

(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
2015年3月12日(12.03.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/033426 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 3/23 (2006.01) *H01S 3/10* (2006.01)
H01L 21/027 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/073987
- (22) 国際出願日: 2013年9月5日(05.09.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: ギガフォトン株式会社 (GIGAPHOTON INC.) [JP/JP]; 〒3238558 栃木県小山市横倉新田 400 Tochigi (JP).
- (72) 発明者: 菅沼 崇 (SUGANUMA, Takashi); 〒3238558 栃木県小山市横倉新田 400 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP). 星野 秀往 (HOSHINO, Hideo); 〒3238558 栃木県小山市横倉新田 400 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人つばさ国際特許事務所 (TSUBASA PATENT PROFESSIONAL CORPORATION); 〒1600022 東京都新宿区新宿 1丁目 15番9号さわだビル3階 Tokyo (JP).

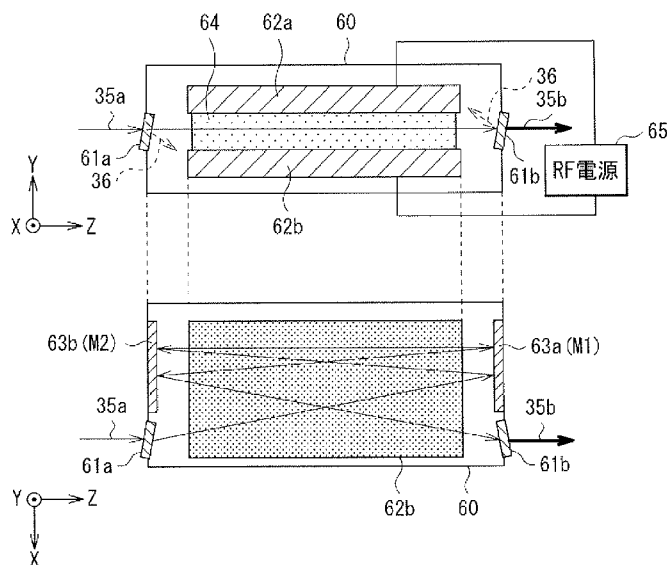
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, 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 AMPLIFIER AND LASER DEVICE, AS WELL AS EXTREME ULTRAVIOLET LIGHT GENERATION SYSTEM

(54) 発明の名称: レーザ増幅器、及びレーザ装置、並びに極端紫外光生成システム



(57) Abstract: [Problem] To suppress propagation of light of a wavelength to be suppressed that is different from a desired wavelength. [Solution] The present invention may be provided with: a chamber which houses a laser medium; a first window which is provided on the chamber, and which causes laser light of a desired wavelength from the outside to be incident to the interior of the chamber; an excitation apparatus which amplifies the laser light incident to the interior of the chamber by exciting the laser medium; a second window which is provided on the chamber, and which outputs the laser light that has been amplified by the excitation apparatus to the outside of the chamber; a mirror which is disposed on a laser optical path between the first window and the second window; and a wavelength-selective film which is disposed on the first window and/or the second window and/or the mirror, and which suppresses propagation of light of a wavelength to be suppressed that is different from a desired wavelength.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2015/033426 A1



【課題】 所望の波長とは異なる抑制対象波長の光の伝搬を抑制する。 【解決手段】 レーザ媒質を収容するチャンバと、チャンバに設けられ、外部から所望波長のレーザ光をチャンバの内部に入射させる第1のウインドウと、チャンバの内部に入射されたレーザ光を、レーザ媒質を励起することによって増幅する励起装置と、チャンバに設けられ、励起装置によって増幅されたレーザ光をチャンバの外部に出力させる第2のウインドウと、第1のウインドウと第2のウインドウとの間のレーザ光路上に設けられたミラーと、第1のウインドウ及び第2のウインドウ、並びにミラーのうち、少なくとも1つに設けられ、所望波長とは異なる抑制対象波長の光の伝搬を抑制する波長選択膜とを備えてもよい。

明 細 書

発明の名称：

レーザ増幅器、及びレーザ装置、並びに極端紫外光生成システム

技術分野

[0001] 本開示は、レーザ増幅器、及びレーザ装置、並びにレーザ装置から出力されたパルスレーザ光に基づいて極端紫外（EUV）光を生成するための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、70nm～45nmの微細加工、さらには32nm以下の微細加工が要求されるようになる。このため、例えば32nm以下の微細加工の要求に応えるべく、波長13nm程度の極端紫外（EUV）光を生成する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] 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を用いたLPP（Laser Produced Plasma：レーザ励起プラズマ）方式の装置と、放電によって生成されるプラズマを用いたDPP（Discharge Produced Plasma）方式の装置と、軌道放射光を用いたSR（Synchrotron Radiation）方式の装置との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：米国特許出願公開第2010/0327192号明細書

概要

[0005] 本開示によるレーザ増幅器は、レーザ媒質を収容するチャンバと、チャン

バに設けられ、外部から所望波長のレーザ光をチャンバの内部に入射させる第1のウィンドウと、チャンバの内部に入射されたレーザ光を、レーザ媒質を励起することによって増幅する励起装置と、チャンバに設けられ、励起装置によって増幅されたレーザ光をチャンバの外部に出力させる第2のウィンドウと、第1のウィンドウと第2のウィンドウとの間のレーザ光路上に設けられたミラーと、第1のウィンドウ及び第2のウィンドウ、並びにミラーのうち、少なくとも1つに設けられ、所望波長とは異なる抑制対象波長の光の伝搬を抑制する波長選択膜とを備えてもよい。

[0006] 本開示によるレーザ装置は、所望波長のレーザ光を出力するマスタオシレータと、マスタオシレータからのレーザ光を増幅する少なくとも1つのレーザ増幅器とを含み、少なくとも1つのレーザ増幅器のうち、少なくとも1つは、レーザ媒質を収容するチャンバと、チャンバに設けられ、外部からのレーザ光をチャンバの内部に入射させる第1のウィンドウと、チャンバの内部に入射されたレーザ光を、レーザ媒質を励起することによって増幅する励起装置と、チャンバに設けられ、励起装置によって増幅されたレーザ光をチャンバの外部に出力させる第2のウィンドウと、第1のウィンドウと第2のウィンドウとの間のレーザ光路上に設けられたミラーと、第1のウィンドウ及び第2のウィンドウ、並びにミラーのうち、少なくとも1つに設けられ、所望波長とは異なる抑制対象波長の光の伝搬を抑制する波長選択膜とを備えてもよい。

[0007] 本開示による極端紫外光生成システムは、EUV光が生成されるプラズマチャンバと、パルスレーザ光をプラズマチャンバの内部に供給するレーザ装置とを備え、レーザ装置は、パルスレーザ光のシードとなる所望波長のレーザ光を出力するマスタオシレータと、マスタオシレータからのレーザ光を増幅する少なくとも1つのレーザ増幅器とを含み、少なくとも1つのレーザ増幅器のうち、少なくとも1つは、レーザ媒質を収容する増幅チャンバと、増幅チャンバに設けられ、外部からのレーザ光を増幅チャンバの内部に入射させる第1のウィンドウと、増幅チャンバの内部に入射されたレーザ光を、レ

ーザ媒質を励起することによって増幅する励起装置と、増幅チャンバに設けられ、励起装置によって増幅されたレーザ光を増幅チャンバの外部に出力させる第2のウインドウと、第1のウインドウと第2のウインドウとの間のレーザ光路上に設けられたミラーと、第1のウインドウ及び第2のウインドウ、並びにミラーのうち、少なくとも1つに設けられ、所望波長とは異なる抑制対象波長の光の伝搬を抑制する波長選択膜とを備えてもよい。

図面の簡単な説明

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

[図1]図1は、例示的なLPP式のEUV光生成システムの一構成例を概略的に示す。

[図2]図2は、マスタオシレータとレーザ増幅器とを含むレーザ装置の一構成例を概略的に示す。

[図3]図3は、CO₂レーザガスをレーザ媒質とする場合における増幅ラインとゲインとの関係を示す。

[図4]図4は、自励発振による増幅ゲイン及びパルスレーザ光の出力の低下の一例を示す。

[図5]図5は、ミラーに波長選択膜が設けられたレーザ増幅器の一構成例を概略的に示す。

[図6]図6は、第2のミラーに設けられる波長選択膜の分光反射率特性の一例を示す。

[図7]図7は、第1のミラーに設けられる波長選択膜の分光反射率特性の一例を示す。

[図8]図8は、波長選択膜が設けられミラーの一構成例を概略的に示す。

[図9]図9は、第1及び第2のミラーの波長選択膜として適用可能な分光反射率特性の組み合わせの第1の例を示す。

[図10]図10は、第1及び第2のミラーの波長選択膜として適用可能な分光反射率特性の組み合わせの第2の例を示す。

[図11]図 1 1 は、第 1 及び第 2 のミラーの波長選択膜として適用可能な分光反射率特性の組み合わせの第 3 の例を示す。

[図12]図 1 2 は、第 1 のミラーの波長選択膜として実施可能な分光反射率特性の一具体例を示す。

[図13]図 1 3 は、第 2 のミラーの波長選択膜として実施可能な分光反射率特性の一具体例を示す。

[図14]図 1 4 は、ウインドウに波長選択膜が設けられたレーザ増幅器の一構成例を概略的に示す。

[図15]図 1 5 は、第 1 及び第 2 のウインドウの波長選択膜として適用可能な分光反射率特性の組み合わせの一例を示す。

[図16]図 1 6 は、レーザ光路が交差しないスラブ型増幅器の一構成例を概略的に示す。

[図17]図 1 7 は、図 1 6 に示したスラブ型増幅器を Y 1 - Y 1' 線方向から見た一構成例を概略的に示す。

[図18]図 1 8 は、同軸型スラブ増幅器の全体構成の一例を概略的に示す。

[図19]図 1 9 は、図 1 8 に示した同軸型スラブ増幅器を Z 方向から見た一構成例を概略的に示す。

[図20]図 2 0 は、高速軸流型増幅器の一構成例を概略的に示す。

[図21]図 2 1 は、図 2 0 に示した高速軸流型増幅器を X 1 - X 1' 線方向から見た一構成例を概略的に示す。

[図22]図 2 2 は、図 2 0 に示した高速軸流型増幅器の全体構成の一例を概略的に示す。

[図23]図 2 3 は、3 枚以上のミラーを含むレーザ増幅器に適用可能な波長選択膜の分光反射率特性の組み合わせの一例を示す。

[図24]図 2 4 は、図 2 3 に示した波長選択膜の分光反射率特性の組み合わせを高速軸流型増幅器に適用した第 1 の例を示す。

[図25]図 2 5 は、図 2 3 に示した波長選択膜の分光反射率特性の組み合わせを高速軸流型増幅器に適用した第 2 の例を示す。

[図26]図 2 6 は、3 軸直交型増幅器の一構成例を概略的に示す。

[図27]図 2 7 は、図 2 6 に示した 3 軸直交型増幅器を $Z1-Z1'$ 線方向から見た一構成例を概略的に示す。

実施形態

[0009] <内容>

[1 . 概要]

[2 . E U V 光生成装置の全体説明]

2 . 1 構成

2 . 2 動作

[3 . マスタオシレータとレーザ増幅器とを含むレーザ装置]

3 . 1 構成

3 . 2 動作

3 . 3 課題

[4 . ミラーに波長選択膜が設けられたレーザ増幅器] (第 1 の実施形態)

4 . 1 構成

4 . 1 . 1 レーザ増幅器 (スラブ型増幅器) の構成

4 . 1 . 2 ミラーの構成

4 . 1 . 3 波長選択膜の材料、及びミラーの基板材料

4 . 2 動作

4 . 3 作用

4 . 4 分光反射率特性の組み合わせの例

[5 . ウィンドウに波長選択膜が設けられたレーザ増幅器] (第 2 の実施形態)

[6 . レーザ増幅器の変形例] (第 3 の実施形態)

6 . 1 レーザ光路が交差しないタイプのスラブ型増幅器

6 . 2 同軸型スラブ増幅器

6 . 3 高速軸流型増幅器

6 . 4 3 枚以上のミラーを含むレーザ増幅器に適用可能な波長選択膜の

分光反射率特性の組み合わせの例

6. 5 3軸直交型増幅器

[7. その他]

[0010] 以下、本開示の実施形態について、図面を参照しながら詳しく説明する。以下に説明される実施形態は、本開示のいくつかの例を示すものであって、本開示の内容を限定するものではない。また、各実施形態で説明される構成及び動作の全てが本開示の構成及び動作として必須であるとは限らない。なお、同一の構成要素には同一の参照符号を付して、重複する説明を省略する。

[0011] [1. 概要]

本開示は、ターゲットにレーザ光を照射することによってEUV光を生成するEUV光生成装置に用いられるレーザ装置を構成するレーザ増幅器に関する。また、少なくとも1つの波長の光の伝搬を抑制する波長選択膜が設けられた光学素子を含むレーザ増幅器に関する。

[0012] [2. EUV光生成システムの全体説明]

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、及びターゲット供給装置として例えばターゲット供給部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つ以上の組み合わせを含んでもよいが、これらに限定されない。

[0013] 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 が設けられてもよい。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 E U V 集光ミラー 23 が配置されてもよい。E U V 集光ミラー 23 は、第 1 及び第 2 の焦点を有し得る。E U V 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。E U V 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 又はその近傍に位置し、その第 2 の焦点が露光装置 6 の仕様によって規定される所望の集光位置である中間集光点 (I F) 292 に位置するように配置されるのが好ましい。E U V 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。

[0014] E U V 光生成装置 1 は、E U V 光生成制御部 5 を含むことができる。また E U V 光生成制御部 5 は、ターゲットセンサ 4 等を含むことができる。ターゲットセンサ 4 は、ターゲット 27 の存在、軌跡、位置、及び速度の内の少なくとも 1 つを検出しても良い。ターゲットセンサ 4 は、撮像機能を有していても良い。

[0015] さらに、E U V 光生成装置 1 は、チャンバ 2 の内部と露光装置 6 の内部とを連通する接続部 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 E U V 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。

[0016] さらに、E U V 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制御するために、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。

[0017] 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 3 4 を経て、パルスレーザ光 3 2 としてウインドウ 2 1 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 3 2 は、少なくとも 1 つのレーザ光の経路に沿ってチャンバ 2 内に進み、レーザ光集光ミラー 2 2 で反射されて、パルスレーザ光 3 3 として少なくとも 1 つのターゲット 2 7 に照射されてもよい。

[0018] ターゲット供給部 2 6 は、ターゲット 2 7 をチャンバ 2 内部のプラズマ生成領域 2 5 に向けて出力するよう構成されてもよい。ターゲット 2 7 には、パルスレーザ光 3 3 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 2 7 はプラズマ化し、そのプラズマから放射光と共に E U V 光 2 5 1 が放射され得る。E U V 光 2 5 1 は、E U V 集光ミラー 2 3 によって反射されると共に集光されてもよい。E U V 集光ミラー 2 3 によって反射された E U V 光 2 5 2 は、中間集光点 2 9 2 を通って、露光装置 6 に出力されてもよい。なお、1 つのターゲット 2 7 に、パルスレーザ光 3 3 に含まれる複数のパルスが照射されてもよい。

[0019] E U V 光生成制御部 5 は、E U V 光生成システム 1 1 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 2 7 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 2 7 が出力されるタイミングの制御、及びターゲット 2 7 の出力方向の制御の内の少なくとも 1 つを制御するよう構成されてもよい。

[0020] さらに、E U V 光生成制御部 5 は、例えば、レーザ装置 3 の発振タイミングの制御、パルスレーザ光 3 2 の進行方向の制御、及びパルスレーザ光 3 3 の集光位置の制御の内の少なくとも 1 つ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. マスタオシレータとレーザ増幅器とを含むレーザ装置]

3. 1 構成

図 2 を参照して、L P P 式の E U V 光生成装置に用いられるレーザ装置 3

の一構成例について説明する。L P P 式の E U V 光生成装置では、レーザ装置 3 として、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もよい。このため、レーザ装置 3 は、高い繰り返し周波数でパルスレーザ光 3 1 m を出力するマスタオシレータ (M O : master oscillator) 1 1 0 と、パルスレーザ光 3 1 m を増幅する少なくとも 1 つのレーザ増幅器とを備えてもよい。例えば図 2 に示したように、レーザ増幅器として、複数の増幅器 P A 1 , P A 2 , … P A k , … P A n を含んでもよい。

[0022] マスタオシレータ 1 1 0 は、Q スイッチを含む C O₂レーザ、または、C O₂レーザの増幅波長域で発振する量子カスケードレーザ (Q C L) であってもよい。複数の増幅器 P A 1 , P A 2 , … P A k , … P A n はそれぞれ、C O₂レーザガスをレーザ媒質とするレーザ増幅器であってもよい。複数の増幅器 P A 1 , P A 2 , … P A k , … P A n はそれぞれ、C O₂レーザガスを含むチャンバ内に配置された 1 対の電極 6 2 a , 6 2 b を含んでもよい。複数の増幅器 P A 1 , P A 2 , … P A k , … P A n にはそれぞれ、外部からのパルスレーザ光をチャンバの内部に入射させる入力ウィンドウ 6 1 a と、増幅されたパルスレーザ光をチャンバの外部に出力させる出力ウィンドウ 6 1 b とが配置されていてもよい。複数の増幅器 P A 1 , P A 2 , … P A k , … P A n はそれぞれ、マスタオシレータ 1 1 0 から出力されるパルスレーザ光 3 1 m の光路上に、直列に配置されてもよい。

[0023] 3. 2 動作

複数の増幅器 P A 1 , P A 2 , … P A k , … P A n はそれぞれ、図示しない各々の電源によって 1 対の電極 6 2 a , 6 2 b 間に電圧を印加し、放電させてもよい。マスタオシレータ 1 1 0 の Q スイッチを所定の繰り返し周波数で動作させてもよい。その結果、マスタオシレータ 1 1 0 から所定の繰り返し周波数で、パルスレーザ光 3 1 m が出力され得る。

[0024] 複数の増幅器 P A 1 , P A 2 , … P A k , … P A n ではそれぞれ、マスタ

オシレータ 110 から出力されたパルスレーザ光 31m が入射されていない場合においても、図示しない電源によって、放電を発生させて、レーザ媒質を励起し得る。マスタオシレータ 110 から出力されたパルスレーザ光 31m は、シード光として 1 番目の増幅器 PA1 に入射し、1 番目の増幅器 PA1 内を通過することによって増幅され、出力され得る。1 番目の増幅器 PA1 から増幅され、出力されたパルスレーザ光は、シード光として 2 番目の増幅器 PA2 に入射し、2 番目の増幅器 PA2 内を通過することによってさらに増幅され、出力され得る。同様に、 $k-1$ 番目の増幅器 PA $k-1$ から出力されたパルスレーザ光は、シード光として k 番目の増幅器 PA k に入射し、 k 番目の増幅器 PA k 内を通過することによってさらに増幅され、出力され得る。そして、 $n-1$ 番目の増幅器 PA $n-1$ から出力されたパルスレーザ光は、シード光として n 番目の増幅器 PA n に入射し、 n 番目の増幅器 PA n 内を通過することによってさらに増幅され、出力され得る。

[0025] n 番目の増幅器 PA n より出力されたパルスレーザ光 31 は、図 1 に示した EUV 光生成装置 1 におけるプラズマチャンバとしてのチャンバ 2 内に入射し、レーザ光集光光学系 22a によりプラズマ生成領域 25 に集光され得る。プラズマ生成領域 25 に集光されたパルスレーザ光 33 は、プラズマ生成領域 25 におけるターゲット 25 に照射され得る。パルスレーザ光 33 が集光されたターゲット 25 はプラズマ化し、プラズマから EUV 光が放射され得る。なお、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 1 または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。

[0026] 3. 3 課題

マスタオシレータ 110 と、少なくとも 1 つのレーザ増幅器とを組み合わせた CO₂ レーザ装置は、マスタオシレータ 110 から出力されたパルスレーザ光 31m と関係なく、少なくとも 1 つのレーザ増幅器から出力される自然放出 (ASE: Amplified Spontaneous Emission) 光 36 によって自励発振する可能性がある。本願発明者は、そのような自励発振する光として、シー

ド光となる波長 $10.59 \mu\text{m}$ の光だけでなく、波長 $9.27 \mu\text{m}$ 、波長 $9.59 \mu\text{m}$ 、及び波長 $10.24 \mu\text{m}$ の ASE 光 36 が出力され得ることを発見した。シード光以外の ASE 光 36 が他のレーザ増幅器に入射すると、ASE 光 36 が入射したレーザ増幅器はシード光以外の ASE 光 36 を増幅してしまうことがある。この結果、シード光を増幅する際の増幅率が低下し得る。よって、波長 $9.27 \mu\text{m}$ 、波長 $9.59 \mu\text{m}$ 、及び波長 $10.24 \mu\text{m}$ の ASE 光 36 による自励発振を抑制することが求められる。なお、シード光とは、レーザ増幅器による増幅対象のレーザ光のことであってもよい。例えば図 2 において、1 番目の増幅器 PA 1 では、マスタオシレータ 110 から出力されたパルスレーザ光 31 m がシード光になり得る。2 番目の増幅器 PA 2 では、1 番目の増幅器 PA 1 によって増幅され、出力されたパルスレーザ光がシード光になり得る。

[0027] ここで、図 2 に示したように、例えば n 番目の増幅器 PA n において発生した ASE 光 36 が、マスタオシレータ 110 の設けられている方向に進行し、複数の増幅器 PA 1, PA 2, ..., PA k , ..., PA $n-1$ によって増幅され、自励発振光となり得る。また、1 番目の増幅器 PA 1 において発生した ASE 光 36 は、チャンバ 2 の設けられている方向に進行し、複数の増幅器 PA 2, ..., PA k , ..., PA n によって増幅され、自励発振光となり得る。このように、あるレーザ増幅器において発生した ASE 光 36 は、他のレーザ増幅器によって増幅され自励発振光となり得る。本願発明者は、 CO_2 レーザガスをゲイン媒質とする場合、表 1 及び図 3 に示されるように、4 つの波長域で自励発振し得ることを発見した。図 3 は、 CO_2 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の関係を示す。

[0028] [表 1]

Gain ライン	9R(20)	9P(24)	10R(20)	10P(20)
出力されるレーザ光の波長 (μm)	9.27	9.59	10.24	10.59

[0029] 具体的には、 CO_2 レーザガスをゲイン媒質とする場合、波長 $9.27 \mu\text{m}$ 帯 (9 R)、波長 $9.59 \mu\text{m}$ 帯 (9 P)、波長 $10.24 \mu\text{m}$ 帯 (10 R

）、及び波長 $10.59\mu\text{m}$ 帯（ 10P ）において自励発振し得ることを発見した。これらの波長帯においては、ゲインが大きく複数の増幅器 $\text{PA}1$ ， $\text{PA}2$ ， $\dots\text{PA}k$ ， $\dots\text{PA}n$ によって自励発振が起こり易い。このうち、シード光となる波長 $10.59\mu\text{m}$ 帯を除く、波長 $9.27\mu\text{m}$ 帯、波長 $9.59\mu\text{m}$ 帯、波長 $10.24\mu\text{m}$ 帯におけるASE光36は、レーザ装置3より出力されるパルスレーザ光31の出力の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。

[0030] 図4の上段は、レーザ増幅器の増幅ゲインの時間変化の一例を示している。図4の下段は、レーザ増幅器のパルスレーザ光の出力の時間変化の一例を示している。図4では、自励発振がある場合と自励発振がない場合との増幅ゲイン及びパルスレーザ光の出力の時間変化を比較している。図4に示すように、自励発振は、レーザ増幅器の増幅ゲインを消費して増幅率の低下を招き、パルスレーザ光の出力を低下させ得る。また、自励発振光がマスタオシレータ110に入射した場合、自励発振光によってマスタオシレータ110の光学部品が損傷を受ける場合があり得る。

[0031] [4. ミラーに波長選択膜が設けられたレーザ増幅器]（第1の実施形態）

4. 1 構成

4. 1. 1 レーザ増幅器（スラブ型増幅器）の構成

図5を参照して、本開示の第1の実施形態に係るレーザ増幅器の構成を説明する。図5は、レーザ増幅器の一例としてスラブ型増幅器の構成例を示している。図5において上段はレーザ増幅器を側面方向から見た断面構成、下段はレーザ増幅器を上面方向から見た断面構成を示す。図2における複数の増幅器 $\text{PA}1$ ， $\text{PA}2$ ， $\dots\text{PA}k$ ， $\dots\text{PA}n$ の少なくとも1つに、図5に示したスラブ型増幅器を適用してもよい。

[0032] スラブ型増幅器は、増幅チャンバ60と、入力ウィンドウ61aと、出力ウィンドウ61bと、一对の電極62a，62bと、第1のミラー63aと、第2のミラー63bと、RF（高周波）電源65とを含んでもよい。

[0033] 増幅チャンバ60は、内部にレーザ媒質として CO_2 レーザガスを收容して

もよい。一对の電極62a, 62bとRF電源65は、増幅チャンバ60の内部に入射されたシード光35aを、レーザ媒質を励起することによって増幅する励起装置であってもよい。一对の電極62a, 62bは増幅チャンバ60の内部に設けられ、放電によって放電領域64においてレーザ媒質を励起するものであってもよい。RF電源65は、一对の電極62a, 62bにRF電圧を供給するものであってもよい。励起装置によって励起されたレーザ媒質は、所望の波長の光と少なくとも1つの抑制対象波長の光とを増幅可能であってもよい。所望の波長の光は、シード光35aであってもよい。抑制対象波長の光は、シード光の波長以外の波長のASE光36であってもよい。抑制対象波長の光はまた、ASE光36による自励発振光であってもよい。

[0034] 入力ウインドウ61aは、増幅チャンバ60の壁に設けられ、入力レーザ光としてのシード光35aを増幅チャンバ60の内部に入射させる第1のウインドウであってもよい。出力ウインドウ61bは、増幅チャンバ60の壁に設けられ、励起装置によって増幅されたレーザ光を増幅レーザ光35bとして増幅チャンバ60の外部に出力させる第2のウインドウであってもよい。

[0035] 第1のミラー63aと第2のミラー63bは、入力ウインドウ61aと出力ウインドウ61bとの間のレーザ光路上に設けられ、増幅チャンバ60の内部でレーザ光を反射してもよい。第1のミラー63a及び第2のミラー63bはそれぞれ、平面ミラーであっても凹面ミラーであってもよく、好ましくはシリンドリカル凹面ミラーであってもよい。第1のミラー63a及び第2のミラー63bのうち、少なくとも1つには、所望の波長とは異なる少なくとも1つの抑制対象波長の光の伝搬を抑制する波長選択膜が設けられてもよい。

[0036] 4. 1. 2 ミラーの構成

第1のミラー63aと第2のミラー63bとにそれぞれ波長選択膜を設ける場合、それぞれの波長選択膜は互いに波長の選択特性が異なってもよ

い。それぞれの波長選択膜は抑制対象波長の光に比べて所望の波長の光に対して高い反射率を持っていてもよい。また、所望の波長以外の波長に対して反射率を低く設定してもよい。

[0037] 例えば、 λ_1 を所望の波長とした場合、第2のミラー63bに設けられる波長選択膜の分光反射率特性M2を図6のように設定してもよい。図6の分光反射率特性における縦軸は反射率Rを示し、横軸 λ は波長を示す。以降の説明における他の分光反射率特性においても縦軸および横軸は同様であってよい。また、第1のミラー63aに設けられる波長選択膜の分光反射率特性M1を図7のように設定してもよい。 λ_1 は $10.59\mu\text{m}$ であってもよい。 λ_2 は $10.24\mu\text{m}$ であってもよい。 λ_3 は $9.59\mu\text{m}$ であってもよい。 λ_4 は $9.27\mu\text{m}$ であってもよい。レーザ増幅器の内部において、ミラーに波長選択膜を設けることで、所望の波長以外の波長のレーザ光の反射による損失を大きくし、所望の波長以外のレーザ光による自励発振を抑制し得る。

[0038] 4. 1. 3 波長選択膜の材料、及びミラーの基板材料

図8は、波長選択膜が設けられた第1のミラー63aまたは第2のミラー63bの一構成例を示している。図8に示したように、基板71上に波長選択膜70をコーティングし、波長選択膜70の表面を反射面75としてもよい。

[0039] 波長選択膜70は、屈折率の異なる2種類の材料を交互に積層したコーティング膜によって構成されてもよい。さらに、波長選択膜70は、高屈折率材料と低屈折率材料とが交互に積層された膜でもよい。高屈折率材料は例えばZnSe、ZnS、低屈折率材料は例えば ThF_4 、 PbF_2 であってもよい。高屈折率材料、及び低屈折率材料のそれぞれの膜厚を制御することによって所望の分光反射率特性を実現してもよい。

[0040] 基板71の材料としては、Si、GaAs、ZnSe、ダイヤモンド等でもよい。また、基板71は温度調節機構を備えてもよい。温度調節機構は基板71に形成された温度調節媒体通路72と温度調節器73と温度調節媒体

循環装置 74 とを組み合わせたものでもよい。波長選択膜 70 を透過して基板 71 に到達した一部の波長のレーザ光は基板 71 を加熱することがある。温度調節機構によってこの熱を排出し、基板 71 が過熱しないようにしてもよい。

[0041] 4. 2 動作

R F 電源 65 から一対の電極 62 a, 62 b に R F 電圧を供給している状態で、入力ウインドウ 61 a からシード光 35 a となるレーザ光を増幅チャンバ 60 の内部に入射させてもよい。入射されたレーザ光は増幅チャンバ 60 の内部で第 1 のミラー 63 a と第 2 のミラー 63 b とによって反射されながら、一対の電極 62 a, 62 b 間で励起されたレーザ媒質中を通過することで増幅され、出力ウインドウ 61 b から増幅レーザ光 35 b として出力され得る。レーザ光は第 1 のミラー 63 a と第 2 のミラー 63 b との間で複数回反射されてもよい。このとき、図 6 及び図 7 に示したような分光反射率特性 M1, M2 を持つ波長選択膜が設けられていることにより、第 1 のミラー 63 a と第 2 のミラー 63 b とで反射される所望の波長以外の波長のレーザ光は、反射損失が大きいため、増幅が抑制され得る。この結果、所望の波長のレーザ光は増幅される一方、所望の波長以外の光による自励発振が抑制され得る。

[0042] 4. 3 作用

この第 1 の実施形態によれば、増幅したいレーザ光の波長以外の波長による自励発振が抑制され得る。このため、レーザ増幅器の増幅率が低下せず、高い増幅効率でレーザ光を増幅し得る。図 2 に示したレーザ装置に適用した場合に、マスタオシレータ 110 の光学部品が自励発振光による損傷を受けにくい。結果として、レーザ出力の変動が抑制され安定した増幅動作が得られ得る。

[0043] 4. 4 分光反射率特性の組み合わせの例

図 9 は、第 1 及び第 2 のミラー 63 a, 63 b の波長選択膜として適用可能な分光反射率特性 M1, M2 の組み合わせの第 1 の例を示している。図 1

0は、第1及び第2のミラー63a、63bの波長選択膜として適用可能な分光反射率特性M1、M2の組み合わせの第2の例を示している。第1のミラー63aの波長選択膜の分光反射率特性M1、及び第2のミラー63bの波長選択膜の分光反射率特性M2のいずれかが、所望の波長における反射率が、他の波長における反射率よりも高い反射率特性を有していてもよい。例えば図9に示したように、第1のミラー63aの波長選択膜の分光反射率特性M1を、所望の波長 λ_1 における反射率が他の波長における反射率よりも高い反射率特性となるように設定してもよい。また例えば図10に示したように、第2のミラー63bの波長選択膜の分光反射率特性M2を、所望の波長 λ_1 における反射率が他の波長における反射率よりも高い反射率特性となるように設定してもよい。

[0044] 図11は、第1及び第2のミラー63a、63bの波長選択膜として適用可能な分光反射率特性M1、M2の組み合わせの第3の例を示している。例えば図11に示したように、第1及び第2のミラー63a、63bの波長選択膜の分光反射率特性M1、M2を組み合わせ使用して、所望の波長 λ_1 のみ反射率が高くなる反射率特性となるように設定してもよい。このようにすることで、他の波長の損失を高め、自励発振を抑制してもよい。

[0045] 図12は、第1のミラー63aの波長選択膜として実施可能な分光反射率特性M1の一具体例を示している。図13は、第2のミラー63bの波長選択膜として実施可能な分光反射率特性M2の一具体例を示している。図12及び図13に示したような、それぞれ互いに異なる分光反射率特性M1、M2を持つ2種類の波長選択膜を組み合わせ使用してもよい。2種類の波長選択膜を用いて、他の波長として波長 $9.27\mu\text{m}$ 、波長 $9.59\mu\text{m}$ 、及び波長 $10.24\mu\text{m}$ の反射率を抑え、所望の波長 $10.59\mu\text{m}$ の反射率を高く維持するようにしてもよい。

[0046] [5. ウィンドウに波長選択膜が設けられたレーザ増幅器] (第2の実施形態)

図14を参照して、本開示の第2の実施形態に係るレーザ増幅器の構成を

説明する。図14に示したレーザ増幅器は、図5に示したレーザ増幅器と略同様のスラブ型増幅器の構成を有しているが、波長選択膜が設けられた部位が異なっている。図2における複数の増幅器PA1, PA2, …PAk, …PANの少なくとも1つに、図14に示したスラブ型増幅器を適用してもよい。

[0047] 図14の構成例のように、入力ウインドウ61a及び出力ウインドウ61bのうち、少なくとも1つに、所望の波長とは異なる少なくとも1つの抑制対象波長の光の伝搬を抑制する波長選択膜が設けられていてもよい。また、上記第1の実施形態の構成と組み合わせて、さらに第1のミラー63a及び第2のミラー63bのうち、少なくとも1つに波長選択膜が設けられていてもよい。

[0048] 入力ウインドウ61aと出力ウインドウ61bとにそれぞれ波長選択膜を設ける場合、それぞれの波長選択膜は互いに波長の選択特性が異なってもよい。それぞれの波長選択膜は抑制対象波長の光に比べて所望の波長の光に対して反射率を低く、すなわち高い透過率を持ってもよい。また、所望の波長以外の波長における反射率を高く、すなわち透過率を低く設定してもよい。

[0049] 図15は、第1及び第2のウインドウ61a, 61bの波長選択膜として適用可能な分光反射率特性W1, W2の組み合わせの一例を示している。図15に示したように、第1のウインドウ61aの波長選択膜の分光反射率特性W1と、第2のウインドウ61bの波長選択膜の分光反射率特性W2とを略同じにしてもよい。

[0050] 第1及び第2のウインドウ61a, 61bに波長選択膜を設けると、波長選択膜によってASE光36または自励発振光が高反射され、不要な反射光になり得る。その不要な反射光が一对の電極62a, 62b間に進行しないよう、図14に示したように、第1及び第2のウインドウ61a, 61bを傾けて配置してもよい。さらに、第1及び第2のウインドウ61a, 61bの波長選択膜を薄膜ポラライザ(TFP)にすることで、所望の波長、及び

所望の偏光の光以外を反射してもよい。これにより、自励発振光を抑制してもよい。波長選択膜を構成するコーティング材料は、第1及び第2のミラー63a、63bに設ける波長選択膜のコーティング材料と略同様でよい。基板材料は、所望の波長に対して高い透過率を示すZnSe、ダイヤモンド等でもよい。

[0051] [6. レーザ増幅器の変形例] (第3の実施形態)

上記第1及び第2の実施形態では、レーザ増幅器としてスラブ型増幅器の構成例を示したが、それとは異なるタイプのスラブ型増幅器におけるミラーまたはウインドウに波長選択膜を設けた構成であってもよい。または、スラブ型以外のタイプのレーザ増幅器におけるミラーまたはウインドウに波長選択膜を設けた構成であってもよい。また、いずれのタイプであっても、ミラー及びウインドウの双方に波長選択膜を設けてもよい。

[0052] 6. 1 レーザ光路が交差しないタイプのスラブ型増幅器

図16及び図17は、上記第1及び第2の実施形態におけるスラブ型増幅器とは異なるタイプのスラブ型増幅器の一構成例を示している。図16はスラブ型増幅器を側面方向から見た断面構成、図17は図16に示したスラブ型増幅器をY1-Y1'線方向から見た断面構成を示している。図2における複数の増幅器PA1, PA2, ...PAk, ...PANの少なくとも1つに、図16及び図17に示したスラブ型増幅器を適用してもよいが、図17ではk番目の増幅器PAkに適用した例を示している。

[0053] 図16及び図17に示したスラブ型増幅器は、例えば図5における第1のミラー63aに代えて第1の凹面ミラー66aを備えていてもよい。また、図5における第2のミラー63bに代えて第2の凹面ミラー66bを備えていてもよい。図17に示したように、入力ウインドウ61aと出力ウインドウ61bとの間におけるレーザ光路上において、レーザ光が交差しないように、第1の凹面ミラー66aと第2の凹面ミラー66bとが配置され、第1の凹面ミラー66aと第2の凹面ミラー66bとによってレーザ光が複数回、反射され得る。第1の凹面ミラー66aと第2の凹面ミラー66bとは、

平面ミラーであってもよいが、好ましくはシリンдриカル凹面ミラーであってもよい。

[0054] このようなレーザ光路が交差しないスラブ型増幅器において、第1の凹面ミラー66a及び第2の凹面ミラー66bの少なくとも1つに、上記第1の実施の形態と同様の波長選択膜が設けられてもよい。または、入力ウインドウ61a及び出力ウインドウ61bの少なくとも1つに、上記第2の実施の形態と同様の波長選択膜が設けられてもよい。

[0055] 6. 2 同軸型スラブ増幅器

図18及び図19は、上記第1及び第2の実施形態におけるスラブ型増幅器とは異なるタイプのスラブ型増幅器である同軸型スラブ増幅器の構成例を示している。図19は、図18に示した同軸型スラブ増幅器を図18におけるZ方向から見た一構成例を示している。図2における複数の増幅器PA1, PA2, …PAk, …PANの少なくとも1つに、図18及び図19に示した同軸型スラブ増幅器を適用してもよい。

[0056] 同軸型スラブ増幅器は、円筒状の増幅チャンバ160と、入力ウインドウ161aと、出力ウインドウ161bと、同軸状に配置された2つの円筒電極162a, 162bと、第1ないし第8のミラー171～178と、RF電源65とを含んでもよい。

[0057] 増幅チャンバ160は、内部にレーザ媒質としてCO₂レーザガスを収容してもよい。円筒電極162a, 162bとRF電源65は、増幅チャンバ160の内部に入射されたシード光35aを、レーザ媒質を励起することによって増幅する励起装置であってもよい。円筒電極162a, 162bは増幅チャンバ160の内部に設けられ、放電によって放電領域164においてレーザ媒質を励起するものであってもよい。RF電源65は、円筒電極162a, 162bにRF電圧を供給するものであってもよい。励起装置によって励起されたレーザ媒質は、所望の波長の光と少なくとも1つの抑制対象波長の光とを増幅可能であってもよい。

[0058] 増幅チャンバ160は互いに対向する第1の面と第2の面とを含んでいて

もよい。第1の面側に、入力ウインドウ161aと、第2のミラー172と、第4のミラー174と、第6のミラー176と、第8のミラー178とが配置されてもよい。第2の面側に、出力ウインドウ161bと、第1のミラー171と、第3のミラー173と、第5のミラー175と、第7のミラー178とが配置されてもよい。

[0059] 図19に示したように、シード光35aとしてのレーザ光が入射されるZ方向側から見て、第1ないし第8のミラー171～178が互いに重ならないように配置されてもよい。そして、入射されたレーザ光が、第1ないし第8のミラー171～178によって順番に反射されるような配置となってもよい。第1ないし第8のミラー171～178は、入射されたレーザ光が、同軸状に配置された2つの円筒電極162a, 162bによって囲まれた空間を往復するように配置されてもよい。入射されたレーザ光は、2つの円筒電極162a, 162bによって囲まれた空間で励起されたレーザ媒質中を通過することで増幅され、出力ウインドウ161bから増幅レーザ光35bとして出力され得る。

[0060] このような同軸型スラブ増幅器において、第1ないし第8のミラー171～178の少なくとも1つに、上記第1の実施の形態と同様の波長選択膜が設けられてもよい。また、入力ウインドウ161a及び出力ウインドウ161bの少なくとも1つに、上記第2の実施の形態と同様の波長選択膜が設けられてもよい。また、後述する図23に示すような分光反射率特性を持つ波長選択膜が設けられてもよい。

[0061] 6. 3 高速軸流型増幅器

図20ないし図22は、スラブ型以外のタイプのレーザ増幅器である高速軸流型増幅器の構成例を示している。図21は、図20に示した高速軸流型増幅器を図20におけるX1-X1'線方向から見た断面構成例を示している。図22は、図20に示した高速軸流型増幅器の全体構成の一例を概略的に示している。

[0062] 高速軸流型増幅器は、増幅チャンバ130と、入力ウインドウ131aと

、出力ウインドウ 131b と、ブローア 136 と、第 1 ないし第 8 の放電管 141～148 と、第 1 ないし第 8 のミラー 151～158 と、RF 電源 65 とを含んでもよい。第 1 ないし第 8 の放電管 141～148 にはそれぞれ、一对の電極 132a, 132b が配置されていてもよい。

[0063] 第 1 ないし第 8 の放電管 141～148 のそれぞれの内部には、レーザ媒質 G1 として CO₂レーザガスが充填されてもよい。第 1 ないし第 8 の放電管 141～148 のそれぞれにおいて、一对の電極 132a, 132b と RF 電源 65 とを含む励起装置によって、レーザ媒質 G1 が励起されてもよい。RF 電源 65 は、第 1 ないし第 8 の放電管 141～148 のそれぞれにおいて、一对の電極 132a, 132b に RF 電圧を供給するものであってもよい。励起装置によって励起されたレーザ媒質 G1 は、所望の波長の光と少なくとも 1 つの抑制対象波長の光とを増幅可能であってもよい。

[0064] 高速軸流型増幅器は、上下方向に 2 段構成となってもよい。上段側には、入力ウインドウ 131a と、第 1 ないし第 4 の放電管 141～144 と、第 1 ないし第 4 のミラー 151～154 とが配置されていてもよい。下段側には、出力ウインドウ 131b と、第 5 ないし第 8 の放電管 145～148 と、第 5 ないし第 8 のミラー 155～158 とが配置されていてもよい。

[0065] ブローア 136 は、上下方向に連通され、上段側と下段側とにおいて、第 1 ないし第 8 の放電管 141～148 のそれぞれに対して同軸にレーザ媒質 G1 を循環させるものであってもよい。

[0066] この同軸型スラブ増幅器では、Z 軸方向から入射されたシード光 35a としてのレーザ光が、入力ウインドウ 131a を透過し、第 1 の放電管 141 に入射して増幅され得る。第 1 の放電管 141 内において増幅されたレーザ光は、第 1 のミラー 151 によって反射され、第 2 の放電管 142 に入射して増幅され得る。第 2 の放電管 142 内において増幅されたレーザ光は、第 2 のミラー 152 によって反射され、第 3 の放電管 143 に入射して増幅され得る。第 3 の放電管 143 内において増幅されたレーザ光は、第 3 のミラー 153 によって反射され、第 4 の放電管 144 に入射して増幅され得る。

[0067] 第4の放電管144内において増幅されたレーザ光は、第4のミラー154によって反射され、さらに、第5のミラー155によって反射されて、第5の放電管145に入射して増幅され得る。第5の放電管145内において増幅されたレーザ光は、第6のミラー156によって反射され、第6の放電管146に入射して増幅され得る。第6の放電管146内において増幅されたレーザ光は、第7のミラー157によって反射され、第7の放電管147に入射して増幅され得る。第7の放電管147内において増幅されたレーザ光は、第8のミラー158によって反射され、第8の放電管148に入射して増幅され得る。

[0068] このような高速軸流型増幅器において、第1ないし第8のミラー151～158の少なくとも1つに、上記第1の実施の形態と同様の波長選択膜が設けられてもよい。または、入力ウインドウ131a及び出力ウインドウ131bの少なくとも1つに、上記第2の実施の形態と同様の波長選択膜が設けられてもよい。また、後述する図23に示すような分光反射率特性を持つ波長選択膜が設けられてもよい。

[0069] 6. 4 3枚以上のミラーを含むレーザ増幅器に適用可能な波長選択膜の分光反射率特性の組み合わせの例

上記した同軸型スラブ増幅器及び高速軸流型増幅器のように、3枚以上のミラーを含むレーザ増幅器には、例えば図23に示したような分光反射率特性M1、M2、M3を持つ3種類の波長選択膜を適用してもよい。さらに分光反射率特性M4を加えた4種類の波長選択膜を適用してもよい。

[0070] 図24は、図23に示した4種類の波長選択膜の組み合わせを高速軸流型増幅器に適用した例を示す。図24に示したように、第1のミラー151に分光反射率特性M1の波長選択膜を適用してもよい。第2のミラー152に分光反射率特性M2の波長選択膜を適用してもよい。第3のミラー153に分光反射率特性M3の波長選択膜を適用してもよい。第4のミラー154に分光反射率特性M4の波長選択膜を適用してもよい。第5のミラー155に分光反射率特性M4の波長選択膜を適用してもよい。第6のミラー156に

分光反射率特性M3の波長選択膜を適用してもよい。第7のミラー157に分光反射率特性M2の波長選択膜を適用してもよい。第8のミラー158に分光反射率特性M1の波長選択膜を適用してもよい。これにより、レーザ光は、M1→M2→M3→M4→M4→M3→M2→M1の分光反射率特性で順に反射され得る。このように、4種類の波長選択膜によって2回ずつレーザ光が反射されるようにしてもよい。

[0071] 図25は、図23に示した3種類の波長選択膜の組み合わせを高速軸流型増幅器に適用した例を示す。図25に示したように、第1のミラー151に分光反射率特性M1の波長選択膜を適用してもよい。第2のミラー152に分光反射率特性M2の波長選択膜を適用してもよい。第3のミラー153に分光反射率特性M3の波長選択膜を適用してもよい。第4のミラー154に分光反射率特性M1の波長選択膜を適用してもよい。第5のミラー155に分光反射率特性M1の波長選択膜を適用してもよい。第6のミラー156に分光反射率特性M3の波長選択膜を適用してもよい。第7のミラー157に分光反射率特性M2の波長選択膜を適用してもよい。第8のミラー158に分光反射率特性M1の波長選択膜を適用してもよい。これにより、レーザ光は、M1→M2→M3→M1→M1→M3→M2→M1の分光反射率特性で順に反射され得る。このように、第4及び第8のミラー154、158に分光反射率特性M4に代えてM1の波長選択膜を適用することにより、図3によって説明した比較的ゲインの強い波長、例えば $\lambda_2 = 10.24 \mu\text{m}$ の波長を効果的に減衰させるようにしてもよい。

[0072] 6. 5 3軸直交型増幅器

図26は、レーザ増幅器のさらに他の例として、3軸直交型増幅器の構成例を示している。図27は、図26に示した3軸直交型増幅器をZ1-Z1'線方向から見た断面構成例を示している。

[0073] 3軸直交型増幅器は、増幅チャンバ180と、入力ウィンドウ181aと、出力ウィンドウ181bと、一对の電極182a、182bと、第1のミラー183aと、第2のミラー183bと、クロスフローファン186と、

R F 電源 6 5 とを含んでもよい。3 軸直交型増幅器はさらに、熱交換器 1 8 9 を含んでもよい。クロスフローファン 1 8 6 の両端にはモータ 1 8 7 と軸受け 1 8 8 とが接続されてもよい。

[0074] 増幅チャンバ 1 8 0 は、内部にレーザ媒質として C O₂レーザガスを収容してもよい。一对の電極 1 8 2 a, 1 8 2 b と R F 電源 6 5 は、増幅チャンバ 1 8 0 の内部に入射されたシード光 3 5 a を、レーザ媒質を励起することによって増幅する励起装置であってもよい。一对の電極 1 8 2 a, 1 8 2 b は増幅チャンバ 1 8 0 の内部に設けられ、放電によって放電領域 1 8 4 においてレーザ媒質を励起するものであってもよい。R F 電源 6 5 は、一对の電極 1 8 2 a, 1 8 2 b に R F 電圧を供給するものであってもよい。励起装置によって励起されたレーザ媒質は、所望の波長の光と少なくとも 1 つの抑制対象波長の光とを増幅可能であってもよい。

[0075] 3 軸直交型増幅器では、クロスフローファン 1 8 6 によって、一对の電極 1 8 2 a, 1 8 2 b 間にレーザ媒質 G 1 が循環供給され得る。R F 電源 6 5 から一对の電極 1 8 2 a, 1 8 2 b に R F 電圧を供給している状態で、入力ウインドウ 1 8 1 a からシード光 3 5 a となるレーザ光を増幅チャンバ 1 8 0 の内部に入射させてもよい。入射されたレーザ光は増幅チャンバ 1 8 0 の内部で第 1 のミラー 1 8 3 a と第 2 のミラー 1 8 3 b とによって反射されながら、一对の電極 1 8 2 a, 1 8 2 b 間で励起されたレーザ媒質中を通過することで増幅され、出力ウインドウ 1 8 1 b から増幅レーザ光 3 5 b として出力され得る。

[0076] このような 3 軸直交型増幅器において、第 1 のミラー 1 8 3 a 及び第 2 のミラー 1 8 3 b の少なくとも 1 つに、上記第 1 の実施の形態と同様の波長選択膜が設けられてもよい。また、入力ウインドウ 1 8 1 a 及び出力ウインドウ 1 8 1 b の少なくとも 1 つに、上記第 2 の実施の形態と同様の波長選択膜が設けられてもよい。

[0077] [7. その他]

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。

- [0078] 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。

請求の範囲

- [請求項1] レーザ媒質を収容するチャンバと、
前記チャンバに設けられ、外部から所望波長のレーザ光を前記チャンバの内部に入射させる第1のウインドウと、
前記チャンバの内部に入射された前記レーザ光を、前記レーザ媒質を励起することによって増幅する励起装置と、
前記チャンバに設けられ、前記励起装置によって増幅された前記レーザ光を前記チャンバの外部に出力させる第2のウインドウと、
前記第1のウインドウと前記第2のウインドウとの間のレーザ光路上に設けられたミラーと、
前記第1のウインドウ及び前記第2のウインドウ、並びに前記ミラーのうち、少なくとも1つに設けられ、前記所望波長とは異なる抑制対象波長の光の伝搬を抑制する波長選択膜と
を備えるレーザ増幅器。
- [請求項2] 前記励起装置によって励起された前記レーザ媒質は、前記所望波長の光と前記抑制対象波長の光とを増幅可能である
請求項1に記載のレーザ増幅器。
- [請求項3] 前記ミラーを複数含み、
複数の前記ミラーのうち、少なくとも1つに前記波長選択膜が設けられている
請求項1に記載のレーザ増幅器。
- [請求項4] 複数の前記ミラーのうち、2以上の前記ミラーのそれぞれに前記波長選択膜が設けられ、
2以上の前記ミラーに設けられた前記波長選択膜のうち、少なくとも2つの波長選択膜は互いに波長の選択特性が異なっている
請求項3に記載のレーザ増幅器。
- [請求項5] 前記波長選択膜が前記ミラーに設けられ、前記抑制対象波長の光に比べて前記所望波長の光に対して高い反射率を持つ

請求項 1 に記載のレーザ増幅器。

[請求項6] 前記波長選択膜が、前記第 1 のウインドウ及び前記第 2 のウインドウのうち、少なくとも一方に設けられ、前記抑制対象波長の光に比べて前記所望波長の光に対して高い透過率を持つ

請求項 1 に記載のレーザ増幅器。

[請求項7] 所望波長のレーザ光を出力するマスタオシレータと、
前記マスタオシレータからの前記レーザ光を増幅する少なくとも 1 つのレーザ増幅器と

を含み、

前記少なくとも 1 つのレーザ増幅器のうち、少なくとも 1 つは、

レーザ媒質を収容するチャンバと、

前記チャンバに設けられ、外部からのレーザ光を前記チャンバの内部に入射させる第 1 のウインドウと、

前記チャンバの内部に入射された前記レーザ光を、前記レーザ媒質を励起することによって増幅する励起装置と、

前記チャンバに設けられ、前記励起装置によって増幅された前記レーザ光を前記チャンバの外部に出力させる第 2 のウインドウと、

前記第 1 のウインドウと前記第 2 のウインドウとの間のレーザ光路上に設けられたミラーと、

前記第 1 のウインドウ及び前記第 2 のウインドウ、並びに前記ミラーのうち、少なくとも 1 つに設けられ、前記所望波長とは異なる抑制対象波長の光の伝搬を抑制する波長選択膜と

を備えるレーザ装置。

[請求項8] E U V 光が生成されるプラズマチャンバと、パルスレーザ光を前記プラズマチャンバの内部に供給するレーザ装置とを備え、

前記レーザ装置は、

前記パルスレーザ光のシードとなる所望波長のレーザ光を出力するマスタオシレータと、

前記マスタオシレータからの前記レーザ光を増幅する少なくとも 1 つのレーザ増幅器と

を含み、

前記少なくとも 1 つのレーザ増幅器のうち、少なくとも 1 つは、
レーザ媒質を収容する増幅チャンバと、

前記増幅チャンバに設けられ、外部からのレーザ光を前記増幅チャンバの内部に入射させる第 1 のウインドウと、

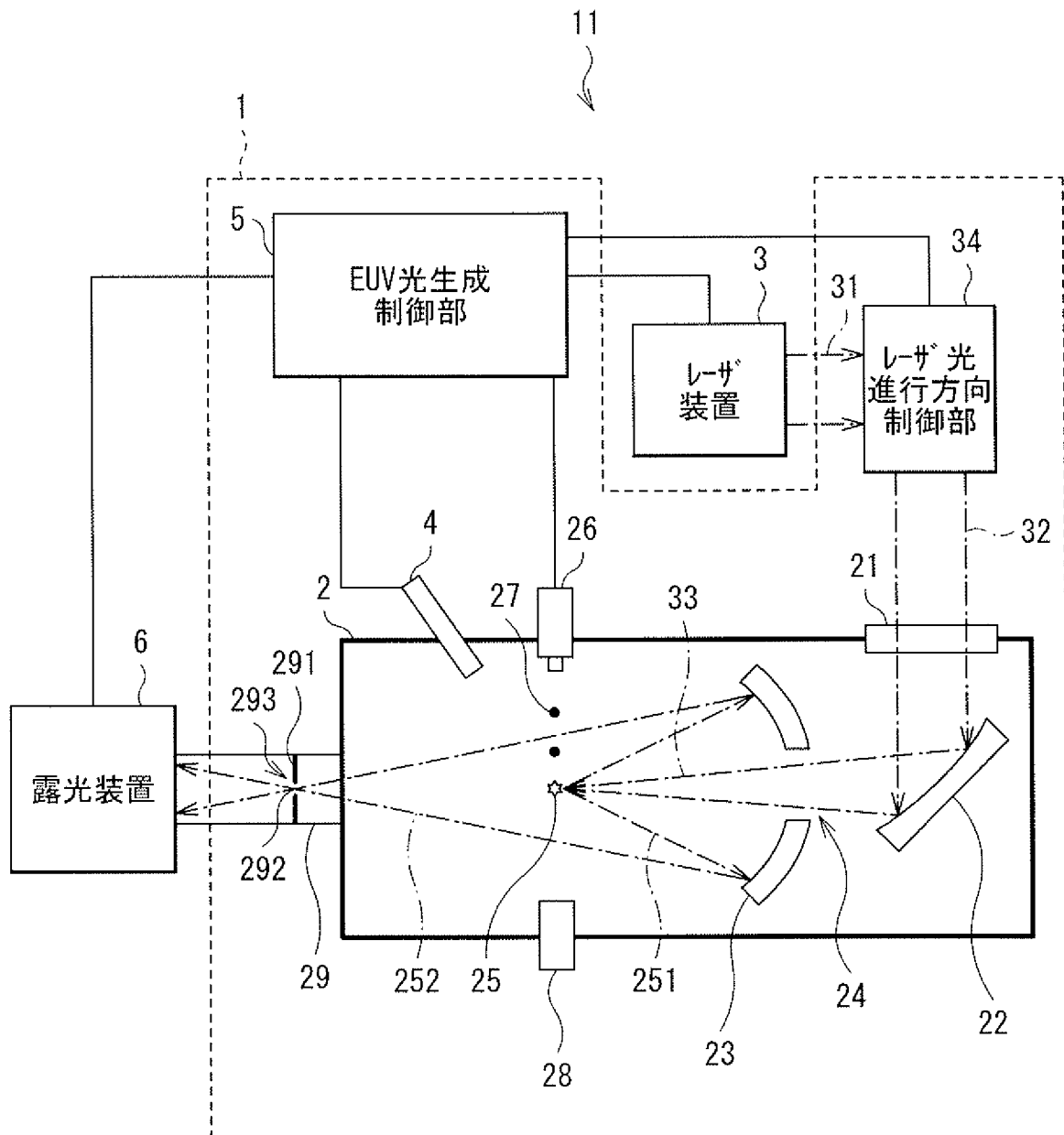
前記増幅チャンバの内部に入射された前記レーザ光を、前記レーザ媒質を励起することによって増幅する励起装置と、

前記増幅チャンバに設けられ、前記励起装置によって増幅された前記レーザ光を前記増幅チャンバの外部に出力させる第 2 のウインドウと、

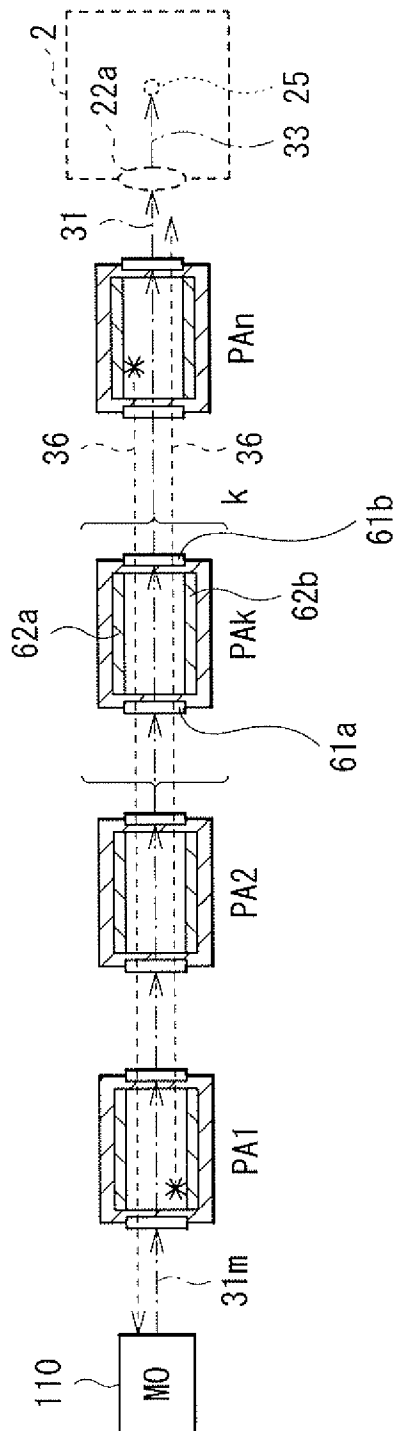
前記第 1 のウインドウと前記第 2 のウインドウとの間のレーザ光路上に設けられたミラーと、

前記第 1 のウインドウ及び前記第 2 のウインドウ、並びに前記ミラーのうち、少なくとも 1 つに設けられ、前記所望波長とは異なる抑制対象波長の光の伝搬を抑制する波長選択膜と

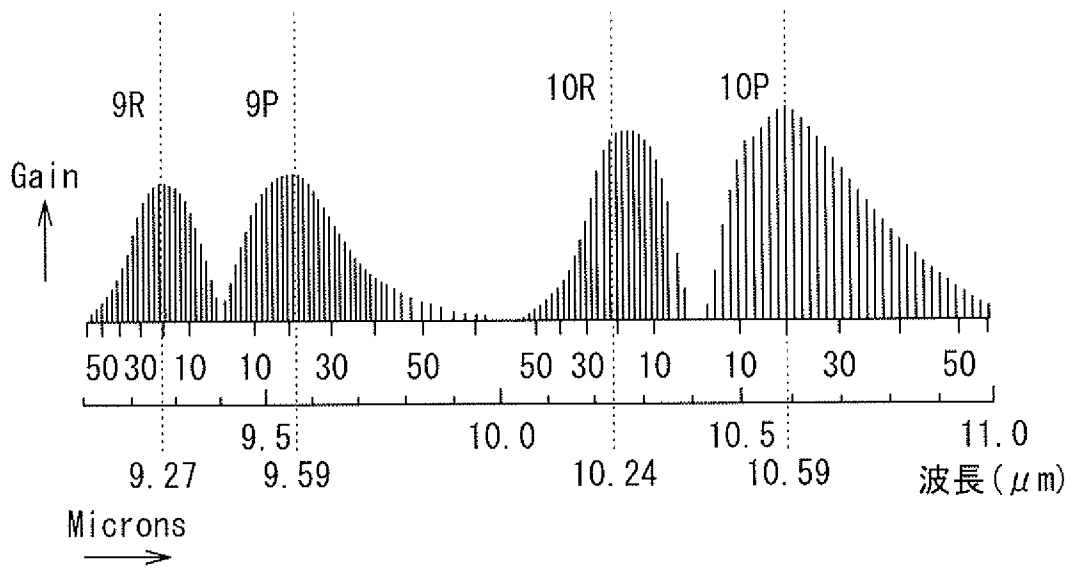
を備える極端紫外光生成システム。



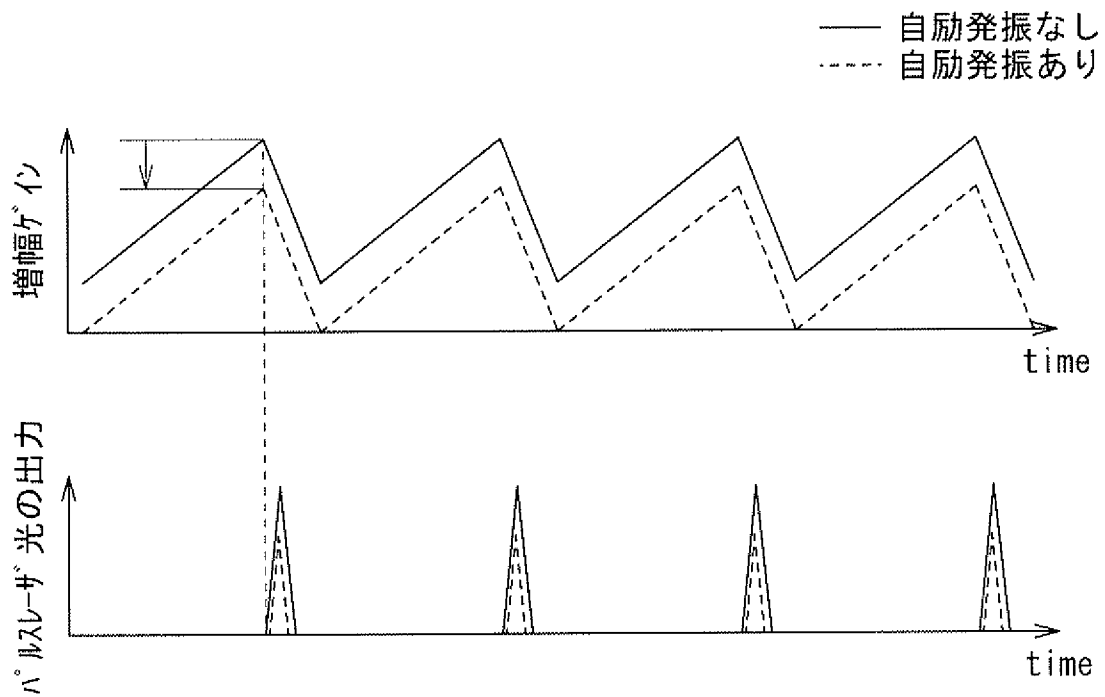
[図2]



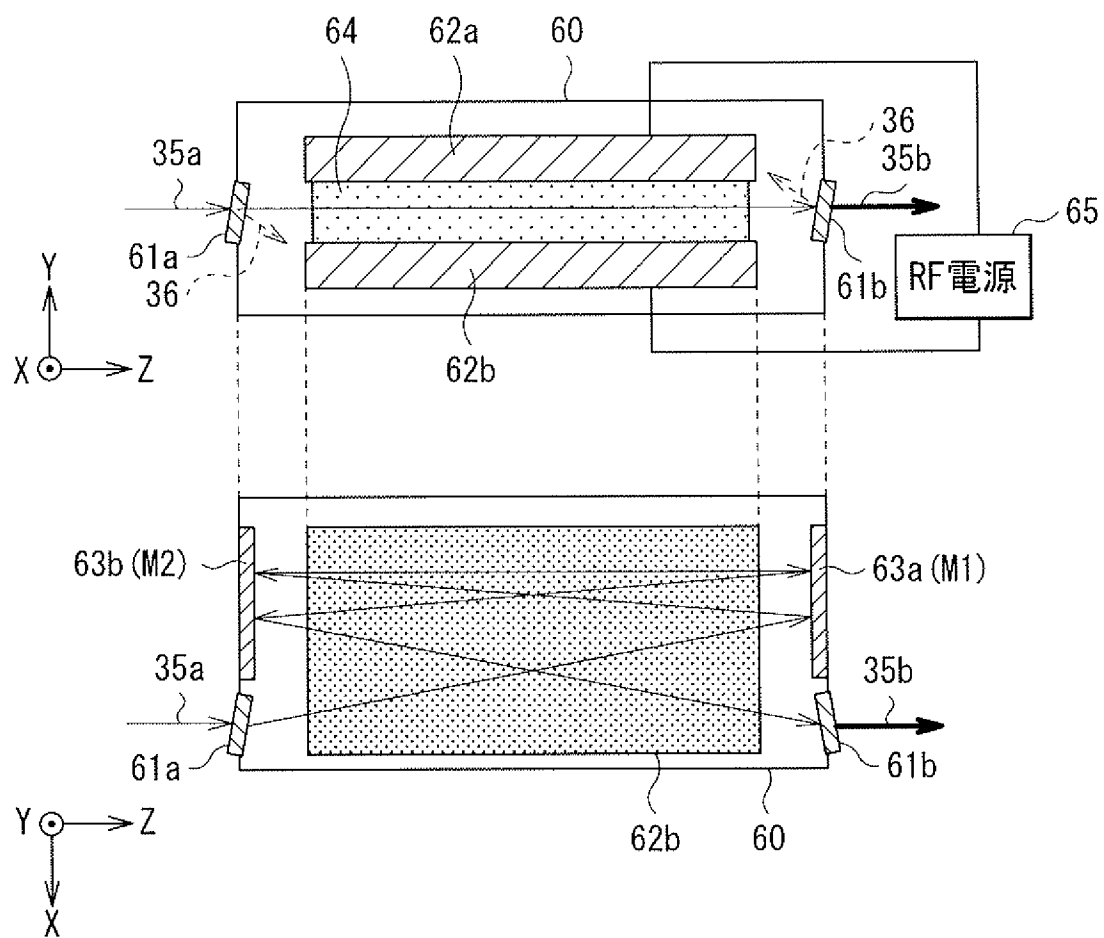
[図3]



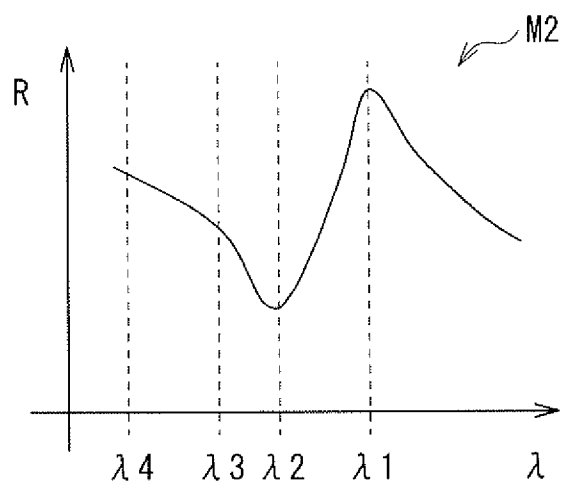
[図4]



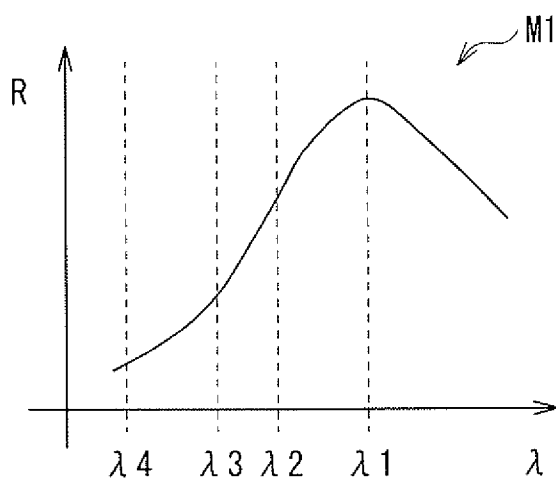
[図5]



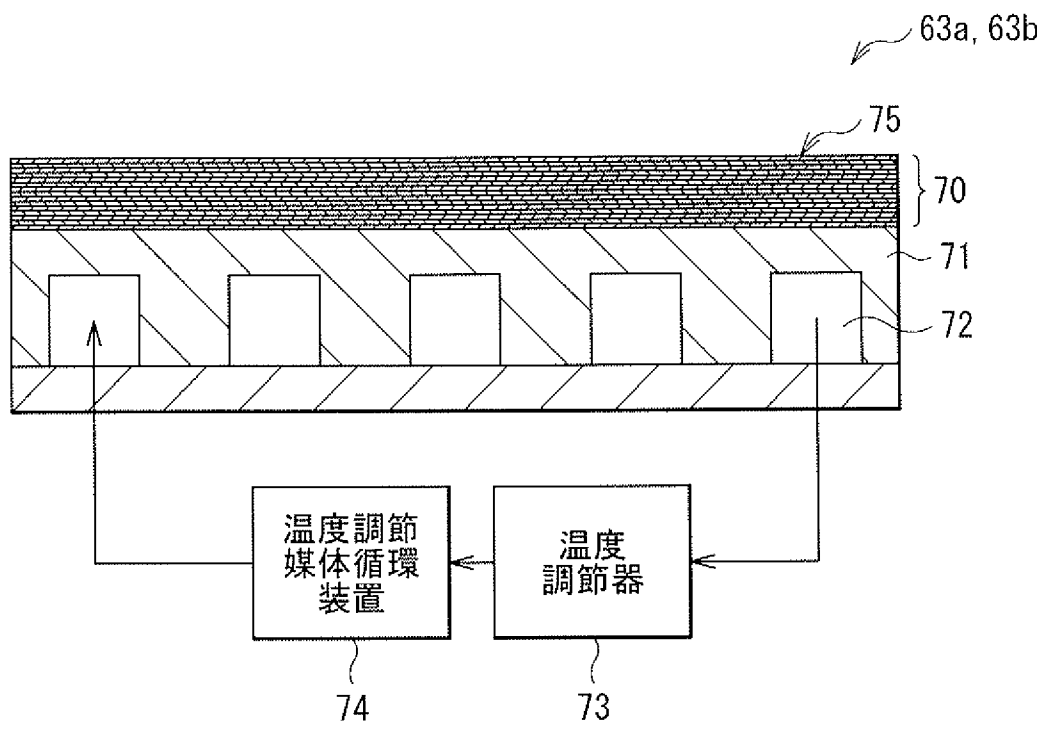
[図6]



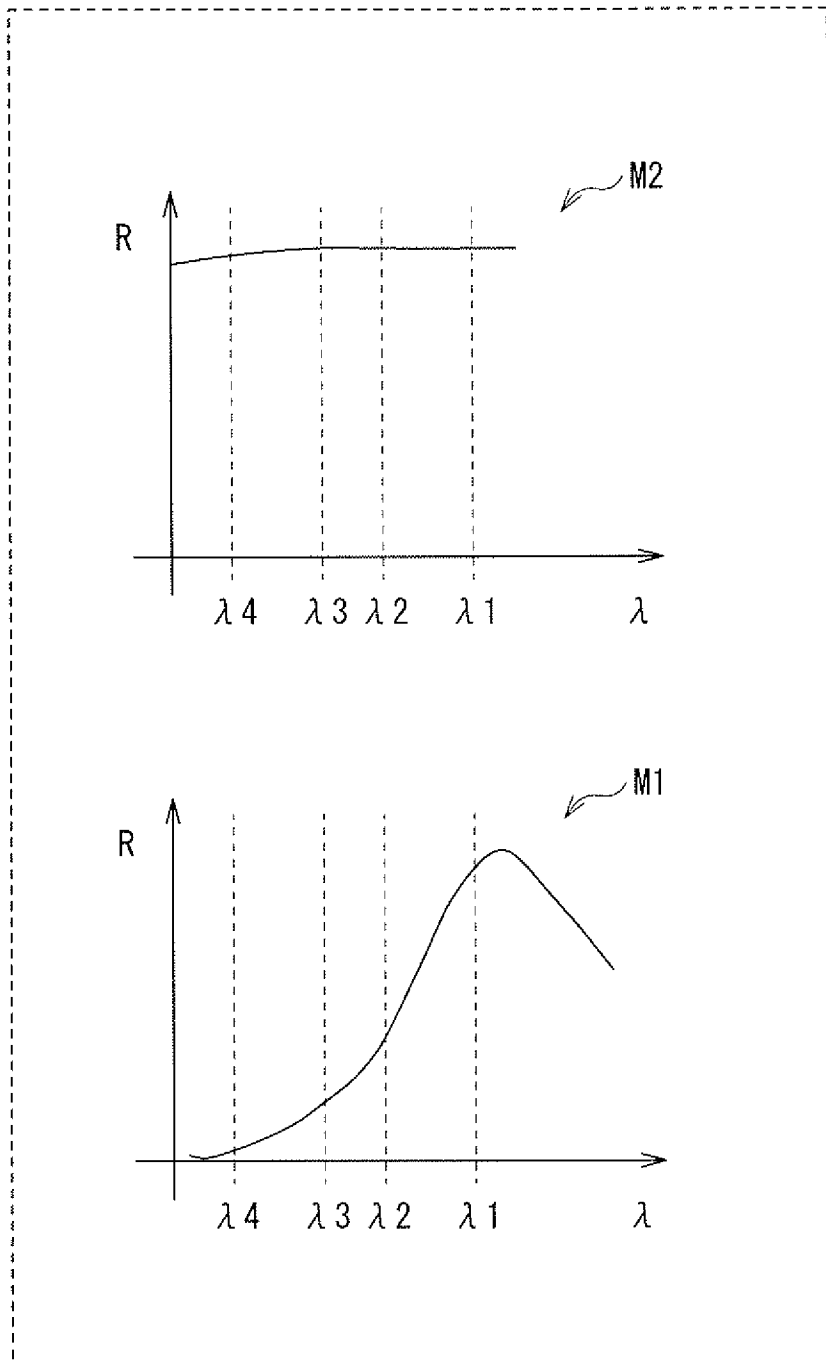
[図7]



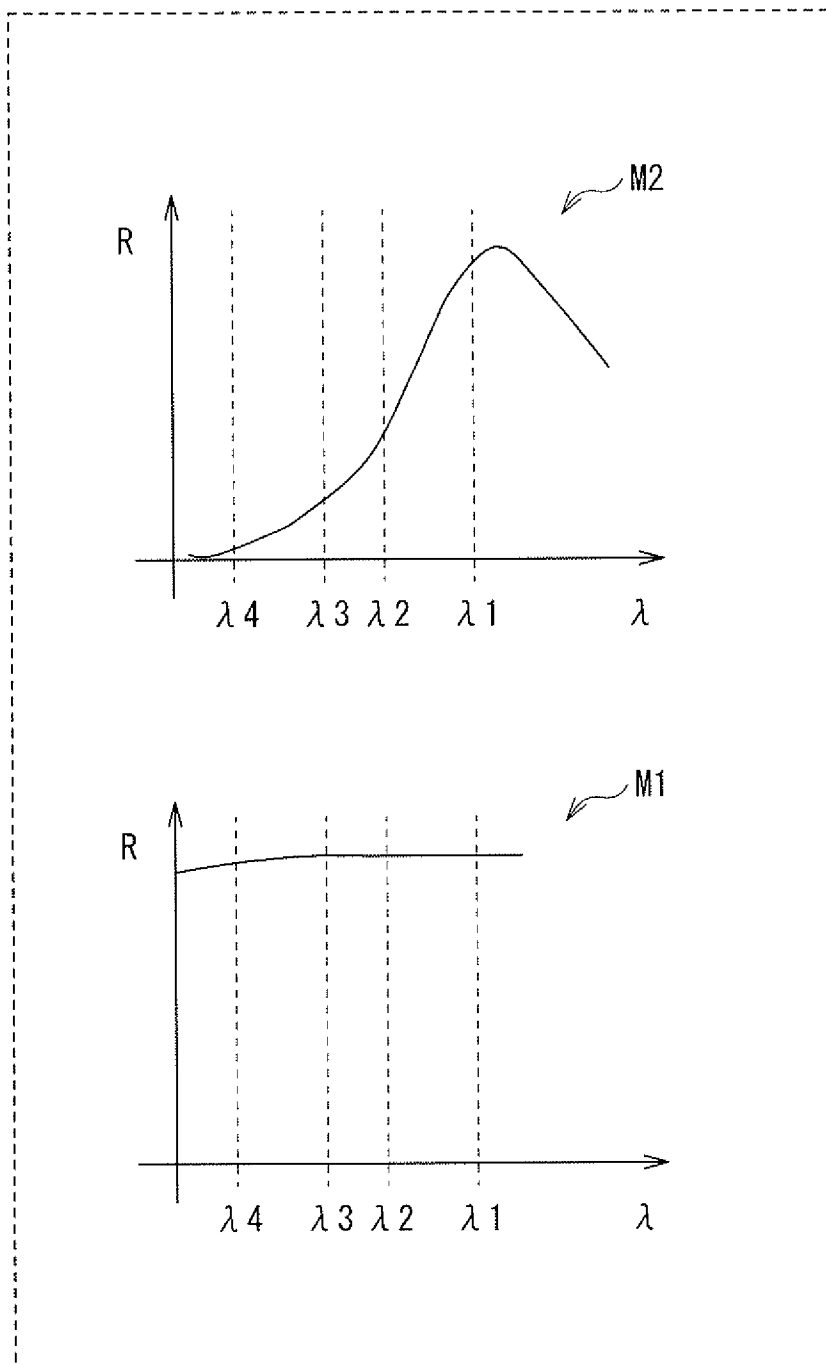
[図8]



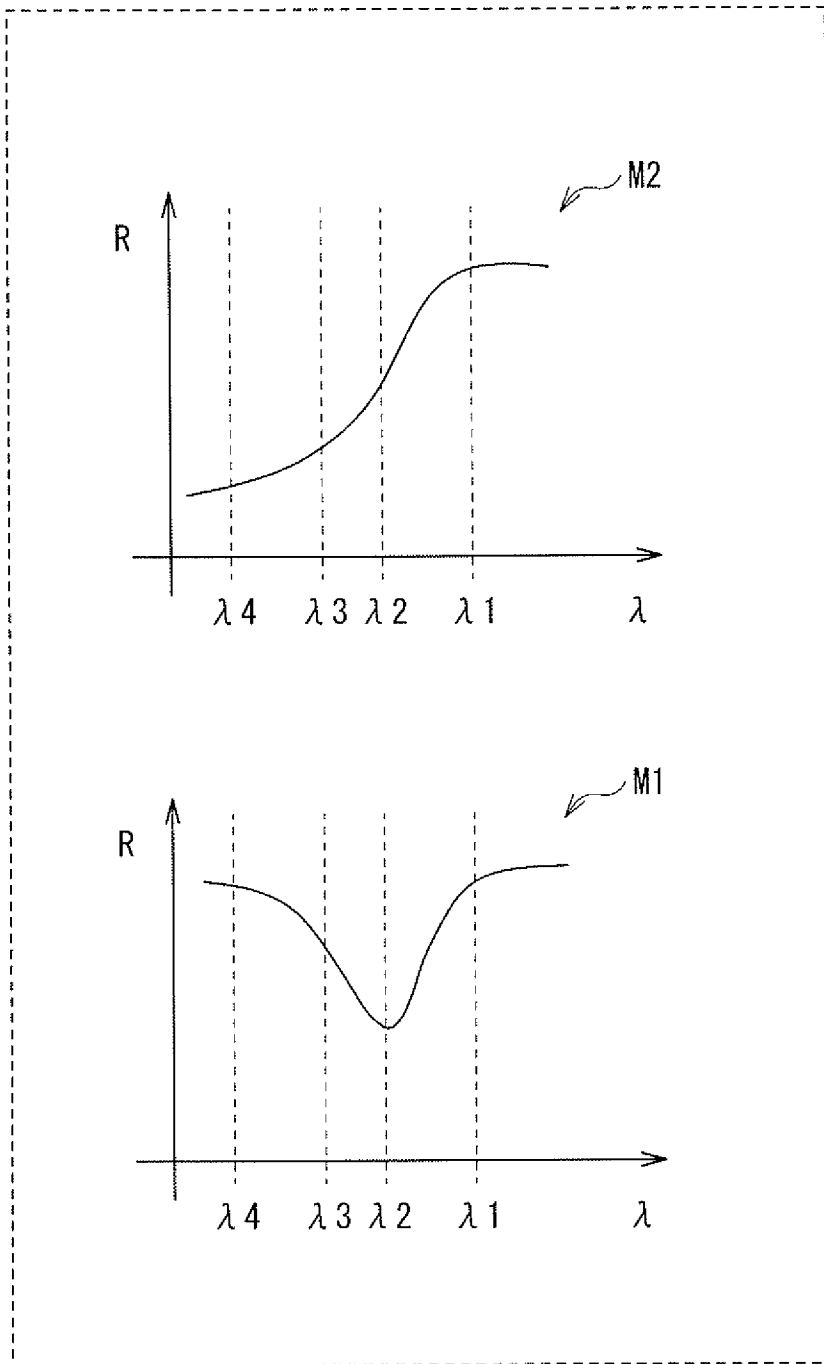
[図9]



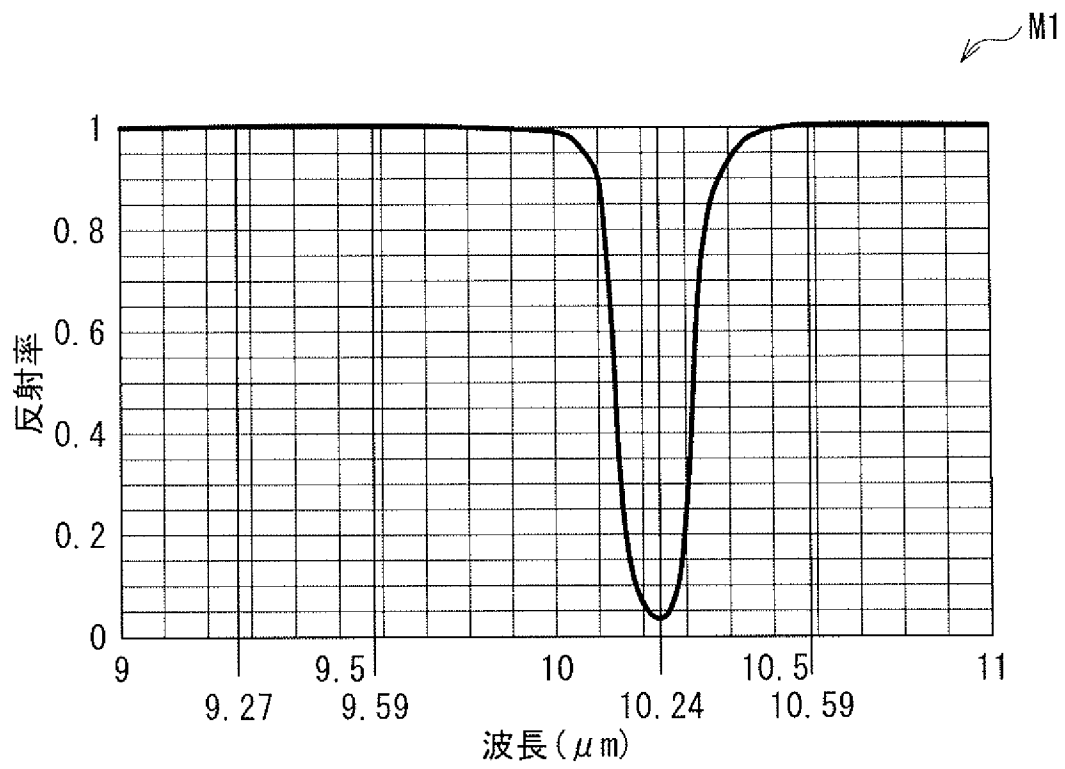
[図10]



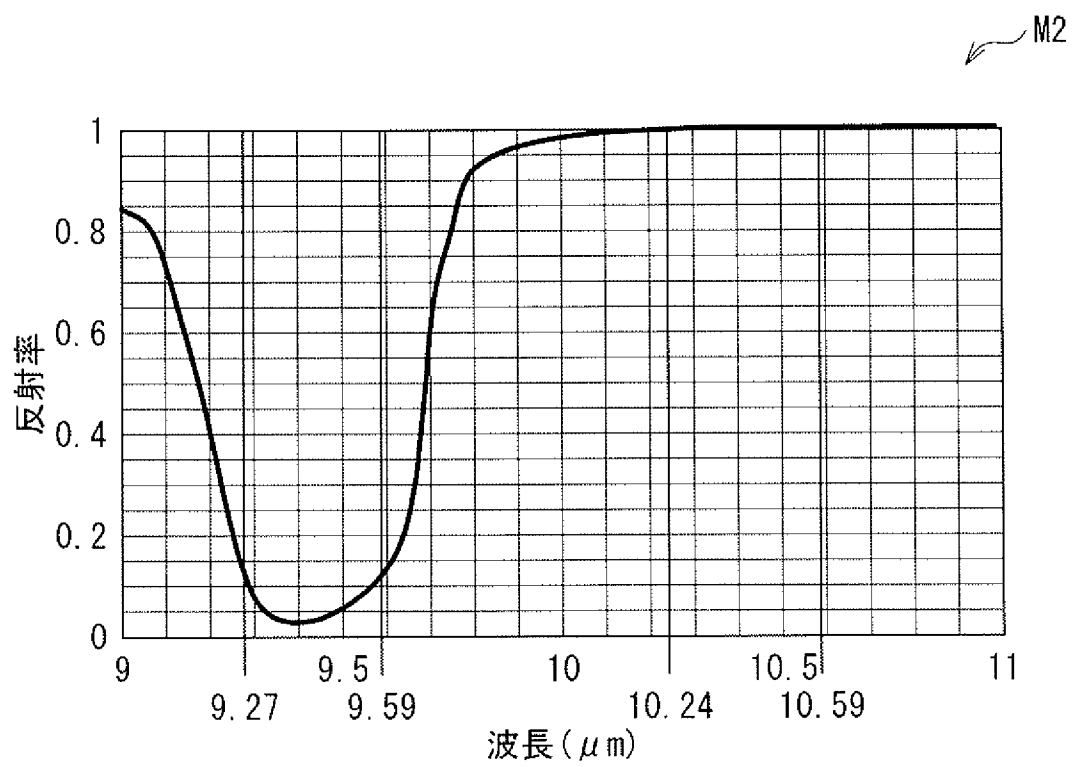
[図11]



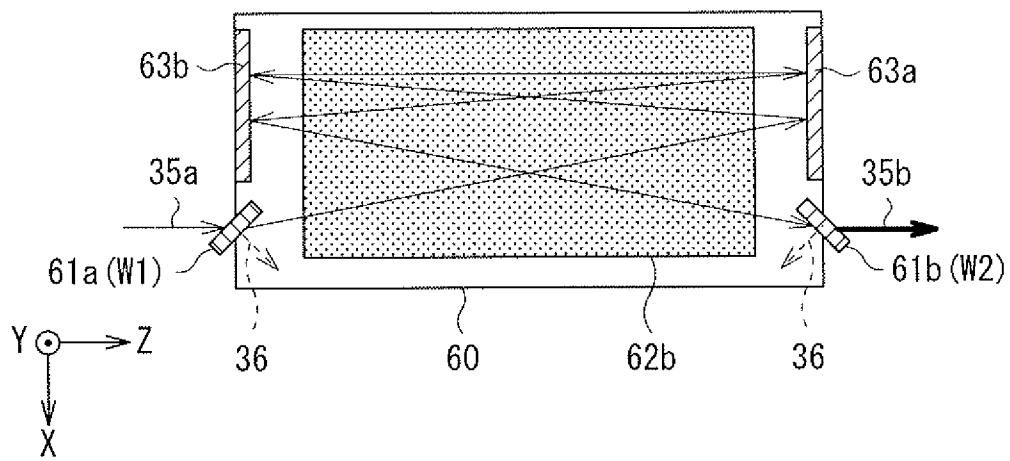
[図12]



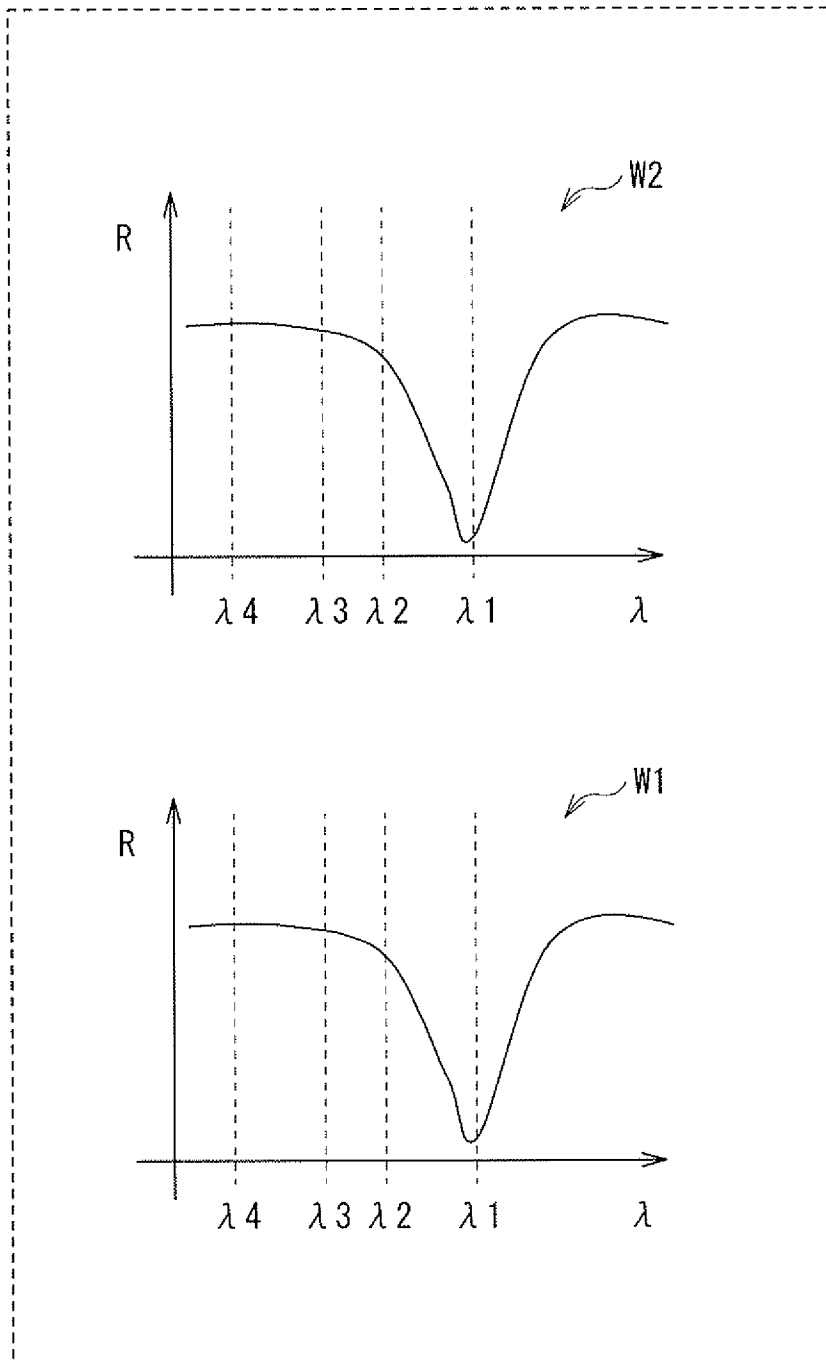
[図13]



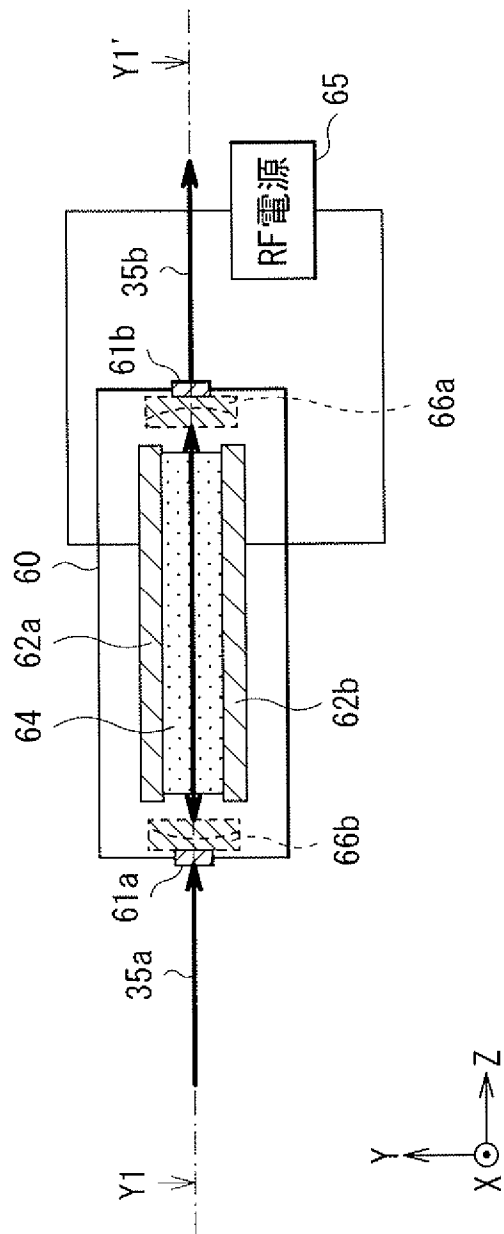
[図14]



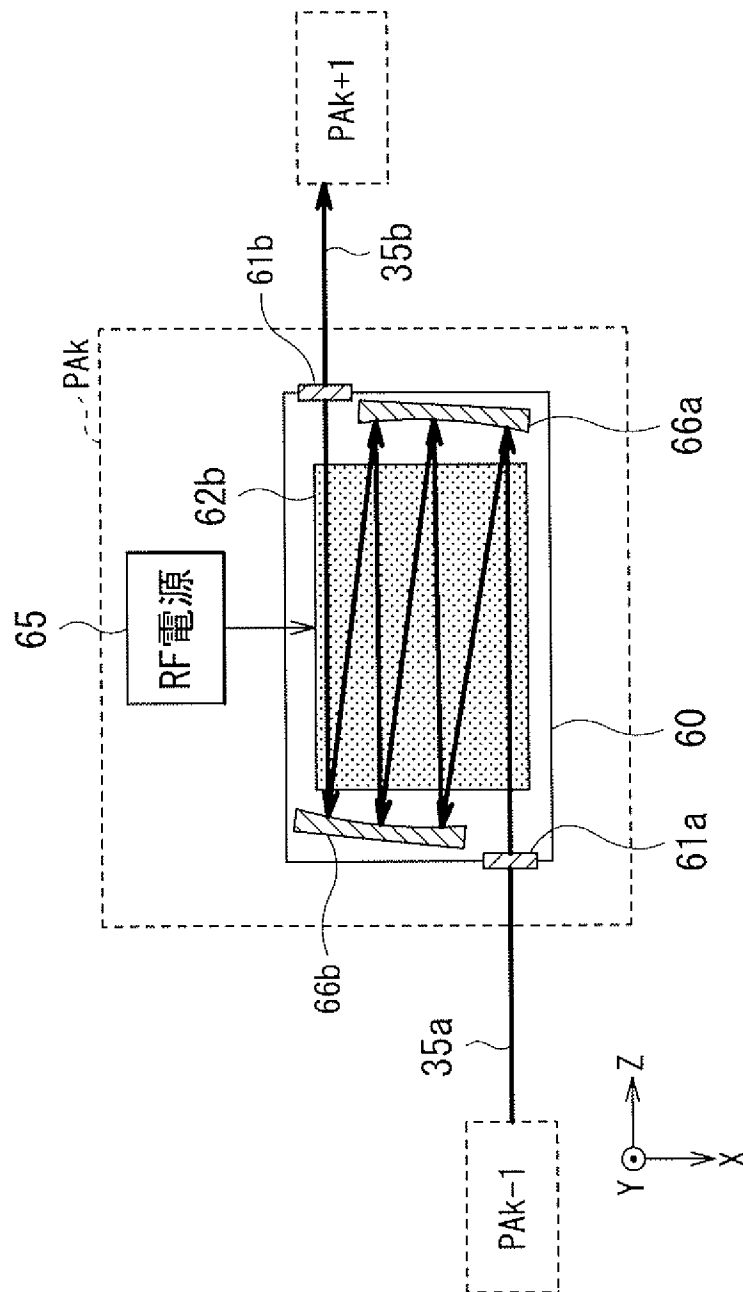
[図15]



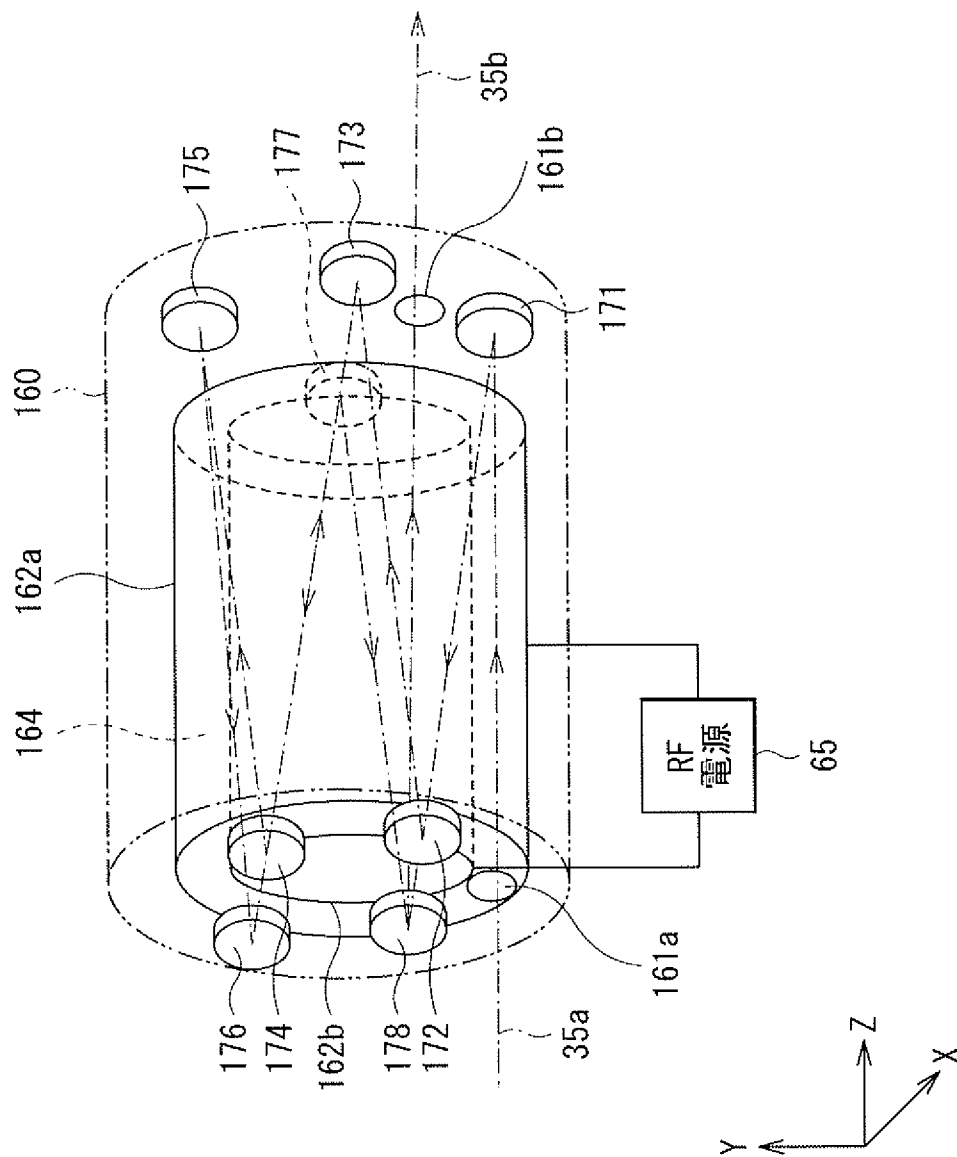
[図16]



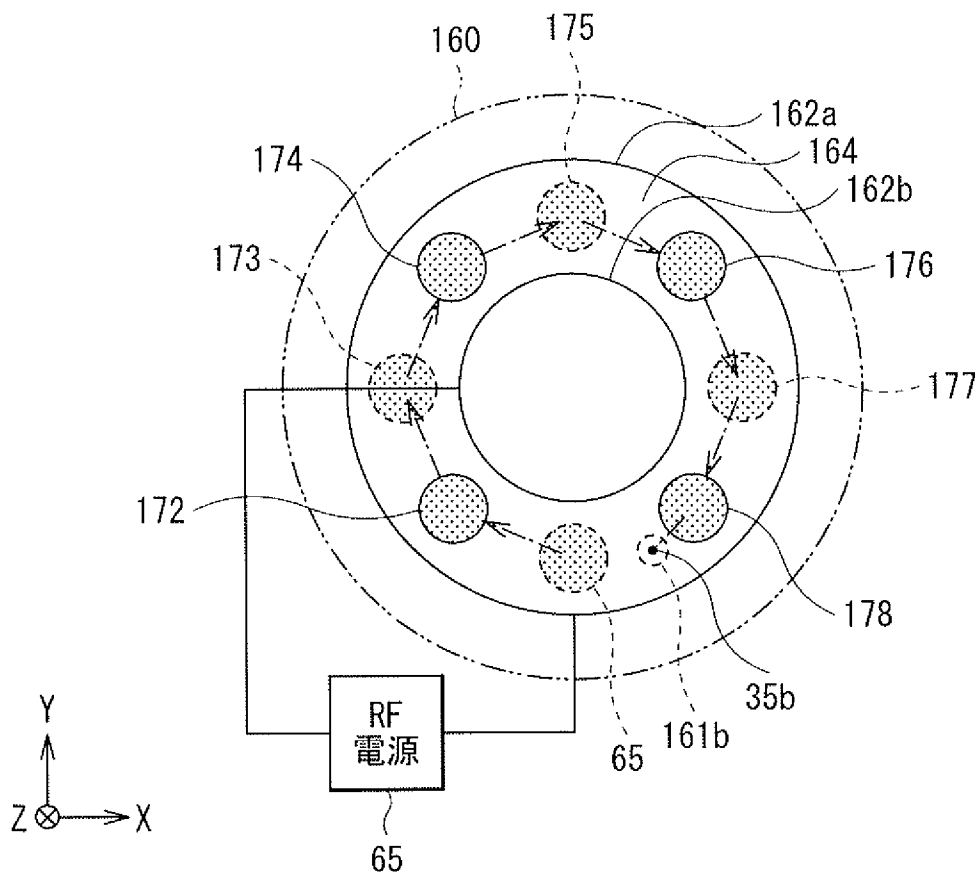
[図17]



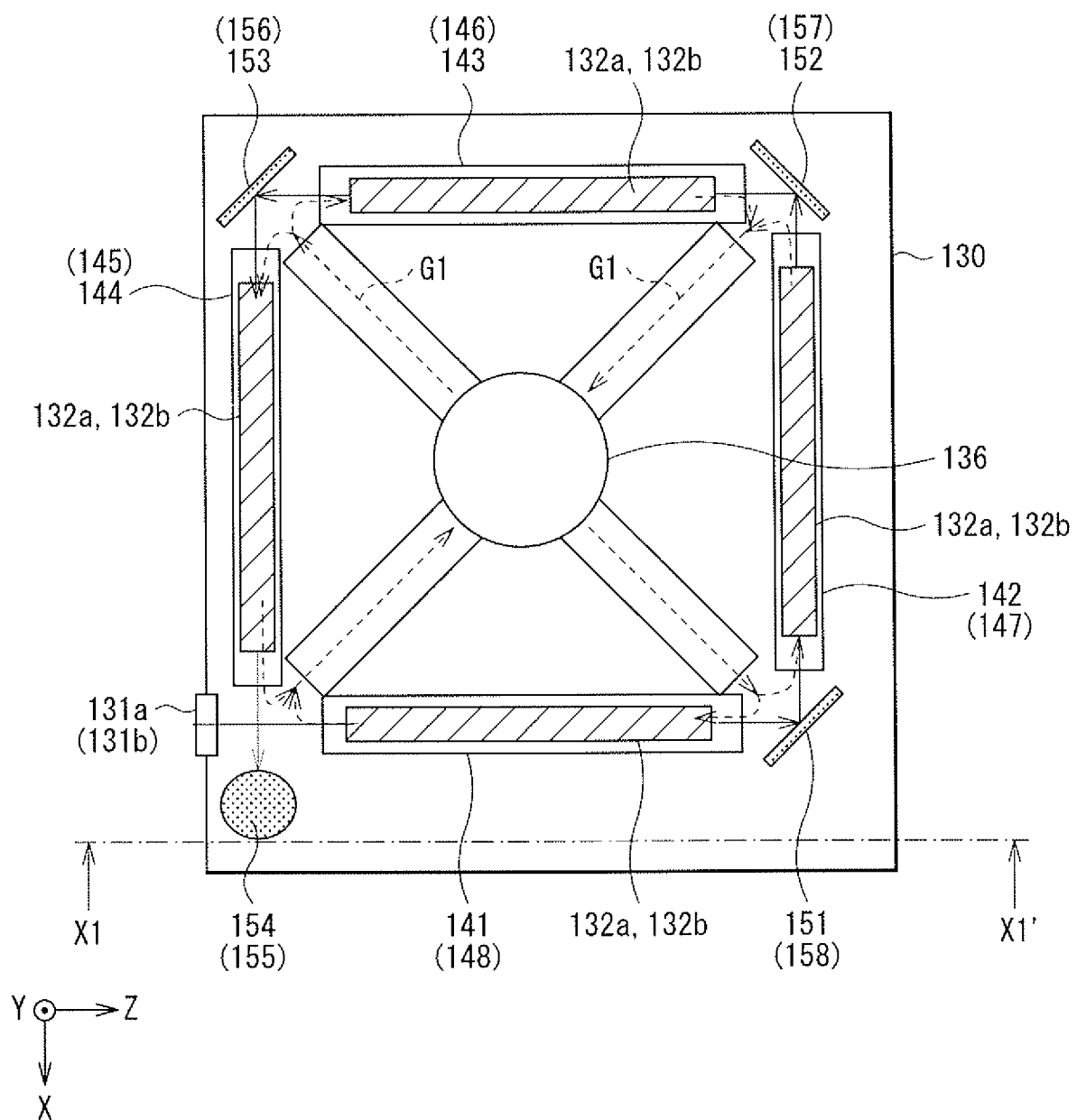
[図18]



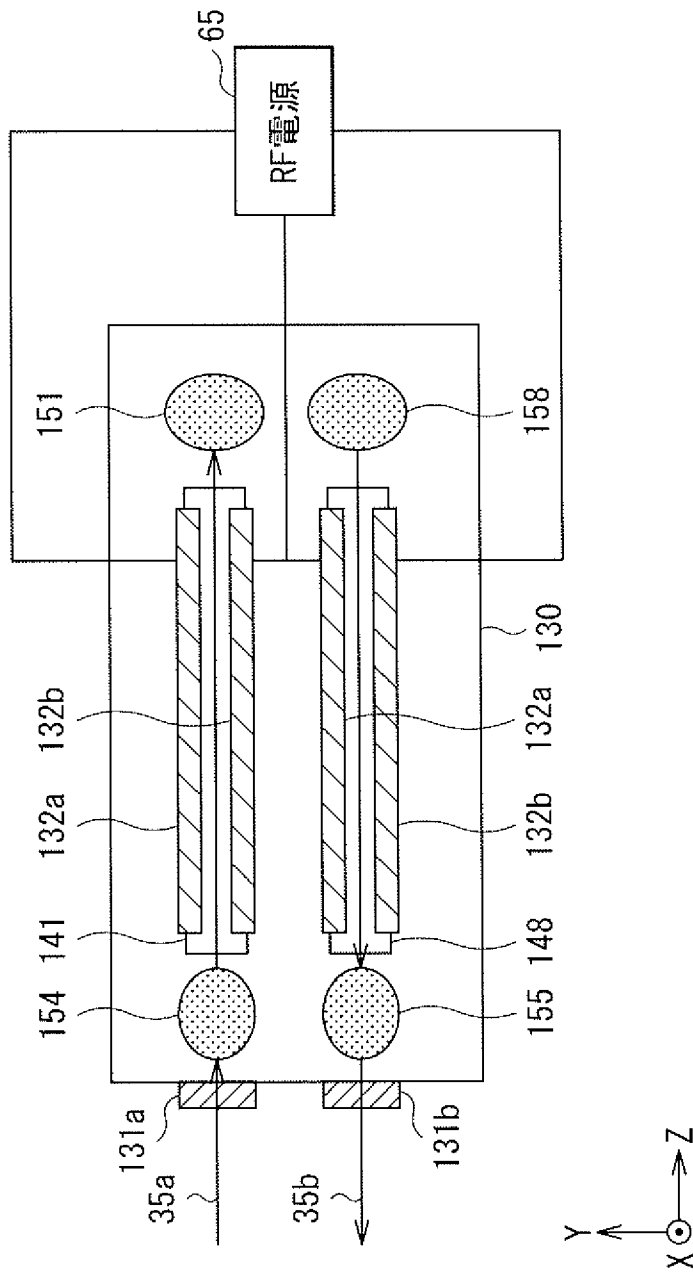
[図19]



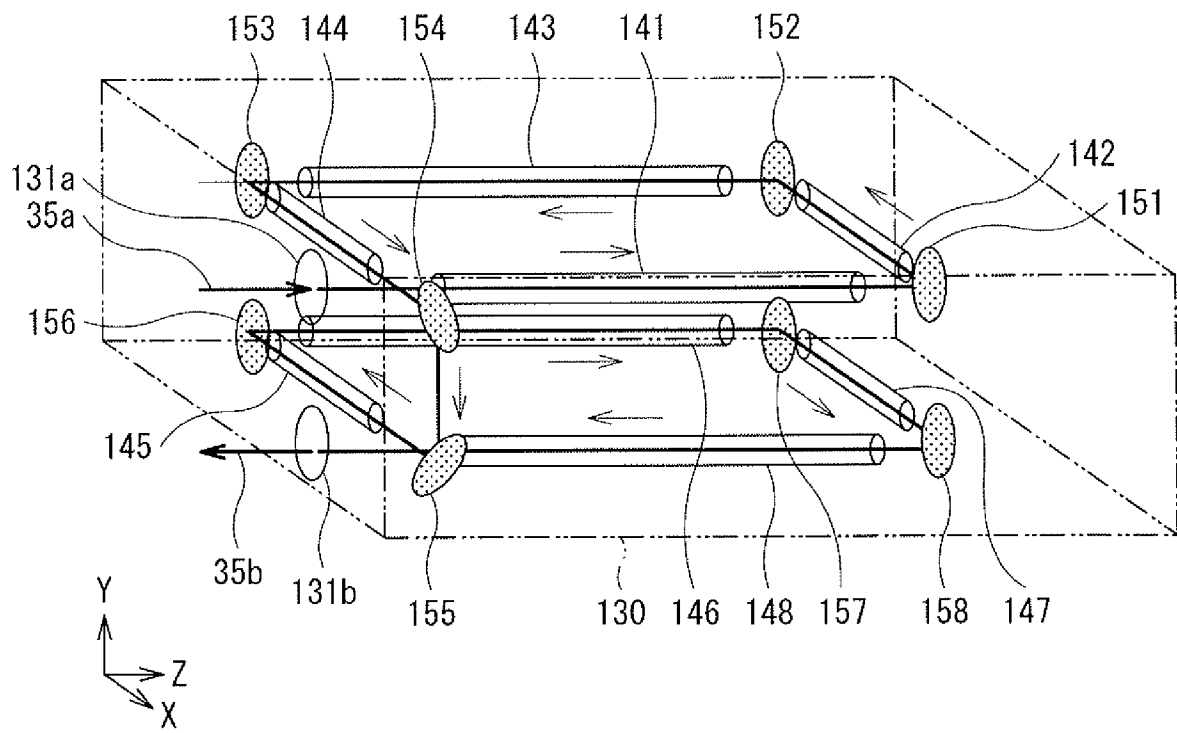
[図20]



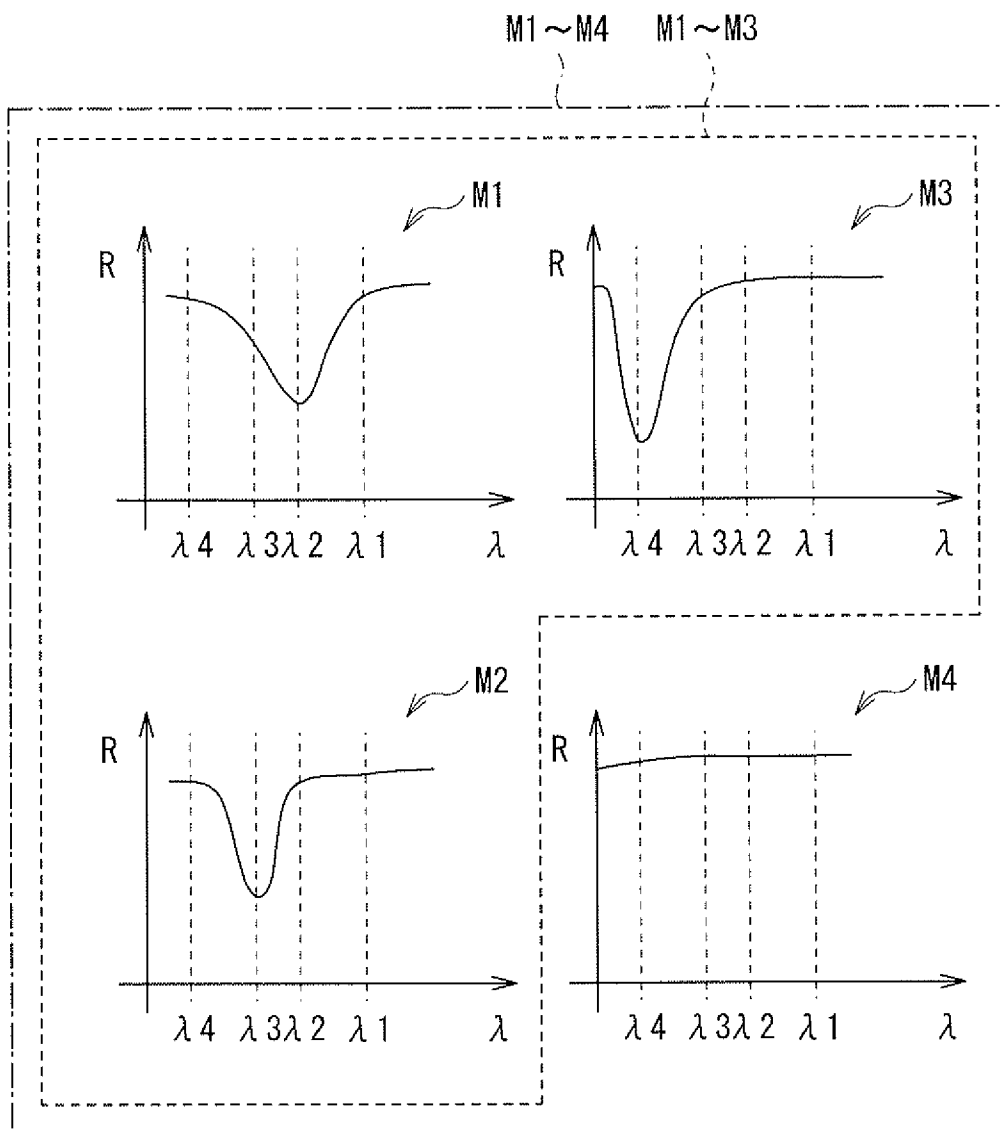
[図21]



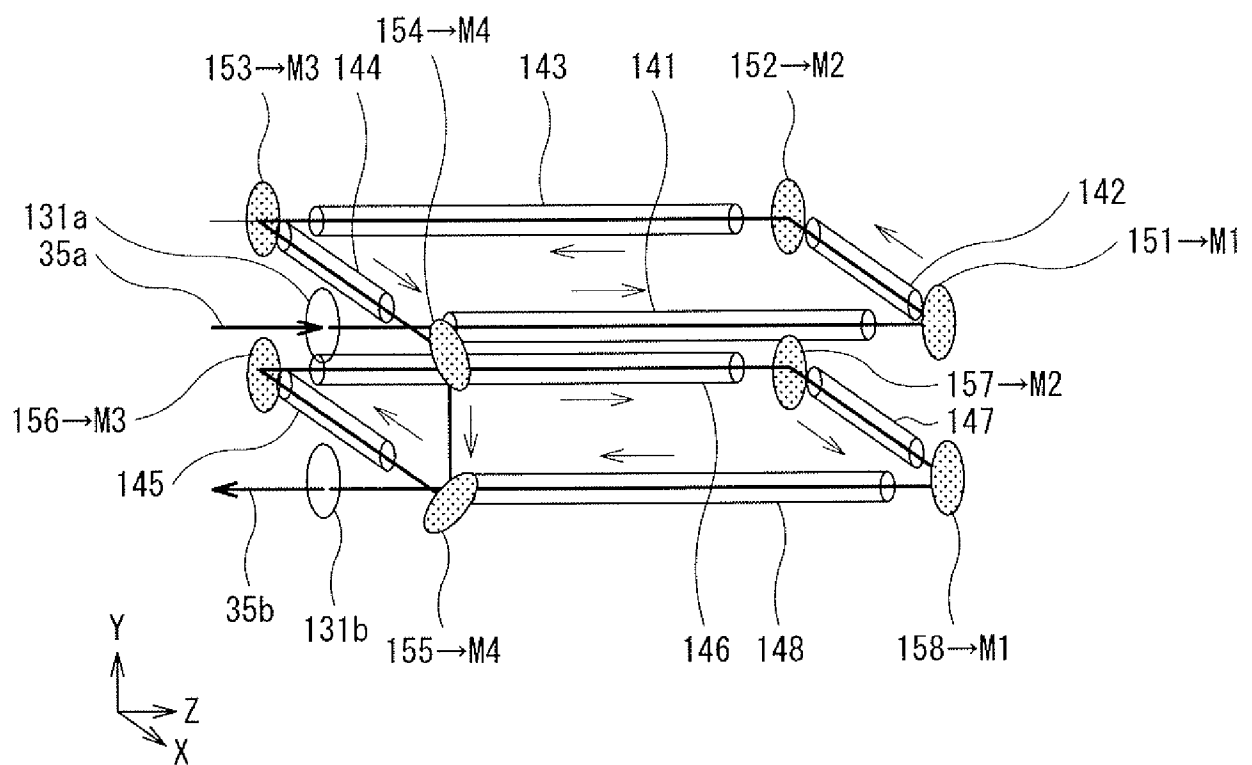
[図22]



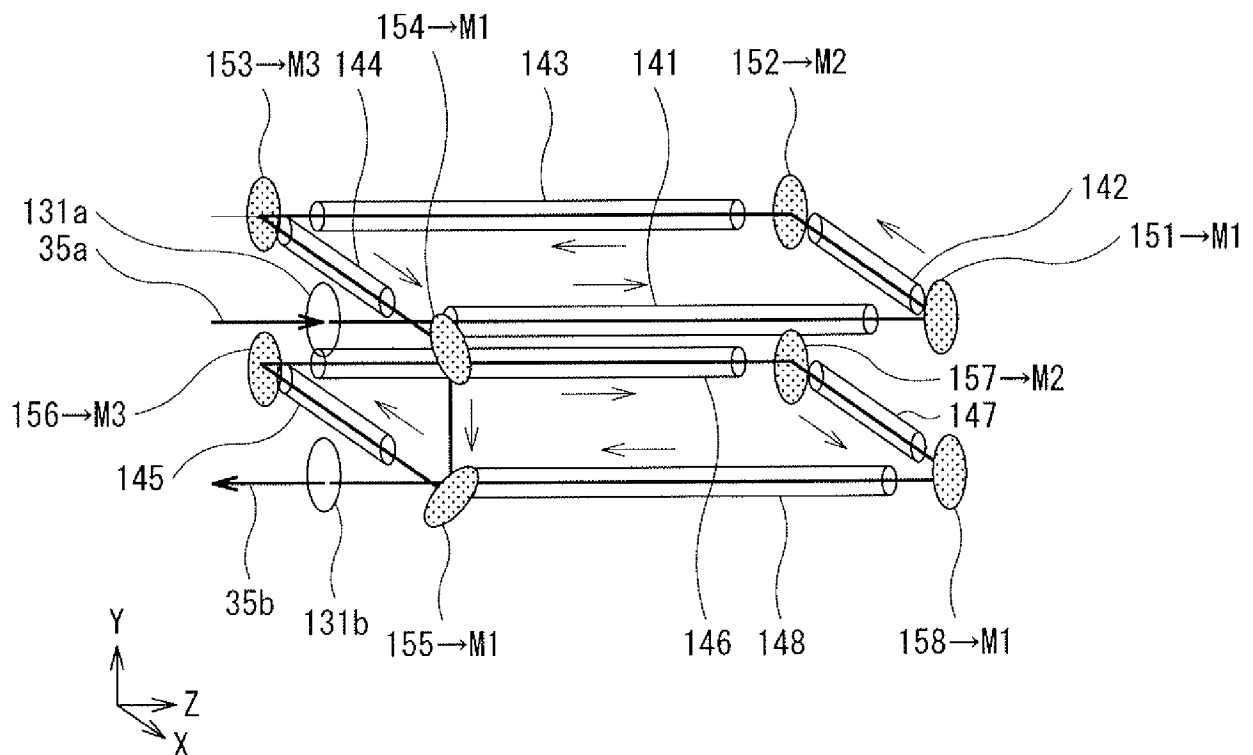
[図23]



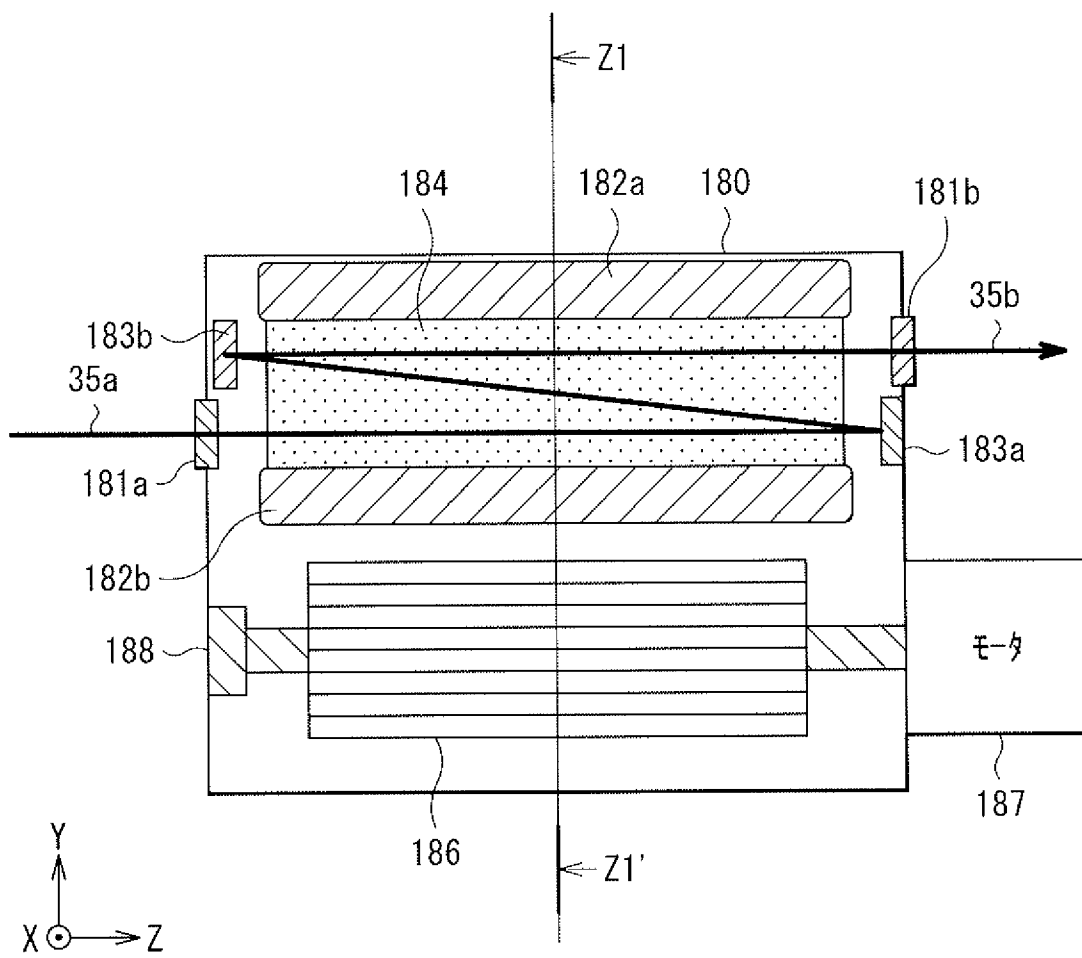
[図24]



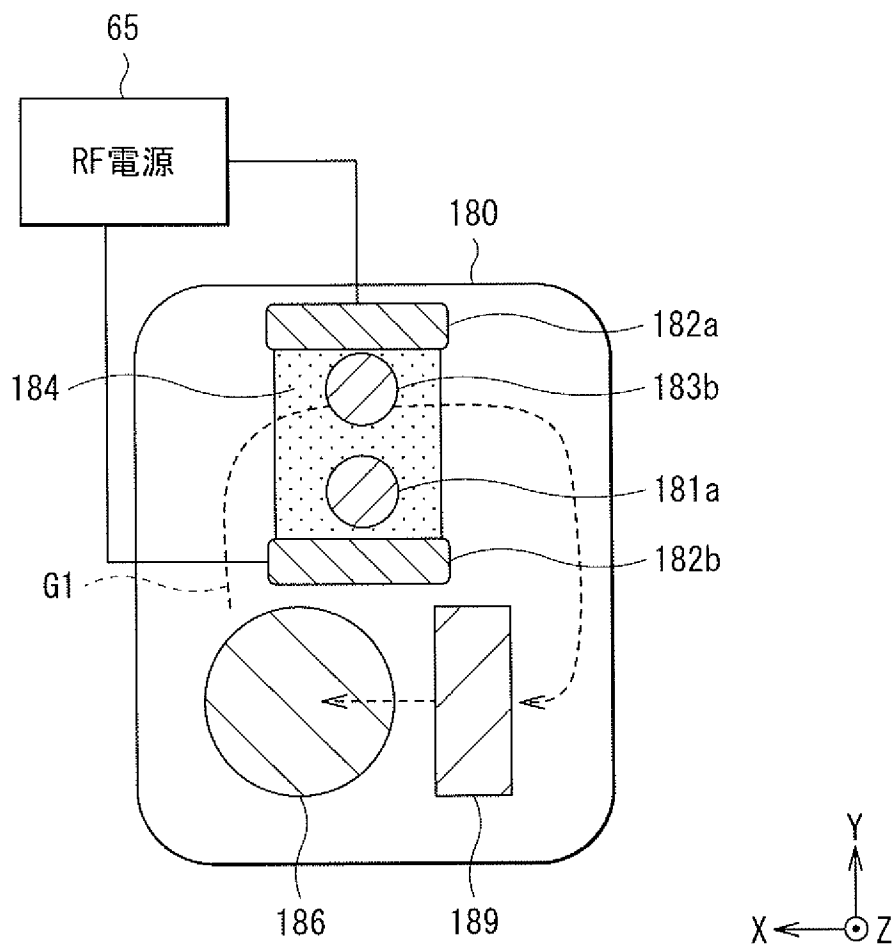
[図25]



[図26]



[図27]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/073987

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S3/23(2006.01)i, H01L21/027(2006.01)i, H01S3/10(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, H01L21/027

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
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.
Y	JP 2013-131724 A (Gigaphoton Inc.), 04 July 2013 (04.07.2013), entire text; all drawings & WO 2013/093577 A1	1-8
Y	JP 2009-99727 A (Gigaphoton Inc.), 07 May 2009 (07.05.2009), paragraphs [0064] to [0066], [0074] to [0077]; fig. 18, 21 (Family: none)	1-8
Y	JP 2006-179600 A (Komatsu Ltd.), 06 July 2006 (06.07.2006), paragraphs [0111] to [0115]; fig. 24 (Family: none)	1-8

☒ 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
28 January, 2014 (28.01.14)

Date of mailing of the international search report
04 February, 2014 (04.02.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/073987

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 2010-186990 A (Gigaphoton Inc.), 26 August 2010 (26.08.2010), entire text; all drawings & US 2010/0195196 A1 & DE 102010000032 A1	1-8
A	JP 3-261191 A (Toshiba Corp.), 21 November 1991 (21.11.1991), entire text; all drawings (Family: none)	1-8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01S3/23(2006.01)i, H01L21/027(2006.01)i, H01S3/10(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, H01L21/027,

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	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
Y	JP 2013-131724 A（ギガフォトン株式会社） 2013.07.04, 全文, 全図 & WO 2013/093577 A1	1-8
Y	JP 2009-99727 A（ギガフォトン株式会社） 2009.05.07, 【0064】 - 【0066】, 【0074】 - 【0077】, 図 18, 21 (ファミリーなし)	1-8

☒ 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 8 . 0 1 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

0 4 . 0 2 . 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）

日夏 貴史

2 X

9 4 1 1

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

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 2006-179600 A (株式会社小松製作所) 2006.07.06, 【0111】 - 【0115】, 図 24 (ファミリーなし)	1-8
A	JP 2010-186990 A (ギガフォトン株式会社) 2010.08.26, 全文, 全図 & US 2010/0195196 A1 & DE 102010000032 A1	1-8
A	JP 3-261191 A (株式会社東芝) 1991.11.21, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-8