(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5月11日(11.05.2018)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2018/083727 A1

(51) 国際特許分類:
H05G 2/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2016/082418

(22) 国際出願日： 2016年11月1日(01.11.2016)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(71) 出願人: ギガフォトン株式会社(**GIGAPHOTON INC.**) [JP/JP]; 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田４００番地 Tochigi (JP).

(72) 発明者: 柳 田 達 哉 (**YANAGIDA Tatsuya**); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田４００番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP).

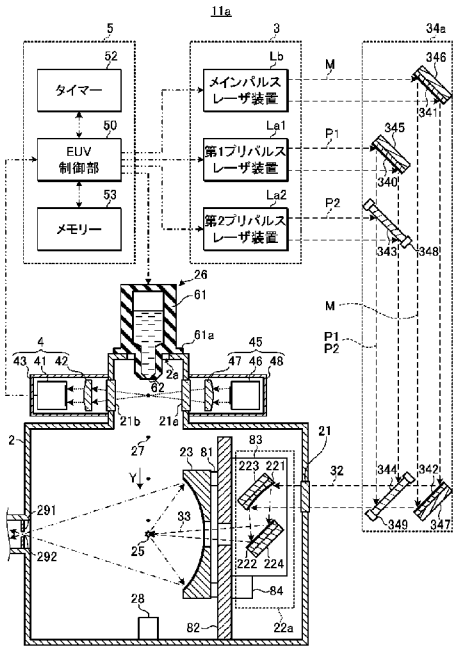
(74) 代理人: 保 坂 延 寿 (**HOSAKA Nobuhisa**); 〒1010025 東京都千代田区神田佐久間町３－２２ 神田ＳＫビル４階 新井・橋本・保坂国際特許事務所 Tokyo (JP).

(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, 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, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV,

WO 2018/083727 A1

(54) **Title:** EXTREME UV LIGHT GENERATION DEVICE

(54) 発明の名称： 極端紫外光生成装置



(57) **Abstract:** An extreme UV light generation device is provided with: a target supply unit that outputs a target toward a prescribed region; a laser system that outputs a first laser light irradiated on the target, a second laser light irradiated on the target on which the first laser light was irradiated, and a third laser light irradiated on the target on which the second laser light was irradiated; and a control unit that controls the laser system so that the third laser light is irradiated on the target after the ions of the elements constituting the target are eliminated at least from the light path of the third laser light.

［続葉有］

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:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

(57) 要約:極端紫外光生成装置は、所定領域に向けてターゲットを出力するターゲット供給部と、ターゲットに照射される第1レーザ光と、第1レーザ光が照射されたターゲットに照射される第2レーザ光と、第2レーザ光が照射されたターゲットに照射される第3レーザ光と、を出力するレーザシステムと、少なくとも第3レーザ光の光路からターゲットを構成する元素のイオンが消失した後に第3レーザ光がターゲットに照射されるように、レーザシステムを制御する制御部と、を備える。

明　細　書

発明の名称 ： 極端紫外光生成装置

技術分野

[0001] 本開示は、極端紫外光生成装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、半導体プロセスの微細化に伴って、半導体プロセスの光リソグラフィにおける転写パターンの微細化が急速に進展している。次世代においては、７０ｎｍ～４５ｎｍの微細加工、さらには３２ｎｍ以下の微細加工が要求されるようになる。このため、例えば３２ｎｍ以下の微細加工の要求に応えるべく、波長１３ｎｍ程度の極端紫外（ＥＵＶ）光を生成する極端紫外光生成装置と縮小投影反射光学系(reduced projection reflection optics)とを組み合わせた露光装置の開発が期待されている。

[0003] ＥＵＶ光生成装置としては、ターゲット物質にパルスレーザ光を照射することによって生成されるプラズマが用いられるＬＰＰ（Laser Produced Plasma）式の装置と、放電によって生成されるプラズマが用いられるＤＰＰ（Discharge Produced Plasma）式の装置と、シンクロトロン放射光が用いられるＳＲ（Synchrotron Radiation）式の装置との３種類の装置が提案されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：米国特許出願公開第２０１４／０７７０９９号明細書

特許文献2：米国特許出願公開第２００５／１２９１７７号明細書

概要

[0005] 本開示の１つの観点に係る極端紫外光生成装置は、所定領域に向けてターゲットを出力するターゲット供給部と、ターゲットに照射される第１レーザ光と、第１レーザ光が照射されたターゲットに照射される第２レーザ光と、第２レーザ光が照射されたターゲットに照射される第３レーザ光と、を出力

するレーザシステムと、少なくとも第３レーザ光の光路からターゲットを構成する元素のイオンが消失した後に第３レーザ光がターゲットに照射されるように、レーザシステムを制御する制御部と、を備える。

[0006] 本開示の他の１つの観点に係る極端紫外光生成装置は、所定領域に向けてターゲットを出力するターゲット供給部と、ターゲットに照射される第１レーザ光と、第１レーザ光が照射されたターゲットに照射される第２レーザ光と、第２レーザ光が照射されたターゲットに照射される第３レーザ光と、を出力するレーザシステムと、ターゲットを構成する元素のイオンが消失して残留した中性粒子に第３レーザ光が照射されるようにレーザシステムを制御する制御部と、を備える。

[0007] 本開示の他の１つの観点に係る極端紫外光生成装置は、所定領域に向けてターゲットを出力するターゲット供給部と、ターゲットに照射される第１レーザ光と、第１レーザ光が照射されたターゲットに照射される第２レーザ光と、第２レーザ光が照射されたターゲットに照射される第３レーザ光と、を出力するレーザシステムと、第３レーザ光が、ターゲットの一部に照射されるがターゲットを構成する元素のイオンには照射されないように、レーザシステムを制御する制御部と、を備える。

図面の簡単な説明

[0008] 本開示のいくつかの実施形態を、単なる例として、添付の図面を参照して以下に説明する。

[図1]図１は、例示的なＬＰＰ式のＥＵＶ光生成システムの構成を概略的に示す。

[図2]図２は、比較例に係るＥＵＶ光生成システム１１の構成を示す一部断面図である。

[図3]図３Ａは、図２に示されるＥＵＶ光生成システム１１において１次ターゲット２７１に第１プリパルスレーザ光Ｐ１が照射されるときの１次ターゲット２７１の様子を概略的に示す。図３Ｂは、図２に示されるＥＵＶ光生成システム１１において２次ターゲット２７２に第２プリパルスレーザ光Ｐ２

が照射されるときの２次ターゲット２７２の様子を概略的に示す。図３Ｃは、図２に示されるＥＵＶ光生成システム１１において３次ターゲット２７３にメインパルスレーザ光Ｍが照射されるときの３次ターゲット２７３の様子を概略的に示す。図３Ｄは、ＥＵＶ光の発光領域２７ｅを示す。

[図4]図４Ａ～図４Ｊは、第２プリパルスレーザ光Ｐ２照射後の経過時間ごとにおける３次ターゲット２７３を可視光により撮像した画像を示す。

[図5]図５は、図４Ａ～図４Ｊに示される画像から得られた発光強度の変化を示すグラフである。

[図6]図６Ａは、プラズマ２７ｄ及びこれに含まれるイオンが消失した状態の３次ターゲット２７３にメインパルスレーザ光Ｍが照射されるときの３次ターゲット２７３の様子を概略的に示す。図６Ｂは、ＥＵＶ光の発光領域２７ｆを示す。

[図7]図７は、ＥＵＶ光生成システムにおけるＣＥの測定結果を示すグラフである。

[図8]図８は、本開示の第１の実施形態に係るＥＵＶ光生成システム１１ａを概略的に示す。

[図9]図９は、本開示の第２の実施形態に係るＥＵＶ光生成システム１１ｂを概略的に示す。

実施形態

[0009] ＜内容＞

１．極端紫外光生成システムの全体説明

１．１　構成

１．２　動作

２．第１～第３レーザ光をターゲットに照射するＥＵＶ光生成システム

２．１　構成

２．１．１　ターゲット供給部

２．１．２　ターゲットセンサ及び発光部

２．１．３　レーザシステム

２．１．４　レーザ光進行方向制御部
２．１．５　集光光学系及びＥＵＶ集光ミラー
２．２　動作
２．２．１　ターゲットの出力
２．２．２　ターゲットの検出
２．２．３　パルスレーザ光の出力
２．２．４　パルスレーザ光の伝送
２．２．５　パルスレーザ光の集光
２．３　パルスレーザ光を照射されたターゲットの変化
２．３．１　１次ターゲット２７１
２．３．２　２次ターゲット２７２
２．３．３　３次ターゲット２７３
２．４　課題
２．５　３次ターゲット２７３の挙動
２．６　イオン消失後のメインパルス照射
３．第２プリパルスレーザ光Ｐ２照射後の時間を計測するタイマーを備えたＥＵＶ光生成システム
３．１　所要時間をタイマーが保持する例
３．２　所要時間をメモリーが保持する例
３．３　その他
４．イオン検出器を備えたＥＵＶ光生成システム
４．１　継続的にイオンの有無を監視する例
４．２　特定タイミングでのイオンの有無を判定する例
４．３　その他
５．補足

[0010]　以下、本開示の実施形態について、図面を参照しながら詳しく説明する。以下に説明される実施形態は、本開示のいくつかの例を示すものであって、本開示の内容を限定するものではない。また、各実施形態で説明される構成

及び動作の全てが本開示の構成及び動作として必須であるとは限らない。なお、同一の構成要素には同一の参照符号を付して、重複する説明を省略する。

[0011] １．ＥＵＶ光生成システムの全体説明

１．１　構成

図１に、例示的なＬＰＰ式のＥＵＶ光生成システムの構成を概略的に示す。ＥＵＶ光生成装置１は、少なくとも１つのレーザシステム３と共に用いられる。本願においては、ＥＵＶ光生成装置１及びレーザシステム３を含むシステムを、ＥＵＶ光生成システム１１と称する。図１に示し、かつ、以下に詳細に説明するように、ＥＵＶ光生成装置１は、チャンバ２、ターゲット供給部２６を含む。チャンバ２は、密閉可能に構成されている。ターゲット供給部２６は、例えば、チャンバ２の壁を貫通するように取り付けられている。ターゲット供給部２６から出力されるターゲット物質の材料は、スズ、テルビウム、ガドリニウム、リチウム、キセノン、又は、それらの内のいずれか２つ以上の組合せを含むことができるが、これらに限定されない。

[0012] チャンバ２の壁には、少なくとも１つの貫通孔が設けられている。その貫通孔には、ウインドウ２１が設けられている。ウインドウ２１をレーザシステム３から出力されるパルスレーザ光３２が透過する。チャンバ２の内部には、例えば、回転楕円面形状の反射面を有するＥＵＶ集光ミラー２３が配置されている。ＥＵＶ集光ミラー２３は、第１及び第２の焦点を有する。ＥＵＶ集光ミラー２３の表面には、例えば、モリブデンとシリコンとが交互に積層された多層反射膜が形成されている。ＥＵＶ集光ミラー２３は、例えば、その第１の焦点がプラズマ生成領域２５に位置し、その第２の焦点が中間集光点（ＩＦ）２９２に位置するように配置されている。ＥＵＶ集光ミラー２３の中央部には貫通孔２４が設けられている。貫通孔２４をパルスレーザ光３３が通過する。

[0013] ＥＵＶ光生成装置１は、ＥＵＶ光生成制御部５、ターゲットセンサ４等を含む。ターゲットセンサ４は、撮像機能を有し、ターゲット２７の存在、軌

跡、位置、速度等を検出するよう構成されている。

[0014] また、ＥＵＶ光生成装置１は、チャンバ２の内部と露光装置６の内部とを連通させる接続部２９を含む。接続部２９内部には、アパーチャが形成された壁２９１が設けられている。壁２９１は、そのアパーチャがＥＵＶ集光ミラー２３の第２の焦点位置に位置するように配置されている。

[0015] さらに、ＥＵＶ光生成装置１は、レーザ光進行方向制御部３４、レーザ光集光ミラー２２、ターゲット２７を回収するためのターゲット回収部２８等を含む。レーザ光進行方向制御部３４は、レーザ光の進行方向を規定するための光学素子と、この光学素子の位置、姿勢等を調整するためのアクチュエータとを備えている。

[0016] １．２ 動作

図１を参照に、レーザシステム３から出力されたパルスレーザ光３１は、レーザ光進行方向制御部３４を経て、パルスレーザ光３２としてウインドウ２１を透過してチャンバ２内に入射する。パルスレーザ光３２は、少なくとも１つのレーザ光経路に沿ってチャンバ２内を進み、レーザ光集光ミラー２２で反射されて、パルスレーザ光３３として少なくとも１つのターゲット２７に照射される。

[0017] ターゲット供給部２６は、ターゲット２７をチャンバ２内部のプラズマ生成領域２５に向けて出力する。ターゲット２７には、パルスレーザ光３３に含まれる少なくとも１つのパルスが照射される。パルスレーザ光が照射されたターゲット２７はプラズマ化し、そのプラズマから放射光２５１が放射される。ＥＵＶ集光ミラー２３は、放射光２５１に含まれるＥＵＶ光を、他の波長域の光に比べて高い反射率で反射する。ＥＵＶ集光ミラー２３によって反射されたＥＵＶ光を含む反射光２５２は、中間集光点２９２で集光され、露光装置６に出力される。なお、１つのターゲット２７に、パルスレーザ光３３に含まれる複数のパルスが照射されてもよい。

[0018] ＥＵＶ光生成制御部５は、ＥＵＶ光生成システム１１全体の制御を統括する。ＥＵＶ光生成制御部５は、ターゲットセンサ４によって撮像されたター

ゲット２７のイメージデータ等を処理する。また、ＥＵＶ光生成制御部５は、例えば、ターゲット２７が出力されるタイミング、ターゲット２７の出力方向等を制御する。さらに、ＥＵＶ光生成制御部５は、例えば、レーザシステム３の発振タイミング、パルスレーザ光３２の進行方向、パルスレーザ光３３の集光位置等を制御する。上述の様々な制御は単なる例示に過ぎず、必要に応じて他の制御が追加されてもよい。

[0019] ２．第１～第３レーザ光をターゲットに照射するＥＵＶ光生成システム

２．１　構成

図２は、比較例に係るＥＵＶ光生成システム１１の構成を示す一部断面図である。図２に示されるように、チャンバ２の内部には、集光光学系２２ａと、ＥＵＶ集光ミラー２３と、ターゲット回収部２８と、ＥＵＶ集光ミラーホルダ８１と、プレート８２及び８３とが設けられている。チャンバ２には、ターゲット供給部２６と、ターゲットセンサ４と、発光部４５とが取り付けられている。

[0020] チャンバ２の外部には、レーザシステム３と、レーザ光進行方向制御部３４ａと、ＥＵＶ光生成制御部５とが設けられている。ＥＵＶ光生成制御部５は、ＥＵＶ制御部５０を含む。

[0021] ２．１．１　ターゲット供給部

ターゲット供給部２６は、リザーバ６１を有する。リザーバ６１の一部が、チャンバ２の壁面に形成された貫通孔２ａを貫通しており、リザーバ６１の先端がチャンバ２の内部に位置する。リザーバ６１の上記先端には、開口６２が形成されている。リザーバ６１の上記先端の開口６２付近に、図示しない加振装置が配置されている。リザーバ６１は、ターゲット物質を内部に貯蔵している。貫通孔２ａの周囲のチャンバ２の壁面には、リザーバ６１のフランジ部６１ａが密着して固定されている。

[0022] ２．１．２　ターゲットセンサ及び発光部

ターゲットセンサ４と発光部４５とは、ターゲット２７の軌道を挟んで互いに反対側に配置されている。チャンバ２にはウインドウ２１ａ及び２１ｂ

が取り付けられている。ウインドウ２１ａは、発光部４５とターゲット２７の軌道との間に位置する。ウインドウ２１ｂは、ターゲット２７の軌道とターゲットセンサ４との間に位置する。

[0023] ターゲットセンサ４は、光センサ４１と、集光光学系４２と、容器４３とを含む。容器４３はチャンバ２の外部に固定されている。容器４３の内部に、光センサ４１及び集光光学系４２が固定されている。発光部４５は、光源４６と、集光光学系４７と、容器４８とを含む。容器４８はチャンバ２の外部に固定されている。容器４８の内部に、光源４６及び集光光学系４７が固定されている。

[0024] ２．１．３ レーザシステム

レーザシステム３は、第１プリパルスレーザ装置Ｌａ１と、第２プリパルスレーザ装置Ｌａ２と、メインパルスレーザ装置Ｌｂとを含む。第１プリパルスレーザ装置Ｌａ１及び第２プリパルスレーザ装置Ｌａ２の各々は、例えば、ＹＡＧレーザ装置で構成される。あるいは、第１プリパルスレーザ装置Ｌａ１及び第２プリパルスレーザ装置Ｌａ２の各々は、Ｎｄ：ＹＶＯ$_4$を用いたレーザ装置で構成される。メインパルスレーザ装置Ｌｂは、ＣＯ$_2$レーザ装置で構成される。これらのレーザ装置は、レーザ発振器及び必要に応じてレーザ増幅器を含む。ＹＡＧレーザ装置とは、レーザ発振器及びレーザ増幅器のいずれか又は両方に、レーザ媒質としてＹＡＧ結晶を用いるレーザ装置である。ＣＯ$_2$レーザ装置とは、レーザ発振器及びレーザ増幅器のいずれか又は両方に、レーザ媒質としてＣＯ$_2$ガスを用いるレーザ装置である。

[0025] ２．１．４ レーザ光進行方向制御部

レーザ光進行方向制御部３４ａは、高反射ミラー３４０、３４１及び３４２と、ビームコンバイナ３４３及び３４４と、を含む。高反射ミラー３４０は、ホルダ３４５によって支持されている。高反射ミラー３４１は、ホルダ３４６によって支持されている。高反射ミラー３４２は、ホルダ３４７によって支持されている。

[0026] ビームコンバイナ３４３は、ホルダ３４８によって支持されている。ビー

ムコンバイナ３４３は、偏光子で構成される。

ビームコンバイナ３４４は、ホルダ３４９によって支持されている。ビームコンバイナ３４４は、ダイクロイックミラーで構成される。

[0027] ２．１．５　集光光学系及びＥＵＶ集光ミラー

プレート８２は、チャンバ２に固定されている。プレート８２には、プレート８３及び位置調整機構８４が支持されている。集光光学系２２ａは、軸外放物面ミラー２２１及び平面ミラー２２２を含む。軸外放物面ミラー２２１は、ホルダ２２３によって支持されている。平面ミラー２２２は、ホルダ２２４によって支持されている。ホルダ２２３及び２２４は、プレート８３に固定されている。

ＥＵＶ集光ミラー２３は、ＥＵＶ集光ミラーホルダ８１を介してプレート８２に固定されている。

[0028] ２．２　動作

２．２．１　ターゲットの出力

ＥＵＶ光生成制御部５に含まれるＥＵＶ制御部５０は、ターゲット供給部２６に制御信号を出力する。

ターゲット供給部２６において、リザーバ６１内のターゲット物質は、リザーバ６１に備えられた図示しないヒータによって、当該ターゲット物質の融点以上の温度に維持される。リザーバ６１内のターゲット物質は、リザーバ６１内に供給される不活性ガスによって加圧される。

[0029] 不活性ガスによって加圧されたターゲット物質は、開口６２を介して噴流として出力される。上述の加振装置は、リザーバ６１に振動を与える。この振動により、ターゲット物質の噴流は複数のドロップレットに分離される。それぞれのドロップレットが、ターゲット２７を構成する。ターゲット２７は、ターゲット供給部２６からプラズマ生成領域２５までの軌道に沿って矢印Ｙ方向に移動する。

ターゲット回収部２８は、プラズマ生成領域２５を通過したターゲット２７を回収する。

[0030] ２．２．２　ターゲットの検出

発光部４５は、光源４６の出力光を、ターゲット供給部２６とプラズマ生成領域２５との間のターゲット２７のほぼ軌道上の位置に集光する。ターゲット２７は、発光部４５による光の集光位置を通過する。このとき、ターゲットセンサ４はターゲット２７の軌道及びその周囲を通る光の光強度の変化を検出する。ターゲットセンサ４は、光強度の変化に基づいて、ターゲット検出信号を出力する。ＥＵＶ制御部５０は、このターゲット検出信号を受信する。

[0031] ２．２．３　パルスレーザ光の出力

ＥＵＶ制御部５０は、ターゲット検出信号に基づいて、第１のトリガ信号を、第１プリパルスレーザ装置Ｌａ１に出力する。第１のトリガ信号は、ターゲット検出信号の受信タイミングに対して第１の遅延時間が経過したときに出力される。第１プリパルスレーザ装置Ｌａ１は、第１のトリガ信号に従って、第１プリパルスレーザ光Ｐ１を出力する。第１プリパルスレーザ光Ｐ１は、本開示における第１レーザ光に相当する。

[0032] ＥＵＶ制御部５０は、第２のトリガ信号を、第２プリパルスレーザ装置Ｌａ２に出力する。第２のトリガ信号は、ターゲット検出信号の受信タイミングに対して、第１の遅延時間より長い第２の遅延時間が経過したときに出力される。第２プリパルスレーザ装置Ｌａ２は、第２のトリガ信号に従って、第２プリパルスレーザ光Ｐ２を出力する。第２プリパルスレーザ光Ｐ２は、本開示における第２レーザ光に相当する。

[0033] ＥＵＶ制御部５０は、第３のトリガ信号を、メインパルスレーザ装置Ｌｂに出力する。第３のトリガ信号は、ターゲット検出信号の受信タイミングに対して、第２の遅延時間より長い第３の遅延時間が経過したときに出力される。メインパルスレーザ装置Ｌｂは、第３のトリガ信号に従って、メインパルスレーザ光Ｍを出力する。メインパルスレーザ光Ｍは、本開示における第３レーザ光に相当する。

[0034] このように、レーザシステム３は、第１プリパルスレーザ光Ｐ１、第２プ

リパルスレーザ光Ｐ２、メインパルスレーザ光Ｍを、この順で出力する。第１プリパルスレーザ光Ｐ１は、ピコ秒オーダーのパルス時間幅を有することが好ましい。ピコ秒オーダーとは、１ｐｓ以上、１ｎｓ未満を意味する。第２プリパルスレーザ光Ｐ２のパルス時間幅は、メインパルスレーザ光Ｍのパルス時間幅より短いことが好ましい。図示しない遅延回路が第１～第３の遅延時間を計測し、この遅延回路が第１～第３のトリガ信号をそれぞれのレーザ装置に出力するようにしてもよい。

[0035] ２．２．４　パルスレーザ光の伝送

レーザ光進行方向制御部３４ａに含まれる高反射ミラー３４０は、第１プリパルスレーザ装置Ｌａ１によって出力された第１プリパルスレーザ光Ｐ１の光路に配置されている。高反射ミラー３４０は、第１プリパルスレーザ光Ｐ１を高い反射率で反射する。

[0036] ビームコンバイナ３４３は、高反射ミラー３４０によって反射された第１プリパルスレーザ光Ｐ１の光路と、第２プリパルスレーザ装置Ｌａ２によって出力された第２プリパルスレーザ光Ｐ２の光路とが交差する位置に配置されている。

[0037] 第１プリパルスレーザ光Ｐ１は、偏光方向が紙面に平行な直線偏光とされている。第２プリパルスレーザ光Ｐ２は、偏光方向が紙面に垂直な直線偏光とされている。第１プリパルスレーザ光Ｐ１は、ビームコンバイナ３４３に図中上側から入射する。第２プリパルスレーザ光Ｐ２は、ビームコンバイナ３４３に図中左側から入射する。ビームコンバイナ３４３を構成する偏光子は、第１プリパルスレーザ光Ｐ１を高い透過率で透過させ、第２プリパルスレーザ光Ｐ２を高い反射率で反射する。これにより、ビームコンバイナ３４３は、第１プリパルスレーザ光Ｐ１及び第２プリパルスレーザ光Ｐ２の光路軸をほぼ一致させてビームコンバイナ３４４に導く。

[0038] 高反射ミラー３４１及び３４２は、メインパルスレーザ装置Ｌｂによって出力されたメインパルスレーザ光Ｍの光路に配置されている。高反射ミラー３４１及び３４２は、メインパルスレーザ光Ｍを高い反射率で順次反射する

。

[0039] ビームコンバイナ３４４は、第１プリパルスレーザ光Ｐ１及び第２プリパルスレーザ光Ｐ２の光路と、高反射ミラー３４２によって反射されたメインパルスレーザ光Ｍの光路とが交差する位置に配置されている。

[0040] 第１プリパルスレーザ光Ｐ１及び第２プリパルスレーザ光Ｐ２は、第１の波長成分を含む。メインパルスレーザ光Ｍは、第１の波長成分と異なる第２の波長成分を含む。第１プリパルスレーザ光Ｐ１及び第２プリパルスレーザ光Ｐ２は、ビームコンバイナ３４４に図中上側から入射する。メインパルスレーザ光Ｍは、ビームコンバイナ３４４に図中右側から入射する。ビームコンバイナ３４４を構成するダイクロイックミラーは、第１の波長成分を含む第１プリパルスレーザ光Ｐ１及び第２プリパルスレーザ光Ｐ２を高い反射率で反射し、第２の波長成分を含むメインパルスレーザ光Ｍを高い透過率で透過させる。これにより、ビームコンバイナ３４４は、第１プリパルスレーザ光Ｐ１、第２プリパルスレーザ光Ｐ２、及びメインパルスレーザ光Ｍの光路軸をほぼ一致させて、パルスレーザ光３２として集光光学系２２ａに導く。

[0041] なお、第１プリパルスレーザ光Ｐ１と第２プリパルスレーザ光Ｐ２とが異なる波長成分を有する場合には、ビームコンバイナ３４３も、ダイクロイックミラーで構成することができる。

[0042] ２．２．５ パルスレーザ光の集光

集光光学系２２ａに含まれる軸外放物面ミラー２２１は、パルスレーザ光３２の光路に配置されている。軸外放物面ミラー２２１は、パルスレーザ光３２を平面ミラー２２２に向けて反射する。平面ミラー２２２は、軸外放物面ミラー２２１によって反射されたパルスレーザ光３２を、パルスレーザ光３３として反射する。パルスレーザ光３３は、軸外放物面ミラー２２１の反射面形状に従って集光される。

[0043] 位置調整機構８４は、プレート８２に対するプレート８３の位置を調整する。位置調整機構８４は、ＥＵＶ制御部５０から出力される制御信号により制御される。プレート８３の位置が調整されることにより、軸外放物面ミラ

ー２２１及び平面ミラー２２２の位置が調整される。軸外放物面ミラー２２１及び平面ミラー２２２の位置は、これらのミラーによって反射されたパルスレーザ光３３がプラズマ生成領域２５で集光するように調整される。

[0044] プラズマ生成領域２５又はその近傍において、１つのターゲット２７に、第１プリパルスレーザ光Ｐ１と、第２プリパルスレーザ光Ｐ２と、メインパルスレーザ光Ｍとが、この順で照射される。本明細書においては、図３Ａ～図３Ｃを参照しながら後述する１次ターゲット２７１、２次ターゲット２７２、及び３次ターゲット２７３を総称して「ターゲット２７」と称している。

[0045] 第１プリパルスレーザ光Ｐ１、第２プリパルスレーザ光Ｐ２及びメインパルスレーザ光Ｍがターゲット２７に照射されると、ターゲット２７はプラズマ化し、このプラズマからＥＵＶ光が生成される。なお、本開示はこれに限らず、第１プリパルスレーザ光Ｐ１と第２プリパルスレーザ光Ｐ２との間に、第４レーザ光がターゲットに照射されてもよい。第２プリパルスレーザ光Ｐ２とメインパルスレーザ光Ｍとの間に、第５レーザ光がターゲットに照射されてもよい。

[0046] ２．３ パルスレーザ光を照射されたターゲットの変化

図３Ａ、図３Ｂ、及び図３Ｃは、それぞれ、図２に示されるＥＵＶ光生成システム１１において第１プリパルスレーザ光Ｐ１、第２プリパルスレーザ光Ｐ２及びメインパルスレーザ光Ｍが照射されるときのターゲットの様子を概略的に示す。図３Ｂ及び図３Ｃにおけるドットの粗密は、ターゲット物質の密度に対応する。図３Ｃは、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射後、ターゲット物質のイオンが消失する前にメインパルスレーザ光Ｍが照射される場合を示す。

[0047] 図３Ａ～図３Ｃにおいて、第１プリパルスレーザ光Ｐ１、第２プリパルスレーザ光Ｐ２及びメインパルスレーザ光Ｍは、各図の左側から右側に向けて照射される。破線２７０は、ターゲット２７の軌道及びその延長線を示す。

[0048] ２．３．１ １次ターゲット２７１

図３Ａに、１次ターゲット２７１が示されている。ターゲット供給部２６から出力された後、第１プリパルスレーザ光Ｐ１が照射される前のターゲット２７を、１次ターゲット２７１と称する。１次ターゲット２７１は、ドロップレット状である。１次ターゲット２７１がプラズマ生成領域２５に到達したときに、１次ターゲット２７１に第１プリパルスレーザ光Ｐ１が照射される。

[0049] ２．３．２　２次ターゲット２７２

１次ターゲット２７１に第１プリパルスレーザ光Ｐ１が照射されると、１次ターゲット２７１は破壊され、複数の微粒子となって拡散する。

[0050] 図３Ｂに、２次ターゲット２７２が示されている。第１プリパルスレーザ光Ｐ１が照射された後、第２プリパルスレーザ光Ｐ２が照射される前のターゲット２７を、２次ターゲット２７２と称する。２次ターゲット２７２は、複数の微粒子を含む。

[0051] 図３Ｂに示されるように、ピコ秒オーダーのパルス時間幅を有する第１プリパルスレーザ光Ｐ１が照射されて生成された２次ターゲット２７２は、円環部２７ａと、ドーム部２７ｂとを有する。円環部２７ａは、第１プリパルスレーザ光Ｐ１の光路の下流側にターゲット物質が拡散し、ターゲット物質の密度が比較的高い領域となる。ドーム部２７ｂは、第１プリパルスレーザ光Ｐ１の光路の上流側にターゲット物質が拡散し、ターゲット物質の密度が比較的低い領域となる。なお、光路の上流側とは、光路に沿って光源に近づく方向をいい、光路の下流側とは、光路に沿って光源から離れる方向をいう。この２次ターゲット２７２に、第２プリパルスレーザ光Ｐ２が照射される。

[0052] ２．３．３　３次ターゲット２７３

２次ターゲット２７２に第２プリパルスレーザ光Ｐ２が照射されると、２次ターゲット２７２の一部はさらに細かい複数の微粒子に破壊される。２次ターゲット２７２の他の一部は蒸気となる場合がある。２次ターゲット２７２のさらに他の一部はプラズマとなる場合がある。

[0053] 図３Ｃに、３次ターゲット２７３が示されている。第２プリパルスレーザ光Ｐ２が照射された後、メインパルスレーザ光Ｍが照射される前のターゲット２７を、３次ターゲット２７３と称する。３次ターゲット２７３は、細かい複数の微粒子を含む。３次ターゲット２７３は、蒸気をさらに含む場合がある。細かい複数の微粒子及び蒸気が分散した領域を分散領域２７ｃとする。上述の２次ターゲット２７２において円環部２７ａに高密度で分布していたターゲット物質は、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射によって拡散し、ターゲット物質の密度の偏りが抑制される。

[0054] ３次ターゲット２７３は、プラズマ２７ｄをさらに含む場合がある。プラズマ２７ｄはターゲット物質のイオンを含む。プラズマ２７ｄは、３次ターゲット２７３のうちの第２プリパルスレーザ光Ｐ２の光路の上流側に位置する。プラズマ２７ｄは、２次ターゲット２７２のドーム部２７ｂの一部分が第２プリパルスレーザ光Ｐ２のエネルギーの多くを吸収したことにより、生成されたものと考えられる。この３次ターゲット２７３に、メインパルスレーザ光Ｍが照射される。

[0055] ３次ターゲット２７３にメインパルスレーザ光Ｍが照射されると、３次ターゲット２７３の少なくとも一部はプラズマ化し、このプラズマからＥＵＶ光が生成される。

[0056] ２．４ 課題

３次ターゲット２７３に含まれる細かい複数の微粒子及び蒸気の分散領域２７ｃにおいては、ターゲット物質の密度が低い。このため、３次ターゲット２７３に含まれる細かい複数の微粒子及び蒸気は、メインパルスレーザ光Ｍのエネルギーを吸収しやすい。３次ターゲット２７３がメインパルスレーザ光Ｍのエネルギーを効率的に吸収すれば、３次ターゲット２７３は効率的にプラズマ化する。

[0057] しかしながら、３次ターゲット２７３のプラズマ２７ｄに含まれるイオンが、メインパルスレーザ光Ｍを反射し、あるいは吸収する場合がある。例えばイオンにCO_2レーザ光を照射する場合、イオンの密度が10^{16} atoms/cm^3を超

えていると、イオンによってレーザ光が反射あるいは吸収される成分が増大するとの報告もある。メインパルスレーザ光Ｍのエネルギーのうち、プラズマ２７ｄに含まれるイオンによって反射され、あるいは吸収された部分は、分散領域２７ｃに到達しない場合がある。

[0058] 図３Ｄは、ＥＵＶ光の発光領域２７ｅを示す。メインパルスレーザ光Ｍのエネルギーの一部がプラズマ２７ｄに含まれるイオンに吸収されると、プラズマ２７ｄが高温に加熱される。しかし、分散領域２７ｃに存在する細かい複数の微粒子及び蒸気の一部がプラズマ化せず、ＥＵＶ光の生成に寄与しない可能性がある。ＥＵＶ光の発光領域２７ｅは、図３Ｃに示されるプラズマ２７ｄの領域と同等の狭い領域となる可能性がある。この場合、レーザ光のエネルギーからＥＵＶ光のエネルギーへの変換効率が低いものとなり得る。この変換効率をＣＥと称する。

[0059] ２．５ ３次ターゲット２７３の挙動

本発明者は、３次ターゲット２７３に含まれるプラズマ２７ｄの挙動を観測した。

図４Ａ～図４Ｊは、第２プリパルスレーザ光Ｐ２照射後の経過時間ごとにおける３次ターゲット２７３を可視光により撮像した画像を示す。図４Ａに示される１枚目の画像は、第２プリパルスレーザ光Ｐ２照射から１０ｎｓ経過したときの画像であり、図４Ｂ～図４Ｊに示される２枚目以降の画像は、さらに１０ｎｓずつ経過したときの画像である。図４Ｊに示される１０枚目の画像は、第２プリパルスレーザ光Ｐ２照射から１００ｎｓ経過したときの画像に相当する。図４Ａ～図４Ｊにおいて、第２プリパルスレーザ光Ｐ２は、図３Ｂにおける第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射方向と異なり、図の右側から左側へ向かう方向に照射されたものとする。図４Ａ～図４Ｊの中心が、プラズマ生成領域２５のほぼ中心に相当する。

[0060] 図４Ａ～図４Ｊは、図２を参照しながら説明した光源４６のような光源を点灯することなく撮影されたものである。図４Ａ～図４Ｊは、プラズマ２７ｄから放出された光の可視光成分を観測したものということができる。その

ような光が観測されない場合は、光を放出する励起状態のターゲット物質がほぼ存在せず、ターゲット物質のイオンもほとんど存在しないと考えられる。

[0061] 図５は、図４Ａ～図４Ｊに示される画像から得られた発光強度の変化を示すグラフである。図５に示される発光強度は、これらの画像における第２プリパルスレーザ光Ｐ２のビーム中心軸に沿った輝度の積分値を用いて算出された値であり、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射から１０ｎｓ経過したときの値を１とした場合の相対値である。第２プリパルスレーザ光Ｐ２のビーム中心軸は、図４Ａ～図４Ｊのほぼ中心を通る水平な直線である。

[0062] 図４Ａに示されるように、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射から１０ｎｓ経過したときには、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の光路の上流側に、ほぼ三日月形の強い発光領域が存在している。この発光領域の形状は、図３Ｃに示されるプラズマ２７ｄの形状に相当すると考えられる。

[0063] 図４Ｂ及び図５に示されるように、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射から２０ｎｓ経過したときには、発光の強さは弱くなり始めるとともに、発光領域は拡散している。これは、イオンの一部が中和してイオンの数が減少していることと、イオンの分布領域が拡散していることと、を示していると考えられる。

[0064] 図４Ｃ～図４Ｉ及び図５に示されるように、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射からの経過時間が長くなるに従って、発光の強さはさらに弱くなり、発光領域も狭くなっている。図４Ｊ及び図５に示されるように、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射から１００ｎｓ経過したときには、発光の強さは、ほぼ検出限界値にまで低下している。第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射から１００ｎｓ経過したときには、ターゲット物質のイオンが存在しなくなったと考えられる。

[0065] 図４Ａ～図４Ｊ及び図５に示される結果から、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射後、ある程度の時間が経過すれば、図３Ｃに示されるようなプラズマ２７ｄ及びこれに含まれるイオンが消失することがわかった。

[0066] ２．６　イオン消失後のメインパルス照射

図６Ａは、プラズマ２７ｄ及びこれに含まれるイオンが消失した状態の３次ターゲット２７３にメインパルスレーザ光Ｍが照射されるときの３次ターゲット２７３の様子を概略的に示す。第２プリパルスレーザ光Ｐ２照射後、プラズマ２７ｄ及びこれに含まれるイオンが消失すると、細かい複数の微粒子及び蒸気が分散領域２７ｃに残留すると考えられる。このような細かい複数の微粒子及び蒸気を、イオンと区別して中性粒子と称する。

[0067] 図６Ａに示される３次ターゲット２７３において、メインパルスレーザ光Ｍのエネルギーは、細かい複数の微粒子及び蒸気の分散領域２７ｃのほぼ全体に到達すると考えられる。

[0068] 図６Ｂは、ＥＵＶ光の発光領域２７ｆを示す。メインパルスレーザ光Ｍのエネルギーが分散領域２７ｃのほぼ全体に到達すると、３次ターゲット２７３の多くの部分がプラズマ化することが期待される。また、ＥＵＶ光の発光領域２７ｆは、メインパルスレーザ光Ｍがプラズマ２７ｄ及びこれに含まれるイオンに照射された場合のＥＵＶ光の発光領域２７ｅよりも広い領域となる。これにより、ＣＥが向上すると考えられる。

[0069] 図７は、ＥＵＶ光生成システムにおけるＣＥの測定結果を示すグラフである。図７において、横軸は第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射タイミングを示し、縦軸はＣＥを示す。図７において、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射タイミングは、メインパルスレーザ光Ｍの照射タイミングを０としたとき、メインパルスレーザ光Ｍの照射タイミングから遡った時間として示されている。

[0070] ＣＥは、以下の条件で測定された。

ターゲット２７としては、液体のスズが用いられた。ターゲット２７の直径は、２１μｍ～２２μｍの範囲であった。

[0071] 第１プリパルスレーザ光Ｐ１として、波長１．０６μｍのパルスレーザ光が用いられた。第１プリパルスレーザ光Ｐ１の半値全幅によるパルス幅は１４ｐｓであった。第１プリパルスレーザ光Ｐ１の集光径は、ターゲットへの

照射位置におけるピーク強度の１／ｅ^{2}以上の光強度を有する部分の直径で表した場合に、７０μｍとした。

第１プリパルスレーザ光Ｐ１のフルーエンスは、５．２Ｊ／ｃｍ^{2}とした。第１プリパルスレーザ光Ｐ１の照射タイミングは、メインパルスレーザ光Ｍの照射タイミングを０としたとき、メインパルスレーザ光Ｍの照射タイミングから遡って－１．１μｓのタイミングとした。

[0072] 第２プリパルスレーザ光Ｐ２として、波長１．０６μｍのパルスレーザ光が用いられた。第２プリパルスレーザ光Ｐ２の半値全幅によるパルス幅は５ｎｓであった。第２プリパルスレーザ光Ｐ２の集光径は、ターゲットへの照射位置におけるピーク強度の１／ｅ^{2}以上の光強度を有する部分の直径で表した場合に、４００μｍとした。

第２プリパルスレーザ光Ｐ２のフルーエンスとして、２．４Ｊ／ｃｍ^2、１．６Ｊ／ｃｍ^2、０．８Ｊ／ｃｍ^2、及び０Ｊ／ｃｍ^{2}の４種類を設定した。０Ｊ／ｃｍ^{2}の場合というのは、第２プリパルスレーザ光Ｐ２を照射しない場合に相当する。そして、第２プリパルスレーザ光Ｐ２のフルーエンスの設定値ごとに、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射タイミングを－０．６μｓ～０μｓの範囲で変化させながらＣＥを測定した。

[0073] メインパルスレーザ光Ｍとして、波長１０．６μｍのパルスレーザ光が用いられた。メインパルスレーザ光Ｍの半値全幅によるパルス幅は１５ｎｓであった。メインパルスレーザ光Ｍの集光径は、ターゲットへの照射位置におけるピーク強度の１／ｅ^{2}以上の光強度を有する部分の直径で表した場合に、３００μｍとした。

[0074] 図７に示される結果から、以下のことが理解される。

第２プリパルスレーザ光Ｐ２のフルーエンスを２．４Ｊ／ｃｍ^{2}とした場合、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射タイミングが－０．１μｓである場合に、ＣＥが最高値を示した。

第２プリパルスレーザ光Ｐ２のフルーエンスを１．６Ｊ／ｃｍ^{2}とした場合、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射タイミングが－０．１４μｓである場

合に、ＣＥが最高値を示した。

第２プリパルスレーザ光Ｐ２のフルーエンスを０．８Ｊ／ｃｍ^{2}とした場合、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射タイミングが－０．３μｓである場合に、ＣＥが最高値を示した。

[0075] 図７に示される結果から、第２プリパルスレーザ光Ｐ２照射からの経過時間が１００ｎｓ以上、３００ｎｓ以下の範囲でメインパルスレーザ光Ｍをターゲットに照射することにより、高いＣＥが得られることがわかる。

図４Ａ～図４Ｊ及び図５に示される結果と、図７に示される結果とを併せると、イオンが消失した後にメインパルスレーザ光Ｍをターゲットに照射することにより、高いＣＥが得られると考えられる。また上述より、第２プリパルスレーザ光Ｐ２照射からの経過時間が１００ｎｓ以上、３００ｎｓ以下の範囲では、メインパルスレーザ光Ｍを照射したターゲットのイオンの密度は10^{16} atoms/cm^{3}以下であったため高いＣＥが得られたと推測できる。但し、第２プリパルスレーザ光Ｐ２照射から３００ｎｓ経過した後は、３次ターゲット２７３の密度が最適範囲外となる可能性がある。

[0076] 以下に説明される実施形態においては、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射によって生成されたイオンが消失した後に、メインパルスレーザ光Ｍがターゲットに照射される。

これにより、メインパルスレーザ光のエネルギーが効率的にターゲットに吸収され、ＣＥが向上する。ここで、「イオンが消失した」とは、メインパルスレーザ光Ｍの光路上のイオンの密度が10^{16} atoms/cm^{3}以下になったことを意味してもよい。

[0077] ３．第２プリパルスレーザ光Ｐ２照射後の時間を計測するタイマーを備えたＥＵＶ光生成システム

図８は、本開示の第１の実施形態に係るＥＵＶ光生成システム１１ａを概略的に示す。第１の実施形態において、ＥＵＶ光生成制御部５は、上述のＥＵＶ制御部５０の他に、タイマー５２と、メモリー５３と、を含む。

[0078] ３．１ 所要時間をタイマーが保持する例

ＥＵＶ制御部５０は、上記第２のトリガ信号と同期したタイマーの計測開始信号を、タイマー５２に出力するように構成されている。

ＥＵＶ制御部５０は、タイマー５２の出力信号を受信するように構成されている。ＥＵＶ制御部５０は、タイマー５２の出力信号に基づいて、上記第３のトリガ信号を出力するように構成されている。

[0079] タイマー５２は、ＥＵＶ制御部５０からタイマーの計測開始信号を受信するように構成されている。タイマー５２は、タイマーの計測開始信号を受信した後の時間を計測するように構成されている。

[0080] タイマー５２は、予め定められた一定時間の計測を終了したときに、計測終了を示す出力信号をＥＵＶ制御部５０に出力する。予め定められた一定時間は、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射によって生成されたイオンが消失するまでの所要時間に相当する。この所要時間は、例えば、１００ｎｓ以上、３００ｎｓ以下である。

ＥＵＶ制御部５０は、タイマー５２から計測終了を示す出力信号を受信した場合に、上記第３のトリガ信号を出力する。

[0081] ３．２　所要時間をメモリーが保持する例

タイマー５２は、予め定められた一定時間を計測する代わりに、タイマーの計測開始信号を受信した後の時間を示す出力信号をＥＵＶ制御部５０に随時出力してもよい。

[0082] その場合、ＥＵＶ制御部５０は、メモリー５３から、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射によって生成されたイオンが消失するまでの所要時間のデータを予め読み出しておく。この所要時間は、例えば、１００ｎｓ以上、３００ｎｓ以下である。メモリー５３は、所要時間のデータとして、例えば、要求されるＥＵＶ光のエネルギーの値に応じて複数の値を保持していてもよい。ＥＵＶ制御部５０は、タイマー５２から受信した計測開始後の時間と、メモリー５３から読み出した所要時間と、を比較する。ＥＵＶ制御部５０は、タイマー５２から受信した計測開始後の時間が、メモリー５３から読み出した所要時間に達した場合に、上記第３のトリガ信号を出力する。メモリー５

３は、本開示における記憶部に相当する。

[0083] ３．３　その他

以上の構成により、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射によって生成されたイオンが消失した後に、メインパルスレーザ光Ｍがターゲットに照射される。「イオンが消失した」とは、少なくともメインパルスレーザ光Ｍの光路からイオンが消失したことを意味し、メインパルスレーザ光Ｍの光路外にイオンが存在していても構わない。

換言すれば、メインパルスレーザ光Ｍは、ターゲットを構成する元素のイオンが消失して残留した中性粒子に照射される。

さらに換言すれば、メインパルスレーザ光Ｍは、ターゲットの一部に照射されるがターゲットを構成する元素のイオンには照射されないように制御される。

あるいは、メインパルスレーザ光Ｍは、イオンの密度が10^{16} atoms/cm^3以下になったターゲットに照射される。

[0084] 他の点については、上述の比較例と同様でよい。

第１の実施形態によれば、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射によって生成されたイオンが消失するまでの所要時間を正確に計測してメインパルスレーザ光Ｍをターゲット２７に照射することができる。これにより、ＣＥが向上し得る。必ずしも、イオンが消失したか否かをその都度確認する必要はなく、所要時間を予め実験で求めておいてもよい。

[0085] ４．イオン検出器を備えたＥＵＶ光生成システム

図９は、本開示の第２の実施形態に係るＥＵＶ光生成システム１１ｂを概略的に示す。第２の実施形態において、チャンバ２にはイオン検出器７が取り付けられている。

[0086] ４．１　継続的にイオンの有無を監視する例

イオン検出器７は、図示しない光センサと、図示しない光学系と、を含む。光センサは、例えばフォトダイオードで構成される。光学系は、プラズマ生成領域２５近傍の光をフォトダイオードに集光するように構成される。

第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射によって生成されたイオンから放出された光がフォトダイオードに入射すると、フォトダイオードに起電力が生じ、電流が流れる。この電流が、イオン検出信号としてＥＵＶ制御部５０に出力される。

[0087] あるいは、イオン検出器７は、プラズマ生成領域２５近傍に配置されたイオンコレクターを含んでもよい。イオンコレクターは、図示しないグリッド電極と、図示しないカソード電極と、を含む。グリッド電極は、プラズマ生成領域２５とカソード電極との間に、カソード電極と離間して配置される。グリッド電極にはマイナスの電位が印加される。カソード電極には図示しないバッファ回路が接続される。イオンがグリッド電極を通過してカソード電極に到達すると、カソード電極の電位が上昇し、バッファ回路を介して電流が流れる。この電流が、イオン検出信号としてＥＵＶ制御部５０に出力される。

[0088] ＥＵＶ制御部５０は、第２のトリガ信号を第２プリパルスレーザ装置Ｌａ２に出力した後、イオン検出器７からのイオン検出信号を監視する。ＥＵＶ制御部５０は、イオン検出器７がイオンを検出しなくなった後に、上記第３のトリガ信号を出力するように、第２のトリガ信号から第３トリガ信号までの時間差を設定する。

[0089] ４．２　特定タイミングでのイオンの有無を判定する例

あるいは、イオン検出器７は、プラズマ生成領域２５近傍の発光源を撮像する図示しないカメラを含んでもよい。カメラは高速シャッターを備える。高速シャッターは、ＥＵＶ制御部５０が第２のトリガ信号を出力した後の所定のタイミングで開閉するように、ＥＵＶ制御部５０によって制御される。

[0090] ＥＵＶ制御部５０は、例えば、第２のトリガ信号を出力した後１００ｎｓ経過したときにカメラの高速シャッターを開閉させる。ＥＵＶ制御部５０は、高速シャッターの開閉後、第３のトリガ信号を出力する。ＥＵＶ制御部５０は、カメラによって撮像された画像の所定部分の輝度を計測する。

ＥＵＶ制御部５０は、輝度が所定値を超えない場合、イオンが消失したと

判定し、高速シャッターの開閉タイミングと、第３のトリガ信号の出力タイミングとを維持する。

ＥＵＶ制御部５０は、輝度が所定値を超えた場合、イオンが消失していないと判定し、高速シャッターの開閉タイミングを例えば上述の１００ｎｓから１１０ｎｓに変更する。ＥＵＶ制御部５０は、高速シャッターの開閉タイミングの変更に応じて、第３のトリガ信号の出力タイミングも変更する。

[0091] ４．３　その他

以上の構成により、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射によって生成されたイオンが消失した後に、メインパルスレーザ光Ｍがターゲットに照射される。「イオンが消失した」とは、少なくともメインパルスレーザ光Ｍの光路からイオンが消失したことを意味し、メインパルスレーザ光Ｍの光路外にイオンが存在していても構わない。

換言すれば、メインパルスレーザ光Ｍは、ターゲットを構成する元素のイオンが消失して残留した中性粒子に照射される。

さらに換言すれば、メインパルスレーザ光Ｍは、ターゲットの一部に照射されるがターゲットを構成する元素のイオンには照射されないように制御される。

あるいは、メインパルスレーザ光Ｍは、イオンの密度が10^{16} atoms/cm^3以下になったターゲットに照射される。

[0092] 他の点については、上述の比較例と同様でよい。

第２の実施形態によれば、イオンが消失したか否かを判定し、適切なタイミングでメインパルスレーザ光Ｍをターゲット２７に照射することができる。これにより、ＣＥが向上し得る。必ずしも、イオンが消失するまでの所要時間を予め求めておく必要はなく、要求されるＥＵＶ光のエネルギーの値や、第２プリパルスレーザ光Ｐ２のフルーエンスの値などの運転条件の変更に柔軟に対応できる。

[0093] ５．補足

上記の説明は、制限ではなく単なる例示を意図したものである。従って、

添付の特許請求の範囲を逸脱することなく本開示の実施形態に変更を加えることができることは、当業者には明らかであろう。

[0094] 本明細書及び添付の特許請求の範囲全体で使用される用語は、「限定的でない」用語と解釈されるべきである。例えば、「含む」又は「含まれる」という用語は、「含まれるものとして記載されたものに限定されない」と解釈されるべきである。「有する」という用語は、「有するものとして記載されたものに限定されない」と解釈されるべきである。また、本明細書及び添付の特許請求の範囲に記載される修飾句「１つの」は、「少なくとも１つ」又は「１又はそれ以上」を意味すると解釈されるべきである。

請求の範囲

[請求項1] 所定領域に向けてターゲットを出力するターゲット供給部と、

前記ターゲットに照射される第１レーザ光と、前記第１レーザ光が照射された前記ターゲットに照射される第２レーザ光と、前記第２レーザ光が照射された前記ターゲットに照射される第３レーザ光と、を出力するレーザシステムと、

少なくとも前記第３レーザ光の光路から前記ターゲットを構成する元素のイオンが消失した後に前記第３レーザ光が前記ターゲットに照射されるように、前記レーザシステムを制御する制御部と、

を備える極端紫外光生成装置。

[請求項2] 前記制御部は、

前記第２レーザ光が出力されるように前記制御部が前記レーザシステムにトリガ信号を出力した後の時間を計測するタイマーをさらに備え、

前記タイマーの出力に基づいて前記レーザシステムを制御する、

請求項１記載の極端紫外光生成装置。

[請求項3] 前記第２レーザ光が前記ターゲットに照射されてから、前記第３レーザ光の光路から前記ターゲットを構成する元素のイオンが消失するまでの所要時間のデータを保持する記憶部をさらに備え、

前記制御部は、前記記憶部に保持された所要時間と、前記タイマーの出力との比較結果に基づいて前記レーザシステムを制御する、

請求項２記載の極端紫外光生成装置。

[請求項4] 前記所要時間は、１００ｎｓ以上、３００ｎｓ以下である

請求項３記載の極端紫外光生成装置。

[請求項5] 前記ターゲットを構成する元素のイオンを検出するイオン検出器をさらに備え、

前記制御部は、前記イオン検出器の出力に基づいて前記レーザシステムを制御する、

請求項１記載の極端紫外光生成装置。

[請求項6] 前記制御部は、前記イオン検出器によって検出されるイオンがなくなった後、前記第３レーザ光が前記ターゲットに照射されるように、前記レーザシステムを制御する、

請求項５記載の極端紫外光生成装置。

[請求項7] 所定領域に向けてターゲットを出力するターゲット供給部と、

前記ターゲットに照射される第１レーザ光と、前記第１レーザ光が照射された前記ターゲットに照射される第２レーザ光と、前記第２レーザ光が照射された前記ターゲットに照射される第３レーザ光と、を出力するレーザシステムと、

前記ターゲットを構成する元素のイオンが消失して残留した中性粒子に前記第３レーザ光が照射されるように前記レーザシステムを制御する制御部と、

を備える極端紫外光生成装置。

[請求項8] 前記制御部は、

前記第２レーザ光が出力されるように前記制御部が前記レーザシステムにトリガ信号を出力した後の時間を計測するタイマーをさらに備え、

前記タイマーの出力に基づいて前記レーザシステムを制御する、

請求項７記載の極端紫外光生成装置。

[請求項9] 前記第２レーザ光が前記ターゲットに照射されてから、前記第３レーザ光の光路から前記ターゲットを構成する元素のイオンが消失するまでの所要時間のデータを保持する記憶部をさらに備え、

前記制御部は、前記記憶部に保持された所要時間と、前記タイマーの出力との比較結果に基づいて前記レーザシステムを制御する、

請求項８記載の極端紫外光生成装置。

[請求項10] 前記所要時間は、１００ｎｓ以上、３００ｎｓ以下である

請求項９記載の極端紫外光生成装置。

[請求項11] 前記ターゲットを構成する元素のイオンを検出するイオン検出器をさらに備え、

前記制御部は、前記イオン検出器の出力に基づいて前記レーザシステムを制御する、

請求項７記載の極端紫外光生成装置。

[請求項12] 前記制御部は、前記イオン検出器によって検出されるイオンがなくなった後、前記第３レーザ光が前記ターゲットに照射されるように、前記レーザシステムを制御する、

請求項１１記載の極端紫外光生成装置。

[請求項13] 所定領域に向けてターゲットを出力するターゲット供給部と、

前記ターゲットに照射される第１レーザ光と、前記第１レーザ光が照射された前記ターゲットに照射される第２レーザ光と、前記第２レーザ光が照射された前記ターゲットに照射される第３レーザ光と、を出力するレーザシステムと、

前記第３レーザ光が、前記ターゲットの一部に照射されるが前記ターゲットを構成する元素のイオンには照射されないように、前記レーザシステムを制御する制御部と、

を備える極端紫外光生成装置。

[請求項14] 前記制御部は、

前記第２レーザ光が出力されるように前記制御部が前記レーザシステムにトリガ信号を出力した後の時間を計測するタイマーをさらに備え、

前記タイマーの出力に基づいて前記レーザシステムを制御する、

請求項１３記載の極端紫外光生成装置。

[請求項15] 前記第２レーザ光が前記ターゲットに照射されてから、前記第３レーザ光の光路から前記ターゲットを構成する元素のイオンが消失するまでの所要時間のデータを保持する記憶部をさらに備え、

前記制御部は、前記記憶部に保持された所要時間と、前記タイマー

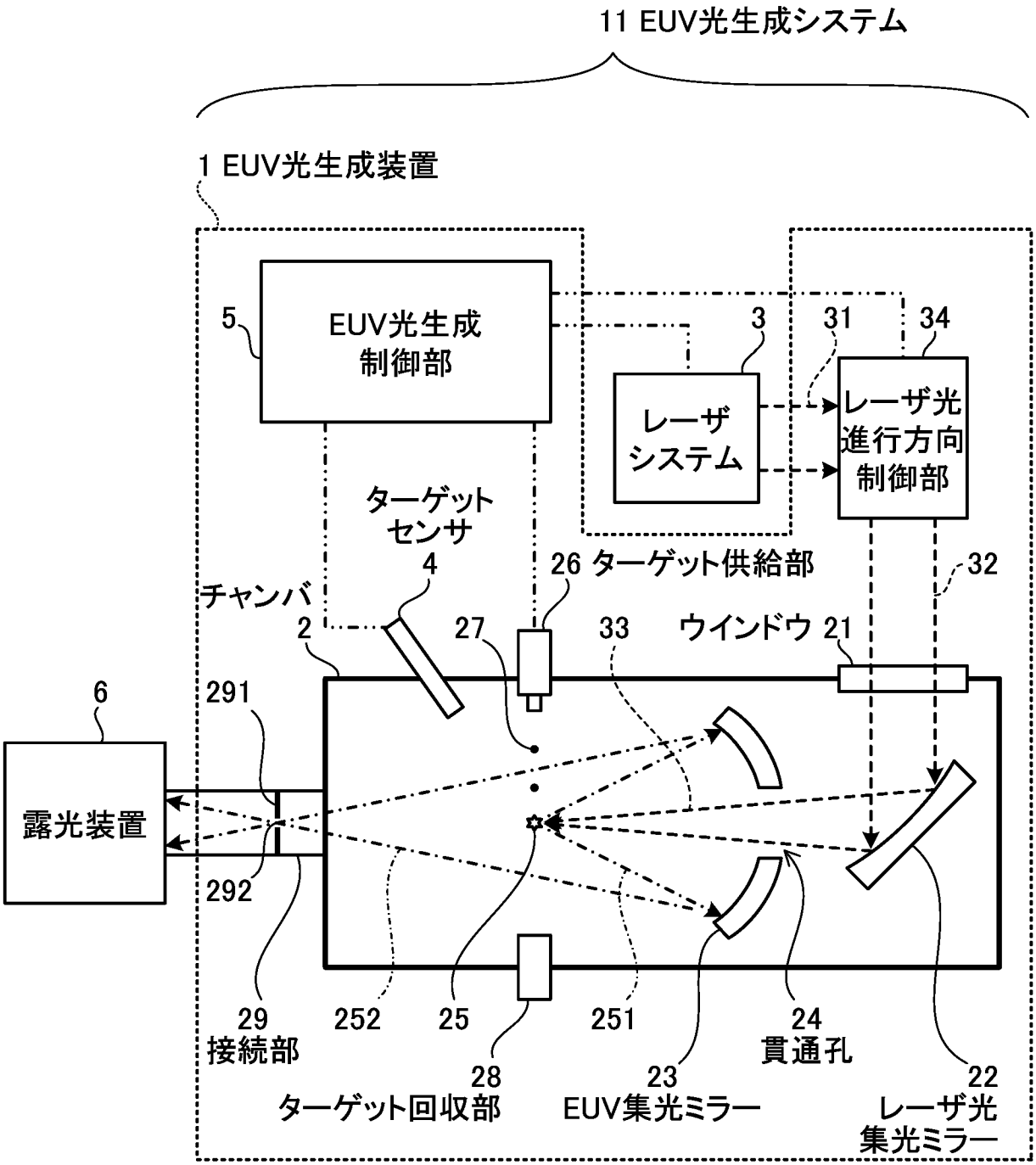
の出力との比較結果に基づいて前記レーザシステムを制御する、
請求項１４記載の極端紫外光生成装置。

[請求項16] 前記所要時間は、１００ｎｓ以上、３００ｎｓ以下である
請求項１５記載の極端紫外光生成装置。

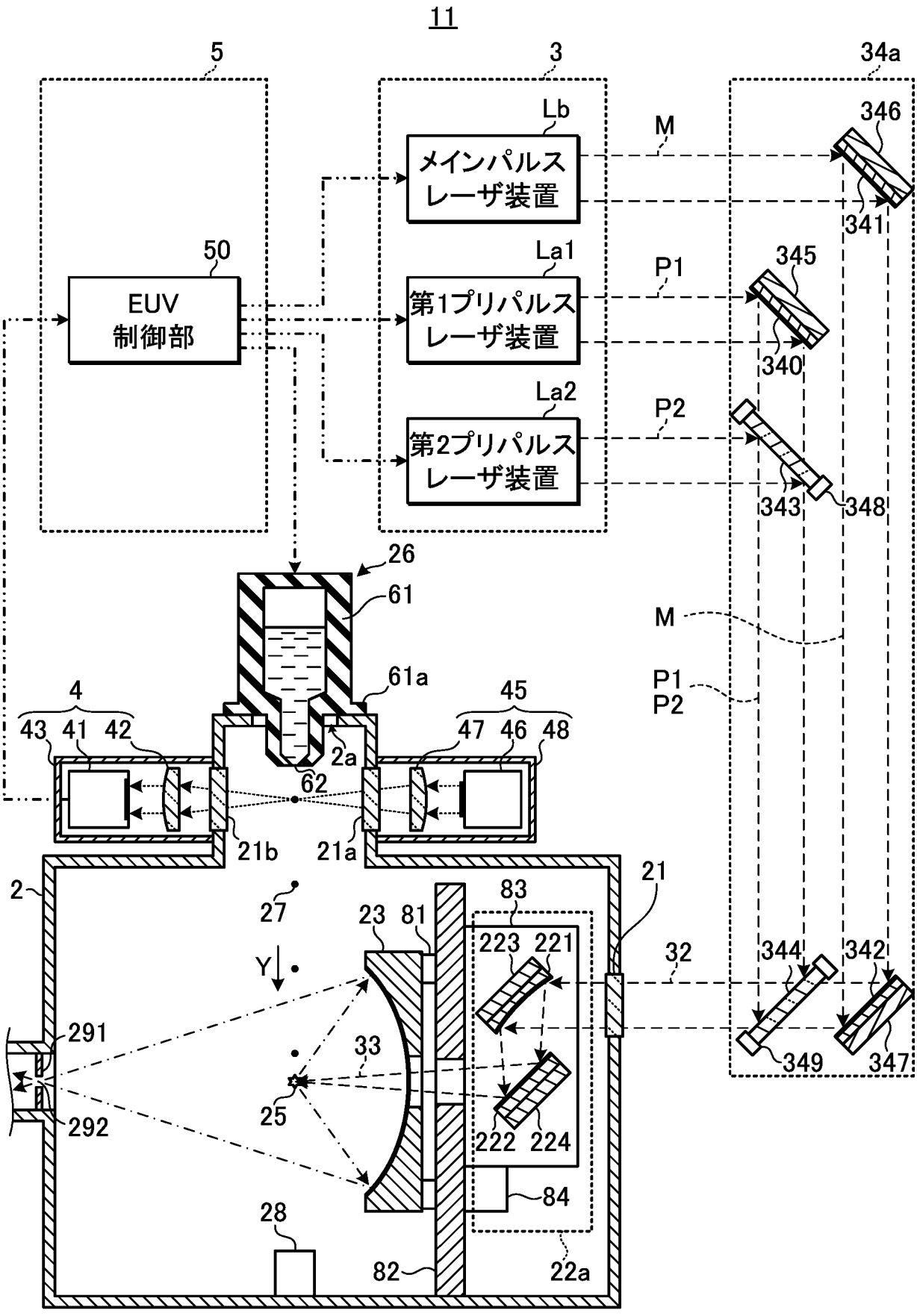
[請求項17] 前記ターゲットを構成する元素のイオンを検出するイオン検出器をさらに備え、
前記制御部は、前記イオン検出器の出力に基づいて前記レーザシステムを制御する、
請求項１３記載の極端紫外光生成装置。

[請求項18] 前記制御部は、前記イオン検出器によって検出されるイオンがなくなった後、前記第３レーザ光が前記ターゲットに照射されるように、前記レーザシステムを制御する、
請求項１７記載の極端紫外光生成装置。

[図1]


11 EUV光生成システム
1 EUV光生成装置
5
EUV光生成
制御部
3
31
34
レーザ
システム
レーザ光
進行方向
制御部
ターゲット
センサ
4
26 ターゲット供給部
32
チャンバ
2
27
33
ウインドウ 21
6
291
露光装置
292
29
接続部
252
25
251
24
貫通孔
28
ターゲット回収部
23
EUV集光ミラー
22
レーザ光
集光ミラー

[図2]


11
5
3
34a
Lb
メインパルス
レーザ装置
M
346
341
50
EUV
制御部
La1
第1プリパルス
レーザ装置
P1
345
340
La2
第2プリパルス
レーザ装置
P2
343
348
26
61
61a
M
P1
P2
4
43 41 42
45
47 46 48
2a
62
21b
21a
2
27
23 81
83
21
223 221
32
344
342
Y
291
33
292
25
222 224
349
347
84
28
82
22a

[図3]

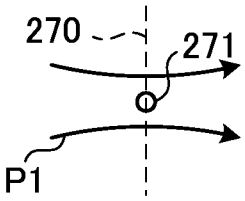


図3A

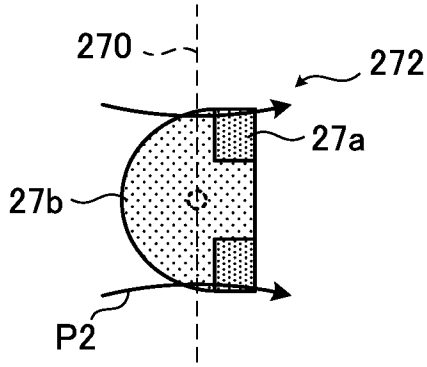


図3B

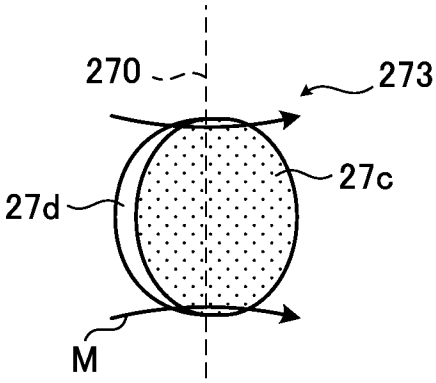


図3C

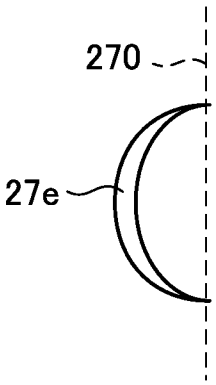


図3D

[図4]

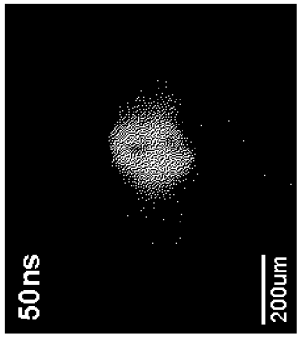


図 4A

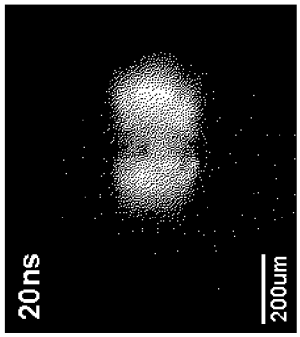


図 4B

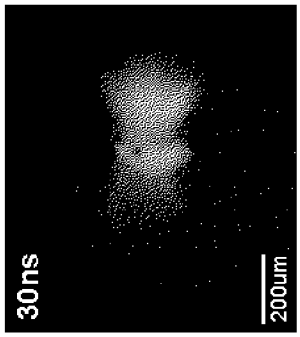


図 4C

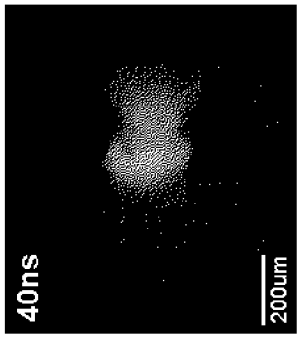


図 4D

図 4E

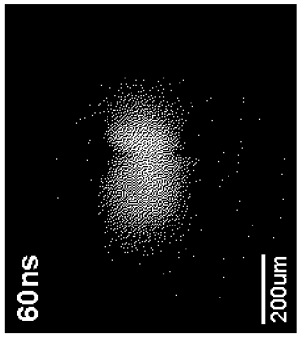


図 4F

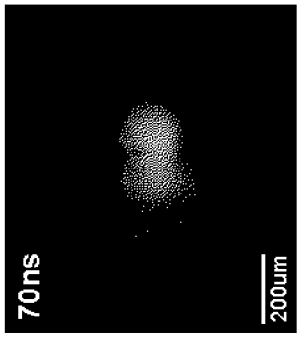


図 4G

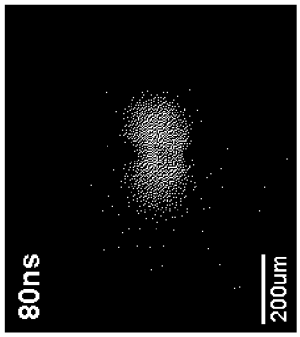


図 4H

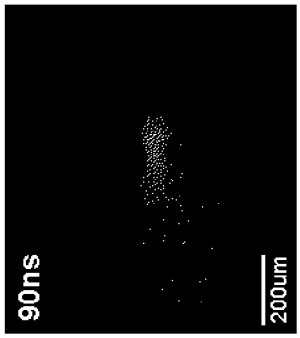


図 4I

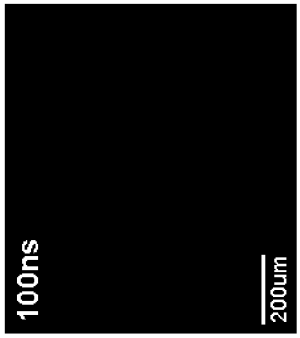
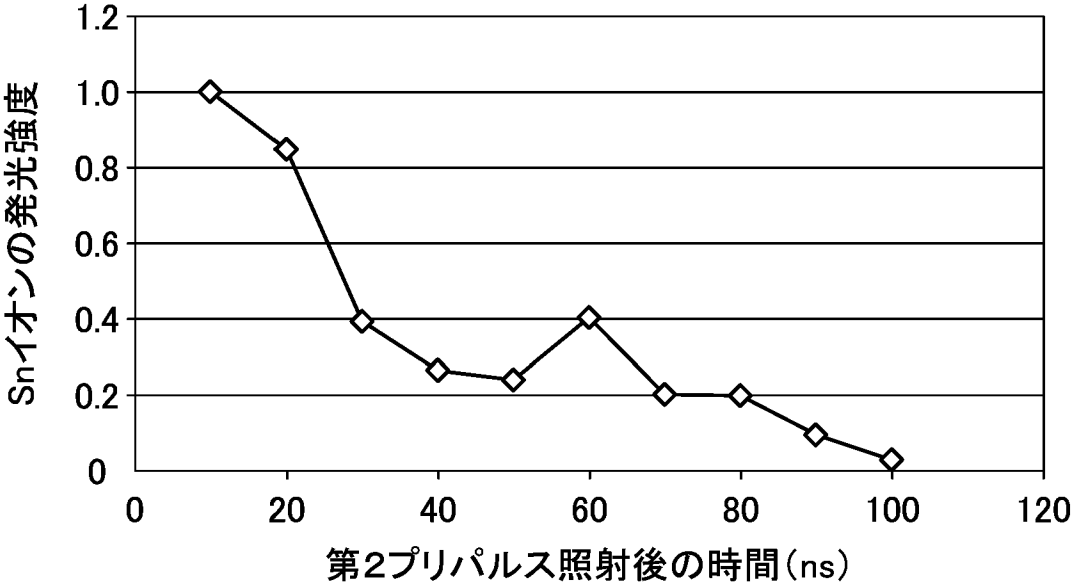


図 4J

[図5]


1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
Snイオンの発光強度
0
20
40
60
80
100
120
第2プリパルス照射後の時間(ns)

[図6]

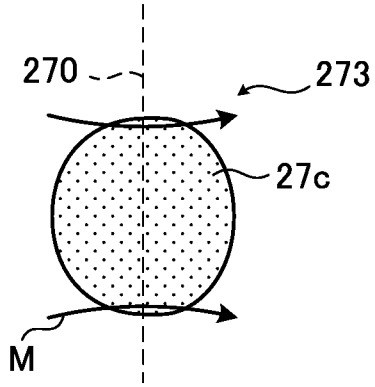

270
273
27c
M

図6A

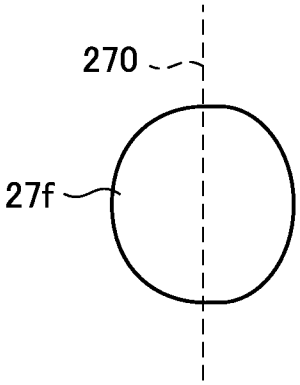
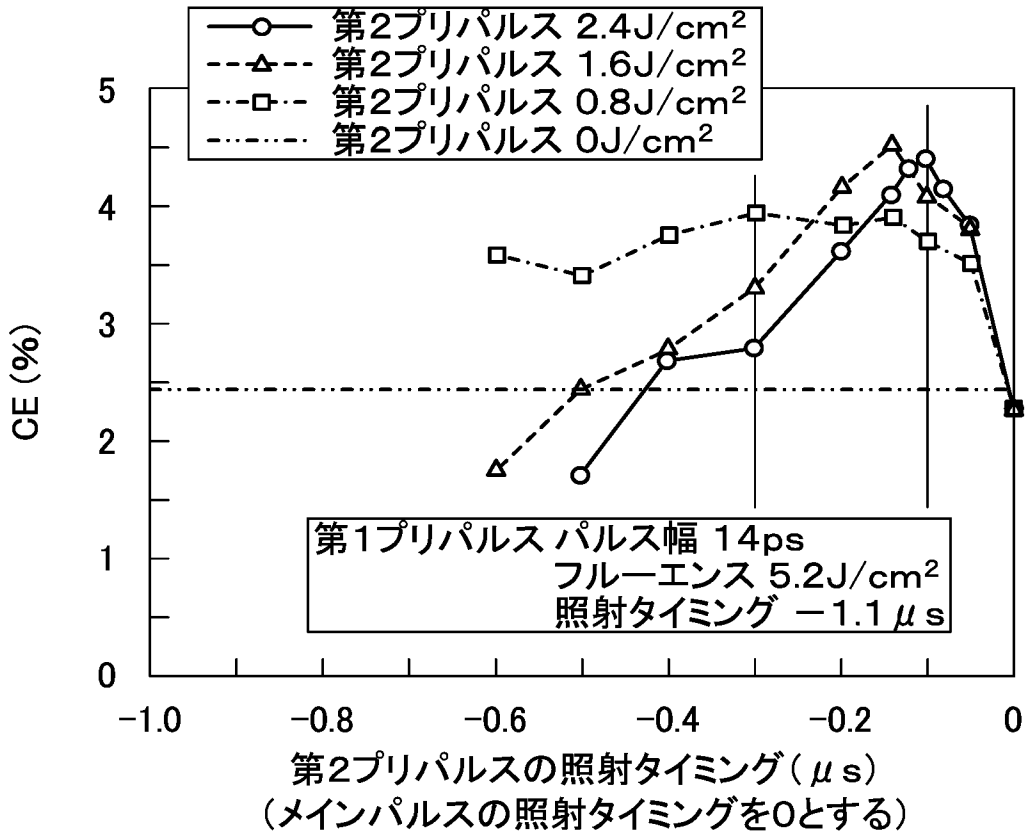
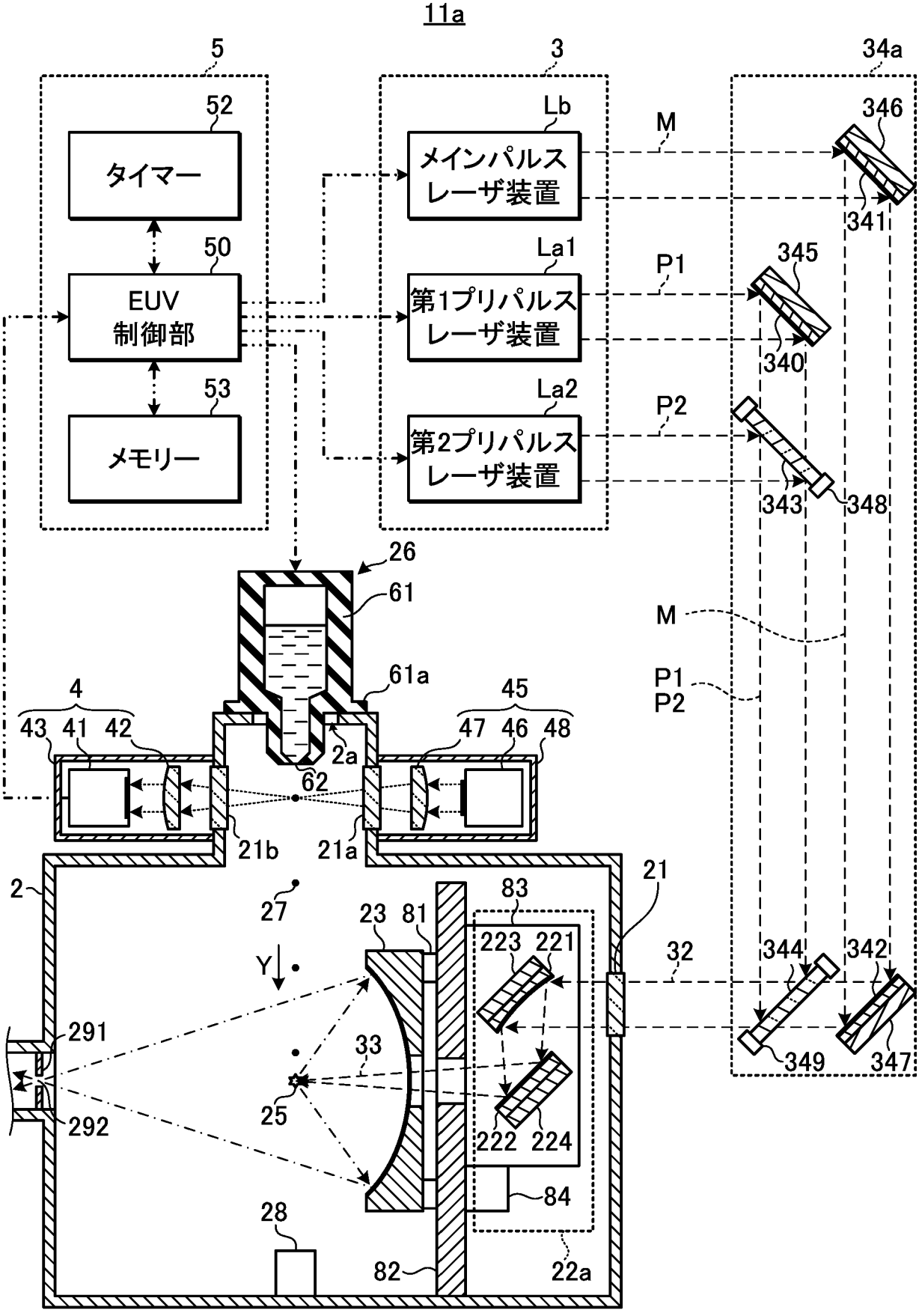

270
27f

図6B

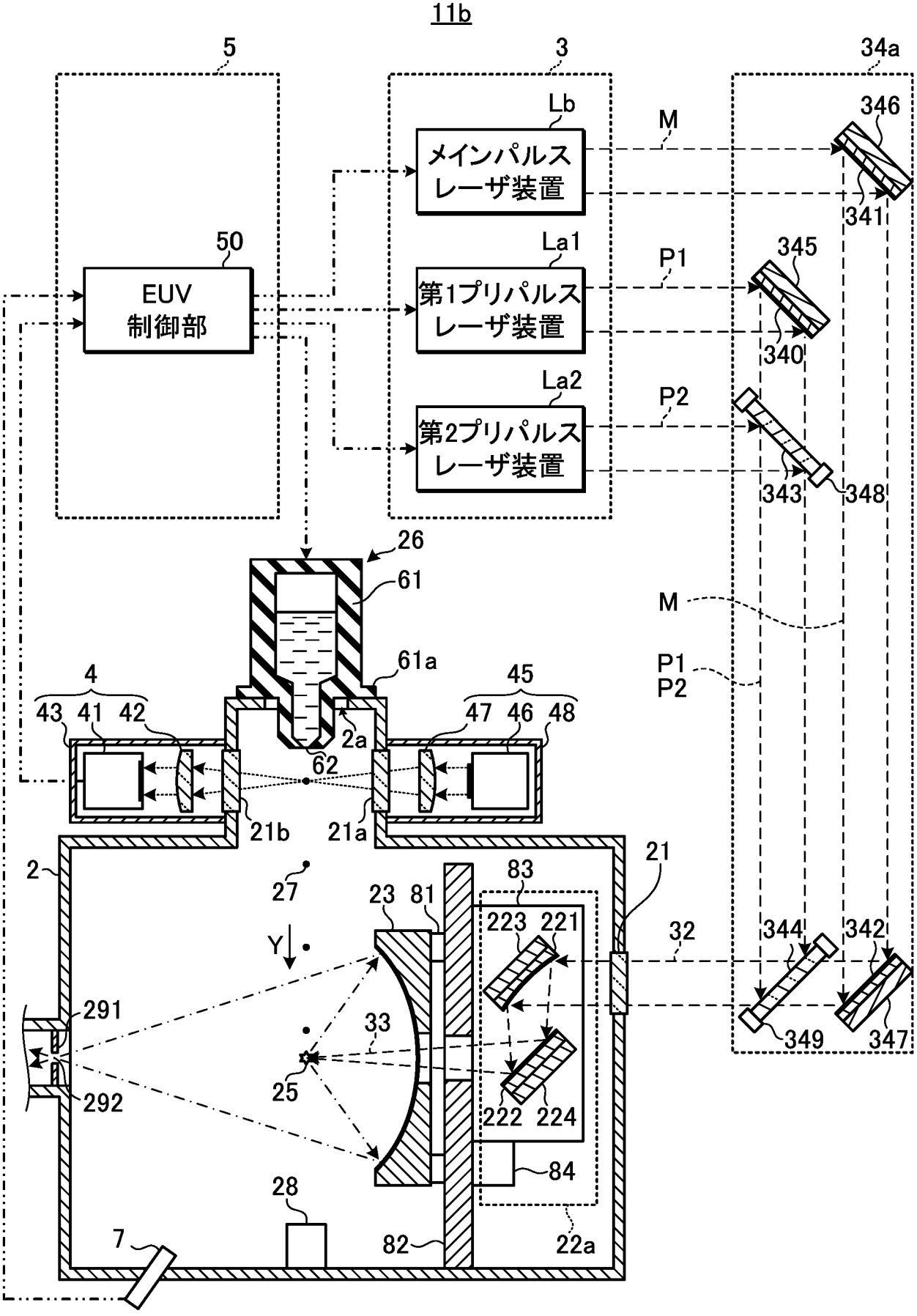
[図7]


第2プリパルス 2.4J/cm2
第2プリパルス 1.6J/cm2
第2プリパルス 0.8J/cm2
第2プリパルス 0J/cm2
第1プリパルス パルス幅 14ps
フルーエンス 5.2J/cm2
照射タイミング −1.1μs
CE (%)
0
1
2
3
4
5
−1.0
−0.8
−0.6
−0.4
−0.2
0
第2プリパルスの照射タイミング（μs）
（メインパルスの照射タイミングを0とする）

[図8]


11a
5
3
34a
52
タイマー
50
EUV
制御部
53
メモリー
Lb
メインパルス
レーザ装置
La1
第1プリパルス
レーザ装置
La2
第2プリパルス
レーザ装置
M
P1
P2
346
341
345
340
343
348
26
61
61a
4
43 41 42
45
47 46 48
2a
62
21b
21a
21
2
27
23 81
83
223 221
Y
291
292
33
25
222 224
84
28
82
22a
32
344
342
349
347

[図9]


11b
5
3
34a
Lb
メインパルス
レーザ装置
M
346
341
50
EUV
制御部
La1
第1プリパルス
レーザ装置
P1
345
340
La2
第2プリパルス
レーザ装置
P2
343
348
26
61
61a
M
P1
P2
4
43 41 42
45
47 46 48
2a
62
21b
21a
21
2
27
23 81
83
223 221
32
344
342
Y
291
33
292
25
222 224
349
347
84
28
7
82
22a

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/082418

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H05G2/00(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

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.
A	WO 2016/063409 A1 (Gigaphoton Inc.), 28 April 2016 (28.04.2016), entire text; all drawings (Family: none)	1-18
A	JP 2016-512382 A (ASML Netherlands B.V.), 25 April 2016 (25.04.2016), entire text; all drawings & US 2014/0264087 A1 whole documents & WO 2014/143504 A1 & KR 10-2015-0131084 A	1-18

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

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

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
04 January 2017 (04.01.17)	17 January 2017 (17.01.17)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Authorized officer Telephone No.

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

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/082418

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2007-288190 A (XTREME Technologies GmbH), 01 November 2007 (01.11.2007), entire text; all drawings & US 2008/0067456 A1 whole documents & DE 102006017904 A1	1-18

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１６／０８２４１８

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H05G2/00(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H05G2/00

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
A	WO 2016/063409 A1 (ギガフォトン株式会社) 2016.04.28, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-18
A	JP 2016-512382 A (エーエスエムエル　ネザーランズ　ビー．ブイ．) 2016.04.25, 全文, 全図 & US 2014/0264087 A1, whole documents & WO 2014/143504 A1 & KR 10-2015-0131084 A	1-18

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

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

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
０４．０１．２０１７	１７．０１．２０１７

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

特許庁審査官（権限のある職員）　２Ｕ　９３０９
安田　明央
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２９２

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 2007-288190 A (イクストリーメ　テクノロジース　ゲゼルシャフト　ミット　ベシュレンクテル　ハフツング) 2007.11.01, 全文, 全図 & US 2008/0067456 A1, whole documents & DE 102006017904 A1	1-18