

(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 8 月 7 日(07.08.2014)



(10) 国際公開番号

WO 2014/119199 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 3/10 (2006.01) H01S 3/23 (2006.01)
H01S 3/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/084697
- (22) 国際出願日: 2013 年 12 月 25 日(25.12.2013)
- (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 2013-017272 2013 年 1 月 31 日(31.01.2013) JP
- (71) 出願人: ギガフォトン株式会社(GIGAPHOTON INC.) [JP/JP]; 〒3238558 栃木県小山市横倉新田 4 0 0 Tochigi (JP).
- (72) 発明者: 守屋 正人(MORIYA, Masato); 〒3238558 栃木県小山市横倉新田 4 0 0 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP). 菅沼 崇(SUGANUMA, Takashi); 〒3238558 栃木県小山市横倉新田 4 0 0 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP). 若林 理(WAKABAYASHI, Osamu); 〒3238558 栃木県小山市横倉新田 4 0 0 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP).
- (74) 代理人: 伊東 忠重, 外(ITO, Tadashige et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目 1 番 1 号

丸の内 M Y P L A Z A (明治安田生命ビル) 1 6 階 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, 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).

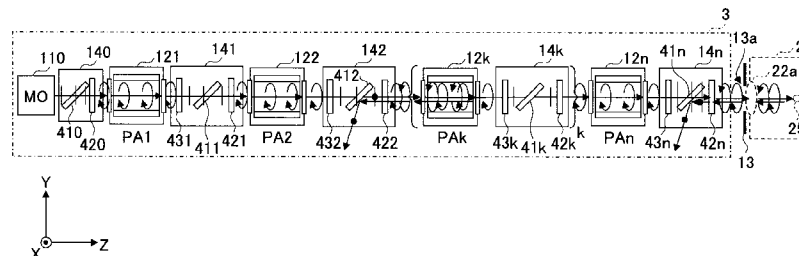
添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: LASER DEVICE AND EXTREME ULTRAVIOLET GENERATING DEVICE

(54) 発明の名称: レーザ装置及び極端紫外光生成装置

【図4】



(57) Abstract: It would be permissible for a laser device to comprise: a master oscillator which emits a pulsed laser beam; two or more amplifiers which are positioned upon the beam path of the pulsed laser beam and amplify the pulsed laser beam; and optical isolators which are positioned between adjacent amplifiers in the beam path of the pulsed laser beam, and suppress the transmission of light progressing from the amplifiers toward the side whereupon the master oscillator is disposed.

(57) 要約: パルスレーザ光を出射するマスターオシレータと、前記パルスレーザ光の光路上に配置された前記パルスレーザ光を増幅する2以上の増幅器と、前記パルスレーザ光の光路上における隣り合う前記増幅器の間に配置され、前記増幅器から前記マスターオシレータが設けられている側に進行する光の透過を抑制する光アイソレータと、を備えてもよい。

WO 2014/119199 A1

明 細 書

発明の名称： レーザ装置及び極端紫外光生成装置

技術分野

[0001] 本開示は、レーザ装置及び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、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程の極端紫外（EUV）光を生成するための装置と縮小投影反射光学系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、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。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2010-103104号公報

特許文献2：特許5086677号公報

特許文献3：特開2008-283107号公報

特許文献4：米国特許出願公開第2011/0058588号明細書

特許文献5：米国特許出願公開第2012/0193547号明細書

概要

[0005] レーザ装置は、パルスレーザ光を出射するマスターオシレータと、前記パルスレーザ光の光路上に配置された前記パルスレーザ光を増幅する2以上の増幅器と、前記パルスレーザ光の光路上における隣り合う前記増幅器の間に

配置され、前記増幅器から前記マスターオシレータが設けられている側に進行する光の透過を抑制する光アイソレータと、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]本開示の一態様における例示的なレーザ生成プラズマ（L P P）式極端紫外（E U V）光生成装置の概略構成図

[図2]L P P式E U V光生成装置に用いられるC O₂レーザ光を出射するレーザ装置の構成図

[図3]本開示の光アイソレータを含むレーザ装置の構造図

[図4]本開示の複数の光アイソレータを含むレーザ装置の構造図

[図5]A S E光が発生することの説明図

[図6]本開示の複数の光アイソレータを含むレーザ装置の構造図

[図7]C O₂レーザガスをゲイン媒質とする場合における増幅ラインとゲインとの関係図

[図8]本開示の波長フィルタを備えた光アイソレータを含むレーザ装置の構造図

[図9]本開示の波長フィルタを備えた光アイソレータを含むレーザ装置の説明図

[図10]本開示の空間フィルタと波長フィルタを備えた光アイソレータを含むレーザ装置の説明図

[図11]他の空間フィルタの構造図

[図12]本開示の可飽和吸収ガスセルと波長フィルタを備えた光アイソレータを含むレーザ装置の説明図

[図13]本開示のE Oポッケルスセルと波長フィルタを備えた光アイソレータを含むレーザ装置の説明図

[図14]E Oポッケルスセルと波長フィルタを備えた光アイソレータの説明図

[図15]本開示の光アイソレータを含むレーザ装置の制御回路の説明図

[図16]本開示の光アイソレータを含むレーザ装置の制御回路による制御の説明図

[図17]偏光子の説明図

[図18]多層膜が成膜された波長フィルタの構造図

[図19]多層膜が成膜された波長フィルタの反射率特性図

[図20]複数の偏光子を用いた波長フィルタの構造図

[図21]複数の偏光子を用いた波長フィルタの反射率特性図

[図22]エタロンを用いた波長フィルタの構造図

[図23]エタロンを用いた波長フィルタの反射率特性図

[図24]グレーティングとスリットを含む波長フィルタの構造図

[図25]グレーティングとスリットを含む波長フィルタの反射率特性図

[図26]反射型のリターダの説明図

実施形態

[0007] 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、本開示の一例を示し、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。尚、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。

[0008] 目次

1. 用語の説明
2. EUV光生成装置の全体説明
 2. 1 構成
 2. 2 動作
3. マスターオシレータと増幅器を含むレーザ装置
 3. 1 構成
 3. 2 動作
 3. 3 課題
4. 光アイソレータを含むレーザ装置

- 4. 1 構成
- 4. 2 動作
- 4. 3 作用
- 5. 複数の光アイソレータを含むレーザ装置
 - 5. 1 構成
 - 5. 2 動作
 - 5. 3 作用
 - 5. 4 応用例
- 6. 波長フィルタ等を備えた光アイソレータを含むレーザ装置
 - 6. 1 波長フィルタを備えた光アイソレータを含むレーザ装置
 - 6. 1. 1 構成
 - 6. 1. 2 動作
 - 6. 1. 3 作用
 - 6. 1. 4 その他
 - 6. 2 空間フィルタと波長フィルタを備えた光アイソレータを含むレーザ装置
 - 6. 2. 1 構成
 - 6. 2. 2 動作
 - 6. 2. 3 作用
 - 6. 2. 4 その他
 - 6. 3 可飽和吸収ガスセルと波長フィルタを備えた光アイソレータを含むレーザ装置
 - 6. 3. 1 構成
 - 6. 3. 2 動作
 - 6. 3. 3 作用
 - 6. 4 E O ポッケルスセルと波長フィルタを備えた光アイソレータを含むレーザ装置
 - 6. 4. 1 構成

6. 4. 2 動作

6. 4. 3 制御

6. 4. 3. 1 制御回路の構成

6. 4. 3. 2 制御回路の動作

6. 4. 4 作用

7. 偏光子

8. 波長フィルタ

8. 1 多層膜が成膜された波長フィルタ

8. 2 複数の偏光子を用いた波長フィルタ

8. 3 エタロンを用いた波長フィルタ

8. 4 グレーティングとスリットを含む波長フィルタ

9. リターダ

[0009] 1. 用語の説明

本開示において使用される用語を、以下のように定義する。「プラズマ生成領域」とは、ターゲット物質にパルスレーザ光が照射されることによってプラズマが生成される領域である。「ドロップレット」は、液滴であり球体である。「光路」とは、レーザ光が通過する経路である。「光路長」とは、実際に光が通過する距離と、光が通過した媒質の屈折率の積である。「増幅波長領域」とは、増幅領域をレーザ光が通過したときに増幅可能な波長帯域である。

[0010] 上流とは、レーザ光の光路に沿ってマスターオシレータに近い側をいう。また、下流とは、レーザ光の光路に沿ってプラズマ生成領域に近い側をいう。光路とは、レーザ光の進行方向に沿ってレーザ光のビーム断面の略中心を通る軸であってもよい。

[0011] 本開示では、レーザ光の進行方向がZ方向と定義される。また、このZ方向と垂直な一方向がX方向と定義され、X方向およびZ方向と垂直な方向がY方向と定義される。レーザ光の進行方向がZ方向であるが、説明において、X方向とY方向は言及するレーザ光の位置によって変化する場合がある。

例えば、レーザ光の進行方向（Z方向）がX-Z平面内で変化した場合、進行方向変化後のX方向は進行方向の変化に応じて向きを変えるが、Y方向は変化しない。一方、レーザ光の進行方向（Z方向）がY-Z平面内で変化した場合、進行方向変化後のY方向は進行方向の変化に応じて向きを変えるが、X方向は変化しない。

[0012] 反射型の光学素子に関し、光学素子に入射するレーザ光の光軸と該光学素子によって反射したレーザ光の光軸との双方を含む面を入射面とすると、「S偏光」とは、入射面に対して垂直な方向の偏光状態であるとする。一方、「P偏光」とは、光路に直交し、且つ入射面に対して平行な方向の偏光状態であるとする。

[0013] 2. EUV光生成装置の全体説明

2. 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つのレーザ装置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及びレーザ装置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から供給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。

[0014] 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をレーザ装置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。

[0015] 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。

[0016] 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293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293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。

[0017] 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。

[0018] 2. 2 動作

図1を参照に、レーザ装置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内に進み、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。

[0019] 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。放射光 251 に含まれる E U V 光 252 は、E U V 集光ミラー 23 によって選択的に反射されてもよい。E U V 集光ミラー 23 によって反射された E U V 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。

[0020] E U V 光生成制御部 5 は、E U V 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。E U V 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構成されてもよい。また、E U V 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、E U V 光生成制御部 5 は、例えば、レーザ装置 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。

[0021] 3. マスターオシレータと増幅器を含むレーザ装置

ところで、L P P 式の E U V 光生成装置においては、レーザ装置 3 としては、C O₂ レーザ装置を含むものが用いられてもよい。レーザ装置 3 として用いられる C O₂ レーザ装置は、高いパルスエネルギーのパルスレーザ光を高い繰り返し周波数で出力することが求められている。このため、レーザ装置 3 は、高繰り返し周波数でパルスレーザ光を出力するマスターオシレータ (M O : master oscillator) と、パルスレーザ光を増幅する複数の増幅器 (P A : Power amplifier) を備えてもよい。

[0022] このような、M O と P A を備えた M O P A 方式のレーザ装置では、ターゲットからの反射光や自励発振により、M O から出射されたパルスレーザ光のみを増幅することができない場合があった。

[0023] 3. 1 構成

図2に基づき、LPP式のEUV光生成装置に用いられるレーザ装置について説明する。図2に示されるレーザ装置は、MO110と、少なくとも1つ以上の増幅器、例えば、増幅器121、122、・・・、12k、・・・、12nと、を含んでもよい。尚、増幅器121、122、・・・、12k、・・・、12nについては、図面等において、PA1、PA2、・・・、PAk、・・・、PAnと記載する場合がある。

[0024] MO110は、QスイッチとCO₂レーザガスの媒質と光共振器を含むレーザ発振器であってもよい。1つ以上の増幅器、例えば、増幅器121、122、・・・、12k、・・・、12nは、MO110から出力されるパルスレーザ光の光路上に配置してもよい。1つ以上の増幅器、例えば、増幅器121、122、・・・、12k、・・・、12nは、CO₂レーザガスを含むチャンバ内に1対の電極を配置した増幅器であってもよい。増幅器にはパルスレーザ光が透過するための入射ウィンドウと出射ウィンドウが配置されていてもよい。尚、本願においては、MO110から出力されるパルスレーザ光及びこのパルスレーザ光を増幅器により増幅されたパルスレーザ光をシード光と記載する場合がある。

[0025] また、MO110は、CO₂レーザ光の波長域で発振する量子カスケードレーザ（QCL）であってもよい。MO110となる量子カスケードレーザに流れるパルス電流を制御することによって、パルスレーザ光を出力してもよい。

[0026] 3. 2 動作

増幅器121、122、・・・、12k、・・・、12nは、図示しない各々の電源によって1対の電極間に電位を印加し、放電させてもよい。MO110のQスイッチを所定の繰り返し周波数で動作させることで、レーザ発振させ得る。その結果、MO110から所定の繰り返し周波数で、パルスレーザ光を出力し得る。

[0027] 増幅器121、122、・・・、12k、・・・、12nでは、MO110から出射されたパルスレーザ光が入射していない場合においても、図示し

ない電源によって、放電させて、CO₂レーザガスを励起し得る。MO110から出力されたパルスレーザ光は、増幅器121に入射し、増幅器121内を通過することによって、増幅され出射し得る。増幅器121から出射された増幅されたパルスレーザ光は、増幅器122に入射し、増幅器122内を通過することによって、さらに増幅され出射し得る。同様に、増幅器12kの上流側において隣り合う不図示の増幅器から出射されたパルスレーザ光は、増幅器12kに入射し、増幅器12k内を通過することによって、さらに増幅され出射し得る。そして、増幅器12nの上流側において隣り合う不図示の増幅器から出射されたパルスレーザ光は、増幅器12nに入射し、増幅器12n内を通過することによって、さらに増幅され出射し得る。増幅器12nより出射されたパルスレーザ光は、チャンバ2に入射し、レーザ光集光光学系22aによりプラズマ生成領域25に集光され、ターゲットに照射し得る。尚、レーザ光集光光学系22aは、図1に示されるレーザ光集光ミラー22に対応する反射型の光学素子や複数の反射型の光学素子で構成してもよいし、レンズを含む屈折系の光学系であってもよい。本願においては、レーザ光集光光学素子には、レーザ光集光光学系22a及びレーザ光集光ミラー22が含まんでもよい。

[0028] 3. 3 課題

ここで、ターゲットに照射されたパルスレーザ光の反射光が、レーザ光集光光学系22aを介して、増幅器12n、・・・、12k、・・・、122、121に入射し、入射した反射光を増幅し得る。さらに、MO110から出射されたパルスレーザ光の路上に設置された増幅器121、122、・・・、12k、・・・、12nにおける入射ウィンドウ及び出射ウィンドウ等におけるパルスレーザ光の反射光も増幅し得る。このように、増幅された反射光は、MO110に到達し得る。

[0029] また、増幅器12nにおいて発生したASE光が、MO110の設置されている方向に進行し、複数の増幅器12k、・・・、122、121等によって増幅されて自励発振し得る。さらに、増幅器121で発生したASE光

がターゲット方向に進行し、複数の増幅器 1 2 2、 $\dots$ 、1 2 k、 $\dots$ 、1 2 n によって、増幅され自励発振し得る。

[0030] このような自励発振が生じると、レーザ装置より出射されるパルスレーザ光の出力を低下やパルス波形に悪影響を及ぼし得る。その結果、EUV光の出力が低下し得る。

[0031] 4. 光アイソレータを含むレーザ装置

4. 1 構成

次に、図3に基づき本開示のレーザ装置について説明する。本開示のレーザ装置は、MO110と、複数の増幅器 1 2 1、1 2 2、 $\dots$ 、1 2 k、 $\dots$ 、1 2 n と、光アイソレータ 1 4 0 と含んでもよい。また、レーザ装置 3 とチャンバ 2 におけるレーザ光集光光学系 2 2 a との間には、開口部 1 3 a を有するアパーチャ板 1 3 が設けられており、パルスレーザ光は、開口部 1 3 a を通過するように配置してもよい。

[0032] MO110は、Qスイッチを含むCO₂レーザ発振器であってもよく、また、量子カスケードレーザであってもよい。MO110は、CO₂レーザガスの増幅ラインの波長のパルスレーザ光であって、所定の直線偏光のパルスレーザ光を出射してもよい。

[0033] 少なくとも1の増幅器 1 2 1、1 2 2、 $\dots$ 、1 2 k、 $\dots$ 、1 2 n は、MO110から出射されたパルスレーザ光の光路上に、配置してもよい。

[0034] 増幅器 1 2 1、1 2 2、 $\dots$ 、1 2 k、 $\dots$ 、1 2 n は、1対の電極と、入射ウインドウと出射ウインドウを備え、CO₂レーザガスを含むチャンバと、1対の電極に電位を印加する図示しない電源を備えてもよい。

[0035] 増幅器 1 2 n と増幅器 1 2 n の隣の増幅器（例えば、増幅器 1 2 k）との間におけるパルスレーザ光の光路上には、光アイソレータ 1 4 0 を配置してもよい。この光アイソレータ 1 4 0 は、パルスレーザ光の光路上における隣り合う増幅器 1 2 1、1 2 2、 $\dots$ 、1 2 k、 $\dots$ 、1 2 n の間であれば、あればどこに配置してもよい。また、光アイソレータ 1 4 0 は、MO1

10と増幅器121との間におけるパルスレーザ光の光路上に配置してもよい。

[0036] 光アイソレータ140は、偏光子410とリターダ420を含んでもよい。偏光子410は、MO110から出射されたパルスレーザ光の直線偏光成分を通過するように配置してもよい。リターダ420は、偏光子410を通過した直線偏光を円偏光に変換するように配置してもよい。リターダ420を形成している結晶材料は、CdS結晶であってもよい。

[0037] 偏光子410は、MO110から出射されたY方向の直線偏光の偏光成分を高透過し、X方向の直線偏光の偏光成分を高反射する偏光子であってもよい。例えば、偏光子410は、CO₂レーザ光が透過するダイヤモンド、ZnSe、GaAs基板等の表面に、P偏光を高透過し、S偏光を高反射する多層膜がコートされた偏光子であってもよい。この多層膜は、高屈折率材料としてZnSe、ZnS等を用い、低屈折率材料としてThF₄、PbF₂等を用いてもよい。

[0038] リターダ420は、直線偏光を円偏光に変換する光学素子であってもよい。例えば、リターダ420は入射した光の位相差が90°、即ち、位相差が1/4波長となるλ/4板であってもよい。リターダ420は、直線偏光を入射させる際には、直線偏光に対し遅相軸が45°となるように設置されていてもよい。

[0039] 4.2 動作

MO110から出射されたY方向の直線偏光のパルスレーザ光は、複数の増幅器121、122、・・・、12k、・・・、12nを通過することによって増幅し得る。増幅器12nの隣の増幅器（例えば、増幅器12k）から出射された増幅されたパルスレーザ光は、光アイソレータ140に入射し得る。光アイソレータ140に入射したパルスレーザ光は、Y方向の直線偏光であるので、偏光子410を高透過し得る。

[0040] 偏光子410を透過したY方向の直線偏光のパルスレーザ光は、リターダ420を透過することによって、位相差が90°となり、円偏光に変換し得

る。この円偏光のパルスレーザ光は、増幅器 1 2 n を通過して、円偏光の状態で、増幅し得る。増幅器 1 2 n において増幅された円偏光のパルスレーザ光は、レーザ光集光光学系 2 2 a によって、チャンバ 2 内のプラズマ生成領域 2 5 におけるターゲットに照射し得る。チャンバ 2 内のプラズマ生成領域 2 5 におけるターゲットに円偏光のパルスレーザ光が照射されると、ターゲットにおいて照射されたパルスレーザ光の一部は、反射され、照射したレーザ光の円偏光に対して逆回りの円偏光となり得る。

[0041] ターゲットからの反射光は、レーザ光集光光学系 2 2 a によってコリメートされ、チャンバ 2 内に入射したパルスレーザ光の光路と同一光路上を逆方向に戻り得る。この反射光は、増幅器 1 2 n を通過し、増幅され得る。

[0042] 増幅された逆回りの円偏光の反射光は、リターダ 4 2 0 を通過することによって、X 方向の直線偏光に変換し得る。この X 方向の直線偏光は、偏光子 4 1 0 に S 偏光として入射し、高反射し得る。また、増幅器 1 2 n の入射ウィンドウ及び出射ウィンドウや、パルスレーザ光の光路上に配置されたアパーチャ板 1 3 からの反射光も同様に、光アイソレータ 1 4 0 によって、パルスレーザ光の光路から分離され得る。

[0043] 4. 3 作用

隣り合う増幅器 1 2 1、1 2 2、・・・、1 2 k、・・・、1 2 n の間に、光アイソレータ 1 4 0 を配置することにより、光アイソレータ 1 4 0 の設置位置よりも上流側のパルスレーザ光の光路に、ターゲットや光学素子等からの反射光が進行することを抑制し得る。

[0044] また、増幅器 1 2 1、1 2 2、・・・、1 2 k、・・・、1 2 n において発生した ASE 光を偏光子 4 1 0 によって、パワーを半分に減衰し得る。

[0045] 尚、図 3 においては、偏光子 4 1 0 が透過型の偏光子である場合について説明したが、この例に限定されることなく、選択する一方の方向の偏光成分を高反射し、抑制する一方の方向と直交する他方の方向の偏光成分を吸収する反射型の偏光子を用いてもよい。また、図 3 においては、リターダ 4 2 0 が透過型の $\lambda/4$ 波長板である場合について説明したが、この例に限定され

ることなく、直線偏光を円偏光に変換して高反射する多層膜をコートした反射型のリターダであってもよい。また、増幅器 1 2 1、1 2 2、・・・、1 2 k、・・・、1 2 n は、3 軸直交型の増幅器または高速軸流型の増幅器であってもよい。

[0046] 5. 複数の光アイソレータを含むレーザ装置

5. 1 構成

開示のレーザ装置は、図 4 に示されるように、MO 1 1 0 から出射されたパルスレーザ光の光路上において、隣り合う増幅器 1 2 1、1 2 2、・・・、1 2 k、・・・、1 2 n の間に、各々複数の光アイソレータ 1 4 1、1 4 2、・・・、1 4 k が設置されていてもよい。例えば、図 4 に示されるように、パルスレーザ光の光路上において、隣り合う増幅器 1 2 1、1 2 2、・・・、1 2 k、・・・、1 2 n の間のすべてに、各々光アイソレータ 1 4 1、1 4 2、・・・、1 4 k、・・・が設置されていてもよい。

[0047] また、MO 1 1 0 から出射されたパルスレーザ光の光路上において、MO 1 1 0 と増幅器 1 2 1 との間に光アイソレータ 1 4 0 が設置されていてもよい。パルスレーザ光の光路上において、増幅器 1 2 n とチャンバ 2 におけるレーザ光集光光学系 2 2 a との間には、光アイソレータ 1 4 n が設置されていてもよい。

[0048] 光アイソレータ 1 4 0 は、MO 1 1 0 から出射されたパルスレーザ光の光路上に、配置された偏光子 4 1 0 とリターダ 4 2 0 を含んでもよい。

[0049] 光アイソレータ 1 4 1、1 4 2、・・・、1 4 k、・・・、1 4 n は、パルスレーザ光の光路上に配置された偏光子、第 1 のリターダ、第 2 のリターダを含んでもよい。また、光アイソレータ 1 4 1、1 4 2、・・・、1 4 k、・・・、1 4 n は、上側から下流側に向かって、第 1 のリターダ、偏光子、第 2 のリターダの順に、パルスレーザ光の光路上に配置されてもよい。

[0050] 具体的には、光アイソレータ 1 4 1 は、第 1 のリターダ 4 3 1、偏光子 4 1 1、第 2 のリターダ 4 2 1 を含み、パルスレーザ光の光路上において上流から下流に向かって、これらの光学素子がこの順で配置された光アイソレー

タであってもよい。

[0051] また、光アイソレータ 1 4 2 は、第 1 のリターダ 4 3 2、偏光子 4 1 2、第 2 のリターダ 4 2 2 を含み、パルスレーザ光の光路上において上流から下流に向かって、これらの光学素子がこの順で配置された光アイソレータであってもよい。

[0052] また、光アイソレータ 1 4 k は、第 1 のリターダ 4 3 k、偏光子 4 1 k、第 2 のリターダ 4 2 k を含み、パルスレーザ光の光路上において上流から下流に向かって、これらの光学素子がこの順で配置された光アイソレータであってもよい。

[0053] また、光アイソレータ 1 4 n は、第 1 のリターダ 4 3 n、偏光子 4 1 n、第 2 のリターダ 4 2 n を含み、パルスレーザ光の光路上において上流から下流に向かって、これらの光学素子がこの順で配置された光アイソレータであってもよい。

[0054] 第 1 のリターダ 4 3 1、4 3 2、 $\dots$ 、4 3 k、 $\dots$ 、4 3 n 及び第 2 のリターダ 4 2 1、4 2 2、 $\dots$ 、4 2 k、 $\dots$ 、4 2 n は、位相差が 90° 、即ち、位相差が $1/4$ 波長となる $\lambda/4$ 板であってもよい。第 1 のリターダ 4 3 1、4 3 2、 $\dots$ 、4 3 k、 $\dots$ 、4 3 n 及び第 2 のリターダ 4 2 1、4 2 2、 $\dots$ 、4 2 k、 $\dots$ 、4 2 n は、直線偏光を入射させる際には、直線偏光に対し遅相軸が 45° となるように設置されていてもよい。

[0055] 5. 2 動作

MO 1 1 0 から出射された直線偏光のパルスレーザ光は、光アイソレータ 1 4 0 に入射し得る。光アイソレータ 1 4 0 に入射したパルスレーザ光は、光アイソレータ 1 4 0 における偏光子 4 1 0 に、偏光子 4 1 0 の入射面に対して P 偏光で偏光子に入射し、高透過し得る。偏光子 4 1 0 を透過したパルスレーザ光は、この後、リターダ 4 2 0 に入射し、リターダ 4 2 0 において、円偏光に変換し得る。リターダ 4 2 0 により円偏光となったパルスレーザ光は、増幅器 1 2 1 を通過し、増幅し得る。

[0056] 増幅器 1 2 1 より出射された増幅された円偏光のパルスレーザ光は、光アイソレータ 1 4 1 に入射し、光アイソレータ 1 4 1 における第 1 のリターダ 4 3 1 に入射し得る。第 1 のリターダ 4 3 1 では、第 1 のリターダ 4 3 1 を透過することによって、Y 方向の直線偏光に変換し得る。第 1 のリターダ 4 3 1 において Y 方向の直線偏光となったパルスレーザ光は、光アイソレータ 1 4 1 における偏光子 4 1 1 に、偏光子 4 1 1 の入射面に対して P 偏光で偏光子に入射し、高透過し得る。偏光子 4 1 1 を高透過したパルスレーザ光は、この後、第 2 のリターダ 4 2 1 に入射し、第 2 のリターダ 4 2 1 において、再び円偏光に変換し得る。リターダ 4 2 1 により円偏光となったパルスレーザ光は、増幅器 1 2 2 を通過し、増幅し得る。

[0057] 増幅器 1 2 2 より出射された増幅された円偏光のパルスレーザ光は、光アイソレータ 1 4 2 に入射し、光アイソレータ 1 4 2 における第 1 のリターダ 4 3 2 に入射し得る。第 1 のリターダ 4 3 2 では、第 1 のリターダ 4 3 2 を透過することによって、Y 方向の直線偏光に変換し得る。第 1 のリターダ 4 3 2 において Y 方向の直線偏光となったパルスレーザ光は、光アイソレータ 1 4 2 における偏光子 4 1 2 に、偏光子 4 1 2 の入射面に対して P 偏光で偏光子に入射し、高透過し得る。偏光子 4 1 2 を高透過したパルスレーザ光は、この後、第 2 のリターダ 4 2 2 に入射し、第 2 のリターダ 4 2 2 において、再び円偏光に変換し得る。リターダ 4 2 2 により円偏光となったパルスレーザ光は、増幅器 1 2 2 の下流側で隣り合う不図示の増幅器を通過し、増幅し得る。

[0058] 同様に、増幅器 1 2 k より出射された増幅された円偏光のパルスレーザ光は、光アイソレータ 1 4 k に入射し、光アイソレータ 1 4 k における第 1 のリターダ 4 3 k に入射し得る。第 1 のリターダ 4 3 k では、第 1 のリターダ 4 3 k を透過することによって、Y 方向の直線偏光に変換し得る。第 1 のリターダ 4 3 k において Y 方向の直線偏光となったパルスレーザ光は、光アイソレータ 1 4 k における偏光子 4 1 k に、偏光子 4 1 k の入射面に対して P 偏光で偏光子に入射し、高透過し得る。偏光子 4 1 k を透過したパルスレー

ザ光は、この後、第2のリターダ42kに入射し、第2のリターダ42kにおいて、再び円偏光に変換し得る。リターダ42kにより円偏光となったパルスレーザ光は、増幅器12kの下流側で隣り合う不図示の増幅器12k+1を通過し、増幅し得る。

[0059] 更に、増幅器12nより出射された増幅された円偏光のパルスレーザ光は、光アイソレータ14nに入射し、光アイソレータ14nにおける第1のリターダ43nに入射し得る。第1のリターダ43nでは、第1のリターダ43nを透過することによって、Y方向の直線偏光に変換し得る。第1のリターダ43nにおいてY方向の直線偏光となったパルスレーザ光は、光アイソレータ14nにおける偏光子41nに、偏光子41nの入射面に対してP偏光で偏光子に入射し、高透過し得る。偏光子41nを透過したパルスレーザ光は、この後、第2のリターダ42nに入射し、第2のリターダ42nにおいて、再び円偏光に変換し得る。

[0060] リターダ42nにより円偏光となったパルスレーザ光は、アパーチャ板13の開口部13aを通り、レーザ光集光光学系22aによりチャンバ2内におけるプラズマ生成領域25に集光され、プラズマ生成領域25におけるターゲットに照射し得る。

[0061] この際、ターゲットからのパルスレーザ光の一部が反射し得る。このターゲットからの反射光は、逆回りの円偏光となり、レーザ光集光光学系22aによってコリメートされて、光アイソレータ14nに入射し得る。光アイソレータ14nに入射した反射光は、光アイソレータ14nにおける第2のリターダ42nによって、X方向の直線偏光に変換し得る。このX方向の直線偏光に変換された反射光は、偏光子41nの入射面に対してS偏光として入射し、高反射し得る。同様に、アパーチャ板13からの反射光も、第2のリターダ42nによってX方向の直線偏光となり、S偏光として偏光子41nに入射するため、偏光子41nにおいて高反射され、増幅器12nに入射するのを抑制し得る。

[0062] また、増幅器122、・・・、12k、・・・、12nにおける入射ウイ

ンドウ及び出射ウインドウ、内部の壁面等からの反射光も、第2のリターダ421、422、 $\dots$ 、42k、 $\dots$ 、42k-1によって、X方向の直線偏光に変換し得る。このX方向の直線偏光の反射光も偏光子411、412、 $\dots$ 、41k、 $\dots$ 、41k-1に、S偏光で入射し、高反射し得る。

[0063] 次に、図5に基づき増幅器において発生したASE光の抑制について説明する。図5に示されるように、パルスレーザ光の光路上における増幅器12k-1と増幅器12kとの間に、光アイソレータ14k-1が設置されていてもよい。また、パルスレーザ光の光路上における増幅器12kと増幅器12k+1との間に、光アイソレータ14kが設置されていてもよい。また、パルスレーザ光の光路上における増幅器12kから出射されたパルスレーザ光が入射する光アイソレータ14k+1が設置されていてもよい。

[0064] 光アイソレータ14k-1は、第1のリターダ43k-1、偏光子41k-1、第2のリターダ42k-1を含み、パルスレーザ光の光路上に上流から下流に向かって、これらの光学素子をこの順で配置された光アイソレータであってもよい。また、光アイソレータ14k+1は、第1のリターダ43k+1、偏光子41k+1、第2のリターダ42k+1を含み、パルスレーザ光の光路上に上流から下流に向かって、これらの光学素子をこの順で配置された光アイソレータであってもよい。

[0065] 増幅器12k+1において発生したASE光は、ランダム偏光になり得る。増幅器12k+1において発生したASE光のうち上流側に向かうASE光は、光アイソレータ14kに入射し、第2のリターダ42kによって90°の位相差が生じた後、偏光子42kに入射し得る。偏光子42kにおいては、入射したASE光のうち偏光子42kの入射面に対してS偏光成分のASE光は反射し得る。

[0066] また、増幅器12k+1において発生したASE光のうち下流側に向かうASE光は、光アイソレータ14k+1に入射し、第1のリターダ43k+1によって90°の位相差が生じた後、偏光子41k+1に入射し得る。偏

光子 $41k+1$ においては、入射したASE光のうち偏光子 $41k+1$ の入射面に対してS偏光成分のASE光は高反射し得る。

[0067] 同様に、増幅器 $12k-1$ 、 $12k$ において発生したASE光は、ランダム偏光になり得る。

[0068] 増幅器 $12k$ において発生したASE光のうち下流側に向かうASE光は、光アイソレータ $14k$ に入射し、第1のリターダ $43k$ によって 90° の位相差が生じた後、偏光子 $41k$ の入射面に対してS偏光成分のASE光は高反射し得る。増幅器 $12k$ において発生したASE光のうち上流側に向かうASE光は、光アイソレータ $14k-1$ に入射し、第1のリターダ $43k-1$ によって 90° の位相差が生じた後、偏光子 $41k-1$ の入射面に対してS偏光成分のASE光は高反射し得る。増幅器 $12k-1$ において発生したASE光のうち下流側に向かうASE光は、光アイソレータ $14k-1$ に入射し、第1のリターダ $43k-1$ によって 90° の位相差が生じた後、偏光子 $41k-1$ の入射面に対してS偏光成分のASE光は高反射し得る。

[0069] このように、光アイソレータ 140 、 141 、 142 、 $\dots$ 、 $14k$ 、 $\dots$ 、 $14n$ によって、上流側及び下流側の増幅器 121 、 122 、 $\dots$ 、 $12k$ 、 $\dots$ 、 $12n$ 内で発生したASE光うち半分のASE光をパルスレーザ光の光路から分離し得る。このように、光アイソレータ 140 、 141 、 142 、 $\dots$ 、 $14k$ 、 $\dots$ 、 $14n$ によって、上流側及び下流側の増幅器 121 、 122 、 $\dots$ 、 $12k$ 、 $\dots$ 、 $12n$ 内で発生したASE光のパワーを半減し得る。

[0070] 5. 3 作用

図4に示されるレーザ装置は、MO110から出射されたパルスレーザ光が、増幅器 121 、 122 、 $\dots$ 、 $12k$ 、 $\dots$ 、 $12n$ における入射側ウィンドウ、出射側ウィンドウ等において反射されても、この反射光が上流側に戻ることを抑制し得る。また、MO110から出射されたパルスレーザ光の一部が、チャンバ2内のターゲットにおいて反射されても、この反射光が上流側に戻ることを抑制し得る。これにより、これらの反射光が増幅さ

れ上流側に戻ることを抑制し得る。

[0071] また、増幅器 1 2 1、1 2 2、 $\dots$ 、1 2 k、 $\dots$ 、1 2 n において発生した A S E 光の約半分は、パルスレーザ光の光路から分離し得るため、自励発振を抑制し得る。

[0072] 尚、図 4 においては、偏光子 4 1 が透過型の偏光子である場合について説明したが、この例に限定されることなく、選択する一方の方向の偏光成分を高反射し、抑制する一方の方向と直交する他方の方向の偏光成分を吸収する反射型の偏光子を用いてもよい。また、図 4 においては、リターダ 4 2 が透過型の $\lambda/4$ 波長板である場合について説明したが、この例に限定されることなく、直線偏光を円偏光に変換して高反射する多層膜をコートした反射型のリターダであってもよい。また、増幅器 1 2 1、1 2 2、 $\dots$ 、1 2 k、 $\dots$ 、1 2 n は、3 軸直交型の増幅器または高速軸流型の増幅器であってもよい。

[0073] 5. 4 応用例

図 4 では、隣り合う増幅器 1 2 1、1 2 2、 $\dots$ 、1 2 k、 $\dots$ 、1 2 n の間のすべてに、光アイソレータ 1 4 1、1 4 2、 $\dots$ 、1 4 k、 $\dots$ 、1 4 n を配置した構造のレーザ装置について説明した。しかしながら、開示のレーザ装置は、図 6 に示されるように、隣り合う増幅器 1 2 1、1 2 2、 $\dots$ 、1 2 k、 $\dots$ 、1 2 n の間の一部に、光アイソレータ 1 4 0、 $\dots$ 、1 4 k、 $\dots$ 、1 4 n を配置した光アイソレータであってもよい。

[0074] 具体的には、図 6 に示されるように、パルスレーザ光の光路上において、増幅器 1 2 2 と増幅器 1 2 2 の下流側で隣り合う不図示の増幅器との間に光アイソレータ 1 4 0 を設置してもよい。また、パルスレーザ光の光路上において、増幅器 1 2 k と増幅器 1 2 k の下流側で隣り合う不図示の増幅器との間に光アイソレータ 1 4 k を設置してもよい。パルスレーザ光の光路上において、増幅器 1 2 n とチャンバ 2 との間に光アイソレータ 1 4 n を設置してもよい。この場合、増幅器 1 2 1 及び 1 2 2 は、スラブ型の増幅器であって

もよい。

[0075] 6. 波長フィルタ等を備えた光アイソレータを含むレーザ装置

ところで、MOと複数のPAを組合せたCO₂レーザ装置においては、MOから出力されたパルスと関係なく、増幅器から出力される自然放出光（ASE）によって自励発振する可能性がある。

[0076] 即ち、CO₂レーザガスのゲイン媒質は、図7に示されるように複数のラインがある。具体的には、自励発振する光としては、波長9.27 μm帯、9.59 μm帯、10.24 μm帯、10.59 μm帯の4つのラインがある。増幅器において、これらの4つのラインのASE光が発生し、他の増幅器に入射した場合、これらのASE光が、他の増幅器内を通過すると、増幅され得る。これにより、レーザ装置においては、この4つのラインのASE光が増幅し、自励発振し得る。

[0077] ここで、図4等々に示されるレーザ装置における光アイソレータ140、141、142、・・・、14k、・・・、14nは、P偏光を高透過し、S偏光を高反射する偏光子410、411、412、・・・、41k、・・・、41nを含んでいる。しかしながら、波長10.59 μm帯における光のS偏光を高反射し、P偏光を高透過する偏光子の場合、波長依存性が大きい。ため、所定の波長の近傍の領域においてのみ偏光子として機能し、それ以外の波長領域においては偏光子として機能しない場合がある。よって、偏光子により、波長9.27 μm帯、9.59 μm帯、10.24 μm帯、10.59 μm帯におけるすべての光について、S偏光を高反射させ、P偏光を高透過させることは困難である。

[0078] よって、波長が10.59 μm帯のS偏光を高反射する偏光子410、411、412、・・・、41k、・・・、41nを設置しても、波長9.27 μm帯、9.59 μm帯、10.24 μm帯においては、偏光子としての機能しない場合があり得る。これにより、波長9.27 μm帯、9.59 μm帯、10.24 μm帯の内の少なくとも1つの波長帯域のラインのASE光が複数の増幅器によって増幅されて、自励発振し得る。

[0079] 6. 1 波長フィルタを備えた光アイソレータを含むレーザ装置

6. 1. 1 構成

開示のレーザ装置は、図8に示されるように、パルスレーザ光の光路上において、隣り合う増幅器121、122、・・・、12k、・・・、12nの間に、各々光アイソレータ151、152、・・・、15kが設置されていてもよい。また、パルスレーザ光の光路上において、MO110と増幅器121との間に光アイソレータ140が設置されていてもよい。パルスレーザ光の光路上において、増幅器12nとチャンバ2におけるレーザ光集光光学系22aとの間には、光アイソレータ15nが設置されていてもよい。

[0080] 図9に示されるように、パルスレーザ光の光路上において、増幅器12kの上流側に光アイソレータ15k-1が設置され、下流側に光アイソレータ15kが設置されてもよい。尚、この説明では光アイソレータ15k-1、15kを例として説明するが、光アイソレータ151、152、・・・、15k、・・・、15nについては、同様の構造の光アイソレータであってもよい。

[0081] 光アイソレータ151、152、・・・、15k、・・・、15nは、MO110から出射されたパルスレーザ光の光路上に配置された偏光子、第1のリターダ、第2のリターダ、波長フィルタを含んでもよい。また、光アイソレータ151、152、・・・、15k、・・・、15nは、パルスレーザ光の光路上において、上流側から下流側に向かって、第1のリターダ、波長フィルタ、偏光子、第2のリターダの順にこれらの光学素子が配置されてもよい。

[0082] 具体的には、光アイソレータ15k-1は、第1のリターダ43k-1、波長フィルタ44k-1、偏光子41k-1、第2のリターダ42k-1を含んでもよい。光アイソレータ15k-1は、パルスレーザ光の光路上において、上流側から下流側に向かって、第1のリターダ43k-1、波長フィルタ44k-1、偏光子41k-1、第2のリターダ42k-1の順でこれらの光学素子が配置された光アイソレータであってもよい。即ち、波長フィ

ルタ 44k-1 は、MO110 から出射されたパルスレーザ光の光路上であって、第1のリターダ 43k-1 と偏光子 41k-1 との間に設置されていてもよい。

[0083] また、光アイソレータ 15k は、第1のリターダ 43k、波長フィルタ 44k、偏光子 41k、第2のリターダ 42k を含んでもよい。光アイソレータ 15k は、パルスレーザ光の光路上において、上流側から下流側に向かって、第1のリターダ 43k、波長フィルタ 44k、偏光子 41k、第2のリターダ 42k の順でこれらの光学素子が配置されたものであってもよい。即ち、波長フィルタ 44k は、MO110 から出射されたパルスレーザ光の光路上であって、第1のリターダ 43k と偏光子 41k との間に設置されていてもよい。

[0084] 波長フィルタ 44k-1、44k は、CO₂レーザ光を透過する基板上に、5° 近傍の入射角度で入射した波長 10.59 μm 帯の光を高透過し、波長 9.27 μm 帯、9.59 μm 帯、10.24 μm 帯の光を高反射する膜がコートされている波長フィルタであってもよい。MO110 から出力されるパルスレーザ光の波長は、10.59 μm 帯であってもよい。波長フィルタ 44k-1、44k における CO₂レーザ光を透過する基板の材料は、ZnSe、GaAs、ダイヤモンド等であってもよい。

[0085] 6. 1. 2 動作

増幅器 12k において発生した波長 9.27 μm 帯、9.59 μm 帯、10.24 μm 帯の ASE 光は、増幅器 12k より上流側と下流側に進み得る。

[0086] シード光となるパルスレーザ光の進行方向と同じ、増幅器 12k より下流側に進行する ASE 光は、光アイソレータ 15k に入射し得る。光アイソレータ 15k に入射した ASE 光は、第1のリターダ 43k を透過した後、波長フィルタ 44k によって高反射し得る。この際、パルスレーザ光は、波長フィルタ 44k を高透過するため、光アイソレータ 15k を高透過し、増幅器 12k と増幅器 12k の下流側において隣り合う次の増幅器に入射し得る。

。

[0087] 一方、シード光となるパルスレーザ光の進行方向とは反対の増幅器 12k より上流側に進行するASE光は、光アイソレータ 15k-1に入射し得る。光アイソレータ 15k-1に入射したASE光は、第2のリターダ 42k-1を透過し、偏光子 41k-1を高透過した光が、波長フィルタ 44k-1によって高反射し得る。

[0088] 6. 1. 3 作用

波長フィルタ 44k-1、44kによって、増幅器 12kにおいて発生した波長 9.27 μm 帯、9.59 μm 帯、10.24 μm 帯におけるASE光が、増幅器 12kと上流側及び下流側において隣り合う増幅器に入射するのを抑制し得る。これにより、波長 9.27 μm 帯、9.59 μm 帯、10.24 μm 帯におけるASE光による自励発振を抑制し得る。

[0089] 6. 1. 4 その他

図9における説明では、MO110から出射されるパルスレーザ光が、波長 10.59 μm 帯である場合の波長フィルタ 44k-1、44kについて説明したが、これに限定されることはない。例えば、MO110から出射されるパルスレーザ光が、波長 10.24 μm 帯である場合には、波長フィルタ 44k-1、44kを波長 10.24 μm 帯に対応させてもよい。具体的には、波長 10.24 μm 帯の光を高透過し、波長 9.27 μm 帯、9.59 μm 帯、10.59 μm 帯の光を高反射する波長フィルタ 44k-1、44kを設置してもよい。

[0090] また、MO110から出射されるパルスレーザ光が、波長 9.59 μm 帯である場合には、波長フィルタ 44k-1、44kを波長 9.59 μm 帯に対応させてもよい。具体的には、波長 9.59 μm 帯の光を高透過し、波長 9.27 μm 帯、10.24 μm 帯、10.59 μm 帯の光を高反射する波長フィルタ 44k-1、44kを設置してもよい。

[0091] また、MO110から出射されるパルスレーザ光が、波長 9.27 μm 帯である場合には、波長フィルタ 44k-1、44kを波長 9.27 μm 帯に

対応させてもよい。具体的には、波長 $9.27\ \mu\text{m}$ 帯の光を高透過し、波長 $9.59\ \mu\text{m}$ 帯、 $10.24\ \mu\text{m}$ 帯、 $10.59\ \mu\text{m}$ 帯の光を高反射する波長フィルタ $44k-1$ 、 $44k$ を設置してもよい。

[0092] 図9においては、波長フィルタ $44k-1$ 、 $44k$ は、レーザ光を透過する基板に入射角が 5° の場合の多層膜をコートした光学素子について説明したが、これに限定されることはなく、波長フィルタはグレーティングやエアギャップエタロンのような波長選択素子であってもよい。

[0093] また、偏光子 $41k-1$ 、 $41k$ 等が、波長フィルタの機能を兼用できるものである場合には、波長フィルタ $44k-1$ 、 $44k$ 等を設置しなくてもよい。具体的には、このような偏光子としては、例えば、波長 $9.27\ \mu\text{m}$ 帯、 $9.59\ \mu\text{m}$ 帯、 $10.24\ \mu\text{m}$ 帯のP偏光及びS偏光と、波長 $10.59\ \mu\text{m}$ 帯の波長帯域のS偏光を高反射し、波長 $10.59\ \mu\text{m}$ 帯のP偏光が高透過する偏光子である場合が挙げられる。

[0094] また、波長フィルタ $44k-1$ 、 $44k$ は、複数の偏光子を組み合わせた構造であってもよい。更に、波長フィルタ $44k-1$ 、 $44k$ は、増幅器 $12k$ と隣合う増幅器 $12k+1$ 間の光路上であれば、どこに配置してもよい。

MO110は、シングルラインで発振するレーザであってもよく、波長 $10.59\ \mu\text{m}$ 帯における複数のライン（例えば、P(22)、P(20)、P(18)、P(16)等）で発振するレーザ発振器であってもよい。また、MO110は、これらのラインで発振するシングル縦モードの量子カスケードレーザを複数台含み、それぞれのラインをグレーティングで合波するような構成にしてもよい。

[0095] 6.2 空間フィルタと波長フィルタを備えた光アイソレータを含むレーザ装置

ところで、図9に示される光アイソレータを含むレーザ装置においては、増幅器 $12k$ 等で発生した波長 $10.59\ \mu\text{m}$ 帯のASE光は、増幅器 $12k$ の上流側に設置された増幅器において増幅され、MO110に入射する場

合がある。このように、増幅されたASE光がMO110に入射するとMO110が破損等してしまう可能性がある。

[0096] また、増幅器12k等で発生した波長10.59 μ m帯のASE光は、増幅器12kの下流側に設置された他の増幅器において増幅される場合がある。このような自励発振があると、MO110から出射されたパルスレーザ光を所定のエネルギーやパルス幅で増幅することができなくなるため、所望とするエネルギーのEUV光を得ることができなくなる可能性がある。

[0097] 6.2.1 構成

本開示のレーザ装置は、図8に示される光アイソレータ151、152、
・・・、15k、・・・、15nに代えて、図10に示される構造の光アイソレータ16k-1、16kを用いてもよい。図10に示されるように、光アイソレータ16k-1、16kは、MO110から出射されたパルスレーザ光の光路上に配置された偏光子、第1のリターダ、第2のリターダ、波長フィルタ、空間フィルタを含んでもよい。

[0098] 具体的には、光アイソレータ16k-1は、空間フィルタ45k-1、第1のリターダ43k-1、波長フィルタ44k-1、偏光子41k-1、第2のリターダ42k-1を含んでもよい。光アイソレータ16k-1は、パルスレーザ光の光路上において上流側から下流側に向かって、この順で配置されたものであってもよい。即ち、空間フィルタ45k-1は、パルスレーザ光の光路上であって、増幅器12kの上流側で隣り合う増幅器と、第1のリターダ43k-1との間に設置されていてもよい。

[0099] また、光アイソレータ16kは、第1のリターダ43k、偏光子41k、波長フィルタ44k、第2のリターダ42k、空間フィルタ45kを含んでもよい。光アイソレータ16kは、パルスレーザ光の光路上において上流側から下流側に向かって、この順で配置されたものであってもよい。即ち、空間フィルタ45kは、パルスレーザ光の光路上であって、増幅器12kの下流側で隣り合う増幅器と、第2のリターダ42kとの間に設置されていてもよい。

[0100] 空間フィルタ 45 k-1 は、第1の集光レンズ 71 k-1、ピンホール板 72 k-1、第2の集光レンズ 73 k-1 を含んでおり、パルスレーザ光の光路上において上流側から下流側に向かって、この順でこれらの光学素子が配置された空間フィルタであってもよい。ピンホール板 72 k-1 は、第1の集光レンズ 71 k-1 及び第2の集光レンズ 73 k-1 の焦点の位置を一致させ、この焦点の位置にピンホール板 72 k-1 に設けられたピンホールが位置するように設置してもよい。ピンホール板 72 k-1 に設けられたピンホールの径は、パルスレーザ光の M^2 に対応する径と略同じであってもよい。

[0101] 空間フィルタ 45 k は、第1の集光レンズ 71 k、ピンホール板 72 k、第2の集光レンズ 73 k を含んでおり、パルスレーザ光の光路上において上流側から下流側に向かって、この順で配置された空間フィルタであってもよい。ピンホール板 72 k は、第1の集光レンズ 71 k 及び第2の集光レンズ 73 k の焦点の位置を一致させ、この焦点の位置にピンホール板 72 k に設けられたピンホールが位置するように設置してもよい。ピンホール板 72 k に設けられたピンホールの径は、パルスレーザ光の M^2 に対応する径と略同じであってもよい。

[0102] 尚、光アイソレータ 16 k-1 と光アイソレータ 16 k は、図 10 に示されるように、増幅器 12 k を中心に、空間フィルタ、第1のリターダ、波長フィルタ、偏光子、第2のリターダの配置が左右対称となるような位置に配置してもよい。

[0103] 6. 2. 2 動作

増幅器 12 k において発生した波長 10.59 μm 帯のランダム偏光の ASE 光は、増幅器 12 k より上流側と下流側に進み得る。

[0104] 増幅器 12 k において発生した ASE 光のうち上流側に向かう波長 10.59 μm 帯のランダム偏光の ASE 光は、光アイソレータ 16 k-1 に入射し得る。光アイソレータ 16 k-1 に入射した ASE 光は、第2のリターダ 42 k-1 によって 90° の位相差が生じた後、偏光子 41 k-1 に入射し

、偏光子 4 1 k - 1 の入射面に対して S 偏光成分は高反射し、P 偏光成分は高透過し得る。

[0105] 偏光子 4 1 k - 1 を透過した Y 方向の直線偏光の A S E 光は、波長フィルタ 4 4 k - 1 を高透過して、第 1 のリターダ 4 3 k - 1 を透過することによって、円偏光の A S E 光に変換され得る。この後、円偏光となった A S E 光は、空間フィルタ 4 5 k - 1 に入射し、空間フィルタ 4 5 k - 1 における第 2 の集光レンズ 7 3 k - 1 によって集光し得る。一般的に、A S E 光はビームの広がり角が広いため、ピンホール板 7 2 k - 1 におけるピンホールを通過する光はごく僅かであり、多くはピンホール板 7 2 k - 1 の表面において反射され得る。このようにピンホール板 7 2 k - 1 の表面で反射された A S E 光は、入射した場合とは逆回りの円偏光となり得る。

[0106] このように逆回りの円偏光となった A S E 光は、第 2 のレンズ 7 3 k - 1 を介し、再び第 1 のリターダ 4 3 k - 1 によって、X 方向の直線偏光に変換し得る。このように X 方向の直線偏光に変換された A S E 光は、波長フィルタ 4 4 k - 1 を高透過した後、偏光子 4 1 k - 1 に S 偏光として入射して、高反射し得る。

[0107] また、増幅器 1 2 k において発生した A S E 光のうち下流側に向かう波長 1 0 . 5 9 μ m 帯のランダム偏光の A S E 光は、光アイソレータ 1 6 k に入射し得る。光アイソレータ 1 6 k に入射した A S E 光は、第 1 のリターダ 4 3 k によって 9 0 ° の位相差が生じた後、偏光子 4 1 k に入射し、偏光子 4 1 k の入射面に対して S 偏光成分は高反射し、P 偏光成分は高透過し得る。

[0108] 偏光子 4 1 k を透過した Y 方向の直線偏光の A S E 光は、波長フィルタ 4 4 k を高透過して、第 2 のリターダ 4 3 k を透過することによって、円偏光の A S E 光に変換され得る。この後、円偏光となった A S E 光は、空間フィルタ 4 5 k に入射し、空間フィルタ 4 5 k における第 1 の集光レンズ 7 1 k によって集光し得る。一般的に、A S E 光はビームの広がり角が広いため、ピンホール板 7 2 k におけるピンホールを通過する光はごく僅かであり、多くはピンホール板 7 2 k の表面において反射され得る。このようにピンホー

ル板 7 2 k の表面で反射された A S E 光は、入射した場合とは逆回りの円偏光となり得る。

[0109] このように逆回りの円偏光となった A S E 光は、第 1 のレンズ 7 1 k を介し、再び第 2 のリターダ 4 2 k によって、X 方向の直線偏光に変換し得る。このように X 方向の直線偏光に変換された A S E 光は、波長フィルタ 4 4 k を高透過した後、偏光子 4 1 k に S 偏光として入射し、高反射し得る。

[0110] 尚、MO 1 1 0 より出射されたパルスレーザ光は、ビームの広がり角が極めて狭いため、空間フィルタ 4 5 k のピンホール板 7 2 k におけるピンホールを通過し得る。それゆえ、光アイソレータ 1 6 k を通過し、増幅器 1 2 k の下流側で隣り合う次の増幅器に入射し得る。

[0111] 6. 2. 3 作用

増幅器 1 2 k 等において発生した波長 1 0. 5 9 μ m 帯の A S E 光は、レーザ共振器によって発振したレーザ光、即ち、MO 1 1 0 より出射されたパルスレーザ光に比べて、ビーム広がり角度が広くなり得る。

[0112] よって、空間フィルタ 4 5 k - 1、4 5 k 等を用いて、パルスレーザ光を高透過し、ビーム広がり角度の広い波長 1 0. 6 μ m 帯の A S E 光の透過を抑制し得る。

[0113] また、光アイソレータ 1 6 k - 1、1 6 k 等によって、空間フィルタ 4 5 k - 1、4 5 k から反射された A S E 光が偏光子 4 1 k - 1、4 1 k によって高反射され、パルスレーザ光の光路から分離し得る。これにより A S E 光が再び増幅器 1 2 k 等に入射して増幅されることを抑制し得る。

[0114] 6. 2. 4 その他

図 1 0 に示される空間フィルタ 4 5 k - 1 及び 4 5 k 等は、第 1 の集光レンズ 7 1 k - 1 及び 7 1 k、ピンホール板 7 2 k - 1 及び 7 2 k、第 2 の集光レンズ 7 3 k - 1 及び 7 3 k 組み合わせた構造のものであるが、これに限定されることはない。

[0115] 例えば、図 1 1 に示されるように、空間フィルタ 4 5 0 a は、2 枚の軸外放物面ミラー 7 4、7 5 と、ピンホール板 7 2 とを組み合わせた空間フィル

タであってもよい。空間フィルタ450aは、空間フィルタ45k-1及び45k等に代えて用いてもよい。特に、パルスレーザ光のエネルギーが高い場合には、図11に示される構造の反射型の空間フィルタ450aが好ましい。図10に示される空間フィルタ45k-1及び45k等の透過型の空間フィルタの場合では、第1の集光レンズや第2の集光レンズがパルスレーザ光により加熱されて変形や屈折率が変わり、焦点位置がずれてしまう場合がある。しかしながら、図11に示される反射型の空間フィルタ450aの場合では、軸外放物面ミラー74及び75の背面に冷却水を流すことができるため、鏡面における変形等を抑制することができ、焦点位置がずれることを抑制し得る。

[0116] また、図10においては、光アイソレータ16k-1と光アイソレータ16kにおける光学素子の配置が、増幅器12kを中心に左右対称となるような位置に配置した場合について説明した。しかしながら、光アイソレータ16k-1と光アイソレータ16kにおける各光学素子の配置が全く同じであってもよい。

[0117] また、図10においては、波長フィルタ44k-1、44kを設置した構造の光アイソレータ16k-1、16kについて説明したが、この実施形態に限定されることはない。例えば、ビーム広がり角の広いASE光は空間フィルタ45k-1、45kにおいて多くが反射されるため、波長フィルタ44k-1、44kを設置しなくとも、ASE光をある程度除去し得る。

[0118] 6. 3 可飽和吸収ガスセルと波長フィルタを備えた光アイソレータを含むレーザ装置

6. 3. 1 構成

本開示のレーザ装置は、図8に示される光アイソレータ151、152、
・・・、15k、・・・、15nに代えて図12に示される光アイソレータ17k-1、17kを用いてもよい。図17に示されるように、光アイソレータ17k-1、17kは、パルスレーザ光の光路上に配置された偏光子、第1のリターダ、第2のリターダ、波長フィルタ、可飽和吸収ガスセルを含

んでもよい。

[0119] 具体的には、光アイソレータ 17 k-1 は、可飽和吸収ガスセル 46 k-1、第 1 のリターダ 43 k-1、波長フィルタ 44 k-1、偏光子 41 k-1、第 2 のリターダ 42 k-1 を含んでもよい。光アイソレータ 17 k-1 は、パルスレーザ光の光路上において、上流側から下流側に向かって、この順でこれらの光学素子が配置された光アイソレータであってもよい。即ち、可飽和吸収ガスセル 46 k-1 は、パルスレーザ光の光路上であって、増幅器 12 k の上流側で隣り合う増幅器と、第 1 のリターダ 43 k-1 との間に設置されていてもよい。

[0120] また、光アイソレータ 17 k は、第 1 のリターダ 43 k、波長フィルタ 44 k、偏光子 41 k、第 2 のリターダ 42 k、可飽和吸収ガスセル 46 k を含んでもよい。光アイソレータ 17 k は、パルスレーザ光の光路上において、上流側から下流側に向かって、この順でこれらの光学素子が配置された光アイソレータであってもよい。即ち、可飽和吸収ガスセル 46 k は、パルスレーザ光の光路上であって、増幅器 12 k の下流側で隣り合う増幅器と、第 2 のリターダ 42 k との間に設置されていてもよい。

[0121] 可飽和吸収ガスセル 46 k-1、46 k は、入射ウインドウと出射ウインドウとガスチャンバを含み、ガスチャンバ内には、可飽和吸収ガスが封入されていてもよい。可飽和吸収ガスとしては、波長 10.59 μm 帯においては、 SF_6 、 N_2F_4 、 PF_5 、 CH_3CHF_2 、 CO_2 (hot CO_2) のうちのいずれか、または、これらのガスのいずれかを含むガスを用いてもよい。また、波長 9.59 μm 帯においては、 CH_3OH 、 CH_3F 、 HCOOH 、 CD_3OD 、 CD_3F 、 DCOOD (D: 水素) のうちのいずれか、または、これらのガスのいずれかを含むガスを用いてもよい。波長 9.27 μm 帯においては、 $\text{C}_2\text{F}_2\text{Cl}$ または、このガスを含むガスを用いてもよい。また、バッファガスとして、 N_2 ガスや He ガスを含んでもよい。尚、MO110 から出射されるパルスレーザ光の波長帯に対応するように、可飽和吸収ガスを選定してもよい。可飽和吸収ガスの濃度および圧力は、パルスレーザ光は高透

過し、パルスレーザ光の光強度よりも弱いASE光は吸収するように設定しておいてもよい。

[0122] 6. 3. 2 動作

増幅器12kにおいて発生した波長10.59 μ m帯のランダム偏光のASE光は、増幅器12kより上流側と下流側に進み得る。

[0123] 増幅器12kにおいて発生したASE光のうち上流側に向かう波長10.59 μ m帯のランダム偏光のASE光は、光アイソレータ17k-1に入射し得る。光アイソレータ17k-1に入射したASE光は、第2のリターダ42k-1によって90°の位相差が生じた後、偏光子41k-1に入射し、偏光子41k-1の入射面に対してS偏光成分は高反射し、P偏光成分は高透過し得る。

[0124] 偏光子41k-1を透過したY方向の直線偏光のASE光は、波長フィルタ44k-1を高透過して、第1のリターダ43k-1を透過することによって、円偏光のASE光に変換され得る。この後、円偏光となったASE光は、可飽和吸収ガスセル46k-1に入射し得る。ASE光の光強度は、パルスレーザ光に比べて低いため、ASE光は可飽和吸収ガスセル46k-1において吸収し得る。

[0125] また、増幅器12kにおいて発生したASE光のうち下流側に向かう波長10.59 μ m帯のランダム偏光のASE光は、光アイソレータ17kに入射してもよい。光アイソレータ17kに入射したASE光は、第1のリターダ43kによって90°の位相差が生じた後、波長フィルタ44kを高透過して、偏光子41kにおいて、偏光子41kの入射面に対してS偏光成分は高反射し、P偏光成分は高透過し得る。

[0126] 偏光子41kを透過したP偏光のASE光は、第2のリターダ42kを透過することによって、円偏光のASE光に変換され得る。この後、円偏光となったASE光は、可飽和吸収ガスセル46kに入射し得る。ASE光の光強度は、パルスレーザ光に比べて低いため、ASE光は可飽和吸収ガスセル46kにおいて吸収し得る。

[0127] 尚、増幅器 1 2 k 等より下流側に進行するパルスレーザ光は、A S E 光と比べて光強度が著しく高いため、可飽和吸収ガスセル 4 6 k を高透過し、増幅器 1 2 k 等の下流側で隣り合う次の増幅器に入射し得る。

[0128] 6. 3. 3 作用

可飽和吸収ガスセル 4 6 k - 1、4 6 k における可飽和吸収ガスは、所定の光強度以上の光は高透過し、所定の光強度以下の光は吸収率が高くなる。よって、パルスレーザ光を高透過するが、パルスレーザ光と同じ波長、即ち、波長 1 0. 5 9 μ m 帯の A S E 光の透過を抑制し得る。これにより、波長 1 0. 5 9 μ m 帯の A S E 光による自励発振を抑制し得る。

[0129] 尚、上記においては、図 1 2 に示されているように、光アイソレータ 1 7 k - 1 には波長フィルタ 4 4 k - 1 が設けられており、光アイソレータ 1 7 k には波長フィルタ 4 4 k が設けられている場合について説明した。しかしながら、光アイソレータ 1 7 k - 1 には、可飽和吸収ガスセル 4 6 k - 1 が設けられており、光アイソレータ 1 7 k には、可飽和吸収ガスセル 4 6 k が設けられており、可飽和吸収ガスセル 4 6 k - 1、4 6 k において A S E 光を吸収し得る。この場合の可飽和吸収ガスは、波長 9. 2 7 μ m 帯、波長 9. 5 9 μ m 帯、波長 1 0. 2 4 μ m 帯および 1 0. 5 9 μ m 帯の波長に対して可飽和吸収体としえ機能するガスまたは混合ガスを使用してもよい。この場合は波長フィルタ 4 4 k - 1、4 4 k を設けなくても同様の効果を得ることができる。

[0130] 6. 4 E O ポッケルスセルと波長フィルタを備えた光アイソレータを含むレーザ装置

6. 4. 1 構成

図 1 3 に示されるように、光アイソレータ 1 8 0 は、パルスレーザ光の光路上における M O 1 1 0 と増幅器 1 2 1 との間に設置されていてもよい。また、光アイソレータ 1 8 1、1 8 2、 $\dots$ 、1 8 k、 $\dots$ は、パルスレーザ光の光路上における隣り合う増幅器 1 2 1、1 2 2、 $\dots$ 、1 2 k、 $\dots$ 、1 2 n の間に設置されていてもよい。パルスレーザ光の光路上にお

いて、増幅器 12n とチャンバ 2 におけるレーザ光集光光学系 22a との間には、光アイソレータ 18n が設置されていてもよい。尚、光アイソレータ 181、182、・・・、18k、・・・、18n は、すべて同じ構造の光アイソレータであってもよい。

[0131] 例えば、図 14 に示されるように、パルスレーザ光の光路上において、増幅器 12k の上流側に光アイソレータ 18k-1 が設置され、下流側に光アイソレータ 18k が設置されていてもよい。光アイソレータ 18k は、波長フィルタ 44k、第 1 の偏光子 80k、第 2 の偏光子 81k、第 1 のリターダ 43k、第 2 のリターダ 42k、第 3 のリターダ 82k、EO ポッケルスセル 83k を含んでもよい。同様に、光アイソレータ 18k-1 は、波長フィルタ 44k-1、第 1 の偏光子 80k-1、第 2 の偏光子 81k-1、第 1 のリターダ 43k-1、第 2 のリターダ 42k-1、第 3 のリターダ 82k-1、EO ポッケルスセル 83k-1 を含んでもよい。尚、図 14 (a) は、EO ポッケルス 83k 等に電圧が印加されていない状態を示し、図 14 (b) は、EO ポッケルス 83k 等に電圧が印加されている状態を示す。ただし、光アイソレータ 180 は図 14 に示す光アイソレータ 18k-1 に、第 1 のリターダ 43k-1 を省いた光アイソレータであってもよい。

[0132] 更に、図 13 に示されるように、レーザ装置は、レーザ制御部 310 と、制御回路 320 とを含んでもよい。レーザ制御部 310 は、EUV 光生成装置制御部 330 等の外部装置と接続されていてもよい。レーザ制御部 310 と制御回路 320 とは接続されていてもよい。制御回路 320 は、MO 110 及び光アイソレータ 180、181、182、・・・、18k、・・・、18n と接続されていてもよい。

[0133] 制御回路 320 は、光アイソレータ 180、181、182、・・・、18k、・・・、18n における各々の EO ポッケルスセル 83k-1、83k 等を駆動する不図示の電源と接続されていてもよい。

[0134] 光アイソレータ 18k は、パルスレーザ光の光路上において、上流側より下流側に向かって、第 1 のリターダ 43k、第 1 の偏光子 80k、EO ポッ

ケルスセル 83k、第3のリターダ 82k、第2の偏光子 81k、第2のリターダ 42kの順に設置してもよい。波長フィルタ 44kは、パルスレーザ光の光路上であればどこに配置してもよい。また、光アイソレータ 18k-1は、パルスレーザ光の光路上において、上流側より下流側に向かって、第1のリターダ 43k-1、第1の偏光子 80k-1、E Oポッケルスセル 83k-1、第3のリターダ 82k-1、第2の偏光子 81k-1、第2のリターダ 42k-1の順に設置してもよい。波長フィルタ 44k-1は、パルスレーザ光の光路上であればどこに配置してもよい。尚、図13及び図14に示される第2の偏光子 81k-1、81k等は、図8等で示される偏光子 41k等と同じ波長フィルタであってもよい。

[0135] 第1の偏光子 80k等及び第2の偏光子 81k等は、S偏光を高反射し、P偏光を高透過する偏光子であってもよい。

[0136] E Oポッケルスセル 83k等は、電気光学結晶と、この電気光学結晶と接触する1対の電極と高電圧電源を含み、高電圧電源により1対の電極間に所定の電圧を印加した場合に、入射した光において、位相差が 180° となるように制御されるE Oポッケルスセルであってもよい。このような電気光学結晶としては、CO₂レーザの波長帯において用いることが可能な、例えば、CdTe結晶やGaAs結晶等であってもよい。

[0137] 第3のリターダ 82k-1、82k等は、位相差が 180° 、即ち、位相差が $1/2$ 波長となる $\lambda/2$ 板であってもよい。第3のリターダ 82k-1、82k等は、直線偏光を入射させる際には、直線偏光に対し遅相軸が 45° となるように設置されていてもよい。

[0138] 6. 4. 2 動作

最初に、図14(a)に基づき、例えば、E Oポッケルスセル 83k-1とE Oポッケルスセル 83kの双方がオフの場合について説明する。

[0139] 増幅器 12kにおいて発生した波長 $10.59\mu\text{m}$ のランダム偏光のASE光は、増幅器 12kの上流側における光アイソレータ 18k-1が設けられている方向に進行し得る。

- [0140] 光アイソレータ 18 k-1 に入射した ASE 光は、第 2 のリターダ 42 k-1 において 90° の位相差が生じた後、第 2 の偏光子 81 k-1 に入射し得る。第 2 の偏光子 81 k-1 においては、第 2 の偏光子 81 k-1 における入射面に対して S 偏光成分の ASE 光は高反射され、P 偏光成分の ASE 光は高透過し得る。
- [0141] 第 2 の偏光子 81 k-1 を透過した ASE 光は Y 方向の直線偏光であり、第 3 のリターダ 82 k-1 に入射し得る。第 3 のリターダ 82 k-1 では、Y 方向の直線偏光の ASE 光は、X 方向の直線偏光に変換され得る。このように X 方向の直線偏光に変換された ASE 光は、EO ポッケルスセル 83 k-1 をそのまま透過し、第 1 の偏光子 80 k-1 で S 偏光として入射し、高反射し得る。
- [0142] 増幅器 12 k において発生した波長 10.59 μm のランダム偏光の ASE 光は、増幅器 12 k の下流側における光アイソレータ 18 k が設けられている方向に進行し得る。
- [0143] 光アイソレータ 18 k に入射した ASE 光は、第 1 のリターダ 43 k において 90° の位相差が生じた後、波長フィルタ 44 k を高透過し得る。波長フィルタ 44 k を高透過した ASE 光は、第 1 の偏光子 80 k において、第 1 の偏光子 80 k における入射面に対して S 偏光成分の ASE 光は高反射され、P 偏光成分の ASE 光は高透過し得る。
- [0144] 第 1 の偏光子 80 k を透過した ASE 光は Y 方向の直線偏光であり、EO ポッケルスセル 83 k をそのまま透過し、第 3 のリターダ 82 k に入射し得る。第 3 のリターダ 82 k では、Y 方向の直線偏光の ASE 光は、X 方向の直線偏光に変換され得る。このように X 方向の直線偏光に変換された ASE 光は、第 2 の偏光子 81 k に S 偏光として入射し、高反射し得る。
- [0145] 尚、増幅器 12 k の上流側で隣り合う増幅器より光アイソレータ 18 k-1 に入射した円偏光のパルスレーザ光は、第 1 のリターダ 43 k-1 により、Y 方向の直線偏光に変換し得る。第 1 のリターダ 43 k-1 により Y 方向の直線偏光に変換されたパルスレーザ光は、波長フィルタ 44 k-1 を高透

過し、第1の偏光子80k-1をP偏光として入射して、高透過し得る。このY方向の直線偏光は、EOポッケルスセル83k-1をそのまま透過し、第3のリターダ82k-1に入射し得る。第3のリターダ82k-1に入射したY方向の直線偏光のパルスレーザ光は、第3のリターダ82k-1において、X方向の直線偏光に変換され得る。このようにX方向の直線偏光に変換されたパルスレーザ光は、第2の偏光子81k-1にS偏光として入射し、第2の偏光子81k-1において高反射され得る。よって、この場合には、パルスレーザ光は、光アイソレータ18k-1により、増幅器12kに入射するのを抑制し得る。

[0146] 次に、図14(b)に基づき、例えば、EOポッケルスセル83k-1とEOポッケルスセル83kの双方がオンの場合について説明する。EOポッケルスセル83k-1及びEOポッケルスセル83kをオン状態にすることにより、EOポッケルスセル83k-1及びEOポッケルスセル83kに入射するX方向の直線偏光はY方向の直線偏光に、Y方向の直線偏光はX方向の直線偏光に変換し得る。

[0147] 増幅器12kにおいて発生した波長10.59 μ mのランダム偏光のASE光は、増幅器12kの上流側における光アイソレータ18k-1が設けられている方向に進行し得る。

[0148] 光アイソレータ18k-1に入射したASE光は、第2のリターダ42k-1において90°の位相差が生じた後、第2の偏光子81k-1に入射し得る。第2の偏光子81k-1においては、第2の偏光子81k-1における入射面に対してS偏光成分のASE光は高反射され、P偏光成分のASE光は高透過し得る。

[0149] 第2の偏光子81k-1を透過したASE光はY方向の直線偏光であり、第3のリターダ82k-1に入射し得る。第3のリターダ82k-1では、Y方向の直線偏光のASE光は、X方向の直線偏光に変換され得る。このようにX方向の直線偏光に変換されたASE光は、EOポッケルスセル83k-1において、180°位相差が変化し、再びY方向の直線偏光に変換し得る。

る。その結果、このY方向の直線偏光は、第1の偏光子80k-1をP偏光として入射し、高透過し得る。第1の偏光子80k-1を透過したY方向の直線偏光のASE光は、波長フィルタ44k-1を高透過し、第1のリターダ43k-1に入射し、第1のリターダ43k-1において位相差が90°変化し、円偏光に変換し得る。その結果、パルスレーザ光の光路の上流に進行し得る。

[0150] 増幅器12kにおいて発生した波長10.59 μ mのランダム偏光のASE光は、増幅器12k-1の下流側における光アイソレータ18kが設けられている方向に進行し得る。

[0151] 光アイソレータ18kに入射したASE光は、第1のリターダ43kにおいて90°の位相差が生じた後、波長フィルタ44kを高透過し得る。波長フィルタ44kを透過したASE光は、第1の偏光子80kにおいて、第1の偏光子80kにおける入射面に対してS偏光成分のASE光は高反射され、P偏光成分のASE光は高透過し得る。

[0152] 第1の偏光子80kを透過したASE光はY方向の直線偏光であり、EOPockelsセル83kにおいて、位相差が180°変化し、X方向の直線偏光に変換し得る。このX方向の直線偏光は第3のリターダ82kに入射し得る。第3のリターダ82kでは、X方向の直線偏光のASE光は、Y方向の直線偏光に変換され得る。このようにY方向の直線偏光に変換されたASE光は、第2の偏光子81kをP偏光として入射し、高透過し得る。このY方向の直線偏光は第2のリターダ42kに入射し、第2のリターダ42において位相差が90°変化し、円偏光に変換し得る。その結果、この円偏光はパルスレーザ光の光路の下流に進行し得る。

[0153] 尚、増幅器12kの上流側で隣り合う増幅器より光アイソレータ18k-1に入射した円偏光のパルスレーザ光は、第1のリターダ43k-1により、位相差が180°変化し、Y方向の偏光の直線偏光に変換し得る。第1のリターダ43k-1によりY方向の直線偏光に変換されたパルスレーザ光は、波長フィルタ44k-1を高透過し、第1の偏光子80k-1にP偏光と

して入射し、高透過し得る。このY方向の直線偏光は、EOポッケルスセル83k-1に入射し得る。EOポッケルスセル83k-1に入射したY方向の直線偏光のパルスレーザ光は、EOポッケルスセル83k-1において、位相差が180°変化し、X方向の直線偏光に変換され得る。このX方向の直線偏光は、第3のリターダ82k-1に入射し得る。第3のリターダ82k-1に入射したX方向の直線偏光のパルスレーザ光は、第3のリターダ82k-1において、再びY方向の直線偏光に変換され得る。このようにY方向の直線偏光に変換されたパルスレーザ光は、第2の偏光子81k-1にP偏光として入射し、第2の偏光子81k-1を高透過し得る。そして、このY方向の直線偏光は、第2のリターダ42k-1に入射し、第2のリターダ42k-1において位相差が180°変化し、円偏光に変換し得る。その結果、この円偏光はパルスレーザ光の光路の下流に進行し得る。これにより、パルスレーザ光は、光アイソレータ18k-1を高透過して、増幅器12kに入射し得る。尚、光アイソレータ18kについても、光アイソレータ18k-1と同様の動作をし得る。

[0154] 6. 4. 3 制御

開示のレーザ装置においては、例えば、EOポッケルスセル83k-1とEOポッケルスセル83kをオンさせるタイミングをシード光（パルス幅約20ns）であるパルスレーザ光が通過するのに同期させる制御を行ってもよい。オンさせる時間は、約30~100nsであってもよい。具体的には、EUV光生成装置制御部330等の外部装置よりレーザ制御部310にトリガ信号が入力されると、レーザ制御部310を介し制御回路320にトリガ信号が入力されてもよい。このように、制御回路320にトリガ信号が入力されると、制御回路320からMO110に、トリガが入力されMO110からパルスレーザ光が出力され得る。

[0155] このパルスレーザ光が各々の光アイソレータ18k等におけるEOポッケルス83k等を通過するタイミングで、制御回路320からEOポッケルスセル83k等の電源に、所定のパルスの信号が入力されてもよい。これによ

り、E Oポッケルスセル83k等に、約30~100nsの間電位が印加され、シード光となるパルスレーザ光が通過し得る。このような動作を順次、光アイソレータ180、181、182、・・・、18k、・・・、18nにおけるE Oポッケルスセル83k-1、83k等において行うことにより、シード光となるパルスレーザ光を増幅器12k等によって増幅し得る。

[0156] 以上の制御について、図15及び図16に基づきより詳細に説明する。

[0157] 6. 4. 3. 1 制御回路の構成

制御回路320は、遅延回路321と、MOワンショット回路340と、ワンショット回路350、351、352、・・・、35k、・・・、35nを含んでもよい。MOワンショット回路340の出力は、MO110に入力するように接続されていてもよい。ワンショット回路350、351、352、・・・、35k、・・・、35nの出力が、光アイソレータ180、181、182、・・・、18k、・・・、18nに入力するように接続されていてもよい。遅延回路321の出力は、ワンショット回路350、351、352、・・・、35k、・・・、35nに各々入力するように接続されていてもよい。

[0158] MOワンショット回路340は、MO110から所望のパルス幅のパルスレーザ光が出力されるように、例えば、例えば、10~20nsのパルス幅のパルスレーザ光が出力されるように設定されていてもよい。

[0159] 尚、図14では、アイソレータ18k等において第3のリターダ82k等を設置し、位相差を180°生じさせて、偏光方向を90°回転させる構造の光アイソレータについて説明した。しかしながら、アイソレータ18k等において、第3のリターダ82k等を設置することなく、第1の偏光子43k等と第2の偏光子42k等の入射面が互いに直交するように配置してもよい。

[0160] 6. 4. 3. 2 制御回路の動作

EUV光生成装置制御部330等の外部装置よりレーザ制御部310に入力したトリガ信号は、制御回路320における遅延回路321及びMOワン

ショット回路340に入力してもよい。

[0161] 図16に示すように、遅延回路321及びMOワンショット回路340にトリガ信号が入力されると、MOワンショット回路340及びワンショット回路350、351、352、・・・、35k、・・・、35nより、順次パルス信号が出力されてもよい。

[0162] MO110は、MOワンショット回路340からのパルス信号が入力されることにより、パルス幅が10～20nsのパルスレーザ光を出射してもよい。光アイソレータ180、181、182、・・・、18k、・・・、18nは、ワンショット回路350、351、352、・・・、35k、・・・、35nからのパルス信号が入力されることにより、30～100nsの間オン状態となるように設定してもよい。

[0163] 遅延回路321は、図16に示されるように、入力したトリガ信号に対して遅延したパルス信号が、MOワンショット回路340及びワンショット回路350、351、352、・・・、35k、・・・、35nから出力されるように設定されていてもよい。各々のワンショット回路350、351、352、・・・、35k、・・・、35nからは、パルスレーザ光のパルス幅よりも長いパルス幅、例えば、30～100nsのパルス幅のパルス信号が出力されるように設定してもよい。

[0164] これにより、パルスレーザ光が各々の光アイソレータ180、181、182、・・・、18k、・・・、18nを通過する直前に、パルスレーザ光が通過可能な状態となり、パルスレーザ光を通過した後は、光の通過を抑制する状態となり得る。

[0165] これにより、光アイソレータ18k等は、パルスレーザ光が通過するときのみ、光を通過させるため、10.57 μ mの波長帯の自励発振を抑制し、シード光となるパルスレーザ光を増幅し得る。さらに、チャンバ2内のプラズマ生成領域25におけるターゲットに照射されたパルスレーザ光の反射光を抑制し得る。

[0166] 6.4.4 作用

開示のレーザ装置では、シード光となるパルスレーザ光がＥＯポッケルスセル１８ｋ等を通過する際に、ＥＯポッケルスセル１８ｋ等がオン状態となるため、波長１０．５９μｍ波長帯を含むＡＳＥ光の自励発振を抑制し、パルスレーザ光を増幅し得る。

[0167] ７．偏光子

開示のレーザ装置の光アイソレータにおける偏光子４１ｋ等、第１の偏光子８０ｋ等、第２の偏光子８１ｋ等は、透過型の偏光子７１０であってもよく、反射型の偏光子７２０であってもよい。図１７（ａ）には透過型の偏光子７１０を示し、図１７（ｂ）には反射型の偏光子７２０を示す。

[0168] 図１７（ａ）に示される透過型の偏光子７１０は、所定の波長の光を透過する基板７１０ａの表面に所定の分光特性を有する多層膜７１０ｂが形成されており、Ｓ偏光を高反射し、Ｐ偏光を高透過する偏光子であってもよい。基板７１０ａを形成している材料には、ＣＯ₂レーザ光を透過するＺｎＳｅ、ＧａＡｓ、ダイヤモンド等を含む基板であってもよい。

[0169] 図１７（ｂ）に示される反射型の偏光子７２０は、基板７２０ａの表面に所定の分光特性を有する多層膜７２０ｂが形成されており、Ｓ偏光を高反射し、Ｐ偏光を高吸収する偏光子であってもよい。反射型の偏光子７２０においては、基板７２０ａの裏面より冷却することができるため、反射されるレーザ光の波面収差が変化することを抑制し得る。

[0170] ８．波長フィルタ

開示のレーザ装置の光アイソレータにおける波長フィルタ４４ｋ等は、以下の構造であってもよい。

[0171] ８．１ 多層膜が成膜された波長フィルタ

波長フィルタ４４ｋ等は、図１８に示されるように、ＣＯ₂レーザ光を透過する基板８１０の表面に、波長選択透過膜８１１が成膜されている光学素子であってもよい。基板８１０は、ＺｎＳｅ、ＧａＡｓ、ダイヤモンド等により形成されていてもよい。波長フィルタ４４ｋ等は、レーザ装置内におけるパルスレーザ光の光路軸に対し、０°よりも大きな入射角度となる所定の入

射角度で設置されてもよい。波長選択透過膜 811 は、高屈折率材料と低屈折率材料とを交互に積層した多層膜により形成されていてもよい。高屈折率材料としては、ZnSe、ZnS等を用い、低屈折率材料としては、 ThF_4 、 PbF_2 等を用いてもよい。波長選択透過膜 811 は、所定の入射角度で設置した場合、MO110 から出射された波長 $10.59\ \mu\text{m}$ 帯のパルスレーザ光を高い透過率で透過し、波長 $9.27\ \mu\text{m}$ 帯、 $9.59\ \mu\text{m}$ 帯、 $10.24\ \mu\text{m}$ 帯の光を高い反射率で反射するように形成されていてもよい。図 19 は、図 5 に示される波長フィルタに入射する光の入射角度が 5° となるように設置した場合における反射率特性を示す。

[0172] 8. 2 複数の偏光子を用いた波長フィルタ

波長フィルタ 44k 等は、図 20 に示されるように、複数の反射型の偏光子を用いたものであってもよい。具体的には、第 1 の反射型偏光子 821、第 2 の反射型偏光子 822、第 3 の反射型偏光子 823、第 4 の反射型偏光子 824、第 5 の反射型偏光子 825、第 6 の反射型偏光子 826 を用いた光学系であってもよい。第 1 の反射型偏光子 821 及び第 2 の反射型偏光子 822 は、入射した $9.29\ \mu\text{m}$ 帯の P 偏光を高吸収し、S 偏光を高反射する偏光子であってもよい。第 3 の反射型偏光子 823 及び第 4 の反射型偏光子 824 は、入射した $9.59\ \mu\text{m}$ 帯の P 偏光を高吸収し、S 偏光を高反射する偏光子であってもよい。第 5 の反射型偏光子 825 及び第 6 の反射型偏光子 826 は、入射した $10.24\ \mu\text{m}$ 帯の P 偏光を高吸収し、S 偏光を高反射する偏光子であってもよい。

[0173] 第 2 の反射型偏光子 822 は、第 1 の反射型偏光子 821 において反射された $9.29\ \mu\text{m}$ 帯の光が P 偏光として入射するように設置されていてもよい。即ち、第 1 の反射型偏光子 821 と第 2 の反射型偏光子 822 とが、いわゆるクロスニコルとなるように配置してもよい。第 4 の反射型偏光子 824 は、第 3 の反射型偏光子 823 において反射された $9.59\ \mu\text{m}$ 帯の光が P 偏光として入射するように設置されていてもよい。即ち、第 3 の反射型偏光子 823 と第 4 の反射型偏光子 824 とが、いわゆるクロスニコルとなる

ように配置してもよい。第6の反射型偏光子826は、第5の反射型偏光子825において反射された10.24 μm 帯の光がP偏光として入射するように設置されていてもよい。即ち、第5の反射型偏光子825と第6の反射型偏光子826とが、いわゆるクロスニコルとなるように配置してもよい。

[0174] 第1の反射型偏光子821、第2の反射型偏光子822、第3の反射型偏光子823、第4の反射型偏光子824、第5の反射型偏光子825及び第6の反射型偏光子826は、P偏光の光を吸収することにより発熱する。このため、不図示の冷却機構等により冷却してもよい。この冷却機構は、例えば、冷却水を流すことのできる冷却配管等であってもよい。

[0175] 従って、第1の反射型偏光子821と第2の反射型偏光子822とにより9.29 μm 帯の光が吸収されてもよい。第3の反射型偏光子823と第4の反射型偏光子824とにより9.59 μm 帯の光が吸収され得る。第5の反射型偏光子825と第6の反射型偏光子826とにより10.24 μm 帯の光が吸収され得る。これにより、図20に示される波長フィルタにより、9.29 μm 帯、9.59 μm 帯、10.24 μm 帯の光が吸収され、波長10.59 μm 帯のパルスレーザ光が出射し得る。図21は、9.29 μm 帯、9.59 μm 帯、10.24 μm 帯、10.59 μm 帯用の偏光子において、入射角度45°で光を入射させた場合のP偏光及びS偏光の反射率特性を示す。

[0176] 8.3 エタロンを用いた波長フィルタ

波長フィルタ44k等は、図22に示されるように、エタロンを用いた波長フィルタであってもよい。具体的には、ZnSe等により形成された2枚の基板831、832の一方の面に各々部分反射膜831a、831bを形成し、部分反射膜831a、832aの形成されている面同士を対向させ、スペーサ833を介して貼り合せたエタロンであってもよい。この際形成される部分反射膜831a、832aの反射率は、反射率が70～90%であってもよい。

[0177] 波長フィルタに用いられるエタロンは、FSR (free spectral range)

が、1.5 μm 以上のエアギャップエタロンが好ましい。このようなエタロンとしては、例えば、パルスレーザ光の波長 λ が10.59 μm 、窒素ガスの屈折率 $n = 1.000$ と仮定した場合、下記の(1)に示される式より、基板831と基板832の間隔 d が、約37.4 μm となるように形成されていてもよい。

[0178]

$$FSR = \lambda^2 / (2nd) = 1.5 \mu\text{m} \quad (1)$$

[0179] この波長フィルタでは、エタロンに入射する光の入射角度を変化させることにより、選択波長を変化させることができるため、波長フィルタの選択波長は、入射する光の入射角度を変化させることにより調節することができる。図23は、図22に示される波長フィルタの透過率特性を示す。

[0180] 8.4 グレーティングとスリットを含む波長フィルタ

波長フィルタ44k等は、図24に示されるように、グレーティング841とスリット842aが形成されたスリット板842を含んでもよい。グレーティング841は透過型のグレーティングであってもよい。スリット板842は、グレーティング841を透過した波長10.59 μm 帯の1次回折光はスリット842aを透過し、波長9.27 μm 帯、9.59 μm 帯、10.24 μm 帯のASE光はスリット板842により遮蔽されるように配置してもよい。図25は、図24に示される波長フィルタの透過率特性を示す。

[0181] 9. リターダ

開示のレーザ装置における第1のリターダ43k等及び第2のリターダ42k等は、 $\lambda/4$ 波長板等の透過型のリターダであってもよく、図26に示される反射型のリターダであってもよい。図26に示される反射型のリターダは、基板851の表面852に対し45°の角度で直線偏光の光を入射させると、円偏光となって反射されるリターダであってもよい。

[0182] また、第3のリターダ82k等は、 $\lambda/2$ 波長板等の透過型のリターダで

あってもよく、図26に示されるものと同様の反射型のリターダであってもよい。この場合の反射型のリターダでは、基板851の表面852に対し45°の角度で直線偏光の光を入射させると、入射した直線偏光の方向に対して、90°回転した直線偏光となって反射され得る。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。

[0183] 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不定冠詞「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。

[0184] 本国際出願は、2013年1月31日に提出された日本国特許出願2013-017272号に基づく優先権を主張するものであり、日本国特許出願2013-017272号の全内容を本国際出願に援用する。

符号の説明

- [0185]
- | | |
|-----|-----------|
| 1 | EUV光生成装置 |
| 2 | チャンバ |
| 3 | レーザ装置 |
| 4 | ターゲットセンサ |
| 5 | EUV光生成制御部 |
| 6 | 露光装置 |
| 13 | アパーチャ |
| 13a | 開口部 |
| 21 | ウインドウ |
| 22 | レーザ光集光ミラー |
| 22a | レーザ光集光光学系 |

2 3	E U V 集光ミラー
2 4	貫通孔
2 5	プラズマ生成領域
2 6	ターゲット生成部
2 7	ターゲット
2 8	ターゲット回収部
2 9	接続部
3 1	パルスレーザ光
3 2	パルスレーザ光
3 3	パルスレーザ光
3 4	レーザ光進行方向制御部
1 1 0	M O
1 2 1 ~ 1 2 n	増幅器
1 4 0 ~ 1 4 n	光アイソレータ
1 5 0 ~ 1 5 n	光アイソレータ
1 6 0 ~ 1 6 n	光アイソレータ
1 7 0 ~ 1 7 n	光アイソレータ
1 8 0 ~ 1 8 n	光アイソレータ
2 5 1	放射光
2 5 2	反射光
2 9 1	壁
2 9 2	中間集光点(I F)
3 1 0	レーザ制御部
3 2 0	制御回路
3 3 0	E U V 光生成装置制御部
3 4 0	M O ワンショット回路
3 5 0 ~ 3 5 n	ワンショット回路
4 1 0 ~ 4 1 n	偏光子

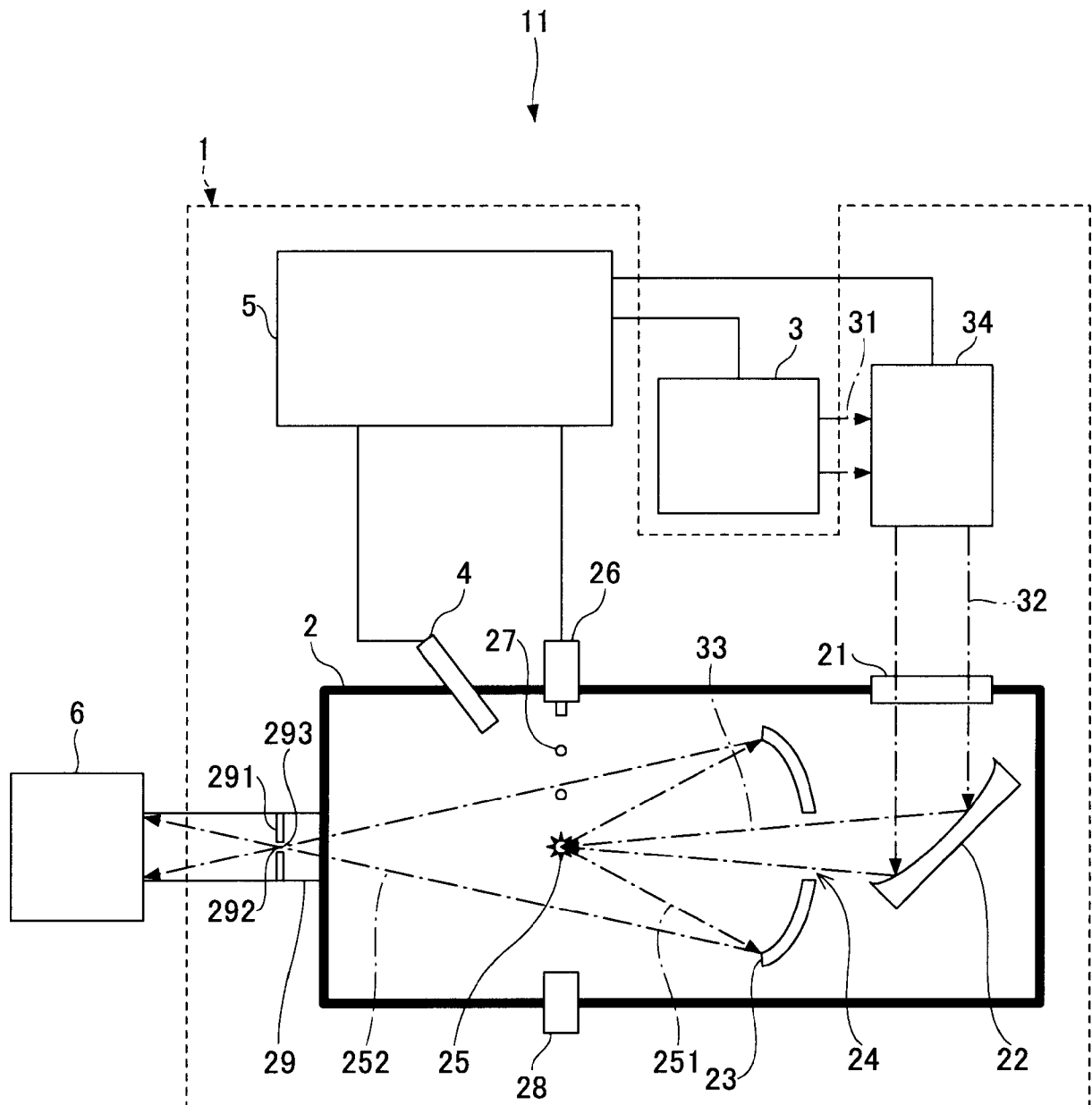
4 2 0 ~ 4 2 n	第 2 のリターダ
4 3 0 ~ 4 3 n	第 1 のリターダ
4 4 k - 1、4 4 k	波長フィルタ
4 5 k - 1、4 5 k	空間フィルタ
4 5 0 a	空間フィルタ
4 6 k - 1、4 6 k	可飽和吸収ガスセル
8 0 k - 1、8 0 k	第 1 の偏光子
8 1 k - 1、8 1 k	第 2 の偏光子
8 2 k - 1、8 2 k	第 2 のリターダ
8 3 k - 1、8 3 k	E O ポッケルスセル

請求の範囲

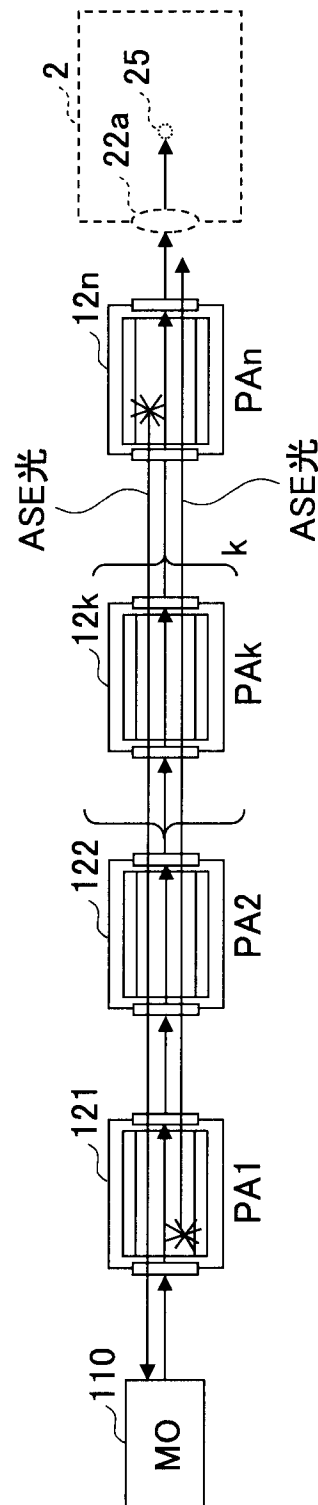
- [請求項1] パルスレーザ光を出射するマスターオシレータと、
前記パルスレーザ光の光路上に配置された前記パルスレーザ光を増幅する2以上の増幅器と、
前記パルスレーザ光の光路上における隣り合う前記増幅器の間に配置され、前記増幅器から前記マスターオシレータが設けられている側に進行する光の透過を抑制する光アイソレータと、
を備えるレーザ装置。
- [請求項2] 前記増幅器は、CO₂レーザガスを含むガスを媒質とする請求項1に記載のレーザ装置。
- [請求項3] 前記光アイソレータのうち、最もマスターオシレータの側に近い位置に設置される光アイソレータは、
偏光子と位相差が1/4波長となるリターダとを備える請求項1に記載のレーザ装置。
- [請求項4] 前記光アイソレータは複数設けられており、前記光アイソレータのうちのいずれかの光アイソレータは、
第1のリターダ、偏光子、第2のリターダを備える請求項1に記載のレーザ装置。
- [請求項5] 前記光アイソレータは、前記パルスレーザ光の波長の光を透過し、前記パルスレーザ光の波長を除く波長の光の透過を抑制する波長フィルタを備える請求項4に記載のレーザ装置。
- [請求項6] 前記光アイソレータは、前記パルスレーザ光を透過し、前記増幅器において発生したASE光の透過を抑制する空間フィルタを備える請求項4に記載のレーザ装置。
- [請求項7] 前記光アイソレータは、所定のエネルギーの値以上の前記パルスレーザ光を透過し、前記増幅器において発生した所定のエネルギー以下の光の透過を抑制する可飽和吸収ガスセルを備える請求項4に記載のレーザ装置。

- [請求項8] 前記偏光子は、第2の偏光子であって、
前記光アイソレータは、位相差が $1/2$ 波長となる第3のリターダ、位相差が $1/4$ 波長となる第1の偏光子、E Oポッケルスセルを備える請求項4に記載のレーザ装置。
- [請求項9] 前記E Oポッケルスセルは、前記パルスレーザ光が前記E Oポッケルスセルを通過するタイミングで、前記パルスレーザ光の位相差を変化させる請求項8に記載のレーザ装置。
- [請求項10] 請求項1に記載のレーザ装置と、
チャンバと、
前記チャンバ内にターゲットを供給するターゲット生成部と、
前記レーザ装置から出射されたパルスレーザ光を前記チャンバ内における前記ターゲットに照射するため集光する集光光学素系と、
を備える極端紫外光生成装置。

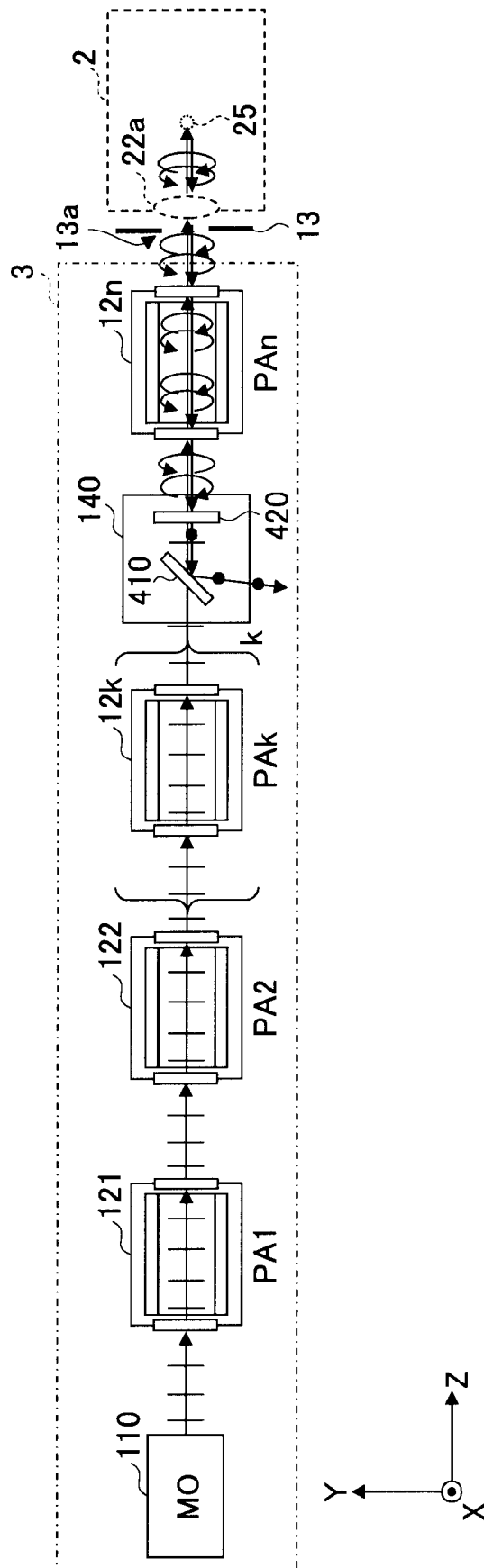
[図1]



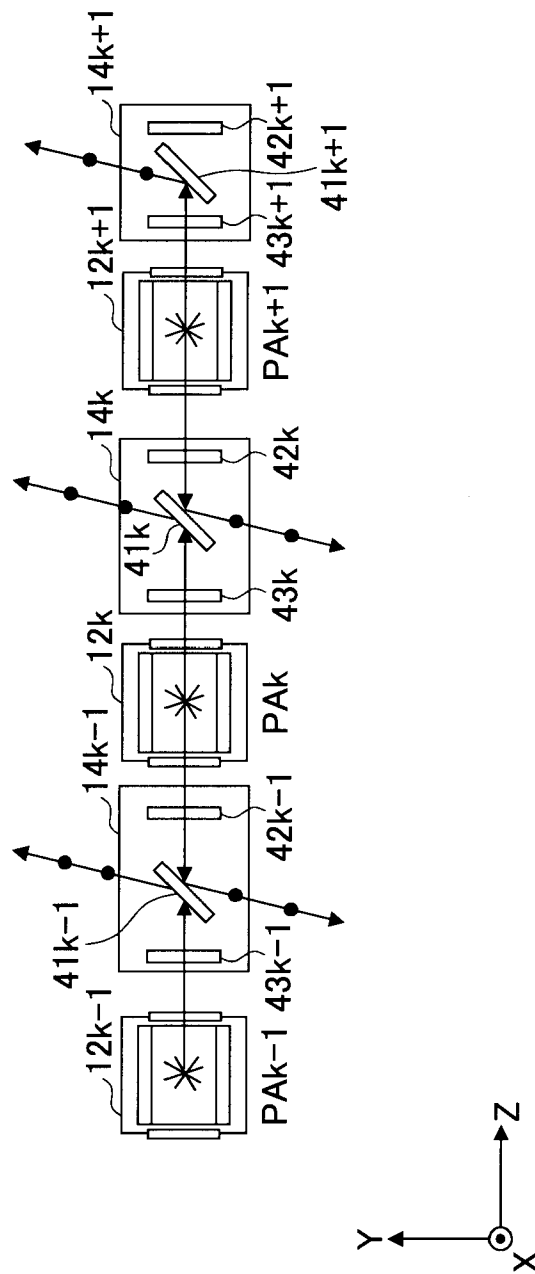
[図2]



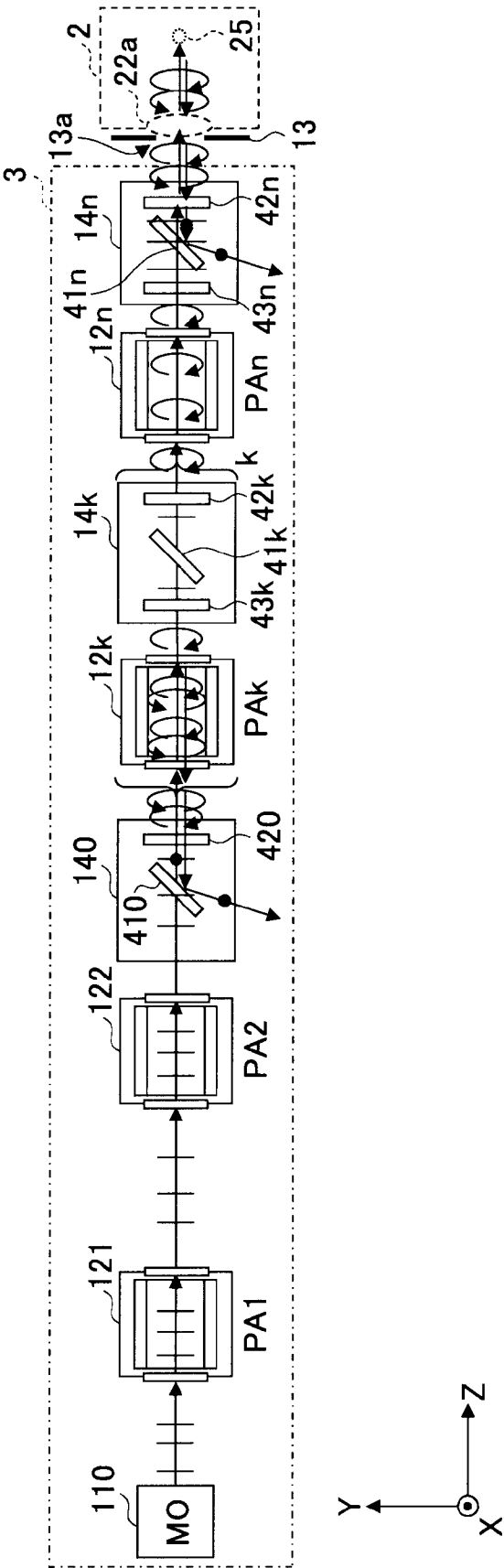
[図3]



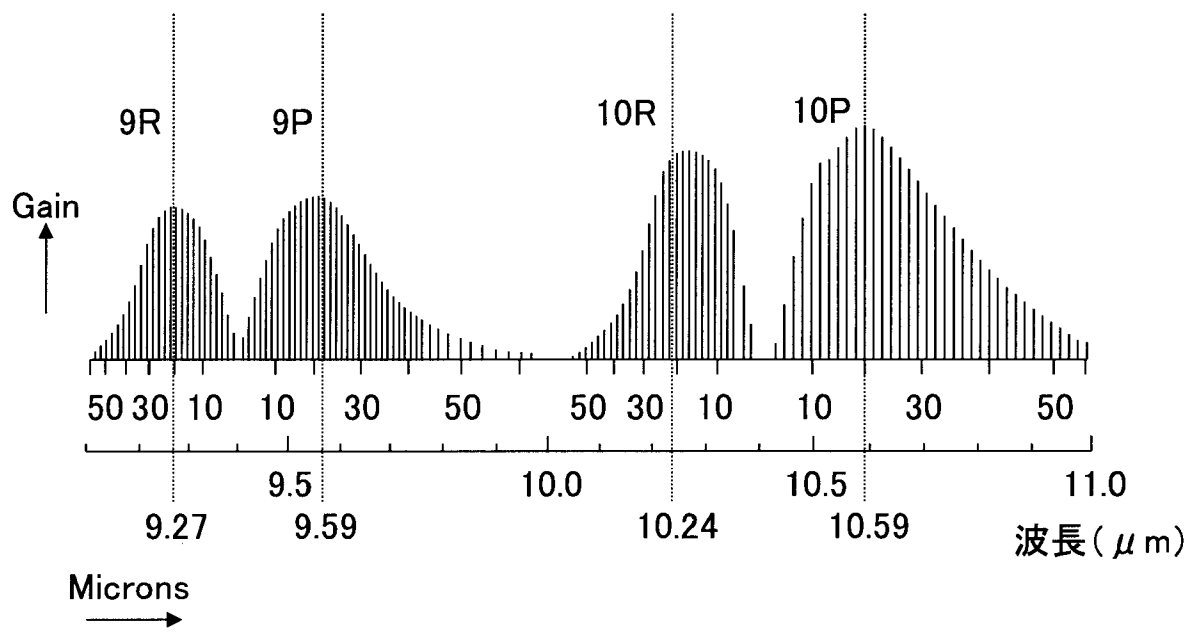
[図5]



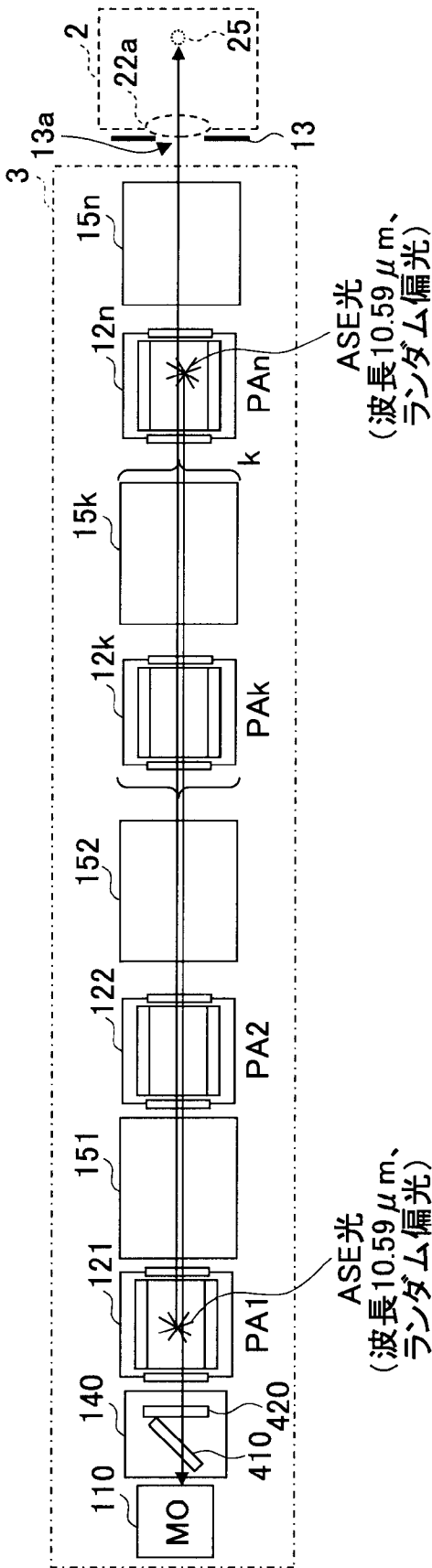
[図6]



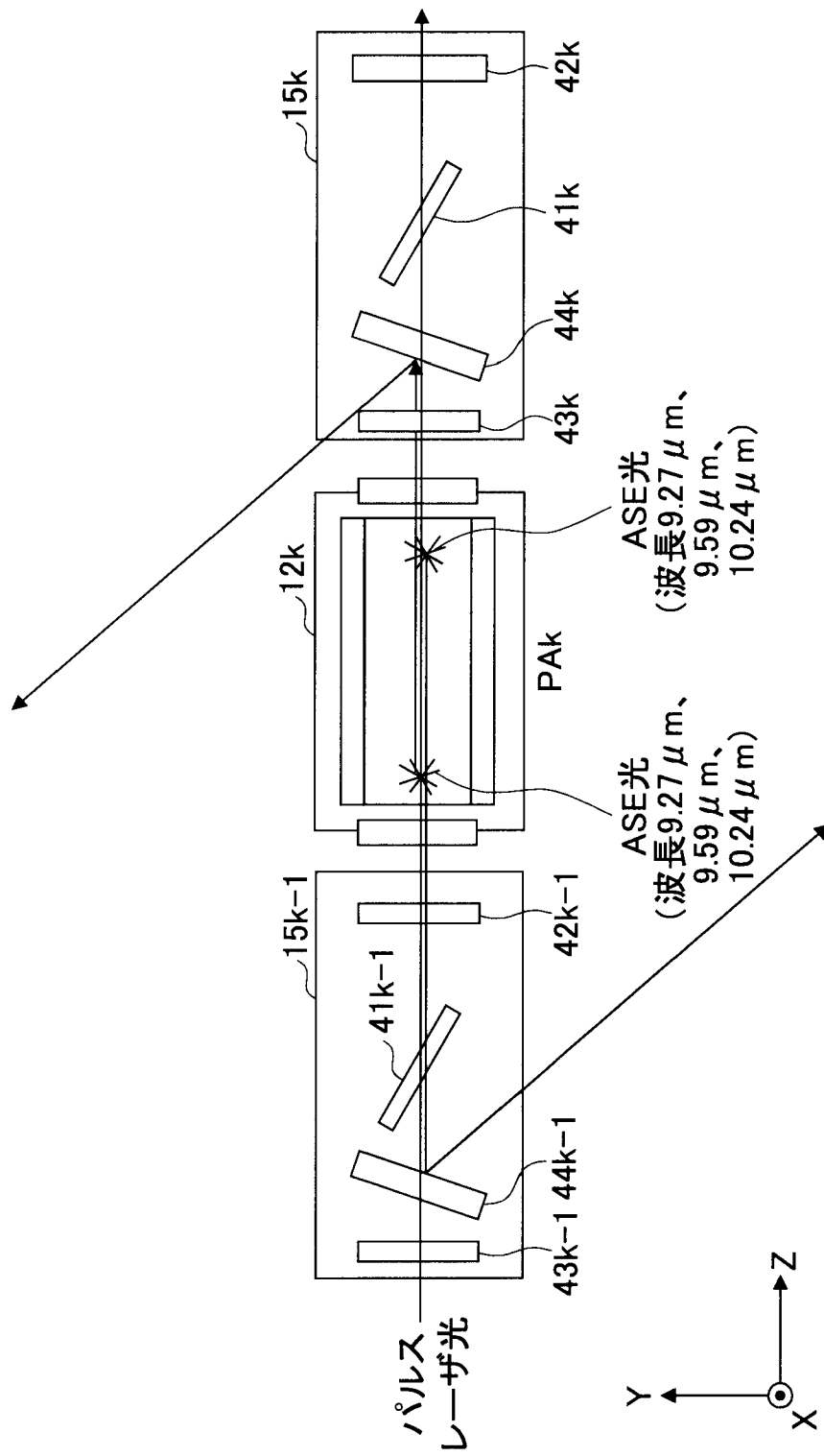
[図7]



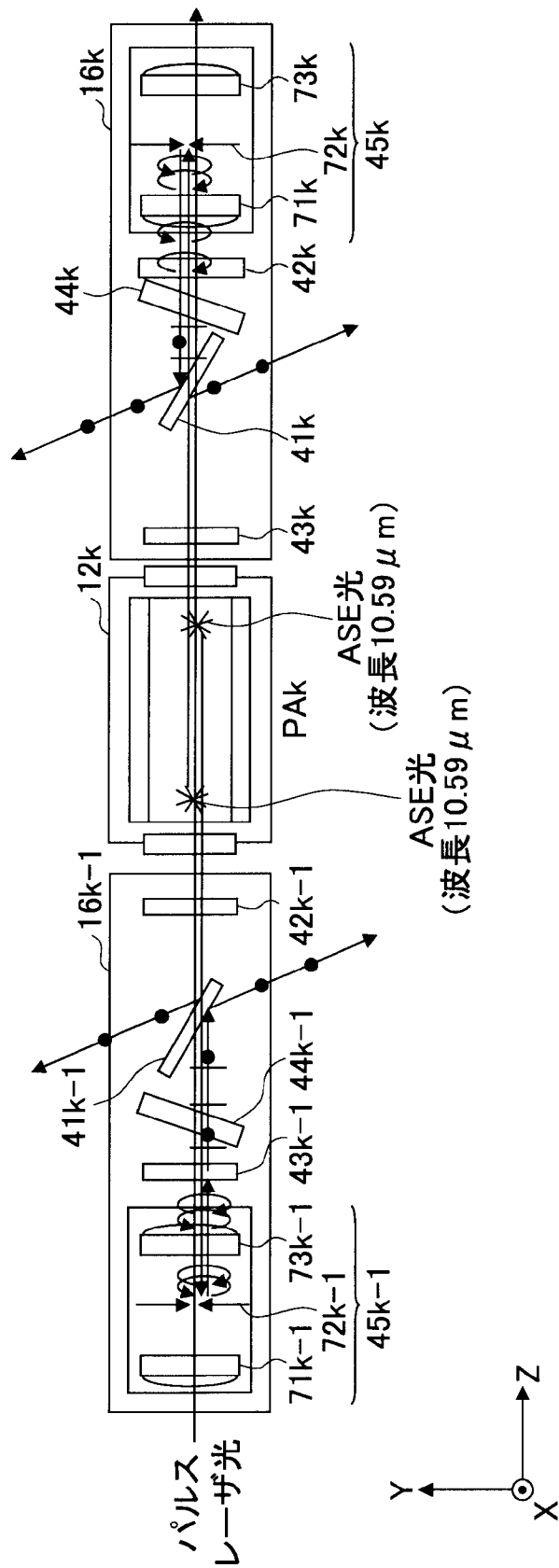
[図8]



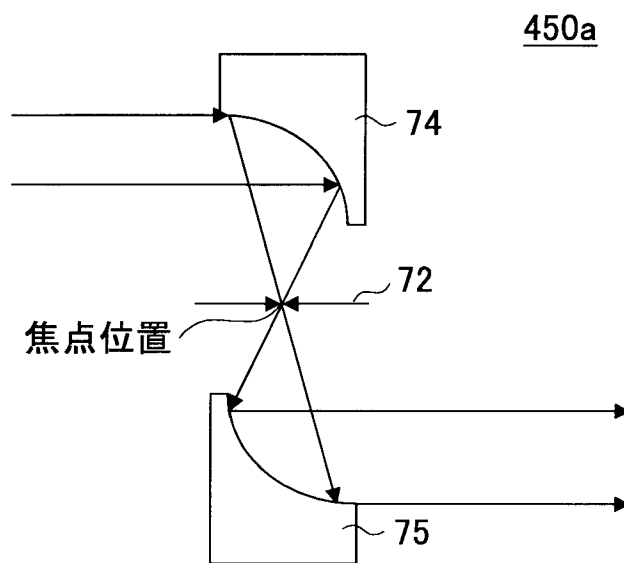
[図9]



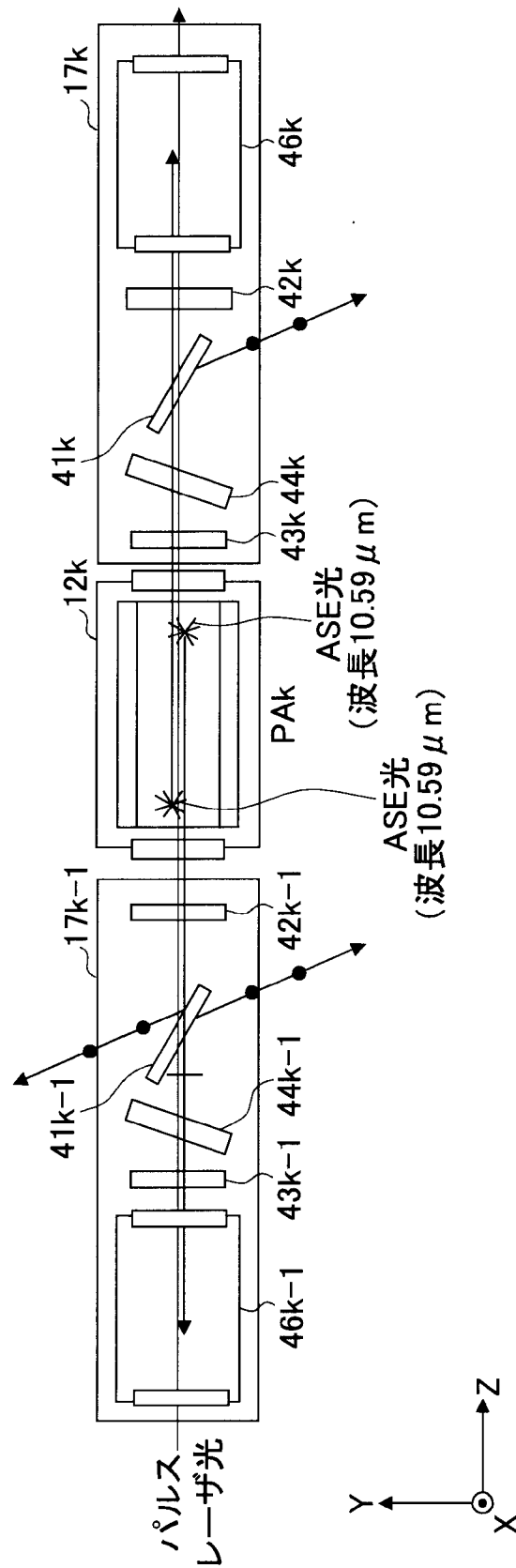
[図10]



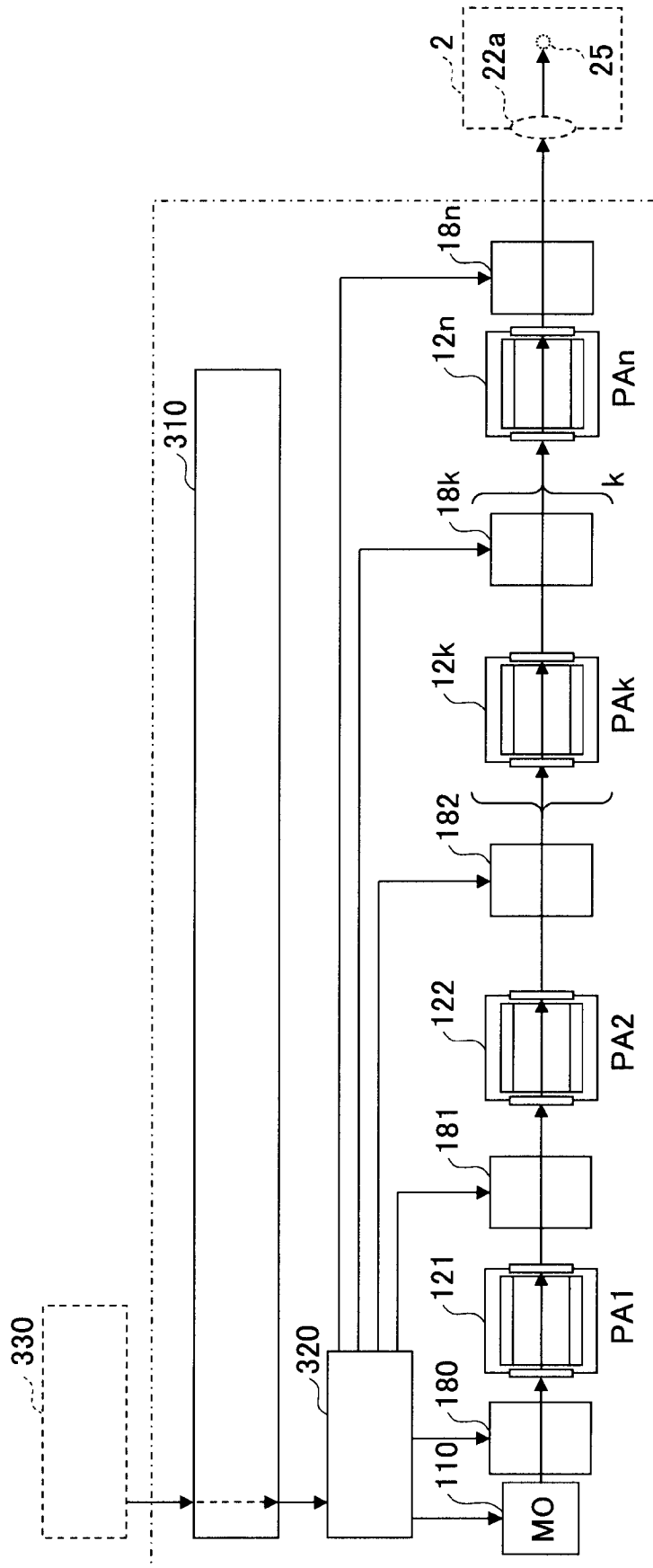
[図11]



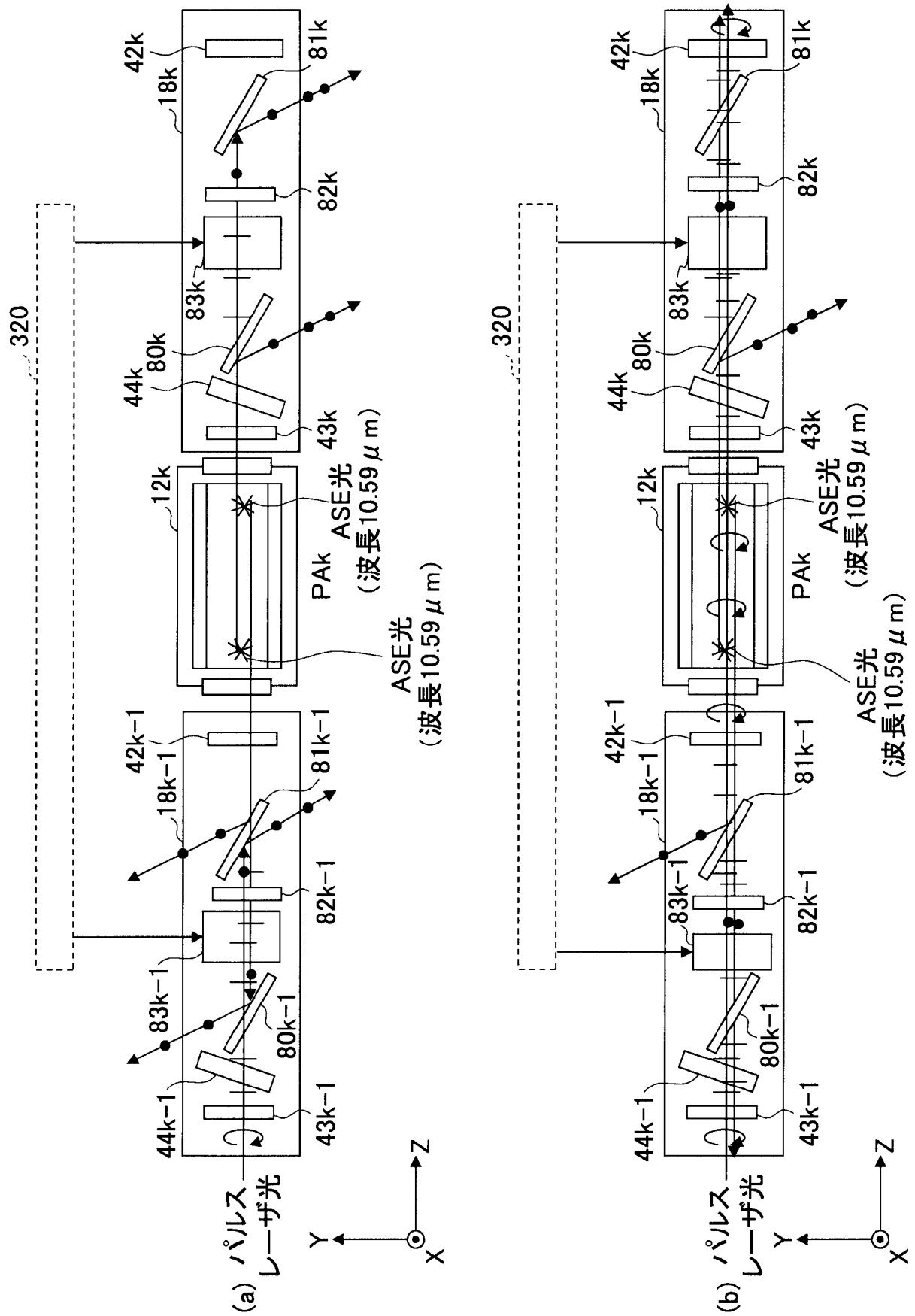
[図12]



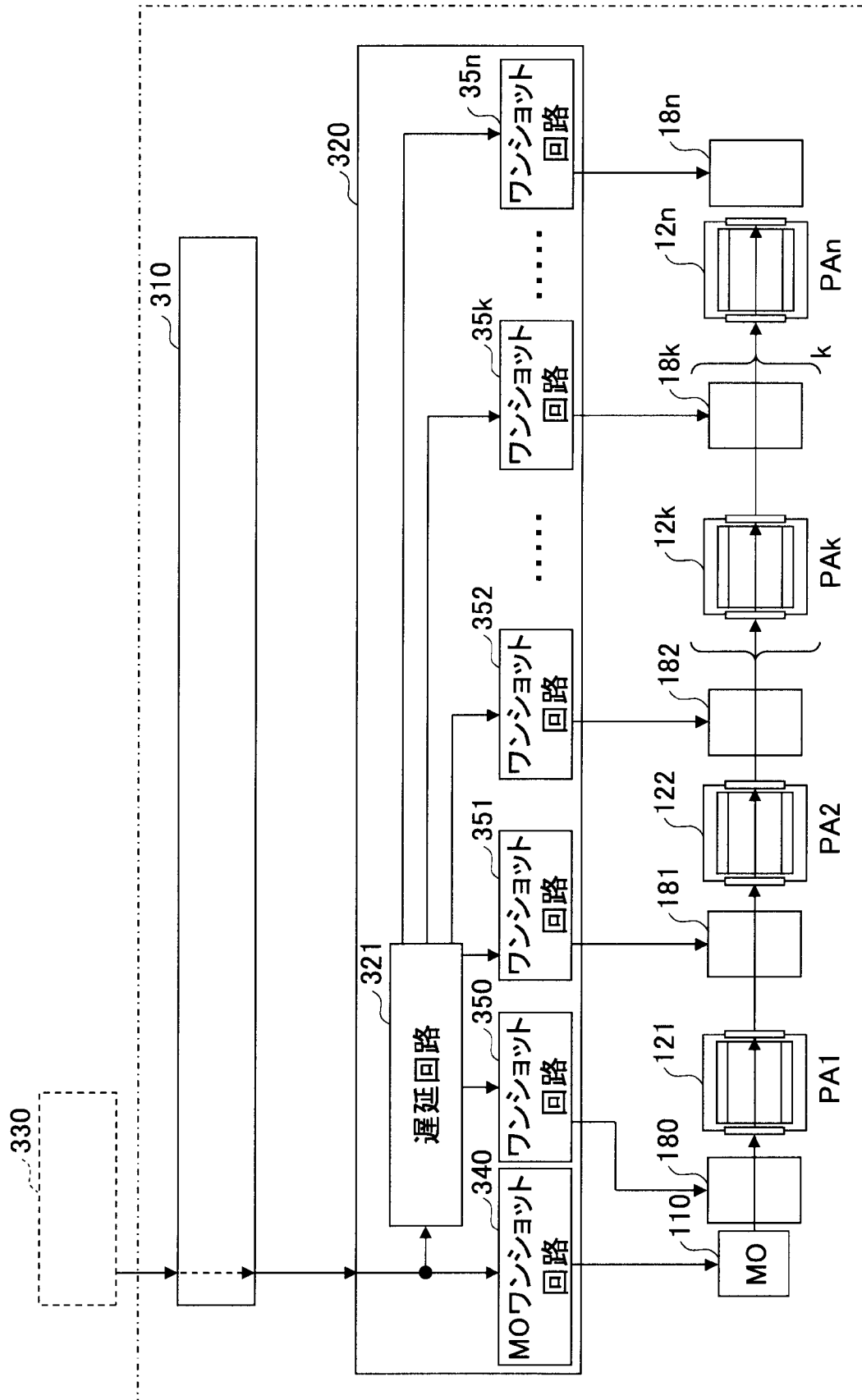
[図13]



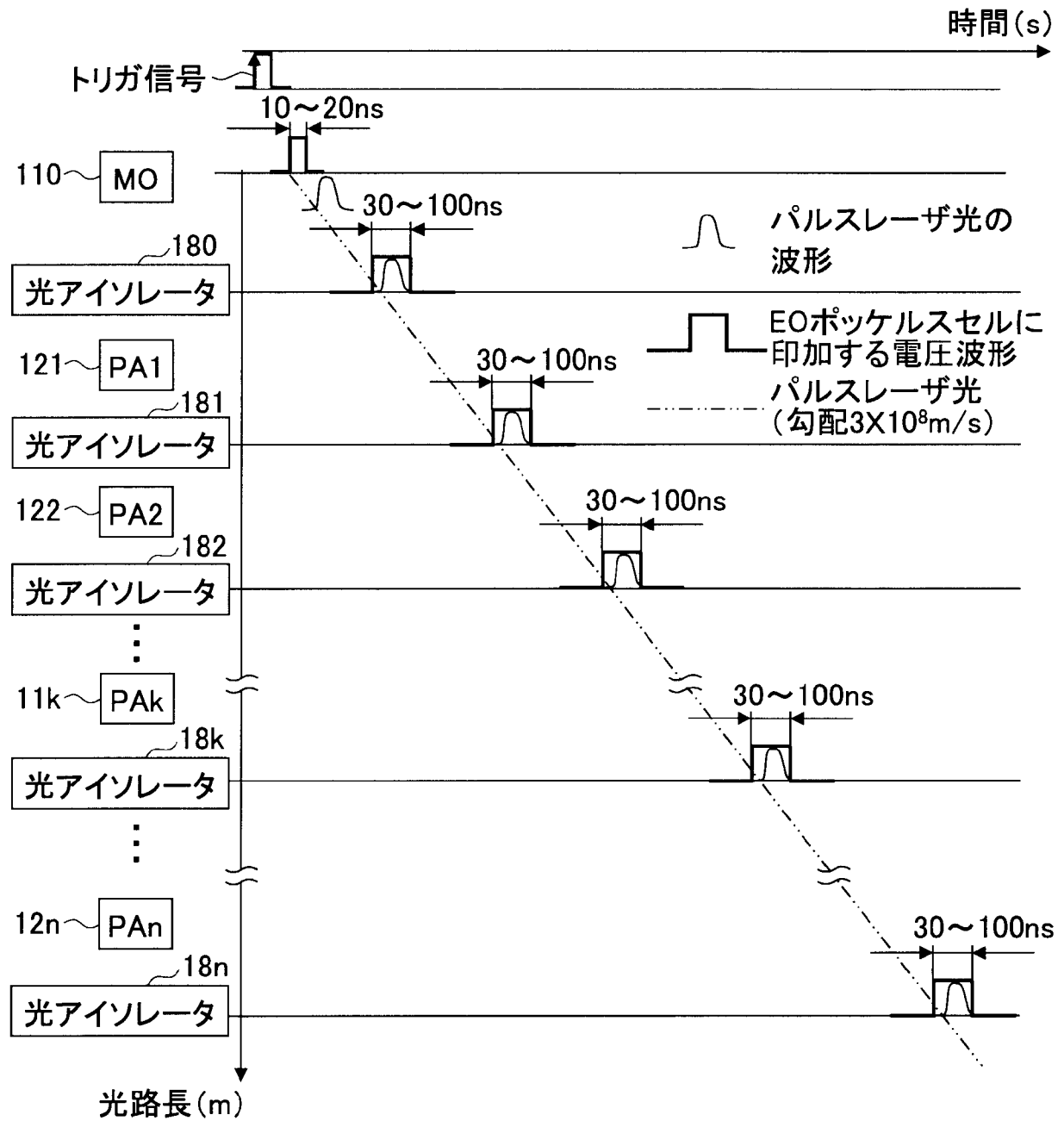
[図14]



[図15]

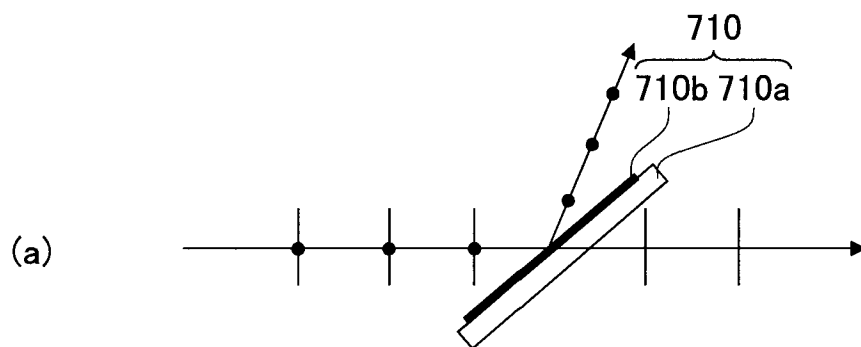


[図16]

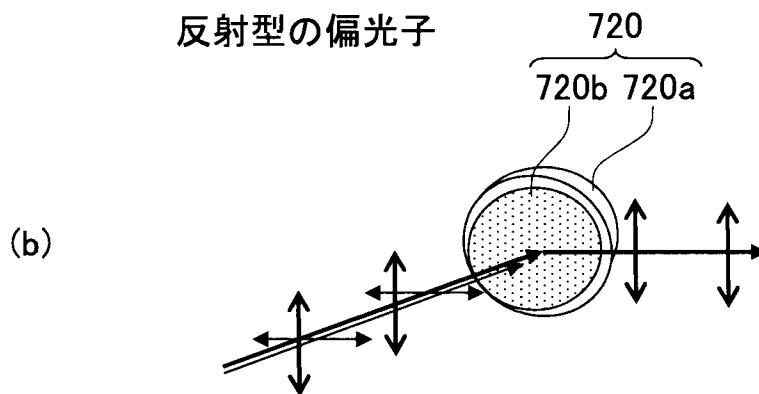


[図17]

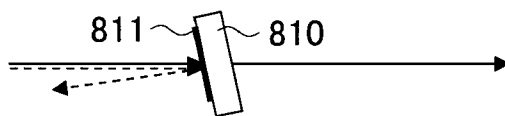
透過型の偏光子



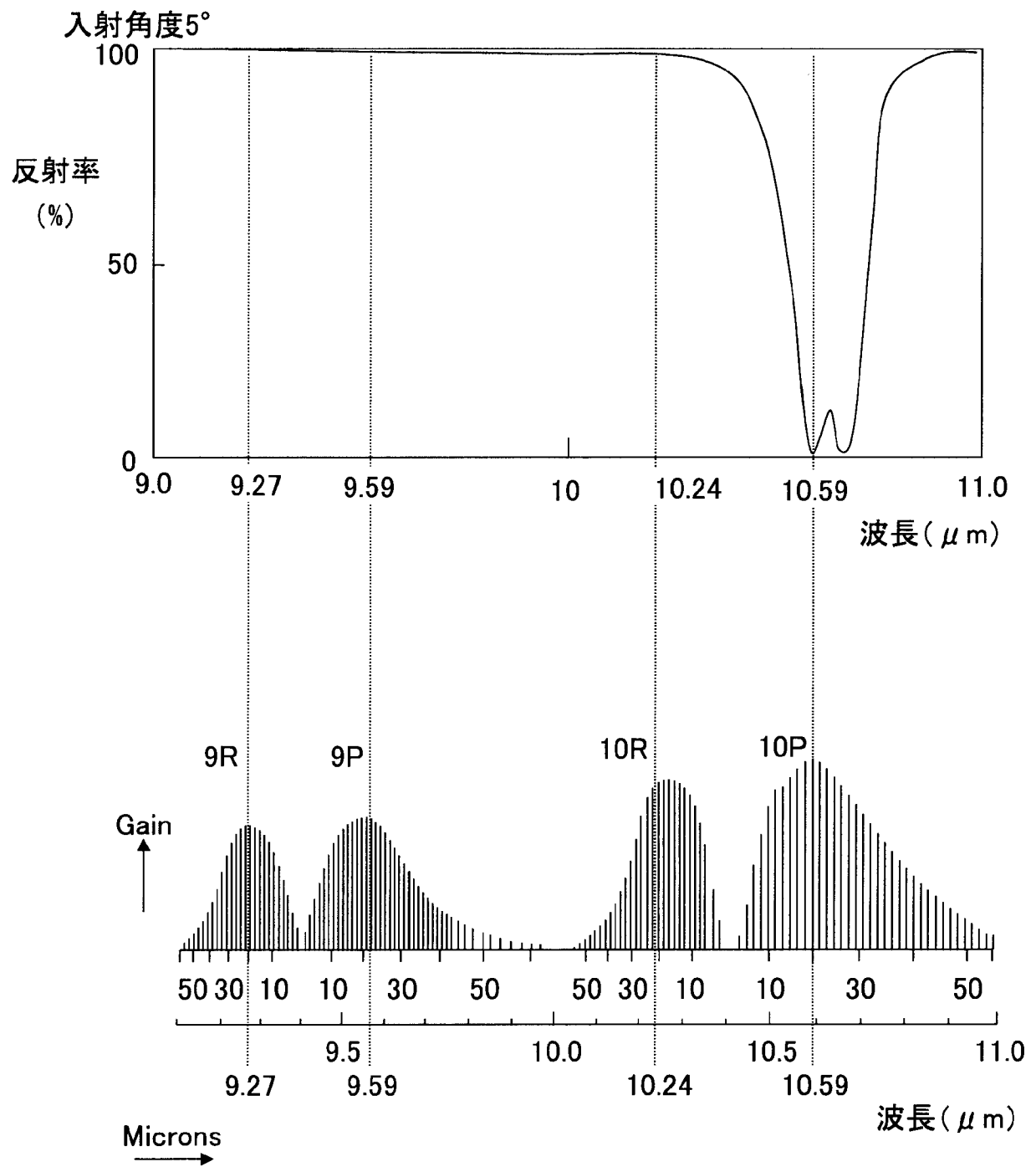
反射型の偏光子



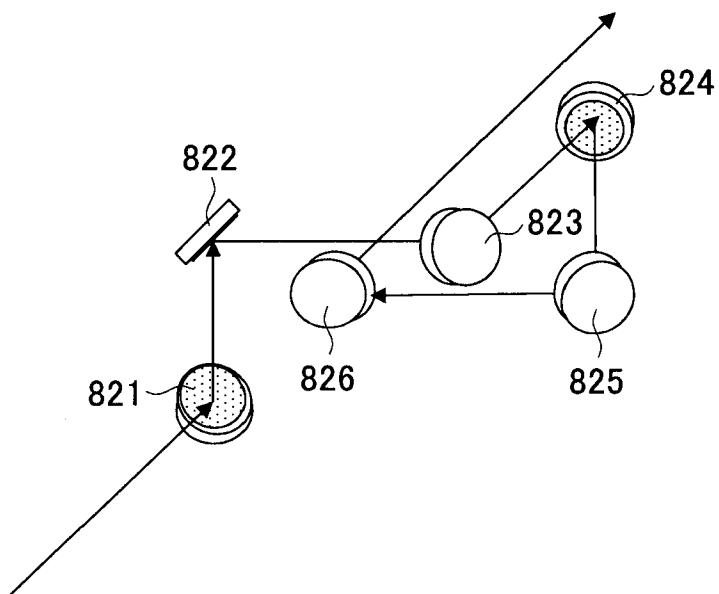
[図18]



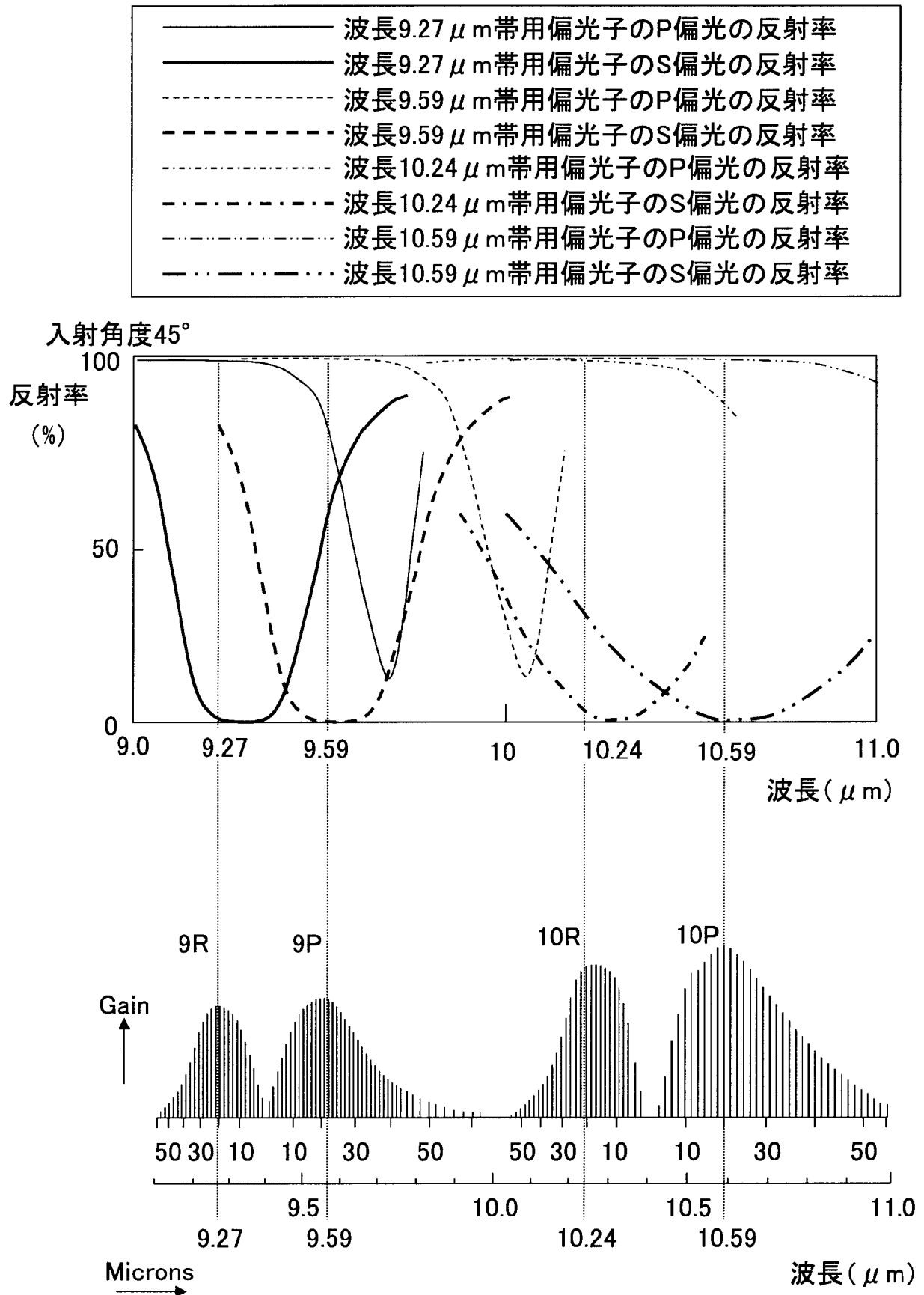
[図19]



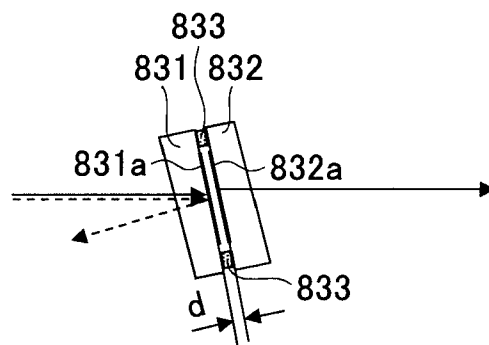
[図20]



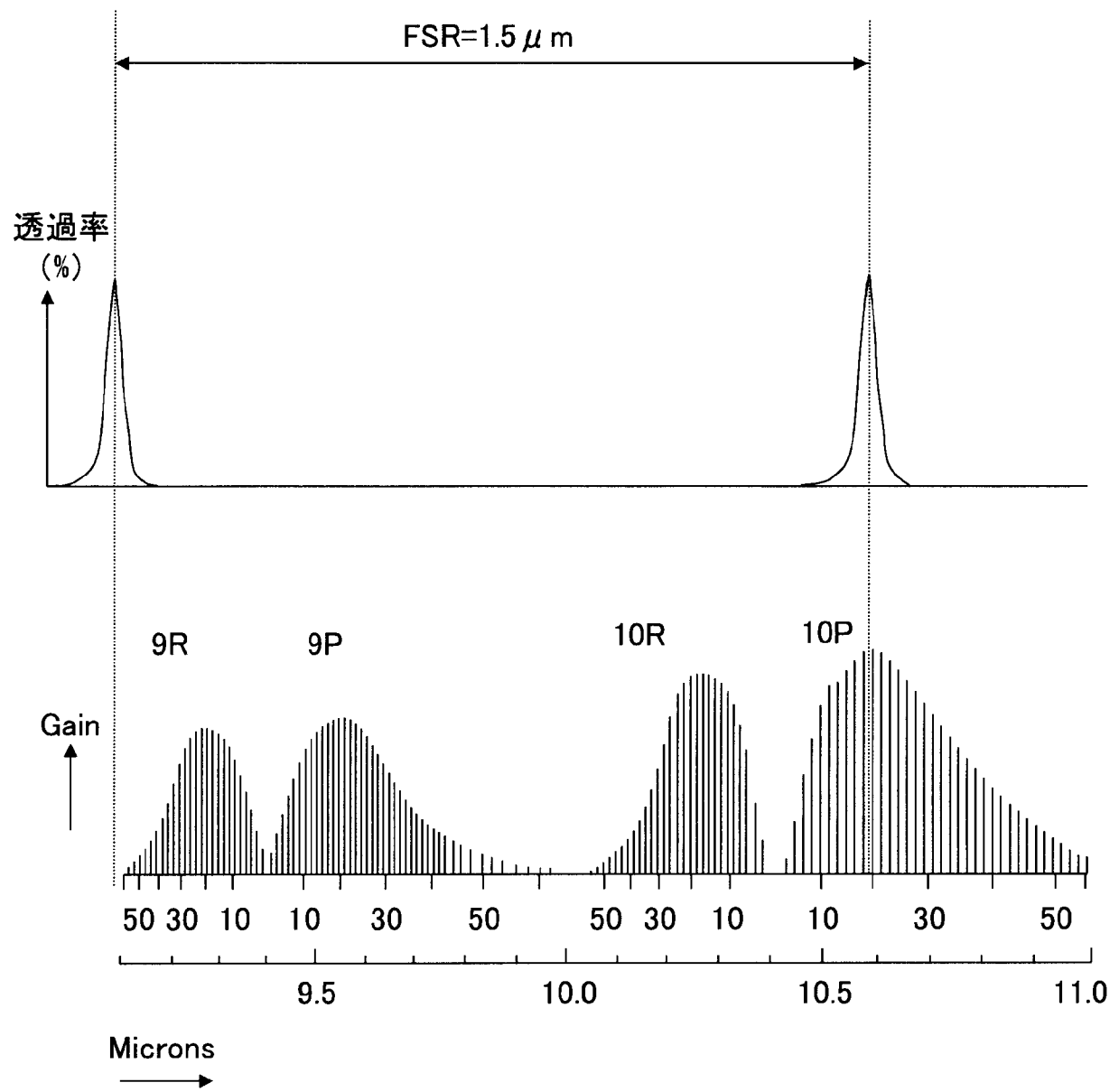
[図21]



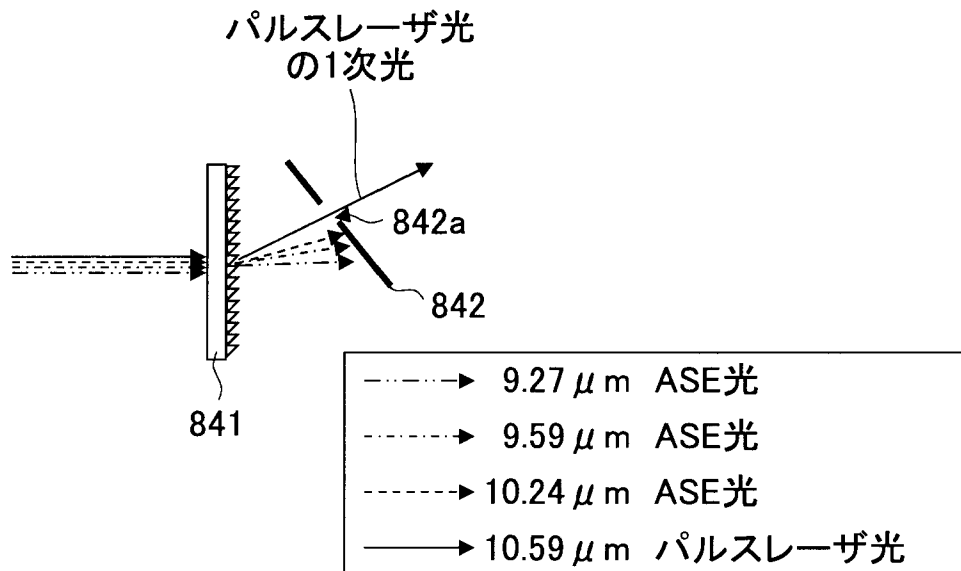
[図22]



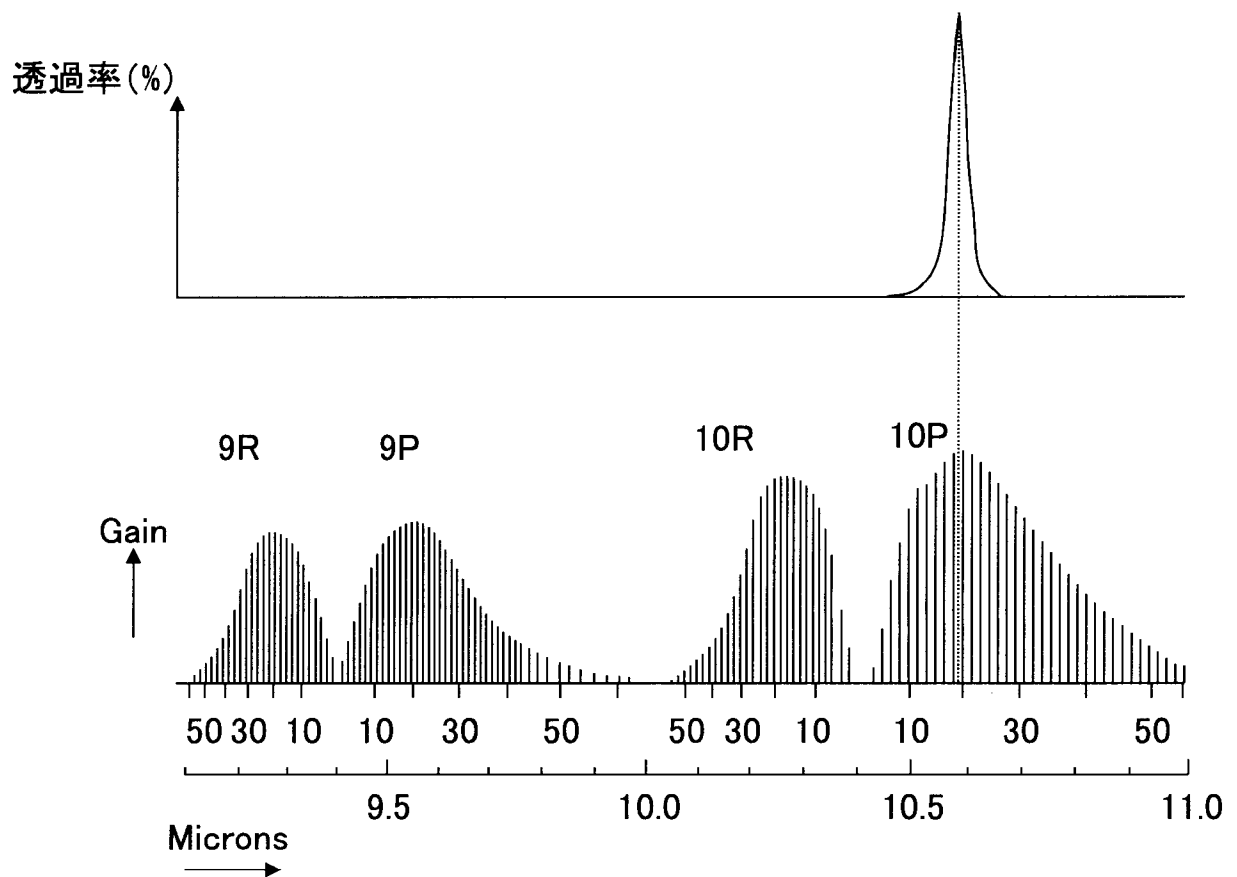
[図23]



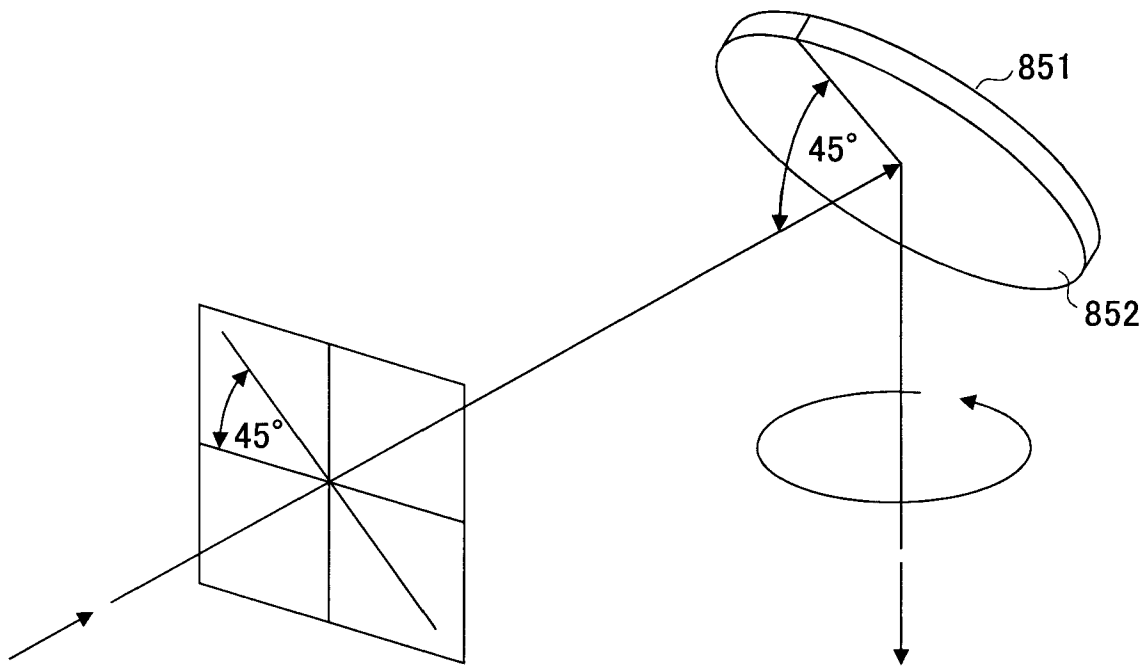
[図24]



[図25]



[図26]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/084697

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S3/10(2006.01)i, H01S3/00(2006.01)i, H01S3/23(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)

H01S3/00-3/30

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 2009-246345 A (Komatsu Ltd.), 22 October 2009 (22.10.2009), abstract; claims; paragraph [0028]; all drawings & US 2009/0232171 A1 & US 2011/0261844 A1 & DE 102009012106 A	1-4, 6-7, 10 5, 8-9
X Y	WO 2012/085638 A2 (GIGAPHOTON INC.), 28 June 2012 (28.06.2012), abstract; claims; paragraph [0192]; all drawings & JP 2013-65804 A & US 2013/0032735 A1	1-2, 10 8-9

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
20 March, 2014 (20.03.14)

Date of mailing of the international search report
01 April, 2014 (01.04.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/084697

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2001-353176 A (Nikon Corp.), 25 December 2001 (25.12.2001), paragraphs [0039] to [0040]; fig. 2 & US 2003/0065312 A1 & EP 1281378 A1 & WO 2001/078632 A1 & TW 570787 B & CN 1419432 A	1 5
Y	JP 2000-357836 A (Komatsu Ltd.), 26 December 2000 (26.12.2000), paragraphs [0137] to [0143]; fig. 7 & US 6594291 B1	5
A	JP 2010-171375 A (Gigaphoton Inc.), 05 August 2010 (05.08.2010), paragraphs [0069] to [0072]; fig. 13 & US 2010/0193710 A1 & DE 102009045703 A	1-10
A	JP 2008-85292 A (Komatsu Ltd.), 10 April 2008 (10.04.2008), abstract; all drawings & JP 2012-89883 A & US 2008/0069157 A1 & US 2011/0211601 A1	1-10
A	WO 2012/114178 A2 (GIGAPHOTON INC.), 30 August 2012 (30.08.2012), abstract; all drawings & JP 2012-175006 A & US 2013/0208742 A1	1-10
A	US 2004/0202220 A1 (Gongxue Hua), 14 October 2004 (14.10.2004), abstract; all drawings & US 2006/0171439 A1 & US 2004/0179571 A1	1-10
A	US 2006/0007978 A1 (Sergei V. Govorkov), 12 January 2006 (12.01.2006), abstract; all drawings & US 2008/0291962 A1 & US 2010/0309945 A1	1-10

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01S3/10(2006.01)i, H01S3/00(2006.01)i, H01S3/23(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. H01S3/00-3/30

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 2009-246345 A（株式会社小松製作所）2009.10.22, 要約, 特許請求の範囲, 段落 2 8, 全図 & US 2009/0232171 A1 & US 2011/0261844 A1 & DE 102009012106 A	1-4, 6-7, 10 5, 8-9
X Y	WO 2012/085638 A2（GIGAPHOTON INC.）2012.06.28, 要約, 特許請求の範囲, 段落 1 9 2, 全図 & JP 2013-65804 A & US 2013/0032735 A1	1-2, 10 8-9

☒ 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 0 . 0 3 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

0 1 . 0 4 . 2 0 1 4

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官（権限のある職員）

古田 敦浩

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 4

2 X

3 0 1 3

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
X Y	JP 2001-353176 A (株式会社ニコン) 2001.12.25, 段落 39-40, 図 2 & US 2003/0065312 A1 & EP 1281378 A1 & WO 2001/078632 A1 & TW 570787 B & CN 1419432 A	1 5
Y	JP 2000-357836 A (株式会社小松製作所) 2000.12.26, 段落 137-143, 図 7 & US 6594291 B1	5
A	JP 2010-171375 A (ギガフォトン株式会社) 2010.08.05, 段落 69-72, 図 13 & US 2010/0193710 A1 & DE 102009045703 A	1-10
A	JP 2008-85292 A (株式会社小松製作所) 2008.04.10, 要約, 全図 & JP 2012-89883 A & US 2008/0069157 A1 & US 2011/0211601 A1	1-10
A	WO 2012/114178 A2 (GIGAPHOTON INC.) 2012.08.30, 要約, 全図 & JP 2012-175006 A & US 2013/0208742 A1	1-10
A	US 2004/0202220 A1 (Gongxue Hua) 2004.10.14, 要約, 全図 & US 2006/0171439 A1 & US 2004/0179571 A1	1-10
A	US 2006/0007978 A1 (Sergei V. Govorkov) 2006.01.12, 要約, 全図 & US 2008/0291962 A1 & US 2010/0309945 A1	1-10