

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014年12月4日(04.12.2014)



(10) 国際公開番号

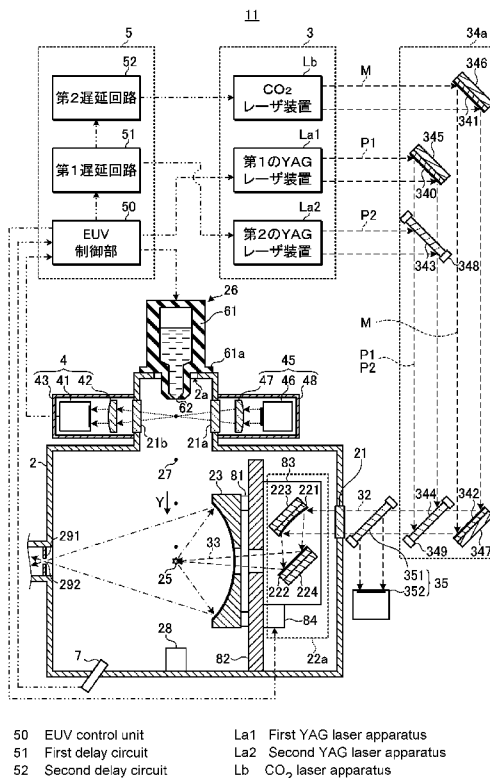
WO 2014/192872 A1

- (51) 国際特許分類:
H05G 2/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/064265
- (22) 国際出願日: 2014年5月29日(29.05.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2013-116242 2013年5月31日(31.05.2013) JP
- (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). 若林 理(WAKABAYASHI Osamu); 〒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, 外(HOSAKA Nobuhisa et al.); 〒3300074 埼玉県さいたま市浦和区北浦和2-14-7 Saitama (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, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロパ(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ユーロッパ(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

[続葉有]

(54) Title: EXTREME ULTRAVIOLET GENERATION SYSTEM

(54) 発明の名称: 極端紫外光生成システム



(57) Abstract: This extreme ultraviolet generation system may include: a chamber; a target generation unit that is configured to output a target toward a plasma generation region in the chamber; a laser system that generates first prepulse laser light, second prepulse laser light, and main pulse laser light such that the target is irradiated with the first prepulse laser light, the second prepulse laser light and the main pulse laser light in this order; and a control unit that controls the laser system such that a fluence of the second prepulse laser light is not less than 1 J/cm² but not more than a fluence of the main pulse laser light.

(57) 要約: この極端紫外光生成システムは、チャンバと、チャンバ内のプラズマ生成領域に向けてターゲットを出力するように構成されたターゲット生成部と、ターゲットに、第1プリパルスレーザー光、第2プリパルスレーザー光及びメインパルスレーザー光がこの順で照射されるように、第1プリパルスレーザー光、第2プリパルスレーザー光及びメインパルスレーザー光を生成するレーザーシステムと、第2プリパルスレーザー光のフルエンスが、1 J/cm²以上、且つ、メインパルスレーザー光のフルエンス以下となるように、レーザーシステムを制御する制御部と、を含んでもよい。

WO 2014/192872 A1



(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, — 補正された請求の範囲 (条約第 19 条(1))
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： 極端紫外光生成システム

技術分野

[0001] 本開示は、極端紫外光生成システムに関する。

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、70 nm～45 nmの微細加工、さらには32 nm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32 nm以下の微細加工の要求に応えるべく、波長13 nm程度の極端紫外（EUV: Extreme Ultra Violet）光を生成するための極端紫外光生成装置と縮小投影反射光学系（reduced projection reflective 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] 極端紫外光生成装置としては、ターゲット物質に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：レーザ励起プラズマ）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、軌道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。

概要

[0004] 本開示の1つの観点に係る極端紫外光生成システムは、チャンバと、チャンバ内のプラズマ生成領域に向けてターゲットを出力するように構成されたターゲット生成部と、ターゲットに、第1プリパルスレーザ光、第2プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光がこの順で照射されるように、第1プリパルスレーザ光、第2プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光を生成するレーザシステムと、第2プリパルスレーザ光のフルーエンスが、 1 J/cm^2 以上、且つ、メインパルスレーザ光のフルーエンス以下となるよう

に、レーザシステムを制御する制御部と、を含んでもよい。

[0005] 本開示の他の1つの観点に係る極端紫外光生成システムは、チャンバと、チャンバ内のプラズマ生成領域に向けてターゲットを出力するように構成されたターゲット生成部と、ターゲットに、プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光がこの順で照射されるように、プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光を生成するレーザシステムと、メインパルスレーザ光のパルス波形が、第1の増加率以下の増加率で光強度が増加する第1段階と、第1の増加率より大きい第2の増加率以上の増加率で光強度が増加する第2段階と、光強度が減少する第3段階と、を含み、且つ、第1段階における当該メインパルスレーザ光のフルエンスが、 $2\text{ J} / \text{cm}^2$ 以上、且つ、第2段階及び第3段階における当該メインパルスレーザ光のフルエンス以下となるように、パルス波形を制御する制御部と、を含んでもよい。

[0006] 本開示の他の1つの観点に係る極端紫外光生成システムは、チャンバと、チャンバ内のプラズマ生成領域に向けてターゲットを出力するように構成されたターゲット生成部と、ターゲットに、第1プリパルスレーザ光、第2プリパルスレーザ光、及び、第1プリパルスレーザ光の波長及び第2プリパルスレーザ光の波長より大きい波長を有するメインパルスレーザ光が、この順で照射されるように、第1プリパルスレーザ光、第2プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光を生成するレーザシステムと、第1プリパルスレーザ光、第2プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光をプラズマ生成領域に集光するように構成されたレーザ集光光学系と、レーザ集光光学系に入射する第2プリパルスレーザ光のビーム径が、レーザ集光光学系に入射する第1プリパルスレーザ光のビーム径及びレーザ集光光学系に入射するメインパルスレーザ光のビーム径より小さくなるように、第1プリパルスレーザ光、第2プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光の少なくとも1つのビーム径を制御する制御部と、を含んでもよい。

[0007] 本開示の他の1つの観点に係る極端紫外光生成システムは、チャンバと、チャンバ内のプラズマ生成領域に向けてターゲットを出力するように構成さ

れたターゲット生成部と、ターゲットに、第1プリパルスレーザ光、第2プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光がこの順で照射されるように、第1プリパルスレーザ光、第2プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光を生成するレーザシステムと、ターゲットに対する第1プリパルスレーザ光の照射位置が、ターゲットに対するメインパルスレーザ光の照射位置よりも、ターゲット生成部に近い位置となるように、第1プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光の少なくとも1つのレーザ光路軸を制御する制御部と、を含んでもよい。

[0008] 本開示の他の1つの観点に係る極端紫外光生成システムは、チャンバと、チャンバ内のプラズマ生成領域に向けてターゲットを出力するように構成されたターゲット生成部と、ターゲットに、第1プリパルスレーザ光、第2プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光がこの順で照射されるように、第1プリパルスレーザ光、第2プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光を生成するレーザシステムと、を含み、第1プリパルスレーザ光の波長と第2プリパルスレーザ光の波長との差より、第2プリパルスレーザ光の波長とメインパルスレーザ光の波長との差が小さくてもよい。

[0009] 本開示の他の1つの観点に係る極端紫外光生成システムは、チャンバと、チャンバ内のプラズマ生成領域に向けてターゲットを出力するように構成されたターゲット生成部と、ターゲットに、第1プリパルスレーザ光、第2プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光がこの順で照射されるように、第1プリパルスレーザ光、第2プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光を生成するレーザシステムと、ターゲットに対する第1プリパルスレーザ光の照射タイミングからターゲットに対する第2プリパルスレーザ光の照射タイミングまでの時間が、ターゲットに対する第2プリパルスレーザ光の照射タイミングからターゲットに対するメインパルスレーザ光の照射タイミングまでの時間より短くなるように、レーザシステムを制御する制御部と、を含んでもよい。

図面の簡単な説明

[0010] 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L P P式のE U V光生成システムの構成を概略的に示す。

[図2]図2は、第1の実施形態に係るE U V光生成システムの構成を示す一部断面図である。

[図3]図3は、第1の実施形態におけるレーザ受光信号の一例を示す波形図である。

[図4]図4は、図2に示されるE U V光生成システムにおけるレーザ光進行方向制御部及びその周辺の第1の構成例を概略的に示す。

[図5]図5は、図2に示されるE U V光生成システムにおけるレーザ光進行方向制御部及びその周辺の第2の構成例を概略的に示す。

[図6]図6は、図2に示されるE U V光生成システムにおけるレーザ光進行方向制御部及びその周辺の第3の構成例を概略的に示す。

[図7]図7は、第2の実施形態に係るE U V光生成システムの構成を示す一部断面図である。

[図8]図8は、第2の実施形態におけるレーザ受光信号の一例を示す波形図である。

[図9]図9は、図7に示されるE U V光生成システムにおけるレーザ光進行方向制御部及びその周辺の構成例を概略的に示す。

[図10]図10は、第2の実施形態におけるレーザ受光信号の別の例を示す波形図である。

[図11]図11Aは、第2の実施形態におけるC O₂レーザ装置の第1の構成例を概略的に示す。図11Bは、第1のマスターオシレータから出力される第1のシードレーザ光のパルス波形の第1の例を示すグラフである。図11Cは、第2のマスターオシレータから出力される第2のシードレーザ光のパルス波形の第1の例を示すグラフである。図11Dは、ビームコンバイナから出力されるパルスレーザ光のパルス波形の第1の例を示すグラフである。図

図 11 E は、CO₂レーザ装置から出力されるパルスレーザ光のパルス波形の第 1 の例を示すグラフである。図 11 F は、第 1 のマスターオシレータから出力される第 1 のシードレーザ光のパルス波形の第 2 の例を示すグラフである。図 11 G は、第 2 のマスターオシレータから出力される第 2 のシードレーザ光のパルス波形の第 2 の例を示すグラフである。図 11 H は、ビームコンバイナから出力されるパルスレーザ光のパルス波形の第 2 の例を示すグラフである。図 11 I は、CO₂レーザ装置から出力されるパルスレーザ光のパルス波形の第 2 の例を示すグラフである。

[図12]図 12 A は、第 2 の実施形態における CO₂レーザ装置の第 2 の構成例を概略的に示す。図 12 B は、マスターオシレータから出力されるパルスレーザ光のパルス波形の第 1 の例を示すグラフである。図 12 C は電圧波形制御回路から出力される電圧波形の第 1 の例を示すグラフである。図 12 D は、波形調節器から出力されるパルスレーザ光のパルス波形の第 1 の例を示すグラフである。図 12 E は、第 3 の増幅器から出力されるパルスレーザ光のパルス波形の第 1 の例を示すグラフである。図 12 F は、マスターオシレータから出力されるパルスレーザ光のパルス波形の第 2 の例を示すグラフである。図 12 G は電圧波形制御回路から出力される電圧波形の第 2 の例を示すグラフである。図 12 H は、波形調節器から出力されるパルスレーザ光のパルス波形の第 2 の例を示すグラフである。図 12 I は、第 3 の増幅器から出力されるパルスレーザ光のパルス波形の第 2 の例を示すグラフである。

[図13]図 13 は、図 12 A に示される CO₂レーザ装置の構成例を概略的に示す。

[図14]図 14 は、第 2 の実施形態における CO₂レーザ装置の第 3 の構成例を概略的に示す。

[図15]図 15 は、第 1 及び第 2 の実施形態に係る E U V 光生成システムにおける C E の測定結果を示すグラフである。

[図16]図 16 は、第 1 及び第 2 の実施形態に係る E U V 光生成システムにおける C E の測定結果を示すグラフである。

[図17]図17は、第1の実施形態に係るEUV光生成システムにおけるCEの測定結果を示す別のグラフである。

[図18]図18は、第1の実施形態に係るEUV光生成システムにおけるCEの測定結果を示す別のグラフである。

[図19]図19は、第1及び第2の実施形態に係るEUV光生成システムにおけるCEの測定結果を示すさらに別のグラフである。

[図20]図20は、第1及び第2の実施形態に係るEUV光生成システムにおけるCEの測定結果を示すさらに別のグラフである。

[図21]図21は、第1の実施形態に係るEUV光生成システムにおけるCEの測定結果を示すさらに別のグラフである。

[図22]図22は、第1の実施形態に係るEUV光生成システムにおけるCEの測定結果を示すさらに別のグラフである。

[図23]図23は、第1の実施形態に係るEUV光生成システムにおけるCEの測定結果を示すさらに別のグラフである。

[図24]図24は、第1の実施形態に係るEUV光生成システムにおけるCEの測定結果を示すさらに別のグラフである。

[図25]図25は、第1の実施形態に係るEUV光生成システムにおけるCEの測定結果を示すさらに別のグラフである。

[図26]図26Aは、第1及び第2の実施形態においてピコ秒オーダーのパルス幅を有する第1プリパルスレーザ光が照射されときのターゲットの様子を概略的に示す。図26Bは、第2プリパルスレーザ光が照射されときのターゲットの様子を概略的に示す。図26Cは、メインパルスレーザ光が照射されときのターゲットの様子を概略的に示す。図26Dは、メインパルスレーザ光が照射された後のターゲットの様子を概略的に示す。

[図27]図27Aは、第1及び第2の実施形態においてナノ秒オーダーのパルス幅を有する第1プリパルスレーザ光が照射されときのターゲットの様子を概略的に示す。図27Bは、第2プリパルスレーザ光が照射されときのターゲットの様子を概略的に示す。図27Cは、メインパルスレーザ光が照

射されるときターゲットの様子を概略的に示す。図27Dは、メインパルスレーザ光が照射された後のターゲットの様子を概略的に示す。

[図28]図28は、第3の実施形態に係るEUV光生成システムの構成を示す一部断面図である。

[図29]図29は、第3の実施形態におけるレーザ受光信号の一例を示す波形図である。

[図30]図30は、図28に示されるEUV光生成システムにおけるレーザ光進行方向制御部及びその周辺の構成例を概略的に示す。

[図31]図31は、第3の実施形態に係るEUV光生成システムの変形例を示す一部断面図である。

[図32]図32は、第3の実施形態の変形例におけるレーザ受光信号の一例を示す波形図である。

[図33]図33は、第3の実施形態に係る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34]図34は、第3の実施形態において第1プリパルスレーザ光及び第2プリパルスレーザ光が照射された後のターゲットの様子を概略的に示す。

[図35]図35は、上述の各実施形態に係るEUV光生成システムにおいて用いることができる第1のYAGレーザ装置の第1の例を概略的に示す。

[図36]図36は、上述の各実施形態に係るEUV光生成システムにおいて用いることができる第1のYAGレーザ装置の第2の例を概略的に示す。

[図37]図37は、図36に示す再生増幅器においてポッケルスセルに電圧が印加されている場合の光路を概略的に示す。

[図38]図38は、制御部の概略構成を示すブロック図である。

実施形態

[0011] <内容>

1. 概要
2. 用語の説明
3. EUV光生成システムの全体説明

3. 1 構成

3. 2 動作

4. 第1及び第2プリパルスレーザ光をターゲットに照射するEUV光生成システム

4. 1 構成

4. 1. 1 ターゲット生成部

4. 1. 2 ターゲットセンサ及び発光部

4. 1. 3 レーザシステム

4. 1. 4 レーザ光進行方向制御部

4. 1. 5 光検出器

4. 1. 6 集光光学系

4. 1. 7 EUV集光ミラー及びEUV光センサ

4. 2 動作

4. 2. 1 ターゲットの出力

4. 2. 2 パルスレーザ光の出力

4. 2. 3 パルスレーザ光の伝送

4. 2. 4 パルスレーザ光の検出

4. 2. 5 パルスレーザ光の集光

4. 3 レーザ光学系の第1の例

4. 3. 1 パルスレーザ光の照射位置の調整

4. 3. 2 パルスレーザ光の集光径

4. 4 レーザ光学系の第2の例

4. 5 レーザ光学系の第3の例

5. CO₂レーザ装置に2つのトリガ信号が入力されるEUV光生成システム

5. 1 構成

5. 2 動作

5. 3 レーザ光学系の例

5. 4 CO₂レーザ装置によるパルスレーザ光のパルス波形の変形例

- 5. 5 2つのトリガ信号が入力されるCO₂レーザ装置の第1の構成例
- 5. 6 2つのトリガ信号が入力されるCO₂レーザ装置の第2の構成例
- 5. 7 2つのトリガ信号が入力されるCO₂レーザ装置の第3の構成例
- 6. パルスレーザ光のパラメータとCEの関係
 - 6. 1 第2プリパルスレーザ光P₂又はメインパルスレーザ光MPの第1段階におけるフルエンス及びそれらの光強度
 - 6. 2 第2プリパルスレーザ光P₂の照射タイミング
 - 6. 3 メインパルスレーザ光M又はMPのフルエンス
 - 6. 4 第1プリパルスレーザ光P₁の照射タイミング
 - 6. 5 第1及び第2プリパルスレーザ光の照射タイミング
- 7. パルスレーザ光を照射されたターゲットの変化
 - 7. 1 第1プリパルスレーザ光がピコ秒オーダーのパルス幅を有する場合
 - 7. 2 第1プリパルスレーザ光がナノ秒オーダーのパルス幅を有する場合
- 8. YAGレーザ装置が複数のパルスを出力するEUV光生成システム
 - 8. 1 構成
 - 8. 2 動作
 - 8. 3 レーザ光学系の例
 - 8. 4 第4のトリガ信号を用いた変形例
 - 8. 5 CEの向上
 - 8. 6 パルスレーザ光を照射されたターゲットの変化
- 9. その他（YAGレーザ装置）
 - 9. 1 第1の例
 - 9. 2 第2の例
 - 9. 2. 1 ポッケルスセルに電圧を印加しない場合
 - 9. 2. 2 ポッケルスセルに電圧を印加する場合
- 10. 制御部の構成

[0012] 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すべ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。

[0013] 1. 概要

L P P 式の E U V 光生成システムにおいては、ターゲット生成部が液滴状のターゲットを出力し、チャンバ内のプラズマ生成領域に到達させてもよい。ターゲットがプラズマ生成領域に到達する時点で、レーザシステムがターゲットにパルスレーザ光を照射することにより、ターゲットがプラズマ化し、このプラズマから E U V 光が放射され得る。放射された E U V 光は、チャンバ内に配置された E U V 集光ミラーによって集光され、露光装置等に出力されてもよい。

[0014] この E U V 光生成システムにおいては、パルスレーザ光のエネルギーから E U V 光のエネルギーへの変換効率 (C E) の向上が求められている。

[0015] 本開示の 1 つの観点によれば、液滴状のターゲットに第 1 プリパルスレーザ光を照射した後に、このターゲットに第 2 プリパルスレーザ光を照射し、その後、このターゲットにメインパルスレーザ光を照射するように、E U V 光生成システムが構成されてもよい。液滴状のターゲットに第 1 プリパルスレーザ光が照射されることにより、液滴状のターゲットが微粒子状に破壊されて膨張してもよい。このターゲットに第 2 プリパルスレーザ光が照射されることにより、ターゲットが蒸気又はプリプラズマとなり得る。この蒸気又はプリプラズマにメインパルスレーザ光が照射されることにより、効率よくプラズマ化し得る。

[0016] 2. 用語の説明

本願において使用される幾つかの用語を以下に説明する。

ターゲットの「軌道」は、ターゲット生成部から出力されるターゲットの

理想的な経路、あるいは、ターゲット生成部の設計に従ったターゲットの経路であってもよい。

ターゲットの「軌跡」は、ターゲット生成部から出力されたターゲットの実際の経路であってもよい。

「プラズマ生成領域」は、EUV光を生成するためのプラズマの生成が開始される領域を意味し得る。

パルスレーザ光の「光路軸」は、パルスレーザ光の光路の中心軸を意味し得る。

[0017] 3. EUV光生成システムの全体説明

3. 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、ターゲット生成部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。ターゲット生成部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。ターゲット生成部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。

[0018] 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。

[0019] 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。

[0020] 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。

[0021] 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。

[0022] 3. 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 としてウィンドウ 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。

[0023] ターゲット生成部 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 25

1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。

[0024] 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に構成されてもよい。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処理するように構成されてもよい。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に構成されてもよい。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に構成されてもよい。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。

[0025] 4. 第1及び第2プリパルスレーザ光をターゲットに照射するEUV光生成システム

4. 1 構成

図2は、第1の実施形態に係る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とが設けられてもよい。チャンバ2には、ターゲット生成部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。

[0026] 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、光検出器35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、第1遅延回路51と、第2遅延回路52とを含んでもよい。

[0027] 4. 1. 1 ターゲット生成部

ターゲット生成部26は、リザーバ61を有していても良い。リザーバ61は、熔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。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。

[0028] 4. 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。

[0029] 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。

[0030] 光源46の出力光は、集光光学系47によって、ターゲット生成部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、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。

[0031] 4. 1. 3 レーザシステム

レーザシステム3は、第1のYAGレーザ装置La1と、第2のYAGレーザ装置La2と、CO₂レーザ装置Lbとを含んでもよい。ここではY

A Gレーザ装置及びC O₂レーザ装置について例示するが、他のレーザ装置、例えばN d : Y V O₄を用いたレーザ装置であってもよい。なお、Y A G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Y A G結晶を用いるものでもよい。C O₂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C O₂ガスを用いるものでもよい。

[0032] 第1のY A Gレーザ装置L a 1は、第1プリパルスレーザ光P 1を出力してもよい。第2のY A Gレーザ装置L a 2は、第2プリパルスレーザ光P 2を出力してもよい。C O₂レーザ装置L bは、メインパルスレーザ光Mを出力してもよい。

[0033] 4. 1. 4 レーザ光進行方向制御部

レーザ光進行方向制御部3 4 aは、高反射ミラー3 4 0、3 4 1及び3 4 2と、ビームコンバイナ3 4 3及び3 4 4と、を含んでもよい。高反射ミラー3 4 0は、ホルダ3 4 5によって支持されていてもよい。高反射ミラー3 4 1は、ホルダ3 4 6によって支持されていてもよい。高反射ミラー3 4 2は、ホルダ3 4 7によって支持されていてもよい。

[0034] ビームコンバイナ3 4 3は、ホルダ3 4 8によって支持されていてもよい。ビームコンバイナ3 4 3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。

[0035] ビームコンバイナ3 4 4は、ホルダ3 4 9によって支持されていてもよい。ビームコンバイナ3 4 4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P 1と第2プリパルスレーザ光P 2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3 4 3も、ダイクロイックミラーであってもよい。

[0036] 4. 1. 5 光検出器

光検出器 35 は、レーザ光進行方向制御部 34 a と集光光学系 22 a との間のパルスレーザ光 32 の光路に配置されてもよい。光検出器 35 は、ビームスプリッタ 351 と光センサ 352 とを含んでもよい。

[0037] 4. 1. 6 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 22 a 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。

[0038] 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。

[0039] 4. 1. 7 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。

[0040] 4. 2 動作

4. 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、ターゲット生成部 26 がターゲット 27 を出力するように、ターゲット生成部 26 に制御信号を出力してもよい。

ターゲット生成部 26 は、開口 62 を介して、複数の液滴状のターゲット 27 を順次出力してもよい。複数の液滴状のターゲット 27 は、その出力順に従って、プラズマ生成領域 25 に到達してもよい。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。

[0041] 4. 2. 2 パルスレーザ光の出力

EUV制御部 50 は、ターゲット 27 がプラズマ生成領域 25 又はその近傍に到達するタイミングでパルスレーザ光 33 が当該ターゲット 27 に集光されるように、レーザシステム 3 を制御してもよい。

[0042] 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 の YAGレーザ装置 La1 及び第 1 遅延回路 51 に出力してもよい。第 1 の YAG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。

[0043] 第 1 遅延回路 51 は、第 1 のトリガ信号を受信してもよい。第 1 遅延回路 51 は、第 1 の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 2 のトリガ信号を、第 2 の YAGレーザ装置 La2 及び第 2 遅延回路 52 に出力してもよい。第 2 の YAG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。

[0044] 第 2 遅延回路 52 は、第 2 のトリガ信号を受信してもよい。第 2 遅延回路 52 は、第 2 のトリガ信号の受信タイミングに対して第 2 の遅延時間が経過したことを示す第 3 のトリガ信号を、CO₂レーザ装置 Lb に出力してもよい。

あるいは、EUV制御部 50 が、第 1 のトリガ信号を第 2 遅延回路 52 にも出力してもよい。第 1 のトリガ信号を受信した第 2 遅延回路 52 が、第 1 のトリガ信号の受信タイミングに対して第 1 及び第 2 の遅延時間が経過したことを示す第 3 のトリガ信号を、CO₂レーザ装置 Lb に出力してもよい。

CO₂レーザ装置L b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。

[0045] 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P 1、第2プリパルスレーザ光P 2、メインパルスレーザ光Mを、この順で出力してもよい。

[0046] 4. 2. 3 パルスレーザ光の伝送

レーザ光進行方向制御部3 4 aに含まれる高反射ミラー3 4 0は、第1のYAGレーザ装置L a 1によって出力された第1プリパルスレーザ光P 1の光路に配置されてもよい。高反射ミラー3 4 0は、第1プリパルスレーザ光P 1を高い反射率で反射してもよい。

[0047] ビームコンバイナ3 4 3は、高反射ミラー3 4 0によって反射された第1プリパルスレーザ光P 1の光路と、第2のYAGレーザ装置L a 2によって出力された第2プリパルスレーザ光P 2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P 1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P 2は、偏光方向が紙面に垂直な直線偏光であってもよい。

[0048] 第1プリパルスレーザ光P 1は、ビームコンバイナ3 4 3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P 2は、ビームコンバイナ3 4 3に図中左側から入射してもよい。ビームコンバイナ3 4 3は、第1プリパルスレーザ光P 1を高い透過率で透過させ、第2プリパルスレーザ光P 2を高い反射率で反射し、これらの光をビームコンバイナ3 4 4に導いてもよい。

[0049] 高反射ミラー3 4 1及び3 4 2は、CO₂レーザ装置L b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3 4 1及び3 4 2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。

[0050] ビームコンバイナ3 4 4は、第1プリパルスレーザ光P 1及び第2プリパルスレーザ光P 2の光路と、高反射ミラー3 4 2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

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。

[0051] 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。

[0052] 4. 2. 4 パルスレーザ光の検出

光検出器35に含まれるビームスプリッタ351は、パルスレーザ光32を集光光学系22aに向けて高い透過率で透過させるとともに、パルスレーザ光32の一部を光センサ352に向けて反射してもよい。光センサ352は、ビームスプリッタ351によって反射されたパルスレーザ光32の一部を受光して、それらの受光タイミングやその他のパラメータを示すレーザ受光信号を、EUV制御部50に出力してもよい。パルスレーザ光32が光センサ352によって受光されるタイミングは、パルスレーザ光33がターゲット27に照射されるタイミングにほぼ一致していてもよい。

[0053] 図3は、第1の実施形態におけるレーザ受光信号の一例を示す波形図である。図3において、横軸は時間tを示し、縦軸は光強度Iを示してもよい。光センサ352が受光するパルスレーザ光32は、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、を含んでもよい。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とは、この順で光センサ352に入射してもよい。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のパルスエネルギーよりも、メインパルスレーザ光Mのパルスエネルギーが大きいてもよい。ここで、パルスエネルギーは光強度Iを積分することで見積もることができる。

[0054] 4. 2. 5 パルスレーザ光の集光

図2を再び参照し、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。

[0055] 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。

[0056] 4. 3 レーザ光学系の第1の例

図4は、図2に示される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及びその周辺の第1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やターゲット生成部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。

[0057] 4. 3. 1 パルスレーザ光の照射位置の調整

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。図3に示されるように、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時間が比較的長い場合には、その移動距離も長くなり得る。

[0058] そこで、好ましくは、第1プリパルスレーザ光P1の光路軸が、プラズマ生成領域25よりもターゲット27の移動方向の上流側で、ターゲット27の軌道とほぼ交差してもよい。また、好ましくは、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。

[0059] ターゲット27がプラズマ生成領域25近傍に到達するときのターゲット27の速度は、例えば100 m/sであり得る。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遅延時間は、例えば2.0 μ sであり得る。この場合、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からターゲット27の移動方向の上流側に200 μ mずれた位置で、ターゲット27の軌道と交差してもよい。

[0060] 図4に示されるように、高反射ミラー340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いる。この高反射ミラー340のホルダ345に、アクチュエータ365が取り付けられ、EUV光生成制御部5がアクチュエータ365を制御することにより、高反射ミラー340の姿勢が調整できるようになっていてもよい。これにより、第1プリパルスレーザ光P1がプラズマ生成領域25近傍の所望の位置でターゲットの軌道と交差するように、第1プリパルスレーザ光P1の進行方向が制御されてもよい。

[0061] 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遅延時間を変更する場合や、ターゲット27の速度が変化した場合には、高反射ミラー340の姿勢がさらに調整されてもよい。

[0062] 図4においては、高反射ミラー340にアクチュエータが取り付けられる場合について説明したが、本開示はこれに限定されない。高反射ミラー341又は第2プリパルスレーザ光P2の光路に配置される図示しない高反射ミラーに、アクチュエータが取り付けられてもよい。

[0063] 4. 3. 2 パルスレーザ光の集光径

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、破壊されたターゲット27は拡散し、2次ターゲットが生成され得る。図3に示されるように、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時間が比較的長い場合には、その2次ターゲットの分散径も大きくなり得る。

[0064] 好ましくは、第1プリパルスレーザ光P1の集光径は、ターゲット27の径とほぼ同等、あるいは、ターゲット27の径より若干大きくてもよい。また、好ましくは、第2プリパルスレーザ光P2の集光径は、第1プリパルスレーザ光P1の照射によって拡散したターゲット27の分散径とほぼ同等、あるいは、拡散したターゲット27の分散径より若干大きくてもよい。メインパルスレーザ光Mの集光径は、第2プリパルスレーザ光P2の集光径とほぼ同等でもよい。そこで、好ましくは、第1プリパルスレーザ光P1の集光径は、第2プリパルスレーザ光P2の集光径及びメインパルスレーザ光Mの集光径より小さくてもよい。

[0065] ここで、パルスレーザ光が平面波であって、集光光学系22aによって集光されたパルスレーザ光のビームウエスト位置で、パルスレーザ光がターゲットに集光する場合を想定する。

平面波のレーザ光を集光光学系に入射させることによりレーザ光を集光したとき、そのビームウエストの集光径Dは、次の近似式で表され得る。

$$D \doteq 4 F \cdot \lambda \cdot M^2 / (\pi \cdot B)$$

ここで、Fは、集光光学系の焦点距離であり、 λ は、レーザ光の波長であってもよい。M²は、ビームがシングルモード横モードビームにどのくらい近い

かを示す値であり、どのくらい小さなビームウエストに集光できるかを示す値であってもよい。Bは、集光光学系に入射するレーザ光のビーム径であってもよい。

この近似式で示されるように、レーザ光の集光径Dは、レーザ光の波長 λ に比例し、レーザ光のビーム径Bに反比例し得る。

[0066] そこで、第1プリパルスレーザ光P1は、メインパルスレーザ光Mの波長より短い波長を有してもよい。この場合、例えば、第1プリパルスレーザ光P1のビーム径とメインパルスレーザ光Mのビーム径とがほぼ同じであるとすれば、第1プリパルスレーザ光P1の集光径が、メインパルスレーザ光Mの集光径より小さくなり得る。

また、第1プリパルスレーザ光P1は、第2プリパルスレーザ光P2のビーム径より大きいビーム径を有してもよい。この場合、例えば、第1プリパルスレーザ光P1の波長と第2プリパルスレーザ光P2の波長とがほぼ同じであるとすれば、第1プリパルスレーザ光P1の集光径が、第2プリパルスレーザ光P2の集光径より小さくなり得る。

[0067] 第1の実施形態においては、第1プリパルスレーザ光P1として、第1のYAGレーザ装置La1から出力された波長1.06 μ mのパルスレーザ光が用いられてもよい。同様に、第2プリパルスレーザ光P2として、第2のYAGレーザ装置La2から出力された波長1.06 μ mのパルスレーザ光が用いられてもよい。さらに、メインパルスレーザ光Mとして、CO₂レーザ装置Lbから出力された波長10.6 μ mのパルスレーザ光が用いられてもよい。

[0068] また、図4に示されるように、第1のビームエキスパンダ361が、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が、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

が、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。

[0069] 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、球面凹面ミラーと球面凸面ミラーとを含んでもよい。

[0070] そして、第1～第3のビームエキスパンダ361～363は、第1プリパルスレーザ光P1のビーム径及びメインパルスレーザ光Mのビーム径が、第2のプリパルスレーザ光P2のビーム径より大きくなるように、それぞれ、ビーム径を制御してもよい。

以上により、第1プリパルスレーザ光P1の集光径を、第2プリパルスレーザ光P2の集光径及びメインパルスレーザ光Mの集光径より小さくし得る。

[0071] 例えば、集光光学系22aの焦点距離Fを200mmとする。また、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についての、 M^2 の値をいずれも1とする。上述の近似式を用いれば、望ましい集光径Dを得るためのビーム径Bが以下のように算出され得る。

[0072] 第1プリパルスレーザ光P1の波長 λ を1.06 μm としたとき、集光径Dを70 μm とするには、集光光学系22aに入射する第1プリパルスレーザ光P1のビーム径Bは、約3.9mmと算出できる。

第2プリパルスレーザ光P2の波長 λ を1.06 μm としたとき、集光径Dを300 μm とするには、集光光学系22aに入射する第2プリパルスレーザ光P2のビーム径Bは、約0.9mmと算出できる。

メインパルスレーザ光Mの波長 λ を10.6 μm としたとき、集光径Dを300 μm とするには、集光光学系22aに入射するメインパルスレーザ光Mのビーム径Bは、約9.0mmと算出できる。

[0073] 4. 4 レーザ光学系の第2の例

図5は、図2に示される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及びその周辺の第2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やターゲット生成部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。

[0074] 図5に示される構成例は、第2プリパルスレーザ光P2の波面及びビーム径を調整するために、第2のビームエキスパンダ362にアクチュエータ366が設けられた点で、図4に示される構成例と異なる。他の点については、図4に示される構成例と同様であるので詳細な説明を省略する。

[0075] 図5に示されるアクチュエータ366は、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取り付けられていてもよい。EUV光生成制御部5がアクチュエータ366を制御することにより、第2のビームエキスパンダ362に含まれる球面凸レンズと球面凹レンズとの距離が増減できるようになっていてもよい。これにより、第2プリパルスレーザ光P2の波面を、平面波以外の曲率を有する波面とし、集光光学系22aから第2プリパルスレーザ光P2のビームウエスト位置までの距離を変更し得る。

[0076] 図5においては、第2のビームエキスパンダ362から出力される第2プリパルスレーザ光P2を、その進行方向の前面側が凸状となる波面を有する波、すなわち凸面波とした例が示されている。この場合、集光光学系22aから第2プリパルスレーザ光P2のビームウエスト位置までの距離は、集光光学系22aの焦点距離よりも長くなり得る。さらに、図5においては、集光光学系22aに入射する位置における第2プリパルスレーザ光P2のビーム径が、図4における第2プリパルスレーザ光P2のビーム径よりも大きくなっている。このように、第2プリパルスレーザ光P2の波面及びビーム径を調整することにより、プラズマ生成領域25における第2プリパルスレーザ光P2のビーム径を調整し得る。

[0077] 図5においては、第2のビームエキスパンダ362にアクチュエータが取

り付けられる場合について説明したが、本開示はこれに限定されない。第1のビームエキスパンダ361又は第3のビームエキスパンダ363にアクチュエータが取り付けられてもよい。

[0078] 4. 5 レーザ光学系の第3の例

図6は、図2に示される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及びその周辺の第3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やターゲット生成部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。

[0079] 図6に示される構成例は、高反射ミラー367及び368と、高反射ミラー368のホルダに取り付けられたアクチュエータ369と、を含む光路調整部が設けられた点で、図4に示される構成例と異なる。他の点については、図4に示される構成例と同様であるので詳細な説明を省略する。光路調整部は、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設けられてもよい。

[0080] 図6に示されるように、高反射ミラー367は、第2のビームエキスパンダ362とビームコンバイナ343との間の第2プリパルスレーザ光P2の光路に配置されてもよい。高反射ミラー367は、第2プリパルスレーザ光P2を高い反射率で反射してもよい。高反射ミラー368は、高反射ミラー367とビームコンバイナ343との間の第2プリパルスレーザ光P2の光路に配置されてもよい。高反射ミラー368は、第2プリパルスレーザ光P2を高い反射率でビームコンバイナ343に向けて反射してもよい。

[0081] EUV光生成制御部5がアクチュエータ369を制御することにより、高反射ミラー368の姿勢が調整できるようになっていてもよい。これにより、第2プリパルスレーザ光P2の進行方向が制御されてもよい。第1プリパルスレーザ光P1の光路軸とターゲット27の軌道とが交差する位置と、プラズマ生成領域25との間の位置で、第2プリパルスレーザ光P2の光路軸

がターゲット 27 の軌道と交差してもよい。

[0082] 5. CO₂レーザ装置に2つのトリガ信号が入力されるEUV光生成システム

5.1 構成

図7は、第2の実施形態に係るEUV光生成システム11の構成を示す一部断面図である。図7に示される第2の実施形態は、レーザシステム3が1つのYAGレーザ装置Laと1つのCO₂レーザ装置Lbとを含んでいる点で、図2に示される第1の実施形態と異なる。さらに、第2の実施形態は、CO₂レーザ装置Lbに、第1遅延回路51からの第2のトリガ信号と第2遅延回路52からの第3のトリガ信号とが入力される点で、第1の実施形態と異なる。第1の実施形態におけるビームコンバイナ343は、なくてもよい。

[0083] 5.2 動作

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、YAGレーザ装置La及び第1遅延回路51に出力してもよい。YAGレーザ装置La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。

[0084] 第1遅延回路51は、第1のトリガ信号を受信してもよい。第1遅延回路51は、第1の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2のトリガ信号を、CO₂レーザ装置Lb及び第2遅延回路52に出力してもよい。CO₂レーザ装置Lb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。

[0085] 第2遅延回路52は、第2のトリガ信号を受信してもよい。第2遅延回路52は、第2のトリガ信号の受信タイミングに対して第2の遅延時間が経過したことを示す第3のトリガ信号を、CO₂レーザ装置Lbに出力してもよい。

あるいは、EUV制御部50が、第1のトリガ信号を第2遅延回路52にも出力してもよい。第1のトリガ信号を受信した第2遅延回路52が、第1のトリガ信号の受信タイミングに対して第1及び第2の遅延時間が経過したことを示す第3のトリガ信号を、CO₂レーザ装置Lbに出力してもよい。

CO₂レーザ装置L b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。

[0086] 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P 1、第2プリパルスレーザ光P 2、メインパルスレーザ光Mを、この順で出力してもよい。

[0087] 図8は、第2の実施形態におけるレーザ受光信号の一例を示す波形図である。図8において、横軸は時間tを示し、縦軸は光強度Iを示してもよい。光センサ352が受光するパルスレーザ光32は、第1プリパルスレーザ光P 1と、第2プリパルスレーザ光P 2と、メインパルスレーザ光Mと、を含んでもよい。第1プリパルスレーザ光P 1と、第2プリパルスレーザ光P 2と、メインパルスレーザ光Mとは、この順で光センサ352に入射してもよい。第1プリパルスレーザ光P 1及び第2プリパルスレーザ光P 2のパルスエネルギーよりも、メインパルスレーザ光Mのパルスエネルギーが大きくてもよい。

[0088] 5. 3 レーザ光学系の例

図9は、図7に示される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やターゲット生成部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。

[0089] 図9に示されるように、YAGレーザ装置Laから出力された第1プリパルスレーザ光P 1は、高反射ミラー340及びビームコンバイナ344によって反射されて集光光学系22aに入射してもよい。CO₂レーザ装置Lbから出力された第2プリパルスレーザ光P 2及びメインパルスレーザ光Mは、高反射ミラー341及び342によって反射されて集光光学系22aに入射してもよい。

[0090] 図8に示されるように、ターゲット27に対する第1プリパルスレーザ光P 1の照射タイミングから第2プリパルスレーザ光P 2の照射タイミングま

での時間に比べて、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時間は短くてもよい。このため、ターゲット27に対する第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、ターゲットの移動距離及びターゲットの拡散径の変化は、小さくてもよい。

[0091] 従って、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、ほぼ同じ波長、且つほぼ同じビーム径を有していてもよい。これにより、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、集光光学系22aによって、ほぼ同じ集光径に集光され得る。また、集光光学系22aからプラズマ生成領域25までの、第2プリパルスレーザ光P2の光路軸及びメインパルスレーザ光Mの光路軸は、ほぼ同じであってもよい。

他の点については、第1の実施形態と同様でよい。

[0092] 5. 4 CO₂レーザ装置によるパルスレーザ光のパルス波形の変形例

図10は、第2の実施形態におけるレーザ受光信号の別の例を示す波形図である。図10において、横軸は時間tを示し、縦軸は光強度Iを示してもよい。光センサ352が受光するパルスレーザ光32は、プリパルスレーザ光Pと、メインパルスレーザ光MPと、を含んでもよい。プリパルスレーザ光Pと、メインパルスレーザ光MPとは、この順で光センサ352に入射してもよい。プリパルスレーザ光Pのパルスエネルギーよりも、メインパルスレーザ光MPのパルスエネルギーが大きくてもよい。

[0093] プリパルスレーザ光Pは、図8に示される第1プリパルスレーザ光P1と同じく、YAGレーザ装置Laから出力されてもよい。

メインパルスレーザ光MPは、CO₂レーザ装置Lbから出力されてもよい。図8に示される第2プリパルスレーザ光P2は、出力されなくてもよい。図10に示されるメインパルスレーザ光MPのパルス波形は、光強度が低く、緩やかに増加する第1段階M1と、第1段階M1の後、光強度が急峻に増加する第2段階M2と、第2段階M2の後、光強度が減少する第3段階M3と、を含んでもよい。すなわち、第2段階M2における光強度の増加率は、

第1段階M1における光強度の増加率よりも大きくてよい。

[0094] 5. 5 2つのトリガ信号が入力されるCO₂レーザ装置の第1の構成例

図11Aは、第2の実施形態におけるCO₂レーザ装置Lbの第1の構成例を概略的に示す。第2の実施形態におけるCO₂レーザ装置Lbは、第1及び第2のマスターオシレータMO1及びMO2と、CO₂レーザ制御部391と、ビームコンバイナ399と、第1～第3の増幅器PA1～PA3とを含んでもよい。

[0095] 第1のマスターオシレータMO1は、CO₂レーザ制御部391から出力された第2のトリガ信号に従って、第1のシードレーザ光を出力してもよい。第2のマスターオシレータMO2は、CO₂レーザ制御部391から出力された第3のトリガ信号に従って、第2のシードレーザ光を出力してもよい。ビームコンバイナ399は、第1及び第2のマスターオシレータMO1及びMO2からそれぞれ出力されたシードレーザ光の光路を合わせて、第1の増幅器PA1に向けて出力してもよい。ビームコンバイナ399は、ハーフミラー又はグレーティングによって構成されてもよい。

本開示は図示されたものに限定されず、ビームコンバイナ399の代わりに、図示しないビームスプリッタを増幅器間（PA1とPA2間、又はPA2とPA3間）の光路に配置してもよい。その場合のビームスプリッタは、第1のマスターオシレータMO1から出力されたパルスレーザ光と、第2のマスターオシレータMO2から出力されて少なくとも第1の増幅器PA1を通過したパルスレーザ光とを、合波させてもよい。

[0096] 図11Bは、第1のマスターオシレータMO1から出力される第1のシードレーザ光のパルス波形の第1の例を示すグラフである。図11Cは、第2のマスターオシレータMO2から出力される第2のシードレーザ光のパルス波形の第1の例を示すグラフである。第1のマスターオシレータMO1から出力される第1のシードレーザ光は、第2のマスターオシレータMO2から出力される第2のシードレーザ光よりも小さいピーク強度を有していてもよい。第2のマスターオシレータMO2から出力される第2のシードレーザ光

は、第1のマスターオシレータMO1から出力される第1のシードレーザ光に対して一定の遅延時間を有していてもよい。

[0097] 図11Dは、ビームコンバイナ399から出力されるパルスレーザ光のパルス波形の第1の例を示すグラフである。図11Eは、CO₂レーザ装置Lbから出力されるパルスレーザ光のパルス波形の第1の例を示すグラフである。第1及び第2のマスターオシレータMO1及びMO2からそれぞれ出力されたシードレーザ光の光路を合わせるにより、図11Dに示されるようなパルス波形を有するパルスレーザ光がビームコンバイナ399から出力され得る。このパルスレーザ光を増幅することにより、先に出力される第2プリパルスレーザ光P2と、第2プリパルスレーザ光P2より後に出力されるメインパルスレーザ光MとがCO₂レーザ装置Lbから出力されてもよい。

[0098] 図11Fは、第1のマスターオシレータMO1から出力される第1のシードレーザ光のパルス波形の第2の例を示すグラフである。図11Gは、第2のマスターオシレータMO2から出力される第2のシードレーザ光のパルス波形の第2の例を示すグラフである。図11F及び図11Gに示されるパルス波形は、それぞれ、図11B及び図11Cに示されるパルス波形と同様でよい。但し、図11F及び図11Gにおいて、第2のマスターオシレータMO2から出力される第2のシードレーザ光と、第1のマスターオシレータMO1から出力される第1のシードレーザ光との時間差は、図11B及び図11Cにおける時間差より小さくてもよい。また、図11Fに示される第1のマスターオシレータMO1から出力される第1のシードレーザ光は、図11Bに示される第1のシードレーザ光よりも長いパルス幅を有するパルス波形を有していてもよい。

[0099] 図11Hは、ビームコンバイナ399から出力されるパルスレーザ光のパルス波形の第2の例を示すグラフである。図11Iは、CO₂レーザ装置Lbから出力されるパルスレーザ光のパルス波形の第2の例を示すグラフである。第1及び第2のマスターオシレータMO1及びMO2からそれぞれ出力されたシードレーザ光の光路を合わせるにより、図11Hに示されるよう

なパルス波形を有するパルスレーザ光がビームコンバイナ 399 から出力され得る。このパルスレーザ光を増幅することにより、光強度が低く、緩やかに増加する第 1 段階と、第 1 段階の後、急峻に光強度が増加してピーク値に達する第 2 段階と、第 2 段階の後、光強度が減少する第 3 段階とを含むメインパルスレーザ光 MP となってもよい。

[0100] 5. 6 2つのトリガ信号が入力される CO₂レーザ装置の第 2 の構成例

図 12A は、第 2 の実施形態における CO₂レーザ装置 Lb の第 2 の構成例を概略的に示す。第 2 の構成例における CO₂レーザ装置 Lb は、波形調節器 392 と、ビームスプリッタ 394 と、パルス波形検出器 393 と、電圧波形制御回路 382 とを含んでもよい。

[0101] 波形調節器 392 は、マスターオシレータ MO と増幅器 PA1 との間のパルスレーザ光の光路に配置されてもよい。ビームスプリッタ 394 は、増幅器 PA3 から出力されるパルスレーザ光の光路に配置されてもよい。パルス波形検出器 393 は、ビームスプリッタ 394 によって分岐された 2 つの光路のうちの、一方の光路に配置されてもよい。パルス波形検出器 393 は、第 3 の増幅器 PA3 から出力されるパルスレーザ光の波形を検出し、フィードバック制御のために検出結果を CO₂レーザ制御部 391 に出力してもよい。

[0102] 図 12B は、マスターオシレータ MO から出力されるパルスレーザ光のパルス波形の第 1 の例を示すグラフである。図 12C は電圧波形制御回路 382 から出力される電圧波形の第 1 の例を示すグラフである。図 12D は、波形調節器 392 から出力されるパルスレーザ光のパルス波形の第 1 の例を示すグラフである。図 12E は、第 3 の増幅器 PA3 から出力されるパルスレーザ光のパルス波形の第 1 の例を示すグラフである。マスターオシレータ MO は、CO₂レーザ制御部 391 から出力された第 2 のトリガ信号に従って、パルスレーザ光を出力してもよい。

[0103] 図 12B に示されるように、マスターオシレータ MO から出力されるパルスレーザ光のパルス波形は、第 2 プリパルスレーザ光 P2 のパルス波形の開

始時からメインパルスレーザ光Mのパルス波形の終了時までの時間を含む長さのパルス波形であってもよい。

[0104] 電圧波形制御回路382は、CO₂レーザ制御部391から出力された第2及び第3のトリガ信号に従って、図12Cに示されるような電圧波形を生成してもよい。図12Cに示される電圧波形は、第2及び第3のトリガ信号のタイミングにそれぞれ対応する第1及び第2のピークを有していてもよい。

[0105] 波形調節器392は、マスターオシレータMOから出力されたパルスレーザ光のパルス波形を調節してもよい。例えば、波形調節器392は、図12Bに示されるパルス波形のパルスレーザ光と、図12Cに示される電圧波形とが入力されると、図12Dに示されるパルス波形のパルスレーザ光を出力してもよい。このパルスレーザ光を増幅することにより、先に出力される第2プリパルスレーザ光P2と、第2プリパルスレーザ光P2より後に出力されるメインパルスレーザ光MとがCO₂レーザ装置Lbから出力されてもよい。

[0106] 図12Fは、マスターオシレータMOから出力されるパルスレーザ光のパルス波形の第2の例を示すグラフである。図12Gは電圧波形制御回路382から出力される電圧波形の第2の例を示すグラフである。図12Hは、波形調節器392から出力されるパルスレーザ光のパルス波形の第2の例を示すグラフである。図12Iは、第3の増幅器PA3から出力されるパルスレーザ光のパルス波形の第2の例を示すグラフである。

[0107] 図12Fに示されるように、マスターオシレータMOから出力されるパルスレーザ光のパルス波形は、メインパルスレーザ光MPの第1段階の開始時から第3段階の終了時までの時間を含む長さのパルス波形であってもよい。

[0108] 図12Gに示される電圧波形は、その前半部において比較的低い電圧値を有し、後半部において比較的高い電圧値を有する波形であってもよい。この電圧波形の前半部から後半部に移行するタイミングは、電圧波形制御回路382に第3のトリガ信号が入力されたタイミングに合わせられてもよい。

[0109] 波形調節器392は、マスターオシレータMOから出力されたパルスレー

ザ光のパルス波形を調節してもよい。例えば、波形調節器 392 は、図 12 F に示されるパルス波形のパルスレーザ光と、図 12 G に示される電圧波形とが入力されると、図 12 H に示されるパルス波形のパルスレーザ光を出力してもよい。このパルスレーザ光を増幅することにより、光強度が低く、緩やかに増加する第 1 段階と、第 1 段階の後、急峻に光強度が増加してピーク値に達する第 2 段階と、第 2 段階の後、光強度が減少する第 3 段階とを含むメインパルスレーザ光 MP が CO₂ レーザ装置 L b から出力されてもよい。

[0110] 図 13 は、図 12 A に示される CO₂ レーザ装置 L b の構成例を概略的に示す。図 13 において、ビームスプリッタ 394 及びパルス波形検出器 393 の図示は省略されている。図 12 A に示される波形調節器 392 は、高電圧電源 383 と、ポッケルスセル 384 と、偏光子 386 とを含んでもよい。

[0111] ポッケルスセル 384 は、電気光学結晶を挟んで対向する位置に設けられた一对の電極 385 を含んでもよい。マスターオシレータ MO から出力されるパルスレーザ光は、紙面に対して垂直な方向に直線偏光していてもよい。マスターオシレータ MO から出力されたパルスレーザ光は、一对の電極 385 の間の電気光学結晶を透過してもよい。ポッケルスセル 384 は、一对の電極 385 間に所定の電圧が印加されたときに、パルスレーザ光の偏光面を 90 度回転させて透過させ得る。ポッケルスセル 384 は、一对の電極 385 間に電圧が印加されていないときに、パルスレーザ光の偏光面を回転させずに透過させ得る。

[0112] 偏光子 386 は、紙面に平行な方向に直線偏光したパルスレーザ光を、増幅器 PA1 に向けて高い透過率で透過させてもよい。偏光子 386 は、紙面に垂直な方向に直線偏光したパルスレーザ光を、図示しないレーザダンパに向けて高い反射率で反射してもよい。

[0113] CO₂ レーザ制御部 391 は、マスターオシレータ MO に第 2 のトリガ信号を出力し、電圧波形制御回路 382 に第 3 のトリガ信号を出力してもよい。マスターオシレータ MO は、CO₂ レーザ制御部 391 から出力される第 2 の

トリガ信号に応じて、パルスレーザ光を出力してもよい。電圧波形制御回路 382 は、CO₂レーザ制御部 391 から出力される第3のトリガ信号に応じて電圧波形を生成し、この電圧波形を高電圧電源 383 に供給してもよい。この電圧波形は、図 12C 又は図 12G に示されるものでもよい。高電圧電源 383 は、この電圧波形に基づいたパルス状の電圧を生成し、この電圧をポッケルスセル 384 の一対の電極 385 間に印加してもよい。

[0114] 上述の図 12C あるいは図 12G に示される電圧波形を有する電圧がポッケルスセル 384 に印加されると、その電圧に応じて、ポッケルスセル 384 を透過するパルスレーザ光の偏光成分が変化し得る。このように、波形調節器 392 から出力されるパルスレーザ光の波形は、電圧波形制御回路 382 が生成する電圧波形によって調整され得る。

[0115] 5. 7 2つのトリガ信号が入力されるCO₂レーザ装置の第3の構成例

図 14 は、第2の実施形態におけるCO₂レーザ装置 Lb の第3の構成例を概略的に示す。第3の構成例におけるCO₂レーザ装置 Lb は、マスターオシレータ MO と増幅器 PA1 との間に、高反射ミラー 467 と、可飽和吸収体セル 397 とを含んでもよい。また、CO₂レーザ装置 Lb は、電圧波形生成回路 395 と、高電圧電源 396 とを含んでもよい。

[0116] CO₂レーザ装置 Lb に含まれるマスターオシレータ MO は、高反射ミラー 461 及び 462 の間に、レーザチャンバ 463 と、偏光子 466 と、ポッケルスセル 464 とが、この順に高反射ミラー 461 側から配置された光共振器を含んでもよい。レーザチャンバ 463 内には、一対の電極 465 が配置されるとともに、CO₂ガスがレーザ媒質として収容されてもよい。

[0117] マスターオシレータ MO は、一対の電極 465 間に発生させる放電によってレーザチャンバ 463 内のレーザ媒質を励起し、高反射ミラー 461 及び 462 の間でレーザ光を往復させることによって、そのレーザ光を増幅してもよい。高反射ミラー 461 及び 462 の間で往復するレーザ光は、紙面に平行な方向に直線偏光していてもよい。偏光子 466 は、紙面に平行な方向に直線偏光したレーザ光を高い透過率で透過させてもよい。

[0118] ポッケルスセル464は、図示しない電気光学結晶と、図示しない一対の電極とを含んでもよい。高電圧電源396は、電圧波形生成回路395によって生成された電圧波形に基づいて、パルス状の電圧を出力してもよい。ポッケルスセル464の一対の電極には、高電圧電源396によって出力されたパルス状の電圧が印加されてもよい。ポッケルスセル464は、一対の電極に電圧が印加されると、入射したレーザ光の直交する偏光成分の位相を $1/4$ 波長分ずらして透過させてもよい。ポッケルスセル464を図中左側から右側に透過し、高反射ミラー462によって反射されて、ポッケルスセル464を図中右側から左側に透過したレーザ光は、その直交する偏光成分の位相が合計で $1/2$ 波長分ずらされてもよい。そして、このレーザ光は、紙面に垂直な方向に直線偏光したレーザ光として偏光子466に入射してもよい。偏光子466は、紙面に垂直な方向に直線偏光したレーザ光を反射することにより、このレーザ光をマスターオシレータMOから出力してもよい。

[0119] ここで、高電圧電源396によってポッケルスセル464に印加されるパルス状の電圧の波形は、図12Gに示される電圧の波形と同様でもよい。これにより、偏光子466によって反射されるパルスレーザ光のパルス波形は、光強度が低く、緩やかに増加する光強度の増加率が小さい第1段階と、第1段階の後、急峻に光強度が増加してピーク値に達する第2段階と、第2段階の後、光強度が減少する第3段階とを含み得る。

[0120] 高反射ミラー467は、偏光子466によって反射されたパルスレーザ光の光路に配置され、パルスレーザ光を可飽和吸収体セル397に向けて高い反射率で反射してもよい。可飽和吸収体セル397は、例えばガス状の可飽和吸収体を内部に收容していてもよい。可飽和吸収体セル397は、所定値未満の光強度を有する入射光に対しては入射光の多くを吸収し、所定値以上の光強度を有する入射光に対しては入射光の多くを透過させてもよい。たとえば、CO₂レーザ光に使用する可飽和吸収体セルは、SF₆ガスを含むガスセルであってもよい。

その他の点は図12Aを用いて説明した第2の構成例と同様でもよい。

[0121] 6. パルスレーザ光のパラメータとC Eの関係

6. 1 第2プリパルスレーザ光P 2又はメインパルスレーザ光M Pの第1段階におけるフルエンス及びそれらの光強度

図1 5及び図1 6は、第1及び第2の実施形態に係るE U V光生成システム1 1におけるC Eの測定結果を示すグラフである。図1 5において、横軸は第2プリパルスレーザ光P 2のフルエンス又はメインパルスレーザ光M Pの第1段階におけるフルエンスを示し、縦軸はC Eを示してもよい。図1 6において、横軸は第2プリパルスレーザ光P 2の単位面積当たりの光強度又はメインパルスレーザ光M Pの第1段階における単位面積当たりの光強度を示し、縦軸はC Eを示してもよい。

[0122] C Eの測定は、以下の条件で行われた。

ターゲット2 7としては、液体のスズが用いられた。ターゲット2 7の直径は、 $21\mu\text{m}$ ～ $22\mu\text{m}$ の範囲であった。

[0123] 第1プリパルスレーザ光P 1としては、次の2通りのものが用いられた。

(1) ナノ秒オーダーのパルス幅を有する第1プリパルスレーザ光P 1として、Nd : YAG (neodymium-doped yttrium aluminum garnet) レーザ装置による波長 $1.06\mu\text{m}$ のパルスレーザ光が用いられた。このパルスレーザ光の半値全幅によるパルス幅は 10ns であり、パルスエネルギーは 0mJ ～ 2.7mJ の範囲であった。

(2) ピコ秒オーダーのパルス幅を有する第1プリパルスレーザ光P 1として、Nd : YVO₄を用いたモードロックレーザ装置をマスターオシレータとし、Nd : YAGを用いた再生増幅器により増幅された波長 $1.06\mu\text{m}$ のパルスレーザ光が用いられた。このパルスレーザ光の半値全幅によるパルス幅は 14ps であり、パルスエネルギーは 0mJ ～ 2.0mJ の範囲であった。

これらの第1プリパルスレーザ光P 1の集光径は、集光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、 $70\mu\text{m}$ とした。

[0124] さらに、次の2通りの条件で測定が行われた。

(1) 第1プリパルスレーザ光P1の次に、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をターゲット27に照射した。当該第2プリパルスレーザ光P2のエネルギーの設定値を、0 mJ～2.4 mJの間で変化させた。そして、第2プリパルスレーザ光P2の照射タイミングを変化させながらCEを測定し、第2プリパルスレーザ光P2のエネルギーの設定値ごとに、最も高いCEを図15及び図16に表した。

(2) 第1プリパルスレーザ光P1の次に、第1～第3段階を有するメインパルスレーザ光MPをターゲット27に照射した。メインパルスレーザ光MPの第1段階の時間幅は約50 nsとし、当該第1段階におけるエネルギーを0 mJ～80 mJの間で変化させてCEを測定した。

[0125] 上記第2プリパルスレーザ光P2としては、Nd:YAGレーザ装置による波長1.06 μm のパルスレーザ光が用いられた。このパルスレーザ光の半値全幅によるパルス幅は5 nsであった。この第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、400 μm とした。

[0126] 上記メインパルスレーザ光M又はメインパルスレーザ光MPとしては、CO₂レーザ装置による波長10.6 μm のパルスレーザ光が用いられた。このパルスレーザ光の半値全幅によるパルス幅は15 nsであり、パルスエネルギーは20 mJ～170 mJの範囲であった。この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、300 μm とした。

[0127] ターゲットへの照射位置における集光径をDとし、パルスレーザ光のパルスエネルギーをPとすると、フルエンスFは、 $F = 4 \cdot P / (\pi D^2)$ となる。

また、パルスレーザ光の半値全幅でのパルス幅をTdとすると、単位面積当たりの光強度Iは、 $I = F / Td$ となる。なお、メインパルスレーザ光MPの第1段階の時間幅を、上述の条件設定の通り50 nsとした場合には、

第1段階の単位面積当たりの光強度 I を算出するための Td の値は、 50 ns でよい。

[0128] 図15に示される結果から、以下のことが理解され得る。

(1) 第2プリパルスレーザ光 $P2$ を照射しない場合、すなわち、第2プリパルスレーザ光 $P2$ のフルエンスを 0 J/cm^2 とした場合よりも、第2プリパルスレーザ光 $P2$ を照射した場合の方が、 CE が高かった。また、メインパルスレーザ光 MP が第1段階を含まない場合、すなわち、第1段階におけるフルエンスを 0 J/cm^2 とした場合よりも、メインパルスレーザ光 MP が第1段階を含む場合の方が、 CE が高かった。

[0129] (2) 第2プリパルスレーザ光 $P2$ のフルエンスが高くなるにつれて、 CE が向上した。第2プリパルスレーザ光 $P2$ のフルエンスは、 1.0 J/cm^2 以上、好ましくは 1.5 J/cm^2 以上でもよく、メインパルスレーザ光 M のフルエンス以下でもよい。また、メインパルスレーザ光 MP の第1段階におけるフルエンスが高くなるにつれて、 CE が向上した。メインパルスレーザ光 MP の第1段階におけるフルエンスは、 2 J/cm^2 以上、好ましくは 5 J/cm^2 以上でもよく、メインパルスレーザ光 MP の第2段階及び第3段階におけるフルエンスの合計値以下でもよい。

[0130] (3) 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 を用いた場合の方が、第1～第3段階を有するメインパルスレーザ光 MP を用いた場合よりも、小さいフルエンスで、高い CE が得られた。

[0131] (4) 第1プリパルスレーザ光 $P1$ がナノ秒オーダーのパルス幅を有する場合よりも、ピコ秒オーダーのパルス幅を有する場合の方が、高い CE が得られた。

[0132] 図16に示される結果から、以下のことが理解され得る。

第2プリパルスレーザ光 $P2$ の単位面積当たりの光強度は、 $0.4 \times 10^8\text{ W/cm}^2$ 以上、好ましくは $3.0 \times 10^8\text{ W/cm}^2$ 以上でもよく、メインパルスレーザ光 M の単位面積当たりの光強度以下でもよい。また、メインパルスレーザ光 MP の第1段階における単位面積当たりの光強度は、 0.4×1

0.8 W/cm^2 以上、好ましくは $1.7 \times 10^8 \text{ W/cm}^2$ 以上でもよく、メインパルスレーザ光MPの第2段階及び第3段階における単位面積当たりの光強度以下でもよい。

[0133] 6. 2 第2プリパルスレーザ光P2の照射タイミング

図17及び図18は、第1の実施形態に係るEUV光生成システム11におけるCEの測定結果を示す別のグラフである。図17及び図18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を示してもよい。ここで、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でもよい。

[0134] ターゲット27、第2プリパルスレーザ光P2の照射条件及びメインパルスレーザ光Mの照射条件は、図15及び図16を参照しながら説明したものと同様とした。そして、第2プリパルスレーザ光P2のエネルギーの設定値ごとに、第2プリパルスレーザ光P2の照射タイミングを $-0.6 \mu\text{s} \sim 0 \mu\text{s}$ の範囲で変化させながらCEを測定した。

[0135] 図15及び図16を参照しながら説明した測定条件におけるピコ秒オーダーのパルス幅を有する第1プリパルスレーザ光P1を用いた結果を、図17に示した。但し、第1プリパルスレーザ光P1のフルエンスは、 5.2 J/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 $-1.1 \mu\text{s}$ のタイミングとした。

[0136] 図15及び図16を参照しながら説明した測定条件におけるナノ秒オーダーのパルス幅を有する第1プリパルスレーザ光P1を用いた結果を、図18に示した。但し、第1プリパルスレーザ光P1のフルエンスは、 7.0 J/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 $-2.7 \mu\text{s}$ のタイミングとした。

[0137] 図17に示される結果から、以下のことが理解され得る。

第1プリパルスレーザー光P1がピコ秒オーダーのパルス幅を有する場合に、第2プリパルスレーザー光P2の照射タイミングは、メインパルスレーザー光Mの照射タイミングを0としたとき、好ましくは、 $-0.37\mu\text{s} \sim -0.03\mu\text{s}$ の範囲でもよい。さらに好ましくは、 $-0.22\mu\text{s} \sim -0.07\mu\text{s}$ の範囲でもよい。

[0138] 図18に示される結果から、以下のことが理解され得る。

第1プリパルスレーザー光P1がナノ秒オーダーのパルス幅を有する場合に、第2プリパルスレーザー光P2の照射タイミングは、メインパルスレーザー光Mの照射タイミングを0としたとき、好ましくは、 $-0.57\mu\text{s} \sim -0.03\mu\text{s}$ の範囲でもよい。

[0139] 6.3 メインパルスレーザー光M又はMPのフルーエンス

図19及び図20は、第1及び第2の実施形態に係るEUV光生成システム11におけるCEの測定結果を示すさらに別のグラフである。図19及び図20において、横軸はメインパルスレーザー光M又はMPのフルーエンスを示し、縦軸はCEを示してもよい。

[0140] ターゲット27、第2プリパルスレーザー光P2の照射条件、メインパルスレーザー光Mの照射条件、第1～第3段階を有するメインパルスレーザー光MPの照射条件は、図15及び図16を参照しながら説明したものと同様とした。但し、第2プリパルスレーザー光P2のフルーエンスを $1.6\text{J}/\text{cm}^2$ とし、メインパルスレーザー光Mのフルーエンスの設定値を、 $20\text{J}/\text{cm}^2 \sim 200\text{J}/\text{cm}^2$ の間で変化させながらCEを測定した。また、メインパルスレーザー光MPの第1段階のフルーエンスを $34\text{J}/\text{cm}^2$ とし、メインパルスレーザー光MPの第2段階及び第3段階におけるフルーエンスの合計値を、 $20\text{J}/\text{cm}^2 \sim 200\text{J}/\text{cm}^2$ の間で変化させながらCEを測定した。

[0141] 図15及び図16を参照しながら説明した測定条件におけるピコ秒オーダーのパルス幅を有する第1プリパルスレーザー光P1を用いた結果を、図19に示した。但し、第1プリパルスレーザー光P1のフルーエンスは、 $5.2\text{J}/\text{cm}^2$ とした。第1プリパルスレーザー光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 $-1.1\ \mu\text{s}$ のタイミングとした。

[0142] 図15及び図16を参照しながら説明した測定条件におけるナノ秒オーダーのパルス幅を有する第1プリパルスレーザ光P1を用いた結果を、図20に示した。但し、第1プリパルスレーザ光P1のフルーエンスは、 $7.0\ \text{J}/\text{cm}^2$ 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 $-2.7\ \mu\text{s}$ のタイミングとした。

[0143] 図19に示される結果から、以下のことが理解され得る。

第1プリパルスレーザ光P1がピコ秒オーダーのパルス幅を有する場合に、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を照射した場合には、メインパルスレーザ光Mのフルーエンスの計測範囲全体で高いCEが得られた。

第1プリパルスレーザ光P1がピコ秒オーダーのパルス幅を有する場合に、メインパルスレーザ光MPを照射した場合には、メインパルスレーザ光MPの第2段階及び第3段階のフルーエンスが $100\ \text{J}/\text{cm}^2 \sim 200\ \text{J}/\text{cm}^2$ の範囲では高いCEが得られた。

[0144] 図20に示される結果から、以下のことが理解され得る。

第1プリパルスレーザ光P1がナノ秒オーダーのパルス幅を有する場合に、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を照射した場合には、メインパルスレーザ光Mのフルーエンスの計測範囲全体で一定のCEが得られた。

第1プリパルスレーザ光P1がナノ秒オーダーのパルス幅を有する場合に、メインパルスレーザ光MPを照射した場合には、メインパルスレーザ光MPの第2段階及び第3段階におけるフルーエンスの計測範囲全体で一定のCEが得られた。

[0145] 6.4 第1プリパルスレーザ光P1の照射タイミング

図21は、第1の実施形態に係るEUV光生成システム11におけるCE

の測定結果を示すさらに別のグラフである。図 2 1 において、横軸は第 1 プリパルスレーザ光 P 1 とメインパルスレーザ光の照射タイミング時間差を示し、縦軸は C E を示す。ここで、第 1 プリパルスレーザ光 P 1 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でもよい。

[0146] ターゲット 2 7、第 2 プリパルスレーザ光 P 2 の照射条件及びメインパルスレーザ光 M の照射条件は、図 1 5 及び図 1 6 を参照しながら説明したものと同様とした。但し、第 2 プリパルスレーザ光 P 2 のフルーエンスは、 $1.6 \text{ J} / \text{cm}^2$ 及び $0 \text{ J} / \text{cm}^2$ の 2 通りとした。第 2 プリパルスレーザ光 P 2 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 $-0.1 \mu\text{s}$ のタイミングとした。

[0147] 第 1 プリパルスレーザ光 P 1 としては、図 1 5 及び図 1 6 を参照しながら説明した測定条件におけるピコ秒オーダーのパルス幅を有する第 1 プリパルスレーザ光 P 1 を用いた。但し、第 1 プリパルスレーザ光 P 1 のフルーエンスは、 $5.2 \text{ J} / \text{cm}^2$ とした。

[0148] 図 2 1 に示される結果から、以下のことが理解され得る。

第 2 プリパルスレーザ光 P 2 のフルーエンスを $1.6 \text{ J} / \text{cm}^2$ とした場合には、第 2 プリパルスレーザ光 P 2 を照射しない場合、すなわちフルーエンスを $0 \text{ J} / \text{cm}^2$ とした場合に比べて、高い C E が得られた。また、第 2 プリパルスレーザ光 P 2 のフルーエンスを $1.6 \text{ J} / \text{cm}^2$ とした場合には、 $0 \text{ J} / \text{cm}^2$ とした場合に比べて、高い C E を得るための第 1 プリパルスレーザ光 P 1 とメインパルスレーザ光 M との時間差が短かった。

第 2 プリパルスレーザ光 P 2 を照射する場合には、第 1 プリパルスレーザ光 P 1 とメインパルスレーザ光 M との照射タイミングの時間差は、好ましくは $0.5 \mu\text{s}$ 以上、 $1.6 \mu\text{s}$ 以下でもよい。さらに好ましくは、 $0.8 \mu\text{s}$ 以上、 $1.3 \mu\text{s}$ 以下でもよい。

[0149] 6. 5 第 1 及び第 2 プリパルスレーザ光の照射タイミング

図 2 2 は、第 1 の実施形態に係る E U V 光生成システム 1 1 における C E の測定結果を示すさらに別のグラフである。図 2 2 において、横軸はメインパルスレーザ光 M の照射タイミングを示し、縦軸は C E を示す。ここで、メインパルスレーザ光 M の照射タイミングは、第 1 プリパルスレーザ光 P 1 の照射タイミングを 0 としたとき、第 1 プリパルスレーザ光 P 1 の照射タイミングからメインパルスレーザ光 M の照射までの間に経過した時間でもよい。

[0150] C E の測定は、以下の条件で行われた。

ターゲット 2 7 としては、液体のスズが用いられた。ターゲット 2 7 の直径は、約 $23\ \mu\text{m}$ であった。

[0151] 第 1 プリパルスレーザ光 P 1 として、 $\text{Nd} : \text{YVO}_4$ を用いたモードロックレーザ装置をマスターオシレータとし、 $\text{Nd} : \text{YAG}$ を用いた再生増幅器により増幅された波長 $1.06\ \mu\text{m}$ 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 P 1 の半値全幅によるパルス幅は $14\ \text{ps}$ であり、パルスエネルギーは $2\ \text{mJ}$ 、集光径は $90\ \mu\text{m}$ 、フルエンスは $31\ \text{J}/\text{cm}^2$ であった。なお、第 1 プリパルスレーザ光 P 1 の集光径は、第 1 プリパルスレーザ光 P 1 の集光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としてもよい。

[0152] 第 1 プリパルスレーザ光 P 1 の次に、第 2 プリパルスレーザ光 P 2 及びメインパルスレーザ光 M をターゲット 2 7 に照射した。第 2 プリパルスレーザ光 P 2 として、 $\text{Nd} : \text{YAG}$ レーザ装置による波長 $1.06\ \mu\text{m}$ 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 P 2 の半値全幅によるパルス幅は $6\ \text{ns}$ であり、パルスエネルギーは $2\ \text{mJ}$ 、集光径は $400\ \mu\text{m}$ 、フルエンスは $1.6\ \text{J}/\text{cm}^2$ であった。なお、第 2 プリパルスレーザ光 P 2 の集光径は、第 2 プリパルスレーザ光 P 2 の集光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としてもよい。

[0153] 図 2 2 においては、第 2 プリパルスレーザ光 P 2 の照射タイミングを、 $0.5\ \mu\text{s}$ とした場合と、 $0.7\ \mu\text{s}$ とした場合と、 $0.9\ \mu\text{s}$ とした場合と、 $1.1\ \mu\text{s}$ とした場合とが、それぞれ示されている。ここで、第 2 プリパ

ルスレーザ光P 2の照射タイミングは、第1プリパルスレーザ光P 1の照射タイミングを0としたとき、第1プリパルスレーザ光P 1の照射タイミングから第2プリパルスレーザ光P 2の照射までの間に経過した時間でもよい。

[0154] 上記メインパルスレーザ光Mとしては、CO₂レーザ装置による波長10.6 μm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15 nsであり、パルスエネルギーは100 mJ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/e²以上の光強度を有する部分の直径で表した場合に、300 μmとした。メインパルスレーザ光Mのフルエンスは、142 J/cm²であった。

[0155] 図23は、第1の実施形態に係るEUV光生成システム11におけるCEの測定結果を示すさらに別のグラフである。

図23において、第2プリパルスレーザ光P 2として、Nd:YVO₄を用いたモードロックレーザ装置をマスターオシレータとし、Nd:YAGを用いた再生増幅器により増幅された波長1.06 μm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P 2の半値全幅によるパルス幅は14 psであり、パルスエネルギーは1.6 mJ、集光径は400 μm、フルエンスは1.3 J/cm²であった。

[0156] 図23においては、第2プリパルスレーザ光P 2の照射タイミングを、0.1 μsとした場合と、0.4 μsとした場合と、0.9 μsとした場合と、1.4 μsとした場合とが、それぞれ示されている。

他の点については、図22における測定条件と同一の条件とした。

[0157] 図22及び図23に示される結果から、以下のことが理解され得る。

(1) 図22に示されるように、第1プリパルスレーザ光P 1のパルス幅をピコ秒オーダーとし、第2プリパルスレーザ光P 2のパルス幅をナノ秒オーダーとした場合よりも、図23に示されるように、それらのパルス幅をいずれもピコ秒オーダーとした場合の方が、最大のCEは若干低かった。

[0158] (2) 図22よりも、図23の方が、グラフの傾きが緩やかであった。従っ

て、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のパルス幅をいずれもピコ秒オーダーとした場合には、メインパルスレーザ光Mの照射タイミングに多少のばらつきがあっても、安定したCEを得られることが期待できる。

[0159] 図24は、第1の実施形態に係るEUV光生成システム11におけるCEの測定結果を示すさらに別のグラフである。図24において、横軸は第2プリパルスレーザ光P2のフルーエンスを示す。図24においては、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をこの順でターゲット27に照射した。また、第2プリパルスレーザ光P2のフルーエンスとして4通りの値を設定して、それぞれ、メインパルスレーザ光Mの照射タイミングを変化させながらCEを測定した。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、最も高いCEが得られたメインパルスレーザ光Mの照射タイミング T_m と、そのときのCEとを図24に表した。ここで、メインパルスレーザ光Mの照射タイミングは、第2プリパルスレーザ光P2の照射タイミングを0としたとき、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の照射までの間に経過した時間でもよい。

[0160] 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、約 $23\mu\text{m}$ であった。

[0161] 第1プリパルスレーザ光P1として、Nd:YVO₄を用いたモードロックレーザ装置をマスターオシレータとし、Nd:YAGを用いた再生増幅器により増幅された波長 $1.06\mu\text{m}$ 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 であり、パルスエネルギーは 2mJ 、集光径は $90\mu\text{m}$ 、フルーエンスは $31\text{J}/\text{cm}^2$ であった。なお、第1プリパルスレーザ光P1の集光径は、第1プリパルスレーザ光P1の集光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としてもよい。

[0162] 第1プリパルスレーザ光P1の次に、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をターゲット27に照射した。第2プリパルスレーザ光P2として、Nd:YAGレーザ装置による波長 $1.06\mu\text{m}$ 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 6ns であり、集光径は $400\mu\text{m}$ であった。なお、第2プリパルスレーザ光P2の集光径は、第2プリパルスレーザ光P2の集光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としてもよい。

[0163] 上記メインパルスレーザ光Mとしては、 CO_2 レーザ装置による波長 $10.6\mu\text{m}$ 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 であり、パルスエネルギーは 100mJ 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、 $300\mu\text{m}$ とした。メインパルスレーザ光Mのフルエンスは、 $142\text{J}/\text{cm}^2$ であった。

[0164] 図25は、第1の実施形態に係るEUV光生成システム11におけるCEの測定結果を示すさらに別のグラフである。

図25において、第2プリパルスレーザ光P2として、Nd:YVO₄を用いたモードロックレーザ装置をマスターオシレータとし、Nd:YAGを用いた再生増幅器により増幅された波長 $1.06\mu\text{m}$ 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 14ps であり、集光径は $400\mu\text{m}$ であった。

[0165] 図25においては、第2プリパルスレーザ光P2のフルエンスとして3通りの値を設定して、それぞれ、メインパルスレーザ光Mの照射タイミングを変化させながらCEを測定した。そして、第2プリパルスレーザ光P2のフルエンスの設定値ごとに、最も高いCEが得られたメインパルスレーザ光Mの照射タイミング T_m と、そのときのCEとを図25に表した。

他の点については、図24における測定条件と同一の条件とした。

[0166] 図24及び図25に示される結果から、以下のことが理解され得る。

(1) 図24に示されるように、第1プリパルスレーザ光P1のパルス幅を

ピコ秒オーダーとし、第2プリパルスレーザ光P2のパルス幅をナノ秒オーダーとした場合よりも、図25に示されるように、それらのパルス幅をいずれもピコ秒オーダーとした場合の方が、最大のCEは低かった。

[0167] (2) 図24よりも、図25の方が、CEのグラフの傾きが緩やかであった。従って、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のパルス幅をいずれもピコ秒オーダーとした場合には、第2プリパルスレーザ光P2のフルエンスに多少のばらつきがあっても、安定したCEを得られることが期待できる。

[0168] (3) 図24及び図25に示されるように、第2プリパルスレーザ光P2のフルエンスを高くすると、メインパルスレーザ光Mの最適な照射タイミング T_m は早くなる傾向がある。特に、図25に示されるように、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のパルス幅をいずれもピコ秒オーダーとした場合には、その傾向が強くなる。

[0169] 7. パルスレーザ光を照射されたターゲットの変化

7. 1 第1プリパルスレーザ光がピコ秒オーダーのパルス幅を有する場合

図26Aは、第1及び第2の実施形態においてピコ秒オーダーのパルス幅を有する第1プリパルスレーザ光P1が照射されときのターゲット27の様子を概略的に示す。破線270は、ターゲット27の軌道及びその延長線を示す。第1プリパルスレーザ光P1は、ターゲット27の径とほぼ同じか、ターゲット27の径より少し大きい集光径を有していてもよい。

[0170] 図26Bは、第2プリパルスレーザ光P2が照射されときのターゲットの様子を概略的に示す。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272が生成され得る。図26Bにおけるドットの粗密は、ターゲット物質の分布密度に対応し得る。図26Bに示されるように、ピコ秒オーダーのパルス幅を有する第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、円盤部27aと

、ドーム部 27b とを有し得る。円盤部 27a は、第 1 プリパルスレーザ光 P1 の光路の下流側に拡散し、ターゲット物質の密度が比較的高くなり得る。ドーム部 27b は、第 1 プリパルスレーザ光 P1 の光路の上流側に拡散し、ターゲット物質の密度が比較的低くなり得る。ドーム部 27b の内側には、さらにターゲット物質の密度が低い部分 27c が生成され得る。

[0171] 図 26B に示されるように、この拡散した 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 2 プリパルスレーザ光 P2 は、拡散した 2 次ターゲット 272 の径とほぼ同じか、それより少し大きい集光径を有していてもよい。

[0172] 図 26C は、メインパルスレーザ光 M が照射されときのターゲットの様子を概略的に示す。図 26B に示される 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、蒸気又はプリプラズマ 27p を少なくとも含む 3 次ターゲット 273 が生成され得る。

ここでは 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 3 次ターゲット 273 が生成される場合について説明したが、本開示はこれに限定されない。2 次ターゲット 272 にメインパルスレーザ光 MP の第 1 段階に相当する部分が照射された場合にも、同様に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 273 が生成され得る。

[0173] 図 26C に示されるように、蒸気又はプリプラズマ 27p を少なくとも含む 3 次ターゲット 273 に、メインパルスレーザ光 M 又はメインパルスレーザ光 MP の第 2 段階及び第 3 段階に相当する部分が照射されてもよい。メインパルスレーザ光 M 又はメインパルスレーザ光 MP は、3 次ターゲット 273 の分散径とほぼ同じか、それより少し大きい集光径を有していてもよい。

[0174] 図 26D は、メインパルスレーザ光 M 又はメインパルスレーザ光 MP が照射された後のターゲットの様子を概略的に示す。図 26C に示される 3 次ターゲット 273 にメインパルスレーザ光 M 又はメインパルスレーザ光 MP が照射されると、3 次ターゲットはプラズマ化し、このプラズマから、EUV 光が放射し得る。

[0175] 7. 2 第1プリパルスレーザ光がナノ秒オーダーのパルス幅を有する場合

図27Aは、第1及び第2の実施形態においてナノ秒オーダーのパルス幅を有する第1プリパルスレーザ光P1が照射されときのターゲット27の様子を概略的に示す。第1プリパルスレーザ光P1は、ターゲット27の径とほぼ同じか、ターゲット27の径より少し大きい集光径を有していてもよい。

[0176] 図27Bは、第2プリパルスレーザ光P2が照射されときのターゲットの様子を概略的に示す。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272が生成され得る。図27Bに示されるように、ナノ秒オーダーのパルス幅を有する第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、円盤状の分布を有し得る。円盤状の分布を有する2次ターゲット272は、第1プリパルスレーザ光P1の光路の下流側に拡散し得る。

[0177] 図27Bに示されるように、この拡散した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2プリパルスレーザ光P2は、拡散した2次ターゲット272の径とほぼ同じか、それより少し大きい集光径を有していてもよい。

[0178] 図27Cは、メインパルスレーザ光Mが照射されときのターゲットの様子を概略的に示す。図27Bに示される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、微粒子と蒸気又はプリプラズマ27pとを含む3次ターゲット273が生成され得る。

ここでは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3次ターゲット273が生成される場合について説明したが、本開示はこれに限定されない。2次ターゲット272にメインパルスレーザ光MPの第1段階に相当する部分が照射された場合にも、同様に微粒子と蒸気又はプリプラズマとを含む3次ターゲット273が生成され得る。

[0179] 図27Cに示されるように、微粒子と蒸気又はプリプラズマ27pとを含む3次ターゲット273に、メインパルスレーザ光M又はメインパルスレーザ光MPの第2段階及び第3段階に相当する部分が照射されてもよい。メインパルスレーザ光M又はメインパルスレーザ光MPは、3次ターゲット273の分散径とほぼ同じか、それより少し大きい集光径を有していてもよい。

[0180] 図27Dは、メインパルスレーザ光M又はメインパルスレーザ光MPが照射された後のターゲットの様子を概略的に示す。図27Cに示される3次ターゲット273にメインパルスレーザ光M又はメインパルスレーザ光MPが照射されると、3次ターゲットはプラズマ化し、このプラズマから、EUV光が放射し得る。

[0181] このように、第1及び第2の実施形態においては、第1及び第2プリパルスレーザ光によってターゲットが段階的に破壊され、蒸気又はプリプラズマ化した後で、プラズマ化されるので、ターゲットが効率よくプラズマ化されるものと考えられる。

特に、第1プリパルスレーザ光がピコ秒オーダーのパルス幅を有する場合に、2次ターゲットがより細かい複数の微粒子状に拡散するので、第2プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光によって効率よくプラズマ化するものと考えられる。

[0182] 8. YAGレーザ装置が複数のパルスを出力するEUV光生成システム

8. 1 構成

図28は、第3の実施形態に係るEUV光生成システム11の構成を示す一部断面図である。図28に示される第3の実施形態は、レーザシステム3が1つのYAGレーザ装置Laと1つのCO₂レーザ装置Lbとを含んでいる点で、図2に示される第1の実施形態と異なる。さらに、第3の実施形態は、YAGレーザ装置Laに、EUV制御部50からの第1のトリガ信号と第1遅延回路51からの第2のトリガ信号とが入力される点で、第1の実施形態と異なる。第1の実施形態におけるビームコンバイナ343は、なくてもよい。

[0183] 8. 2 動作

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、YAGレーザ装置La及び第1遅延回路51に出力してもよい。YAGレーザ装置La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。

[0184] 第1遅延回路51は、第1のトリガ信号を受信してもよい。第1遅延回路51は、第1の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2のトリガ信号を、YAGレーザ装置La及び第2遅延回路52に出力してもよい。YAGレーザ装置La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。

[0185] 第2遅延回路52は、第2のトリガ信号を受信してもよい。第2遅延回路52は、第2のトリガ信号の受信タイミングに対して第2の遅延時間が経過したことを示す第3のトリガ信号を、CO₂レーザ装置Lbに出力してもよい。

あるいは、EUV制御部50が、第1のトリガ信号を第2遅延回路52にも出力してもよい。第1のトリガ信号を受信した第2遅延回路52が、第1のトリガ信号の受信タイミングに対して第1及び第2の遅延時間が経過したことを示す第3のトリガ信号を、CO₂レーザ装置Lbに出力してもよい。

CO₂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。

[0186] 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。

[0187] 図29は、第3の実施形態におけるレーザ受光信号の一例を示す波形図である。図29において、横軸は時間tを示し、縦軸は光強度Iを示してもよい。光センサ352が受光するパルスレーザ光32は、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、を含んでもよい。第1プリパルスレーザ光P1と、第2プリパルスレーザ光

P 2 と、メインパルスレーザ光 M とは、この順で光センサ 3 5 2 に入射してもよい。第 1 プリパルスレーザ光 P 1 のフルーエンスよりも、第 2 プリパルスレーザ光 P 2 のフルーエンスが大きいてもよい。第 2 プリパルスレーザ光 P 2 のフルーエンスよりも、メインパルスレーザ光 M のフルーエンスが大きいてもよい。

[0188] 8. 3 レーザ光学系の例

図 3 0 は、図 2 8 に示される E U V 光生成システム 1 1 におけるレーザ光進行方向制御部 3 4 a 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 E U V 集光ミラー 2 3 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 2 2 a やターゲット生成部 2 6 についても、その具体的な構成の図示は省略されている。

[0189] 図 3 0 に示されるように、Y A G レーザ装置 L a から出力された第 1 プリパルスレーザ光 P 1 及び第 2 プリパルスレーザ光 P 2 は、高反射ミラー 3 4 0 及びビームコンバイナ 3 4 4 によって反射されて集光光学系 2 2 a に入射してもよい。C O₂ レーザ装置 L b から出力されたメインパルスレーザ光 M は、高反射ミラー 3 4 1 及び 3 4 2 によって反射されて集光光学系 2 2 a に入射してもよい。

[0190] 図 2 9 に示されるように、ターゲット 2 7 に対する第 1 プリパルスレーザ光 P 1 の照射タイミングから第 2 プリパルスレーザ光 P 2 の照射タイミングまでの時間は、第 2 プリパルスレーザ光 P 2 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時間より、短くてもよい。このため、ターゲット 2 7 に対する第 1 プリパルスレーザ光 P 1 の照射タイミングから第 2 プリパルスレーザ光 P 2 の照射タイミングまでの、ターゲットの移動距離及びターゲットの拡散径の変化は、小さくてもよい。

[0191] 従って、第 1 プリパルスレーザ光 P 1 及び第 2 プリパルスレーザ光 P 2 は、ほぼ同じ波長、且つほぼ同じビーム径を有していてもよい。これにより、第 1 プリパルスレーザ光 P 1 及び第 2 プリパルスレーザ光 P 2 は、ほぼ同じ集光径に集光され得る。また、第 1 プリパルスレーザ光 P 1 及び第 2 プリパ

ルスレーザ光 P 2 の光路は、ほぼ同じであってもよい。

他の点については、第 1 の実施形態と同様でよい。

[0192] 8. 4 第 4 のトリガ信号を用いた変形例

図 3 1 は、第 3 の実施形態に係る E U V 光生成システム 1 1 の変形例を示す一部断面図である。図 3 1 に示される変形例において、レーザシステム 3 は、第 1 の Y A G レーザ装置 L a 1 と、第 2 の Y A G レーザ装置 L a 2 と、C O₂ レーザ装置 L b とを含んでもよい。さらに、この変形例において、E U V 光生成制御部 5 は、E U V 制御部 5 0、第 1 遅延回路 5 1 及び第 2 遅延回路 5 2 だけでなく、第 3 遅延回路 5 3 を含んでもよい。

他の点については、図 2 8 に示されるものとほぼ同様でよい。以下に、図 2 8 に示されるものと異なり得る部分について説明する。

[0193] E U V 制御部 5 0 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 の Y A G レーザ装置 L a 1 及び第 1 遅延回路 5 1 に出力してもよい。第 1 の Y A G レーザ装置 L a 1 は、第 1 のトリガ信号に従って、第 1 プリパルスレーザ光 P 1 を出力してもよい。

[0194] 第 1 遅延回路 5 1 は、第 1 のトリガ信号を受信してもよい。第 1 遅延回路 5 1 は、第 1 の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 2 のトリガ信号を、第 1 の Y A G レーザ装置 L a 1 及び第 2 遅延回路 5 2 に出力してもよい。第 1 の Y A G レーザ装置 L a 1 は、第 2 のトリガ信号に従って、第 2 プリパルスレーザ光 P 2 を出力してもよい。

[0195] 第 2 遅延回路 5 2 は、第 2 のトリガ信号を受信してもよい。第 2 遅延回路 5 2 は、第 2 のトリガ信号の受信タイミングに対して第 2 の遅延時間が経過したことを示す第 3 のトリガ信号を、第 2 の Y A G レーザ装置 L a 2 及び第 3 遅延回路 5 3 に出力してもよい。

あるいは、E U V 制御部 5 0 が、第 1 のトリガ信号を第 2 遅延回路 5 2 にも出力してもよい。第 1 のトリガ信号を受信した第 2 遅延回路 5 2 が、第 1 のトリガ信号の受信タイミングに対して第 1 及び第 2 の遅延時間が経過したことを示す第 3 のトリガ信号を、第 2 の Y A G レーザ装置 L a 2 に出力して

もよい。

第2のYAGレーザ装置La2は、第3のトリガ信号に従って、第3プリパルスレーザ光P3を出力してもよい。

[0196] 第3遅延回路53は、第3のトリガ信号を受信してもよい。第3遅延回路53は、第3のトリガ信号の受信タイミングに対して第3の遅延時間が経過したことを示す第4のトリガ信号を、CO₂レーザ装置Lbに出力してもよい。

あるいは、EUV制御部50が、第1のトリガ信号を第3遅延回路53にも出力してもよい。第1のトリガ信号を受信した第3遅延回路53が、第1のトリガ信号の受信タイミングに対して第1、第2及び第3の遅延時間が経過したことを示す第4のトリガ信号を、CO₂レーザ装置Lbに出力してもよい。

CO₂レーザ装置Lbは、第4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。

[0197] 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、第3プリパルスレーザ光P3、メインパルスレーザ光Mを、この順で出力してもよい。

[0198] レーザ光進行方向制御部34aは、図2に示される第1の実施形態と同様に、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。ビームコンバイナ343の機能は、第1～第3プリパルスレーザ光P1～P3の光路をほぼ一致させるものである他、図2に示されるものとほぼ同様でよい。

[0199] 図32は、第3の実施形態の変形例におけるレーザ受光信号の一例を示す波形図である。図32において、横軸は時間tを示し、縦軸は光強度Iを示してもよい。光センサ352が受光するパルスレーザ光32は、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、第3プリパルスレーザ光P3と、メインパルスレーザ光Mと、を含んでもよい。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、第3プリパルスレーザ光

P 3 と、メインパルスレーザ光Mとは、この順で光センサ 3 5 2 に入射してもよい。第 1 プリパルスレーザ光 P 1 のフルーエンスよりも、第 2 プリパルスレーザ光 P 2 のフルーエンスが大きいてもよい。第 2 プリパルスレーザ光 P 2 及び第 3 プリパルスレーザ光 P 3 のフルーエンスよりも、メインパルスレーザ光Mのフルーエンスが大きいてもよい。

[0200] 図 3 1 においては、第 2 遅延回路 5 2 が第 3 の遅延信号を第 2 の Y A G レーザ装置 L a 2 に出力し、第 2 の Y A G レーザ装置 L a 2 が第 3 プリパルスレーザ光 P 3 を出力する場合について説明したが、本開示はこれに限定されない。第 2 の Y A G レーザ装置 L a 2 がなくてもよい。すなわち、第 3 の遅延信号及び第 4 の遅延信号を C O₂ レーザ装置 L b が受信し、C O₂ レーザ装置 L b が第 3 プリパルスレーザ光 P 3 及びメインパルスレーザ光Mを出力してもよい。また、第 3 の遅延信号及び第 4 の遅延信号を C O₂ レーザ装置 L b が受信し、C O₂ レーザ装置 L b が第 1 ～第 3 段階を含むパルス波形を有するメインパルスレーザ光MPを出力してもよい。このような C O₂ レーザ装置 L b の機能については、第 2 及び第 3 の遅延信号の代わりに第 3 及び第 4 の遅延信号を用いる他、図 7 に示されるものと同様でよい。

[0201] 8. 5 C E の向上

図 3 3 は、第 3 の実施形態に係る E U V 光生成システム 1 1 における C E の測定結果を示すグラフである。図 3 3 において、横軸は第 1 プリパルスレーザ光 P 1 とメインパルスレーザ光Mの照射タイミングの時間差を示し、縦軸は C E を示してもよい。ここで、第 1 プリパルスレーザ光 P 1 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でもよい。

[0202] ターゲット 2 7 及びメインパルスレーザ光Mの照射条件は、図 1 5 及び図 1 6 を参照しながら説明したものと同様とした。

[0203] 第 1 プリパルスレーザ光 P 1 及び第 2 プリパルスレーザ光 P 2 としては、図 1 5 及び図 1 6 を参照しながら説明した測定条件におけるモードロックレーザ装置及び再生増幅器により出力されたパルスレーザ光が用いられた。第

1 プリパルスレーザ光 P 1 及び第 2 プリパルスレーザ光 P 2 は、それぞれピコ秒オーダーのパルス幅を有し、パルス間の間隔は 12 ns とした。第 1 プリパルスレーザ光 P 1 は第 2 プリパルスレーザ光 P 2 より小さな光強度を有するものとし、第 1 プリパルスレーザ光 P 1 と第 2 プリパルスレーザ光 P 2 とを合わせたフルエンスを 5.2 J/cm^2 とした。

[0204] 第 3 プリパルスレーザ光 P 3 の照射条件は、図 15 及び図 16 を参照しながら説明した第 2 プリパルスレーザ光 P 2 の照射条件と同様とした。但し、第 3 プリパルスレーザ光 P 3 のフルエンスは、 1.6 J/cm^2 及び 0 J/cm^2 の 2 通りとした。第 3 プリパルスレーザ光 P 3 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 $-0.1\text{ }\mu\text{s}$ のタイミングとした。

[0205] 図 33 には、第 3 の実施形態における第 2 プリパルスレーザ光 P 2 を照射しない場合の結果を併せて示した。

[0206] 図 33 に示される結果から、以下のことが理解され得る。

第 3 の実施形態においては第 2 プリパルスレーザ光 P 2 の照射を加えたことにより、第 2 プリパルスレーザ光 P 2 を照射しない場合に比べて C E が向上した。

第 3 の実施形態においては第 2 プリパルスレーザ光 P 2 の照射を加えたことにより、第 2 プリパルスレーザ光 P 2 を照射しない場合に比べて、第 1 プリパルスレーザ光 P 1 の最適な照射タイミングが早くなった。すなわち、第 3 の実施形態においては、図 21 の場合と比べて、第 1 プリパルスレーザ光 P 1 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タイミングの時間差が長い方が C E が向上した。

第 3 プリパルスレーザ光 P 3 を照射する場合には、第 1 プリパルスレーザ光 P 1 とメインパルスレーザ光 M との時間差は、好ましくは $1.3\text{ }\mu\text{s}$ 以上、 $3.2\text{ }\mu\text{s}$ 以下でもよい。さらに好ましくは、 $2.0\text{ }\mu\text{s}$ 以上、 $3.0\text{ }\mu\text{s}$ 以下でもよい。

第 3 プリパルスレーザ光 P 3 を照射しない場合には、第 1 プリパルスレー

ザ光 P 1 とメインパルスレーザ光 M との時間差は、好ましくは $2.0 \mu\text{s}$ 以上、 $3.5 \mu\text{s}$ 以下でもよい。さらに好ましくは、 $2.3 \mu\text{s}$ 以上、 $3.2 \mu\text{s}$ 以下でもよい。

[0207] 8. 6 パルスレーザ光を照射されたターゲットの変化

図 3 4 は、第 3 の実施形態において第 1 プリパルスレーザ光 P 1 及び第 2 プリパルスレーザ光 P 2 が照射された後のターゲット 2 7 の様子を概略的に示す。液滴状のターゲット 2 7 に第 1 プリパルスレーザ光 P 1 及び第 2 プリパルスレーザ光 P 2 が照射されると、液滴状のターゲット 2 7 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 2 7 2 が生成され得る。図 3 4 におけるドットの粗密は、ターゲット物質の分布密度に対応し得る。図 3 4 に示されるように、第 1 プリパルスレーザ光 P 1 及び第 2 プリパルスレーザ光 P 2 が照射されて破壊された 2 次ターゲット 2 7 2 は、円錐台部 2 7 d と、ドーム部 2 7 e とを有し得る。図 2 6 B に示される 2 次ターゲットの円盤部 2 7 a に比べて、図 3 4 に示される 2 次ターゲットのテーパ状の円筒部 2 7 d は、ターゲット物質の密度が低くなり得る。

[0208] このように、第 3 の実施形態においては、第 1 及び第 2 プリパルスレーザ光によってターゲットがより細かい複数の微粒子状に拡散するので、第 3 プリパルスレーザ光 P 3 及びメインパルスレーザ光 M によって効率よくプラズマ化するものと考えられる。

[0209] 9. その他 (YAG レーザ装置)

9. 1 第 1 の例

図 3 5 は、上述の各実施形態に係る E U V 光生成システムにおいて用いることができる第 1 の YAG レーザ装置 L a 1 の第 1 の例を概略的に示す。図 3 5 に示される第 1 の YAG レーザ装置 L a 1 は、パルス幅がピコ秒オーダーであるプリパルスレーザ光を出力し得る。

[0210] 第 1 の YAG レーザ装置 L a 1 は、モードロックレーザ装置 3 0 2 と、光シャッタ 3 0 3 と、電圧波形制御回路 3 0 4 と、増幅器 P A 1 ~ P A 3 と、第 1 の YAG レーザ制御部 3 1 0 とを含んでもよい。

- [0211] モードロックレーザ装置302は、例えばパルス幅がピコ秒オーダーであり、繰り返し周波数が100MHz程度であるパルスレーザ光を出力してもよい。モードロックレーザ装置302は、図示しない光共振器と、レーザ媒質となるNd:YVO₄結晶と、可飽和吸収ミラーと、を含んでもよい。モードロックレーザ装置302の光共振器は、相対的に位相が固定された複数の縦モードでレーザ光を発振させ得る。そして、それらの縦モードの光が合波されることにより、光共振器からパルス幅の短いパルスレーザ光が出力され得る。このパルスレーザ光の繰り返し周波数は、光が光共振器内を一往復する時間の逆数に相当し得る。
- [0212] 第1のYAGレーザ制御部310は、モードロックレーザ装置302、電圧波形制御回路304、増幅器PA1～PA3に、それぞれ制御信号を出力してもよい。第1のYAGレーザ制御部310は、EUV光生成制御部5から第1のトリガ信号及び第2のトリガ信号を受信し、これらの第1のトリガ信号及び第2のトリガ信号を電圧波形制御回路304に出力してもよい。
- [0213] 電圧波形制御回路304は、第1のトリガ信号に従って、光シャッタ303がパルスレーザ光に含まれる1つのパルスを通過させるように、光シャッタ303に第1の電圧信号を送信してもよい。電圧波形制御回路304は、第2のトリガ信号に従って、光シャッタ303がパルスレーザ光に含まれる別の1つのパルスを通過させるように、光シャッタ303に第2の電圧信号を送信してもよい。
- [0214] 光シャッタ303は、EOポッケルスセルと偏光子とを含み、モードロックレーザ装置302から出力されるパルスレーザ光の光路に配置されていてもよい。光シャッタ303は、モードロックレーザ装置302から出力されるパルスレーザ光を遮断してもよい。光シャッタ303は、電圧波形制御回路304が出力した第1の電圧信号を受信したときに、パルスレーザ光に含まれる1つのパルスを通過させてもよい。光シャッタ303は、電圧波形制御回路304が出力した第2の電圧信号を受信したときに、パルスレーザ光に含まれる1つのパルスを通過させてもよい。ここで、好ましくは、第1の

プリパルスレーザ光 P 1 の光強度は、第 2 のプリパルスレーザ光 P 2 の光強度よりも小さくてもよい。第 1 の電圧信号と第 2 の電圧信号の電圧値を調節することで、第 1 のプリパルスレーザ光 P 1 の光強度及び第 2 のプリパルスレーザ光 P 2 の光強度を制御し得る。

[0215] 増幅器 P A 1 ~ P A 3 は、光シャッタ 3 0 3 を通過したパルスレーザ光の光路に配置されてもよい。光シャッタ 3 0 3 を通過したパルスレーザ光は、増幅器 P A 1 ~ P A 3 によって増幅され、図 3 1 などに示されるレーザ光進行方向制御部 3 4 a に出力されてもよい。増幅器 P A 1 は、たとえば、スラブ形状の光学結晶（たとえば、N d : Y A G）と 2 枚のミラーとを含むマルチパルス増幅器であってもよい。

[0216] 以上のようにして、第 3 の実施形態において例示された第 1 プリパルスレーザ光 P 1 及び第 2 プリパルスレーザ光 P 2 を出力する第 1 の Y A G レーザ装置 L a 1 が実現され得る。但し、第 1 の Y A G レーザ装置 L a 1 が E U V 光生成制御部 5 から第 1 のトリガ信号のみを受信した場合には、第 1 及び第 2 の実施形態において例示された第 1 プリパルスレーザ光 P 1 のみを出力する第 1 の Y A G レーザ装置 L a 1 が実現され得る。

[0217] 9. 2 第 2 の例

図 3 6 は、上述の各実施形態に係る E U V 光生成システムにおいて用いることができる第 1 の Y A G レーザ装置 L a 1 の第 2 の例を概略的に示す。図 3 6 に示される第 1 の Y A G レーザ装置 L a 1 は、パルス幅がピコ秒オーダーであるプリパルスレーザ光を出力し得る。

[0218] 第 1 の Y A G レーザ装置 L a 1 は、モードロックレーザ装置 3 0 2 と、再生増幅器 3 0 5 と、励起用電源 3 0 6 と、第 1 の Y A G レーザ制御部 3 1 0 とを含んでもよい。

[0219] 再生増幅器 3 0 5 は、平面ミラー 3 3 4 と凹面ミラー 3 3 5 とで構成される光共振器を含んでもよい。この光共振器には、レーザ結晶 3 3 6 と、凹面ミラー 3 3 7 と、平面ミラー 3 3 8 と、偏光ビームスプリッタ 3 3 9 と、ポッケルスセル 3 2 0 と、 $\lambda/4$ 波長板 3 2 1 とが、この順に平面ミラー 3 3

4側から配置されてもよい。さらに、再生増幅器305は、光共振器の外部からレーザ結晶336に励起光E2を出力する励起光源322を含んでもよい。励起光源322は、励起光E2を発生するレーザダイオードを含んでもよい。また、再生増幅器305は、偏光ビームスプリッタ330と、ファラデー光アイソレータ331と、平面ミラー332と、平面ミラー333とを含んでもよい。ファラデー光アイソレータ331は、図示しないファラデーローテータと図示しない $\lambda/2$ 波長板を含んでいてもよい。

[0220] 平面ミラー334は、励起光源322からの励起光E2に含まれる波長成分を高い透過率で透過させ、レーザ結晶336からの放出光に含まれる波長成分を高い反射率で反射するミラーでもよい。レーザ結晶336は、励起光E2を受けて励起されるレーザ媒質であり、例えば、Nd:YAGの結晶であってもよい。励起光E2を受けて励起されたレーザ結晶336に、モードロックレーザ装置302から出力された種光が入射すると、誘導放出によって種光が増幅され得る。

[0221] 9. 2. 1 ポッケルスセルに電圧を印加しない場合

偏光ビームスプリッタ330は、モードロックレーザ装置302から出力されたパルスレーザ光B1の光路に配置されてもよい。偏光ビームスプリッタ330は、入射面が紙面に対して垂直に配置されてもよい。偏光ビームスプリッタ330は、紙面に平行な方向に直線偏光したパルスレーザ光B1を高い透過率で透過させ得る。偏光ビームスプリッタ330は、後述のように、紙面に垂直な方向に直線偏光したパルスレーザ光B29を高い反射率で反射し得る。

[0222] ファラデー光アイソレータ331は、図中下側から偏光ビームスプリッタ330を透過したパルスレーザ光B2の光路に配置されてもよい。ファラデー光アイソレータ331は、図中下側から入射した直線偏光のパルスレーザ光B2の偏光面を90度回転させてパルスレーザ光B3として透過させてもよい。また、ファラデー光アイソレータ331は、後述のように、図中上側に相当する逆方向から入射するパルスレーザ光B28の偏光面を回転させず

に、偏光ビームスプリッタ 330 に向けて透過させてもよい。

[0223] 平面ミラー 332 は、ファラデー光アイソレータ 331 を透過したパルスレーザ光 B3 の光路に配置されてもよい。平面ミラー 332 は、パルスレーザ光 B3 を高い反射率で反射してもよい。平面ミラー 333 は、平面ミラー 332 によって反射されたパルスレーザ光 B4 を高い反射率で反射してもよい。

[0224] 光共振器内に配置された偏光ビームスプリッタ 339 は、平面ミラー 333 によって反射されたパルスレーザ光 B5 の光路上に位置していてもよい。偏光ビームスプリッタ 339 は、入射面が紙面に対して垂直に配置されてもよく、パルスレーザ光 B5 は、偏光ビームスプリッタ 339 の図中右側の面に入射してもよい。偏光ビームスプリッタ 339 は、紙面に垂直な方向に直線偏光したパルスレーザ光 B5 を高い反射率で反射し、パルスレーザ光 B6 として光共振器内に導いてもよい。偏光ビームスプリッタ 339 は、後述のように、紙面に平行な方向に直線偏光したパルスレーザ光 B11 等を高い透過率で透過させてもよい。

[0225] ポッケルスセル 320 と、 $\lambda/4$ 波長板 321 と、凹面ミラー 335 とは、偏光ビームスプリッタ 339 からみて図中右側の光路に配置されていてもよい。平面ミラー 334 と、レーザ結晶 336 と、凹面ミラー 337 と、平面ミラー 338 とは、偏光ビームスプリッタ 339 からみて図中左側の光路に配置されていてもよい。

[0226] ポッケルスセル 320 には、高電圧電源 323 によって電圧を印加可能であってもよい。ポッケルスセル 320 は、高電圧電源 323 によって電圧が印加されていない状態においては、偏光ビームスプリッタ 339 によって反射されたパルスレーザ光 B6 の偏光面を回転させずにパルスレーザ光 B7 として透過させてもよい。なお、ポッケルスセル 320 に高電圧電源 323 が電圧を印加していない状態は「電圧が OFF」と称し、高電圧電源 323 が電圧を印加している状態は「電圧が ON」と称する。

[0227] $\lambda/4$ 波長板 321 は、パルスレーザ光 B7 が入射する角度が略 0 度で配

置されてもよい。更に、 $\lambda/4$ 波長板321の結晶の光学軸が、 $\lambda/4$ 波長板321に対する入射光の光路軸に垂直な面内において、紙面に対して45度傾いた状態となるよう、 $\lambda/4$ 波長板321が配置されてもよい。 $\lambda/4$ 波長板321に入射するパルスレーザ光B7は、上記結晶の光学軸に平行な第1の偏光成分と、上記結晶の光学軸とパルスレーザ光B7の進行方向との両方に垂直な第2の偏光成分とを有し得る。第1の偏光成分と第2の偏光成分との合成ベクトルの方向は、パルスレーザ光B7の偏光面に沿った方向と一致し、その方向は紙面に垂直な方向であり得る。

[0228] $\lambda/4$ 波長板321は、第1の偏光成分と第2の偏光成分とを互いに異なる屈折率で透過させる複屈折作用を有してもよい。その結果、 $\lambda/4$ 波長板321は、ポッケルスセル320を透過したパルスレーザ光B7を、第1の偏光成分の位相に対して第2の偏光成分の位相を $1/4$ 波長分ずらして透過させ得る。凹面ミラー335は、 $\lambda/4$ 波長板321を透過したパルスレーザ光B8を高い反射率で反射してもよい。凹面ミラー335によって反射されたパルスレーザ光B9は、 $\lambda/4$ 波長板321を再び透過するので、第1の偏光成分の位相に対して第2の偏光成分の位相がさらに $1/4$ 波長分ずらされてもよい。つまり、パルスレーザ光B7は、 $\lambda/4$ 波長板321を2回透過することにより、第1の偏光成分の位相に対して第2の偏光成分の位相が合計で $1/2$ 波長分ずらされてもよい。その結果、紙面に垂直な方向に直線偏光したパルスレーザ光B7は、その偏光面が90度回転し、紙面に平行な方向に直線偏光したパルスレーザ光B10としてポッケルスセル320に入射し得る。

[0229] ポッケルスセル320は、上述の通り、高電圧電源323による電圧が印加されていない状態においては、入射光の偏光面が変化することなく透過させ得る。従って、ポッケルスセル320を透過したパルスレーザ光B11は、紙面に平行な方向に直線偏光した状態で偏光ビームスプリッタ339に入射し得る。偏光ビームスプリッタ339は、紙面に平行な方向に直線偏光したパルスレーザ光B11を高い透過率で透過させてもよい。

- [0230] 平面ミラー 338 は、偏光ビームスプリッタ 339 を透過したパルスレーザ光 B12 を高い反射率で反射してもよい。凹面ミラー 337 は、平面ミラー 338 によって反射されたパルスレーザ光 B13 を高い反射率で反射してもよい。レーザ結晶 336 は、凹面ミラー 337 によって反射された種光としてのパルスレーザ光 B14 を増幅して透過させてもよい。
- [0231] 平面ミラー 334 は、レーザ結晶 336 によって増幅されてレーザ結晶 336 を透過したパルスレーザ光 B15 を高い反射率で反射し、パルスレーザ光 B16 としてレーザ結晶 336 に入射させてもよい。レーザ結晶 336 によって再び増幅されたパルスレーザ光 B17 は、凹面ミラー 337 と、平面ミラー 338 と、偏光ビームスプリッタ 339 と、ポッケルスセル 320 とを介して、パルスレーザ光 B21 として $\lambda/4$ 波長板 321 に入射してもよい。パルスレーザ光 B21 は $\lambda/4$ 波長板 321 を透過し、凹面ミラー 335 によって反射されて再び $\lambda/4$ 波長板 321 を透過することにより、その偏光面が 90 度回転し、紙面に垂直な方向に直線偏光したパルスレーザ光 B24 となり得る。パルスレーザ光 B24 は、ポッケルスセル 320 を透過した後、偏光ビームスプリッタ 339 によって高い反射率で反射され、パルスレーザ光 B26 として光共振器の外部に出力され得る。
- [0232] パルスレーザ光 B26 は、平面ミラー 333 と平面ミラー 332 とを介して、パルスレーザ光 B28 としてファラデー光アイソレータ 331 に図中上側から入射してもよい。ファラデー光アイソレータ 331 は、図中上側から入射した直線偏光のパルスレーザ光 B28 を、その偏光面を回転させずに、パルスレーザ光 B29 として透過させてもよい。偏光ビームスプリッタ 330 は、紙面に垂直な方向に直線偏光したパルスレーザ光 B29 を高い反射率で反射してもよい。
- [0233] 偏光ビームスプリッタ 330 によって反射されたパルスレーザ光 B30 は、図 2 に示される集光光学系 22a を介してプラズマ生成領域 25 に導かれてもよい。ただし、再生増幅器 305 の光共振器内を一往復しただけで出力された、このパルスレーザ光 B30 は、仮にターゲットに照射されても、タ

ーゲットを破壊せず、ターゲットをプラズマ化もしない程度の弱い光強度を有していてもよい。

[0234] 9. 2. 2 ポッケルスセルに電圧を印加する場合

高電圧電源323は、一度ポッケルスセル320を透過したパルスレーザ光B11の1つのパルスが、次にパルスレーザ光B20としてポッケルスセル320に入射するまでの間のタイミングで、ポッケルスセル320に印加する電圧をOFFからONにしてもよい。ポッケルスセル320は、高電圧電源323によって電圧が印加されている状態においては、 $\lambda/4$ 波長板321と同様に、入射光を、第1の偏光成分の位相に対して第2の偏光成分の位相を $1/4$ 波長分ずらして透過させてもよい。

[0235] 図37は、図36に示す再生増幅器305においてポッケルスセル320に電圧が印加されている場合の光路を概略的に示す。このとき、パルスレーザ光B20は、ポッケルスセル320及び $\lambda/4$ 波長板321をそれぞれ2回透過して（パルスレーザ光Ba1、Ba2、Ba3、Ba4）、パルスレーザ光B11として戻ってきてもよい。 $\lambda/4$ 波長板321を2回透過することで偏光面が90度回転し、且つ、電圧が印加されているポッケルスセル320を2回透過することでさらに偏光面が90度回転したパルスレーザ光B11は、その偏光面の向きがパルスレーザ光B20と同じであり得る。従って、パルスレーザ光B11は、偏光ビームスプリッタ339を再び透過して、レーザ結晶336によって増幅され得る。ポッケルスセル320に高電圧電源323による電圧が印加されている間、この増幅動作が繰り返され得る。

[0236] 増幅動作が繰り返された後、高電圧電源323は、一度ポッケルスセル320を透過したパルスレーザ光B11が、次にパルスレーザ光B20としてポッケルスセル320に入射するまでの間のタイミングで、ポッケルスセル320に印加する電圧をONからOFFにしてもよい。ポッケルスセル320は、上述の通り、図5のように高電圧電源323による電圧が印加されていない状態においては、入射光の偏光面を回転させなくてもよい。従って、

このときポッケルスセル 320 に図中左側から入射したパルスレーザ光 B 20 は、図 37 のパルスレーザ光 B 21、B 22、B 23、B 24 として、 $\lambda/4$ 波長板 321 を 2 回透過することによって、その偏光面が 90 度だけ回転し得る。よって、増幅動作が繰り返された後のパルスレーザ光は、紙面に垂直な方向に直線偏光した状態で、パルスレーザ光 B 25 として偏光ビームスプリッタ 339 に図中右側から入射し、光共振器の外部に出力され得る。

[0237] あるいは、増幅動作が繰り返された後、高電圧電源 323 は、一度ポッケルスセル 320 を透過したパルスレーザ光 B 11 が、次にパルスレーザ光 B 20 としてポッケルスセル 320 に入射するまでの間のタイミングで、ポッケルスセル 320 に印加する電圧の ON から OFF への立ち下げを、開始してもよい。電圧の立下り中に、パルスレーザ光 B 20 がポッケルスセル 320 を通過するように、電圧立ち下げの開始タイミングと、電圧立ち下げの開始から電圧立ち下げの完了までの所要時間とが設定されてもよい。これにより、パルスレーザ光 B 20 の一部、すなわち電圧 OFF 時にポッケルスセル 320 を通過したパルスレーザ光 B 20 は、偏光ビームスプリッタ 339 によって反射されて光共振器の外部に出力され得る。パルスレーザ光 B 20 の残りの一部、すなわち電圧 ON 時にポッケルスセル 320 を通過したパルスレーザ光 B 20 は、偏光ビームスプリッタ 339 を再度透過し、光共振器内を一往復してから光共振器の外部に出力され得る。

これにより、再生増幅器 305 から取り出されるパルスレーザ光をダブルパルス化し、第 3 の実施形態における第 1 及び第 2 のプリパルスレーザ光を 1 つのターゲット 27 に照射し得る。

[0238] プリパルスレーザ光のパルス幅をピコ秒オーダーとすることにより、ターゲットを細かい粒子状に破壊して拡散させ得る。これにより、拡散したターゲットにメインパルスレーザ光を照射したときに、ターゲットが効率よくプラズマ化され得る。

[0239] その他、ピコ秒オーダーのパルス幅を有するパルスレーザ光を出力するレーザ装置としては、以下のようなレーザ装置が用いられてもよい。

(1) モードロックレーザ装置としては、固体レーザ (Nd系、Yb系、Ti:sapphire等)、ファイバレーザ等が用いられてもよい。この場合には $10\text{ fs} \sim 100\text{ ps}$ の範囲のパルス幅を有するパルスレーザ光が生成され得る。

(2) Nd:YVO₄等のマイクロチップレーザが用いられてもよい。この場合には $50\text{ ps} \sim 500\text{ ps}$ の範囲のパルス幅を有するパルスレーザ光が生成され得る。

(3) 半導体レーザにおける供給電流を高速変調することにより、ピコ秒オーダーのパルス幅を有するパルスレーザ光を出力してもよい。この場合には 50 ps 以上 1 ns 未満の範囲のパルス幅を有するパルスレーザ光が生成され得る。

(4) CW発振の半導体レーザと高速の光スイッチとを組み合わせ、ピコ秒オーダーのパルス幅を有するパルスレーザ光を生成し、複数の増幅器によって増幅してもよい。この場合には 100 ps 以上 1 ns 未満の範囲のパルス幅を有するパルスレーザ光が生成され得る。

[0240] 10. 制御部の構成

図38は、制御部の概略構成を示すブロック図である。

上述した実施の形態におけるEUV制御部50等の制御部は、コンピュータやプログラマブルコントローラ等汎用の制御機器によって構成されてもよい。例えば、以下のように構成されてもよい。

[0241] (構成)

制御部は、処理部1000と、処理部1000に接続される、ストレージメモリ1005と、ユーザインターフェイス1010と、パラレルI/Oコントローラ1020と、シリアルI/Oコントローラ1030と、A/D、D/Aコンバータ1040とによって構成されてもよい。また、処理部1000は、CPU1001と、CPU1001に接続された、メモリ1002と、タイマー1003と、GPU1004とから構成されてもよい。

[0242] (動作)

処理部1000は、ストレージメモリ1005に記憶されたプログラムを

読み出してもよい。また、処理部１０００は、読み出したプログラムを実行したり、プログラムの実行に従ってストレージメモリ１００５からデータを読み出したり、ストレージメモリ１００５にデータを記憶させたりしてもよい。

[0243] パラレルＩ／Ｏコントローラ１０２０は、パラレルＩ／Ｏポートを介して通信可能な機器１０２１～１０２ｘに接続されてもよい。パラレルＩ／Ｏコントローラ１０２０は、処理部１０００がプログラムを実行する過程で行うパラレルＩ／Ｏポートを介した、デジタル信号による通信を制御してもよい。

[0244] シリアルＩ／Ｏコントローラ１０３０は、シリアルＩ／Ｏポートを介して通信可能な機器１０３１～１０３ｘに接続されてもよい。シリアルＩ／Ｏコントローラ１０３０は、処理部１０００がプログラムを実行する過程で行うシリアルＩ／Ｏポートを介した、デジタル信号による通信を制御してもよい。

[0245] Ａ／Ｄ、Ｄ／Ａコンバータ１０４０は、アナログポートを介して通信可能な機器１０４１～１０４ｘに接続されてもよい。Ａ／Ｄ、Ｄ／Ａコンバータ１０４０は、処理部１０００がプログラムを実行する過程で行うアナログポートを介した、アナログ信号による通信を制御してもよい。

[0246] ユーザインターフェイス１０１０は、オペレータが処理部１０００によるプログラムの実行過程を表示したり、オペレータによるプログラム実行の中止や割り込み処理を処理部１０００に行わせたりするよう構成されてもよい。

[0247] 処理部１０００のＣＰＵ１００１はプログラムの演算処理を行ってもよい。メモリ１００２は、ＣＰＵ１００１がプログラムを実行する過程で、プログラムの一時記憶や、演算過程でのデータの一時記憶を行ってもよい。タイマー１００３は、時刻や経過時間を計測し、プログラムの実行に従ってＣＰＵ１００１に時刻や経過時間を出力してもよい。ＧＰＵ１００４は、処理部１０００に画像データが入力された際、プログラムの実行に従って画像デー

タを処理し、その結果をCPU1001に出力してもよい。

[0248] パラレルI/Oコントローラ1020に接続される、パラレルI/Oポートを介して通信可能な機器1021～102xは、レーザシステム3、露光装置6、他の制御部等であってもよい。

シリアルI/Oコントローラ1030に接続される、シリアルI/Oポートを介して通信可能な機器1031～103xは、ターゲットセンサ4、光検出器35、位置調整等であってもよい。

A/D、D/Aコンバータ1040に接続される、アナログポートを介して通信可能な機器1041～104xは、EUV光センサ7等の各種センサであってもよい。

以上のように構成されることで、制御部は各実施形態に示された動作を実現可能であってもよい。

[0249] 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。

[0250] 本明細書及び添付の特許請求の範囲全体で使用する用語は、「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]

チャンバと、

前記チャンバ内のプラズマ生成領域に向けてターゲットを出力するように構成されたターゲット生成部と、

前記ターゲットに、第1プリパルスレーザ光、第2プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光がこの順で照射されるように、前記第1プリパルスレーザ光、前記第2プリパルスレーザ光及び前記メインパルスレーザ光を生成するレーザシステムと、

前記第2プリパルスレーザ光のフルエンスが、 $1\text{ J}/\text{cm}^2$ 以上、且つ、前記メインパルスレーザ光のフルエンス以下となるように、前記レーザシステムを制御する制御部と、

を含む極端紫外光生成システム。

[請求項2]

チャンバと、

前記チャンバ内のプラズマ生成領域に向けてターゲットを出力するように構成されたターゲット生成部と、

前記ターゲットに、プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光がこの順で照射されるように、前記プリパルスレーザ光及び前記メインパルスレーザ光を生成するレーザシステムと、

前記メインパルスレーザ光のパルス波形が、第1の増加率以下の増加率で光強度が増加する第1段階と、第1の増加率より大きい第2の増加率以上の増加率で光強度が増加する第2段階と、光強度が減少する第3段階と、を含み、且つ、前記第1段階における当該メインパルスレーザ光のフルエンスが、 $2\text{ J}/\text{cm}^2$ 以上、且つ、前記第2段階及び前記第3段階における当該メインパルスレーザ光のフルエンス以下となるように、前記パルス波形を制御する制御部と、を含む極端紫外光生成システム。

[請求項3]

チャンバと、

前記チャンバ内のプラズマ生成領域に向けてターゲットを出力する

ように構成されたターゲット生成部と、

前記ターゲットに、第1プリパルスレーザ光、第2プリパルスレーザ光、及び、前記第1プリパルスレーザ光の波長及び前記第2プリパルスレーザ光の波長より大きい波長を有するメインパルスレーザ光が、この順で照射されるように、前記第1プリパルスレーザ光、前記第2プリパルスレーザ光及び前記メインパルスレーザ光を生成するレーザシステムと、

前記第1プリパルスレーザ光、前記第2プリパルスレーザ光及び前記メインパルスレーザ光を前記プラズマ生成領域に集光するように構成されたレーザ集光光学系と、

前記レーザ集光光学系に入射する前記第2プリパルスレーザ光のビーム径が、前記レーザ集光光学系に入射する前記第1プリパルスレーザ光のビーム径及び前記レーザ集光光学系に入射する前記メインパルスレーザ光のビーム径より小さくなるように、前記第1プリパルスレーザ光、前記第2プリパルスレーザ光及び前記メインパルスレーザ光の少なくとも1つのビーム径を制御する制御部と、
を含む極端紫外光生成システム。

[請求項4]

チャンバと、

前記チャンバ内のプラズマ生成領域に向けてターゲットを出力するように構成されたターゲット生成部と、

前記ターゲットに、第1プリパルスレーザ光、第2プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光がこの順で照射されるように、前記第1プリパルスレーザ光、前記第2プリパルスレーザ光及び前記メインパルスレーザ光を生成するレーザシステムと、

前記ターゲットに対する前記第1プリパルスレーザ光の照射位置が、前記ターゲットに対する前記メインパルスレーザ光の照射位置よりも、前記ターゲット生成部に近い位置となるように、前記第1プリパルスレーザ光及び前記メインパルスレーザ光の少なくとも1つのレー

ザ光路軸を制御する制御部と、
を含む極端紫外光生成システム。

[請求項5]

チャンバと、
前記チャンバ内のプラズマ生成領域に向けてターゲットを出力するように構成されたターゲット生成部と、
前記ターゲットに、第1プリパルスレーザ光、第2プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光がこの順で照射されるように、前記第1プリパルスレーザ光、前記第2プリパルスレーザ光及び前記メインパルスレーザ光を生成するレーザシステムと、
を含み、
前記第1プリパルスレーザ光の波長と前記第2プリパルスレーザ光の波長との差より、前記第2プリパルスレーザ光の波長と前記メインパルスレーザ光の波長との差が小さい、極端紫外光生成システム。

[請求項6]

チャンバと、
前記チャンバ内のプラズマ生成領域に向けてターゲットを出力するように構成されたターゲット生成部と、
前記ターゲットに、第1プリパルスレーザ光、第2プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光がこの順で照射されるように、前記第1プリパルスレーザ光、前記第2プリパルスレーザ光及び前記メインパルスレーザ光を生成するレーザシステムと、
前記ターゲットに対する前記第1プリパルスレーザ光の照射タイミングから前記ターゲットに対する前記第2プリパルスレーザ光の照射タイミングまでの時間が、前記ターゲットに対する前記第2プリパルスレーザ光の照射タイミングから前記ターゲットに対する前記メインパルスレーザ光の照射タイミングまでの時間より短くなるように、前記レーザシステムを制御する制御部と、
を含む極端紫外光生成システム。

[請求項7]

前記レーザシステムは、前記ターゲットに対する前記第2プリパル

スレーザ光の照射タイミングと、前記ターゲットに対する前記メインパルスレーザ光の照射タイミングとの間に、前記ターゲットに第3プリパルスレーザ光が照射されるように、前記第3プリパルスレーザ光を生成する、
請求項6記載の極端紫外光生成システム。

補正された請求の範囲

[2014年10月31日 (31.10.2014) 国際事務局受理]

[請求項 1]

チャンバと、

前記チャンバ内のプラズマ生成領域に向けてターゲットを出力するように構成されたターゲット生成部と、

前記ターゲットに、第1プリパルスレーザ光、第2プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光がこの順で照射されるように、前記第1プリパルスレーザ光、前記第2プリパルスレーザ光及び前記メインパルスレーザ光を生成するレーザシステムと、

前記第2プリパルスレーザ光のフルーエンスが、 1 J/cm^2 以上、且つ、前記メインパルスレーザ光のフルーエンス以下となるように、前記レーザシステムを制御する制御部と、を含む極端紫外光生成システム。

[請求項 2]

チャンバと、

前記チャンバ内のプラズマ生成領域に向けてターゲットを出力するように構成されたターゲット生成部と、

前記ターゲットに、プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光がこの順で照射されるように、前記プリパルスレーザ光及び前記メインパルスレーザ光を生成するレーザシステムと、

前記メインパルスレーザ光のパルス波形が、第1の増加率以下の増加率で光強度が増加する第1段階と、第1の増加率より大きい第2の増加率以上の増加率で光強度が増加する第2段階と、光強度が減少する第3段階と、を含み、且つ、前記第1段階における当該メインパルスレーザ光のフルーエンスが、 2 J/cm^2 以上、且つ、前記第2段階及び前記第3段階における当該メインパルスレーザ光のフルーエンス以下となるように、前記パルス波形を制御する制御部と、を含む極端紫外光生成システム。

[請求項 3]

チャンバと、

前記チャンバ内のプラズマ生成領域に向けてターゲットを出力する

ように構成されたターゲット生成部と、

前記ターゲットに、第1プリパルスレーザー光、第2プリパルスレーザー光、及び、前記第1プリパルスレーザー光の波長及び前記第2プリパルスレーザー光の波長より大きい波長を有するメインパルスレーザー光が、この順で照射されるように、前記第1プリパルスレーザー光、前記第2プリパルスレーザー光及び前記メインパルスレーザー光を生成するレーザーシステムと、

前記第1プリパルスレーザー光、前記第2プリパルスレーザー光及び前記メインパルスレーザー光を前記プラズマ生成領域に集光するように構成されたレーザー集光光学系と、

前記レーザー集光光学系に入射する前記第2プリパルスレーザー光のビーム径が、前記レーザー集光光学系に入射する前記第1プリパルスレーザー光のビーム径及び前記レーザー集光光学系に入射する前記メインパルスレーザー光のビーム径より小さくなるように、前記第1プリパルスレーザー光、前記第2プリパルスレーザー光及び前記メインパルスレーザー光の少なくとも1つのビーム径を制御する制御部と、

を含む極端紫外光生成システム。

[請求項 4] (削除)

[請求項 5] (削除)

[請求項 6] (削除)

[請求項 7] (削除)

[請求項 8] (追加) チャンバと、

前記チャンバ内のプラズマ生成領域に向けてターゲットを出力するように構成されたターゲット生成部と、

前記ターゲットに、第1プリパルスレーザー光、第2プリパルスレーザー光及びメインパルスレーザー光がこの順で照射されるように、前記第1プリパルスレーザー光、前記第2プリパルスレーザー光及び前記メインパルスレーザー光を生成するレーザーシステムと、

前記第1プリパルスレーザ光と前記メインパルスレーザ光との出力タイミングの時間差が $0.5\mu\text{s}$ 以上、 $1.6\mu\text{s}$ 以下となるように、
且つ、前記第2プリパルスレーザ光と前記メインパルスレーザ光との出力タイミングの時間差が、 $0.03\mu\text{s}$ 以上、 $0.37\mu\text{s}$ 以下となるように、前記レーザシステムを制御する制御部と、
を含む極端紫外光生成システム。

[請求項9] (追加) 前記レーザシステムは、パルス幅がピコ秒オーダーである前記第1プリパルスレーザ光を生成する、
請求項8記載の極端紫外光生成システム。

[請求項10] (追加) 前記レーザシステムは、
モードロックレーザ装置と、
前記モードロックレーザ装置から出力されるパルスレーザ光の光路に配置された光シャッタと、
前記モードロックレーザ装置から出力されるパルスレーザ光に含まれる少なくとも1つのパルスを前記光シャッタが通過させるように、前記光シャッタに電圧信号を送信する電圧波形制御回路と、
前記光シャッタを通過したパルスレーザ光を入力して前記第1プリパルスレーザ光を出力する増幅器と、
前記モードロックレーザ装置、前記電圧波形制御回路、及び前記増幅器に制御信号を出力するレーザ制御部と、
を含む、請求項8記載の極端紫外光生成システム。

[請求項11] (追加) 前記モードロックレーザ装置は、光共振器と、レーザ媒質となる Nd:YVO_4 結晶と、可飽和吸収ミラーとを含む、
請求項10記載の極端紫外光生成システム。

[請求項12] (追加) 前記光シャッタは、EOポッケルスセルと、偏光子とを含む、
請求項10記載の極端紫外光生成システム。

[請求項13] (追加) 前記増幅器は、スラブ形状の光学結晶と、2枚のミラーとを含むマルチパス増幅器である、

請求項 10 記載の極端紫外光生成システム。

[請求項 14] (追加) チャンバと、

前記チャンバ内のプラズマ生成領域に向けてターゲットを出力するように構成されたターゲット生成部と、

前記ターゲットに、第 1 プリパルスレーザ光と、前記第 1 プリパルスレーザ光よりもパルス幅が長い第 2 プリパルスレーザ光と、メインパルスレーザ光と、がこの順で照射されるように、前記第 1 プリパルスレーザ光と、前記第 2 プリパルスレーザ光と、前記メインパルスレーザ光と、を生成するレーザシステムと、

を含む極端紫外光生成システム。

[請求項 15] (追加) チャンバと、

前記チャンバ内のプラズマ生成領域に向けてターゲットを出力するように構成されたターゲット生成部と、

前記ターゲットに、第 1 プリパルスレーザ光と、前記第 1 プリパルスレーザ光よりもパルス幅が長い第 2 プリパルスレーザ光と、前記第 2 プリパルスレーザ光よりもパルス幅が長いメインパルスレーザ光と、がこの順で照射されるように、前記第 1 プリパルスレーザ光と、前記第 2 プリパルスレーザ光と、前記メインパルスレーザ光と、を生成するレーザシステムと、

を含む極端紫外光生成システム。

[請求項 16] (追加) チャンバと、

前記チャンバ内のプラズマ生成領域に向けてターゲットを出力するように構成されたターゲット生成部と、

前記ターゲットに、第 1 プリパルスレーザ光、第 2 プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光がこの順で照射されるように、前記第 1 プリパルスレーザ光、前記第 2 プリパルスレーザ光及び前記メインパルスレーザ光を生成するレーザシステムと、

前記第 1 のプリパルスレーザ光の光路に配置され、前記第 1 のプリ

パルスレーザ光の波面を調節する第1のビームエキスパンダと、

前記第2のプリパルスレーザ光の光路に配置され、前記第2のプリパルスレーザ光の波面を調節する第2のビームエキスパンダと、

前記メインパルスレーザ光の光路に配置され、前記メインパルスレーザ光の波面を調節する第3のビームエキスパンダと、
を含む極端紫外光生成システム。

[請求項17] (追加) 前記第1から第3のビームエキスパンダを、前記第1プリパルスレーザ光の集光径が、前記メインパルスレーザ光の集光径及び前記第2のプリパルスレーザ光の集光径より小さくなるように、それぞれ制御する制御部

をさらに備えた請求項16の極端紫外光生成システム。

[請求項18] (追加) 前記第1のビームエキスパンダは、球面凹レンズと球面凸レンズとを含み、

前記第2のビームエキスパンダは、球面凹レンズと球面凸レンズとを含み、

前記第3のビームエキスパンダは、球面凹面ミラーと球面凸面ミラーとを含む、

請求項16記載の極端紫外光生成システム。

[請求項19] (追加) 前記第1のプリパルスレーザ光の光路に配置された第1の光学素子と、

前記第1の光学素子を動かすことにより、前記第1のプリパルスレーザ光の進行方向を制御する第1のアクチュエータと、

前記第2のプリパルスレーザ光の光路に配置された第2の光学素子と、

前記第2の光学素子を動かすことにより、前記第2のプリパルスレーザ光の進行方向を制御する第2のアクチュエータと、

前記メインパルスレーザ光の光路に配置された第3の光学素子と、

前記第3の光学素子を動かすことにより、前記メインパルスレーザ

光の進行方向を制御する第3のアクチュエータと、
をさらに含む、請求項16記載の極端紫外光生成システム。

[請求項20] (追加) チャンバと、

前記チャンバ内のプラズマ生成領域に向けてターゲットを出力するように構成されたターゲット生成部と、

前記ターゲットに、第1プリパルスレーザ光、第2プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光がこの順で照射されるように、前記第1プリパルスレーザ光、前記第2プリパルスレーザ光及び前記メインパルスレーザ光を生成するレーザシステムと、

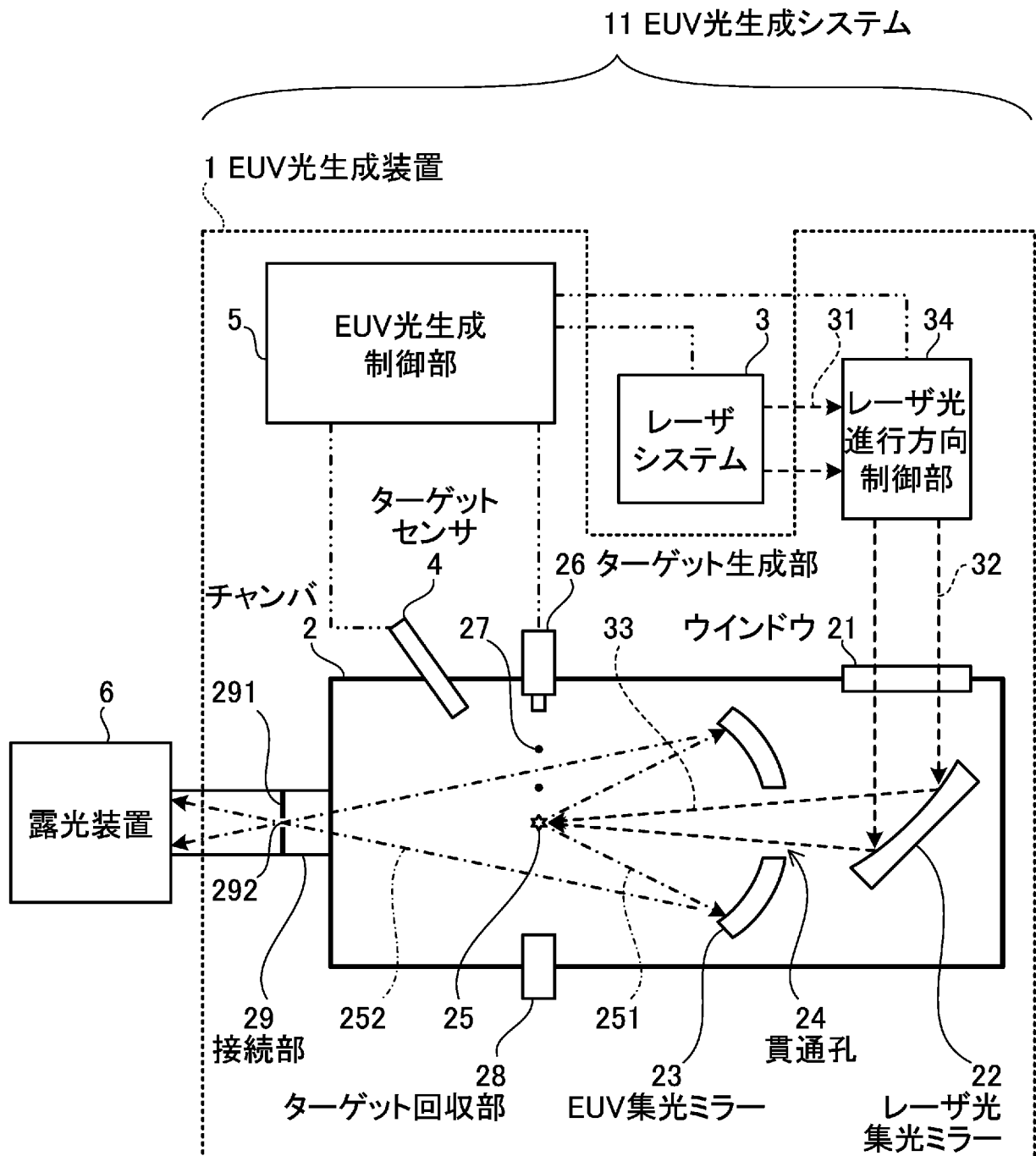
前記第1のプリパルスレーザ光の光路と前記第2のプリパルスレーザ光の光路とが交差する第1の位置に配置され、前記第1のプリパルスレーザ光に含まれる第1の偏光成分と前記第2のプリパルスレーザ光に含まれる第2の偏光成分との内の一方を反射し他方を透過させて、前記第1のプリパルスレーザ光及び前記第2のプリパルスレーザ光を、前記メインパルスレーザ光の光路に位置する第2の位置に向けて出射する第1のビームコンバイナと、

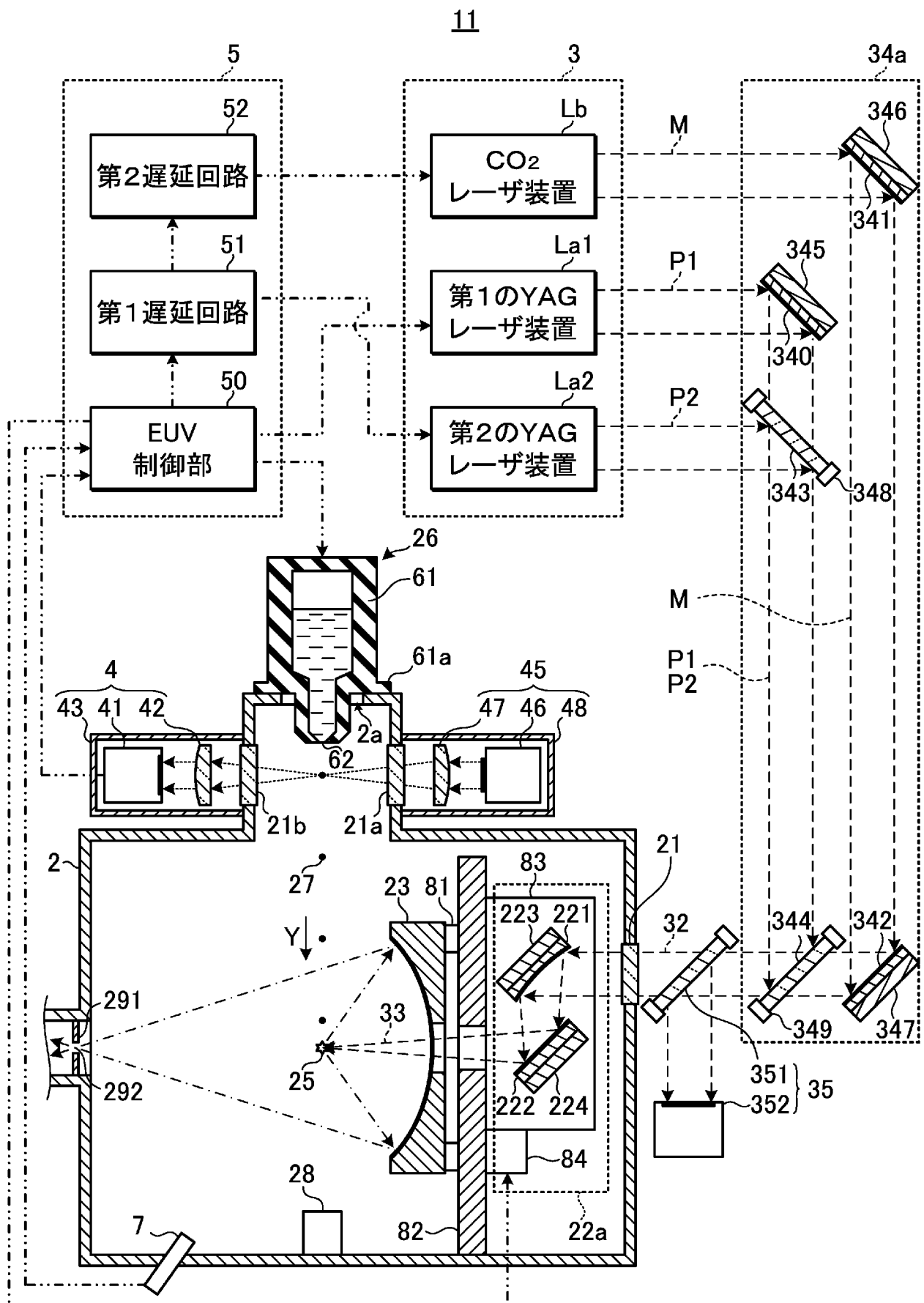
前記第2の位置に配置され、前記第1のプリパルスレーザ光及び前記第2のプリパルスレーザ光の両方に含まれる第1の波長成分と前記メインパルスレーザ光に含まれる第2の波長成分との内の一方を反射し他方を透過させて、前記第1のプリパルスレーザ光、前記第2のプリパルスレーザ光及び前記メインパルスレーザ光を、第3の位置に向けて出射する第2のビームコンバイナと、
を含む極端紫外光生成システム。

[請求項21] (追加) 前記第2のビームコンバイナと前記第3の位置との間に配置され、前記第1のプリパルスレーザ光、前記第2のプリパルスレーザ光及び前記メインパルスレーザ光の各一部を第4の位置に向けて出射し、別の各一部を前記第3の位置に向けて出射するビームスプリッタと、
、

前記第4の位置に配置され、前記第1のプリパルスレーザ光、前記第2のプリパルスレーザ光及び前記メインパルスレーザ光の前記各一部を検出する光センサと、
をさらに含む、請求項20記載の極端紫外光生成システム。

[図1]

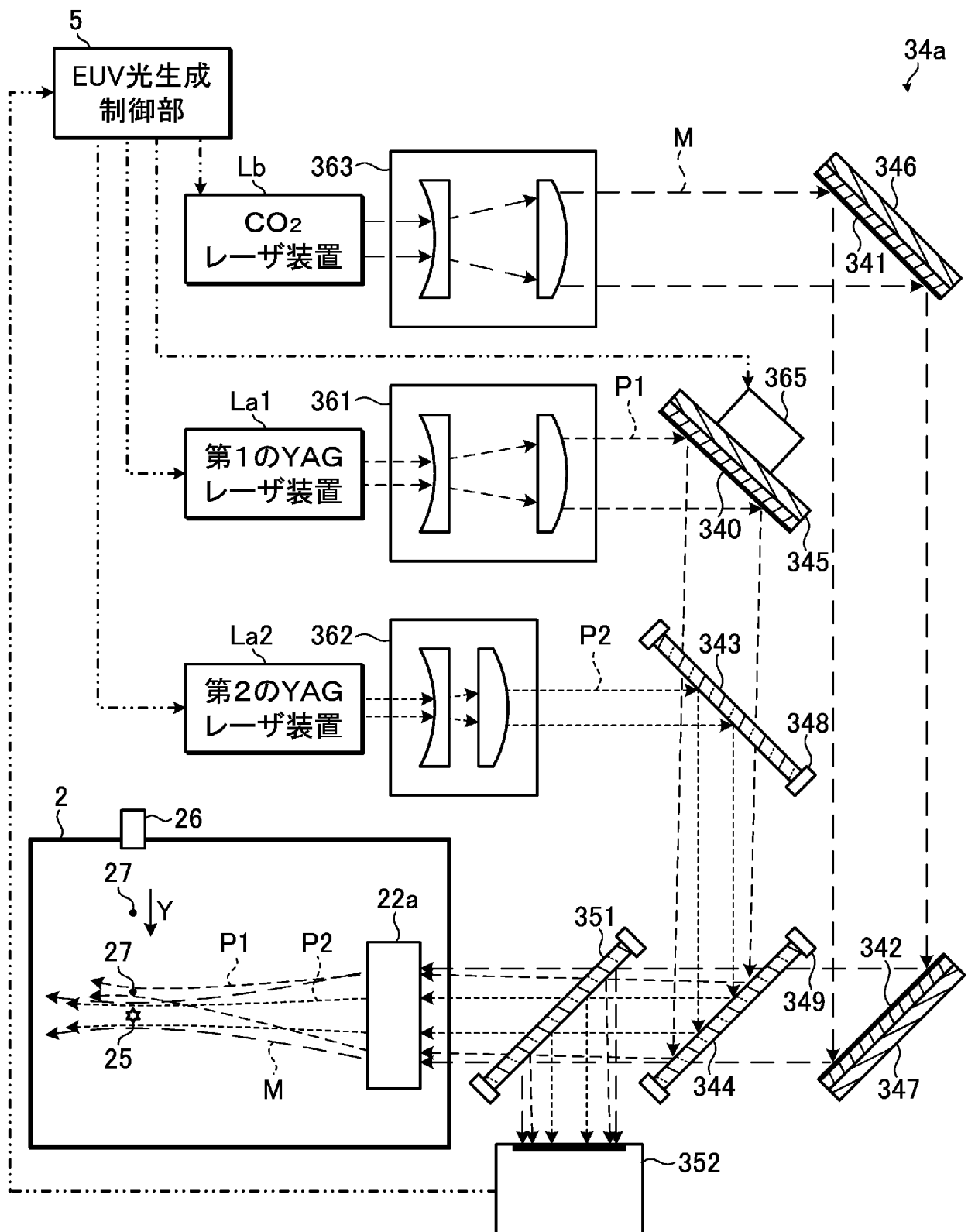




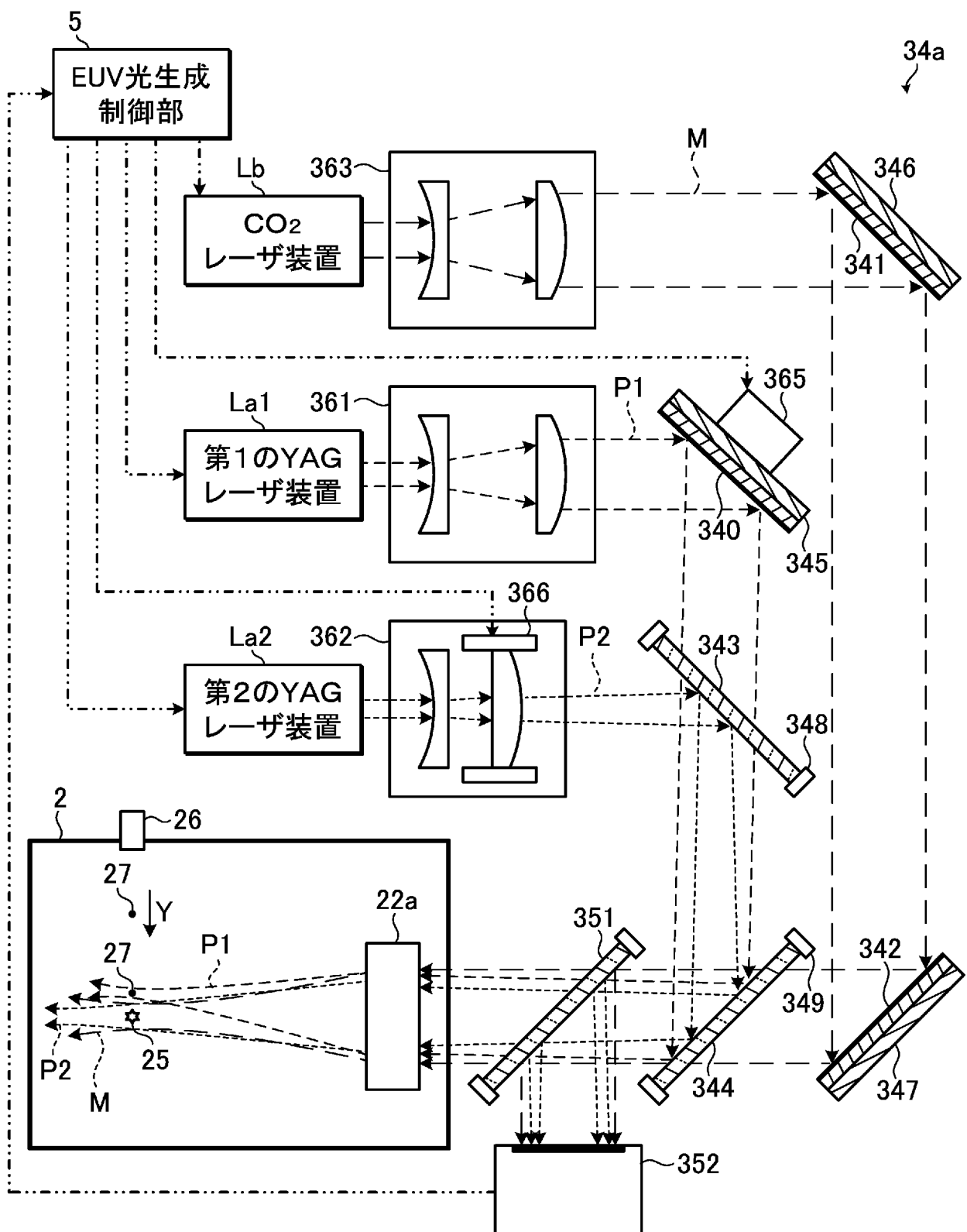
[図3]



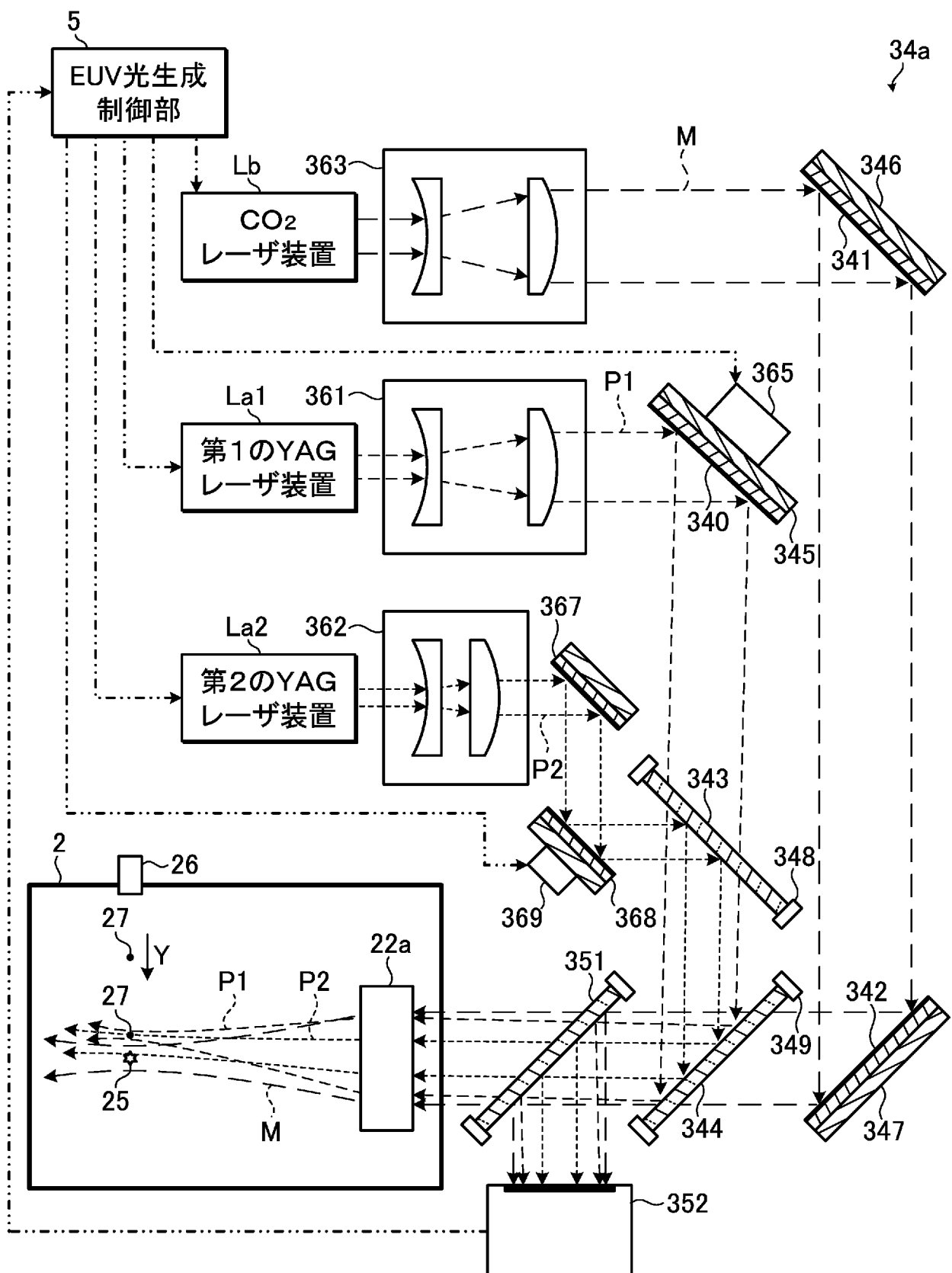
[図4]



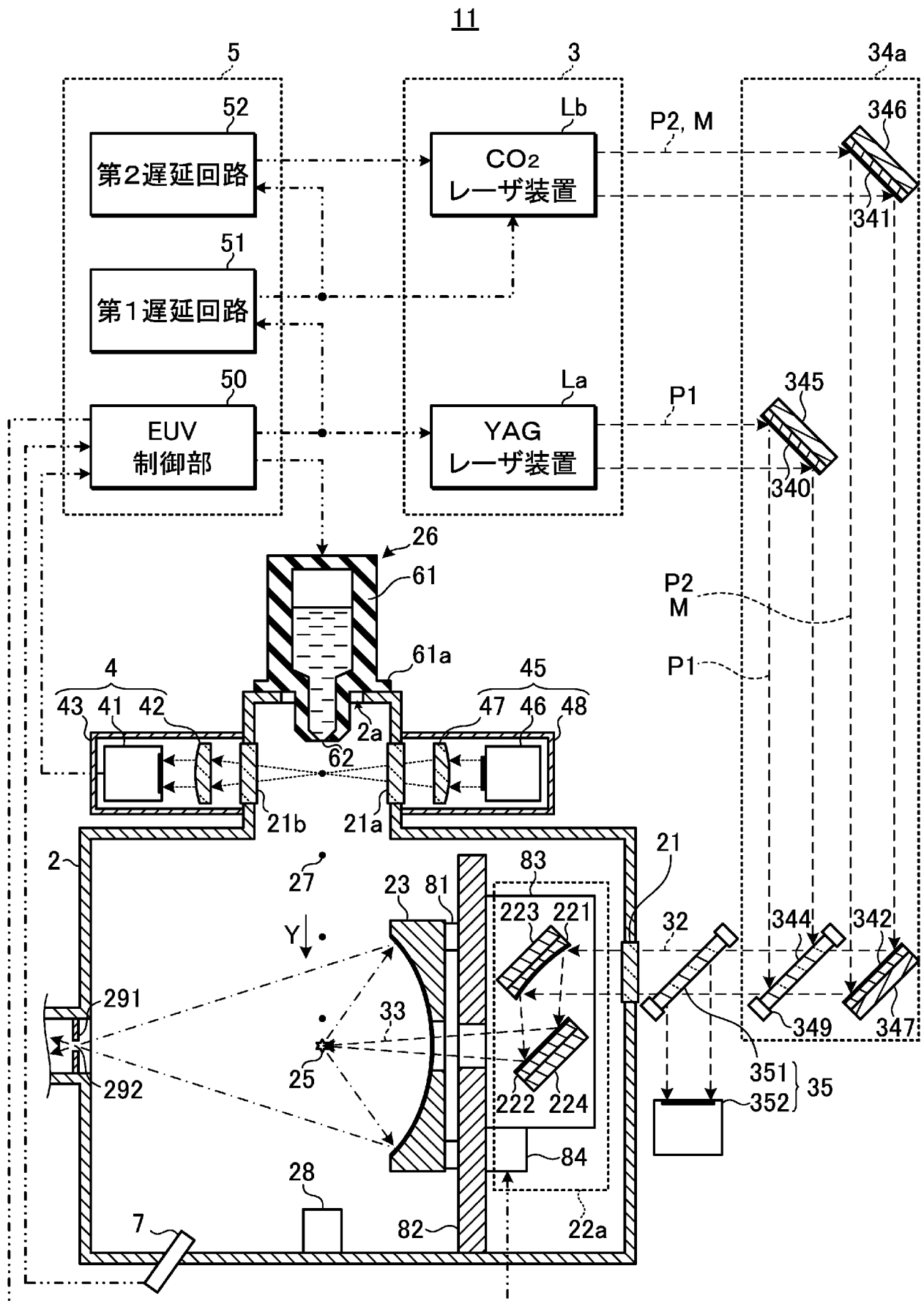
[図5]



[図6]



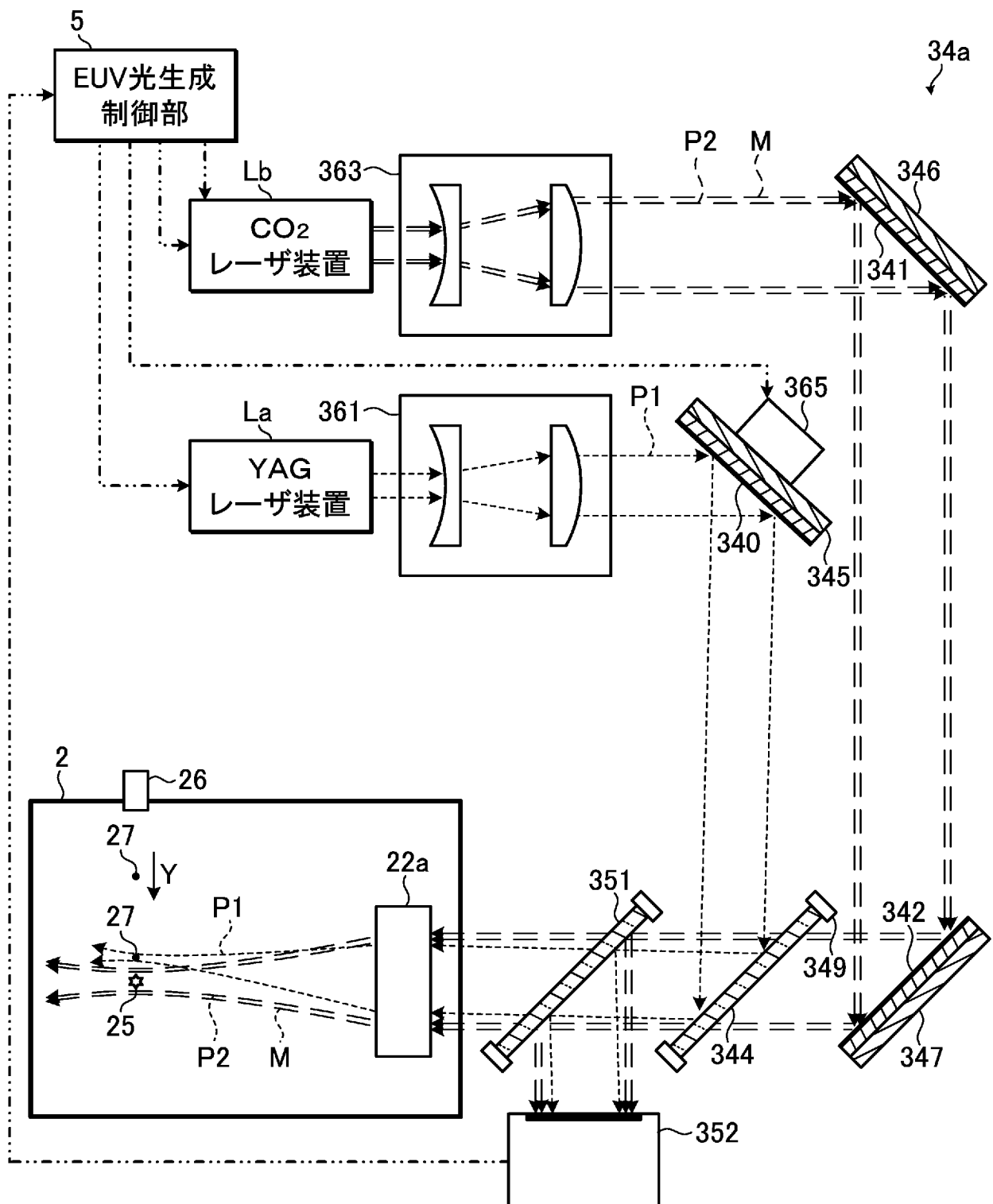
[図7]



[図8]



[図9]



[図10]



[図11]

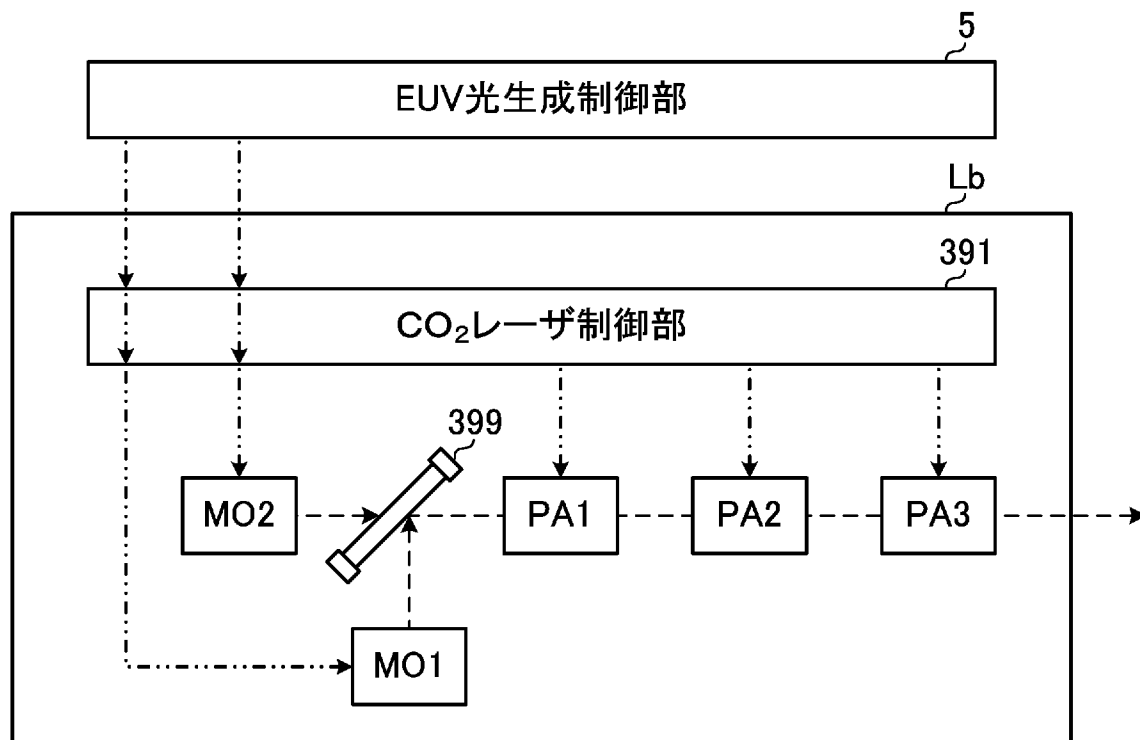
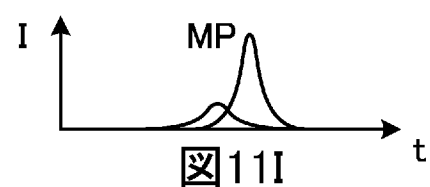
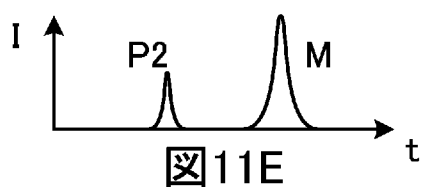
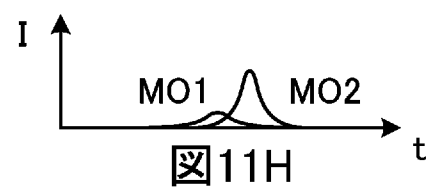
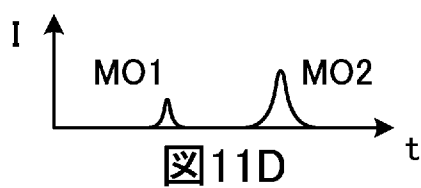
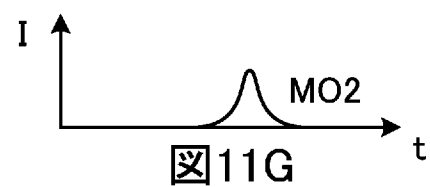
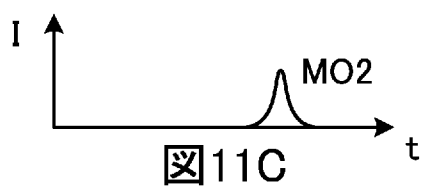
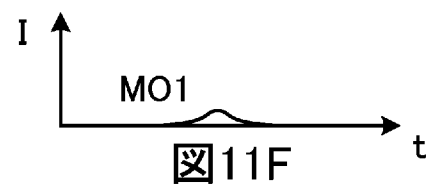
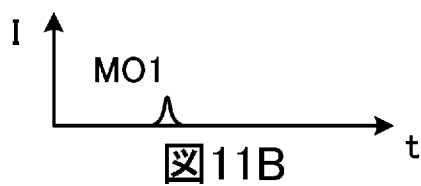
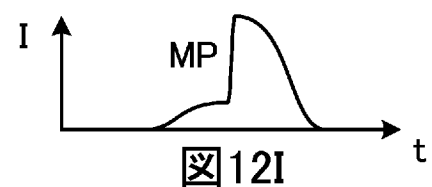
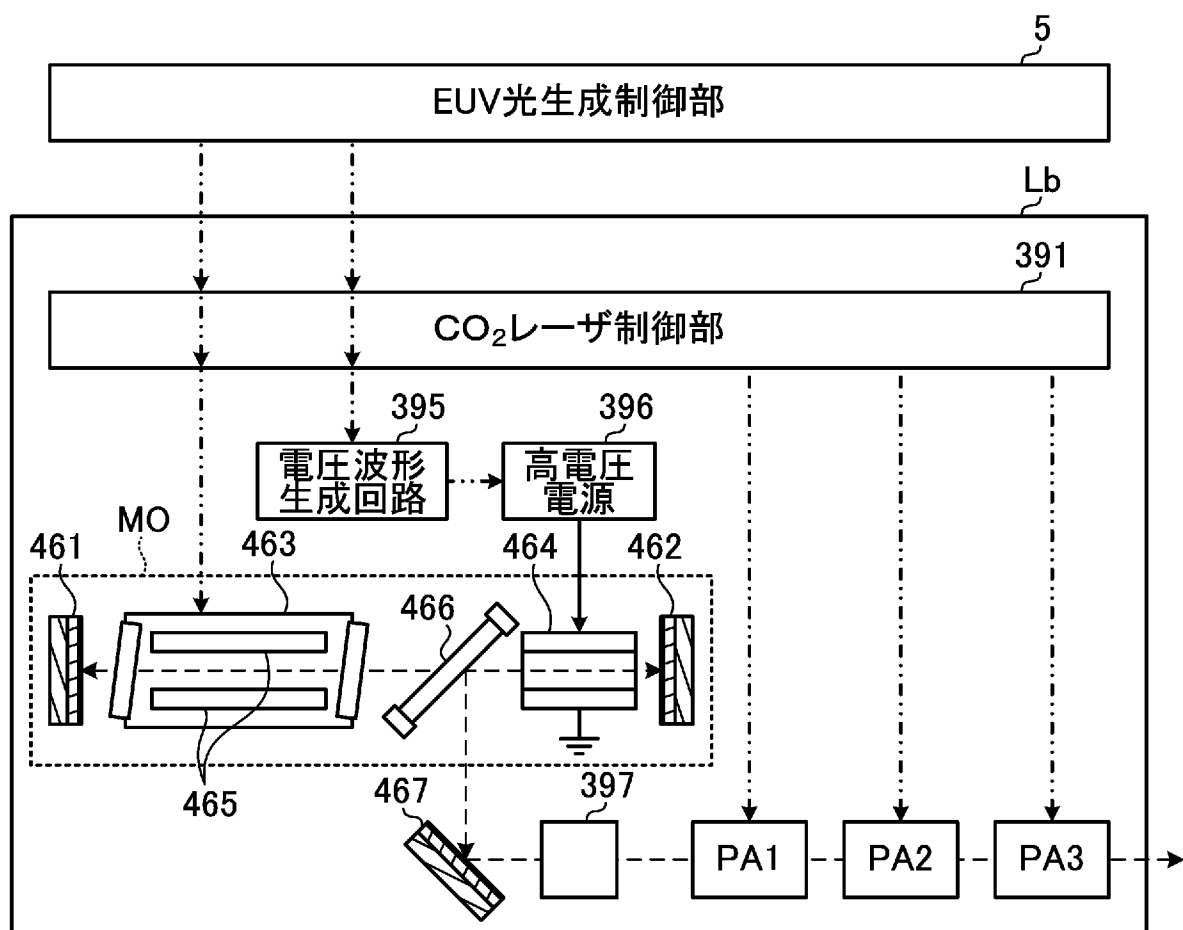


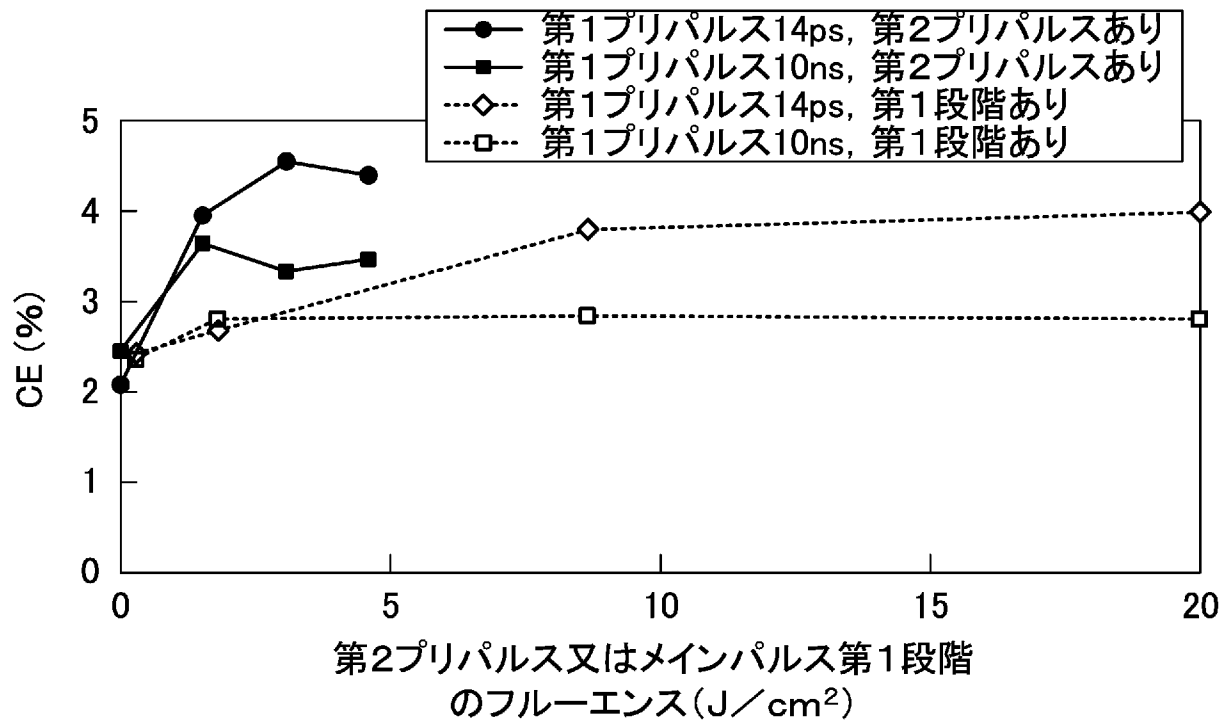
図11A



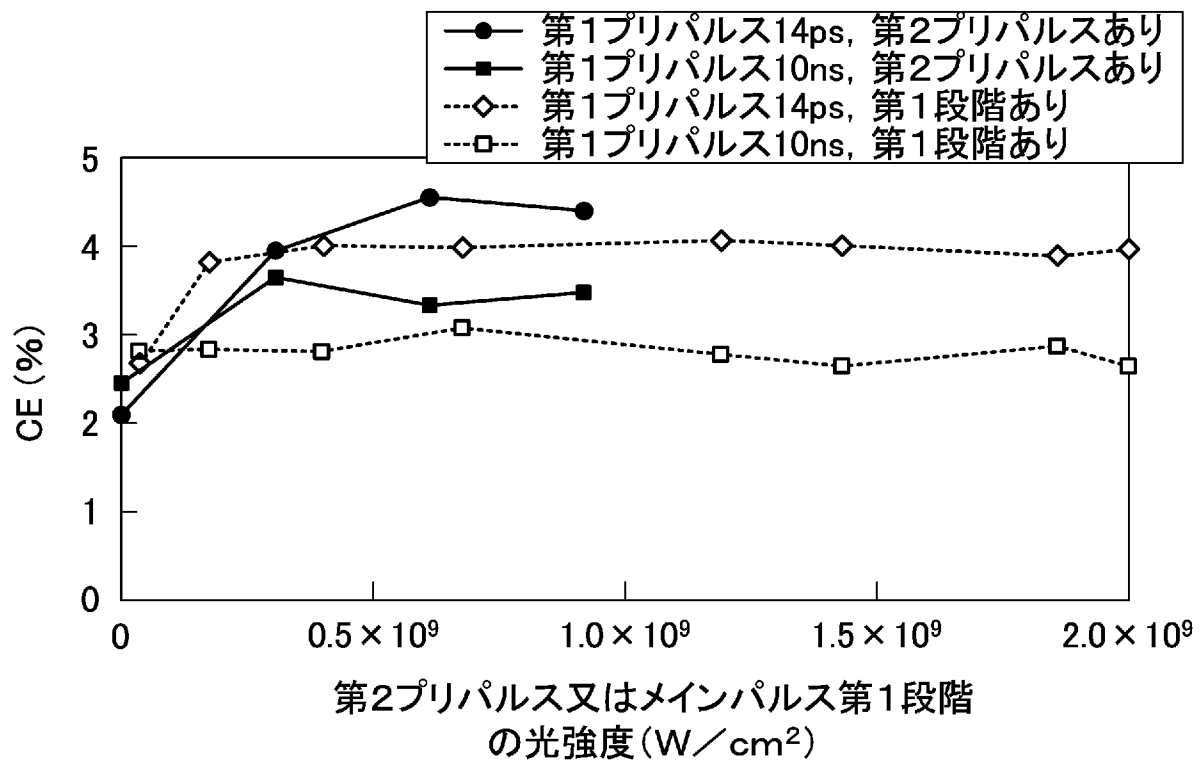




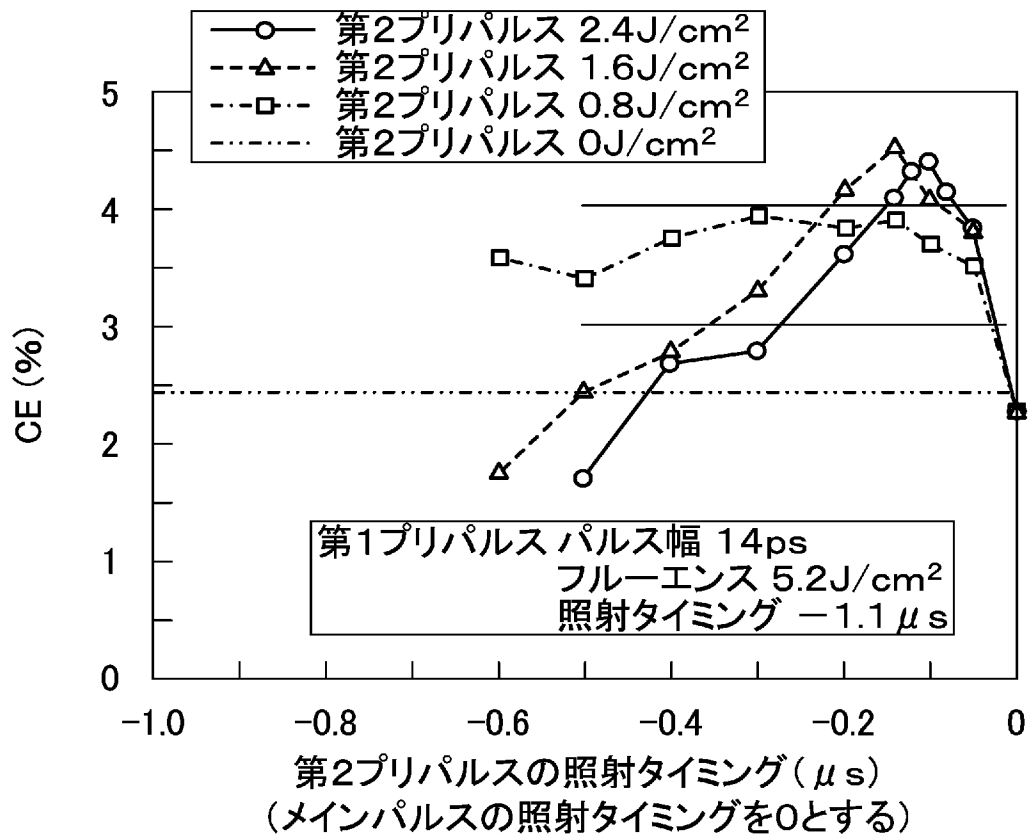
[図15]



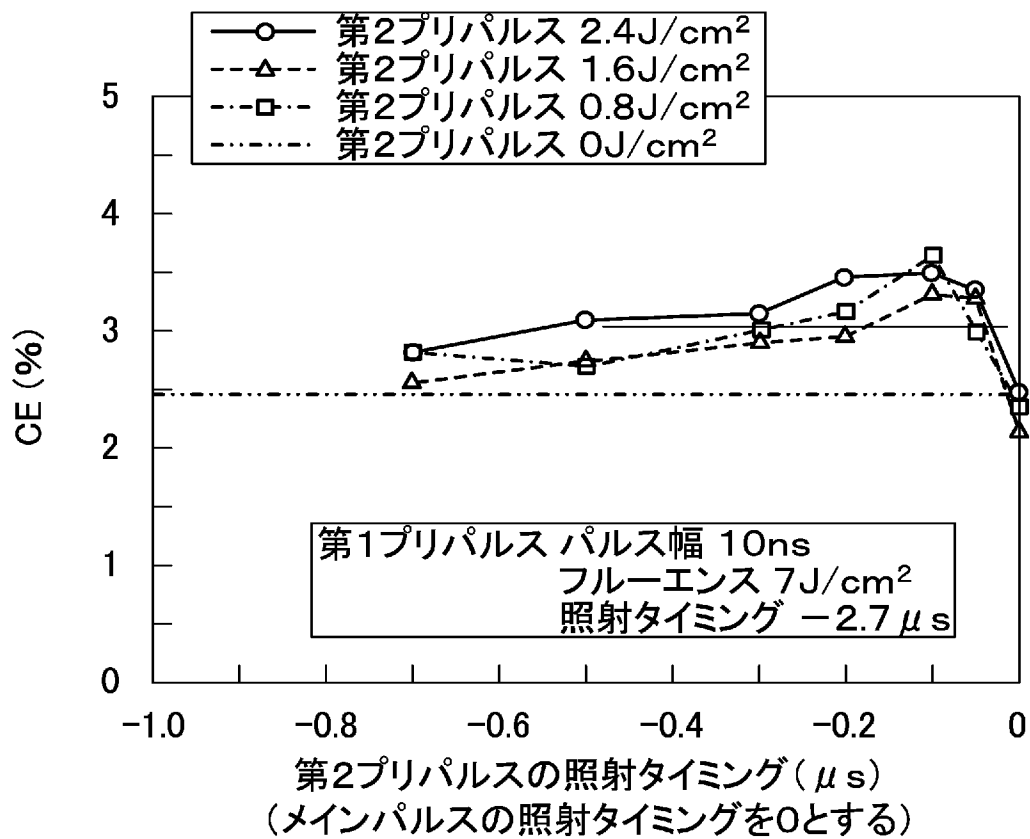
[図16]



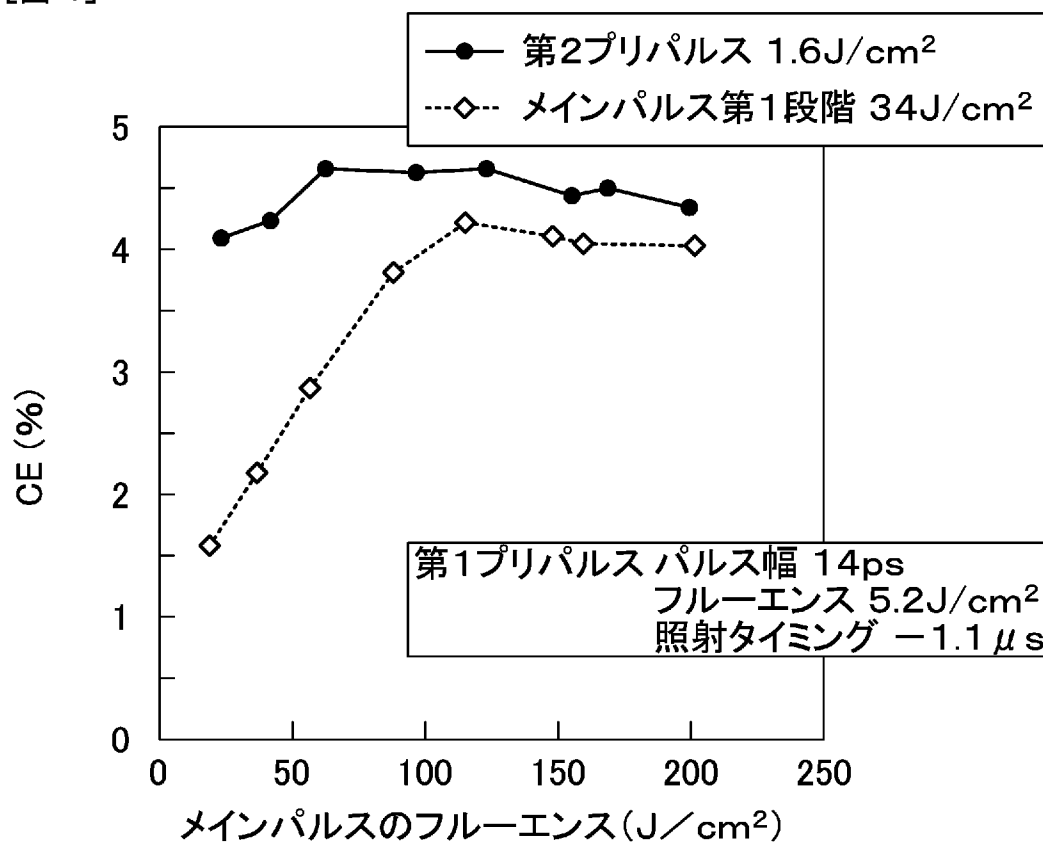
[図17]



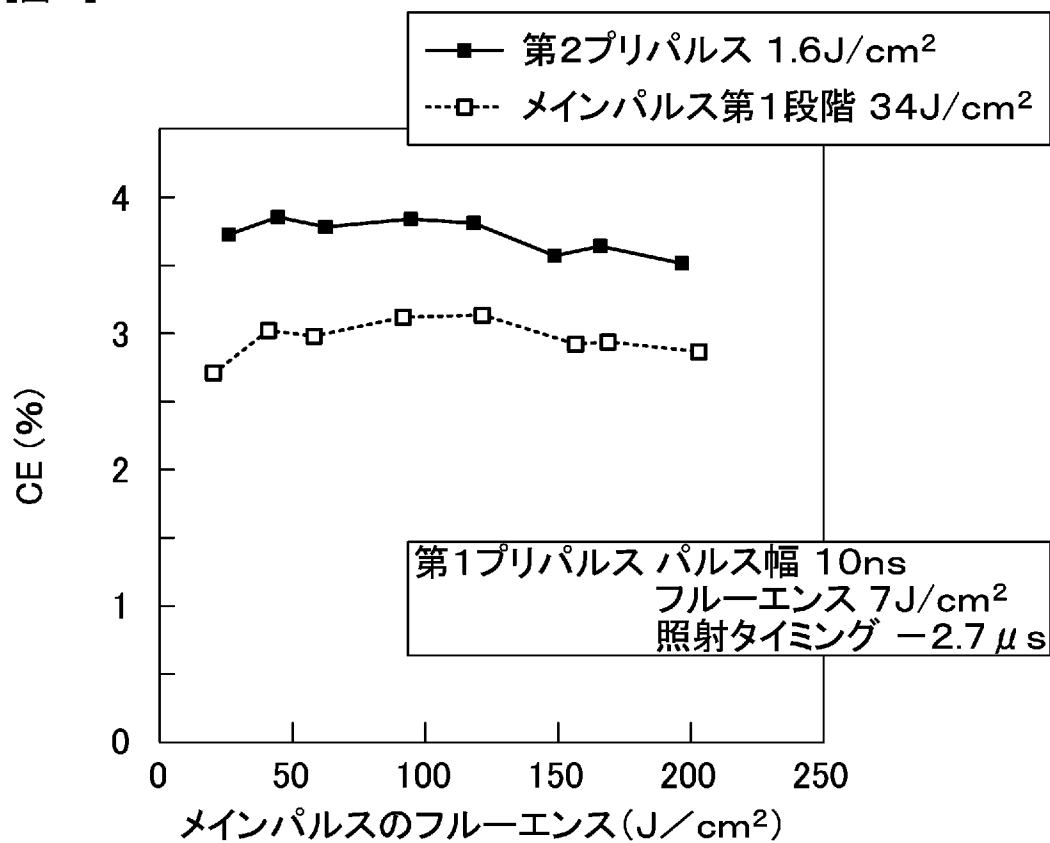
[図18]



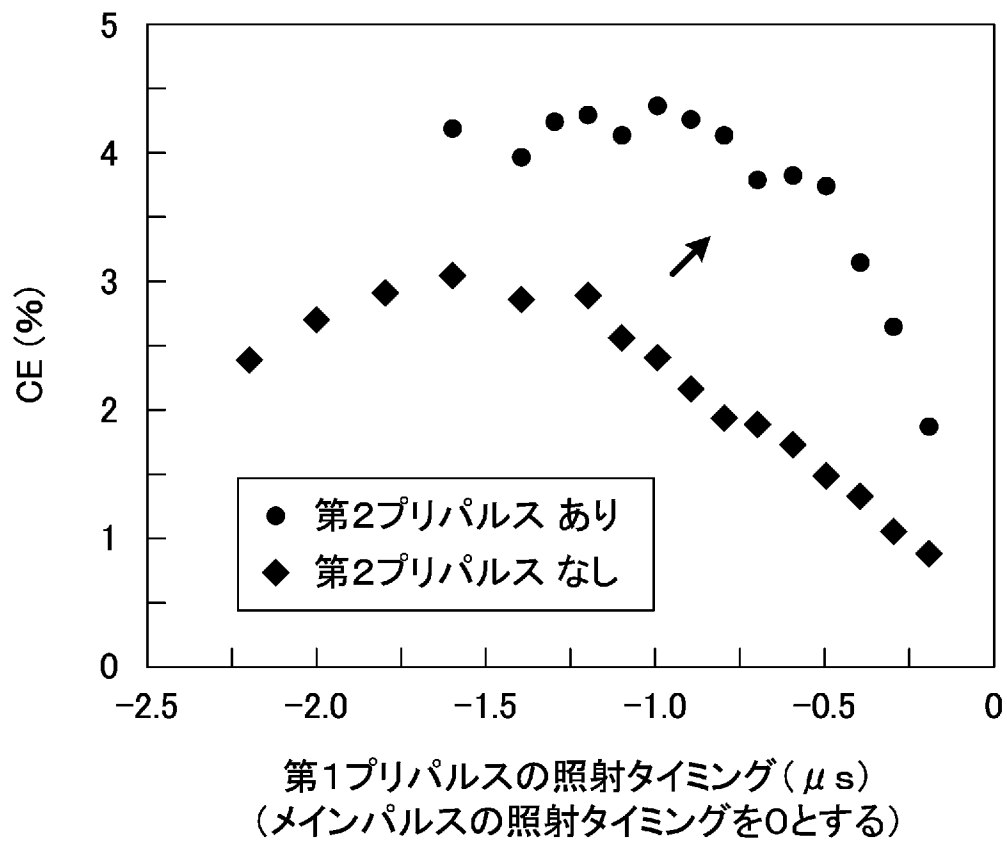
[図19]



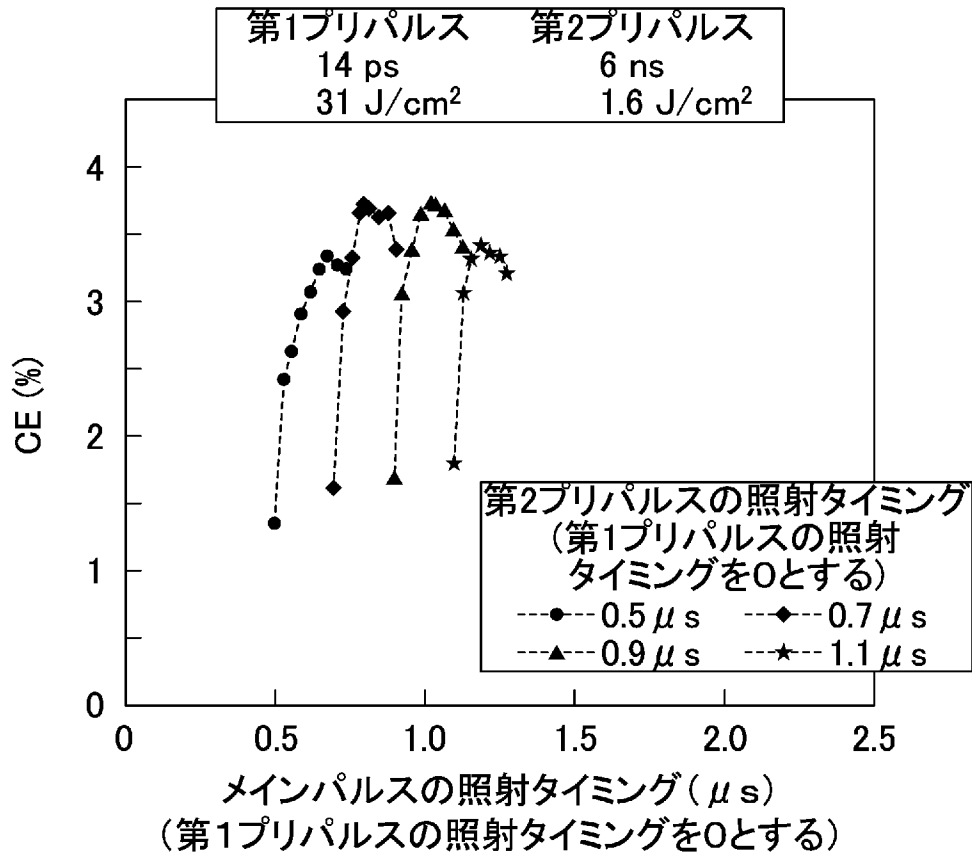
[図20]



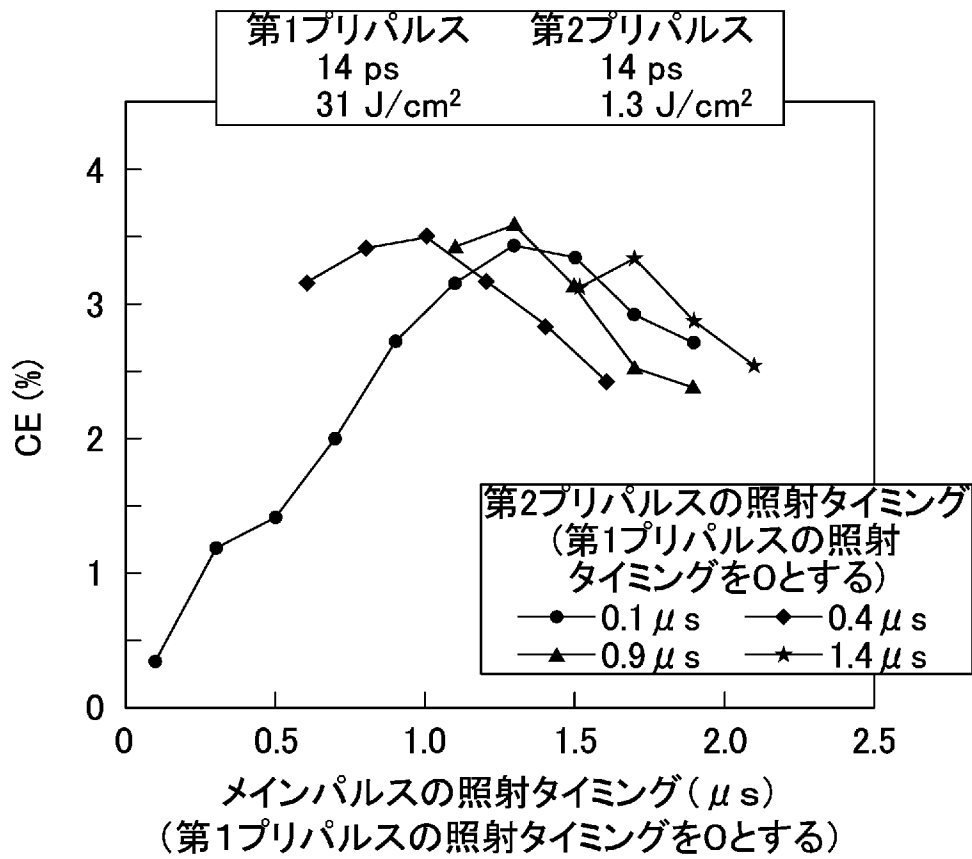
[図21]



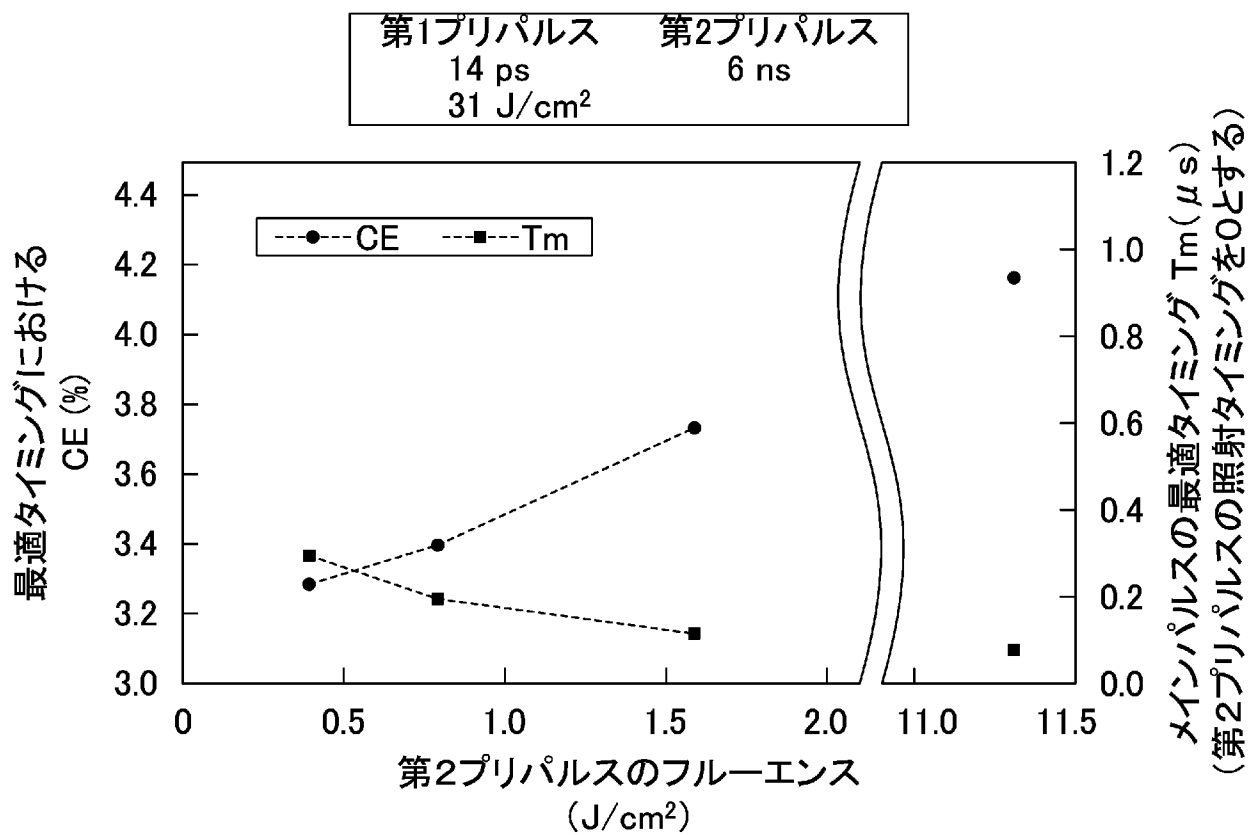
[図22]



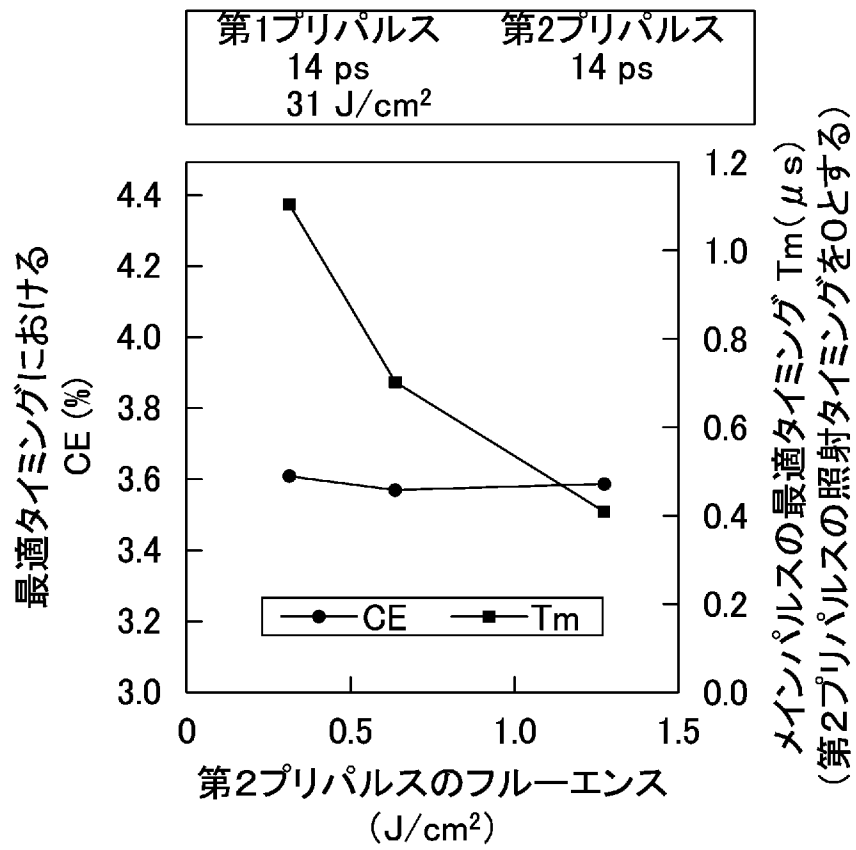
[図23]



[図24]



[図25]



[図26]

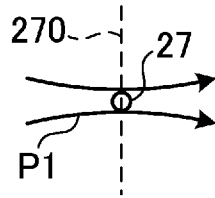


図26A

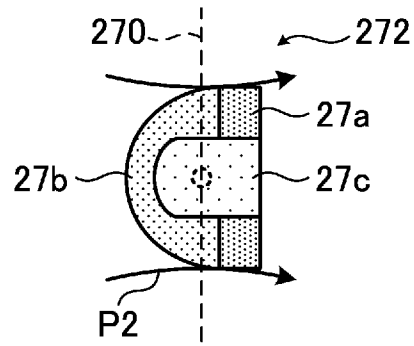


図26B

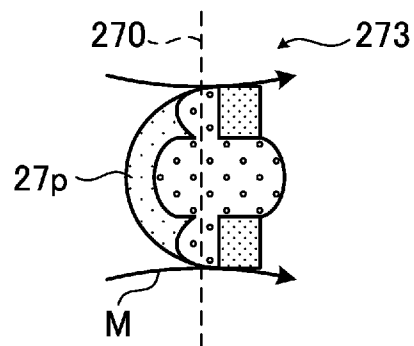


図26C

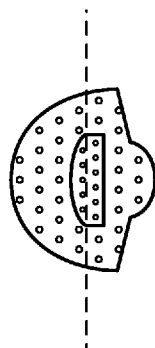


図26D

[図27]

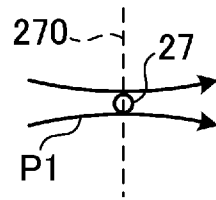


図27A

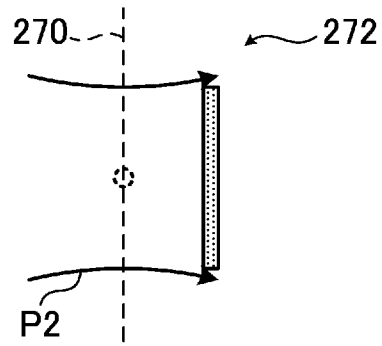


図27B

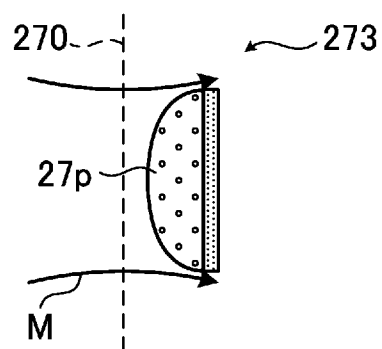


図27C

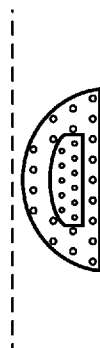
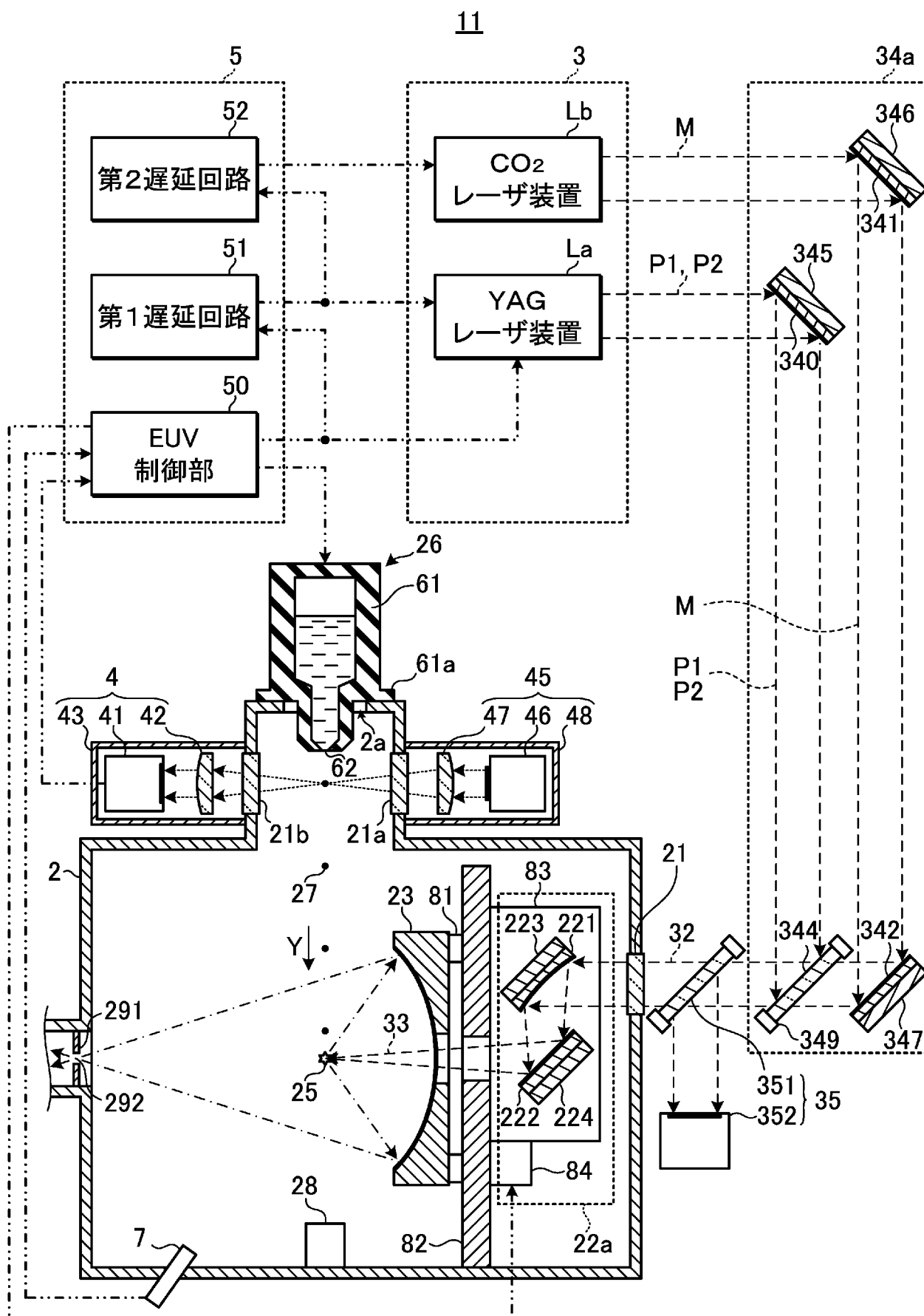
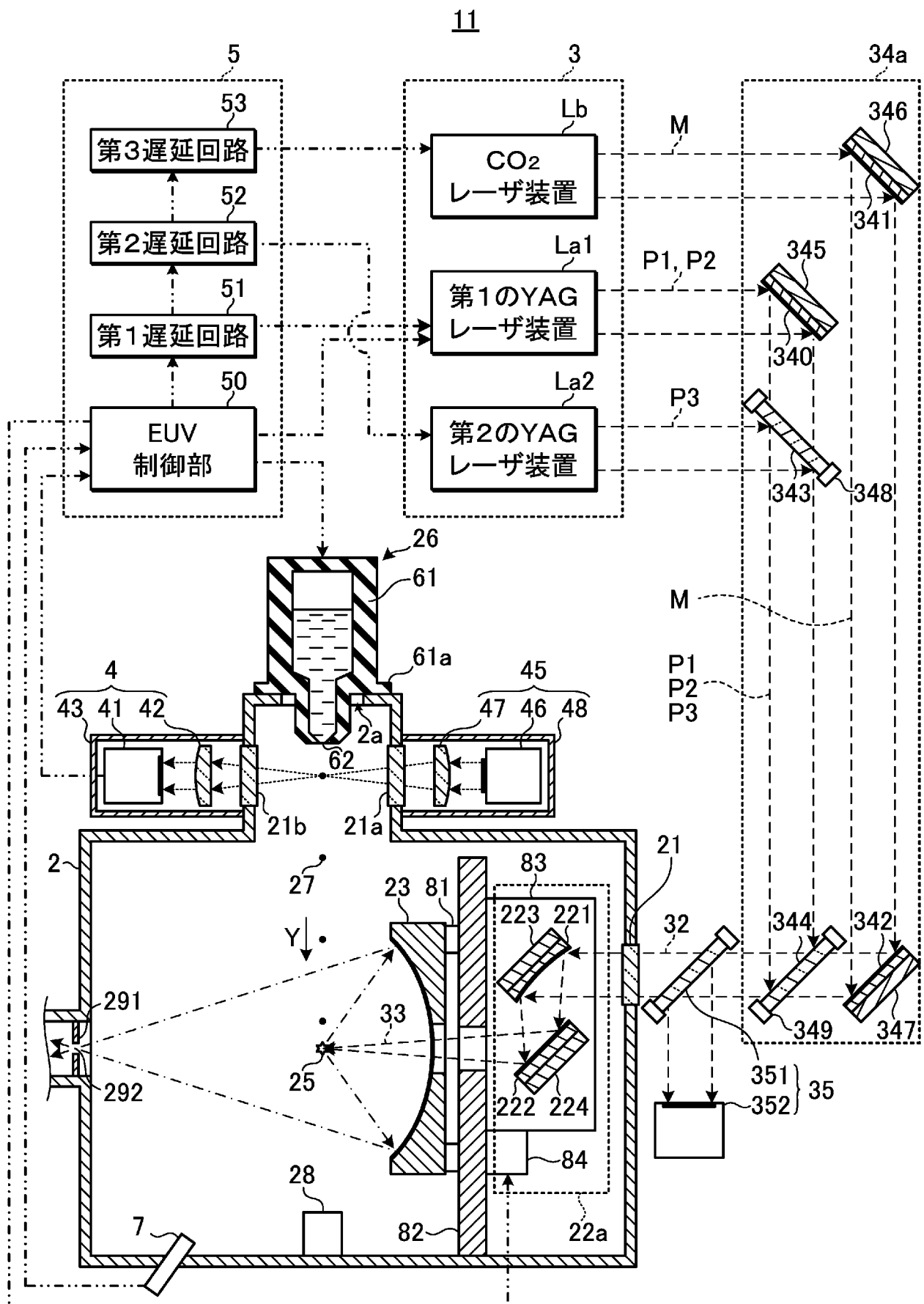


図27D

[図28]



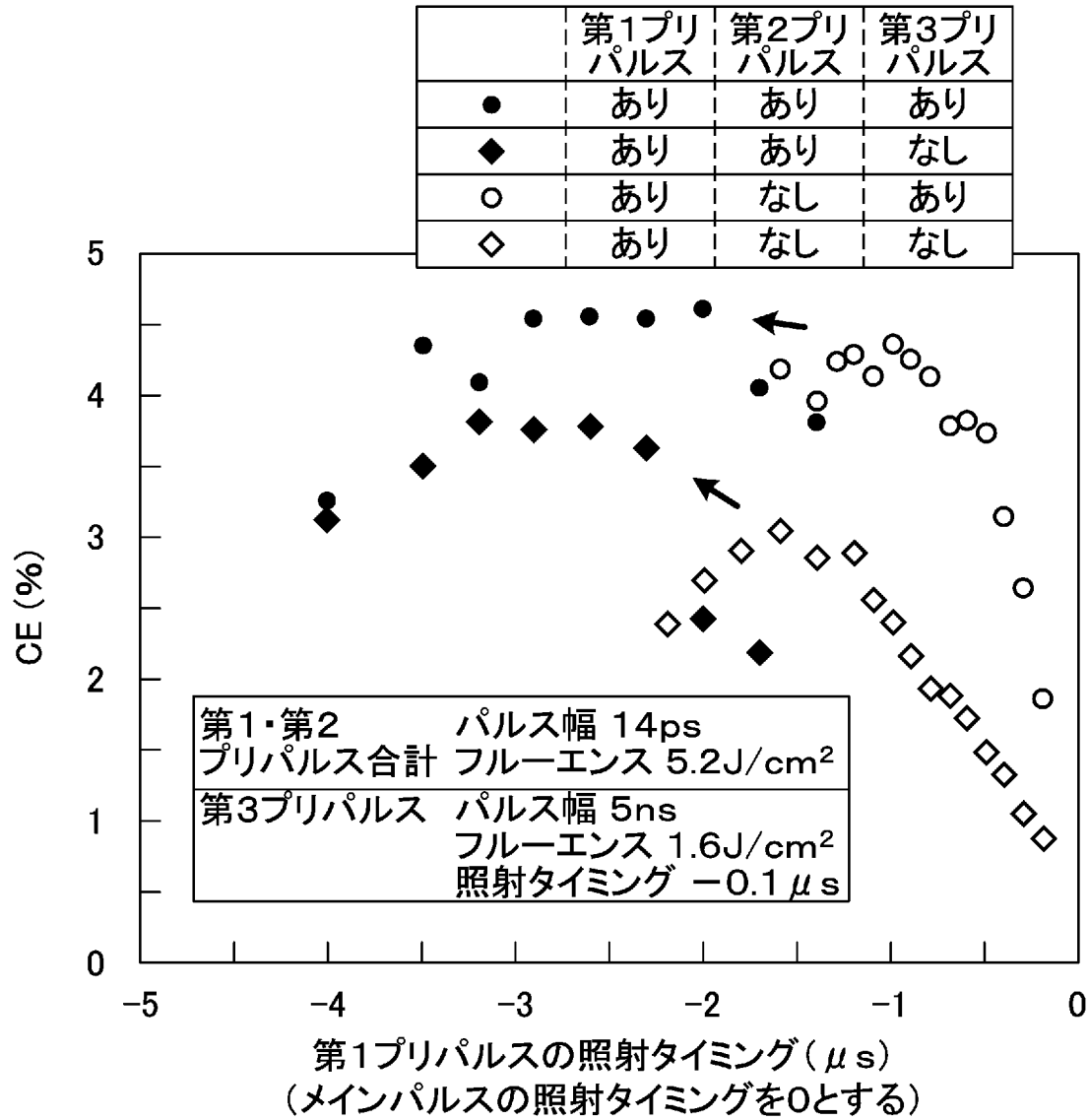
[図31]



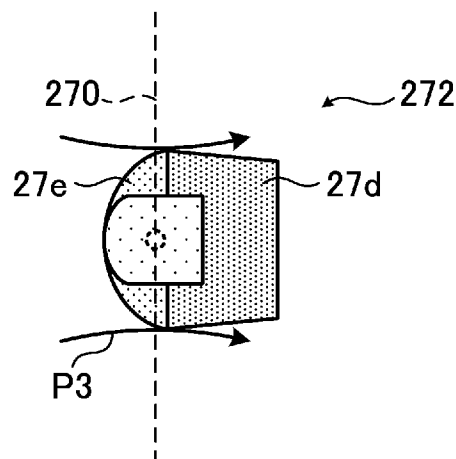
[図32]



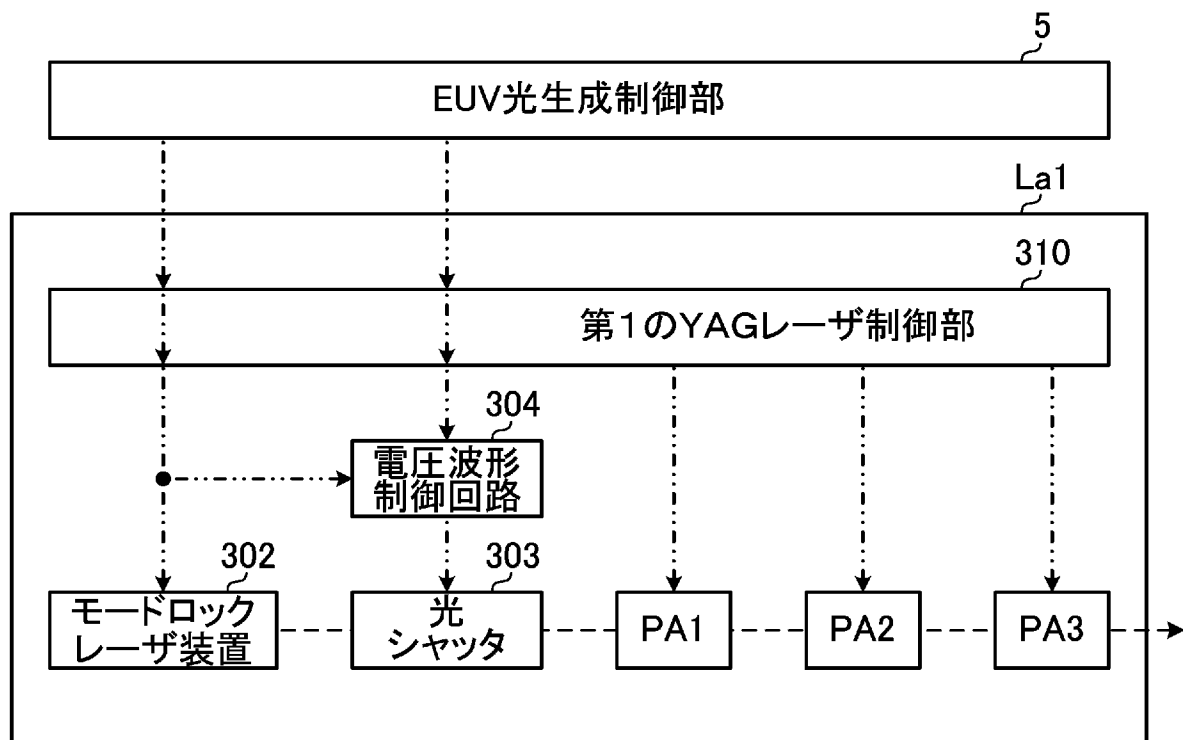
[図33]



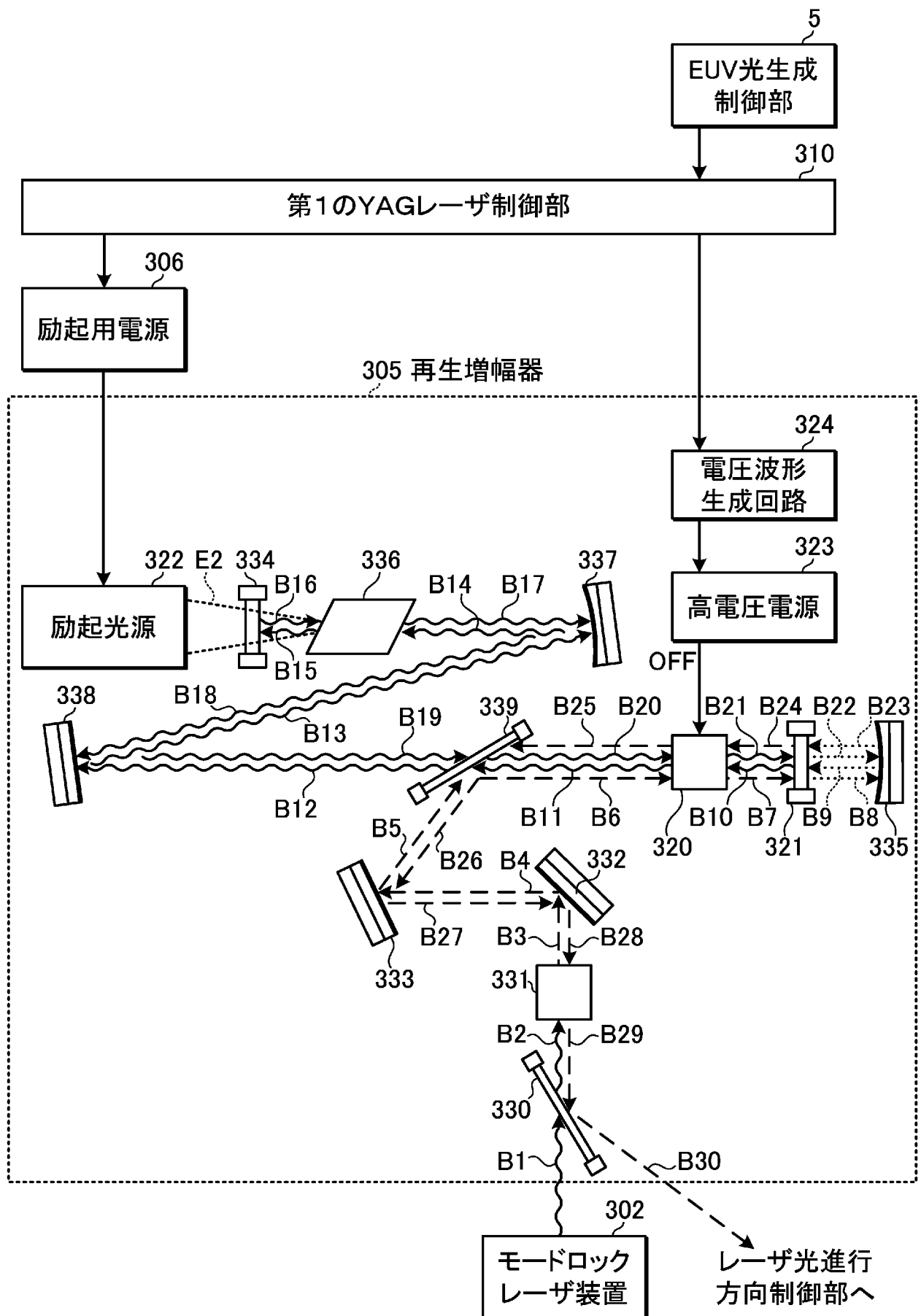
[図34]

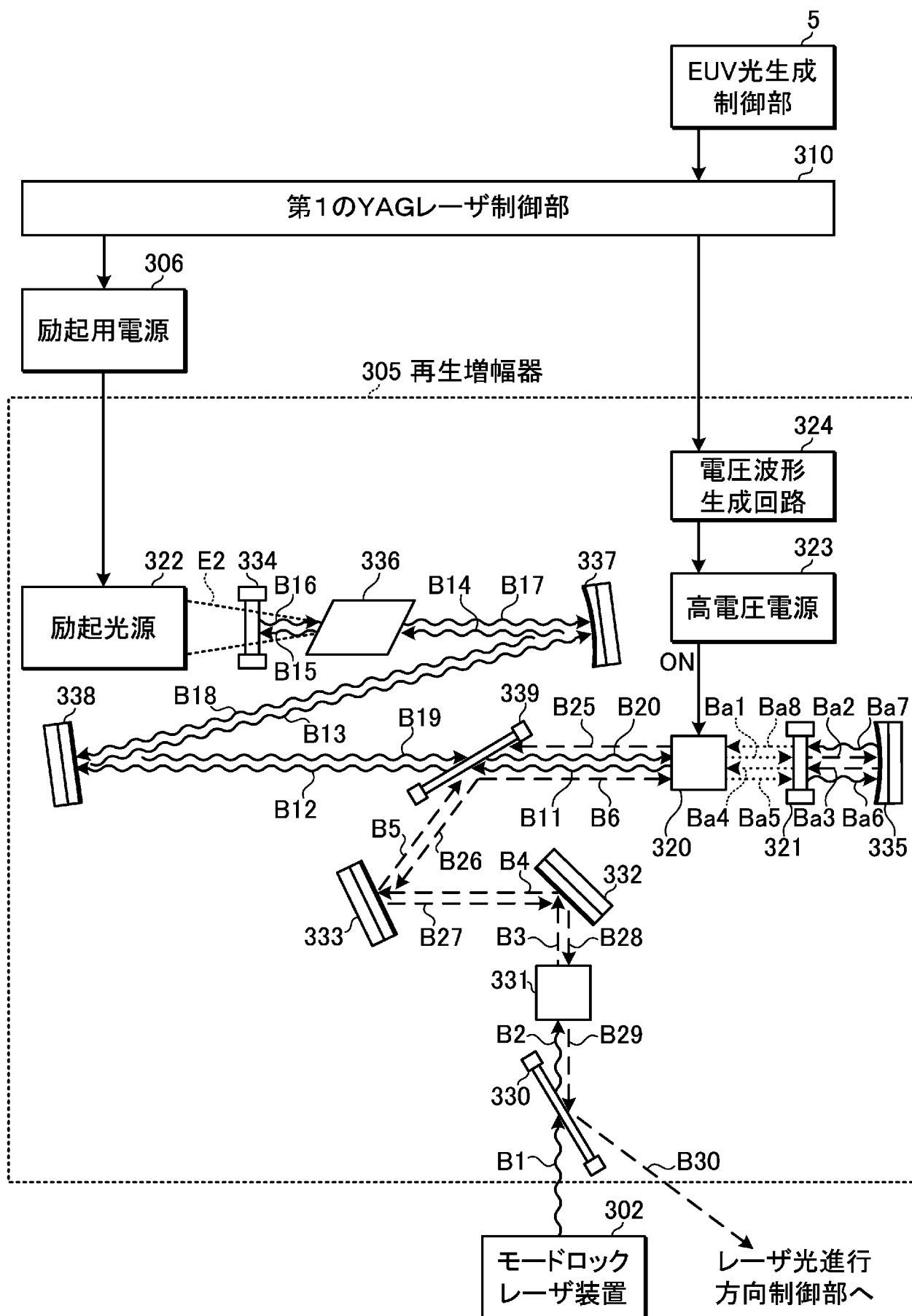


[図35]

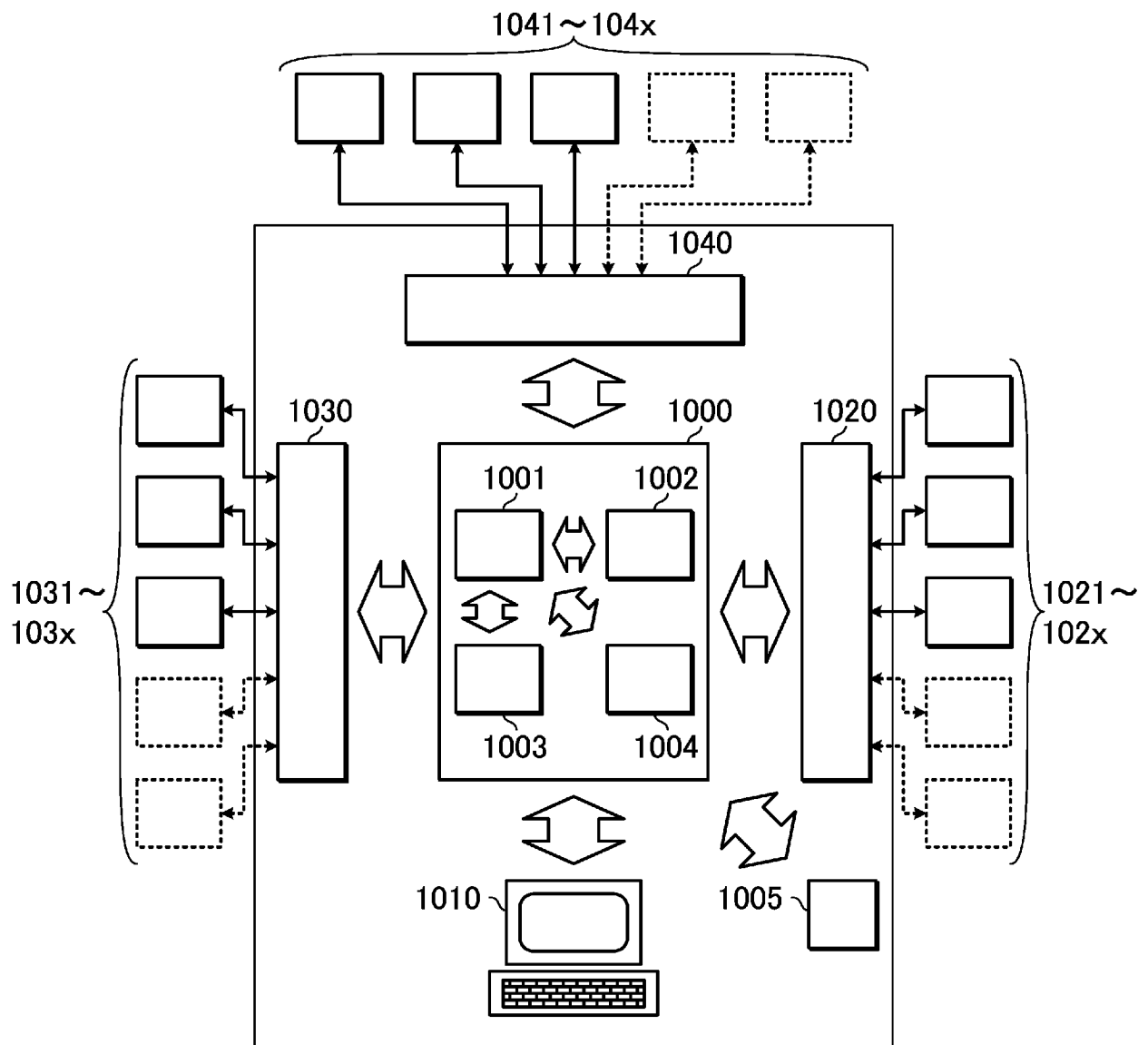


[図36]





[図38]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/064265

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

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2013-4258 A (Gigaphoton Inc.), 07 January 2013 (07.01.2013), claims 13, 23; paragraphs [0060], [0069], [0070], [0073], [0094], [0110], [0160] & US 2012/243566 A1 & EP 2721907 A1	1, 5-7 2, 4
Y	JP 2006-303461 A (XTREME Technologies GmbH), 02 November 2006 (02.11.2006), paragraphs [0016], [0053]; fig. 1 & US 2006/215712 A1	2
Y	JP 2010-3548 A (Komatsu Ltd.), 07 January 2010 (07.01.2010), claim 4; fig. 1 (Family: none)	4

☒ 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
25 August, 2014 (25.08.14)

Date of mailing of the international search report
02 September, 2014 (02.09.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/064265

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 2012-134433 A (Komatsu Ltd.), 12 July 2012 (12.07.2012), claim 23; paragraphs [0031], [0032], [0058], [0066], [0071], [0089], [0105] & US 2012/243566 A1 & EP 2538759 A1	1-7
A	JP 2010-226096 A (Komatsu Ltd.), 07 October 2010 (07.10.2010), paragraphs [0029], [0034] & US 2010/220756 A1	2
A	JP 2013-20926 A (Gigaphoton Inc.), 31 January 2013 (31.01.2013), claim 14; paragraph [0135] & US 2012/248344 A1 & EP 2721908 A1	1-7

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H05G2/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H05G2/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 4 年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y	JP 2013-4258 A（ギガフォトン株式会社） 2013.01.07, 【請求項13】、【請求項23】、段落【0060】、 【0069】、【0070】、【0073】、【0094】、【0110】、 【0160】 & US 2012/243566 A1 & EP 2721907 A1	1, 5 - 7 2, 4

☒ 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

2 5 . 0 8 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

0 2 . 0 9 . 2 0 1 4

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号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）

小田倉 直人

2 Q

9 1 6 3

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

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2006-303461 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) 2006.11.02, 段落【0016】、【0053】、【図1】 & US 2006/215712 A1	2
Y	JP 2010-3548 A (株式会社小松製作所) 2010.01.07, 【請求項4】、【図1】 (ファミリーなし)	4
A	JP 2012-134433 A (株式会社小松製作所) 2012.07.12, 【請求項23】、段落【0031】、【0032】、 【0058】、【0066】、【0071】、【0089】、【0105】 & US 2012/243566 A1 & EP 2538759 A1	1 - 7
A	JP 2010-226096 A (株式会社小松製作所) 2010.10.07, 段落【0029】、【0034】 & US 2010/220756 A1	2
A	JP 2013-20926 A (ギガフォトン株式会社) 2013.01.31, 【請求項14】、段落【0135】 & US 2012/248344 A1 & EP 2721908 A1	1 - 7