(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
2017 年 6 月 22 日(22.06.2017)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2017/103991 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 21/027 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2015/085048

(22) 国際出願日: 2015 年 12 月 15 日(15.12.2015)

(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, 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, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

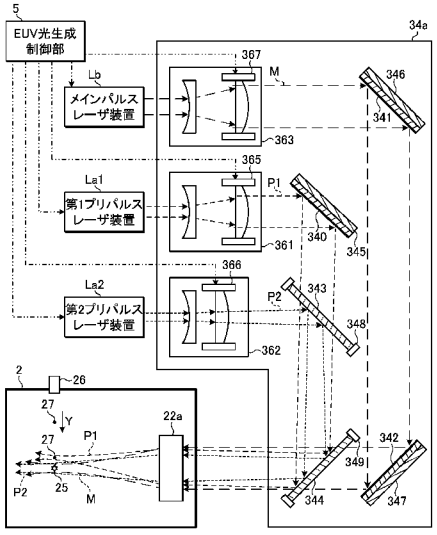
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,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

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

(54) **Title**: EXTREME ULTRAVIOLET LIGHT GENERATING DEVICE

(54) 発明の名称 : 極端紫外光生成装置



5 EUV light generation control unit
La1 First prepulse laser device
La2 Second prepulse laser device
Lb Main pulse laser device

(57) **Abstract**: An extreme ultraviolet light generating device of the present invention may be provided with: a target supply unit that outputs a target toward a predetermined region; a laser system that outputs first laser light with which the target is to be irradiated, second laser light with which the target is to be irradiated, said target having been irradiated with the first laser light, and third laser light with which the target is to be irradiated, said target having been irradiated with the second laser light; and an optical system that is configured such that a second laser light irradiation diameter on the target is larger than a third laser light irradiation diameter on the target.

(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、ターゲットにおける第２レーザ光の照射径が、ターゲットにおける第３レーザ光の照射径より大きくなるように構成された光学システムと、を備えてもよい。

WO 2017/103991 A1

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：国際公開第２０１４／１９２８７２号

特許文献2：米国特許出願公開第２００６／２１５７１２号明細書

特許文献3：特開２０１０－００３５４８号

特許文献4：米国特許出願公開第２０１０／０５３５８１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、ターゲットにおける第２レーザ光の照射径が、ターゲットにおける第３レーザ光の照射径より大きくなるように構成された光学システムと、を備えてもよい。

図面の簡単な説明

[0006] 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、本開示の実施形態に適用可能な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～図３Ｄは、第１の比較例として、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射径が２次ターゲットの直径より小さい場合に、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２７の様子を概略的に示す。

[図4]図４Ａ～図４Ｄは、第２の比較例として、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射径が、２次ターゲットの直径と同等である場合に、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２７の様子を概略的に示す。

[図5]図５は、本開示の実施形態に係るＥＵＶ光生成システム１１におけるレーザ光進行方向制御部３４ａ及びその周辺の構成例を概略的に示す。

[図6]図６Ａ～図６Ｄは、本開示の実施形態において、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２７の様子を概略的に示す。

[図7]図７Ａは、第２プリパルスレーザ光の照射径と、ＥＵＶ光のエネルギーとの関係を示すグラフである。図７Ｂは、第２プリパルスレーザ光の照射径と、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（ＣＥ）

との関係を示すグラフである。

[図8]図８は、第１プリパルスレーザ光Ｐ１のフルーエンスと、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（ＣＥ）との関係を示し、さらに、第１プリパルスレーザ光Ｐ１のフルーエンスと、第１プリパルスレーザ光Ｐ１の照射タイミングからメインパルスレーザ光Ｍの照射タイミングまでの遅延時間Ｔ１Ｍの最適値との関係も示す。

[図9]図９は、第２プリパルスレーザ光Ｐ２のフルーエンスと、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（ＣＥ）との関係を示すグラフである。

[図10]図１０は、メインパルスレーザ光Ｍの照射強度と、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（ＣＥ）との関係を示すグラフである。

実施形態

[0007] ＜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
２．１．６　ＥＵＶ集光ミラー及びＥＵＶ光センサ
２．２　動作
２．２．１　ターゲットの出力
２．２．２　パルスレーザ光の出力

２．２．３　パルスレーザ光の伝送
２．２．４　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　第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射径が２次ターゲットの直径より小さい場合
２．３．２　第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射径が２次ターゲットの直径と同等である場合
２．４　第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射径を、メインパルスレーザ光Ｍの照射径より大きくしたＥＵＶ光生成システム
２．４．１　構成
２．４．２　パルスレーザ光を照射されたターゲットの変化
２．４．３　測定結果
２．４．４　照射径の数値範囲
２．４．４．１　液滴状のターゲットの直径Ｄｄ
２．４．４．２　第１プリパルスレーザ光の照射径Ｄ１
２．４．４．３　メインパルスレーザ光の照射径Ｄｍ
２．４．４．４　第２プリパルスレーザ光の照射径Ｄ２
２．４．５　遅延時間の範囲
２．４．６　パルスレーザ光のフルーエンス又は照射強度
２．４．６．１　第１プリパルスレーザ光のフルーエンス
２．４．６．２　第２プリパルスレーザ光のフルーエンス
２．４．６．３　メインパルスレーザ光の照射強度
３．補足

[0008]　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

。

[0009] 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と共に用いられてもよい。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を含んでもよい。チャンバ２は、密閉可能であってもよい。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もよい。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んでもよいが、これらに限定されない。

[0010] 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てもよい。その貫通孔には、ウインドウ２１が設けられてもよく、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が透過してもよい。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が配置されてもよい。ＥＵＶ集光ミラー２３は、第１及び第２の焦点を有し得る。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てもよい。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るのが好ましい。ＥＵＶ集光ミラー２３の中央部には貫通孔２４が設けられていてもよく、貫通孔２４をパルスレーザ光３３が通過してもよい。

[0011] 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等を含んでもよい。ターゲットセンサ４は、撮像機能を有してもよく、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もよい。

[0012] 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を含んでもよい。接続部２９内部には、アパーチャが形成された壁２９１が設けられてもよい。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もよい。

[0013] 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等を含んでもよい。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もよい。

[0014] 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内に入射してもよい。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に照射されてもよい。

[0015] 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に向けて出力するよう構成されてもよい。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てもよい。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が放射され得る。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してもよい。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に出力されてもよい。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。

[0016] 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よう構成されてもよい。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よう構成されてもよい。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よう構成されてもよい。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よう構成されてもよい。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。

[0017] 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、本開示の実施形態に適用可能な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とが設けられてもよい。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、ＥＵＶ光センサ７とが取り付けられてもよい。

[0018] 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とが設けられてもよい。ＥＵＶ光生成制御部５は、ＥＵＶ制御部５０と、遅延回路５１とを含んでいても良い。

[0019] 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を有していても良い。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の内部に位置していてもよい。リザーバ６１の上記先端には、開口６２が形成されていてもよい。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もよい。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もよい。

[0020] リザーバ６１は、溶融されたターゲットの材料を、内部に貯蔵してもよい。リザーバ６１に備えられた図示しないヒータによって、ターゲットの材料

がその融点以上の温度に維持されてもよい。リザーバ６１内のターゲットの材料は、ターゲット供給部２６の内部に供給される不活性ガスによって加圧されてもよい。

[0021] 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てもよい。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てもよい。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していてもよい。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との間に位置していてもよい。

[0022] 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とを含んでもよい。容器４３はチャンバ２の外部に固定され、この容器４３内に、光センサ４１及び集光光学系４２が固定されてもよい。発光部４５は、光源４６と、集光光学系４７と、容器４８とを含んでもよい。容器４８はチャンバ２の外部に固定され、この容器４８内に、光源４６及び集光光学系４７が固定されてもよい。

[0023] 光源４６の出力光は、集光光学系４７によって、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、集光され得る。ターゲット２７が発光部４５による光の集光位置を通過するときに、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し、ターゲット検出信号を出力してもよい。

[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とを含んでいてもよい。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、ＹＡＧレーザ装置であってもよい。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あってもよい。メインパルスレーザ装置Ｌｂは、CO_2レーザ装置であってもよい。なお、ＹＡＧレーザ装置とは、レーザ発振器及び必要に応

じてレーザ増幅器を含み、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結晶を用いるものでもよい。CO_2レーザ装置とは、レーザ発振器及び必要に応じてレーザ増幅器を含み、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ガスを用いるものでもよい。

[0025] 第１プリパルスレーザ装置Ｌａ１は、第１プリパルスレーザ光Ｐ１を出力するように構成されてもよい。第１プリパルスレーザ光Ｐ１は、本開示における第１レーザ光に相当し得る。第２プリパルスレーザ装置Ｌａ２は、第２プリパルスレーザ光Ｐ２を出力するように構成されてもよい。第２プリパルスレーザ光Ｐ２は、本開示における第２レーザ光に相当し得る。メインパルスレーザ装置Ｌｂは、メインパルスレーザ光Ｍを出力するように構成されてもよい。メインパルスレーザ光Ｍは、本開示における第３レーザ光に相当し得る。

[0026] 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、を含んでもよい。高反射ミラー３４０は、ホルダ３４５によって支持されていてもよい。高反射ミラー３４１は、ホルダ３４６によって支持されていてもよい。高反射ミラー３４２は、ホルダ３４７によって支持されていてもよい。

[0027] ビームコンバイナ３４３は、ホルダ３４８によって支持されていてもよい。ビームコンバイナ３４３は、偏光方向が紙面に平行な直線偏光を、高い透過率で透過させ、偏光方向が紙面に垂直な直線偏光を、高い反射率で反射することにより、２つの光の光路をほぼ一致させる偏光子を含んでもよい。

[0028] ビームコンバイナ３４４は、ホルダ３４９によって支持されていてもよい。ビームコンバイナ３４４は、第１の波長成分が含まれる光を高い透過率で透過させ、第２の波長成分が含まれる光を高い反射率で反射することにより、２つの光の光路をほぼ一致させるダイクロイックミラーを含んでもよい。

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あってよい。

[0029] ２．１．５　集光光学系

プレート８２は、チャンバ２に固定されてもよい。プレート８２には、プレート８３が支持されてもよい。集光光学系２２ａは、軸外放物面ミラー２２１及び平面ミラー２２２を含んでもよい。軸外放物面ミラー２２１は、ホルダ２２３によって支持されてもよい。平面ミラー２２２は、ホルダ２２４によって支持されてもよい。ホルダ２２３及び２２４は、プレート８３に固定されてもよい。

[0030] 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、プレート８２に対するプレート８３の位置を調整可能であってもよい。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の位置が調整されてもよい。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てもよい。

[0031] ２．１．６　ＥＵＶ集光ミラー及びＥＵＶ光センサ

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に固定されていてもよい。ＥＵＶ光センサ７は、プラズマ生成領域２５において発生したＥＵＶ光の一部を受光し、ＥＵＶ光のエネルギー又はＥＵＶ光の光強度を検出してもよい。ＥＵＶ光センサ７は、検出結果をＥＵＶ制御部５０へ出力してもよい。

[0032] 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がターゲット２７を出力するように、ターゲット供給部２６に制御信号を出力してもよい。

ターゲット供給部２６において、不活性ガスによって加圧されたターゲットの材料は、開口６２を介して出力されてもよい。上述の加振装置によって

ターゲット供給部２６に振動が与えられることにより、ターゲットの材料は複数のドロップレットに分離されてもよい。それぞれのドロップレットが、ターゲット２７として、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方向に移動してもよい。

[0033] ターゲット回収部２８は、ターゲット２７の軌道の延長線上に配置され、プラズマ生成領域２５を通過したターゲット２７を回収してもよい。

ＥＵＶ制御部５０は、ターゲットセンサ４から出力されるターゲット検出信号を受信してもよい。

[0034] ２．２．２ 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、発光トリガ信号を遅延回路５１に出力してもよい。遅延回路５１は、発光トリガ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ことを示す第１のトリガ信号を、第１プリパルスレーザ装置Ｌａ１に出力してもよい。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を出力してもよい。

[0035] 遅延回路５１は、発光トリガ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ことを示す第２のトリガ信号を、第２プリパルスレーザ装置Ｌａ２に出力してもよい。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を出力してもよい。

[0036] 遅延回路５１は、発光トリガ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ことを示す第３のトリガ信号を、メインパルスレーザ装置Ｌｂに出力してもよい。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を出力してもよい。

第１の遅延時間と第３の遅延時間との差が、第１プリパルスレーザ光Ｐ１の照射タイミングからメインパルスレーザ光Ｍの照射タイミングまでの遅延時間Ｔ１Ｍに相当し得る。第２の遅延時間と第３の遅延時間との差が、第２

プリパルスレーザ光Ｐ２の照射タイミングからメインパルスレーザ光Ｍの照射タイミングまでの遅延時間Ｔ２Ｍに相当し得る。遅延時間Ｔ１Ｍ及び遅延時間Ｔ２Ｍについては後述する。

[0037] 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、この順で出力してもよい。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未満であってもよい。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。

[0038] ２．２．３ 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もよい。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してもよい。

[0039] 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もよい。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であってもよい。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であってもよい。

[0040] 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してもよい。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してもよい。ビームコンバイナ３４３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し、これらの光をビームコンバイナ３４４に導いてもよい。

[0041] 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もよい。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し

てもよい。

[0042] 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もよい。メインパルスレーザ光Ｍ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に含まれる波長成分と異なる波長成分を含んでもよい。

[0043] 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してもよい。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してもよい。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を高い反射率で反射し、メインパルスレーザ光Ｍを高い透過率で透過させ、これらの光をパルスレーザ光３２として集光光学系２２ａに導いてもよい。

[0044] ２．２．４ 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もよい。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に向けて反射してもよい。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としてプラズマ生成領域２５又はその近傍に向けて反射してもよい。パルスレーザ光３３は、軸外放物面ミラー２２１の反射面形状に従い、プラズマ生成領域２５又はその近傍において集光されてもよい。

[0045] 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、この順で照射されてもよい。液滴状のターゲット２７に第１プリパルスレーザ光Ｐ１が照射されると、液滴状のターゲット２７が複数の微粒子状に破壊されて拡散することにより、２次ターゲットが生成され得る。この２次ターゲットに第２プリパルスレーザ光Ｐ２が照射されることにより、蒸気又はプリプラズマを少なくとも含む３次ターゲットが生成さ

れ得る。この３次ターゲットにメインパルスレーザ光Ｍが照射されることにより、ターゲットが効率よくプラズマ化し、ＥＵＶ光が生成され得る。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

２．３．１　第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射径が２次ターゲットの直径より小さい場合

図３Ａ～図３Ｄは、図２に示されるＥＵＶ光生成システムにおいて第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２７の様子を概略的に示す。図３Ａ～図３Ｄは、第１の比較例として、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射径Ｄ２が２次ターゲット２７２の直径より小さい場合を示す。破線２７０は、ターゲット２７の軌道及びその延長線を示す。

なお、本開示において「照射径」とは、ターゲットへの照射位置におけるパルスレーザ光の光路断面の直径をいう。集光光学系２２ａによってパルスレーザ光が集光される位置にターゲットが位置する場合には、照射径はスポット径に相当し得る。

[0047] 図３Ａに示されるように、ターゲット２７の直径をＤｄとしてもよい。プリパルスレーザ光Ｐ１がターゲット２７に照射されるときのターゲット２７の位置のばらつきをΔＤｄとしてもよい。ターゲット２７の位置のばらつきΔＤｄは、図３Ａにおける上方向への位置ずれ量ΔＤｄ／２と、図３Ａにおける下方向への位置ずれ量ΔＤｄ／２との合計であってもよい。第１プリパルスレーザ光Ｐ１の照射径Ｄ１は、Ｄｄ＋ΔＤｄに調整されてもよい。

[0048] 液滴状のターゲット２７に第１プリパルスレーザ光Ｐ１が照射されると、液滴状のターゲット２７が複数の微粒子状に破壊されて拡散することにより、図３Ｂに示される２次ターゲット２７２が生成され得る。図３Ｂ～図３Ｄ

におけるドットの粗密は、ターゲット物質の密度に対応し得る。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とを有し得る。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り得る。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り得る。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。

[0049] 図３Ｂに示されるように、２次ターゲット２７２に、第２プリパルスレーザ光Ｐ２が照射されてもよい。第１の比較例においては、２次ターゲット２７２に対する第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射径Ｄ２が、２次ターゲット２７２の直径より小さくてもよい。

[0050] 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がさらに細かく破壊、蒸発、又はプリプラズマ化されて、図３Ｃに示される３次ターゲット２７３が生成されてもよい。

３次ターゲット２７３は、２次ターゲット２７２のドーム部２７ｂがさらに細かく破壊、蒸発、又はプリプラズマ化されたドーム部２７ｄを含んでもよい。２次ターゲット２７２の円環部２７ａには、第２プリパルスレーザ光Ｐ２のうちの外周部に位置する光の弱い部分のみが照射されるか、あるいはほとんど照射されないため、円環部２７ａのほとんどの部分が、ターゲット物質の密度が比較的高い円環部２７ｃとして３次ターゲット２７３に含まれてもよい。

[0051] 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の一部がプラズマ化してもよい。３次ターゲット２７３に含まれるドーム部２７ｄはターゲット物質の密度が低く、メインパルスレーザ光Ｍのエネルギーを吸収しやすいため、ドーム部２７ｄの多くの部分がプラズマ化されてもよい。プラズマからは、ＥＵＶ光が放射されてもよい。図３

Ｄは、メインパルスレーザ光Ｍのパルス時間幅の後半における３次ターゲット２７３の様子を示す。ドーム部２７ｄよりも、プラズマを含むドーム部２７ｅの方がターゲット物質の密度が低くてもよい。

[0052] ３次ターゲット２７３に含まれる円環部２７ｃは、ターゲット物質の密度が比較的高くてもよい。ある閾値よりもターゲット物質の密度が高いと、ターゲット物質がメインパルスレーザ光Ｍを反射しやすくなり、メインパルスレーザ光Ｍのエネルギーを吸収しにくくなり得る。このため、円環部２７ｃからのプラズマの生成は不十分となり、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小さいものとなり得る。

[0053] ２．３．２ 第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射径が、２次ターゲットの直径と同等である場合

図４Ａ～図４Ｄは、図２に示されるＥＵＶ光生成システムにおいて第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２７の様子を概略的に示す。図４Ａ～図４Ｄは、第２の比較例として、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射径Ｄ２が、２次ターゲット２７２の直径と同等である場合を示す。図４Ａに示されるターゲット２７と第１プリパルスレーザ光Ｐ１との関係は、図３Ａを参照しながら説明したものと同様でよい。図４Ｂに示される２次ターゲット２７２は、図３Ｂを参照しながら説明したものと同様でよい。破線２７０は、ターゲット２７の軌道及びその延長線を示す。図４Ｂ～図４Ｄにおけるドットの粗密は、ターゲット物質の密度に対応し得る。

[0054] 第２の比較例においては、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射径Ｄ２が、２次ターゲット２７２の直径と同等であってもよい。この場合、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射によって生成される３次ターゲット２７３は、２次ターゲット２７２のドーム部２７ｂがさらに細かく破壊、蒸発、又はプリプラズマ化されたドーム部２７ｈを含んでもよい。２次ターゲット２７２の円環部２７ａにも第２プリパルスレーザ光Ｐ２が照射されるので、円環部２７ａの一部においてはターゲット物質の密度が低下し得る。但し、円環部２７

ａのうちの外周部分には、第２プリパルスレーザ光Ｐ２のうちの外周部に位置する光の弱い部分のみが照射されるため、円環部２７ａのうちの外周部分は、ターゲット物質の密度が比較的高い円環部２７ｇとして３次ターゲット２７３に含まれてもよい。

[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の一部がプラズマ化してもよい。３次ターゲット２７３の多くの部分はターゲット物質の密度が低く、メインパルスレーザ光Ｍのエネルギーを吸収しやすいため、３次ターゲット２７３の多くの部分がプラズマ化されてもよい。これにより、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向上し得る。図４Ｄは、メインパルスレーザ光Ｍのパルス時間幅の後半における３次ターゲット２７３の様子を示す。

[0056] しかしながら、ＥＵＶ光のエネルギーを向上するために、メインパルスレーザ光Ｍのエネルギーを大きくすると、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下することがある。

[0057] 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の照射径Ｄ２を、メインパルスレーザ光Ｍの照射径Ｄｍより大きくしてもよい。これにより、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の低下が抑制されてもよい。

[0058] ２．４ 第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射径を、メインパルスレーザ光Ｍの照射径より大きくしたＥＵＶ光生成システム

２．４．１ 構成

図５は、本開示の実施形態に係るＥＵＶ光生成システム１１におけるレーザ光進行方向制御部３４ａ及びその周辺の構成例を概略的に示す。チャンバ２に付帯するＥＵＶ集光ミラー２３やターゲットセンサ４などの構成については、図示が省略されている。集光光学系２２ａやターゲット供給部２６についても、その具体的な構成の図示は省略されている。

[0059] 図５に示されるように、レーザ光進行方向制御部３４ａは、第１のビームエキスパンダ３６１、第２のビームエキスパンダ３６２及び第３のビームエ

キスパンダ３６３をさらに含む光学システムであってもよい。

[0060] 第１のビームエキスパンダ３６１は、第１プリパルスレーザ光Ｐ１の光路であって、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の光路及びメインパルスレーザ光Ｍの光路とは異なる位置に配置されてもよい。第２のビームエキスパンダ３６２は、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の光路であって、第１プリパルスレーザ光Ｐ１の光路及びメインパルスレーザ光Ｍの光路とは異なる位置に配置されてもよい。第３のビームエキスパンダ３６３は、メインパルスレーザ光Ｍの光路であって、第１プリパルスレーザ光Ｐ１の光路及び第２プリパルスレーザ光Ｐ２の光路とは異なる位置に配置されてもよい。

[0061] 第１のビームエキスパンダ３６１、第２のビームエキスパンダ３６２及び第３のビームエキスパンダ３６３は、それぞれ、球面凹レンズと球面凸レンズとを含んでもよい。あるいは、第３のビームエキスパンダ３６３は、大きな熱負荷に耐えるために、図示しない球面凸面ミラーと図示しない球面凹面ミラーとを含んでもよい。第１のビームエキスパンダ３６１に含まれる球面凸レンズには、アクチュエータ３６５が取り付けられていてもよい。第２のビームエキスパンダ３６２に含まれる球面凸レンズには、アクチュエータ３６６が取り付けられていてもよい。第３のビームエキスパンダ３６３に含まれる球面凸レンズ又は図示しない球面凹面ミラーには、アクチュエータ３６７が取り付けられていてもよい。

[0062] アクチュエータ３６５、３６６及び３６７は、それぞれの球面凸レンズ又は図示しない球面凹面ミラーを、それぞれのパルスレーザ光の光路軸に沿って移動可能であってもよい。これにより、第１～第３のビームエキスパンダ３６１～３６３は、それぞれ、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の波面及びビーム径を調節してもよい。波面及びビーム径を調節することにより、ターゲットにおける照射径が調節されてもよい。第１～第３のビームエキスパンダ３６１～３６３は、それぞれ、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の照射径を調節する調節機構に相当し得る。

[0063] 本開示の実施形態においては、第１プリパルスレーザ光Ｐ１の照射径Ｄ１は、ターゲット２７の直径Ｄｄにターゲット２７の位置のばらつきΔＤｄを加えた大きさとしてもよい。第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射径Ｄ２は、第１プリパルスレーザ光Ｐ１の照射によって生成された２次ターゲット２７２の直径より大きくてもよい。メインパルスレーザ光Ｍの照射径Ｄｍ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３次ターゲット２７３の直径より小さくてもよい。そして、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射径Ｄ２は、メインパルスレーザ光Ｍの照射径Ｄｍより大きくてもよい。

[0064] 第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射径Ｄ２を大きくするために、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の集光光学系２２ａによる集光位置は、ターゲット２７の位置よりも第２プリパルスレーザ光Ｐ２の光路の下流側に位置してもよい。第２プリパルスレーザ光Ｐ２の集光位置を光路の下流側にずらすために、集光光学系２２ａに入射する第２プリパルスレーザ光Ｐ２が所定の広がり角を有する凸面波となるように、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の波面が調節されてもよい。あるいは、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の集光光学系２２ａによる集光位置は、ターゲット２７の位置よりも第２プリパルスレーザ光Ｐ２の光路の上流側に位置してもよい。第２プリパルスレーザ光Ｐ２の集光位置を光路の上流側にずらすために、集光光学系２２ａに入射する第２プリパルスレーザ光Ｐ２が凹面波となるように調節されてもよい。

[0065] ターゲット２７に対する第１プリパルスレーザ光Ｐ１の照射タイミングから第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射タイミングまでの間に、ターゲット２７は矢印Ｙ方向に移動し得る。そこで、図５に示されるように、第１プリパルスレーザ光Ｐ１の光路軸は、プラズマ生成領域２５よりもターゲット供給部２６に近い位置で、ターゲット２７の軌道とほぼ交差してもよい。また、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の光路軸と、メインパルスレーザ光Ｍの光路軸とは、プラズマ生成領域２５を通ってもよい。

[0066] ２．４．２ パルスレーザ光を照射されたターゲットの変化

図６Ａ～図６Ｄは、本開示の実施形態において、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２７の様子を概略的に示す。図６Ａに示されるターゲット２７と第１プリパルスレーザ光Ｐ１との関係は、図３Ａを参照しながら説明したものと同様でよい。図６Ｂに示される２次ターゲット２７２は、図３Ｂを参照しながら説明したものと同様でよい。破線２７０は、ターゲット２７の軌道及びその延長線を示す。図６Ｂ～図６Ｄにおけるドットの粗密は、ターゲット物質の密度に対応し得る。

[0067] 第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射径Ｄ２は、２次ターゲット２７２の直径より大きいことが好ましい。この場合、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射によって生成される３次ターゲット２７３は、図６Ｃに示されるように、２次ターゲット２７２のドーム部２７ｂと円環部２７ａとがさらに細かく破壊、蒸発、又はプリプラズマ化されて、且つ融合した塊状であってもよい。３次ターゲット２７３は時間とともに拡散し膨張してもよい。

[0068] 塊状の３次ターゲット２７３にメインパルスレーザ光Ｍが照射されてもよい。本開示の実施形態において、メインパルスレーザ光Ｍの照射径Ｄｍは、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射径Ｄ２よりも小さいことが好ましい。メインパルスレーザ光Ｍは、３次ターゲット２７３のうちの外周部分を除いた中央部分に照射されてもよい。３次ターゲット２７３は、ターゲット物質の密度が低く、メインパルスレーザ光Ｍのエネルギーを吸収しやすくなっていてもよい。これにより、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向上し得る。

[0069] 上述の図４Ａ～図４Ｄの場合においては、メインパルスレーザ光Ｍのエネルギーを大きくすると、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下した。これに対し、図６Ａ～図６Ｄの場合においては、メインパルスレーザ光Ｍのエネルギーを大きくすることによる変換効率の低下が緩和され得る。その理由は、以下のように推測される。

[0070] 上述の図４Ａ～図４Ｄの場合においては、メインパルスレーザ光Ｍのパルス時間幅の前半においては、ターゲット物質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し得る。しかしながら、メインパルスレーザ光Ｍのエネルギーが大きいと、ターゲット物質が急激に膨張し、メインパルスレーザ光Ｍの１パルスの時間が終わらないうちにターゲット物質の密度の低下が進み得る。従って、メインパルスレーザ光Ｍのパルス時間幅の後半においては、ターゲット物質の密度が低くなり過ぎてしまい、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下する可能性がある。

[0071] これに対し、図６Ａ～図６Ｄの場合においては、３次ターゲット２７３のうちのメインパルスレーザ光Ｍの照射径より外側の外周部分２７ｋには、メインパルスレーザ光Ｍが照射されないことがあり得る。この場合には、メインパルスレーザ光Ｍのエネルギーが大きくても、ターゲット物質の急激な膨張が外周部分２７ｋによって抑制され得る。あるいは、ターゲット物質が急激に膨張しても、外周部分２７ｋからメインパルスレーザ光Ｍの照射径内にターゲット物質が供給され得る。これにより、メインパルスレーザ光Ｍの照射径内のターゲット物質の密度の低下が緩和され得る。この結果として、メインパルスレーザ光Ｍのエネルギーを大きくすることによる変換効率の低下が緩和され得る。

[0072] ２．４．３ 測定結果

図７Ａは、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射径と、ＥＵＶ光のエネルギーとの関係を示すグラフである。図７Ａにおいては、ターゲット２７として直径２５μｍのスズの液滴を用いた。第１プリパルスレーザ光Ｐ１は、照射径８０μｍ、パルス時間幅１４ｐｓ、パルスエネルギー０．７７ｍＪとした。第２プリパルスレーザ光Ｐ２は、パルス時間幅６ｎｓ、フルーエンス１０．０Ｊ／ｃｍ^{2}とし、照射径Ｄ２を変えながら測定を行った。メインパルスレーザ光Ｍは、照射径３２５μｍ、パルス時間幅１５ｎｓ、パルスエネルギー２４０ｍＪとした。

[0073] 図７Ａに示されるように、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射径Ｄ２を２００μｍとした場合よりも、３００μｍとした場合の方が、ＥＵＶ光のエネルギーが高かった。さらに、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射径Ｄ２を３

００μｍとした場合よりも、メインパルスレーザ光Ｍの照射径３２５μｍより大きい４００μｍとした場合の方が、ＥＵＶ光のエネルギーが高かった。

[0074] 図７Ｂは、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射径と、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（ＣＥ）との関係を示すグラフである。図７Ｂにおいては、メインパルスレーザ光Ｍのパルスエネルギーを６５ｍＪとした場合と、２４０ｍＪとした場合との両方で測定を行った。その他の測定条件は図７Ａの場合と同様とした。

[0075] 図７Ｂに示されるように、メインパルスレーザ光Ｍのパルスエネルギーを６５ｍＪとした場合に比べて、２４０ｍＪまで高くした場合には、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下した。すなわち、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射径Ｄ２が２００μｍであった場合には、変換効率が約４．１％から約３．１％にまで大幅に低下した。一方、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射径Ｄ２が４００μｍであった場合には、変換効率が約４．７％から４．１％程度への低下となり、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射径Ｄ２が２００μｍであった場合に比べて変換効率の低下が緩和されていた。

[0076] ２．４．４　照射径の数値範囲

以下に、照射径の数値範囲について考察を加える。まず、以下の説明で用いられる変数を定義する。

液滴状のターゲットの直径Ｄｄ

第１プリパルスレーザ光の照射径Ｄ１

第２プリパルスレーザ光の照射径Ｄ２

メインパルスレーザ光の照射径Ｄｍ

メインパルスレーザ光を照射するときの３次ターゲットの直径Ｄｔ

プラズマの直径Ｄｐ

[0077] ２．４．４．１　液滴状のターゲットの直径Ｄｄ

ターゲット２７の直径Ｄｄは、ＬＰＰ式のＥＵＶ光生成装置において典型的な、以下の数値範囲でよい。

１μｍ≦Ｄｄ≦１００μｍ

[0078] ２．４．４．２　第１プリパルスレーザ光の照射径Ｄ１

第１プリパルスレーザ光Ｐ１の照射径Ｄ１は、５％幅又は５０％幅が、ターゲット２７の直径Ｄｄにターゲット２７の位置のばらつきΔＤｄを加えた範囲となるように設定されることが望ましい。従って、以下のように、第１プリパルスレーザ光Ｐ１の照射径Ｄ１は、ターゲット２７の直径Ｄｄより大きくてよい。

Ｄ１＞Ｄｄ　　（式１）

なお、５％幅とは、ターゲットへの照射位置における光強度分布のうち、ピーク強度の５％以上の光強度を有する部分の直径をいう。５０％幅とは、ターゲットへの照射位置における光強度分布のうち、ピーク強度の５０％以上の光強度を有する部分の直径をいう。

[0079] ここで、ターゲット２７の直径Ｄｄを２０μｍとし、ターゲット２７の位置のばらつきΔＤｄを２０μｍとすると、ターゲット２７の直径Ｄｄにターゲット２７の位置のばらつきΔＤｄを加えた範囲は、４０μｍとなる。

ターゲットへの照射位置において、第１プリパルスレーザ光Ｐ１の光強度分布がガウス分布であるとすると、５％幅が４０μｍとなる照射径は、１／ｅ^{2}幅で６８μｍとなり、５０％幅が４０μｍとなる照射径は、１／ｅ^{2}幅で２５３μｍとなり得る。従って、第１プリパルスレーザ光Ｐ１の照射径Ｄ１は以下の範囲でよい。

５０μｍ≦Ｄ１≦３００μｍ

なお、１／ｅ^{2}幅とは、ターゲットへの照射位置における光強度分布のうち、ピーク強度の１／ｅ^{2}以上の光強度を有する部分の直径をいう。ｅは、ネイピア数であり、１／ｅ^{2}は、約１３．５％である。

[0080] ２．４．４．３　メインパルスレーザ光の照射径Ｄｍ

メインパルスレーザ光Ｍの照射径Ｄｍは、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よい照射強度を実現するような照射径としてもよい。本発明者らの実験によれば、メインパルスレーザ光Ｍの照射強度

を５×１０^{9}Ｗ／ｃｍ^{2}以上、１×１０^{10}Ｗ／ｃｍ^{2}以下とすることが、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の点で好ましいとの結果が得られている。なお、メインパルスレーザ光Ｍの照射強度については、図１０を参照しながら後述する。メインパルスレーザ光Ｍのパルスエネルギーを例えば４００ｍＪとし、パルス時間幅を１５ｎｓとすると、メインパルスレーザ光Ｍの照射径Ｄｍは、以下の範囲でよい。

４５０μｍ≦Ｄｍ≦９００μｍ

[0081] 但し、露光装置の光源としてのＥＵＶ光生成装置においては、プラズマの直径Ｄｐの上限が存在し得る。プラズマの直径Ｄｐの上限は、ＥＵＶ集光ミラー２３の倍率と、中間集光点（ＩＦ）のエタンデュリミットとによって決定され得る。以下のように、メインパルスレーザ光Ｍの照射径Ｄｍは、プラズマの直径Ｄｐより小さくてよい。

Ｄｐ＞Ｄｍ （式２）

仮にプラズマの直径Ｄｐを４００μｍとした場合、メインパルスレーザ光Ｍの照射径Ｄｍは、３００μｍ程度でもよい。従って、メインパルスレーザ光Ｍの照射径Ｄｍは、第１プリパルスレーザ光Ｐ１の照射径Ｄ１より大きくてよい。

Ｄｍ＞Ｄ１ （式３）

[0082] また、図６Ｃに示されるように、メインパルスレーザ光Ｍの照射径Ｄｍは、メインパルスレーザ光Ｍを照射するときの３次ターゲット２７３の直径Ｄｔより小さくてよい。

Ｄｔ＞Ｄｍ

また、プラズマの直径Ｄｐは、メインパルスレーザ光Ｍを照射するときの３次ターゲット２７３の直径Ｄｔより小さくてよい。

Ｄｔ＞Ｄｐ （式４）

[0083] ２．４．４．４ 第２プリパルスレーザ光の照射径Ｄ２

図６Ｂ及び図６Ｃの説明を前提とすると、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射径Ｄ２は、メインパルスレーザ光Ｍを照射するときの３次ターゲット２

７３の直径Ｄｔと同等以上でよい。

Ｄ２≧Ｄｔ　　（式５）

[0084] 第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射径Ｄ２の上限は、ターゲット２７の間隔によって決定され得る。ターゲット２７の間隔を２０００μｍとすると、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射径Ｄ２の上限は、４０００μｍでよい。

本実施形態において、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射径Ｄ２は、メインパルスレーザ光Ｍの照射径Ｄｍより大きい。そこで、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射径Ｄ２の下限は、３００μｍでよい。

従って、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射径Ｄ２は以下の範囲でよい。

３００μｍ≦Ｄ２≦４０００μｍ

好ましくは、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射径Ｄ２は以下の範囲でよい。

３００μｍ≦Ｄ２≦９００μｍ

[0085] 上述の（式１）～（式５）により、以下の式が成立し得る。

Ｄ２≧Ｄｔ＞Ｄｐ＞Ｄｍ＞Ｄ１＞Ｄｄ

[0086] ２．４．５　遅延時間の範囲

本発明者らの実験によれば、遅延時間Ｔ１Ｍ及び遅延時間Ｔ２Ｍは以下の範囲が好ましいという結果が得られている。

第１プリパルスレーザ光Ｐ１の照射タイミングからメインパルスレーザ光Ｍの照射タイミングまでの遅延時間Ｔ１Ｍは、以下の範囲が好ましい。

０．５μｓ＜Ｔ１Ｍ＜３μｓ

遅延時間Ｔ１Ｍについては、図８を参照しながら後述する。

[0087] 第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射タイミングからメインパルスレーザ光Ｍの照射タイミングまでの遅延時間Ｔ２Ｍは、以下の範囲が好ましい。

１０ｎｓ＜Ｔ２Ｍ＜３００ｎｓ

遅延時間Ｔ２Ｍは、以下の範囲がさらに好ましい。

５０ｎｓ＜Ｔ２Ｍ＜１００ｎｓ

[0088] ２．４．６　パルスレーザ光のフルーエンス又は照射強度

２．４．６．１　第１プリパルスレーザ光のフルーエンス

図８は、第１プリパルスレーザ光Ｐ１のフルーエンスと、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（ＣＥ）との関係を示すグラフである。図８は、さらに、第１プリパルスレーザ光Ｐ１のフルーエンスと、第１プリパルスレーザ光Ｐ１の照射タイミングからメインパルスレーザ光Ｍの照射タイミングまでの遅延時間Ｔ１Ｍの最適値との関係も示す。

[0089] 図８においては、ターゲット２７として直径２５μｍのスズの液滴を用いた。第１プリパルスレーザ光Ｐ１は、照射径として３通りの値を設定し、パルス時間幅は１４ｐｓとした。第２プリパルスレーザ光Ｐ２は、パルス時間幅１２ｎｓ、パルスエネルギー２ｍＪとし、第２プリパルスレーザ光Ｐ２の照射タイミングからメインパルスレーザ光Ｍの照射タイミングまでの遅延時間Ｔ２Ｍを１２０ｎｓとした。メインパルスレーザ光Ｍは、照射径３００μｍ、パルス時間幅１５ｎｓ、パルスエネルギー５０ｍＪとした。

第１プリパルスレーザ光Ｐ１の照射径とフルーエンスを一定にして、複数の遅延時間Ｔ１Ｍで測定を行い、最も高い変換効率が得られた場合の遅延時間Ｔ１Ｍを最適遅延時間とし、そのときの変換効率とともに図８に示した。

[0090] 図８に示されるように、第１プリパルスレーザ光Ｐ１のフルーエンスは、５Ｊ／ｃｍ^{2}以上、６０Ｊ／ｃｍ^{2}以下でよい。

[0091] 第１プリパルスレーザ光Ｐ１の照射タイミングからメインパルスレーザ光Ｍの照射タイミングまでの遅延時間Ｔ１Ｍは、以下の範囲が好ましい。

０．５μｓ＜Ｔ１Ｍ＜３μｓ

[0092] ２．４．６．２　第２プリパルスレーザ光のフルーエンス

図９は、第２プリパルスレーザ光Ｐ２のフルーエンスと、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（ＣＥ）との関係を示すグラフである。

[0093] 図９においては、ターゲット２７として直径２５μｍのスズの液滴を用いた。第１プリパルスレーザ光Ｐ１は、照射径８０μｍ、パルス時間幅１４ｐｓ、パルスエネルギー０．７７ｍＪとした。第２プリパルスレーザ光Ｐ２は

、パルス時間幅６ｎｓ、照射径４００μｍとし、フルーエンスを変えながら測定を行った。メインパルスレーザ光Ｍは、照射径４０４μｍ、パルス時間幅１５ｎｓ、パルスエネルギー２４０ｍＪとした。

[0094] 図９に示されるように、第２プリパルスレーザ光Ｐ２のフルーエンスは、１Ｊ／ｃｍ^{2}以上、１０Ｊ／ｃｍ^{2}以下でよい。

[0095] ２．４．６．３　メインパルスレーザ光の照射強度

図１０は、メインパルスレーザ光Ｍの照射強度と、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（ＣＥ）との関係を示すグラフである。本開示において、照射強度とは、ターゲットへの照射位置におけるパルスレーザ光の光強度をいう。この光強度は、ピーク強度の１／ｅ^{2}以上の光強度を有する部分における平均値でもよい。

[0096] 図１０においては、メインパルスレーザ光Ｍの照射径Ｄｍとして３通りの値を設定し、それぞれの場合に照射強度を変えながら測定を行った。

[0097] 図１０に示されるように、メインパルスレーザ光Ｍの照射強度は、５×１０^{9}Ｗ／ｃｍ^{2}以上、１×１０^{10}Ｗ／ｃｍ^{2}以下が好ましい。

[0098] ３．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。

[0099] 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、

前記ターゲットにおける前記第２レーザ光の照射径が、前記ターゲットにおける前記第３レーザ光の照射径より大きくなるように構成された光学システムと、

を備える極端紫外光生成装置。

[請求項2] 前記第３レーザ光は、前記ターゲットをプラズマ化してＥＵＶ光を生成するためのレーザ光である、請求項１記載の極端紫外光生成装置。

[請求項3] 前記光学システムは、前記ターゲットにおける前記第２レーザ光の照射径が、前記第２レーザ光が照射されるときの前記ターゲットの直径よりも大きくなるように構成された、請求項１記載の極端紫外光生成装置。

[請求項4] 前記光学システムは、前記ターゲットにおける前記第２レーザ光の照射径が、前記第３レーザ光が照射されるときの前記ターゲットの直径以上となるように構成された、請求項１記載の極端紫外光生成装置。

[請求項5] 前記ターゲット供給部は、前記ターゲットを含む複数のターゲットを順次出力するように構成され、

前記光学システムは、前記ターゲットにおける前記第２レーザ光の照射径が、前記複数のターゲットの間の間隔の２倍以下となるように構成された、請求項１記載の極端紫外光生成装置。

[請求項6] 前記光学システムは、前記ターゲットにおける前記第１レーザ光の照射径が、前記ターゲットにおける前記第３レーザ光の照射径より小

さくなるように構成された、請求項１記載の極端紫外光生成装置。

[請求項7] 前記光学システムは、前記第１レーザ光の光路に配置され、前記第１レーザ光の照射径を調節する調節機構を含む、請求項６記載の極端紫外光生成装置。

[請求項8] 前記光学システムは、前記第２レーザ光の光路に配置され、前記第２レーザ光の照射径を調節する調節機構を含む、請求項１記載の極端紫外光生成装置。

[請求項9] 前記光学システムは、前記第３レーザ光の光路に配置され、前記第３レーザ光の照射径を調節する調節機構を含む、請求項１記載の極端紫外光生成装置。

[請求項10] 前記光学システムは、前記第２レーザ光の光路に配置され、前記第２レーザ光の照射径を、３００μｍ以上、４０００μｍ以下にする、請求項１記載の極端紫外光生成装置。

[請求項11] 前記レーザシステムは、前記ターゲットにおける前記第２レーザ光のフルーエンスを、１Ｊ／ｃｍ^{2}以上、１０Ｊ／ｃｍ^{2}以下にする、請求項１記載の極端紫外光生成装置。

[請求項12] 前記レーザシステムは、前記第２レーザ光のパルス時間幅を、前記第３レーザ光のパルス時間幅より短くする、請求項１記載の極端紫外光生成装置。

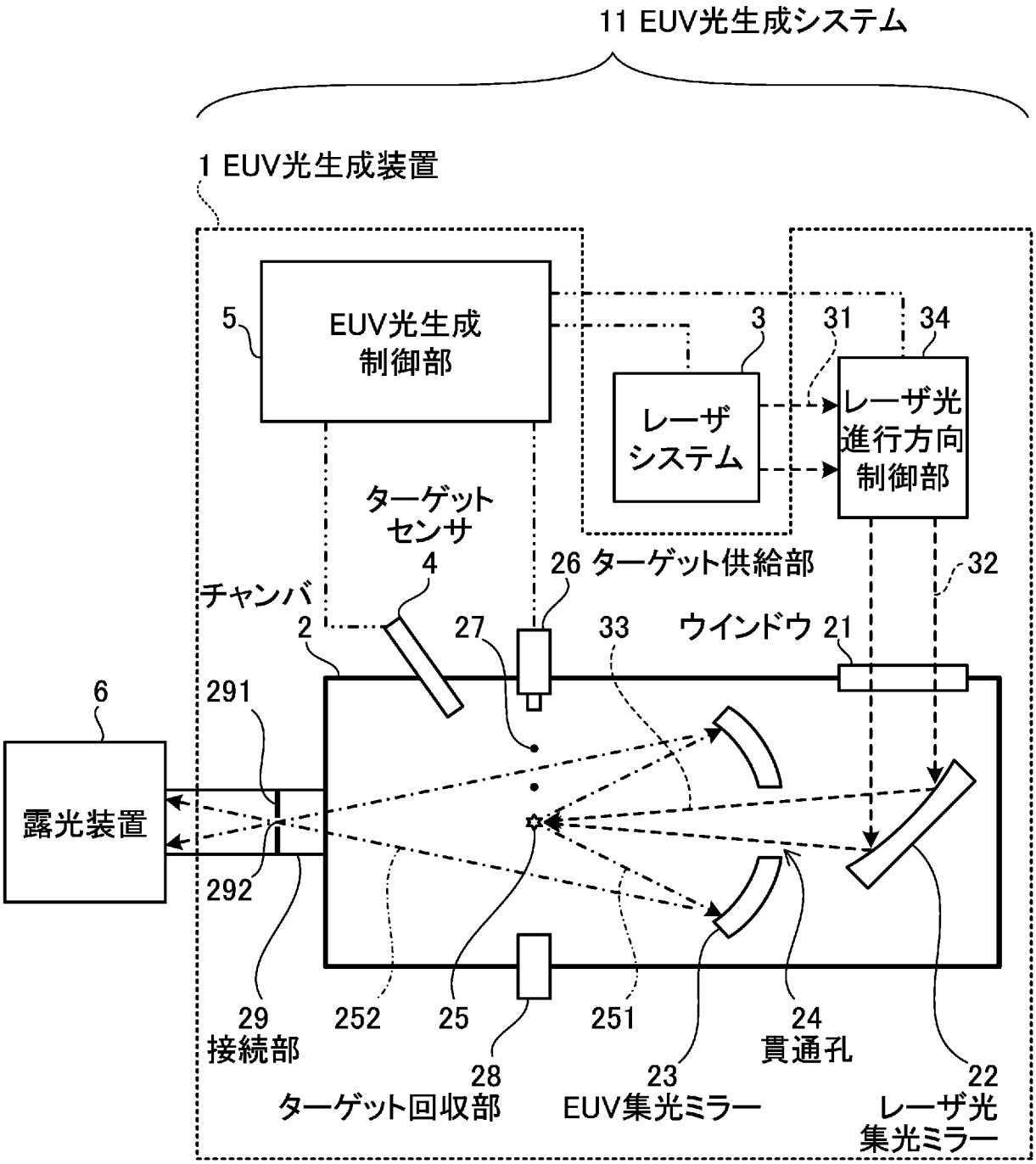
[請求項13] 前記レーザシステムは、前記第１レーザ光の照射タイミングから前記第３レーザ光の照射タイミングまでの遅延時間を、０．５μｓ以上、３μｓ以下にする、請求項１記載の極端紫外光生成装置。

[請求項14] 前記レーザシステムは、前記第２レーザ光の照射タイミングから前記第３レーザ光の照射タイミングまでの遅延時間を、０．０１μｓ以上、０．３μｓ以下にする、請求項１記載の極端紫外光生成装置。

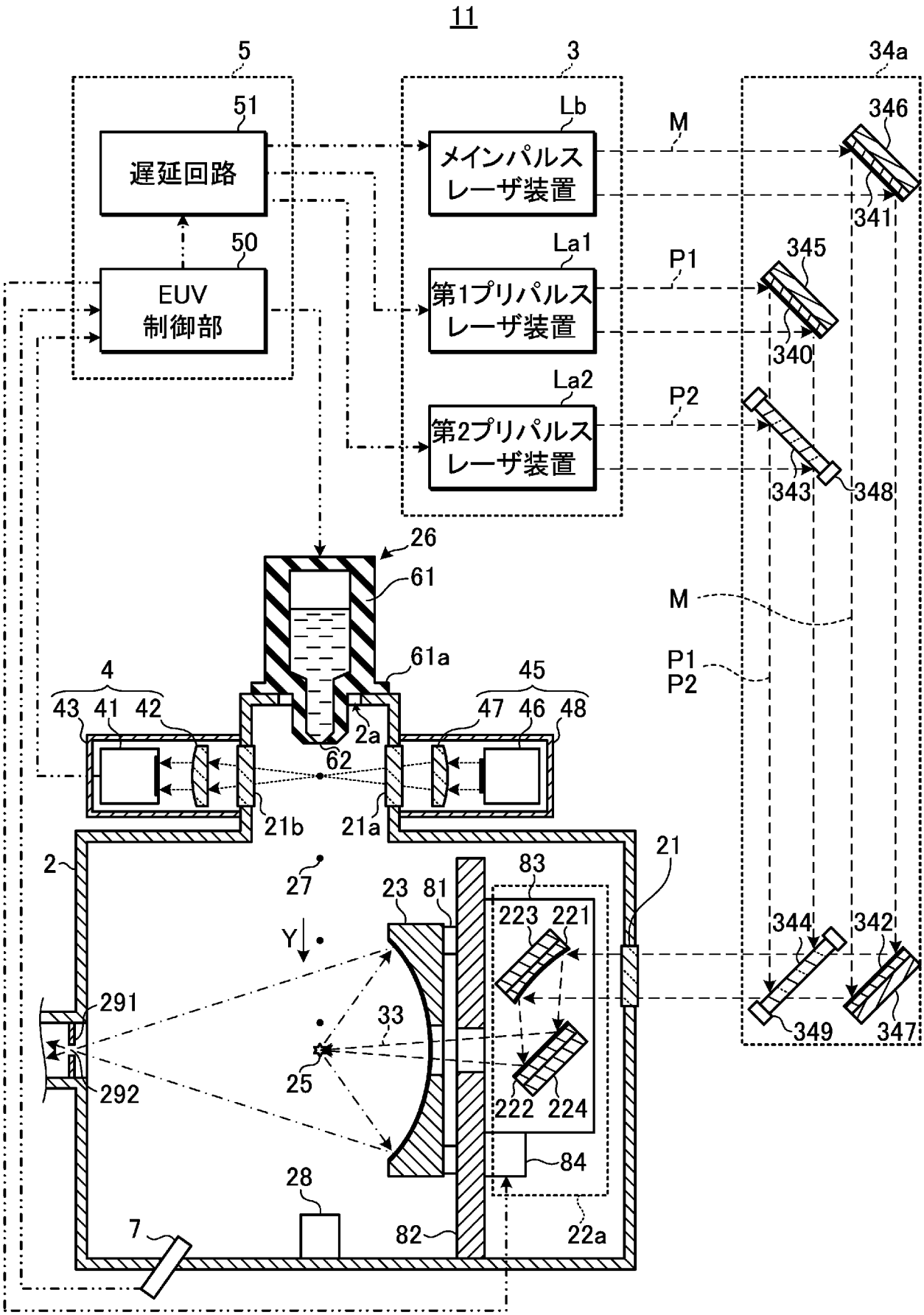
[請求項15] 前記レーザシステムは、前記第１レーザ光が照射された前記ターゲットに、前記第２レーザ光が照射される前に照射される第４レーザ光をさらに出力する、請求項１記載の極端紫外光生成装置。

［請求項16］ 前記レーザシステムは、前記第２レーザ光が照射された前記ターゲットに、前記第３レーザ光が照射される前に照射される第５レーザ光をさらに出力する、請求項１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
レーザ
システム
31
34
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
51
遅延回路
50
EUV
制御部
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
344
342
349
347
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
7
82
22a

[図3]

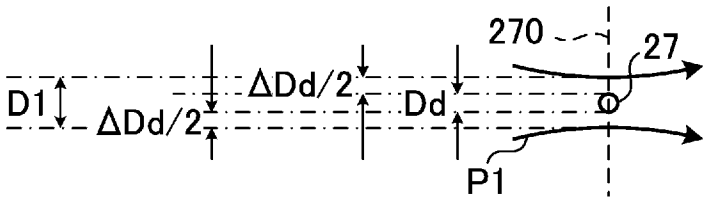


図3A

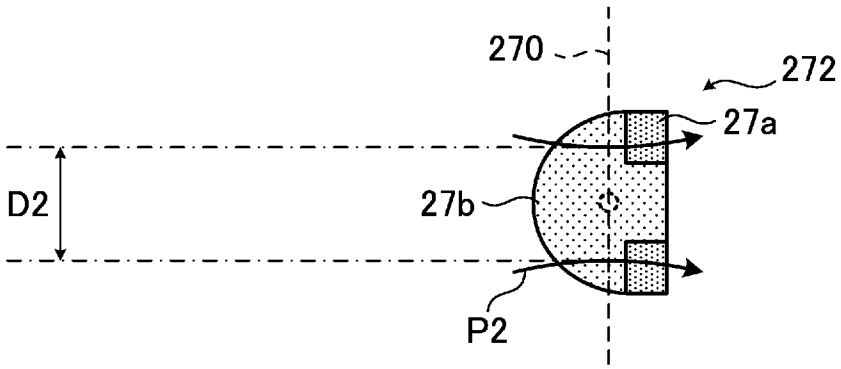


図3B

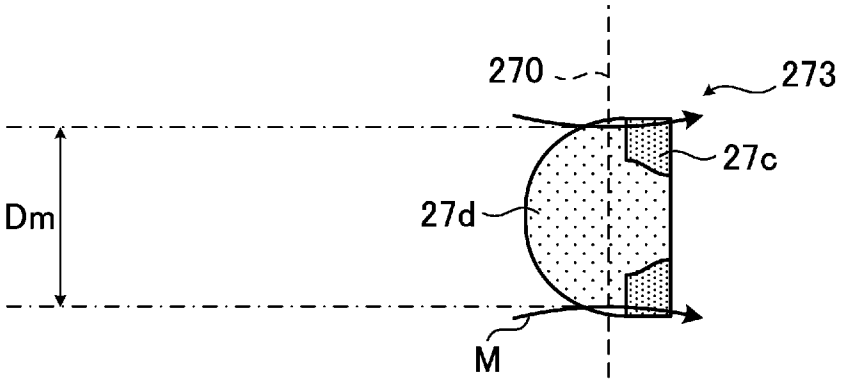


図3C

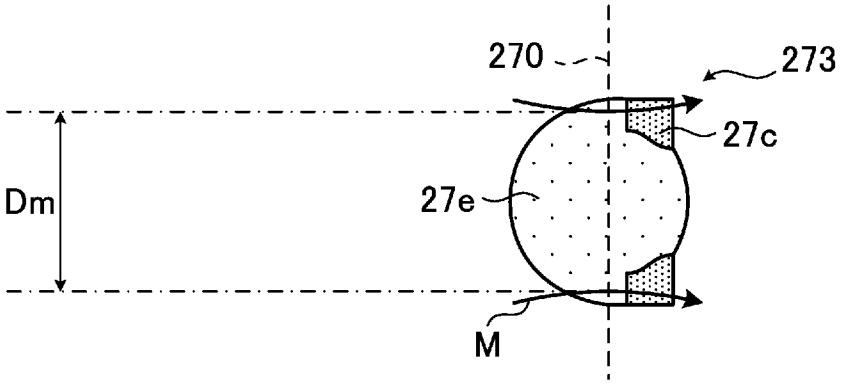


図3D

[図4]

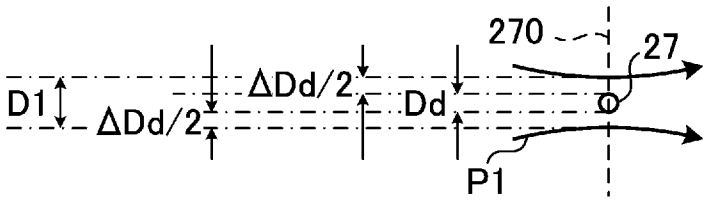


図4A

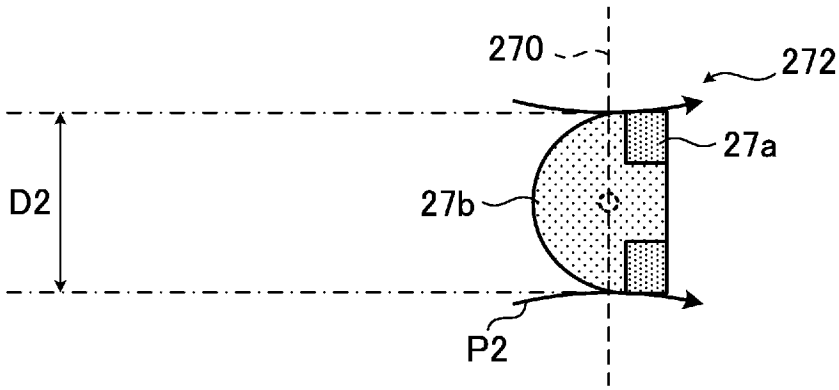


図4B

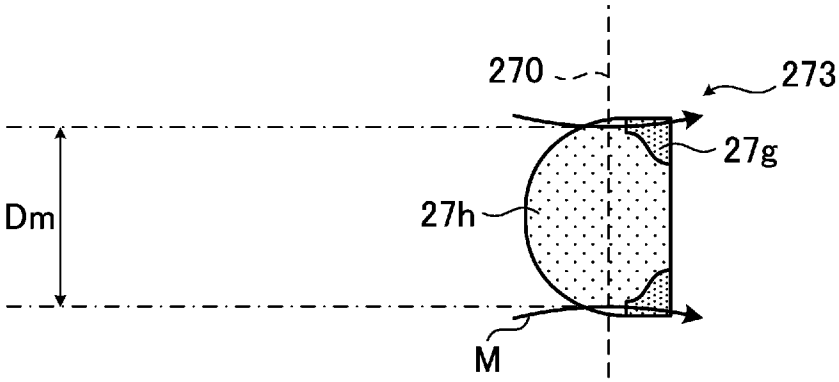


図4C

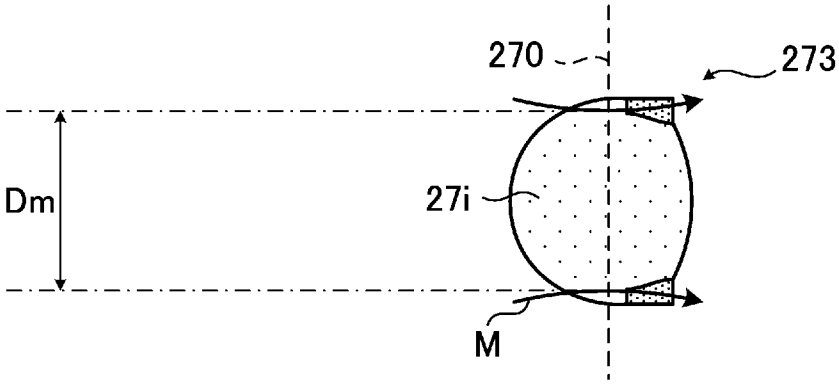
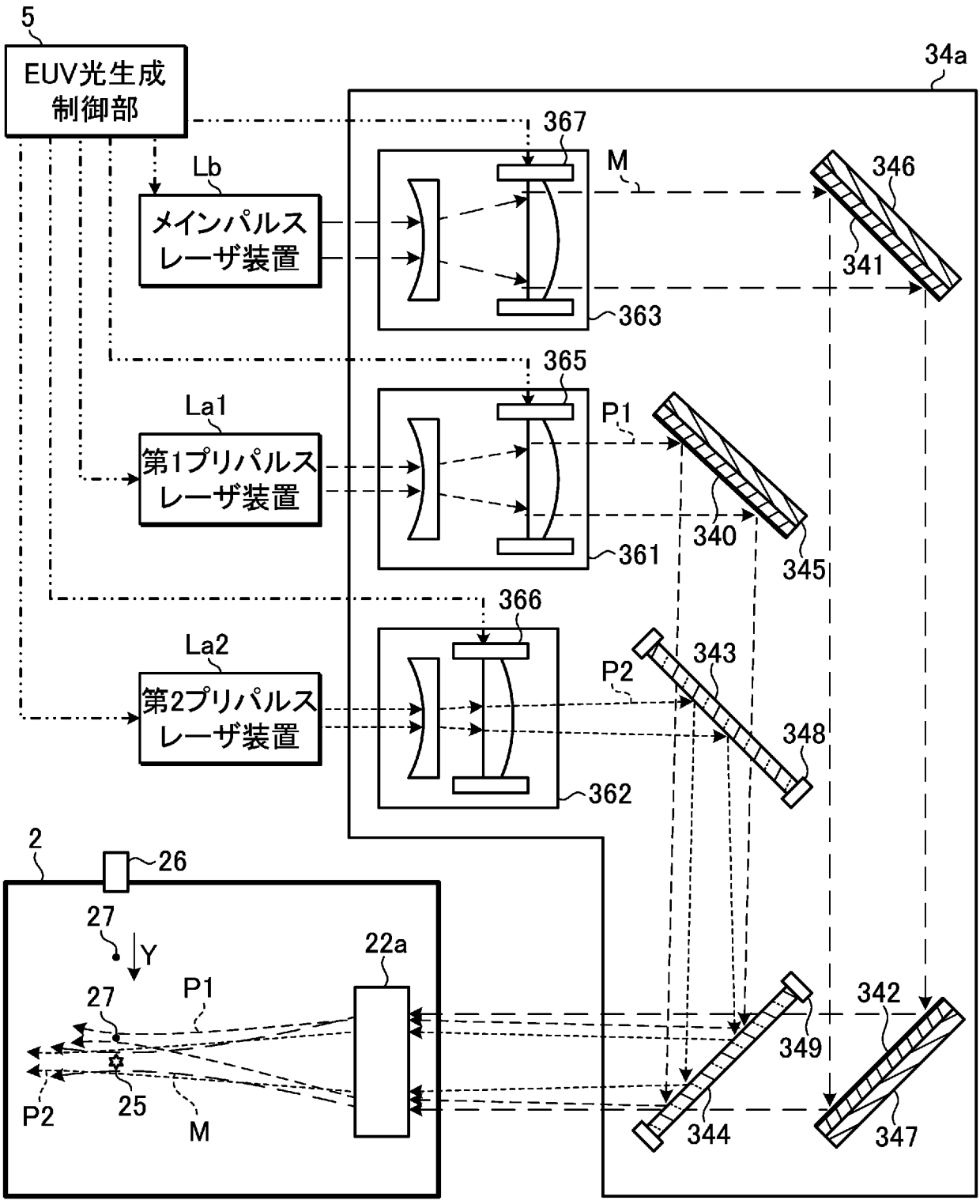


図4D

[図5]


5
EUV光生成
制御部
34a
Lb
メインパルス
レーザ装置
367
M
346
341
363
365
La1
第1プリパルス
レーザ装置
P1
340
345
361
366
La2
第2プリパルス
レーザ装置
P2
343
348
362
2
26
27
Y
22a
27
P1
P2
25
M
342
349
344
347

[図6]

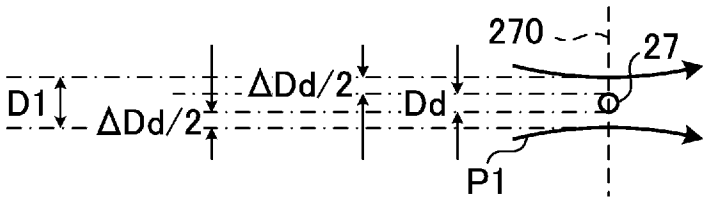


図6A

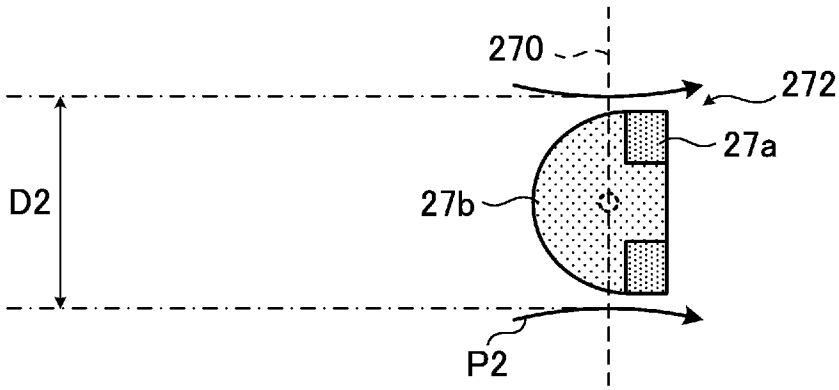


図6B

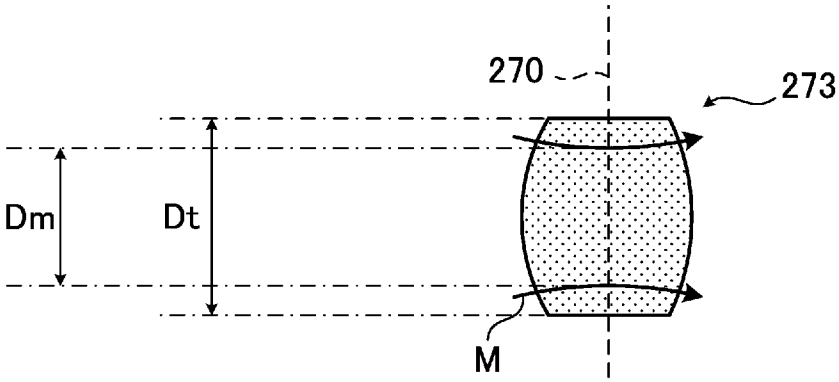


図6C

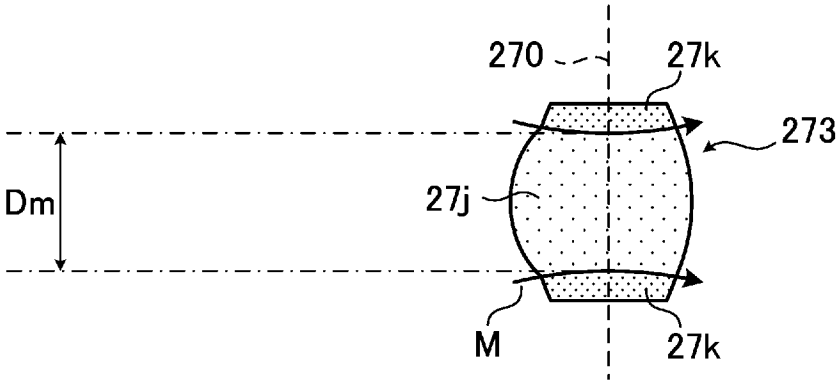


図6D

[図7]

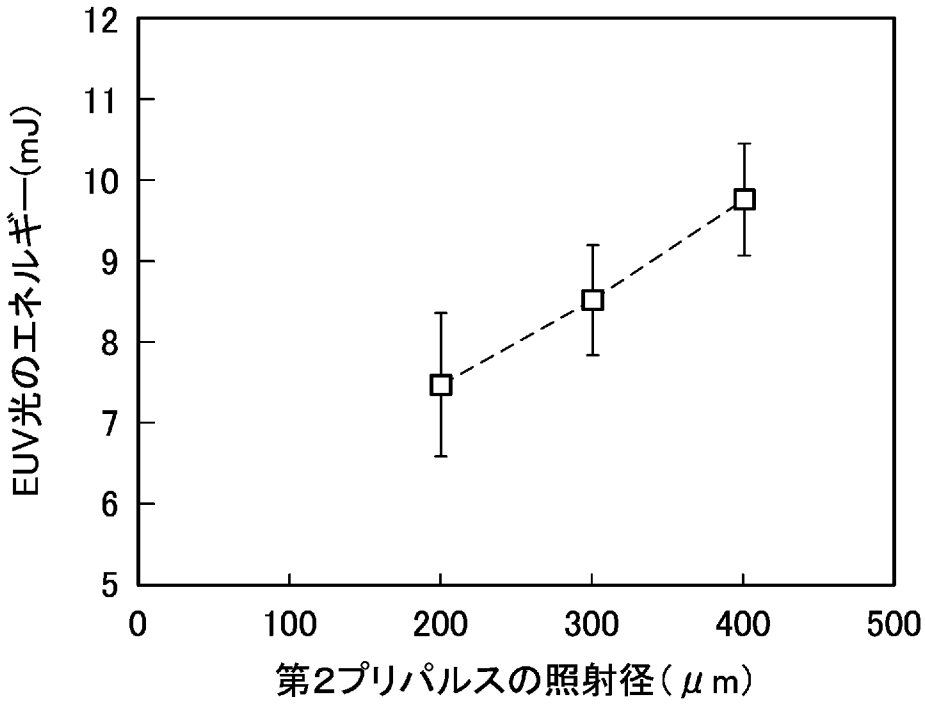

12
11
10
9
8
7
6
5
EUV光のエネルギー(mJ)
0
100
200
300
400
500
第2プリパルスの照射径(μm)

図7A

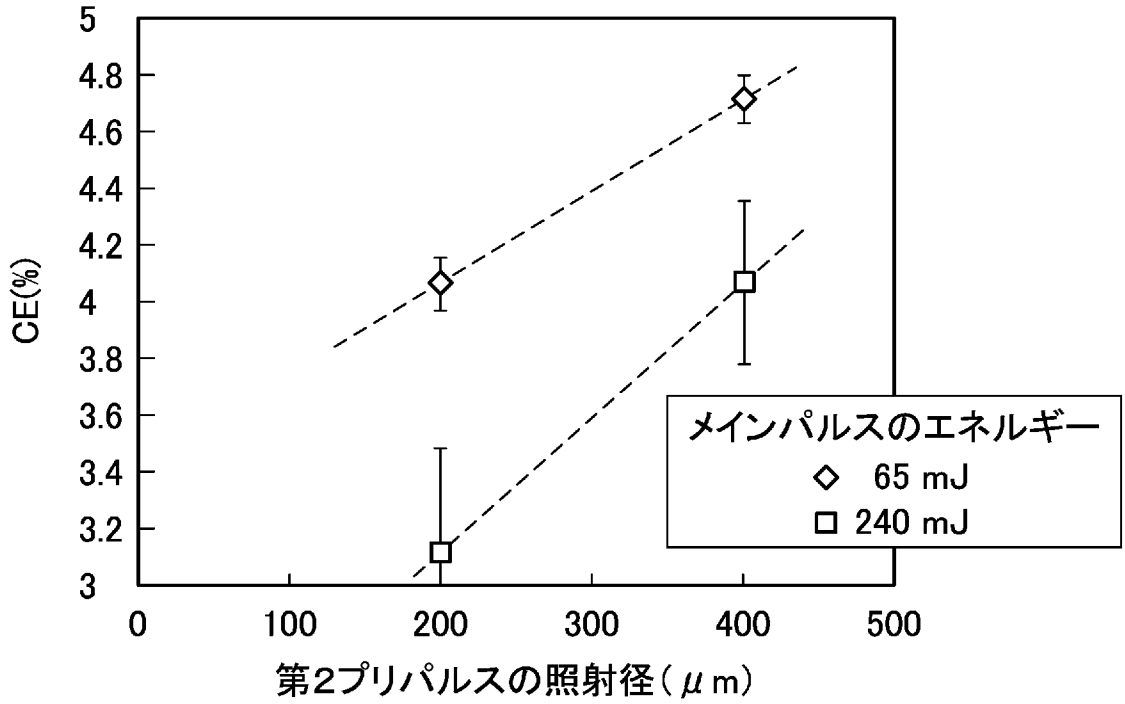
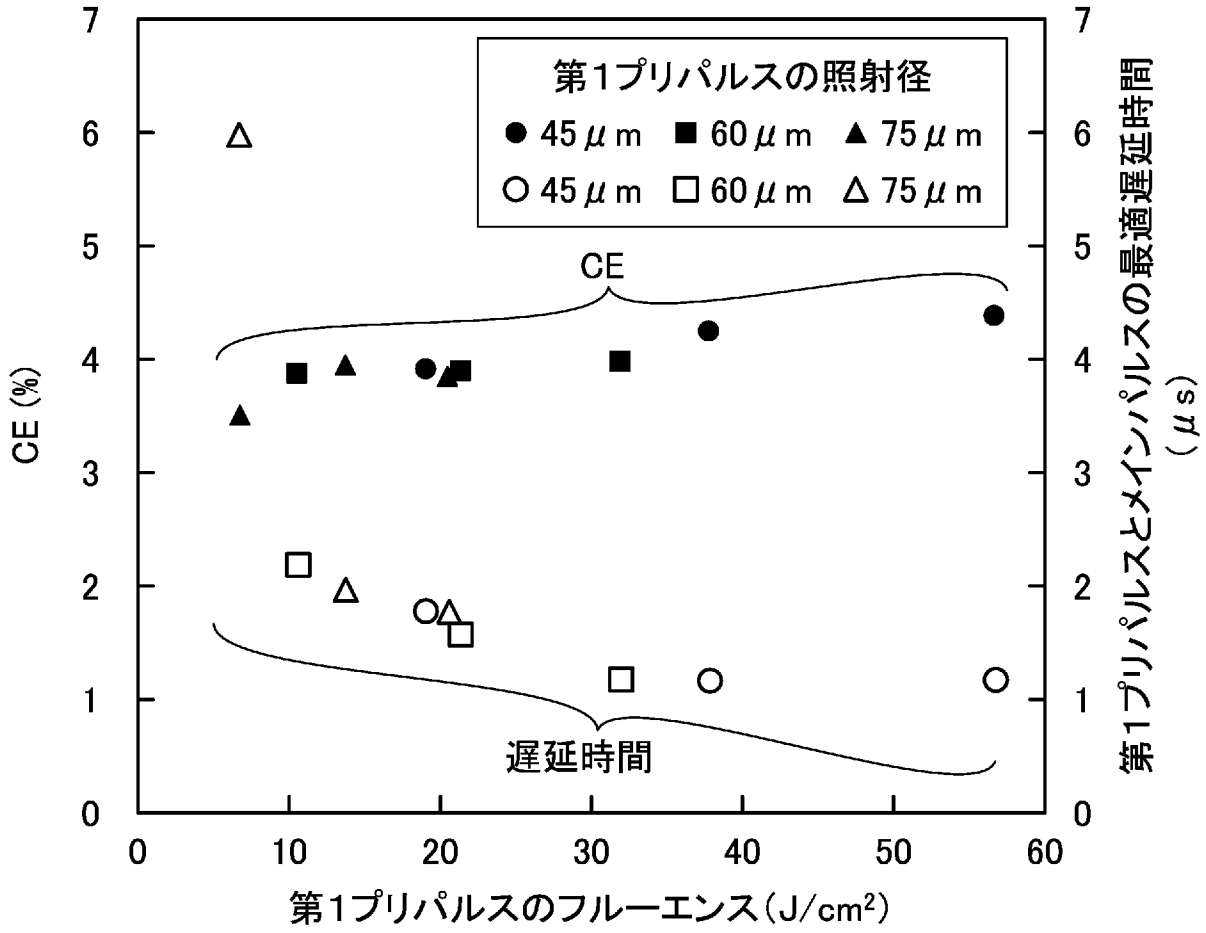
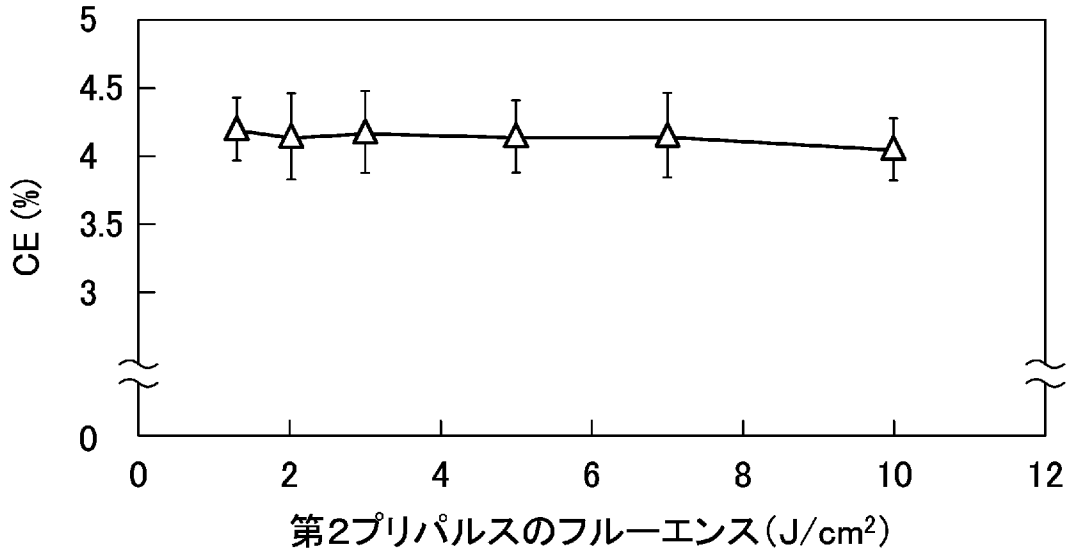

5
4.8
4.6
4.4
4.2
4
3.8
3.6
3.4
3.2
3
CE(%)
0
100
200
300
400
500
第2プリパルスの照射径(μm)
メインパルスのエネルギー
65 mJ
240 mJ

図7B

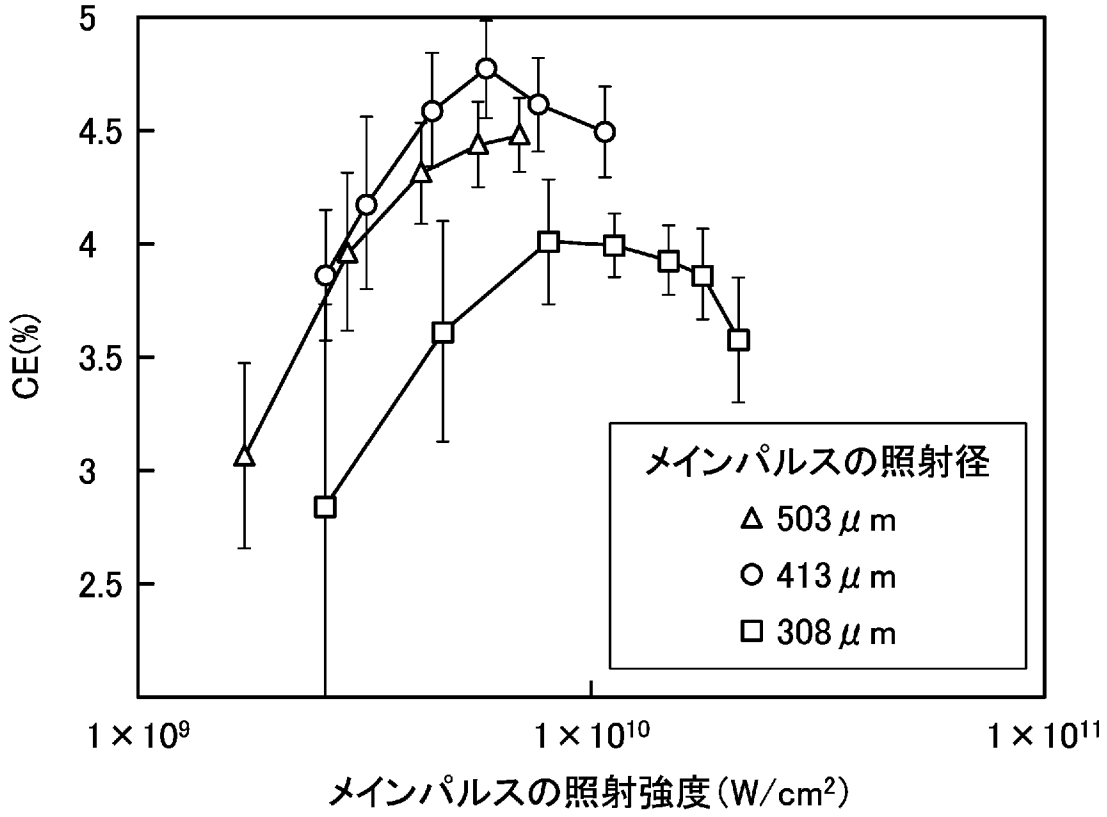
[図8]


第1プリパルスの照射径
● 45μm ■ 60μm ▲ 75μm
○ 45μm □ 60μm △ 75μm
CE
遅延時間
CE (%)
第1プリパルスとメインパルスの最適遅延時間 (μs)
第1プリパルスのフルーエンス(J/cm²)
0
10
20
30
40
50
60
1
2
3
4
5
6
7

[図9]


CE (%)
第2プリパルスのフルーエンス(J/cm²)
0
2
4
6
8
10
12
3
3.5
4
4.5
5

[図10]


5
4.5
4
3.5
3
2.5
CE(%)
1×10^9
1×10^10
1×10^11
メインパルスの照射強度(W/cm^2)
メインパルスの照射径
△ 503μm
○ 413μm
□ 308μm

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/085048

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
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)
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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2002-289397 A (Takayasu MOCHIZUKI), 04 October 2002 (04.10.2002), claim 1; paragraphs [0027] to [0029]; fig. 1 to 3 & US 2002/0141537 A1 claim 1; paragraphs [0044] to [0049]; fig. 1 to 3	1-3,6-10, 12-14

☒ 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
25 February 2016 (25.02.16)	08 March 2016 (08.03.16)

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

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/085048

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2015-29116 A (Gigaphoton Inc.), 12 February 2015 (12.02.2015), paragraphs [0041] to [0049], [0066] to [0069], [0090] to [0098], [0111] to [0119]; fig. 5 to 8, 12, 16, 23 & US 9113540 B2 specification, column 9, line 11 to column 11, line 27; column 14, lines 3 to 45; column 18, line 9 to column 19, line 16; column 21, line 18 to column 22, line 41; fig. 5 to 8, 12, 17, 23 & US 2012/0307851 A1 & US 2014/0183379 A1 & US 2015/0351209 A1 & WO 2011/102277 A1 & EP 2538759 A1 & KR 10-2013-0008539 A	1-3,6-10, 12-14
A	JP 2013-251100 A (Gigaphoton Inc.), 12 December 2013 (12.12.2013), paragraph [0059]; fig. 5 & US 2013/0320232 A1 paragraph [0103]; fig. 5	1-16
A	JP 2013-4258 A (Gigaphoton Inc.), 07 January 2013 (07.01.2013), paragraphs [0043], [0116]; fig. 5, 23 & US 9113540 B specification, column 9, line 11 to column 11, line 27; column 21, lines 18 to 28; fig. 5, 23 & US 2012/0307851 A1 & US 2014/0077099 A1 & WO 2012/173166 A2 & EP 2721907 A1 & TW 01316838 A & KR 10-2014-0036192 A	1-16
A	JP 2012-169241 A (Gigaphoton Inc.), 06 September 2012 (06.09.2012), paragraphs [0018] to [0028]; fig. 2 to 4 & US 2012/0248344 A1 paragraphs [0066] to [0075]; fig. 2 to 4 & US 2012/0305811 A1 & US 2015/0264793 A1 & WO 2011/122397 A1 & EP 2563099 A1 & TW 01304613 A & KR 10-2013-0038802 A	1-16

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１５／０８５０４８

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　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（ＩＰＣ））

Int.Cl.　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	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１６年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１６年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１６年

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

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y	JP 2002-289397 A (望月　孝晏)2002.10.04, [請求項１], 段落[００２７]－[００２９], 図１－図３ & US 2002/0141537 A1, [請求項１], 段落[００４４]－[００４９], 図１－図３	1-3,6-10,12-14
Y	JP 2015-29116 A (ギガフォトン株式会社)2015.02.12, 段落[００４１]－[００４９], [００６６]－[００６９], [００９０]－[００９８], [０１１１]－[０１１９], 図５－図８, 図１２, 図１６, 図２３ & US 9113540 B2, 明細書第９欄第１１行－第１１欄第２７行, 第１４欄第３行－第４５行,	1-3,6-10,12-14

☑　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
２５．０２．２０１６	０８．０３．２０１６

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

特許庁審査官（権限のある職員）　２Ｍ　３７０６
植木　隆和
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２７４

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
	第１８欄第９行－第１９欄第１６行，第２１欄第１８行－第２２欄第４１行，図５－図８，図１２，図１７，図２３ & US 2012/0307851 A1 & US 2014/0183379 A1 & US 2015/0351209 A1 & WO 2011/102277 A1 & EP 2538759 A1 & KR 10-2013-0008539 A	
A	JP 2013-251100 A（ギガフォトン株式会社)2013.12.12，段落[００５９]，図５ & US 2013/0320232 A1,段落［０１０３]，図５	1-16
A	JP 2013-4258 A（ギガフォトン株式会社)2013.01.07，［００４３]，［０１１６]，図５,図２３ & US 9113540 B2，明細書第９欄第１１行－第１１欄第２７行，第２１欄第１８行－第２８行,図５,図２３ & US 2012/0307851 A1 & US 2014/0077099 A1 & WO 2012/173166 A2 & EP 2721907 A1 & TW 01316838 A &　KR 10-2014-0036192 A	1-16
A	JP 2012-169241 A（ギガフォトン株式会社)2012.09.06，段落[００１８]－[００２８]，図２－図４ & US 2012/0248344 A1,段落［００６６]－[００７５]，図２－図４ & US 2012/0305811 A1 & US 2015/0264793 A1 & WO 2011/122397 A1 & EP 2563099 A1 & TW 01304613 A & KR 10-2013-0038802 A	1-16