

(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
2021年9月23日(23.09.2021)



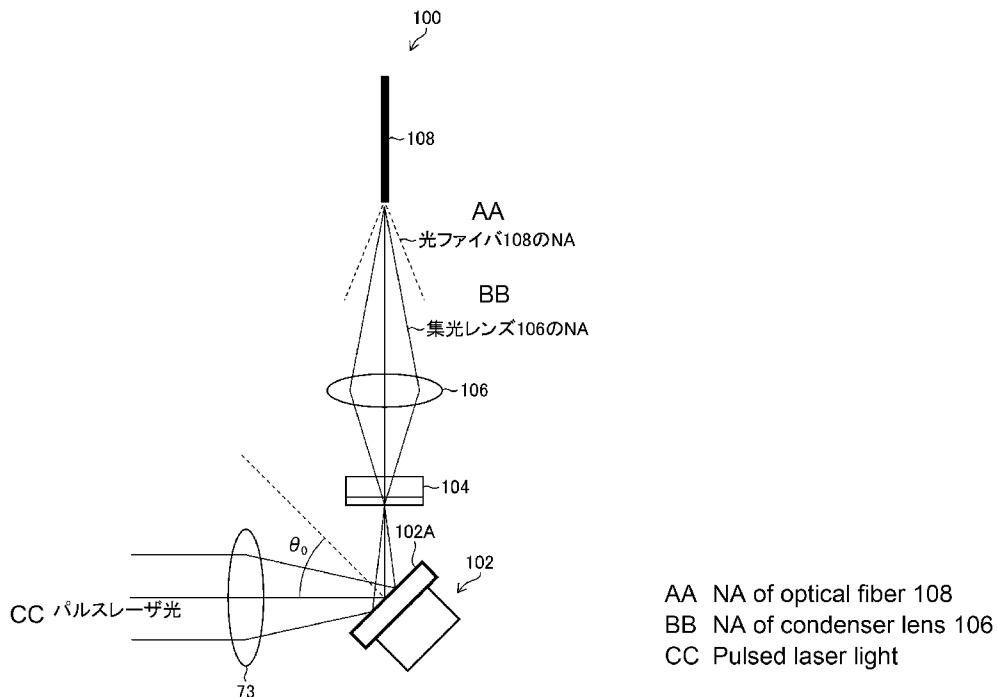
(10) 国際公開番号

WO 2021/186488 A1

- (51) 国際特許分類:
G03F 7/20 (2006.01) *H01S 3/13* (2006.01)
H01S 3/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2020/011326
- (22) 国際出願日: 2020年3月16日(16.03.2020)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: ギガフォトン株式会社(GIGAPHOTON INC.) [JP/JP]; 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 Tochigi (JP).
- (72) 発明者: 河野 夏彦 (KOUNO, Natsuhiko); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP).
- 守屋 正人(MORIYA, Masato); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP).
- (74) 代理人: 松浦 憲三 (MATSUURA, Kenzo); 〒1630223 東京都新宿区西新宿二丁目6番1号 新宿住友ビル23階 私書箱第176号 新都心国際特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,

(54) **Title:** LIGHT TRANSMITTING UNIT, LASER DEVICE, AND MANUFACTURING METHOD FOR ELECTRONIC DEVICE

(54) 発明の名称: 光伝送ユニット、レーザ装置、及び電子デバイスの製造方法



(57) **Abstract:** A laser device according to one aspect of the present disclosure comprises: a laser oscillator that outputs pulsed laser light; a deformable mirror that includes a deformation device for deforming a reflection surface; a first processor that drives the deformation device while the pulsed laser light is being reflected at the reflection surface; a homogenizer that homogenizes the pulsed laser light reflected by the deformable mirror; and a spectrum measurement device that measures the spectrum of the pulsed laser light that has been homogenized by the homogenizer.

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,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

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

添付公開書類：

- 一 国際調査報告（条約第21条(3)）

(57) 要約：本開示の一観点に係るレーザ装置は、パルスレーザ光を出力するレーザ発振器と、反射面を変形させる変形装置を含む変形可能ミラーと、反射面でパルスレーザ光を反射している間に変形装置を駆動させる第1のプロセッサと、変形可能ミラーによって反射されたパルスレーザ光を均一化するホモジナイザと、ホモジナイザによって均一化されたパルスレーザ光のスペクトルを計測するスペクトル計測器と、を備える。

明 細 書

発明の名称：

光伝送ユニット、レーザ装置、及び電子デバイスの製造方法

技術分野

[0001] 本開示は、光伝送ユニット、レーザ装置、及び電子デバイスの製造方法に関する。

背景技術

[0002] 近年、半導体露光装置においては、半導体集積回路の微細化および高集積化につれて、解像力の向上が要請されている。このため、露光用光源から放出される光の短波長化が進められている。たとえば、露光用のガスレーザ装置としては、波長約248nmのレーザ光を出力するKrFエキシマレーザ装置、ならびに波長約193nmのレーザ光を出力するArFエキシマレーザ装置が用いられる。

[0003] KrFエキシマレーザ装置およびArFエキシマレーザ装置の自然発振光のスペクトル線幅は、350～400pmと広い。そのため、KrF及びArFレーザ光のような紫外線を透過する材料で投影レンズを構成すると、色収差が発生してしまう場合がある。その結果、解像力が低下し得る。そこで、ガスレーザ装置から出力されるレーザ光のスペクトル線幅を、色収差が無視できる程度となるまで狭帯域化する必要がある。そのため、ガスレーザ装置のレーザ共振器内には、スペクトル線幅を狭帯域化するために、狭帯域化素子（エタロンやグレーティング等）を含む狭帯域化モジュール（Line Narrow Module：LNM）が備えられる場合がある。以下では、スペクトル線幅が狭帯域化されるガスレーザ装置を狭帯域化ガスレーザ装置という。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2008-277617号公報

特許文献2：特開2006-184077号公報

特許文献3：米国特許公開第2008／0106720号公報

特許文献4：特表2011－507042号公報

概要

- [0005] 本開示の1つの観点に係る光伝送ユニットは、反射面でパルスレーザ光を反射している間に反射面を変形させる変形装置を含む変形可能ミラーと、変形可能ミラーによって反射されたパルスレーザ光を均一化するホモジナイザと、を備える。
- [0006] 本開示の他の観点に係るレーザ装置は、パルスレーザ光を出力するレーザ発振器と、反射面を変形させる変形装置を含む変形可能ミラーと、反射面でパルスレーザ光を反射している間に変形装置を駆動させる第1のプロセッサと、変形可能ミラーによって反射されたパルスレーザ光を均一化するホモジナイザと、ホモジナイザによって均一化されたパルスレーザ光のスペクトルを計測するスペクトル計測器と、を備える。
- [0007] 本開示の他の観点に係る電子デバイスの製造方法は、電子デバイスの製造方法であって、パルスレーザ光を出力するレーザ発振器と、反射面を変形させる変形装置を含む変形可能ミラーと、反射面でパルスレーザ光を反射している間に変形装置を駆動させる第1のプロセッサと、変形可能ミラーによって反射されたパルスレーザ光を均一化するホモジナイザと、ホモジナイザによって均一化されたパルスレーザ光のスペクトルを計測するスペクトル計測器と、を備えるレーザ装置によってパルスレーザ光を生成し、パルスレーザ光を露光装置に出力し、電子デバイスを製造するために、露光装置内で感光基板上にパルスレーザ光を露光することを含む。

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、明暗の斑点からなるパターンを撮像したスペックル画像の一例を示す図である。
- [図2]図2は、図1に示したスペックル画像の明暗のヒストグラムを示す図で

ある。

[図3]図3は、スペクトル線幅を説明するための図である。

[図4]図4は、E95の定義を説明するための図である。

[図5]図5は、エキシマレーザ装置の構成を示す図である。

[図6]図6は、光ファイバの構成を示す図である。

[図7]図7は、図6の7-7断面図である。

[図8]図8は、スペクトル計測器の構成を示す図である。

[図9]図9は、干渉縞とフリンジパターンとを説明するための図である。

[図10]図10は、スペckルノイズとフリンジパターンとを説明するための図である。

[図11]図11は、ファイバ揺動機構による光ファイバの揺動を説明するための図である。

[図12]図12は、パルスレーザ光の1パルスの発光強度の経時変化と、その時間内における光ファイバの出射端の振動の様子を示す図である。

[図13]図13は、パルスレーザ光の1パルスの発光強度の経時変化と、1パルスの発光時間内で振動する場合の振幅を示す図である。

[図14]図14は、エキシマレーザ装置の構成を示す図である。

[図15]図15は、変形可能ミラーの構成を示す図である。

[図16]図16は、光伝送ユニットの構成の一部の詳細を示す図である。

[図17]図17は、光ファイバの断面図である。

[図18]図18は、反射面の振動変形タイミングを説明するための図である。

[図19]図19は、変形可能ミラーの制御によるパルスレーザ光の反射を説明するための図である。

[図20]図20は、パルスレーザ光のパルス幅とSC低減率との関係を示す図である。

[図21]図21は、光伝送ユニットの構成の一部の一例を示す図である。

[図22]図22は、光伝送ユニットの構成の一部の一例を示す図である。

[図23]図23は、光伝送ユニットの構成の一部の他の例を示す図である。

[図24]図 2 4 は、光伝送ユニットの構成の一部の他の例を示す図である。

[図25]図 2 5 は、光伝送ユニットの構成の一部の一例を示す図である。

[図26]図 2 6 は、光伝送ユニットの構成の一部の一例を示す図である。

[図27]図 2 7 は、光ファイバの断面図である。

[図28]図 2 8 は、エキシマレーザ装置の構成の一部を示す図である。

[図29]図 2 9 は、露光装置の構成例を概略的に示す図である。

実施形態

[0009] ー目次ー

1. 用語の説明

1. 1 スペックルコントラストの定義

1. 2 E 9 5 の定義

2. レーザシステムの概要

2. 1 レーザシステムの構成

2. 1. 1 光ファイバの構成

2. 1. 2 スペクトル計測器の構成

2. 2 動作

2. 2. 1 フリンジパターン

3. 課題

4. 実施形態 1

4. 1 構成

4. 1. 1 変形可能ミラーの構成

4. 1. 2 光伝送ユニットの構成の詳細

4. 1. 3 光ファイバの構成

4. 2 動作

4. 3 作用・効果

5. 実施形態 2

5. 1 構成

5. 2 動作

- 5. 3 作用・効果
- 6. 実施形態3
 - 6. 1 構成
 - 6. 2 動作
 - 6. 3 作用・効果
- 7. 実施形態4
 - 7. 1 構成
 - 7. 2 動作
 - 7. 3 作用・効果
- 8. 電子デバイスの製造方法
- 9. その他

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
。

[0010] 1. 用語の説明

本明細書において使用される用語を以下のように定義する。

[0011] 1. 1 スペックルコントラストの定義

スペックルとは、レーザ光がランダムな媒質で散乱したときに生じる明暗
の斑点である。図1は、明暗の斑点からなるパターンを撮像したスペックル
画像の一例を示す図である。また、図2は、図1に示したスペックル画像の
明暗のヒストグラムを示す図である。

[0012] スペックル評価指標として、一般的にスペックルコントラストSCが使用
される。スペックル画像の強度の標準偏差を σ 、スペックル画像の強度の平
均を μ マクロン（ μ の上にマクロンが記されたもの）とすると、スペックル
コントラストSCは、下記の式（1）で表すことができる。

[0013] [数1]

$$SC = \frac{\sigma}{\bar{I}} \quad \dots (1)$$

[0014] 1. 2 E 9 5 の定義

図3は、スペクトル線幅を説明するための図である。スペクトル線幅とは、図3に示すようなレーザ光のスペクトル波形の光量閾値における全幅である。本明細書では、光量ピーク値に対する各光量閾値の相対値を線幅閾値Thresh ($0 < \text{Thresh} < 1$) ということにする。例えばピーク値の半値を線幅閾値0.5という。なお線幅閾値0.5におけるスペクトル波形の全幅 $W/2$ を特に半値全幅又はFWHM (Full Width at Half Maximum) という。

[0015] 図4は、E 9 5 の定義を説明するための図である。スペクトル純度、例えば95%純度E 9 5とは、図4に示すように、全スペクトルエネルギーのうち波長 λ_0 を中心として95%を占める部分の全幅 $W_{95\%}$ であって、下記の式(2)が成り立つ。

[0016] [数2]

$$\frac{\int_{-\frac{\Delta\lambda}{2}}^{\frac{\Delta\lambda}{2}} g(\lambda + \lambda_0) d\lambda}{\int_{-\infty}^{\infty} g(\lambda + \lambda_0) d\lambda} = 0.95 \quad \dots (2)$$

[0017] 特に何も述べない場合は、本明細書ではスペクトル純度をE 9 5として説明する。

[0018] 2. レーザシステムの概要

2. 1 レーザシステムの構成

図5は、エキシマレーザ装置1の構成を示す図である。エキシマレーザ装置1は、紫外波長のパルスレーザ光を発生させる狭帯域化ガスレーザ装置である。図5に示すように、エキシマレーザ装置1は、マスターオシレータ(M

aster Oscillator : MO) 10と、スペクトル可変部20と、MOビームステアリングユニット30と、パワーオシレータ (Power Oscillator : PO) 40と、POビームステアリングユニット50と、光学パルスストレッチャ (Optical Pulse Stretcher) 60と、光伝送ユニット70と、スペクトル計測器80と、プロセッサ90と、制御部92と、同期発振制御部94と、ドライバ96とを含む。

[0019] MO10 (狭帯域化ガスレーザ装置の一例) は、LNM11と、チャンバ14と、電源17と、充電器18とを含む。

[0020] LNM11は、スペクトル線幅を狭帯域化するためのプリズム12と、グレーティング13とを含む。プリズム12は、ビームエキスパンダとして機能する。プリズム12は、不図示の回転ステージ上に載置され、回転ステージが回転することによりグレーティング13への入射角を変更するように配置される。グレーティング13は、入射角と回折角とが一致するリトロ配置されている。

[0021] チャンバ14は、後述する光共振器の光路上に配置される。チャンバ14は、1対の放電電極15と、パルスレーザ光が透過する2枚のウィンドウ16a及びウィンドウ16bとを含む。チャンバ14は、エキシマレーザガスを内部に収容する。エキシマレーザガスは、例えば、レアガスとしてArガス又はKrガス、ハロゲンガスとしてF₂ガス、バッファガスとしてNeガスを含んでもよい。

[0022] 電源17は、不図示の充電コンデンサと、不図示のスイッチとを含む。充電器18は、1対の放電電極15間に高電圧を印加するための電気エネルギーを保持する。充電器18は、電源17に設けられる充電コンデンサに接続される。

[0023] スペクトル可変部20は、出力結合ミラー (Output Coupler : OC) 22を含む。OC22は、反射率が40%~60%の反射ミラーである。OC22とLNM11とは、光共振器を構成するように配置される。

[0024] MOビームステアリングユニット30は、高反射ミラー31aと高反射ミ

ラー 3 1 b とを含む。高反射ミラー 3 1 a と高反射ミラー 3 1 b とは、M O 1 0 から出力されたパルスレーザ光が P O 4 0 に入射するように配置される。

[0025] P O 4 0 は、リアミラー 4 1 と、チャンバ 4 2 と、O C 4 5 と、電源 4 7 と、充電器 4 8 とを含む。

[0026] リアミラー 4 1 は、反射率が 8 0 % ~ 9 0 % の反射ミラーである。O C 4 5 は、反射率が 2 0 % ~ 3 0 % の反射ミラーである。リアミラー 4 1 と O C 4 5 とは光共振器を構成するように配置される。

[0027] チャンバ 4 2 は、光共振器の光路上に配置される。チャンバ 4 2 は、1 対の放電電極 4 3 と、パルスレーザ光が透過する 2 枚のウィンドウ 4 4 a 及びウィンドウ 4 4 b とを含む。チャンバ 4 2 は、エキシマレーザガスを内部に収容する。チャンバ 4 2 は、チャンバ 1 4 と同様の構成である。

[0028] 電源 4 7 は、不図示の充電コンデンサと、不図示のスイッチとを含む。充電器 4 8 は、電源 4 7 の充電コンデンサに所定の電圧で充電する直流電源装置である。

[0029] P O ビームステアリングユニット 5 0 は、高反射ミラー 5 1 a と高反射ミラー 5 1 b とを含む。高反射ミラー 5 1 a と高反射ミラー 5 1 b とは、P O 4 0 から出力されたパルスレーザ光が O P S 6 0 に入射するように配置される。

[0030] O P S 6 0 は、P O ビームステアリングユニット 5 0 から出力されたパルスレーザ光のパルス幅を伸長する装置である。O P S 6 0 は、ビームスプリッタ (Beam Splitter : B S) 6 1 と 4 枚の凹面ミラー 6 2 とを含む。

[0031] B S 6 1 は、P O ビームステアリングユニット 5 0 から出力されたパルスレーザ光の光路上に配置される。B S 6 1 は、入射したパルスレーザ光のうちの一部のパルスレーザ光を透過させ、その他のパルスレーザ光を反射させる反射ミラーである。B S 6 1 の反射率は、約 6 0 % である。B S 6 1 は、B S 6 1 を透過したパルスレーザ光を光伝送ユニット 7 0 に入射させるように配置される。

- [0032] 4枚の凹面ミラー62は、BS61を反射したパルスレーザ光の遅延光路を構成する。4枚の凹面ミラー62は、BS61で反射されたレーザ光が4枚の凹面ミラー62で反射して、再びBS61でビームが結像するように配置される。
- [0033] 4枚の凹面ミラー62は、それぞれ焦点距離が F_1 である凹面ミラー62aと、凹面ミラー62bと、凹面ミラー62cと、凹面ミラー62dとから構成される。
- [0034] 凹面ミラー62aと凹面ミラー62bとは、BS61で反射されたパルスレーザ光が凹面ミラー62aで反射され、凹面ミラー62bに入射するように配置される。凹面ミラー62cと凹面ミラー62dとは、凹面ミラー62bで反射されたパルスレーザ光が凹面ミラー62cで反射され、凹面ミラー62dに入射するように配置される。さらに、凹面ミラー62dは、凹面ミラー62dで反射されたパルスレーザ光がBS61に入射するように配置される。
- [0035] ここでは、OPS60が1段のOPSを含む例を説明したが、OPS60は2段以上のOPSを含んでいてもよい。
- [0036] 光伝送ユニット70は、BS71と、高反射ミラー72と、集光レンズ73と、光ファイバ74とを含む。
- [0037] BS71は、OPS60から出力されたパルスレーザ光の光路上に配置される。BS71は、入射したパルスレーザ光のうちの一部のパルスレーザ光を透過させ、その他のパルスレーザ光を反射させる反射ミラーである。BS71は、BS71を透過したパルスレーザ光を露光装置302に入射させるように配置される。
- [0038] 高反射ミラー72は、BS71で反射されたパルスレーザ光を反射し、集光レンズ73に入射するように配置される。集光レンズ73は、入射したパルスレーザ光を集光し、光ファイバ74に入射するように配置される。
- [0039] 光ファイバ74に入射したパルスレーザ光は、スペクトル計測器80に入力される。

[0040] スペクトル計測器 80 は、プロセッサ 90 と通信可能に接続される。制御部 92 は、プロセッサ 90 と、同期発振制御部 94 と、ドライバ 96 と、露光装置 302 の露光装置制御部 310 と通信可能に接続される。

[0041] 同期発振制御部 94 は、電源 17 と、充電器 18 と、電源 47 と、充電器 48 と通信可能に接続される。ドライバ 96 は、LNM11 とスペクトル可変部 20 と通信可能に接続される。

[0042] 2. 1. 1 光ファイバの構成

図 6 は、光ファイバ 74 の構成を示す図である。図 7 は、図 6 の 7-7 断面図である。図 6 及び図 7 に示すように、光ファイバ 74 は、パルスレーザ光の導波路を構成するコア 74A と、コア 74A を取り囲むクラッド 74B とを含む。光ファイバ 74 は、コア 74A の断面形状が円形である。

[0043] 2. 1. 2 スペクトル計測器の構成

図 8 は、スペクトル計測器 80 の構成を示す図である。図 8 に示すように、スペクトル計測器 80 は、ファイバ揺動機構 81 と、コリメートレンズ 82 と、エタロン 83 と、集光レンズ 84 と、センサ 85 とを含む。

[0044] ファイバ揺動機構 81 は、光ファイバ 74 の出射端を Z 方向に向けて保持し、V 方向に揺動する。ファイバ揺動機構 81 は、光ファイバ 74 を常時揺動してもよい。光ファイバ 74 を揺動する方向は V 方向に限定されず、出射方向である Z 方向に垂直な方向であればよい。

[0045] コリメートレンズ 82 は、光ファイバ 74 から出射したパルスレーザ光を平行光に変換する。エタロン 83 は、入射されたパルスレーザ光を分光し、パルスレーザ光の干渉縞を発生させる。集光レンズ 84 は、エタロン 83 から出射された光をセンサ 85 の受光面に結像させる。センサ 85 は、受光面に結像されたパルスレーザ光の干渉縞からフリンジパターンを取得する。

[0046] 2. 2 動作

制御部 92 は、露光装置 302 の露光装置制御部 310 からのレーザ発振トリガを受け付ける。

[0047] 同期発振制御部 94 は、制御部 92 から充電電圧と発振トリガ信号を受け

付ける。同期発振制御部 94 は、受け付けた充電電圧に基づいて充電器 18 と充電器 48 との電圧を制御する。また、同期発振制御部 94 は、発振トリガ信号に同期して、電源 17 のスイッチと電源 47 のスイッチとを制御する。

[0048] 電源 17 のスイッチがオフからオンになると、電源 17 は充電器 18 に保持されていた電気エネルギーからパルス状の高電圧を生成し、この高電圧を一对の放電電極 15 に印加する。同様に、電源 47 のスイッチがオフからオンになると、電源 47 は充電器 48 に保持されていた電気エネルギーからパルス状の高電圧を生成し、この高電圧を一对の放電電極 43 に印加する。

[0049] 一对の放電電極 15 に高電圧が印加されると、一对の放電電極 15 間の絶縁が破壊され、放電が発生する。この放電のエネルギーにより、チャンバ 14 内のエキシマレーザガスが励起され、OC22 と LNM11 とで構成される光共振器によって、狭帯域化されたパルスレーザ光が OC22 から出力される。このパルスレーザ光は、MOビームステアリングユニット 30 によって、PO40 のリアミラー 41 にシード光として入射する。

[0050] リアミラー 41 を透過したシード光が入射するタイミングに同期して、一对の放電電極 43 に高電圧が印加され、チャンバ 42 において放電が発生する。その結果、レーザガスが励起され、OC45 とリアミラー 41 とで構成されるファブリペロ型の光共振器によってシード光が増幅され、OC45 から増幅されたパルスレーザ光が出力される。OC45 から出力されたパルスレーザ光は、POビームステアリングユニット 50 を経由して、OPS60 に入射する。OPS60 を通過したパルスレーザ光は、パルス幅が伸長され、光伝送ユニット 70 に入射する。

[0051] 光伝送ユニット 70 のBS71 は、入射したパルスレーザ光のうちの一部のパルスレーザ光をエキシマレーザ装置 1 から出力し、その他のパルスレーザ光を高反射ミラー 72 に入射させる。エキシマレーザ装置 1 から出力されたパルスレーザ光は、露光装置 302 に入力される。

[0052] 高反射ミラー 72 に入射したパルスレーザ光は、高反射ミラー 72 で反射

された後に集光レンズ 73 で集光され、光ファイバ 74 の一端に入射する。光ファイバ 74 の一端に入射したパルスレーザ光は、スペクトル計測器 80 に入力され、ファイバ揺動機構 81 により揺動されている光ファイバ 74 の他端から出射する。

[0053] 光ファイバ 74 から出射したパルスレーザ光は、コリメートレンズ 82 により平行光に変換された後、エタロン 83 により分光され、集光レンズ 84 により集光されてセンサ 85 の受光面上に干渉縞を形成する。センサ 85 は、干渉縞を受光してフリンジパターンを検出する。

[0054] センサ 85 において検出されたフリンジパターンは、プロセッサ 90 に送信される。プロセッサ 90（第 2 のプロセッサの一例）は、受信したフリンジパターンから、パルスレーザ光の中心波長、スペクトル線幅、及び E 95 幅等を計算する。これらの計算は、複数パルスにより平均化されたフリンジパターンに対して行われる。

[0055] プロセッサ 90 において計算されたパルスレーザ光の中心波長、スペクトル線幅、及び E 95 幅等の計測値は、制御部 92 に送信される。

[0056] 制御部 92 は、露光装置 302 の露光装置制御部 310 からスペクトル目標値を受け付ける。制御部 92 は、計測値がスペクトル目標値に近づくように、ドライバ 96 を介してスペクトル可変部 20 と LNM11 とを制御する。

[0057] 2. 2. 1 フリンジパターン

図 9 は、干渉縞とフリンジパターンとを説明するための図である。図 9 の F9A は、パルスレーザ光が形成する干渉縞とセンサ 85 の受光面との位置関係の一例を示しており、F9B は、F9A の干渉縞を受光したセンサ 85 が検出するフリンジパターンの一例を示している。フリンジパターンは、干渉縞の位置を信号強度で表したものである。

[0058] 図 10 は、スペックルノイズとフリンジパターンとを説明するための図である。図 10 の F10A は、スペックルノイズを含む不均一な照明の干渉縞からフリンジパターンを検出した場合を示し、F10B は、均一化された照

明の干渉縞からフリンジパターンを検出した場合を示す。

[0059] F 1 0 A に示すフリンジパターンは、スペックルノイズを含む。一方、F 1 0 B に示すフリンジパターンは、スペックルノイズが低減される。

[0060] ファイバ揺動機構 8 1 による光ファイバ 7 4 の揺動がない場合、パルスレーザ光はスペックルノイズを含むため、F 1 0 A に示すフリンジパターンと同様のフリンジパターンとなる。また、ファイバ揺動機構 8 1 によって光ファイバ 7 4 を揺動し、かつ複数パルスを平均化して均一化した場合、スペックルノイズが低減され、F 1 0 B に示すフリンジパターンと同様のフリンジパターンとなる。

[0061] このように、ファイバ揺動機構 8 1 によって光ファイバ 7 4 を揺動し、かつ複数パルスを平均化することで、フリンジパターンのスペックルノイズを低減することができる。

[0062] 3. 課題

図 1 1 は、ファイバ揺動機構 8 1 による光ファイバ 7 4 の振動を説明するための図である。図 1 1 に示すように、ファイバ揺動機構 8 1 による揺動により、光ファイバ 7 4 の出射端は、3 0 ミリ秒の周期で V 方向に $\pm 5 0 \mu\text{m}$ 程度振動する。この振動は、光ファイバ 7 4 の出射端から出射されるパルスレーザ光の光路を変化させて、センサ 8 5 の受光面上に形成されるスペックルを変化させる効果をもたらす。この効果により、複数パルスで平均化されたフリンジパターンはスペックルノイズが低減されるため、スペクトル計測精度が安定化する。

[0063] 図 1 2 と図 1 3 とは、P O 4 0 から出力された後に O P S 6 0 により伸長された 1 パルスのパルスレーザ光の、発光強度の経時変化を示す図である。図 1 2 には、その時間内（約 4 0 0 ナノ秒）におけるファイバ揺動機構 8 1 による光ファイバ 7 4 の出射端の振動の振幅を併せて示している。図 1 2 に示すように、1 パルスの発光時間内における光ファイバ 7 4 の出射端の振幅変化はほぼ $0 \mu\text{m}$ であるため、1 パルスの発光時間内では光ファイバ 7 4 の振動によるスペックルノイズ低減効果は得られない。

[0064] 近年、高速波長制御の要求が高まっている。高速に波長制御を行うため、複数パルスによる平均化を行わずに1パルス毎に高精度なスペクトル計測を行う技術が求められている。高精度なスペクトル計測を行うためには、毎パルスでスペックルノイズが低減されたフリンジパターンを取得する必要がある。そのため、例えば図13に示すように1パルスの発光時間内で、レーザー光の光路を振動し得る方策が必要となる。

[0065] 4. 実施形態1

4. 1 構成

図14は、実施形態1に係るエキシマレーザ装置2の構成を示す図である。エキシマレーザ装置2は、光伝送ユニット100とプロセッサ110とを含む。光伝送ユニット100は、変形可能ミラー102と、拡散板104と、集光レンズ106と、光ファイバ108とを含む。

[0066] 変形可能ミラー102は、変形可能な反射面102Aを備える。変形可能ミラー102は、BS71と高反射ミラー72とで反射されたパルスレーザ光が反射面102Aに入射するように配置される。

[0067] 集光レンズ73（第1の集光光学素子の一例）は、高反射ミラー72と変形可能ミラー102との間の光路に配置される。

[0068] 拡散板104（ホモジナイザの一例）は、入射したパルスレーザ光を拡散させて出射する光学素子である。拡散板104は、透過率の高い腐食型の拡散板であることが望ましい。腐食型の拡散板とは、例えばガラスの片面をすりガラス状にした後、フッ化水素により表面を腐食させた拡散板である。

[0069] 拡散板104と、集光レンズ106と、光ファイバ108とは、変形可能ミラー102の反射面102Aで反射されたパルスレーザ光が、拡散板104と集光レンズ106とを介して光ファイバ108の一端に入射するように配置される。光ファイバ108の他端は、スペクトル計測器80と接続される。

[0070] スペクトル計測器80は、ファイバ揺動機構81（図8参照）を備えなくてもよい。

[0071] プロセッサ 110（第1のプロセッサの一例）は、制御部 92 と変形可能ミラー 102 とに通信可能に接続される。

[0072] 4. 1. 1 変形可能ミラーの構成

図 15 は、変形可能ミラー 102 の構成を示す図である。変形可能ミラー 102 は、反射面 102A と、反射面 102A を保持するミラーホルダ 102B と、反射面 102A を振動変形させる振動装置 102C とを備える。

[0073] 振動装置 102C（変形装置の一例）は、反射面 102A がパルスレーザ光を反射している間に反射面 102A の裏面に力を加えて反射面 102A の形状を周期的に凹状又は凸状に変形させる 1 つの不図示のアクチュエータを備える。振動装置 102C は、反射面 102A の複数の位置の形状をそれぞれ凹状又は凸状に変形させるようにしてもよい。その場合、振動装置 102C はマトリクス状に配置された複数のアクチュエータを備えてもよい。反射面 102A の形状を変化させるアクチュエータは、静電的、電磁的、液圧的、圧電的、音響的及び機械的に駆動されるアクチュエータのいずれであってもよい。

[0074] 4. 1. 2 光伝送ユニットの構成の詳細

図 16 は、光伝送ユニット 100 の構成の一部の詳細を示す図である。

[0075] 変形可能ミラー 102 は、集光レンズ 73 から入射するパルスレーザ光の入射角 θ_0 が 0° より大きく 45° 以下で、集光レンズ 73 と反射面 102A との間隔が集光レンズ 73 の焦点距離よりも短くなるように配置される。

[0076] 拡散板 104 は、変形可能ミラー 102 の反射面 102A の変形がない場合に集光レンズ 73 によりパルスレーザ光が集光する位置に配置される。

[0077] 集光レンズ 106（第2の集光光学素子の一例）は、拡散板 104 を通して拡げられたパルスレーザ光を光ファイバ 108 に集光可能な位置に配置される。集光レンズ 106 の開口数（Numerical Aperture: NA）は、光ファイバ 108 の開口数以下であることが望ましい。

[0078] 4. 1. 3 光ファイバの構成

図 17 は、光ファイバ 108 の断面図である。光ファイバ 108 は、パル

スレーザ光の導波路を構成するコア１０８Ａと、コア１０８Ａを取り囲むクラッド１０８Ｂとを含む。

[0079] 図１７のＦ１７Ａ、Ｆ１７Ｂ、Ｆ１７Ｃ、Ｆ１７Ｄ、及びＦ１７Ｅは、それぞれコア１０８Ａの断面形状が円形、正方形、長方形、六角形、及び八角形の光ファイバ１０８を示す。また、図１７に示すＦ１７Ｆは、複数のコア１０８Ａがバンドル化された光ファイバ１０８を示す。このように、光ファイバ１０８は、コア１０８Ａの断面形状が円形のものに限らず、照度均一化効果の高い多角形状断面（正方形、長方形、六角形、八角形）、又はバンドルタイプのものを含んでいてもよい。

[0080] ４．２ 動作

プロセッサ１１０は、制御部９２から送られる発振トリガ信号を用いて、変形可能ミラー１０２の振動装置１０２Ｃの振動変形開始タイミングを制御する。

[0081] ＭＯ１０によるパルスレーザ光の発光は、発振トリガ信号の立ち上がり開始から所定の時間内に行われる。所定の時間は、例えば４０マイクロ秒である。所定の時間は、レーザ発振周波数に依らずほぼ一定である。また、変形可能ミラー１０２の反射面１０２Ａの振動は、発振トリガ信号に同期して行われる。プロセッサ１１０は、発振トリガ信号を受信すると振動装置１０２Ｃに対して振動変形指令を出力する。振動装置１０２Ｃは、振動変形指令を受信すると変形可能ミラー１０２の反射面１０２Ａを振動させる。プロセッサ１１０は発振トリガ信号の立ち上がり開始から所定時間の間、変形可能ミラー１０２の反射面１０２Ａを振動させるように振動変形指令を出力する。

[0082] 発振トリガ信号に同期してＭＯ１０が発光したパルスレーザ光は、ＰＯビームステアリングユニット５０とＯＰＳ６０とを経由して、光伝送ユニット１００に入射する。

[0083] 光伝送ユニット１００に入射したパルスレーザ光のうち、ＢＳ７１を透過したパルスレーザ光は露光装置３０２に入力される。一方、ＢＳ７１で反射されたパルスレーザ光は、高反射ミラー７２で反射された後に集光レンズ７

3で集光され、変形可能ミラー102の反射面102Aに入射する。変形可能ミラー102の振動装置102Cは、反射面102Aでパルスレーザ光を反射している間中、反射面102Aを振動変形させているので反射面102Aで反射されるパルスレーザ光のスペックルが変化する。

[0084] 反射面102Aで反射されたパルスレーザ光は、拡散板104で拡散された後、集光レンズ106で集光されて光ファイバ108に入射する。光ファイバ108を通過したパルスレーザ光は、スペクトル計測器80に入力される。

[0085] 図18は、反射面102Aの振動変形タイミングを説明するための図である。図18に示すように、反射面102Aは、発振トリガ信号が立ち上がるタイミングから40マイクロ秒の間、振動変形する。パルスレーザ光は、発振トリガ信号が立ち上がるタイミングから40マイクロ秒以内に発光する。これにより、変形可能ミラー102の反射面102Aは、パルスレーザ光の入射前に振動変形を開始し、パルスレーザ光の出射後に振動変形を終了する。

[0086] このように、プロセッサ110は、MO10によるパルスレーザ光の出力タイミング（パルスレーザ光の生成の一例）と、変形可能ミラー102の反射面102Aの振動変形開始タイミングとを同期させる。あるいは、プロセッサ110は、PO40によるパルスレーザ光の増幅タイミングと、変形可能ミラー102の反射面102Aの振動変形開始タイミングとを同期させるようにしてもよい。

[0087] なお、反射面102Aの振動変形の停止タイミングは40マイクロ秒後（一定時間後の一例）に限定されず、プロセッサ110は、パルスレーザ光がスペクトル計測器80に入射された後に反射面102Aの振動変形を停止させればよい。

[0088] 図19は、変形可能ミラー102の制御によるパルスレーザ光の反射を説明するための図である。図19のF19Aは、反射面102Aの変形がない場合のパルスレーザ光の反射を示しており、F19Bは、反射面102Aが

変形している場合のパルスレーザ光の反射を示している。F 1 9 Bに示すように、パルスレーザ光の1パルス内に反射面1 0 2 Aが振動変形することで、反射面1 0 2 Aで反射されるパルスレーザ光のスペックルが変化する。この結果、毎パルスで取得するフリンジパターンからスペックルノイズが低減される。

[0089] 反射面1 0 2 Aは、振動装置1 0 2 Cが振動変形指令を受信している間、反射されるパルスレーザ光のビーム拡がり角が最大5°となる振幅で、最大1 2 M H zの周波数で振動し得る。

[0090] 4. 3 作用・効果

エキシマレーザ装置2によれば、パルスレーザ光の1パルス内に変形可能ミラー1 0 2の反射面1 0 2 Aを図1 3に示すように振動させることができる。例えば、O P S 6 0通過後のパルスレーザ光の1パルスの発光時間は約4 0 0ナノ秒であり、反射面1 0 2 Aの所定の位置の変形は1周期で1 0 0ナノ秒程度である。このように、エキシマレーザ装置2によれば、パルスレーザ光の1パルス内に反射面1 0 2 Aの形状を周期的に凹状又は凸状に変形させるので、パルスレーザ光のスペックルノイズを低減することができる。

[0091] 図2 0は、パルスレーザ光のパルス幅とS C低減率との関係を示す図である。S C低減率は、変形可能ミラー1 0 2の振動変形によってスペックルコントラストS Cが低減する率であり、単位は%である。S C低減率は、変形可能ミラー1 0 2の反射面1 0 2 Aが振動変形していない場合のスペックルコントラスト SC_{OFF} と、変形可能ミラー1 0 2の反射面1 0 2 Aが振動変形している場合のスペックルコントラスト SC_{ON} とを用いて、下記の式(3)により定義される。

[0092] $SC\text{低減率} = (SC_{OFF} - SC_{ON}) / SC_{OFF} \times 100 \quad \dots (3)$

パルスレーザ光のパルス幅は、O P S 6 0の遅延光路長を調整することで変更可能である。図2 0において、パルス幅4 0 n s付近のデータは、O P S 6 0を用いない場合であり、O P S 6 0の光路長を変化させてパルスレーザ光のパルス幅を長くするほど、S C低減率は高くなることを示している。

このように、エキシマレーザ装置 2 によれば、変形可能ミラー 102 を OPS60 の後に配置することにより、OPS60 と変形可能ミラー 102 とによる相乗的なスペックル低減効果を得ることができる。

[0093] なお、SC 低減率は、反射面 102A の振動変形がパルス幅より短い周期で、かつ振幅が大きいほど高くなると考えられる。

[0094] エキシマレーザ装置 2 によれば、パルスレーザ光が入射する前から反射面 102A の振動変形を開始させているので、安定した振動変形でパルスレーザ光を反射することができる。また、エキシマレーザ装置 2 によれば、パルスレーザ光の毎パルスの発光に対して、毎回同じタイミングで反射面 102A を振動変形させるので、毎パルス同じスペックル低減効果が得られる。即ち、毎パルス異なるタイミングで反射面 102A を振動させるよりもスペクトル波形が安定化するため、スペクトル計測精度の改善に寄与することができる。

[0095] エキシマレーザ装置 2 によれば、パルスレーザ光の光路の変形可能ミラー 102 の後段に拡散板 104 を配置したので、パルスレーザ光の照度あるいは強度分布を適切に均一化することができる。また、エキシマレーザ装置 2 によれば、腐食型の拡散板 104 を使用したので、パルスレーザ光が減衰することを抑制することができる。さらに、エキシマレーザ装置 2 によれば、反射面 102A の変形がない場合に集光レンズ 73 によりパルスレーザ光が集光する位置に拡散板 104 を配置したので、パルスレーザ光が減衰することを抑制することができる。

[0096] エキシマレーザ装置 2 によれば、光ファイバ 108 への入射前にパルスレーザ光のスペックルを変化させるので、光ファイバ 108 からの出射後にスペックルを変化させる場合よりも光ファイバ 108 の耐久性を向上させることができる。また、エキシマレーザ装置 2 によれば、集光レンズ 106 の開口数を光ファイバ 108 の開口数以下としたので、パルスレーザ光を効率よく光ファイバ 108 に入射させることができる。

[0097] エキシマレーザ装置 2 によれば、断面が多角形状のコア 108A、及びバ

ンドルタイプのコア 108A の少なくとも一方を備える光ファイバ 108（ホモジナイザの一例）を用いた場合には、パルスレーザ光の照度あるいは強度分布の均一化効果を高めることができる。

[0098] 5. 実施形態 2

5. 1 構成

図 21 と図 22 とは、それぞれ実施形態 2 に係る光伝送ユニット 120 の構成の一部の一例を示す図である。光伝送ユニット 120 は、不図示の BS 71 と、不図示の高反射ミラー 72 と、不図示の集光レンズ 73 と（それぞれ図 16 参照）を含む。また、光伝送ユニット 120 は、パルスレーザ光の光路の変形可能ミラー 102 の反射光の光路に高反射ミラー 122 を含む。

[0099] 高反射ミラー 122 は、例えば反射率が 99% 以上の光学素子である。高反射ミラー 122 は、拡散板 104 によって拡散されたパルスレーザ光を高反射し、集光レンズ 106 に入射するように配置される。

[0100] 高反射ミラー 122 は、反射面 102A に入射するパルスレーザ光の入射角に応じて配置される角度を変更してもよい。図 21 は、入射角 θ_1 の例を示している。図 22 は、入射角 θ_1 より小さい入射角 θ_2 の例を示している。入射角 θ_1 と入射角 θ_2 とは、ともに 0° より大きく 45° 以下である。

[0101] 高反射ミラー 122 を凹面形状の集光ミラーとし、集光レンズ 106 を除いた構成にしてもよい。図 23 と図 24 とは、それぞれ光伝送ユニット 120 の構成の一部の他の例を示す図である。この例では、光伝送ユニット 120 は、高反射凹面ミラー 124 を含む。凹面の形状は球面のほか、放物面や軸外放物面あるいは回転楕円面等の非球面でもよい。

[0102] 高反射凹面ミラー 124（第 2 の集光光学素子の一例）は、反射率が 99% 以上の凹面形状の集光ミラーである。高反射凹面ミラー 124 は、拡散板 104 によって拡散されたパルスレーザ光を高反射かつ集光し、光ファイバ 108 に入射するように配置される。高反射凹面ミラー 124 の開口数は、光ファイバ 108 の開口数以下であることが望ましい。

[0103] 高反射凹面ミラー 124 は、反射面 102A に入射するパルスレーザ光の

入射角に応じて配置される角度を変更してもよい。図23は、入射角 θ_1 の例を示している。図24は、入射角 θ_1 より小さい入射角 θ_2 の例を示している。

[0104] 5. 2 動作

図21と図22とに示す光伝送ユニット120では、変形可能ミラー102の反射面102Aにより反射されたパルスレーザ光は、拡散板104によって拡散される。拡散されたパルスレーザ光は、高反射ミラー122によって高反射された後に集光レンズ106によって集光されて、光ファイバ108に入射する。

[0105] 図23と図24とに示す光伝送ユニット120では、変形可能ミラー102の反射面102Aにより反射されたパルスレーザ光は、拡散板104によって拡散される。拡散されたパルスレーザ光は、高反射凹面ミラー124によって高反射かつ集光されて、光ファイバ108に入射する。

[0106] 5. 3 作用・効果

光伝送ユニット120によれば、光伝送ユニット100の構成がエキシマレーザ装置1の設計上の観点から実施が困難であると判断される場合に、パルスレーザ光の光路を変更しつつ光伝送ユニット100と同等のスペックルノイズ低減効果を有する代替的な構成手段として機能し得る。

[0107] 6. 実施形態3

6. 1 構成

図25と図26とは、それぞれ実施形態3に係る光伝送ユニット130の構成の一部の一例を示す図である。光伝送ユニット130は、不図示のBS71と、不図示の高反射ミラー72と、不図示の集光レンズ73と（それぞれ図16参照）を含む。また、光伝送ユニット130は、光ファイバ132（ホモジナイザの一例）を含む。光伝送ユニット130は、拡散板104を含まない点が光伝送ユニット100と異なる。

[0108] 変形可能ミラー102は、反射面102Aに入射したパルスレーザ光が集光レンズ106に入射するように配置される。

- [0109] 集光レンズ106は、入射したパルスレーザ光を集光して光ファイバ132に入射するように配置される。集光レンズ106の開口数は、光ファイバ132の開口数以下であることが望ましい。
- [0110] 集光レンズ106と光ファイバ108とは、反射面102Aに入射するパルスレーザ光の入射角に応じて配置される角度を変更してもよい。図25は、入射角 θ_3 の例を示している。図26は、入射角 θ_3 より小さい入射角 θ_4 の例を示している。入射角 θ_3 と入射角 θ_4 とは、ともに 0° より大きく 45° 以下である。
- [0111] 図27は、光ファイバ132の断面図である。光ファイバ132は、パルスレーザ光の導波路を構成するコア132Aと、コア132Aを取り囲むクラッド132Bとを含む。
- [0112] 図27に示すF27A、F27B、F27C、及びF27Dは、それぞれコア132Aの断面形状が正方形、長方形、六角形、及び八角形の光ファイバ132を示す。また、図27に示すF27Eは、複数のコア132Aがバンドル化された光ファイバ132を示す。
- [0113] 6. 2 動作
- 光伝送ユニット130は、変形可能ミラー102の反射面102Aにより反射されたパルスレーザ光を集光レンズ106により直接集光して光ファイバ132に入射させる。
- [0114] 6. 3 作用・効果
- 光伝送ユニット130によれば、断面が多角形状のコア132A、及びバンドルタイプのコア132Aの少なくとも一方を備える光ファイバ132を用いるので、拡散板104による照度均一化効果を光ファイバ132のみで達成することができる。
- [0115] また、光伝送ユニット130によれば、拡散板104を含まない分、光伝送ユニット100よりも光量の損失を小さくすることができる。
- [0116] さらに、光伝送ユニット130によれば、光伝送ユニット100よりも省スペースで、かつ光伝送ユニット100と同等のスペックルノイズ低減効果

を達成することができる。

[0117] 7. 実施形態4

7. 1 構成

図28は、実施形態4に係るエキシマレーザ装置3の構成の一部を示す図である。エキシマレーザ装置3は、光伝送ユニット140とスペクトル計測器150とを含む。

[0118] 光伝送ユニット140は、不図示のBS71と、不図示の高反射ミラー72と（それぞれ図16参照）を含む。光伝送ユニット140は、集光レンズ106と光ファイバ108とを含まない点が光伝送ユニット100と異なる。変形可能ミラー102は、集光レンズ73から入射するパルスレーザ光の入射角 θ_5 が 0° より大きく 45° 以下となるように配置される。

[0119] また、スペクトル計測器150は、ファイバ揺動機構81を含まない点がスペクトル計測器80と異なる。

[0120] 7. 2 動作

エキシマレーザ装置3は、変形可能ミラー102の反射面102Aで反射したパルスレーザ光を、拡散板104を通して拡散し、直接スペクトル計測器150へ入射させる。

[0121] 7. 3 作用・効果

光伝送ユニット140によれば、均一化したパルスレーザ光を、光ファイバ108を経由せずにスペクトル計測器150に入射させるため、光伝送ユニット100よりも光量の損失を小さくすることができる。

[0122] また、光伝送ユニット140によれば、光伝送ユニット100よりも省スペースで、かつ光伝送ユニット100と同等のスペックルノイズ低減効果を達成することができる。

[0123] 8. 電子デバイスの製造方法

図29は、露光装置302の構成例を概略的に示す図である。電子デバイスの製造方法は、エキシマレーザ装置300と、露光装置302とによって実現される。

[0124] エキシマレーザ装置300は、各実施形態で説明したエキシマレーザ装置1、エキシマレーザ装置2、又はエキシマレーザ装置3を含んでもよい。

[0125] エキシマレーザ装置300から出力されたパルスレーザ光は、露光装置302に入力され、露光光として用いられる。

[0126] 露光装置302は、照明光学系304と投影光学系306とを含む。照明光学系304は、OPS60から入射したパルスレーザ光によって、レチクルステージRTのレチクルパターンを照明する。投影光学系306は、レチクルを透過したパルスレーザ光を、縮小投影してワークピーステーブルWT上に配置された不図示のワークピースに結像させる。ワークピースはフォトリソが塗布された半導体ウエハ等の感光基板である。露光装置302は、レチクルステージRTとワークピーステーブルWTとを同期して平行移動させることにより、レチクルパターンを反映したパルスレーザ光をワークピース上に露光する。以上のような露光工程によって半導体ウエハにデバイスパターンを転写することで半導体デバイスを製造することができる。半導体デバイスは本開示における「電子デバイス」の一例である。

[0127] 9. その他

エキシマレーザ装置2のMO10としてエキシマレーザ装置を用いたが、固体レーザ装置を用いてもよい。MO10として固体レーザ装置を用いた場合であっても、エキシマレーザ装置2は、狭帯域化ガスレーザ装置として解釈することができる。

[0128] 上記の説明は、制限ではなく単なる例示を意図している。したがって、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る。また、本開示の実施形態を組み合わせ使用することも当業者には明らかである。

[0129] 本明細書及び特許請求の範囲全体で使用される用語は、明記が無い限り「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、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。また、「A、B及びCの少なくとも1つ」という用語は、「A」「B」「C」「A+B」「A+C」「B+C」又は「A+B+C」と解釈されるべきである。さらに、それらと「A」「B」「C」以外のものとの組み合わせも含むと解釈されるべきである。

請求の範囲

- [請求項1] 反射面でパルスレーザ光を反射している間に前記反射面を変形させる変形装置を含む変形可能ミラーと、
前記変形可能ミラーによって反射されたパルスレーザ光を均一化するホモジナイザと、
を備える光伝送ユニット。
- [請求項2] 請求項1に記載の光伝送ユニットであって、
前記変形装置は前記パルスレーザ光の1パルス内に前記反射面の形状を周期的に変形させる、光伝送ユニット。
- [請求項3] 請求項1に記載の光伝送ユニットであって、
前記変形可能ミラーに入射する前記パルスレーザ光の入射角は 45° 以下である、光伝送ユニット。
- [請求項4] 請求項1に記載の光伝送ユニットであって、
前記ホモジナイザは拡散板を備える、光伝送ユニット。
- [請求項5] 請求項4に記載の光伝送ユニットであって、
前記拡散板は腐食型である、光伝送ユニット。
- [請求項6] 請求項4に記載の光伝送ユニットであって、
前記パルスレーザ光を前記拡散板に集光させる第1の集光光学素子を備える、光伝送ユニット。
- [請求項7] 請求項6に記載の光伝送ユニットであって、
前記第1の集光光学素子は、前記パルスレーザ光を前記変形可能ミラーを介して前記拡散板に集光させる位置に配置される、光伝送ユニット。
- [請求項8] 請求項4に記載の光伝送ユニットであって、
前記拡散板によって均一化された前記パルスレーザ光の光路に反射ミラーを備える、光伝送ユニット。
- [請求項9] 請求項8に記載の光伝送ユニットであって、
前記反射ミラーは、集光ミラーである、光伝送ユニット。

- [請求項10] 請求項 1 に記載の光伝送ユニットであって、
前記ホモジナイザは断面が多角形状のコア及びバンドルタイプのコアの少なくとも一方を含む光ファイバを備える、光伝送ユニット。
- [請求項11] 請求項 10 に記載の光伝送ユニットであって、
前記パルスレーザ光を前記光ファイバに集光させる第2の集光光学素子を備える、光伝送ユニット。
- [請求項12] 請求項 11 に記載の光伝送ユニットであって、
前記第2の集光光学素子の開口数は前記光ファイバの開口数以下である、光伝送ユニット。
- [請求項13] 請求項 12 に記載の光伝送ユニットであって、
前記パルスレーザ光の生成と同期させて前記変形装置の駆動を開始させる第1のプロセッサを備える、光伝送ユニット。
- [請求項14] 請求項 13 に記載の光伝送ユニットであって、
前記第1のプロセッサは前記変形装置の駆動を開始してから一定時間後に前記変形装置の駆動を停止させる、光伝送ユニット。
- [請求項15] パルスレーザ光を出力するレーザ発振器と、
反射面を変形させる変形装置を含む変形可能ミラーと、
前記反射面でパルスレーザ光を反射している間に前記変形装置を駆動させる第1のプロセッサと、
前記変形可能ミラーによって反射されたパルスレーザ光を均一化するホモジナイザと、
前記ホモジナイザによって均一化されたパルスレーザ光のスペクトルを計測するスペクトル計測器と、
を備えるレーザ装置。
- [請求項16] 請求項 15 に記載のレーザ装置であって、
前記パルスレーザ光のパルス幅を伸長して前記変形可能ミラーに射出する光学パルスストレッチャを備える、レーザ装置。
- [請求項17] 請求項 15 に記載のレーザ装置であって、

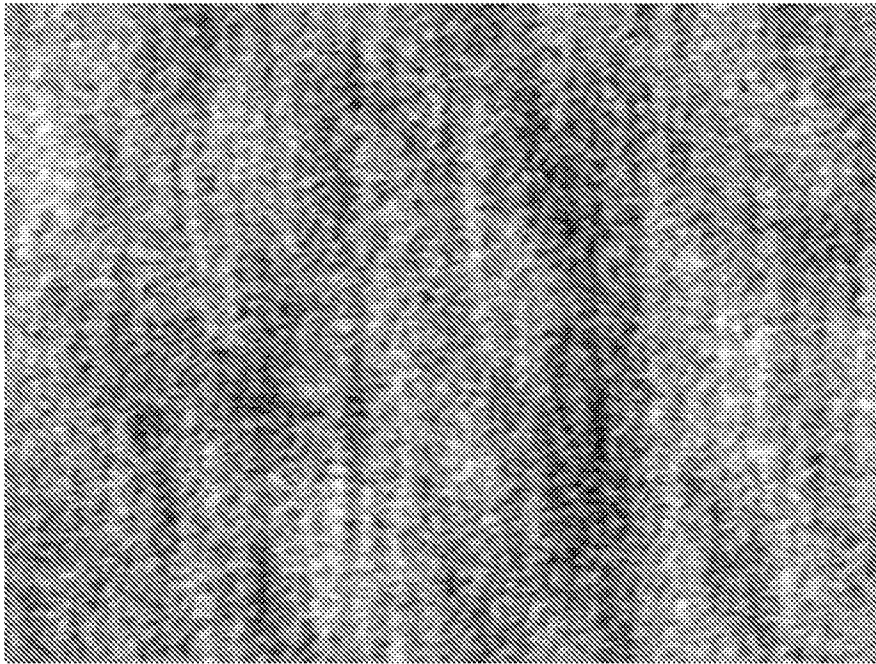
前記スペクトル計測器は、
前記パルスレーザ光が入射するエタロンと、
前記エタロンによって生じるフリンジパターンを取得するセンサと、
を備える、レーザ装置。

[請求項18] 請求項17に記載のレーザ装置であって、
1つの前記フリンジパターンから前記パルスレーザ光のスペクトルを計算する第2のプロセッサを備える、レーザ装置。

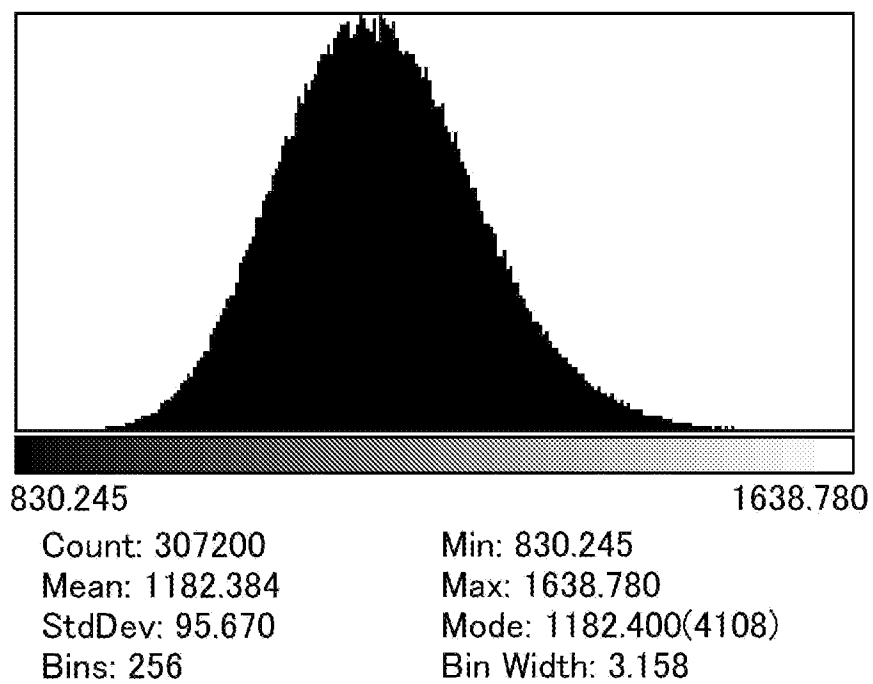
[請求項19] 請求項18に記載のレーザ装置であって、
前記計算されたスペクトルに基づいて前記レーザ発振器を制御する制御部を含む、レーザ装置。

[請求項20] 電子デバイスの製造方法であって、
パルスレーザ光を出力するレーザ発振器と、
反射面を変形させる変形装置を含む変形可能ミラーと、
前記反射面でパルスレーザ光を反射している間に前記変形装置を駆動させる第1のプロセッサと、
前記変形可能ミラーによって反射されたパルスレーザ光を均一化するホモジナイザと、
前記ホモジナイザによって均一化されたパルスレーザ光のスペクトルを計測するスペクトル計測器と、
を備えるレーザ装置によってパルスレーザ光を生成し、
前記パルスレーザ光を露光装置に出力し、
電子デバイスを製造するために、前記露光装置内で感光基板上に前記パルスレーザ光を露光すること
を含む電子デバイスの製造方法。

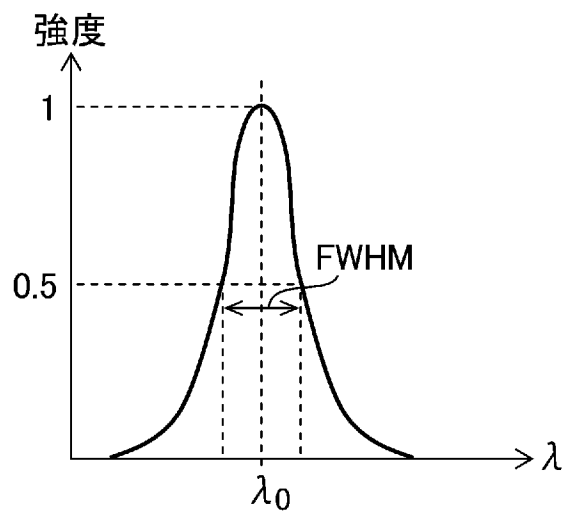
[図1]



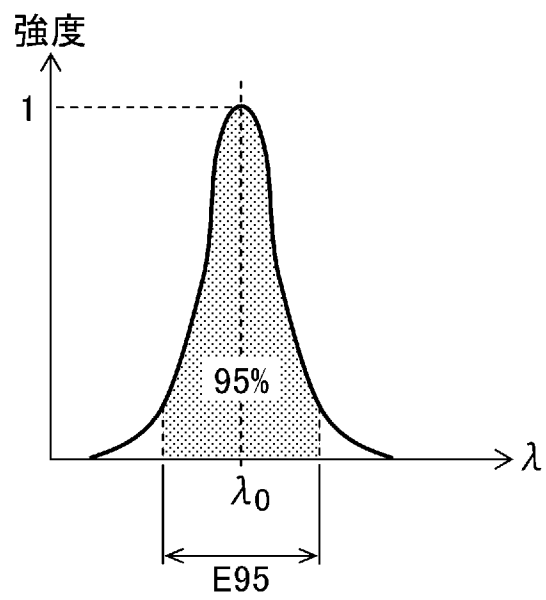
[図2]



[図3]

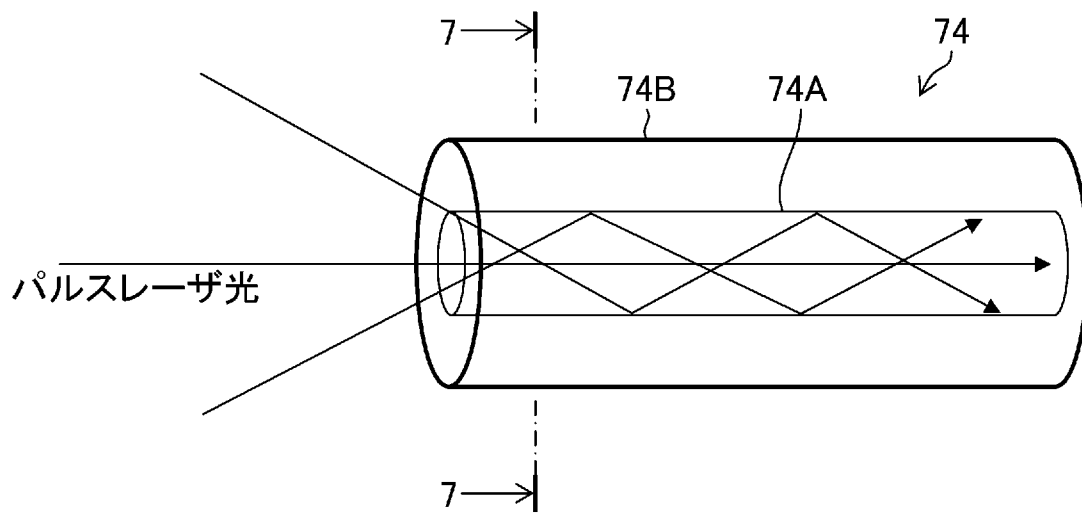


[図4]

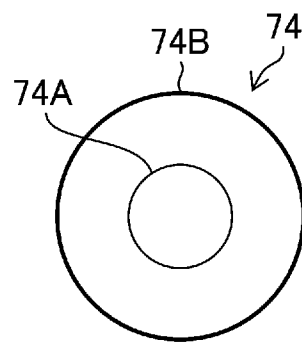


The diagram illustrates a laser light exposure apparatus (1) and its internal components. The apparatus includes a control unit (20) with a control section (22), a driver (96), and a control section (92). A laser light source (30) emits light (31a, 31b) that passes through a series of mirrors (31a, 31b, 51a, 51b, 61, 62a, 62b, 62c, 62d, 71, 72, 73, 74) and is focused onto a photoresist (11). The photoresist is part of a substrate (10) which also contains a patterned layer (12, 13). A synchronization control unit (94) is connected to the driver (96) and the photoresist (11). A spectral measurement unit (80) is connected to the control unit (20) and the photoresist (11). A coordinate system (H, V, Z) is shown in the bottom right corner.

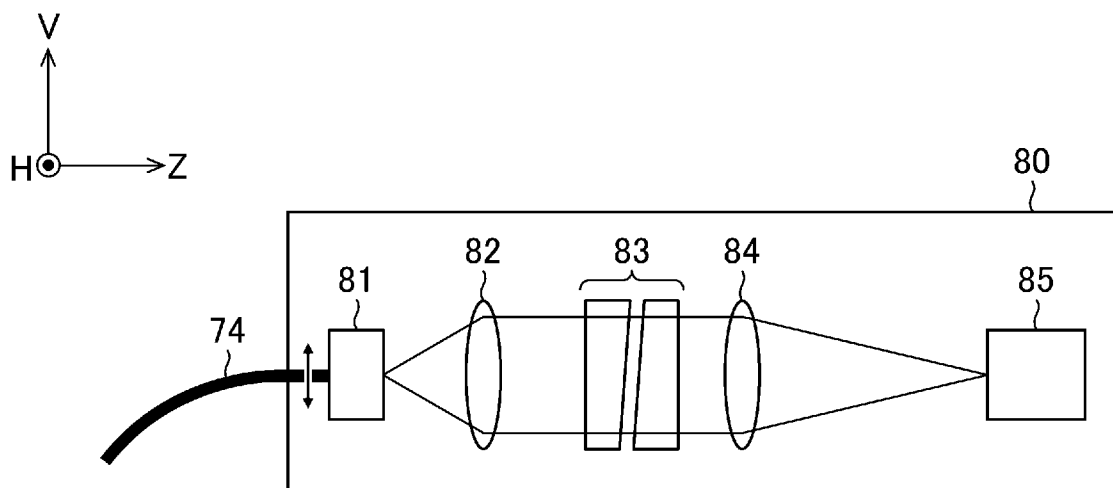
[図6]



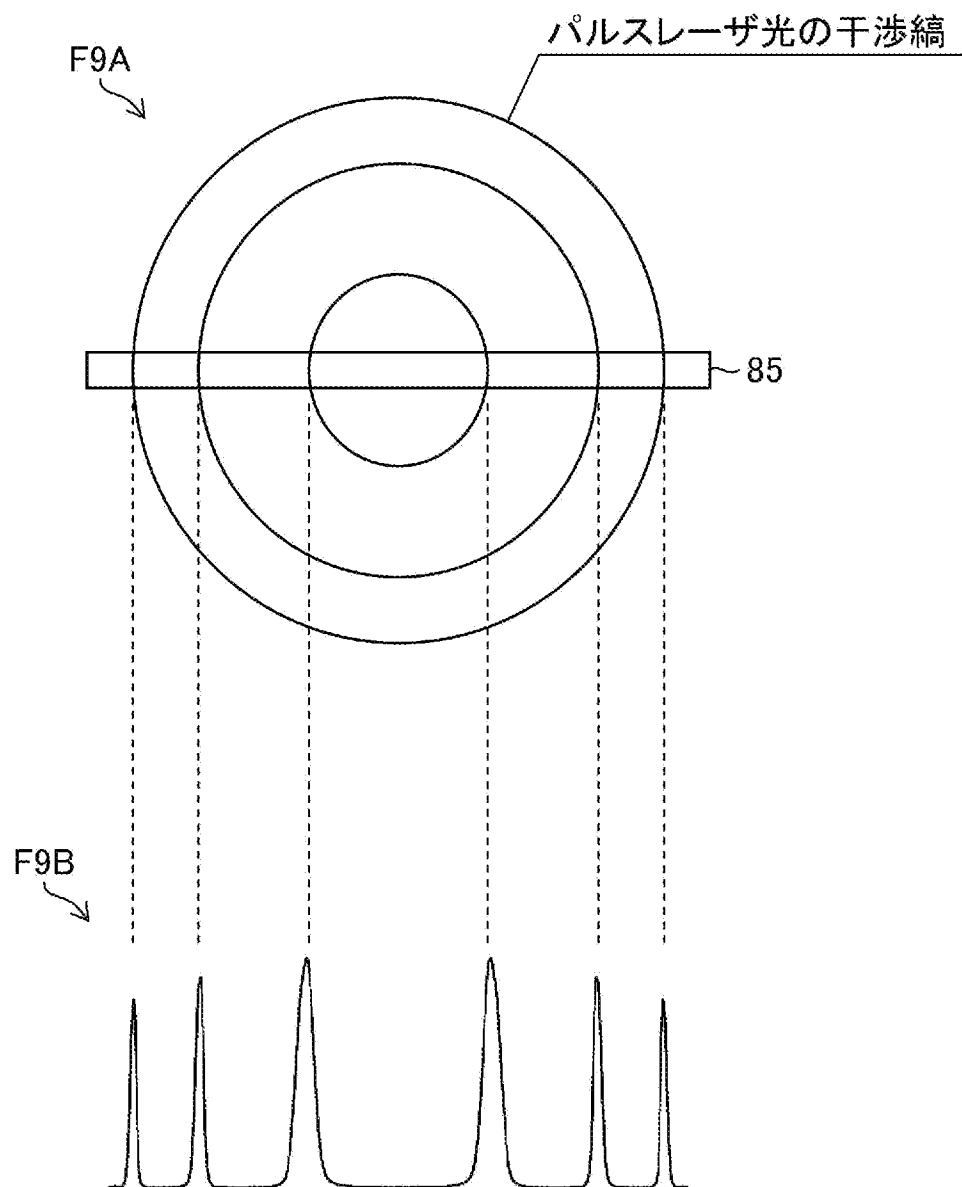
[図7]



[図8]



[図9]



[図10]

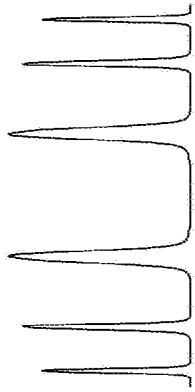
F10A 

スペckルノイズを含む
不均一な照明

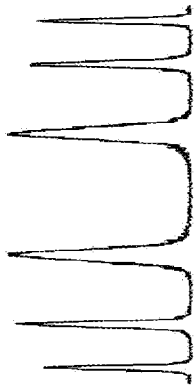


×

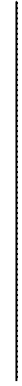
フリンジパターン



=

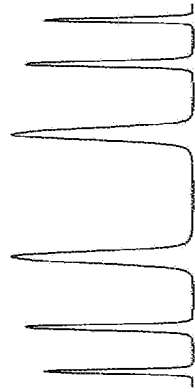
F10B 

均一化された照明

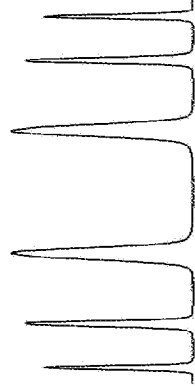


×

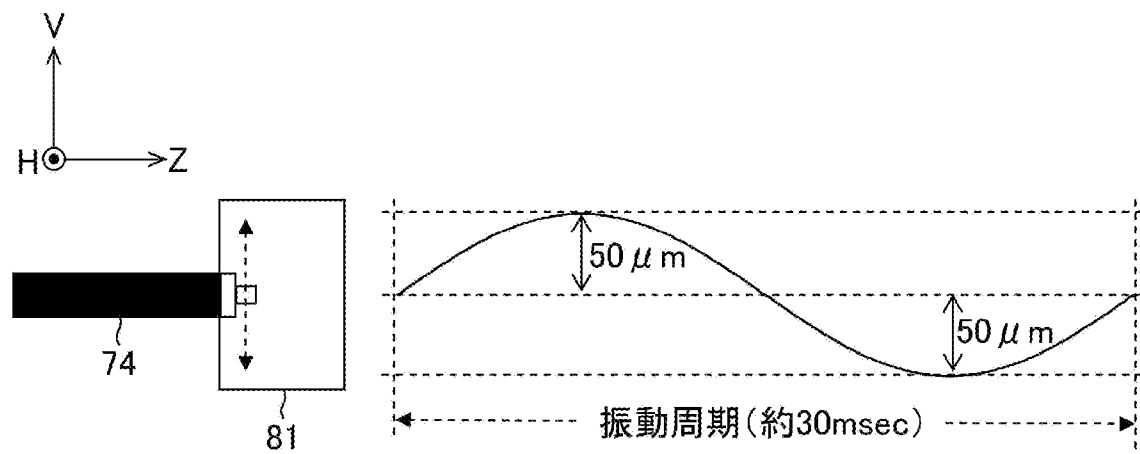
フリンジパターン



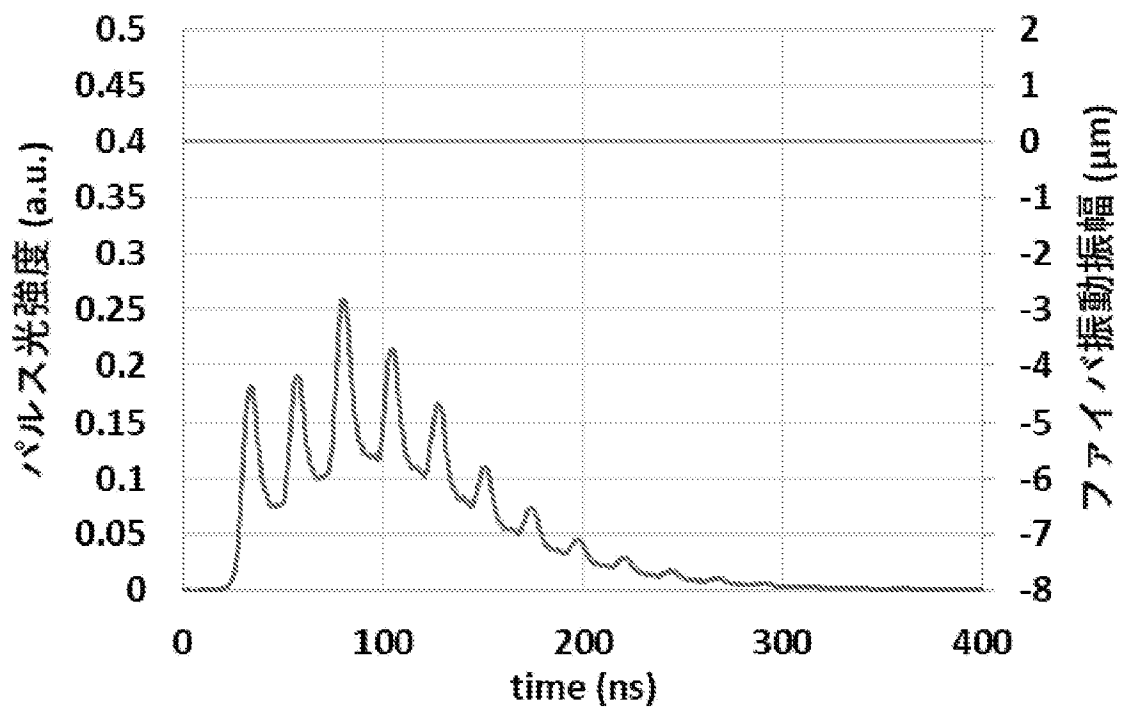
=



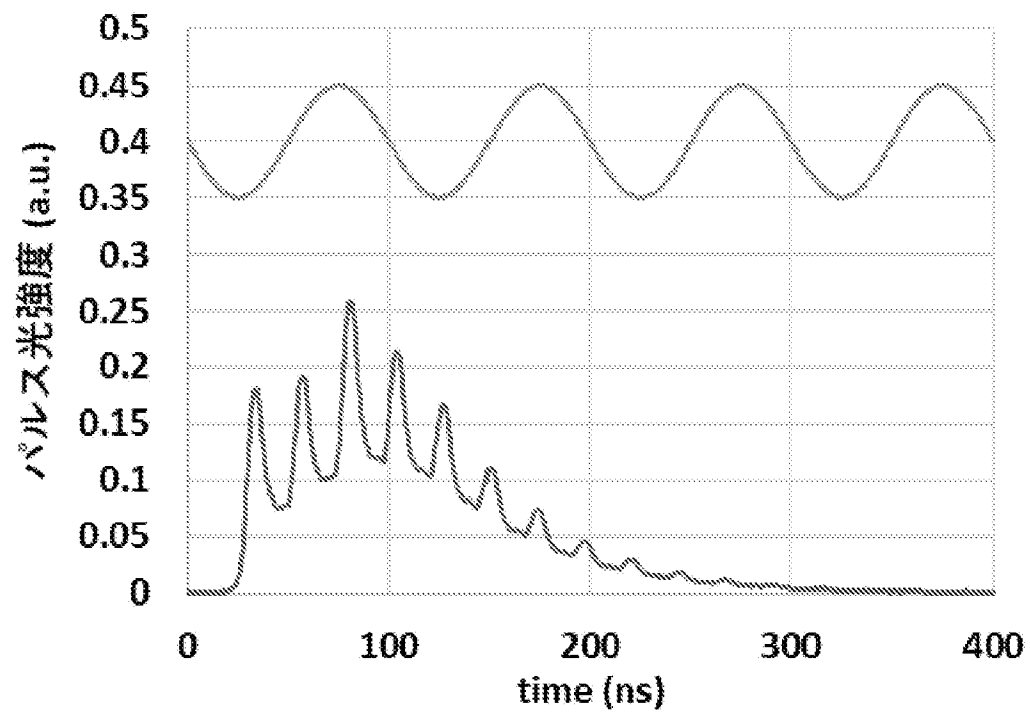
[図11]



[図12]



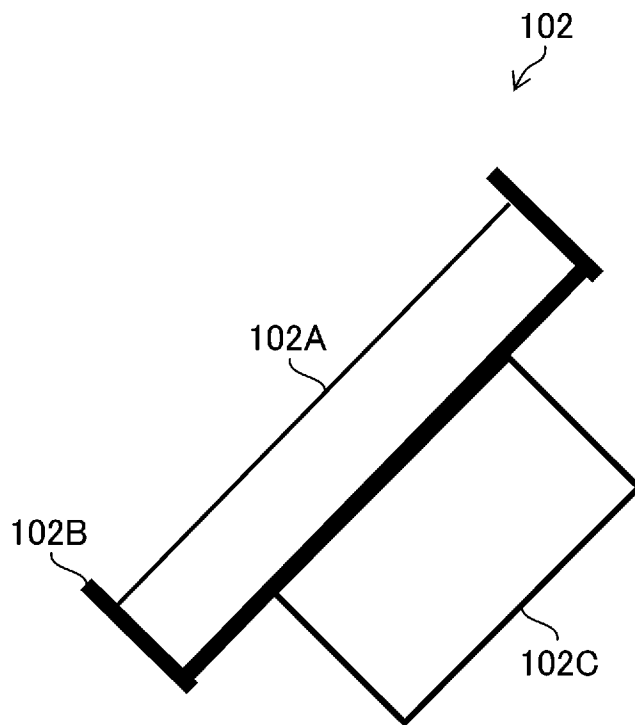
[図13]



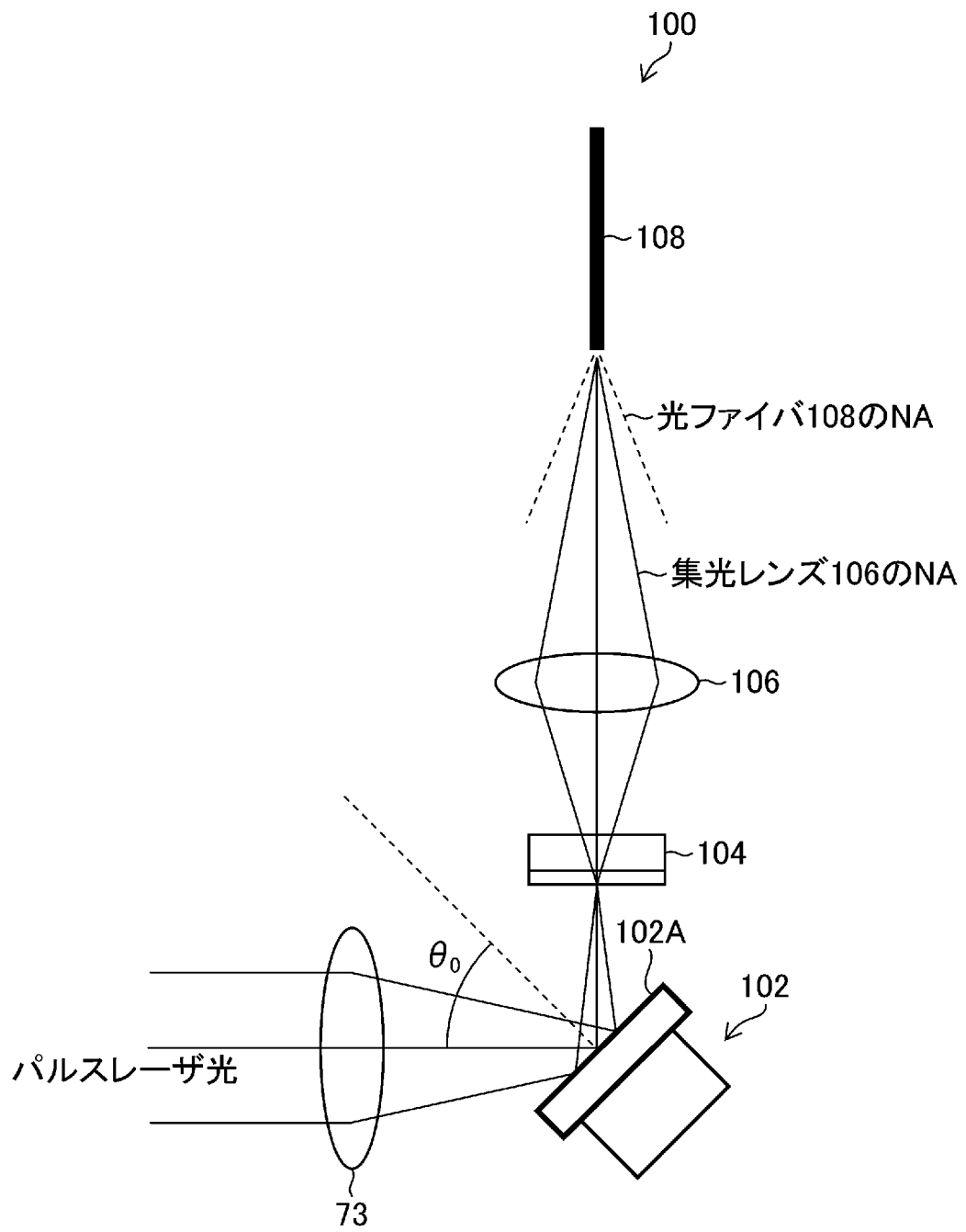
The diagram illustrates a laser light exposure apparatus (2) with the following components and signal paths:

- Control Unit (302):** Includes a **露光装置制御部 (Exposure Device Control Unit) 310**.
- Exposure Device (310):** Contains a **ドライバ (Driver) 96** and a **同期発振制御部 (Synchronous Oscillation Control Unit) 94**.
- Laser Source (30):** Includes a **発振トリガ (Oscillation Trigger) 94** and a **充電電圧 (Charging Voltage) 94**.
- Optical Path:** Light from the laser source (30) is reflected by mirrors (31a, 31b) and passes through a series of optical components (40, 50, 60, 70, 100) to illuminate the substrate (11).
- Signal Processing:** The **プロセッサ (Processor) 90** receives signals from the **露光装置からのレーザー発振トリガ (Laser Oscillation Trigger from Exposure Device)**, **スペクトル目標値 (Spectral Target Value)**, **発振トリガ信号 (Oscillation Trigger Signal)**, and **スペクトル計測値 (Spectral Measurement Value)**. It outputs a **112~フリンジパターン (112~Fringe Pattern)** to the **スペクトル計測器 (Spectral Measurement Device) 110**.
- Substrate (11):** The final target of the exposure process, showing a patterned surface.

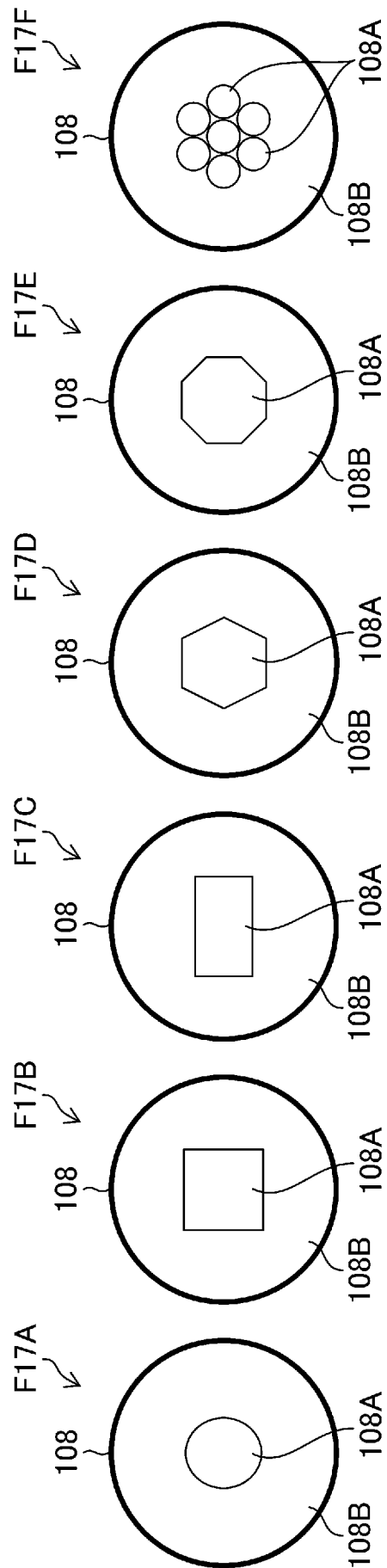
[図15]



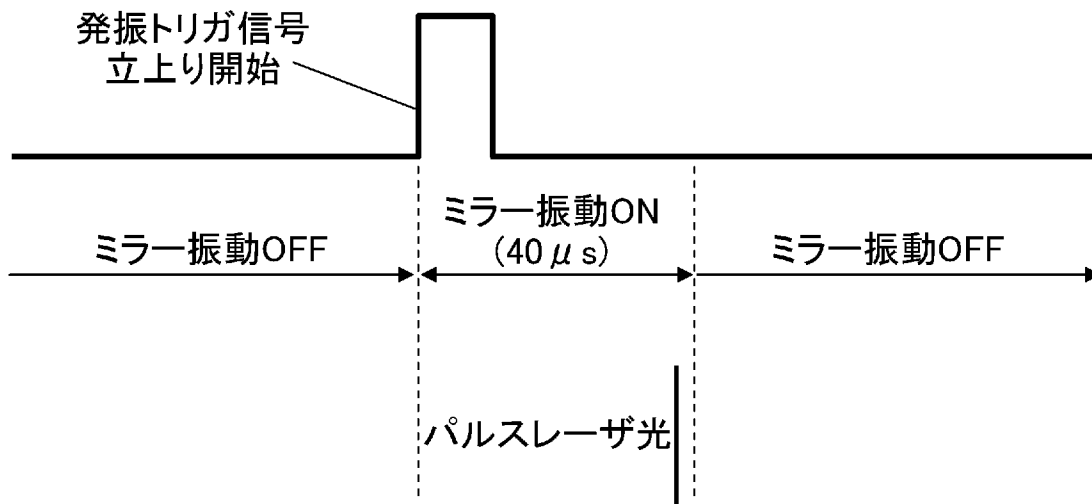
[図16]



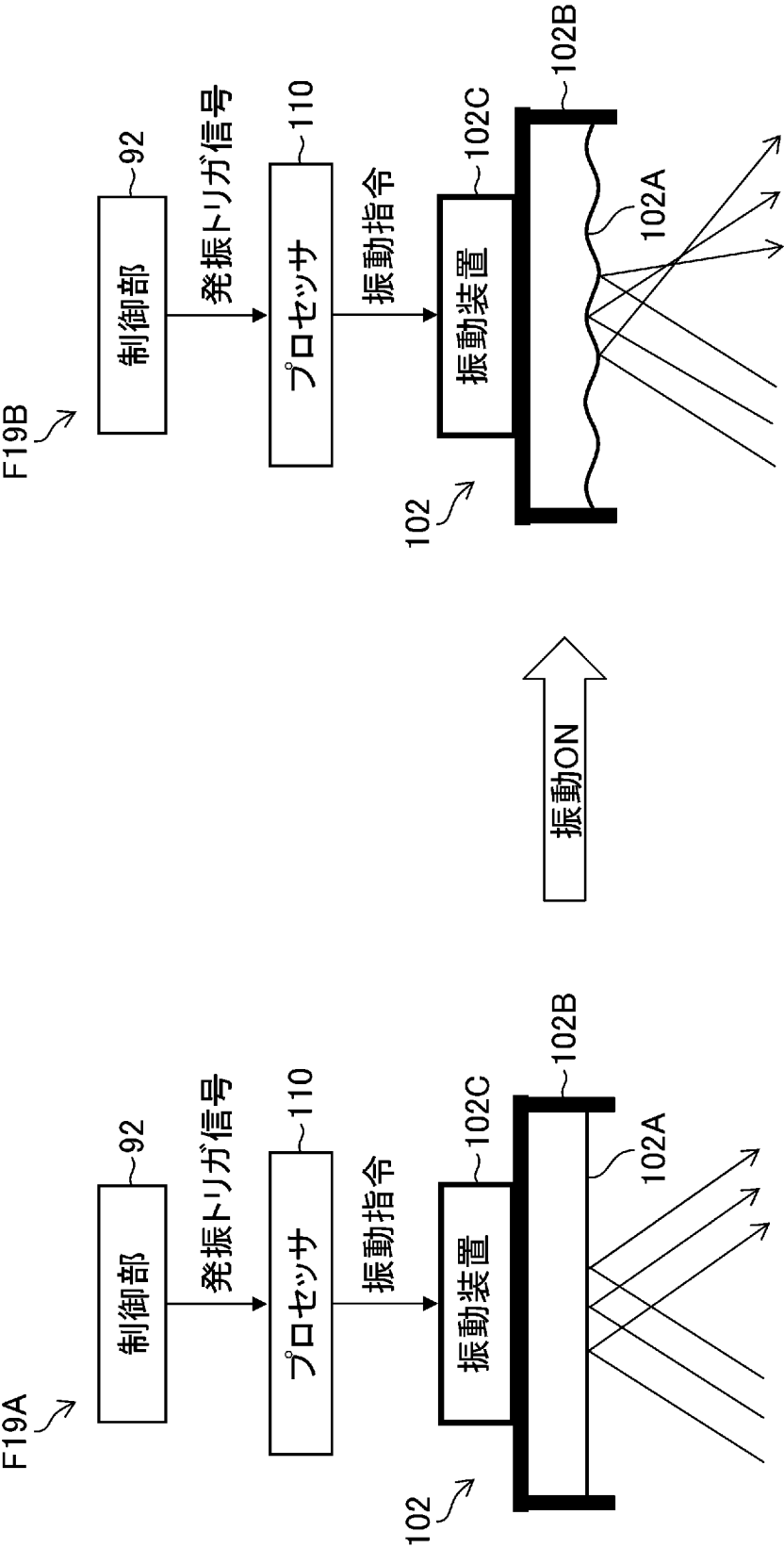
[図17]



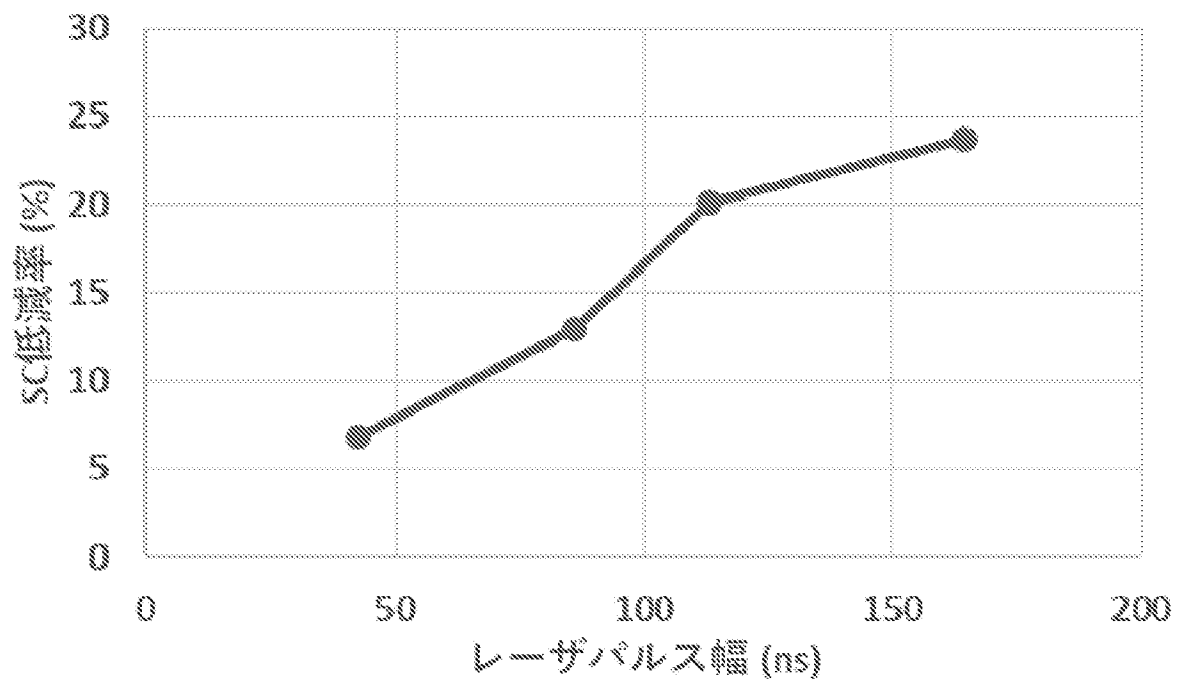
[図18]



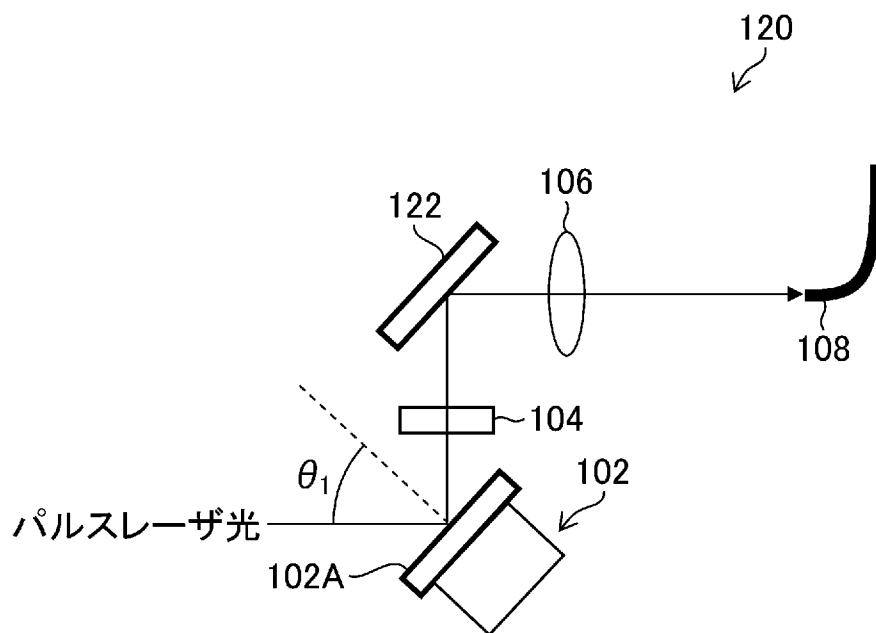
[図19]



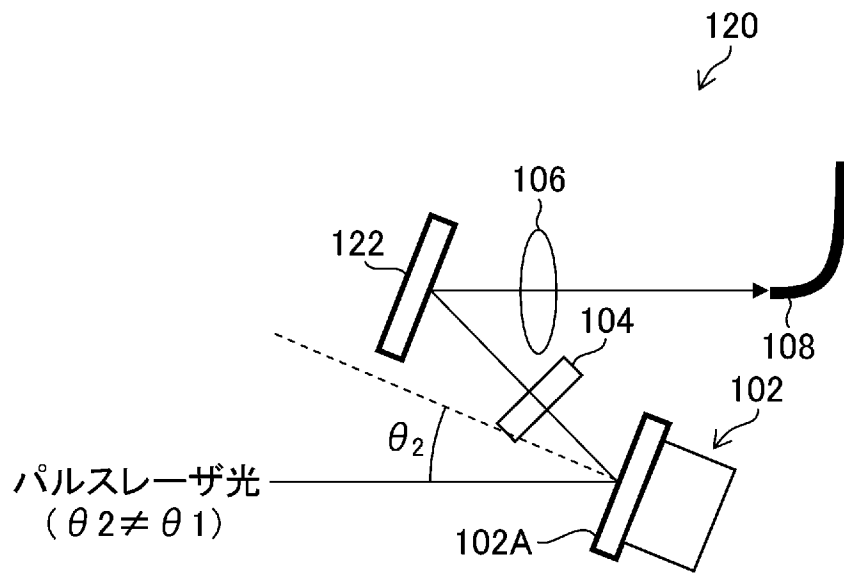
[図20]



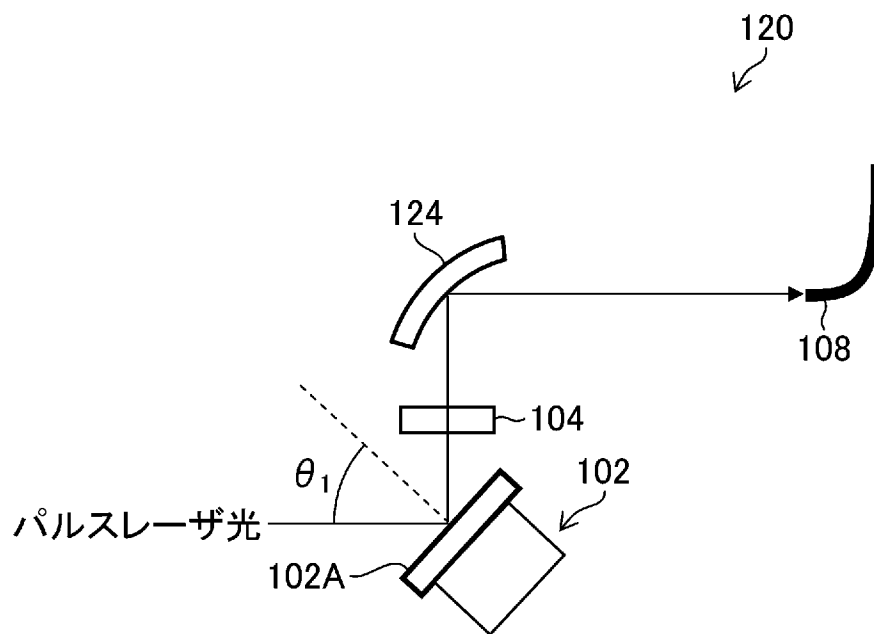
[図21]



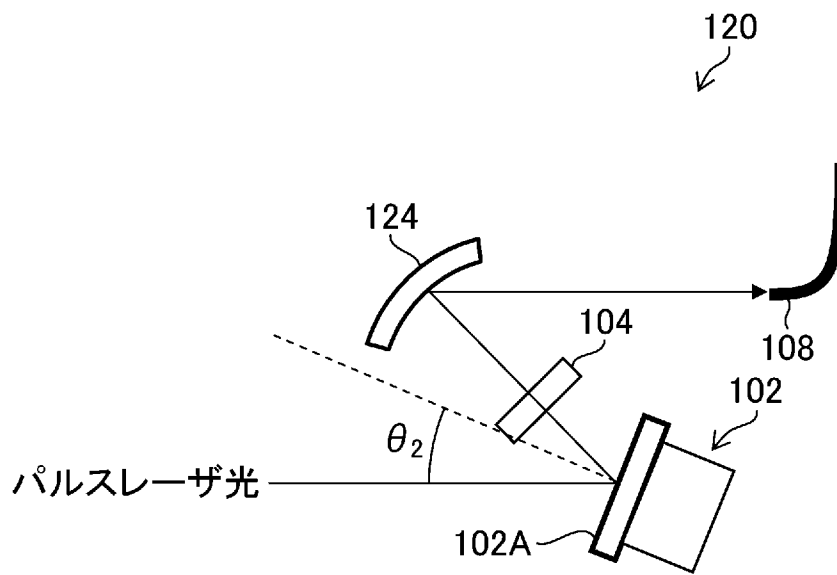
[図22]



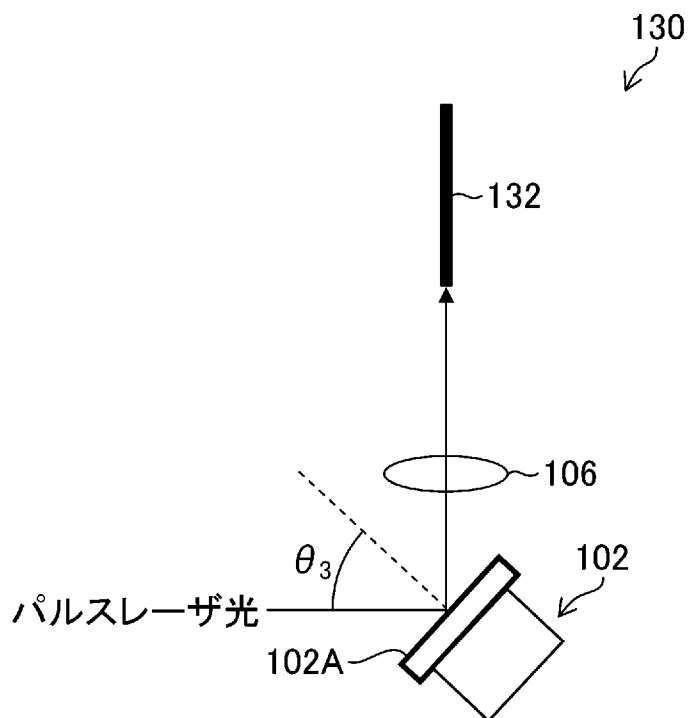
[図23]



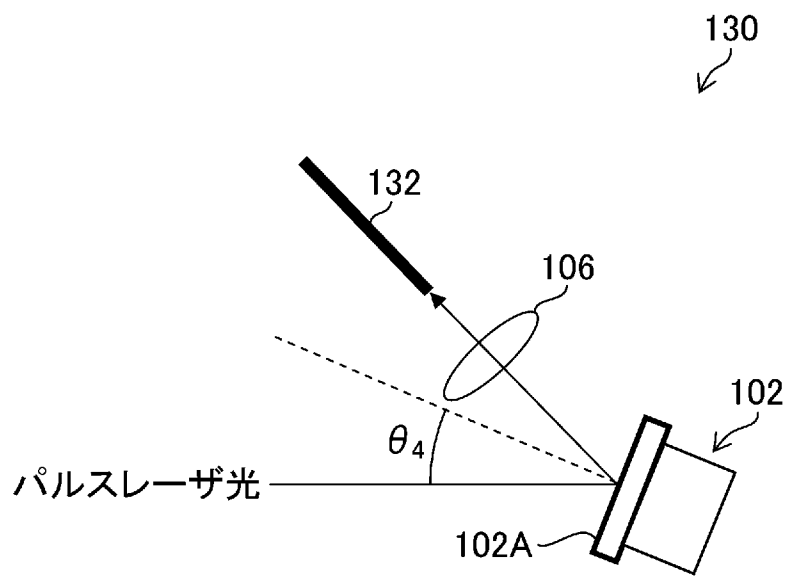
[図24]



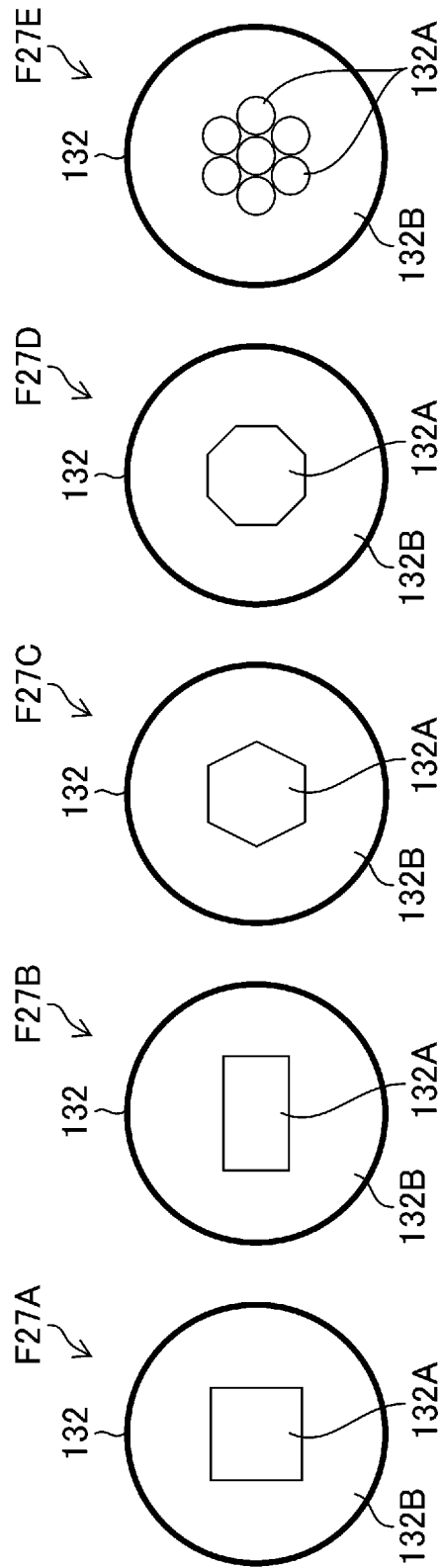
[図25]



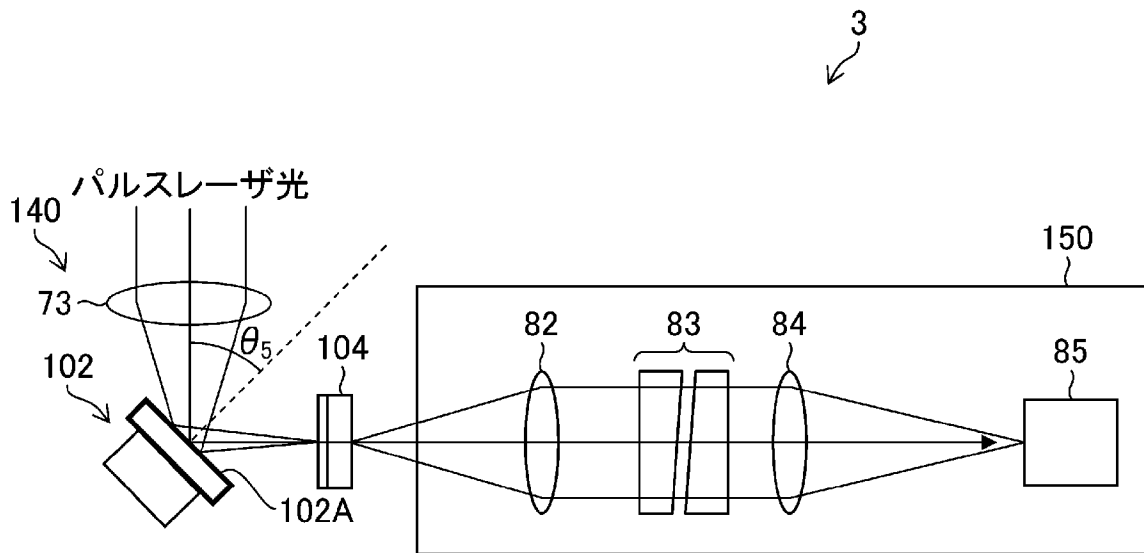
[図26]



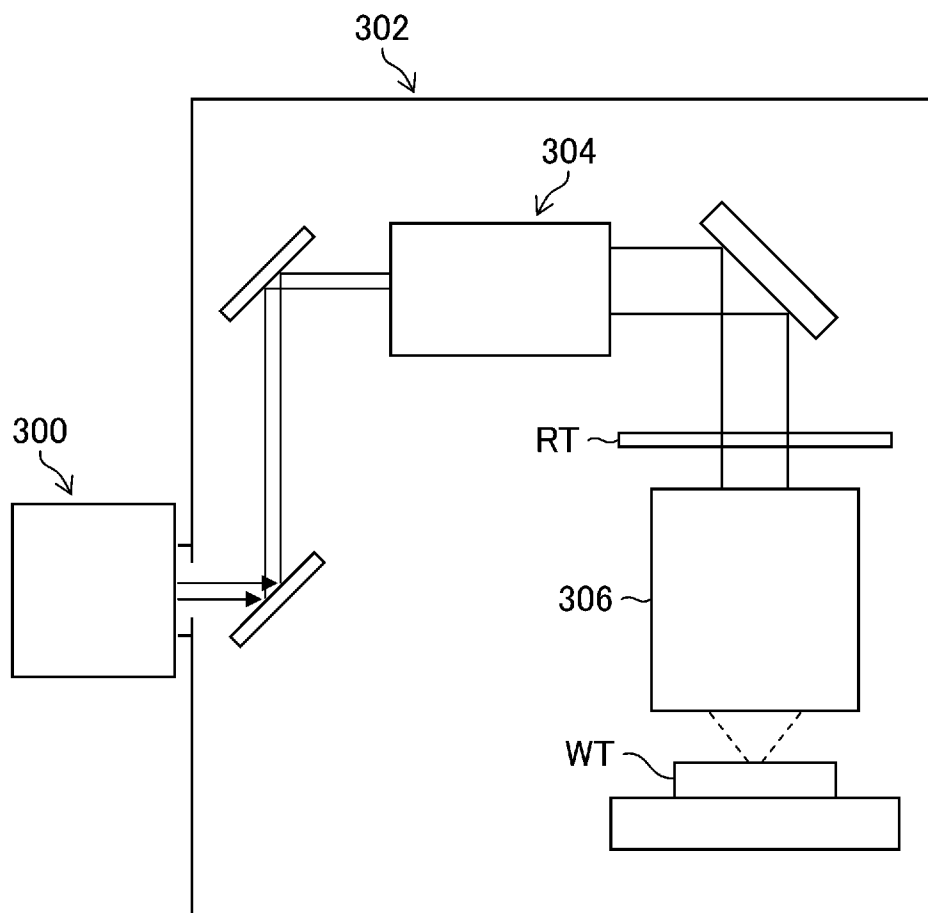
[図27]



[図28]



[図29]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/011326

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. G03F7/20 (2006.01) i, H01S3/00 (2006.01) i, H01S3/13 (2006.01) i
FI: H01S3/13, H01S3/00 G, G03F7/20 503

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)

Int. Cl. H01S3/00-3/02, 3/04-3/0959, 3/098-3/102, 3/105-3/131, 3/136-3/213, 3/23-5/50, G03F7/20-7/24, 9/00-9/02, H01L21/027, 21/30, 21/46

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2020
Registered utility model specifications of Japan 1996-2020
Published registered utility model applications of Japan 1994-2020

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 A	JP 9-6011 A (SVG LITHOGRAPHY SYSTEMS INC.) 10 January 1997, paragraphs [0027], [0028], [0033], [0046], [0068]-[0072], fig. 1	1, 3 2, 4-20
A	JP 2008-277618 A (GIGAPHOTON INC.) 13 November 2008, entire text, all drawings	1-20
A	JP 2019-530204 A (CYMER LLC) 17 October 2019, entire text, all drawings	1-20
A	JP 2003-124136 A (HITACHI, LTD.) 25 April 2003, entire text, all drawings	1-20

☒ 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
08.06.2020

Date of mailing of the international search report
16.06.2020

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/011326

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 9-298154 A (NIKON CORP.) 18 November 1997, entire text, all drawings	1-20
A	US 2015/0131936 A1 (RAFAEL ADVANCED DEFENSE SYSTEMS LTD.) 14 May 2015, entire text, all drawings	1-20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2020/011326

Patent Documents referred to in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 9-6011 A	10.01.1997	US 5684566 A column 4, lines 32-54, column 5, lines 25-37, column 7, lines 22-33, column 10, line 58 to column 11, line 67, fig. 1 EP 744641 A2 DE 69614918 T CA 2177200 A1 KR 10-1996-0042920 A (Family: none)	
JP 2008-277618 A	13.11.2008	US 2018/0066995 A1	
JP 2019-530204 A	17.10.2019	WO 2018/044583 A1 NL 2019213 A TW 201812367 A SG 112019005080 A CN 109642821 A KR 10-2019-0040315 A	
JP 2003-124136 A	25.04.2003	US 2003/0068836 A1 TW 583723 B KR 10-2003-0030908 A CN 1414616 A (Family: none)	
JP 9-298154 A	18.11.1997	WO 2013/179281 A1	
US 2015/0131936 A1	14.05.2015	EP 2856243 A1 IL 220027 @@@DO	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G03F 7/20(2006.01)i; H01S 3/00(2006.01)i; H01S 3/13(2006.01)i FI: H01S3/13; H01S3/00 G; G03F7/20 503		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） H01S3/00-3/02, 3/04-3/0959, 3/098-3/102, 3/105-3/131, 3/136-3/213, 3/23-5/50, G03F7/20-7/24, 9/00-9/02, H01L21/027, 21/30, 21/46 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2020年 日本国実用新案登録公報 1996-2020年 日本国登録実用新案公報 1994-2020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	JP 9-6011 A (エスヴィージー リトグラフィー システムズ インコーポレイテッド) 10.01.1997 (1997 - 01 - 10) 段落0027-0028, 0033, 0046, 0068-0072, 図1	1, 3
A		2, 4-20
A	JP 2008-277618 A (ギガフォトン株式会社) 13.11.2008 (2008 - 11 - 13) 全文, 全図	1-20
A	JP 2019-530204 A (サイマー リミテッド ライアビリティ カンパニー) 17.10.2019 (2019 - 10 - 17) 全文, 全図	1-20
A	JP 2003-124136 A (株式会社日立製作所) 25.04.2003 (2003 - 04 - 25) 全文, 全図	1-20
A	JP 9-298154 A (株式会社ニコン) 18.11.1997 (1997 - 11 - 18) 全文, 全図	1-20
☒ 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抵触するものではなく、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 08.06.2020		国際調査報告の発送日 16.06.2020
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 高 棕 健 司 2K 3715 電話番号 03-3581-1101 内線 3255

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	US 2015/0131936 A1 (RAFAEL ADVANCED DEFENSE SYSTEMS LTD.) 14.05.2015 (2015 - 05 - 14) 全文, 全図	1-20

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2020/011326

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	9-6011	A	10.01.1997	US 5684566 A 第4欄第32-54行, 第5欄第25-37行, 第7欄第22-33行, 第10欄第58行-第11欄第67行, 図1 EP 744641 A2 DE 69614918 T CA 2177200 A1 KR 10-1996-0042920 A	
JP	2008-277618	A	13.11.2008	(ファミリーなし)	
JP	2019-530204	A	17.10.2019	US 2018/0066995 A1 WO 2018/044583 A1 NL 2019213 A TW 201812367 A SG 11201900508U A CN 109642821 A KR 10-2019-0040315 A	
JP	2003-124136	A	25.04.2003	US 2003/0068836 A1 TW 583723 B KR 10-2003-0030908 A CN 1414616 A	
JP	9-298154	A	18.11.1997	(ファミリーなし)	
US	2015/0131936	A1	14.05.2015	WO 2013/179281 A1 EP 2856243 A1 IL 220027 D0	