断壁 88a (第 1 壁) と遮断壁 88b (第 2 壁) との間に形成される空洞 85a (第 1 空洞) を介しプラズマ球 18 の周囲にガス 84a を導入する。ガス排気ユニット 80b は、プラズマ球 18 を囲む遮断壁 88b (第 3 壁) と遮断壁 88c (第 4 壁) との間に形成される空洞 85b (第 2 空洞) を介しプラズマ球 18 の周囲からガス 84b を排気する。遮断壁 88a と 88b との間隔はプラズマ球 18 の周囲に近づくに従い広くなる。遮断壁 88b と 88c との間隔はプラズマ球 18 の周囲に近づくに従い狭くなる。これにより、図 23 (b) のように、プラズマ球 18 の周辺の流束を小さくし、かつガス圧を高くできる。図 23 (a) のように、遮断壁 88b が第 2 壁と第

3壁との機能を有してもよい。また、第2壁と第3壁とは異なる壁でもよい。

[0127] 図21(a)のように、別のチャンバ30aの光学系35側と、フォーカス位置82側とに排気口を設ける。これにより、別のチャンバ30a内の軟X線66の経路にガス圧差を設けることができる。よって、軟X線の減衰を抑制できる。

[0128] 実施形態4および5のように、ターゲット32は固体、液体および気体のいずれでもよい。実施形態4および5の軟X線光源を実施形態2の露光装置または実施形態3の顕微鏡に用いてもよい。

[0129] 以上、発明の好ましい実施形態について詳述したが、本発明は係る特定の実施形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された本発明の要旨の範囲内において、種々の変形・変更が可能である。

符号の説明

- [0130] 10、32 ターゲット
12、60 レーザ光
20、62 軟X線
30、30a チャンバ
34 光学系
35 光学系
36 レーザ装置
38 ガス供給ユニット
40 真空ポンプ
80 ガス圧調整ユニット
80a ガス導入ユニット
80b ガス排気ユニット
85a、85b 空洞
88a－88c 遮断壁

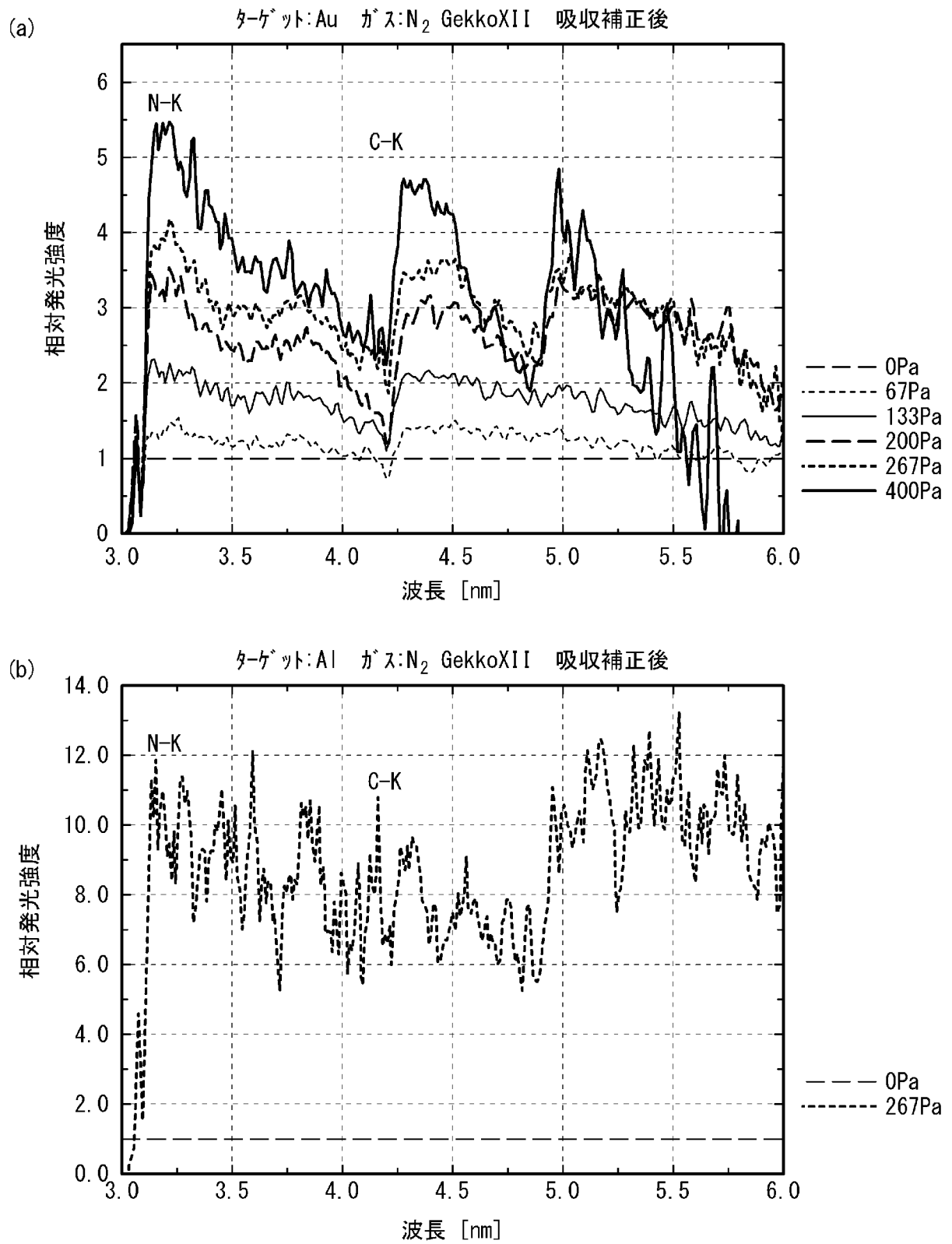
請求の範囲

- [請求項1] ターゲットにレーザ光を照射することにより前記ターゲットに含まれる元素を含むプラズマを生成し、前記プラズマから軟X線を放射させるレーザ装置と、
- 前記ターゲットを内部に収納し、前記レーザ装置が前記ターゲットに前記レーザ光を照射するときに、前記内部のガスのガス圧力を10 Pa以上かつ大気圧未満とするチャンバと、
- を具備することを特徴とする軟X線光源。
- [請求項2] 前記ターゲットのうち前記レーザ光が照射される領域の周囲の前記ガスのガス圧を10 Pa以上かつ大気圧未満とし、前記チャンバ内の前記軟X線の経路の少なくとも一部のガス圧を前記領域の周囲のガス圧より低くするガス圧調整ユニットを具備することを特徴とする請求項1記載の軟X線光源。
- [請求項3] 前記ガス圧調整ユニットは、前記ターゲットのうち前記レーザ光が照射される領域の周囲の前記ガスの流束を、前記チャンバ内の前記軟X線の経路のうち最も前記ガスの流束の大きい箇所の流束より小さくすることを特徴とする請求項1または2記載の軟X線光源。
- [請求項4] 前記ガス圧調整ユニットは、前記領域の周囲に前記ガスを導入するガス導入ユニットと、前記領域の周囲から前記ガスを排気するガス排気ユニットと、を有することを特徴とする請求項2または3記載の軟X線光源。
- [請求項5] 前記ガス導入ユニットは、前記領域を囲む第1壁と第2壁との間に形成される第1空洞を介し前記領域の周囲に前記ガスを導入し、
- 前記ガス排気ユニットは、前記領域を囲む第3壁と第4壁との間に形成される第2空洞を介し前記領域の周囲から前記ガスを排気し、
- 前記第1壁と前記第2壁の間の距離は前記領域の周囲に近づくに従い大きくなり、前記第3壁と前記第4壁との間の距離は前記領域の周囲に近づくに従い小さくなる請求項4記載の軟X線光源。

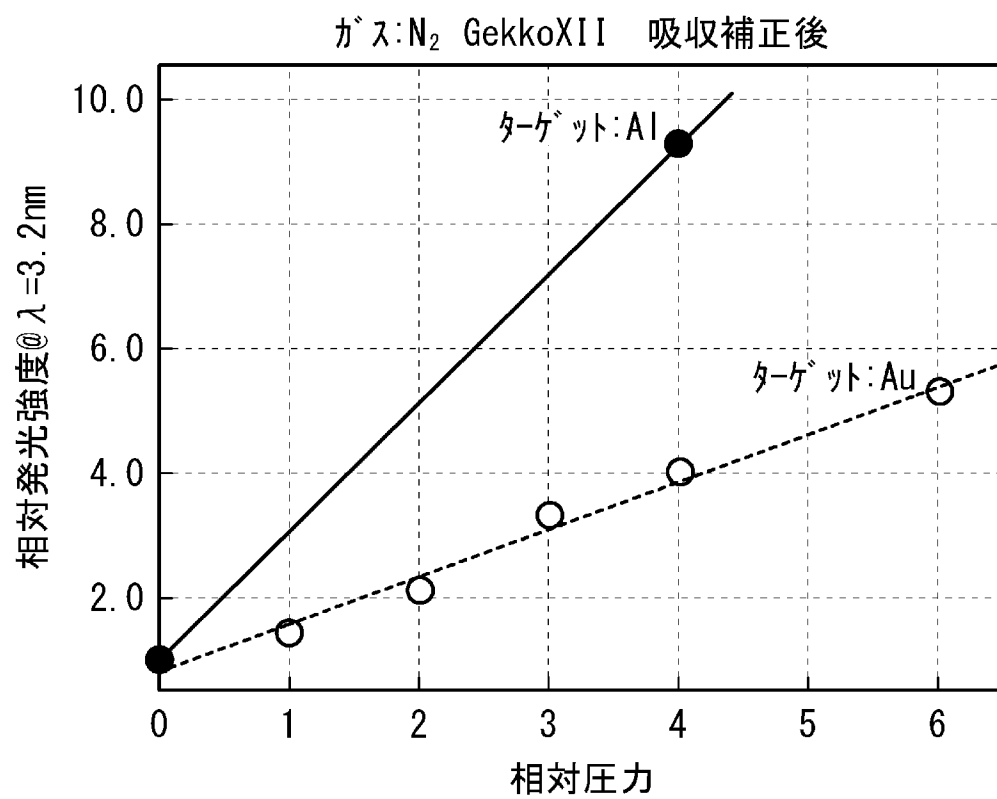
- [請求項6] 前記チャンバから前記軟X線が導入され、前記軟X線の経路の前記少なくとも一部のガス圧より内部のガス圧が低い別のチャンバを具備する請求項2から5のいずれか一項記載の軟X線光源。
- [請求項7] 前記チャンバと前記別のチャンバとの間に前記軟X線を前記別のチャンバに導入し開放状態より低いコンダクタンスを有する光学系を具備する請求項6記載の軟X線光源。
- [請求項8] 前記別のチャンバの前記光学系側と、前記光学系から出射した軟X線がフォーカスする位置側とに排気口を設けることを特徴とする請求項6または7記載の軟X線光源。
- [請求項9] 前記内部の前記ガスのガス圧力は10Pa以上かつ1000Pa以下であることを特徴とする請求項1から8のいずれか一項記載の軟X線光源。
- [請求項10] 前記内部の前記ガスのガス圧力は、前記プラズマにより形成されるプラズマ球が真空中のプラズマ球より小さくなるようなガス圧力であることを特徴とする請求項1から9のいずれか一項記載の軟X線光源。
- [請求項11] 前記軟X線の波長は13nm以上かつ14nm以下であり、
前記ガスはシリコンを含むガス、モリブデンを含むガス、ヘリウムガスおよび水素ガスの少なくとも1つであることを特徴とする請求項1から10のいずれか一項記載の軟X線光源。
- [請求項12] 前記軟X線の波長は6nm以上かつ7nm以下であり、
前記ガスは炭素を含むガス、ボロンを含むガス、ヘリウムガスおよび水素ガスの少なくとも1つであることを特徴とする請求項1から10のいずれか一項記載の軟X線光源。
- [請求項13] 前記軟X線の波長は4.5nm以上かつ5nm以下であり、
前記ガスは炭素を含むガス、窒素を含むガス、ヘリウムガスおよび水素ガスの少なくとも1つであることを特徴とする請求項1から10のいずれか一項記載の軟X線光源。

- [請求項14] 前記軟X線の波長は2.3 nm以上かつ4.5 nm以下であり、
前記ガスは酸素を含むガス、窒素を含むガス、ヘリウムガスおよび
水素ガスの少なくとも1つであることを特徴とする請求項1から10
のいずれか一項記載の軟X線光源。
- [請求項15] 請求項1から14のいずれか一項記載の軟X線光源を含む露光装置
。
- [請求項16] 請求項1から14のいずれか一項記載の軟X線光源を含む顕微鏡。

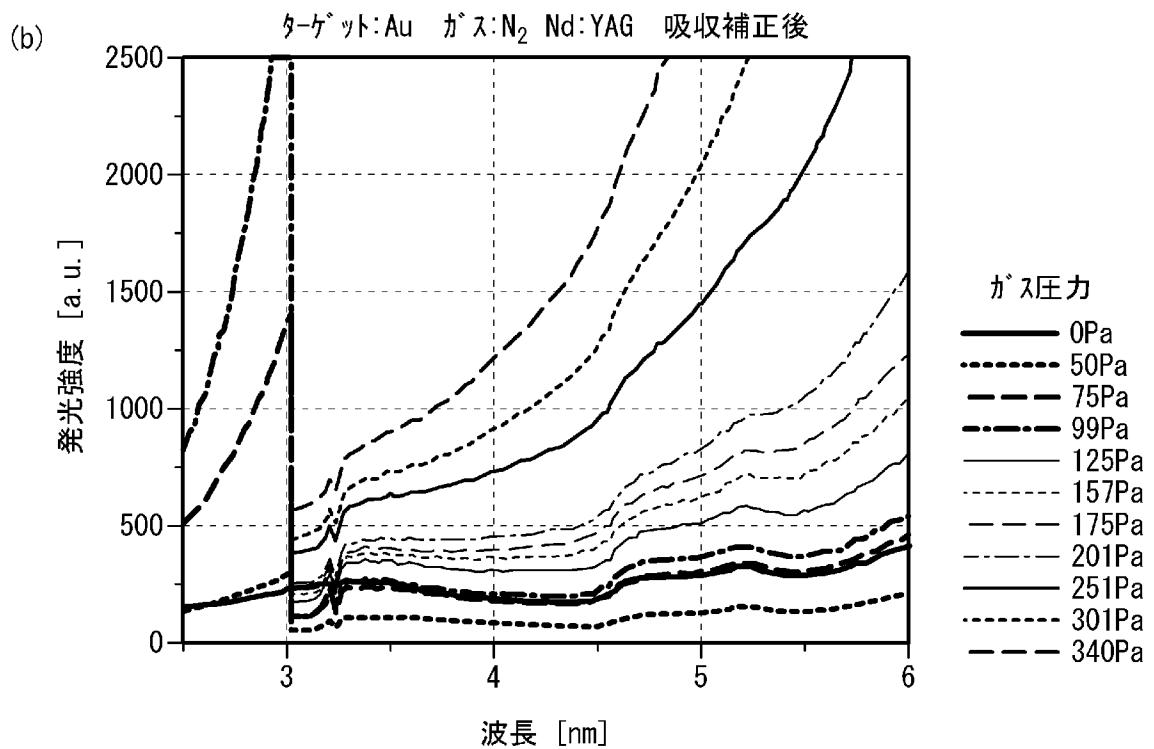
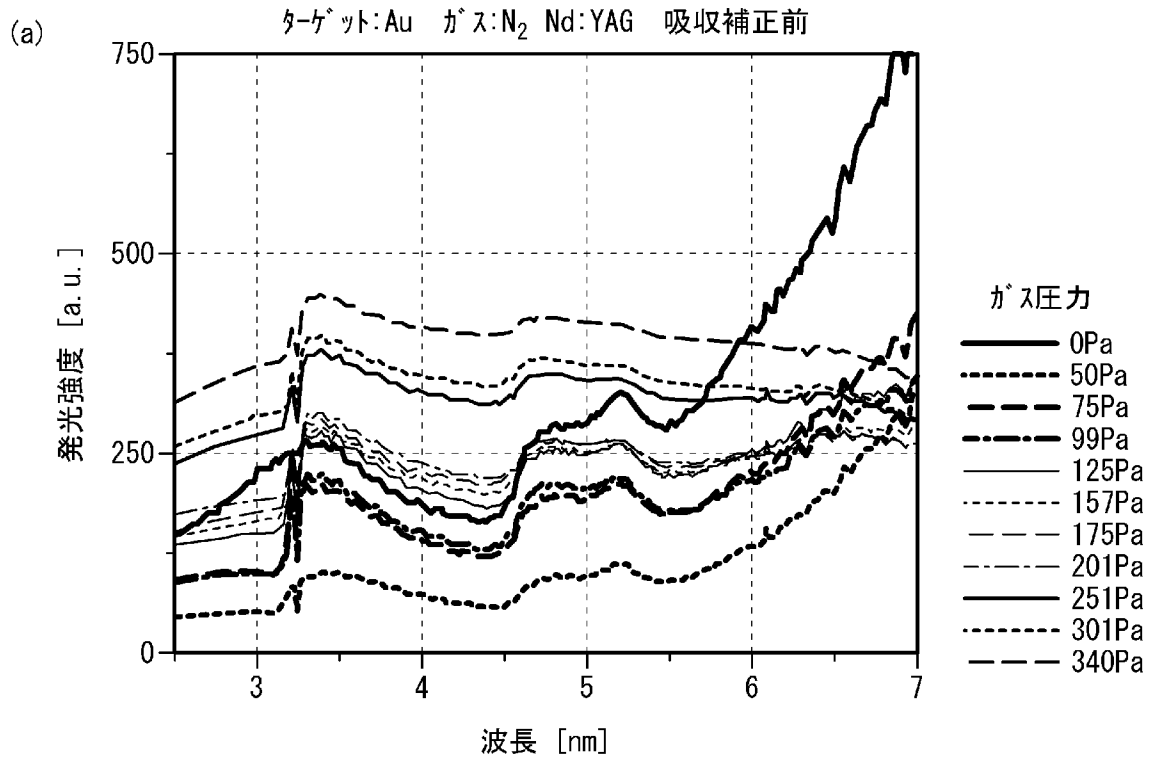
[図1]



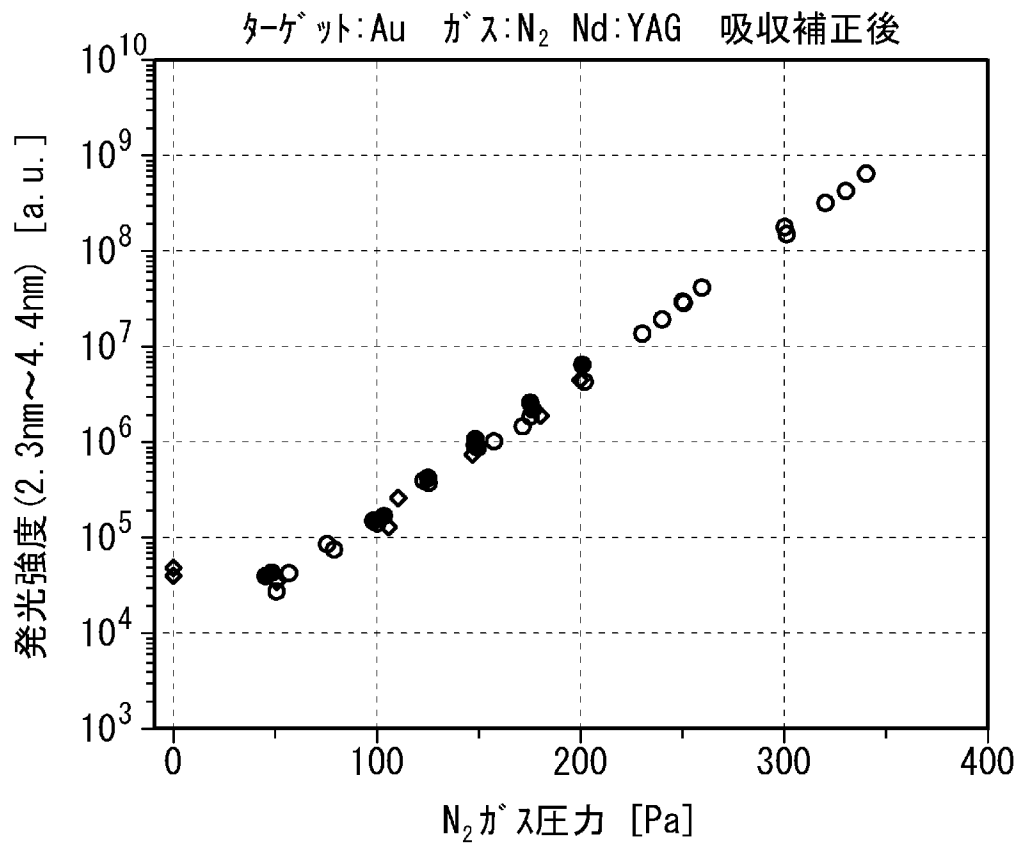
[図2]



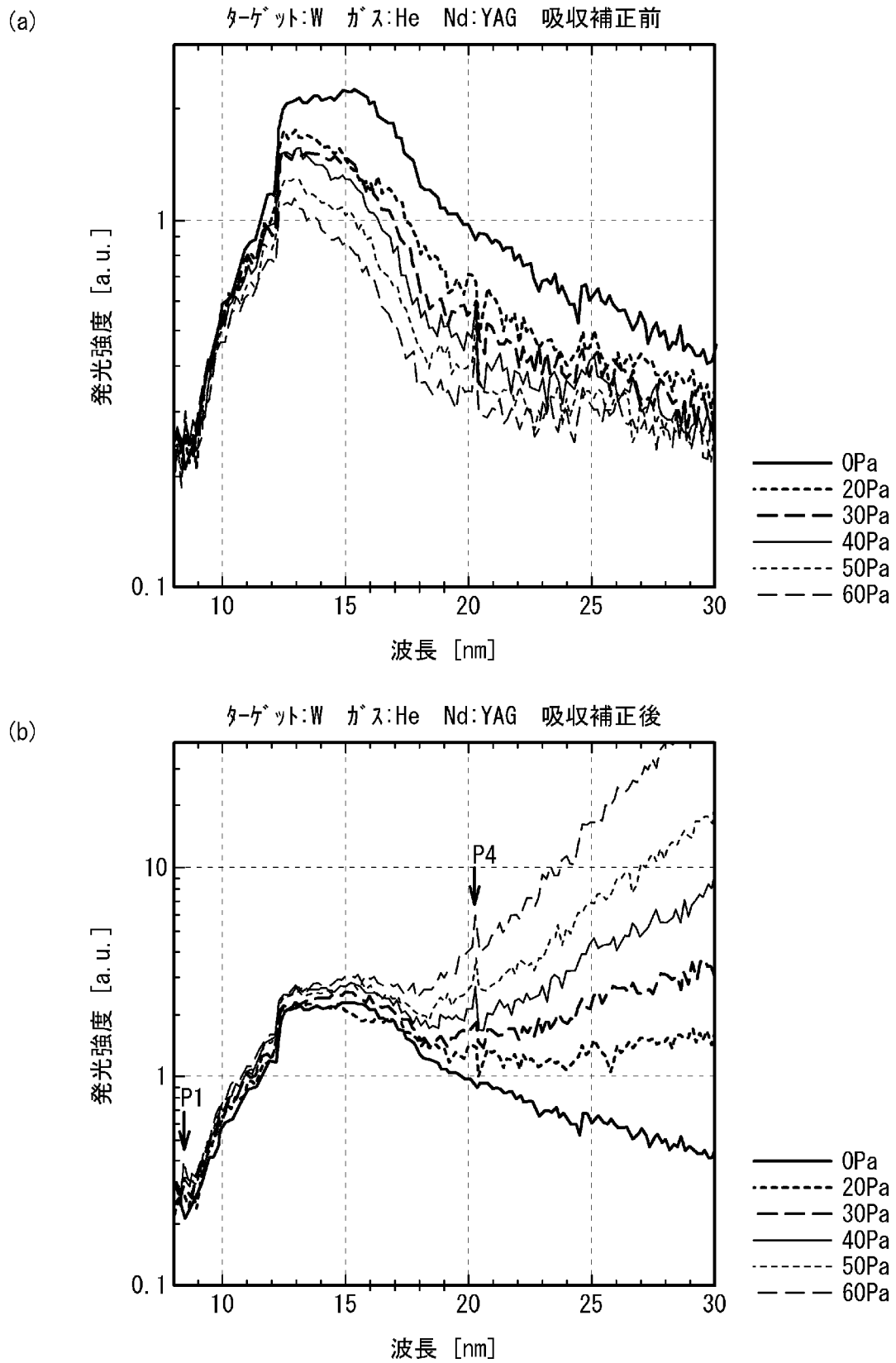
[図3]



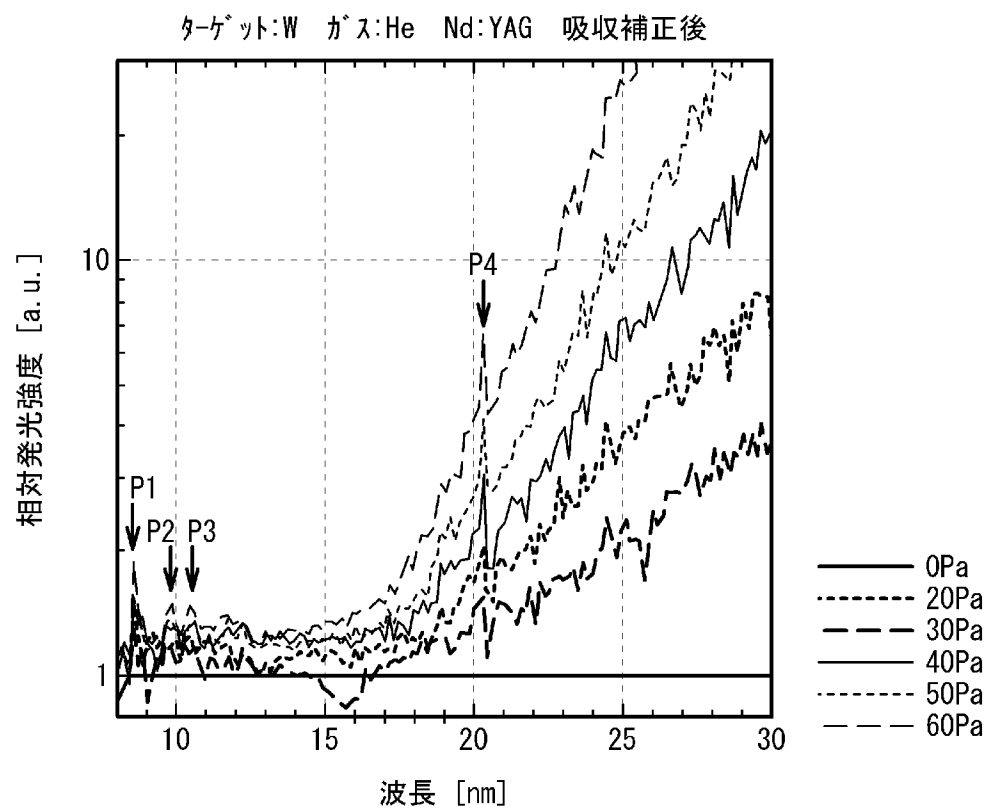
[図4]



[図5]



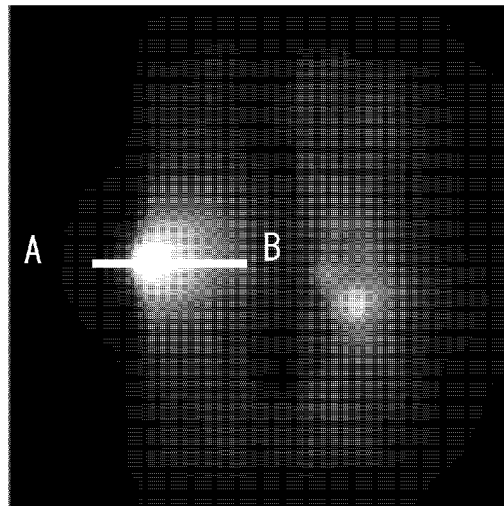
[図6]



[図7]

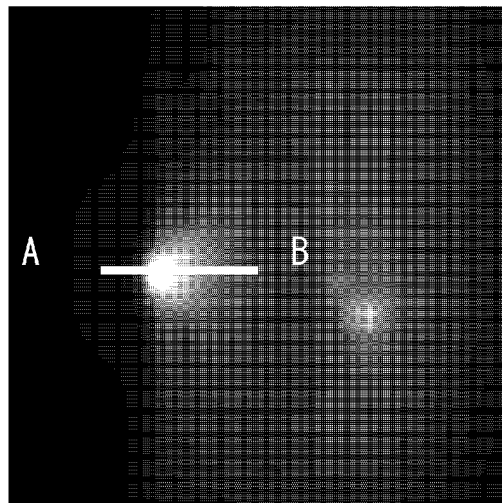
(a)

Heガス圧力 0Pa

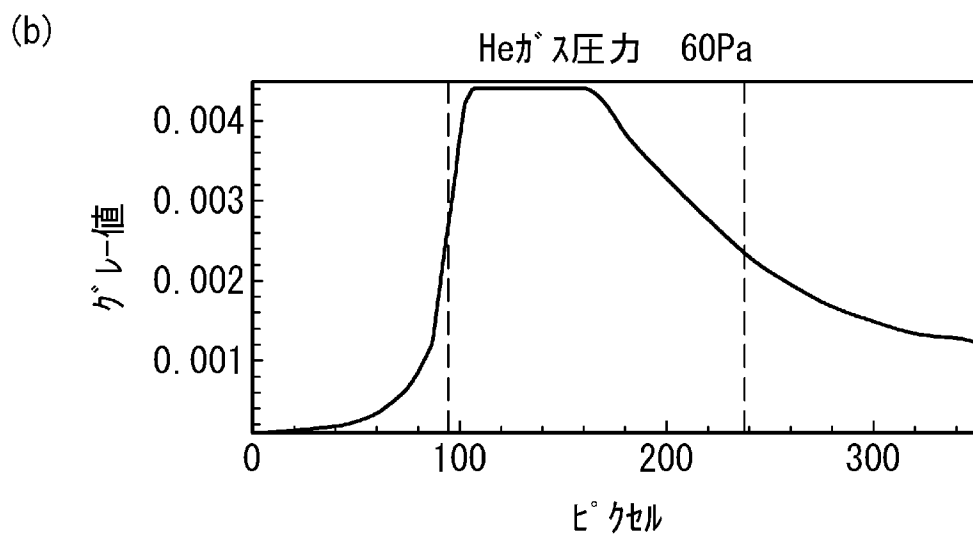
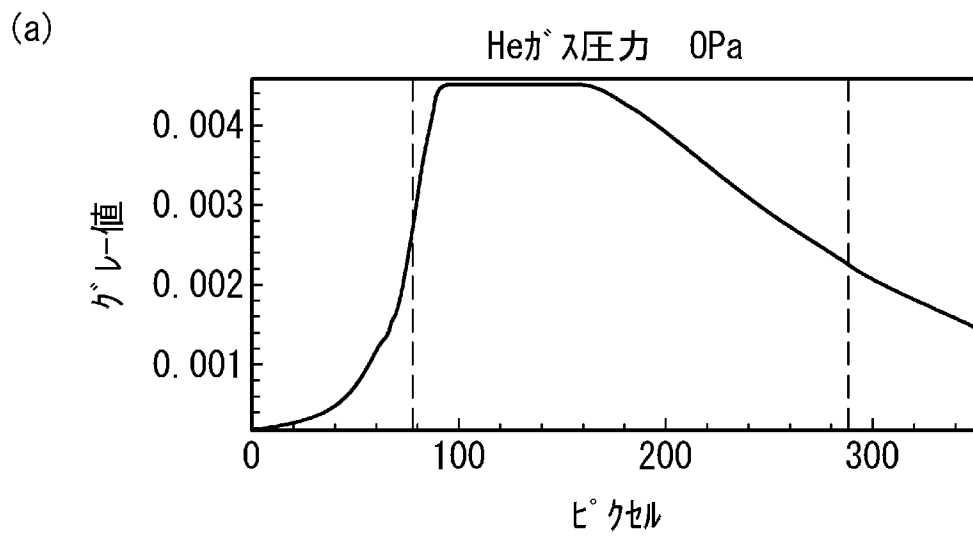


(b)

Heガス圧力 60Pa

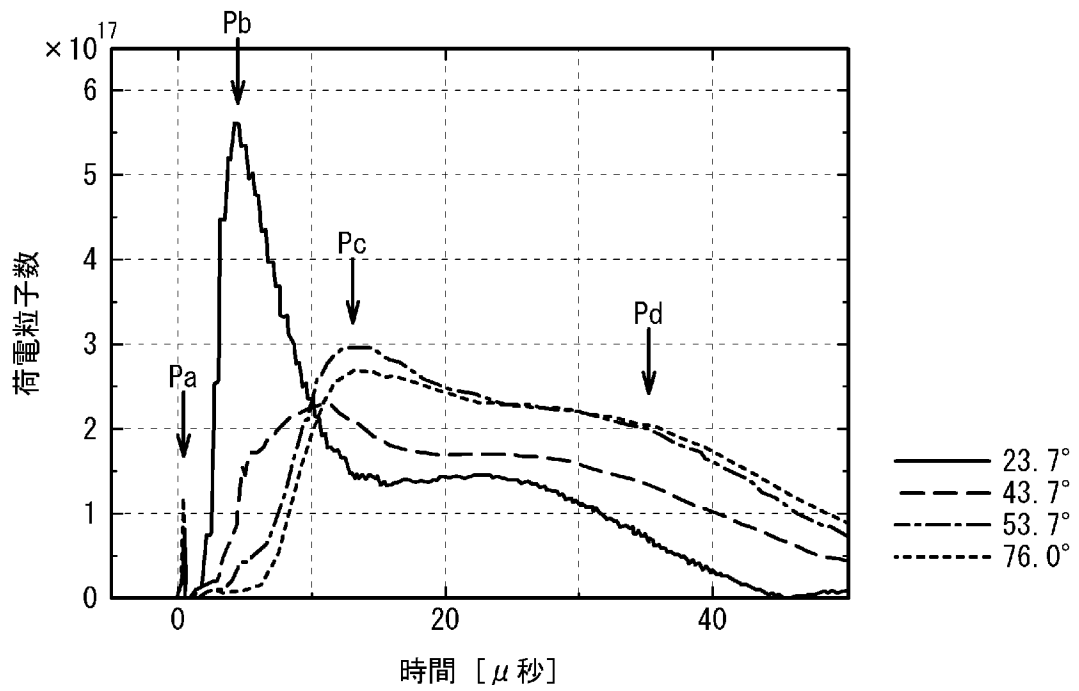


[図8]

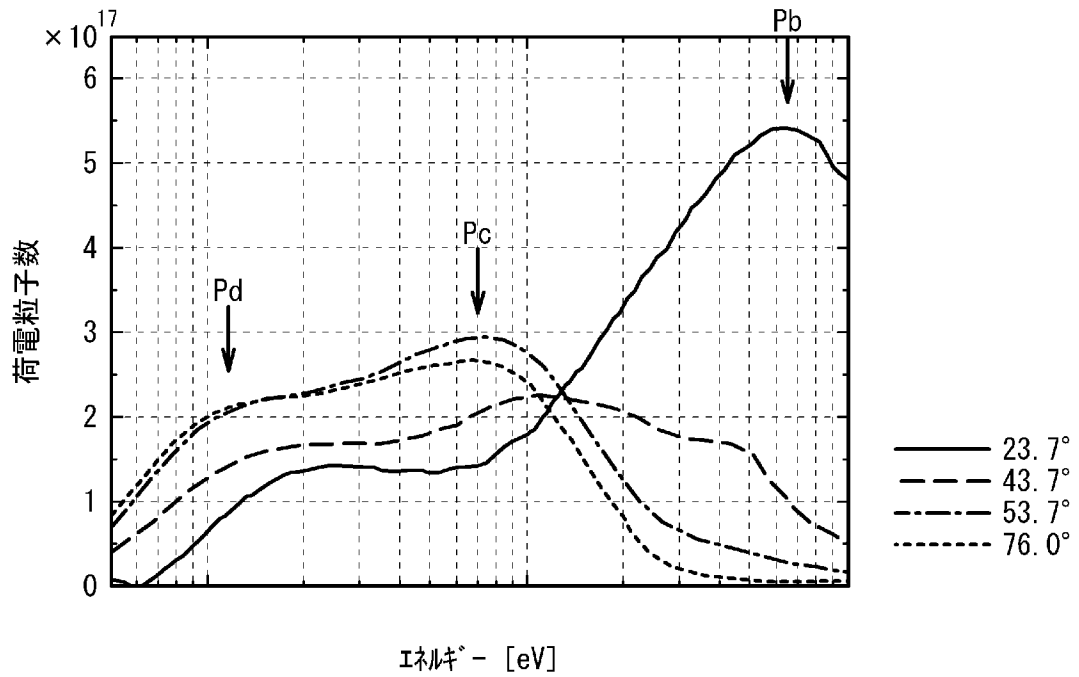


[図9]

(a)

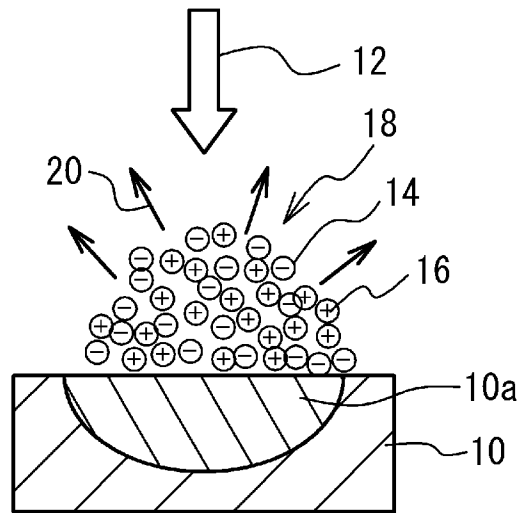


(b)

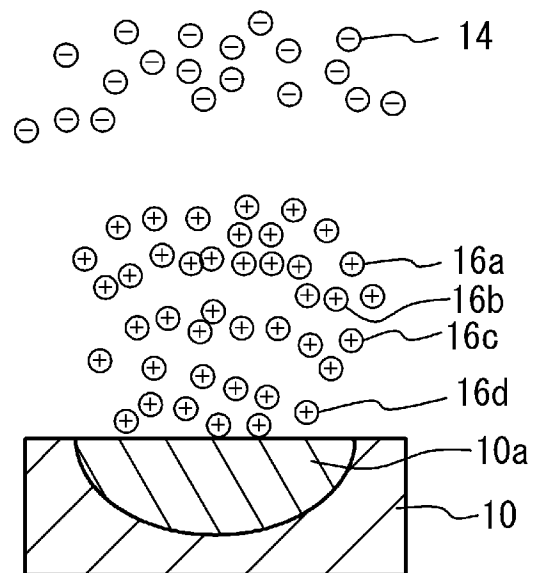


[図10]

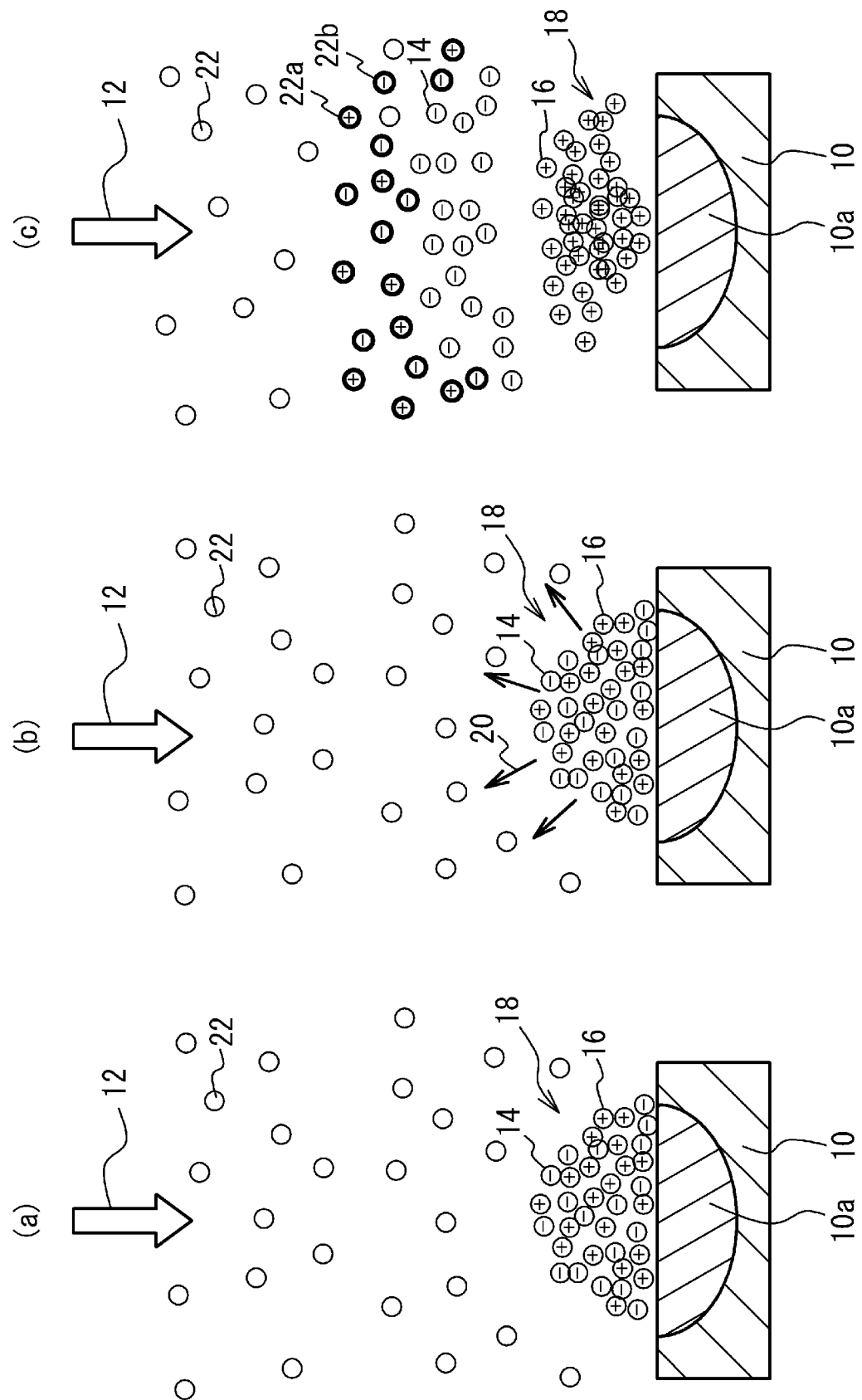
(a)



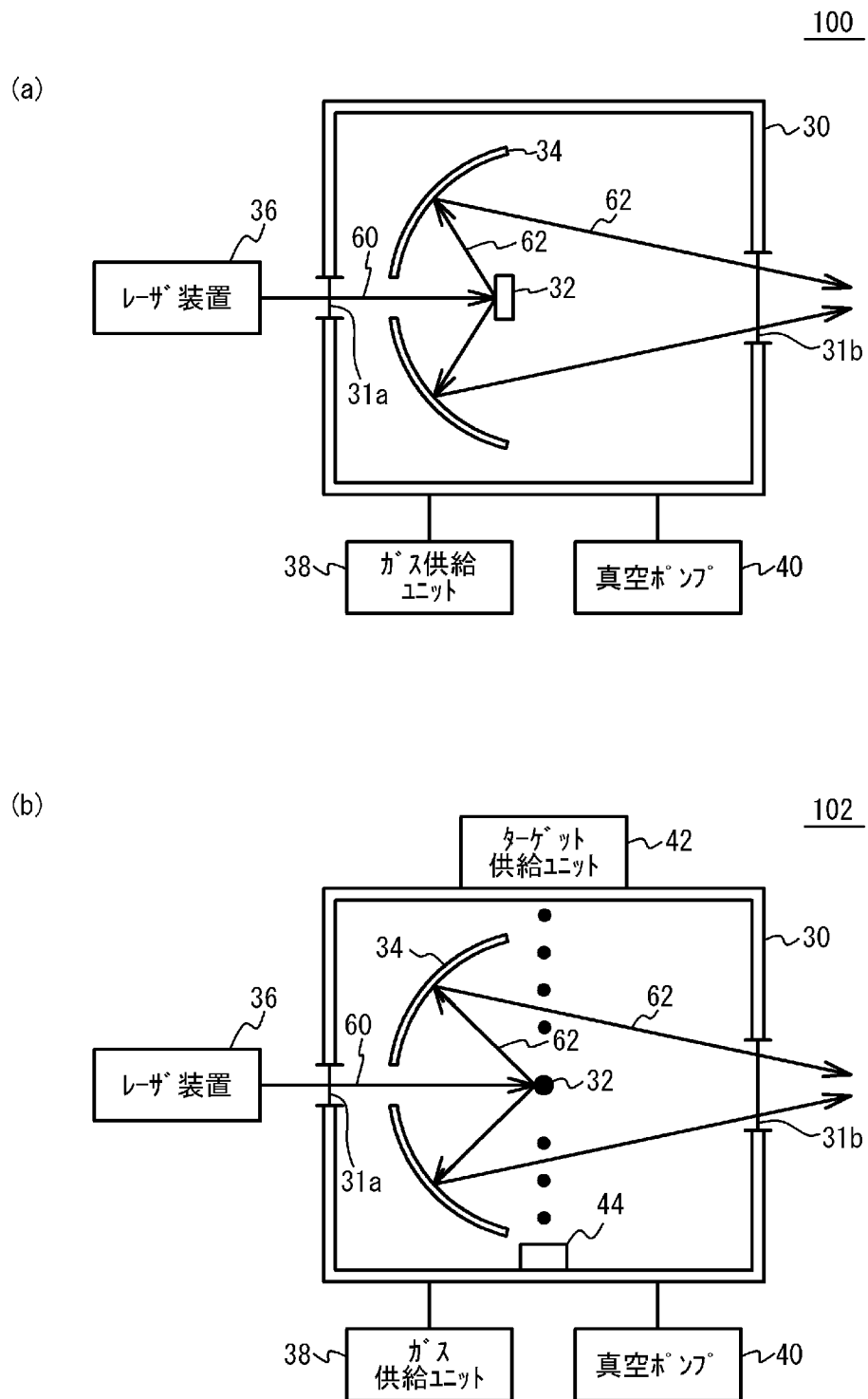
(b)



[図11]

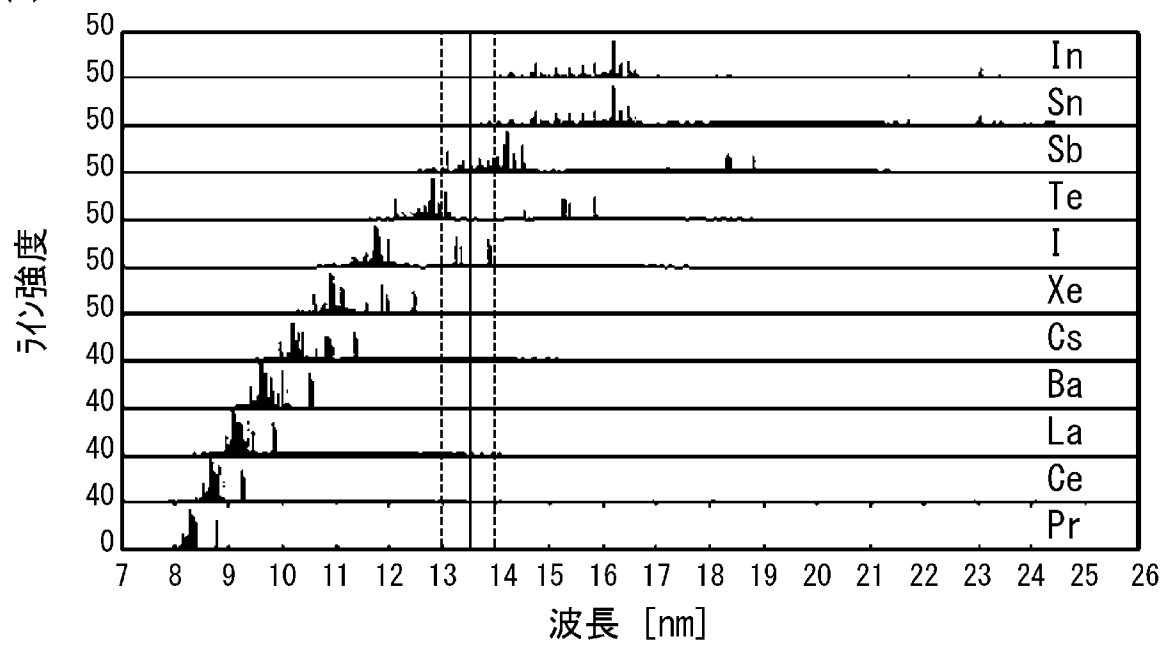


[図12]

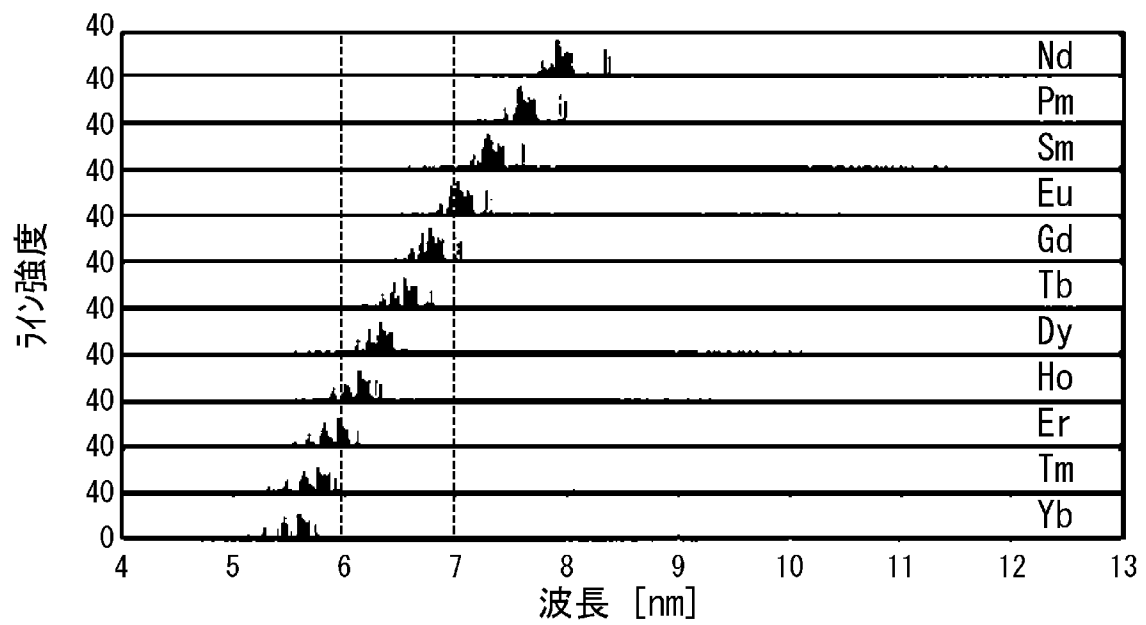


[図13]

(a)

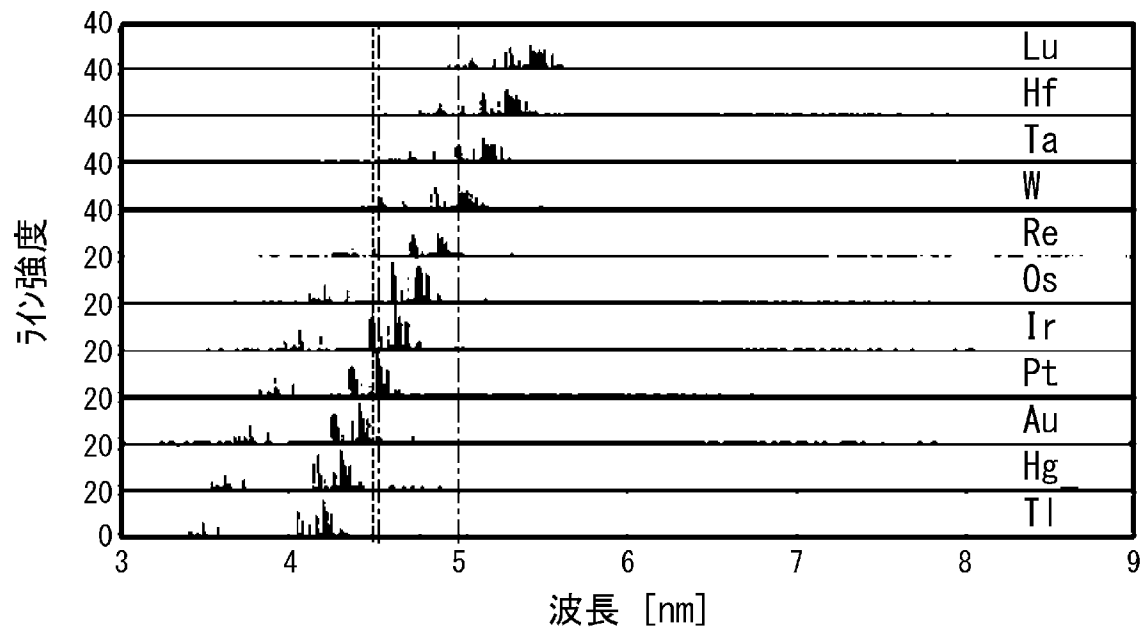


(b)

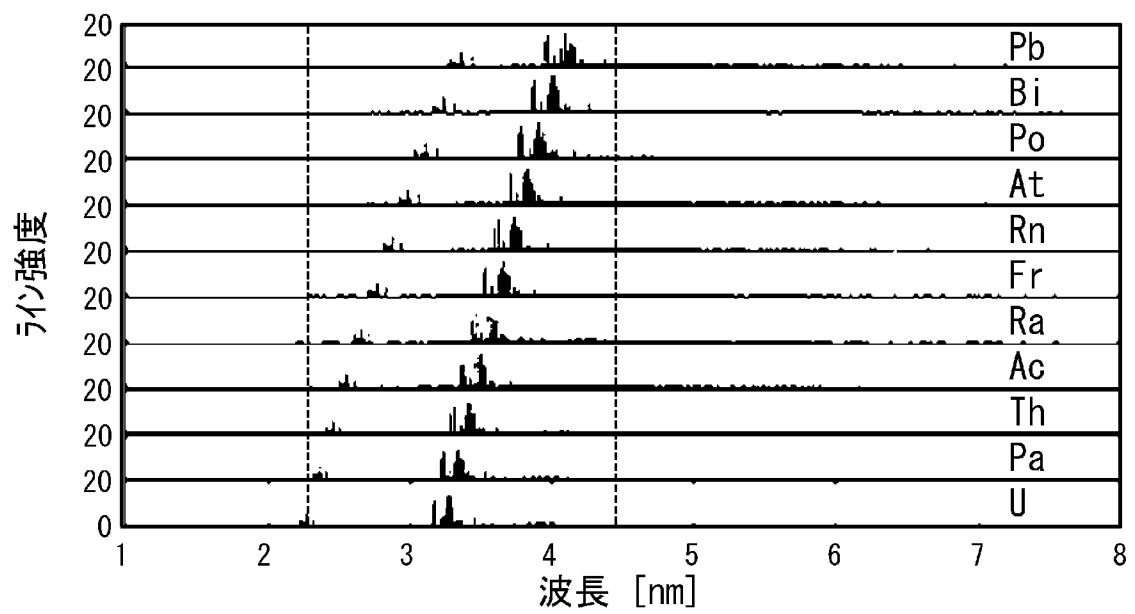


[図14]

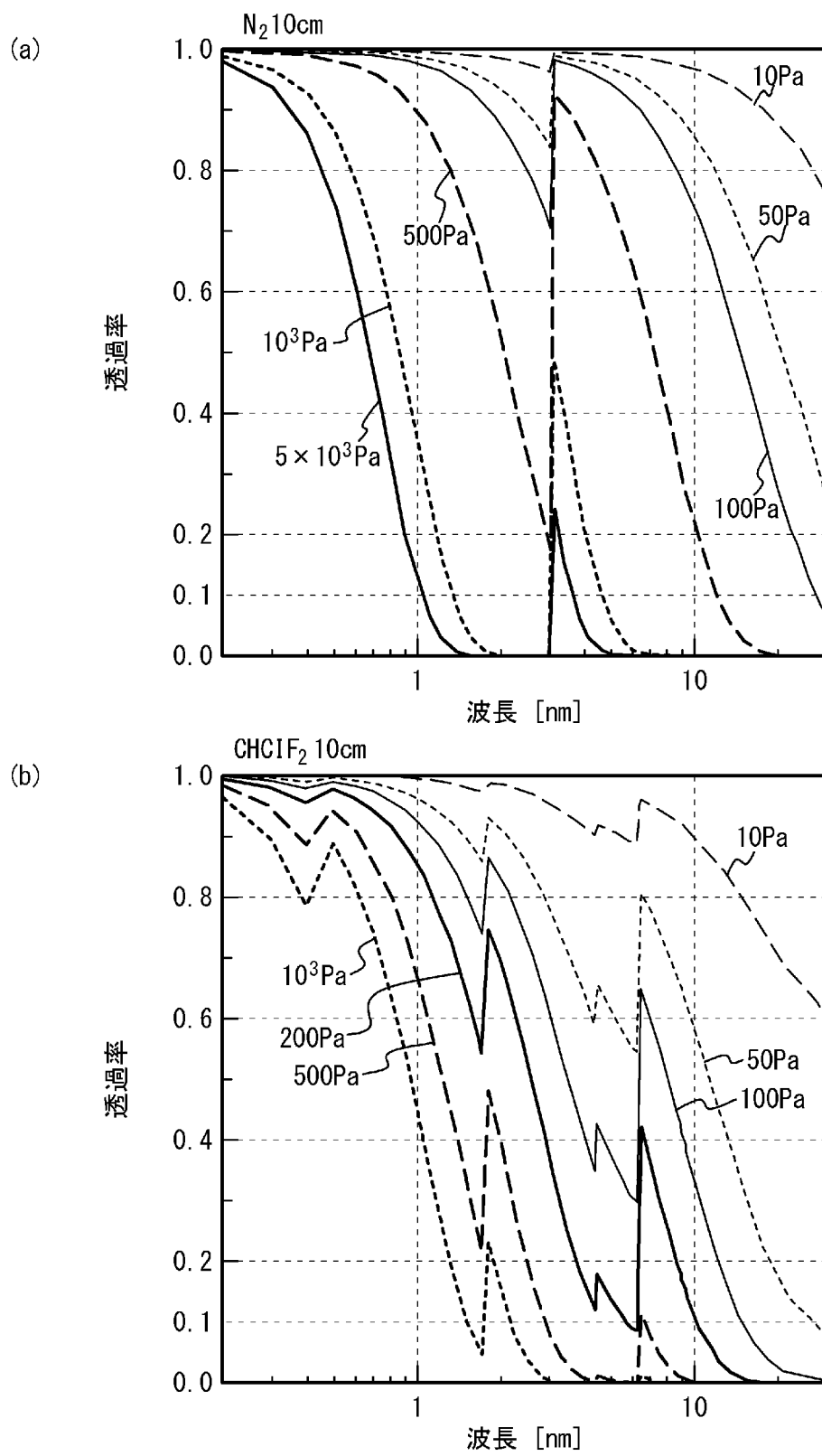
(a)



(b)



[図15]



[図16]

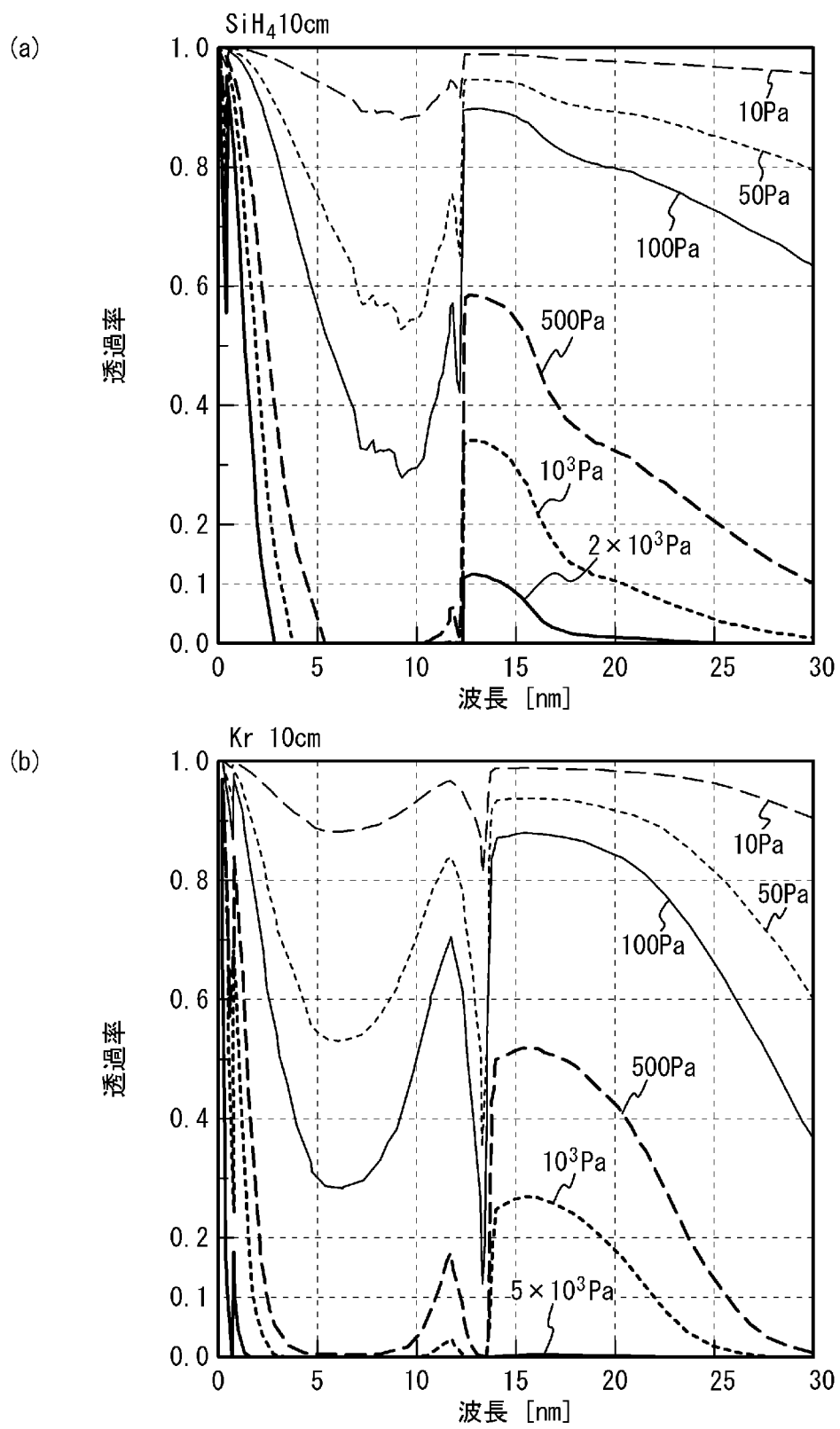
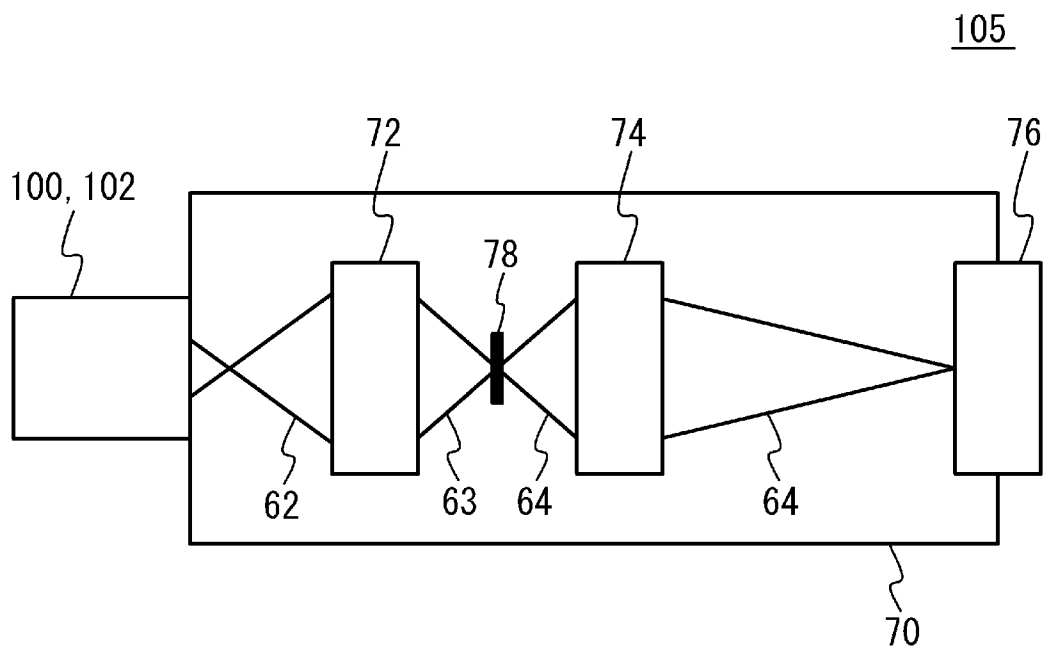


Figure 1 is a line graph showing the transmission rate (透過率) on the y-axis (ranging from 0.0 to 1.0) versus the thickness of the He film (He 10cm) on the x-axis (ranging from 0 to 30). The graph displays five curves corresponding to different pressures: 10Pa, 50Pa, 100Pa, 5×10^3 Pa, and 10^5 Pa. The transmission rate decreases as the pressure increases and the thickness increases.

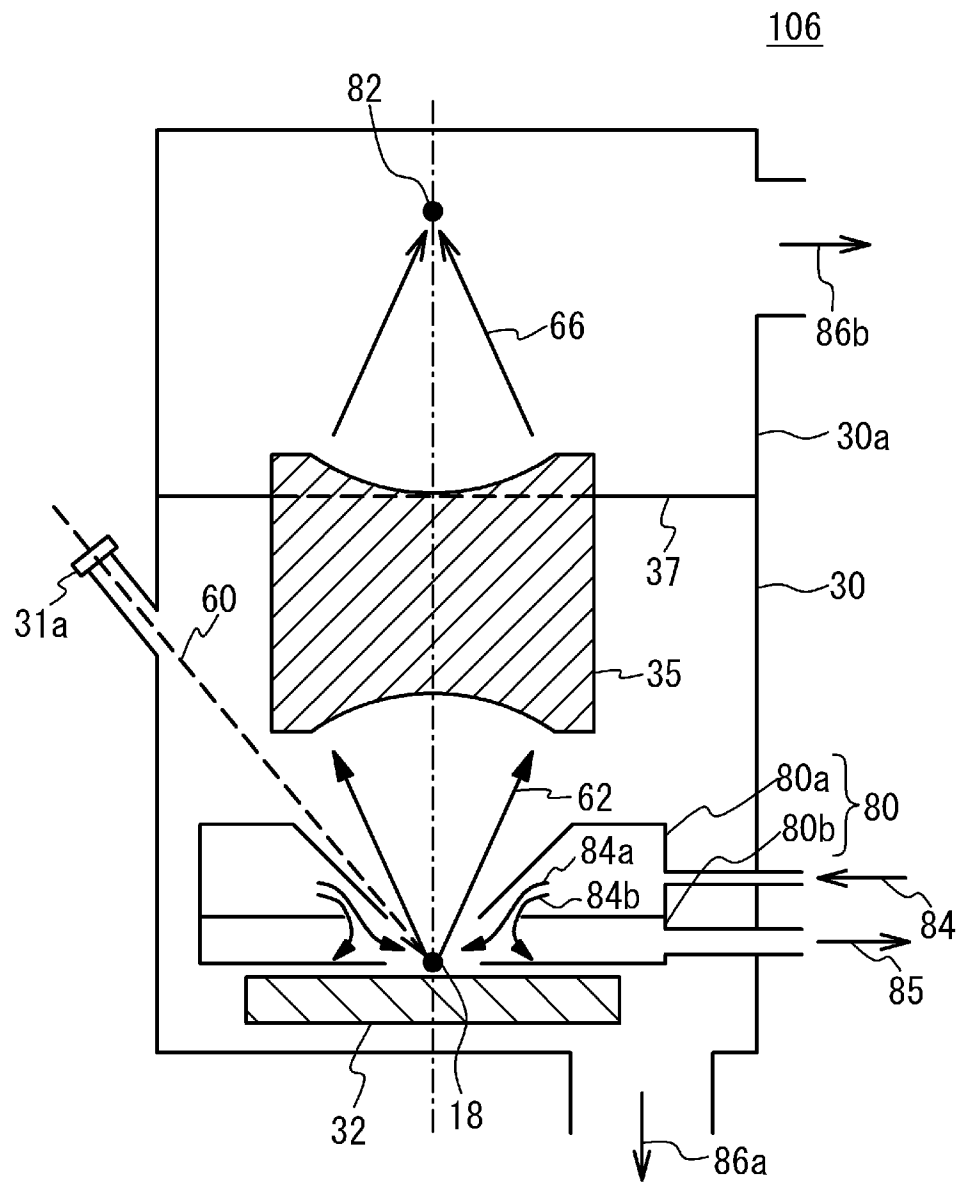
Thickness (He 10cm)	10Pa	50Pa	100Pa	5×10^3 Pa	10^5 Pa
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5	0.98	0.95	0.85	0.60	0.05
10	0.95	0.85	0.65	0.20	0.00
15	0.92	0.75	0.45	0.05	0.00
20	0.88	0.65	0.25	0.00	0.00
25	0.85	0.55	0.15	0.00	0.00
30	0.82	0.45	0.10	0.00	0.00

A schematic diagram of a light path within a display device. An external light source, labeled 100, 102, is shown on the left. Light rays, indicated by arrows, enter the device through a boundary labeled 62. The light passes through a curved refractive element labeled 52 and then through another curved refractive element labeled 54. The light rays converge at two distinct points on a horizontal surface at the bottom, labeled 56 and 58. A label 50 points to the main body of the device, and a label 64 points to the light path between the two curved elements.

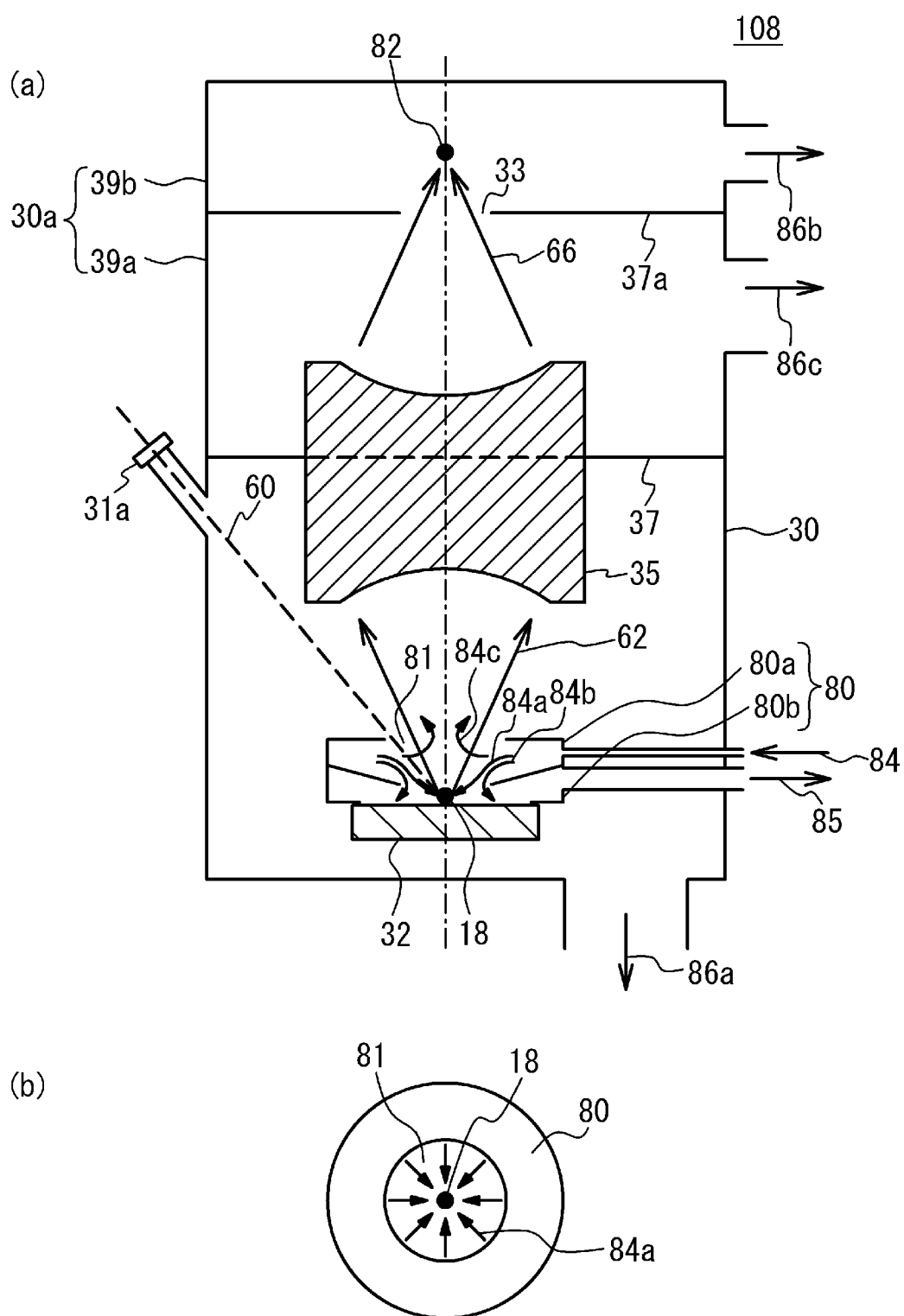
[図19]



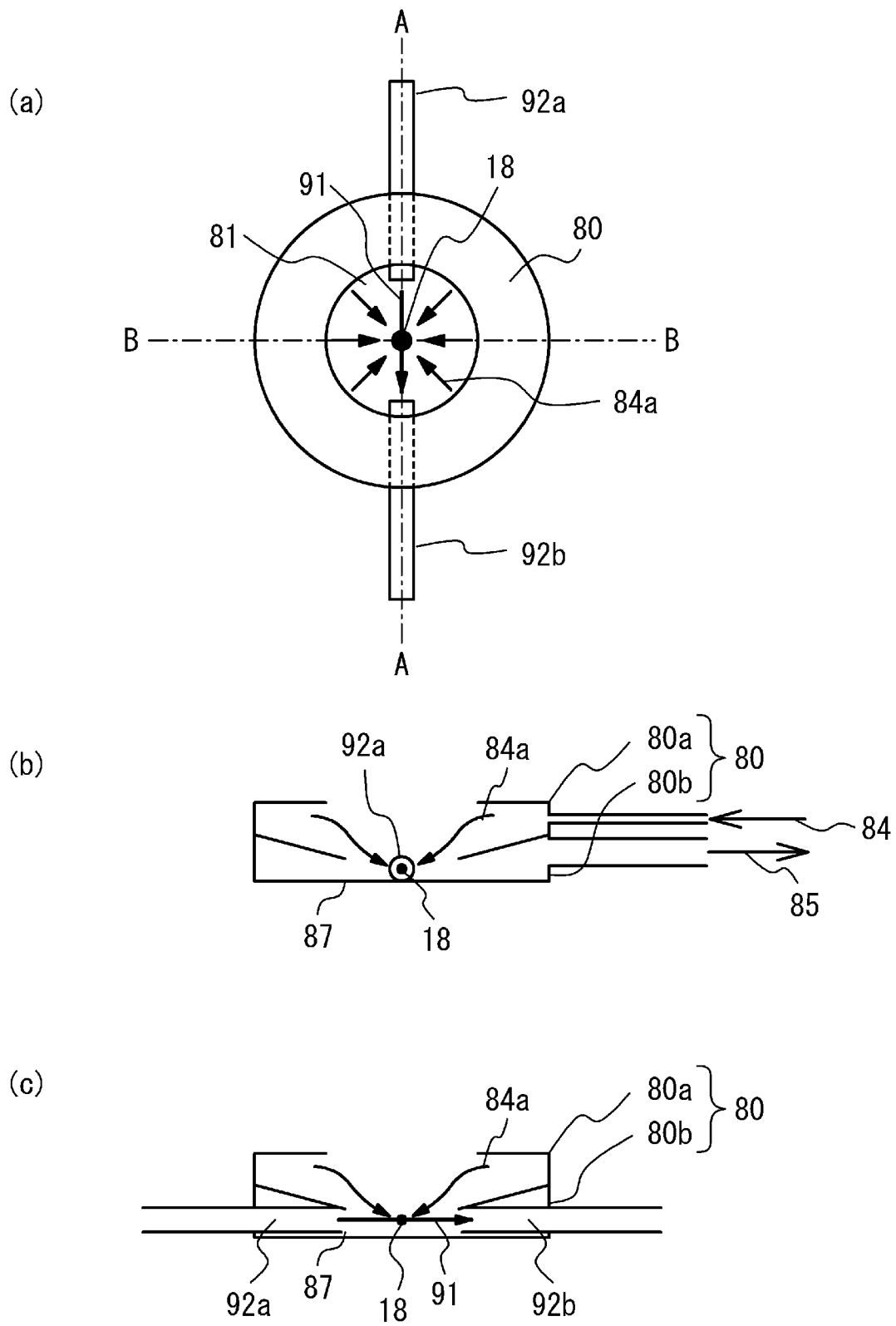
[図20]



[図21]

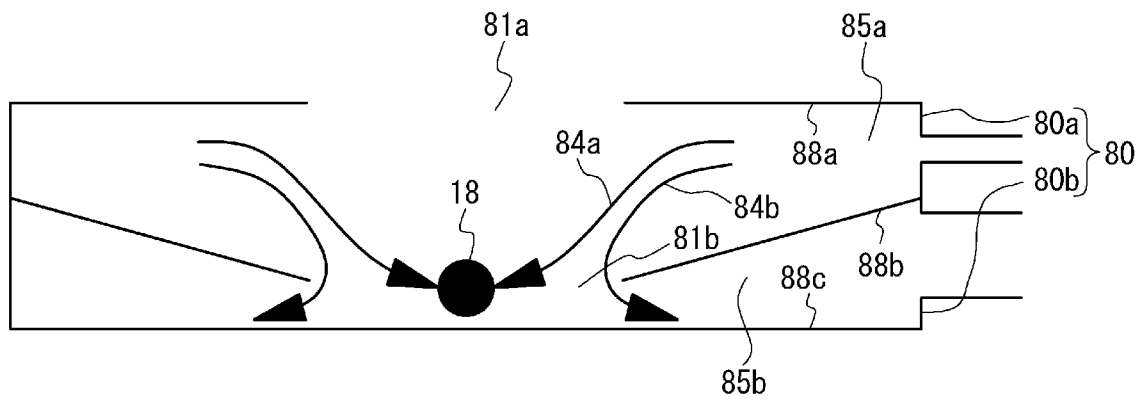


[図22]

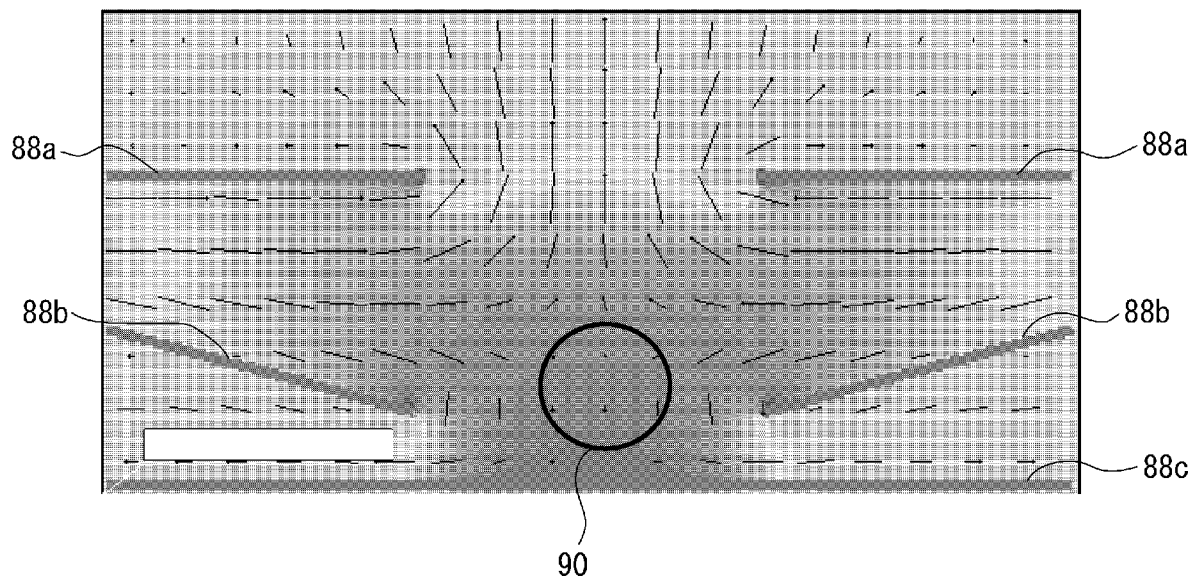


[図23]

(a)



(b)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/012554

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G03F7/20(2006.01)i, G21K5/02(2006.01)i, G21K7/00(2006.01)i, H05G2/00(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)

G03F7/20, H05G2/00

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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 2015-505418 A (ASML Netherlands B.V.), 19 February 2015 (19.02.2015), paragraphs [0005], [0072] to [0081], [0106] to [0119]; fig. 3 to 4, 13 to 15	1-2, 4, 9-13, 15-16
Y	& US 2014/0375974 A1 & WO 2013/107686 A2	3, 6-8, 14
A	paragraphs [0005], [0084] to [0093], [00118] to [00131]; fig. 3 to 4, 13 to 15 & NL 2010108 A & TW 201333542 A	5
Y	JP 2012-199582 A (ASML Netherlands B.V.), 18 October 2012 (18.10.2012), paragraph [0055]; fig. 4	3
A	& JP 2010-153857 A & US 2010/0157267 A1 & EP 2199857 A1 paragraph [0059]; fig. 4 & AT 544096 T	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
20 June 2017 (20.06.17)

Date of mailing of the international search report
04 July 2017 (04.07.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/012554

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 2005-317611 A (Canon Inc.), 10 November 2005 (10.11.2005), paragraphs [0026] to [0031], [0037]; fig. 2 & US 2005/0236584 A1 & EP 1591833 A2 paragraphs [0025] to [0030], [0036]; fig. 2	6-8 5
Y A	WO 2015/124372 A2 (ASML Netherlands B.V.), 27 August 2015 (27.08.2015), paragraphs [0006], [0042] to [0043], [0123]; fig. 1 & JP 2017-511892 A & US 2017/0052456 A1 & CN 106062636 A & KR 10-2016-0124827 A & NL 2014179 A	14 5

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G03F7/20(2006.01)i, G21K5/02(2006.01)i, G21K7/00(2006.01)i, H05G2/00(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. 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	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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 2015-505418 A (エーエスエムエル ネザーランズ ビー. ブイ.) 2015.02.19, 段落 0005, 0072-0081, 0106-0119, 図 3-4, 13-15 & US	1-2, 4, 9-13, 15-16
Y	2014/0375974 A1 & WO 2013/107686 A2,	3, 6-8, 14
A	[0005], [0084]-[0093], [00118]-[00131], Figs. 3-4, 13-15 & NL 2010108 A & TW 201333542 A	5
Y	JP 2012-199582 A (エーエスエムエル ネザーランズ ビー. ブイ.)	3
A	2012.10.18, 段落 0055, 図 4 & JP 2010-153857 A & US 2010/0157267 A1 & EP 2199857 A1, [0059], Fig. 4 & AT 544096 T	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

20.06.2017

国際調査報告の発送日

04.07.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

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)

山口 敦司

2 G

9 2 1 6

電話番号 03-3581-1101 内線 3226

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 2005-317611 A (キヤノン株式会社) 2005.11.10, 段落 0026-0031, 0037, 図 2 & US 2005/0236584 A1 & EP 1591833 A2, [0025]-[0030], [0036], Fig. 2	6-8 5
Y A	WO 2015/124372 A2 (ASML NETHERLANDS B.V.) 2015.08.27, 段落 0006, 0042-0043, 0123, 図 1 & JP 2017-511892 A & US 2017/0052456 A1 & CN 106062636 A & KR 10-2016-0124827 A & NL 2014179 A	14 5