(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
2018年4月19日(19.04.2018)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2018/070445 A1

(51) 国際特許分類:
B23K 26/00 (2014.01) *B23K 26/062* (2014.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2017/036872

(22) 国際出願日: 2017年10月11日(11.10.2017)

(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 2016-202601 2016年10月14日(14.10.2016) JP

(71) 出願人: 浜松ホトニクス株式会社 (**HAMAMATSU PHOTONICS K.K.**) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町１１２６番地の１ Shizuoka (JP).

(72) 発明者: 伊ケ崎 泰則 (**IGASAKI Yasunori**); 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町１１２６番地の１ 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP).

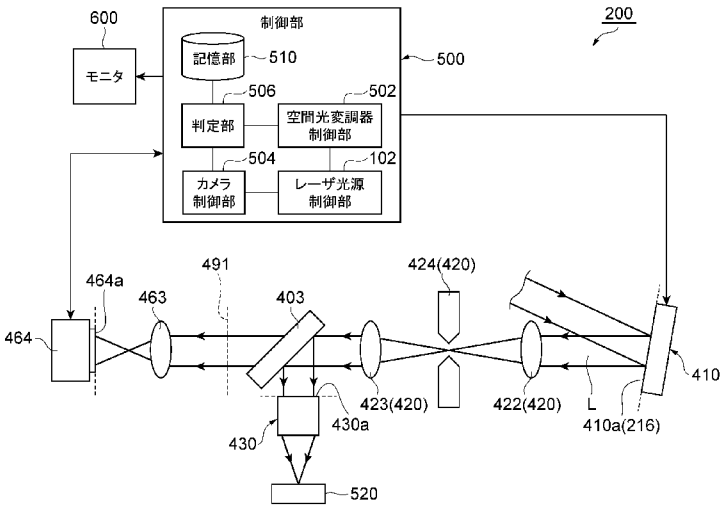
(74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外 (**HASEGAWA Yoshiki** et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目１番１号丸の内 ＭＹ ＰＬＡＺＡ（明治安田生命ビル） ９階 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).

(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, KE, KG, KH,

(54) **Title:** LASER PROCESSING DEVICE AND OPERATION CHECKING METHOD

(54) 発明の名称： レーザ加工装置、及び、動作確認方法

［図16］



(57) **Abstract:** This laser processing device is provided with: a laser light source for outputting laser light; a spatial light modulator for modulating the laser light output from the laser light source according to a phase pattern and emitting the modulated laser light; an object lens for focusing, onto an object, the modulated laser light emitted from the spatial light modulator; a control unit for controlling a phase pattern displayed on the spatial light modulator; and a determination unit for determining whether the operation of the spatial light modulator is normal, wherein the control unit performs a switching control for switching the phase pattern displayed on the spatial light modulator, and the determination unit performs the determination on the basis of the change in intensity, before and after the switching control, of the laser light emitted from the spatial light modulator.

WO 2018/070445 A1

［続葉有］

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

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

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

(57) 要約: レーザ光を出力するレーザ光源と、前記レーザ光源から出力された前記レーザ光を位相パターンに応じて変調して出射する空間光変調器と、前記空間光変調器から出射された前記レーザ光を対象物に集光する対物レンズと、前記空間光変調器に表示する位相パターンを制御する制御部と、前記空間光変調器の動作が正常であるか否かの判定を行う判定部と、を備え、前記制御部は、前記空間光変調器に表示する前記位相パターンを切り替えるための切替制御を行い、前記判定部は、前記空間光変調器から出射された前記レーザ光の前記切替制御の前と前記切替制御の後との間の強度の変化に基づいて前記判定を行う、レーザ加工装置。

明　細　書

発明の名称 ： レーザ加工装置、及び、動作確認方法

技術分野

[0001] 本発明の一側面は、レーザ加工装置、及び、動作確認方法に関する。

背景技術

[0002] 特許文献１には、レーザ光を加工対象物に照射することにより加工対象物のレーザ加工を行うレーザ加工装置が記載されている。このようなレーザ光加工において、レーザ光源から出力レーザ光は、空間光変調器により変調された後に、対物レンズによって加工対象物に集光される。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開２０１１－５１０１１号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 上述したようなレーザ加工装置においては、空間光変調器の動作が正常でない場合には、加工対象物に対して適切なレーザ光の照射ができないおそれがある。したがって、いずれかのタイミングで空間光変調器の動作確認を行うことが必要である。これに対して、本発明者らは、空間光変調器の動作確認のタイミングとして、レーザ加工時以外のタイミングが望ましいとの知見を得た。

[0005] そこで、本発明の一側面は、加工時以外のタイミングで空間光変調器の動作確認が可能なレーザ加工装置、及び、動作確認方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明の一側面に係るレーザ加工装置は、レーザ光を対象物に照射してレーザ加工を行う第１モードと、第１モードと異なる第２モードと、を少なくとも有するレーザ加工装置であって、レーザ光を出力するレーザ光源と、レ

ーザ光源から出力されたレーザ光を位相パターンに応じて変調して出射する空間光変調器と、空間光変調器から出射されたレーザ光を対象物に集光する集光レンズと、空間光変調器に表示する位相パターンを制御する制御部と、第２モードが実行されているときに、空間光変調器の動作が正常であるか否かの判定を行う判定部と、を備え、制御部は、第２モードが実行されているときに、空間光変調器に表示する位相パターンを切り替えるための切替制御を行い、判定部は、空間光変調器から出射されたレーザ光の切替制御の前と切替制御の後との間の強度の変化に基づいて判定を行う。

[0007] 本発明の一側面に係る動作確認方法は、レーザ光を出力するレーザ光源と、レーザ光源から出力されたレーザ光を位相パターンに応じて変調して出射する空間光変調器と、空間光変調器から出射されたレーザ光を対象物に集光する集光レンズと、を備えるレーザ加工装置の空間光変調器の動作確認方法であって、レーザ加工装置において、レーザ光を対象物に照射してレーザ加工を行う第１モードと異なる第２モードが実行されているときに、空間光変調器に表示する位相パターンを切り替えるための切替制御を行う第１ステップと、第２モードが実行されているときに、空間光変調器から出射されたレーザ光の切替制御の前と切替制御の後との間の強度の変化に基づいて、空間光変調器の動作が正常であるか否かの判定を行う第２ステップと、を含む。

[0008] このレーザ加工装置及び動作確認方法においては、レーザ加工を行う第１モードと異なる第２モードが実行されているときに、空間光変調器に表示する位相パターンの切替制御が行われる。空間光変調器の動作が正常であれば、切替制御の前後において異なる位相パターンによりレーザ光が変調され、レーザ光の強度変化が生じる。一方、空間光変調器の動作が正常でない場合には、切替制御の前後において位相パターンが適切に切り替わらない結果、レーザ光の強度変化が生じない場合がある。したがって、第２モードが実行されているときに、切替制御の前後のレーザ光の強度の変化に基づいて、空間光変調器の動作が正常であるか否かの判定を行うことにより、加工時以外のタイミングで空間光変調器の動作確認を行うことが可能である。

[0009] 本発明の一側面に係るレーザ加工装置においては、制御部は、第２モードが実行されているときに、空間光変調器に表示する位相パターンを第１パターンから回折格子パターンを含む第２パターンに切り替えるための切替制御を行い、判定部は、切替制御の前のレーザ光の強度から切替制御の後のレーザ光の強度を減算して強度差を計算すると共に、前記強度差が閾値よりも大きいか否かに基づいて判定を行ってもよい。

[0010] この場合、空間光変調器の動作が正常であれば、切替制御の後に空間光変調器に入射したレーザ光は、第２パターンに含まれる回折格子パターンにより回折される。したがって、一部の回折光の強度に着目すれば、切替制御の前のレーザ光の強度に比べて一定以上小さくなる。したがって、切替制御の前後の強度差を所定の閾値と比較することにより、空間光変調器の動作が正常であるか否かが容易且つ確実に判定可能である。

[0011] 本発明の一側面に係るレーザ加工装置は、レーザ光の光路における空間光変調器と対物レンズとの間に配置され、レーザ光を集束する集束レンズと、レーザ光の光路における集束レンズの後側の焦点位置に配置され、回折格子パターンに応じて回折されたレーザ光の一定次数以上の回折光を遮断するスリット部材と、を備えてもよい。この場合、空間光変調器の動作が正常であるときに、焦点位置において一定次数以上の回折光を遮断することによって、切替制御の前後における強度差を十分に生じさせることができる。したがって、空間光変調器の動作が正常であるか否かの判定がより容易且つ確実となる。

[0012] 本発明の一側面に係るレーザ加工装置においては、第２モードは、対物レンズから出射されたレーザ光の強度を測定するための計測モードであり、判定部は、レーザ光の光路における対物レンズの後段に配置されたパワーメータにより取得されたレーザ光の強度に基づいて判定を行ってもよい。この場合、キャリブレーションとしての計測モードを利用して、空間光変調器の動作確認が可能となる。

[0013] 本発明の一側面に係るレーザ加工装置は、対物レンズの入射瞳面と共役な

撮像面を有し、レーザ光の画像を取得するカメラを備え、判定部は、カメラにより取得された画像に基づいて取得されたレーザ光の強度に基づいて判定を行ってもよい。この場合、レーザ加工装置のカメラを利用して空間光変調器の動作確認が可能となる。

発明の効果

[0014] 本発明の一側面によれば、加工時以外のタイミングで空間光変調器の動作確認が可能なレーザ加工装置、及び、動作確認方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]改質領域の形成に用いられるレーザ加工装置の概略構成図である。

[図2]改質領域の形成の対象となる加工対象物の平面図である。

[図3]図２の加工対象物のIII－III線に沿っての断面図である。

[図4]レーザ加工後の加工対象物の平面図である。

[図5]図４の加工対象物のV－V線に沿っての断面図である。

[図6]図４の加工対象物のVI－VI線に沿っての断面図である。

[図7]実施形態に係るレーザ加工装置の斜視図である。

[図8]図７のレーザ加工装置の支持台に取り付けられる加工対象物の斜視図である。

[図9]図７のＺＸ平面に沿ってのレーザ出力部の断面図である。

[図10]図７のレーザ加工装置におけるレーザ出力部及びレーザ集光部の一部の斜視図である。

[図11]図７のＸＹ平面に沿ってのレーザ集光部の断面図である。

[図12]図１１のXII－XII線に沿ってのレーザ集光部の断面図である。

[図13]図１２のXIII－XIII線に沿ってのレーザ集光部の断面図である。

[図14]図７のレーザ加工装置における反射型空間光変調器の部分断面図である。

[図15]図１１のレーザ集光部における反射型空間光変調器、４ｆレンズユニット及び集光レンズユニットの光学的配置関係を示す図である。

[図16]第１実施形態に係るレーザ加工装置の要部を示す概略構成図である。

[図17]回折格子パターンの一例、及び、回折光を示す図である。

[図18]第１実施形態に係るレーザ加工装置における動作確認方法を示すフローチャートである。

[図19]第２実施形態に係るレーザ加工装置の要部を示す概略構成図である。

[図20]第２実施形態の変形例に係るレーザ加工装置の要部を示す概略構成図である。

[図21]回折格子パターンの別の例、及び、回折光を示す図である。

[図22]回折格子パターンの一例、及び、回折光を示す図である。

発明を実施するための形態

[0016] 以下、本発明の一側面の一実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。なお、各図において、互いに同一の要素、又は、互いに相当する要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する場合がある。

[0017] 実施形態に係るレーザ加工装置では、加工対象物にレーザ光を集光することにより、切断予定ラインに沿って加工対象物に改質領域を形成する。そこで、まず、改質領域の形成について、図１～図６を参照して説明する。

[0018] 図１に示されるように、レーザ加工装置１００は、レーザ光Ｌをパルス発振するレーザ光源１０１と、レーザ光Ｌの光軸（光路）の向きを９０°変えるように配置されたダイクロイックミラー１０３と、レーザ光Ｌを集光するための集光用レンズ１０５と、を備えている。また、レーザ加工装置１００は、集光用レンズ１０５で集光されたレーザ光Ｌが照射される対象物である加工対象物１を支持するための支持台１０７と、支持台１０７を移動させるための移動機構であるステージ１１１と、レーザ光Ｌの出力やパルス幅、パルス波形等を調節するためにレーザ光源１０１を制御するレーザ光源制御部１０２と、ステージ１１１の移動を制御するステージ制御部１１５と、を備えている。

[0019] レーザ加工装置１００においては、レーザ光源１０１から出射されたレーザ光Ｌは、ダイクロイックミラー１０３によってその光軸の向きを９０°変

えられ、支持台１０７上に載置された加工対象物１の内部に集光用レンズ１０５によって集光される。これと共に、ステージ１１１が移動させられ、加工対象物１がレーザ光Ｌに対して切断予定ライン５に沿って相対移動させられる。これにより、切断予定ライン５に沿った改質領域が加工対象物１に形成される。なお、ここでは、レーザ光Ｌを相対的に移動させるためにステージ１１１を移動させたが、集光用レンズ１０５を移動させてもよいし、或いはこれらの両方を移動させてもよい。

[0020] 加工対象物１としては、半導体材料で形成された半導体基板や圧電材料で形成された圧電基板等を含む板状の部材（例えば、基板、ウェハ等）が用いられる。図２に示されるように、加工対象物１には、加工対象物１を切断するための切断予定ライン５が設定されている。切断予定ライン５は、直線状に延びた仮想線である。加工対象物１の内部に改質領域を形成する場合、図３に示されるように、加工対象物１の内部に集光点（集光位置）Ｐを合わせた状態で、レーザ光Ｌを切断予定ライン５に沿って（すなわち、図２の矢印Ａ方向に）相対的に移動させる。これにより、図４、図５及び図６に示されるように、改質領域７が切断予定ライン５に沿って加工対象物１に形成され、切断予定ライン５に沿って形成された改質領域７が切断起点領域８となる。切断予定ライン５は、照射予定ラインに対応する。

[0021] 集光点Ｐとは、レーザ光Ｌが集光する箇所のことである。切断予定ライン５は、直線状に限らず曲線状であってもよいし、これらが組み合わされた３次元状であってもよいし、座標指定されたものであってもよい。切断予定ライン５は、仮想線に限らず加工対象物１の表面３に実際に引かれた線であってもよい。改質領域７は、連続的に形成される場合もあるし、断続的に形成される場合もある。改質領域７は列状でも点状でもよく、要は、改質領域７は少なくとも加工対象物１の内部、表面３又は裏面に形成されていればよい。改質領域７を起点に亀裂が形成される場合があり、亀裂及び改質領域７は、加工対象物１の外表面（表面３、裏面、若しくは外周面）に露出していてもよい。改質領域７を形成する際のレーザ光入射面は、加工対象物１の表面

３に限定されるものではなく、加工対象物１の裏面であってもよい。

[0022] ちなみに、加工対象物１の内部に改質領域７を形成する場合には、レーザ光Ｌは、加工対象物１を透過すると共に、加工対象物１の内部に位置する集光点Ｐ近傍にて特に吸収される。これにより、加工対象物１に改質領域７が形成される（すなわち、内部吸収型レーザ加工）。この場合、加工対象物１の表面３ではレーザ光Ｌが殆ど吸収されないので、加工対象物１の表面３が溶融することはない。一方、加工対象物１の表面３又は裏面に改質領域７を形成する場合には、レーザ光Ｌは、表面３又は裏面に位置する集光点Ｐ近傍にて特に吸収され、表面３又は裏面から溶融され除去されて、穴や溝等の除去部が形成される（表面吸収型レーザ加工）。

[0023] 改質領域７は、密度、屈折率、機械的強度やその他の物理的特性が周囲とは異なる状態になった領域をいう。改質領域７としては、例えば、溶融処理領域（一旦溶融後再固化した領域、溶融状態中の領域及び溶融から再固化する状態中の領域のうち少なくとも何れか一つを意味する）、クラック領域、絶縁破壊領域、屈折率変化領域等があり、これらが混在した領域もある。更に、改質領域７としては、加工対象物１の材料において改質領域７の密度が非改質領域の密度と比較して変化した領域や、格子欠陥が形成された領域がある。加工対象物１の材料が単結晶シリコンである場合、改質領域７は、高転位密度領域ともいえる。

[0024] 溶融処理領域、屈折率変化領域、改質領域７の密度が非改質領域の密度と比較して変化した領域、及び、格子欠陥が形成された領域は、更に、それら領域の内部や改質領域７と非改質領域との界面に亀裂（割れ、マイクロクラック）を内包している場合がある。内包される亀裂は、改質領域７の全面に渡る場合や一部分のみや複数部分に形成される場合がある。加工対象物１は、結晶構造を有する結晶材料からなる基板を含む。例えば加工対象物１は、窒化ガリウム（ＧａＮ）、シリコン（Ｓｉ）、シリコンカーバイド（ＳｉＣ）、ＬｉＴａＯ３、及び、サファイア（Ａｌ２Ｏ３）の少なくとも何れかで形成された基板を含む。換言すると、加工対象物１は、例えば、窒化ガリウ

ム基板、シリコン基板、ＳｉＣ基板、ＬｉＴａＯ３基板、又はサファイア基板を含む。結晶材料は、異方性結晶及び等方性結晶の何れであってもよい。また、加工対象物１は、非結晶構造（非晶質構造）を有する非結晶材料からなる基板を含んでいてもよく、例えばガラス基板を含んでいてもよい。

[0025] 実施形態では、切断予定ライン５に沿って改質スポット（加工痕）を複数形成することにより、改質領域７を形成することができる。この場合、複数の改質スポットが集まることによって改質領域７となる。改質スポットとは、パルスレーザ光の１パルスのショット（つまり１パルスのレーザ照射：レーザショット）で形成される改質部分である。改質スポットとしては、クラックスポット、溶融処理スポット若しくは屈折率変化スポット、又はこれらの少なくとも１つが混在するもの等が挙げられる。改質スポットについては、要求される切断精度、要求される切断面の平坦性、加工対象物１の厚さ、種類、結晶方位等を考慮して、その大きさや発生する亀裂の長さを適宜制御することができる。また、実施形態では、切断予定ライン５に沿って、改質スポットを改質領域７として形成することができる。

［実施形態に係るレーザ加工装置］

[0026] 次に、実施形態に係るレーザ加工装置について説明する。以下の説明では、水平面内において互いに直交する方向をＸ軸方向及びＹ軸方向とし、鉛直方向をＺ軸方向とする。

［レーザ加工装置の全体構成］

[0027] 図７に示されるように、レーザ加工装置２００は、装置フレーム２１０と、第１移動機構（移動機構）２２０と、支持台２３０と、第２移動機構２４０と、を備えている。さらに、レーザ加工装置２００は、レーザ出力部３００と、レーザ集光部４００と、制御部５００と、を備えている。

[0028] 第１移動機構２２０は、装置フレーム２１０に取り付けられている。第１移動機構２２０は、第１レールユニット２２１と、第２レールユニット２２２と、可動ベース２２３と、を有している。第１レールユニット２２１は、装置フレーム２１０に取り付けられている。第１レールユニット２２１には

、Ｙ軸方向に沿って延在する一対のレール２２１ａ，２２１ｂが設けられている。第２レールユニット２２２は、Ｙ軸方向に沿って移動可能となるように、第１レールユニット２２１の一対のレール２２１ａ，２２１ｂに取り付けられている。第２レールユニット２２２には、Ｘ軸方向に沿って延在する一対のレール２２２ａ，２２２ｂが設けられている。可動ベース２２３は、Ｘ軸方向に沿って移動可能となるように、第２レールユニット２２２の一対のレール２２２ａ，２２２ｂに取り付けられている。可動ベース２２３は、Ｚ軸方向に平行な軸線を中心線として回転可能である。

[0029] 支持台２３０は、可動ベース２２３に取り付けられている。支持台２３０は、加工対象物１を支持する。加工対象物１は、例えば、シリコン等の半導体材料からなる基板の表面側に複数の機能素子（フォトダイオード等の受光素子、レーザダイオード等の発光素子、又は回路として形成された回路素子等）がマトリックス状に形成されたものである。加工対象物１が支持台２３０に支持される際には、図８に示されるように、環状のフレーム１１に張られたフィルム１２上に、例えば加工対象物１の表面１ａ（複数の機能素子側の面）が貼付される。支持台２３０は、クランプによってフレーム１１を保持すると共に真空チャックテーブルによってフィルム１２を吸着することで、加工対象物１を支持する。支持台２３０上において、加工対象物１には、互いに平行な複数の切断予定ライン５ａ、及び互いに平行な複数の切断予定ライン５ｂが、隣り合う機能素子の間を通るように格子状に設定される。

[0030] 図７に示されるように、支持台２３０は、第１移動機構２２０において第２レールユニット２２２が動作することで、Ｙ軸方向に沿って移動させられる。また、支持台２３０は、第１移動機構２２０において可動ベース２２３が動作することで、Ｘ軸方向に沿って移動させられる。更に、支持台２３０は、第１移動機構２２０において可動ベース２２３が動作することで、Ｚ軸方向に平行な軸線を中心線として回転させられる。このように、支持台２３０は、Ｘ軸方向及びＹ軸方向に沿って移動可能となり且つＺ軸方向に平行な軸線を中心線として回転可能となるように、装置フレーム２１０に取り付け

られている。

[0031] レーザ出力部３００は、装置フレーム２１０に取り付けられている。レーザ集光部４００は、第２移動機構２４０を介して装置フレーム２１０に取り付けられている。レーザ集光部４００は、第２移動機構２４０が動作することで、Ｚ軸方向に沿って移動させられる。このように、レーザ集光部４００は、レーザ出力部３００に対してＺ軸方向に沿って移動可能となるように、装置フレーム２１０に取り付けられている。

[0032] 制御部５００は、ＣＰＵ（Central Processing Unit）、ＲＯＭ（Read Only Memory）及びＲＡＭ（Random Access Memory）等によって構成されている。制御部５００は、レーザ加工装置２００の各部の動作を制御する。

[0033] 一例として、レーザ加工装置２００では、次のように、各切断予定ライン５ａ，５ｂ（図８参照）に沿って加工対象物１の内部に改質領域が形成される。

[0034] まず、加工対象物１の裏面１ｂ（図８参照）がレーザ光入射面となるように、加工対象物１が支持台２３０に支持され、加工対象物１の各切断予定ライン５ａがＸ軸方向に平行な方向に合わせられる。続いて、加工対象物１の内部において加工対象物１のレーザ光入射面から所定距離だけ離間した位置にレーザ光Ｌの集光点が位置するように、第２移動機構２４０によってレーザ集光部４００が移動させられる。続いて、加工対象物１のレーザ光入射面とレーザ光Ｌの集光点との距離が一定に維持されつつ、各切断予定ライン５ａに沿ってレーザ光Ｌの集光点が相対的に移動させられる。これにより、各切断予定ライン５ａに沿って加工対象物１の内部に改質領域が形成される。

[0035] 各切断予定ライン５ａに沿っての改質領域の形成が終了すると、第１移動機構２２０によって支持台２３０が回転させられ、加工対象物１の各切断予定ライン５ｂがＸ軸方向に平行な方向に合わせられる。続いて、加工対象物１の内部において加工対象物１のレーザ光入射面から所定距離だけ離間した位置にレーザ光Ｌの集光点が位置するように、第２移動機構２４０によってレーザ集光部４００が移動させられる。続いて、加工対象物１のレーザ光入

射面とレーザ光Ｌの集光点との距離が一定に維持されつつ、各切断予定ライン５ｂに沿ってレーザ光Ｌの集光点が相対的に移動させられる。これにより、各切断予定ライン５ｂに沿って加工対象物１の内部に改質領域が形成される。

[0036] このように、レーザ加工装置２００では、Ｘ軸方向に平行な方向が加工方向（レーザ光Ｌのスキャン方向）とされている。なお、各切断予定ライン５ａに沿ったレーザ光Ｌの集光点の相対的な移動、及び各切断予定ライン５ｂに沿ったレーザ光Ｌの集光点の相対的な移動は、第１移動機構２２０によって支持台２３０がＸ軸方向に沿って移動させられることで、実施される。また、各切断予定ライン５ａ間におけるレーザ光Ｌの集光点の相対的な移動、及び各切断予定ライン５ｂ間におけるレーザ光Ｌの集光点の相対的な移動は、第１移動機構２２０によって支持台２３０がＹ軸方向に沿って移動させられることで、実施される。

[0037] 図９に示されるように、レーザ出力部３００は、取付ベース３０１と、カバー３０２と、複数のミラー３０３，３０４と、を有している。更に、レーザ出力部３００は、レーザ発振器（レーザ光源）３１０と、シャッタ３２０と、λ／２波長板ユニット３３０と、偏光板ユニット３４０と、ビームエキスパンダ３５０と、ミラーユニット３６０と、を有している。

[0038] 取付ベース３０１は、複数のミラー３０３，３０４、レーザ発振器３１０、シャッタ３２０、λ／２波長板ユニット３３０、偏光板ユニット３４０、ビームエキスパンダ３５０及びミラーユニット３６０を支持している。複数のミラー３０３，３０４、レーザ発振器３１０、シャッタ３２０、λ／２波長板ユニット３３０、偏光板ユニット３４０、ビームエキスパンダ３５０及びミラーユニット３６０は、取付ベース３０１の主面３０１ａに取り付けられている。取付ベース３０１は、板状の部材であり、装置フレーム２１０（図７参照）に対して着脱可能である。レーザ出力部３００は、取付ベース３０１を介して装置フレーム２１０に取り付けられている。つまり、レーザ出力部３００は、装置フレーム２１０に対して着脱可能である。

[0039] カバー３０２は、取付ベース３０１の主面３０１ａ上において、複数のミラー３０３，３０４、レーザ発振器３１０、シャッタ３２０、λ／２波長板ユニット３３０、偏光板ユニット３４０、ビームエキスパンダ３５０及びミラーユニット３６０を覆っている。カバー３０２は、取付ベース３０１に対して着脱可能である。

[0040] レーザ発振器３１０は、直線偏光のレーザ光ＬをＸ軸方向に沿ってパルス発振する。レーザ発振器３１０から出射されるレーザ光Ｌの波長は、５００～５５０ｎｍ、１０００～１１５０ｎｍ又は１３００～１４００ｎｍのいずれかの波長帯に含まれる。５００～５５０ｎｍの波長帯のレーザ光Ｌは、例えばサファイアからなる基板に対する内部吸収型レーザ加工に適している。１０００～１１５０ｎｍ及び１３００～１４００ｎｍの各波長帯のレーザ光Ｌは、例えばシリコンからなる基板に対する内部吸収型レーザ加工に適している。レーザ発振器３１０から出射されるレーザ光Ｌの偏光方向は、例えば、Ｙ軸方向に平行な方向である。レーザ発振器３１０から出射されたレーザ光Ｌは、ミラー３０３によって反射され、Ｙ軸方向に沿ってシャッタ３２０に入射する。

[0041] レーザ発振器３１０では、次のように、レーザ光Ｌの出力のＯＮ／ＯＦＦが切り替えられる。レーザ発振器３１０が固体レーザで構成されている場合、共振器内に設けられたＱスイッチ（ＡＯＭ（音響光学変調器）、ＥＯＭ（電気光学変調器）等）のＯＮ／ＯＦＦが切り替えられることで、レーザ光Ｌの出力のＯＮ／ＯＦＦが高速に切り替えられる。レーザ発振器３１０がファイバレーザで構成されている場合、シードレーザ、アンプ（励起用）レーザを構成する半導体レーザの出力のＯＮ／ＯＦＦが切り替えられることで、レーザ光Ｌの出力のＯＮ／ＯＦＦが高速に切り替えられる。レーザ発振器３１０が外部変調素子を用いている場合、共振器外に設けられた外部変調素子（ＡＯＭ、ＥＯＭ等）のＯＮ／ＯＦＦが切り替えられることで、レーザ光Ｌの出力のＯＮ／ＯＦＦが高速に切り替えられる。

[0042] シャッタ３２０は、機械式の機構によってレーザ光Ｌの光路を開閉する。

レーザ出力部３００からのレーザ光Ｌの出力のＯＮ／ＯＦＦの切り替えは、上述したように、レーザ発振器３１０でのレーザ光Ｌの出力のＯＮ／ＯＦＦの切り替えによって実施されるが、シャッタ３２０が設けられていることで、例えばレーザ出力部３００からレーザ光Ｌが不意に出射されることが防止される。シャッタ３２０を通過したレーザ光Ｌは、ミラー３０４によって反射され、Ｘ軸方向に沿ってλ／２波長板ユニット３３０及び偏光板ユニット３４０に順次入射する。

[0043] λ／２波長板ユニット３３０及び偏光板ユニット３４０は、レーザ光Ｌの出力（光強度）を調整する出力調整部として機能する。また、λ／２波長板ユニット３３０及び偏光板ユニット３４０は、レーザ光Ｌの偏光方向を調整する偏光方向調整部として機能する。λ／２波長板ユニット３３０及び偏光板ユニット３４０を順次通過したレーザ光Ｌは、Ｘ軸方向に沿ってビームエキスパンダ３５０に入射する。

[0044] ビームエキスパンダ３５０は、レーザ光Ｌの径を調整しつつ、レーザ光Ｌを平行化する。ビームエキスパンダ３５０を通過したレーザ光Ｌは、Ｘ軸方向に沿ってミラーユニット３６０に入射する。

[0045] ミラーユニット３６０は、支持ベース３６１と、複数のミラー３６２，３６３と、を有している。支持ベース３６１は、複数のミラー３６２，３６３を支持している。支持ベース３６１は、Ｘ軸方向及びＹ軸方向に沿って位置調整可能となるように、取付ベース３０１に取り付けられている。ミラー（第１ミラー）３６２は、ビームエキスパンダ３５０を通過したレーザ光ＬをＹ軸方向に反射する。ミラー３６２は、その反射面が例えばＺ軸に平行な軸線回りに角度調整可能となるように、支持ベース３６１に取り付けられている。

[0046] ミラー（第２ミラー）３６３は、ミラー３６２によって反射されたレーザ光ＬをＺ軸方向に反射する。ミラー３６３は、その反射面が例えばＸ軸に平行な軸線回りに角度調整可能となり且つＹ軸方向に沿って位置調整可能となるように、支持ベース３６１に取り付けられている。ミラー３６３によって

反射されたレーザ光Ｌは、支持ベース３６１に形成された開口３６１ａを通過し、Ｚ軸方向に沿ってレーザ集光部４００（図７参照）に入射する。つまり、レーザ出力部３００によるレーザ光Ｌの出射方向は、レーザ集光部４００の移動方向に一致している。上述したように、各ミラー３６２，３６３は、反射面の角度を調整するための機構を有している。

[0047] ミラーユニット３６０では、取付ベース３０１に対する支持ベース３６１の位置調整、支持ベース３６１に対するミラー３６３の位置調整、及び各ミラー３６２，３６３の反射面の角度調整が実施されることで、レーザ出力部３００から出射されるレーザ光Ｌの光軸の位置及び角度がレーザ集光部４００に対して合わされる。つまり、複数のミラー３６２，３６３は、レーザ出力部３００から出射されるレーザ光Ｌの光軸を調整するための構成である。

[0048] 図１０に示されるように、レーザ集光部４００は、筐体４０１を有している。筐体４０１は、Ｙ軸方向を長手方向とする直方体状の形状を呈している。筐体４０１の一方の側面４０１ｅには、第２移動機構２４０が取り付けられている（図１１及び図１３参照）。筐体４０１には、ミラーユニット３６０の開口３６１ａとＺ軸方向において対向するように、円筒状の光入射部４０１ａが設けられている。光入射部４０１ａは、レーザ出力部３００から出射されたレーザ光Ｌを筐体４０１内に入射させる。ミラーユニット３６０と光入射部４０１ａとは、第２移動機構２４０によってレーザ集光部４００がＺ軸方向に沿って移動させられた際に互いに接触することがない距離だけ、互いに離間している。

[0049] 図１１及び図１２に示されるように、レーザ集光部４００は、ミラー４０２と、ダイクロイックミラー４０３と、を有している。更に、レーザ集光部４００は、反射型空間光変調器４１０と、４ｆレンズユニット４２０と、集光レンズユニット（対物レンズ）４３０と、駆動機構４４０と、一対の測距センサ４５０と、を有している。

[0050] ミラー４０２は、光入射部４０１ａとＺ軸方向において対向するように、筐体４０１の底面４０１ｂに取り付けられている。ミラー４０２は、光入射

部４０１ａを介して筐体４０１内に入射したレーザ光ＬをＸＹ平面に平行な方向に反射する。ミラー４０２には、レーザ出力部３００のビームエキスパンダ３５０によって平行化されたレーザ光ＬがＺ軸方向に沿って入射する。つまり、ミラー４０２には、レーザ光Ｌが平行光としてＺ軸方向に沿って入射する。そのため、第２移動機構２４０によってレーザ集光部４００がＺ軸方向に沿って移動させられても、Ｚ軸方向に沿ってミラー４０２に入射するレーザ光Ｌの状態は一定に維持される。ミラー４０２によって反射されたレーザ光Ｌは、反射型空間光変調器４１０に入射する。

[0051] 反射型空間光変調器４１０は、反射面４１０ａが筐体４０１内に臨んだ状態で、Ｙ軸方向における筐体４０１の端部４０１ｃに取り付けられている。反射型空間光変調器４１０は、例えば反射型液晶（ＬＣＯＳ：Liquid Crystal on Silicon）の空間光変調器（ＳＬＭ：Spatial Light Modulator）であり、レーザ光Ｌを変調しつつ、レーザ光ＬをＹ軸方向に反射する。反射型空間光変調器４１０によって変調されると共に反射されたレーザ光Ｌは、Ｙ軸方向に沿って４ｆレンズユニット４２０に入射する。ここで、ＸＹ平面に平行な平面内において、反射型空間光変調器４１０に入射するレーザ光Ｌの光軸と、反射型空間光変調器４１０から出射されるレーザ光Ｌの光軸とがなす角度αは、鋭角（例えば、１０～６０°）とされている。つまり、レーザ光Ｌは、反射型空間光変調器４１０においてＸＹ平面に沿って鋭角に反射される。これは、レーザ光Ｌの入射角及び反射角を抑えて回折効率の低下を抑制し、反射型空間光変調器４１０の性能を十分に発揮させるためである。なお、反射型空間光変調器４１０では、例えば、液晶が用いられた光変調層の厚さが数μｍ～数十μｍ程度と極めて薄いため、反射面４１０ａは、光変調層の光入出射面と実質的に同じと捉えることができる。

[0052] ４ｆレンズユニット４２０は、ホルダ４２１と、反射型空間光変調器４１０側のレンズ４２２と、集光レンズユニット４３０側のレンズ４２３と、スリット部材４２４と、を有している。ホルダ４２１は、一対のレンズ４２２，４２３及びスリット部材４２４を保持している。ホルダ４２１は、レーザ

光Ｌの光軸に沿った方向における一対のレンズ４２２，４２３及びスリット部材４２４の互いの位置関係を一定に維持している。一対のレンズ４２２，４２３は、反射型空間光変調器４１０の反射面４１０ａと集光レンズユニット４３０の入射瞳面（瞳面）４３０ａとが結像関係にある両側テレセントリック光学系を構成している。

[0053] これにより、反射型空間光変調器４１０の反射面４１０ａでのレーザ光Ｌの像（反射型空間光変調器４１０において変調されたレーザ光Ｌの像）が、集光レンズユニット４３０の入射瞳面４３０ａに転像（結像）される。スリット部材４２４には、スリット４２４ａが形成されている。スリット４２４ａは、レンズ４２２とレンズ４２３との間であって、レンズ４２２の焦点面付近に位置している。反射型空間光変調器４１０によって変調されると共に反射されたレーザ光Ｌのうち不要な部分は、スリット部材４２４によって遮断される。４ｆレンズユニット４２０を通過したレーザ光Ｌは、Ｙ軸方向に沿ってダイクロイックミラー４０３に入射する。

[0054] ダイクロイックミラー４０３は、レーザ光Ｌの大部分（例えば、９５～９９．５％）をＺ軸方向に反射し、レーザ光Ｌの一部（例えば、０．５～５％）をＹ軸方向に沿って透過させる。レーザ光Ｌの大部分は、ダイクロイックミラー４０３においてＺＸ平面に沿って直角に反射される。ダイクロイックミラー４０３によって反射されたレーザ光Ｌは、Ｚ軸方向に沿って集光レンズユニット４３０に入射する。

[0055] 集光レンズユニット４３０は、Ｙ軸方向における筐体４０１の端部４０１ｄ（端部４０１ｃの反対側の端部）に、駆動機構４４０を介して取り付けられている。集光レンズユニット４３０は、ホルダ４３１と、複数のレンズ４３２と、を有している。ホルダ４３１は、複数のレンズ４３２を保持している。複数のレンズ４３２は、支持台２３０に支持された加工対象物１（図７参照）に対してレーザ光Ｌを集光する。駆動機構４４０は、圧電素子の駆動力によって、集光レンズユニット４３０をＺ軸方向に沿って移動させる。

[0056] 一対の測距センサ４５０は、Ｘ軸方向において集光レンズユニット４３０

の両側に位置するように、筐体４０１の端部４０１ｄに取り付けられている。各測距センサ４５０は、支持台２３０に支持された加工対象物１（図７参照）のレーザ光入射面に対して測距用の光（例えば、レーザ光）を出射し、当該レーザ光入射面によって反射された測距用の光を検出することで、加工対象物１のレーザ光入射面の変位データを取得する。なお、測距センサ４５０には、三角測距方式、レーザ共焦点方式、白色共焦点方式、分光干渉方式、非点収差方式等のセンサを利用することができる。

[0057] レーザ加工装置２００では、上述したように、Ｘ軸方向に平行な方向が加工方向（レーザ光Ｌのスキャン方向）とされている。そのため、各切断予定ライン５ａ，５ｂに沿ってレーザ光Ｌの集光点が相対的に移動させられる際に、一対の測距センサ４５０のうち集光レンズユニット４３０に対して相対的に先行する測距センサ４５０が、各切断予定ライン５ａ，５ｂに沿った加工対象物１のレーザ光入射面の変位データを取得する。そして、加工対象物１のレーザ光入射面とレーザ光Ｌの集光点との距離が一定に維持されるように、駆動機構４４０が、測距センサ４５０によって取得された変位データに基づいて集光レンズユニット４３０をＺ軸方向に沿って移動させる。

[0058] レーザ集光部４００は、ビームスプリッタ４６１と、一対のレンズ４６２，４６３と、プロファイル取得用カメラ（強度分布取得部）４６４と、を有している。ビームスプリッタ４６１は、ダイクロイックミラー４０３を透過したレーザ光Ｌを反射成分と透過成分とに分ける。ビームスプリッタ４６１によって反射されたレーザ光Ｌは、Ｚ軸方向に沿って一対のレンズ４６２，４６３及びプロファイル取得用カメラ４６４に順次入射する。一対のレンズ４６２，４６３は、集光レンズユニット４３０の入射瞳面４３０ａとプロファイル取得用カメラ４６４の撮像面とが結像関係にある両側テレセントリック光学系を構成している。これにより、集光レンズユニット４３０の入射瞳面４３０ａでのレーザ光Ｌの像が、プロファイル取得用カメラ４６４の撮像面に転像（結像）される。上述したように、集光レンズユニット４３０の入射瞳面４３０ａでのレーザ光Ｌの像は、反射型空間光変調器４１０において

変調されたレーザ光Ｌの像である。したがって、レーザ加工装置２００では、プロファイル取得用カメラ４６４による撮像結果を監視することで、反射型空間光変調器４１０の動作状態を把握することができる。

[0059] 更に、レーザ集光部４００は、ビームスプリッタ４７１と、レンズ４７２と、レーザ光Ｌの光軸位置モニタ用のカメラ４７３と、を有している。ビームスプリッタ４７１は、ビームスプリッタ４６１を透過したレーザ光Ｌを反射成分と透過成分とに分ける。ビームスプリッタ４７１によって反射されたレーザ光Ｌは、Ｚ軸方向に沿ってレンズ４７２及びカメラ４７３に順次入射する。レンズ４７２は、入射したレーザ光Ｌをカメラ４７３の撮像面上に集光する。レーザ加工装置２００では、カメラ４６４及びカメラ４７３のそれぞれによる撮像結果を監視しつつ、ミラーユニット３６０において、取付ベース３０１に対する支持ベース３６１の位置調整、支持ベース３６１に対するミラー３６３の位置調整、及び各ミラー３６２，３６３の反射面の角度調整を実施することで（図９及び図１０参照）、集光レンズユニット４３０に入射するレーザ光Ｌの光軸のずれ（集光レンズユニット４３０に対するレーザ光の強度分布の位置ずれ、及び集光レンズユニット４３０に対するレーザ光Ｌの光軸の角度ずれ）を補正することができる。

[0060] 複数のビームスプリッタ４６１，４７１は、筐体４０１の端部４０１ｄからＹ軸方向に沿って延在する筒体４０４内に配置されている。一対のレンズ４６２，４６３は、Ｚ軸方向に沿って筒体４０４上に立設された筒体４０５内に配置されており、プロファイル取得用カメラ４６４は、筒体４０５の端部に配置されている。レンズ４７２は、Ｚ軸方向に沿って筒体４０４上に立設された筒体４０６内に配置されており、カメラ４７３は、筒体４０６の端部に配置されている。筒体４０５と筒体４０６とは、Ｙ軸方向において互いに並設されている。なお、ビームスプリッタ４７１を透過したレーザ光Ｌは、筒体４０４の端部に設けられたダンパ等に吸収されるようにしてもよいし、或いは、適宜の用途で利用されるようにしてもよい。

[0061] 図１２及び図１３に示されるように、レーザ集光部４００は、可視光源４

８１と、複数のレンズ４８２と、レチクル４８３と、ミラー４８４と、ハーフミラー４８５と、ビームスプリッタ４８６と、レンズ４８７と、観察カメラ４８８と、を有している。可視光源４８１は、Ｚ軸方向に沿って可視光Ｖを出射する。複数のレンズ４８２は、可視光源４８１から出射された可視光Ｖを平行化する。レチクル４８３は、可視光Ｖに目盛り線を付与する。ミラー４８４は、複数のレンズ４８２によって平行化された可視光ＶをＸ軸方向に反射する。ハーフミラー４８５は、ミラー４８４によって反射された可視光Ｖを反射成分と透過成分とに分ける。ハーフミラー４８５によって反射された可視光Ｖは、Ｚ軸方向に沿ってビームスプリッタ４８６及びダイクロイックミラー４０３を順次透過し、集光レンズユニット４３０を介して、支持台２３０に支持された加工対象物１（図７参照）に照射される。

[0062] 加工対象物１に照射された可視光Ｖは、加工対象物１のレーザ光入射面によって反射され、集光レンズユニット４３０を介してダイクロイックミラー４０３に入射し、Ｚ軸方向に沿ってダイクロイックミラー４０３を透過する。ビームスプリッタ４８６は、ダイクロイックミラー４０３を透過した可視光Ｖを反射成分と透過成分とに分ける。ビームスプリッタ４８６を透過した可視光Ｖは、ハーフミラー４８５を透過し、Ｚ軸方向に沿ってレンズ４８７及び観察カメラ４８８に順次入射する。レンズ４８７は、入射した可視光Ｖを観察カメラ４８８の撮像面上に集光する。レーザ加工装置２００では、観察カメラ４８８による撮像結果を観察することで、加工対象物１の状態を把握することができる。

[0063] ミラー４８４、ハーフミラー４８５及びビームスプリッタ４８６は、筐体４０１の端部４０１ｄ上に取り付けられたホルダ４０７内に配置されている。複数のレンズ４８２及びレチクル４８３は、Ｚ軸方向に沿ってホルダ４０７上に立設された筒体４０８内に配置されており、可視光源４８１は、筒体４０８の端部に配置されている。レンズ４８７は、Ｚ軸方向に沿ってホルダ４０７上に立設された筒体４０９内に配置されており、観察カメラ４８８は、筒体４０９の端部に配置されている。筒体４０８と筒体４０９とは、Ｘ軸

方向において互いに並設されている。なお、Ｘ軸方向に沿ってハーフミラー４８５を透過した可視光Ｖ、及びビームスプリッタ４８６によってＸ軸方向に反射された可視光Ｖは、それぞれ、ホルダ４０７の壁部に設けられたダンパ等に吸収されるようにしてもよいし、或いは、適宜の用途で利用されるようにしてもよい。

[0064] レーザ加工装置２００では、レーザ出力部３００の交換が想定されている。これは、加工対象物１の仕様、加工条件等に応じて、加工に適したレーザ光Ｌの波長が異なるからである。そのため、出射するレーザ光Ｌの波長が互いに異なる複数のレーザ出力部３００が用意される。ここでは、出射するレーザ光Ｌの波長が５００～５５０ｎｍの波長帯に含まれるレーザ出力部３００、出射するレーザ光Ｌの波長が１０００～１１５０ｎｍの波長帯に含まれるレーザ出力部３００、及び出射するレーザ光Ｌの波長が１３００～１４００ｎｍの波長帯に含まれるレーザ出力部３００が用意される。

[0065] 一方、レーザ加工装置２００では、レーザ集光部４００の交換が想定されていない。これは、レーザ集光部４００がマルチ波長に対応している（互いに連続しない複数の波長帯に対応している）からである。具体的には、ミラー４０２、反射型空間光変調器４１０、４ｆレンズユニット４２０の一対のレンズ４２２，４２３、ダイクロイックミラー４０３、及び集光レンズユニット４３０のレンズ４３２等がマルチ波長に対応している。

[0066] ここでは、レーザ集光部４００は、５００～５５０ｎｍ、１０００～１１５０ｎｍ及び１３００～１４００ｎｍの波長帯に対応している。これは、レーザ集光部４００の各構成に所定の誘電体多層膜をコーティングすること等、所望の光学性能が満足されるようにレーザ集光部４００の各構成が設計されることで実現される。なお、レーザ出力部３００において、λ／２波長板ユニット３３０はλ／２波長板を有しており、偏光板ユニット３４０は偏光板を有している。λ／２波長板及び偏光板は、波長依存性が高い光学素子である。そのため、λ／２波長板ユニット３３０及び偏光板ユニット３４０は、波長帯ごとに異なる構成としてレーザ出力部３００に設けられている。

［レーザ加工装置におけるレーザ光の光路及び偏光方向］

[0067] レーザ加工装置２００では、支持台２３０に支持された加工対象物１に対して集光されるレーザ光Ｌの偏光方向は、図１１に示されるように、Ｘ軸方向に平行な方向であり、加工方向（レーザ光Ｌのスキャン方向）に一致している。ここで、反射型空間光変調器４１０では、レーザ光ＬがＰ偏光として反射される。これは、反射型空間光変調器４１０の光変調層に液晶が用いられている場合において、反射型空間光変調器４１０に対して入出射するレーザ光Ｌの光軸を含む平面に平行な面内で液晶分子が傾斜するように、当該液晶が配向されているときには、偏波面の回転が抑制された状態でレーザ光Ｌに位相変調が施されるからである（例えば、特許第３８７８７５８号公報参照）。

[0068] 一方、ダイクロイックミラー４０３では、レーザ光ＬがＳ偏光として反射される。これは、レーザ光ＬをＰ偏光として反射させるよりも、レーザ光ＬをＳ偏光として反射させたほうが、ダイクロイックミラー４０３をマルチ波長に対応させるための誘電体多層膜のコーティング数が減少する等、ダイクロイックミラー４０３の設計が容易となるからである。

[0069] したがって、レーザ集光部４００では、ミラー４０２から反射型空間光変調器４１０及び４ｆレンズユニット４２０を介してダイクロイックミラー４０３に至る光路が、ＸＹ平面に沿うように設定されており、ダイクロイックミラー４０３から集光レンズユニット４３０に至る光路が、Ｚ軸方向に沿うように設定されている。

[0070] 図９に示されるように、レーザ出力部３００では、レーザ光Ｌの光路がＸ軸方向又はＹ軸方向に沿うように設定されている。具体的には、レーザ発振器３１０からミラー３０３に至る光路、並びに、ミラー３０４からλ／２波長板ユニット３３０、偏光板ユニット３４０及びビームエキスパンダ３５０を介してミラーユニット３６０に至る光路が、Ｘ軸方向に沿うように設定されており、ミラー３０３からシャッタ３２０を介してミラー３０４に至る光路、及び、ミラーユニット３６０においてミラー３６２からミラー３６３に

至る光路が、Ｙ軸方向に沿うように設定されている。

[0071] ここで、Ｚ軸方向に沿ってレーザ出力部３００からレーザ集光部４００に進行したレーザ光Ｌは、図１１に示されるように、ミラー４０２によってＸＹ平面に平行な方向に反射され、反射型空間光変調器４１０に入射する。このとき、ＸＹ平面に平行な平面内において、反射型空間光変調器４１０に入射するレーザ光Ｌの光軸と、反射型空間光変調器４１０から出射されるレーザ光Ｌの光軸とは、鋭角である角度αをなしている。一方、上述したように、レーザ出力部３００では、レーザ光Ｌの光路がＸ軸方向又はＹ軸方向に沿うように設定されている。

[0072] したがって、レーザ出力部３００において、λ／２波長板ユニット３３０及び偏光板ユニット３４０を、レーザ光Ｌの出力を調整する出力調整部としてだけでなく、レーザ光Ｌの偏光方向を調整する偏光方向調整部としても機能させる必要がある。

［反射型空間光変調器］

[0073] 図１４に示されるように、反射型空間光変調器４１０は、シリコン基板２１３、駆動回路層９１４、複数の画素電極２１４、誘電体多層膜ミラー等の反射膜２１５、配向膜９９９ａ、液晶層（表示部）２１６、配向膜９９９ｂ、透明導電膜２１７、及びガラス基板等の透明基板２１８がこの順に積層されることで構成されている。

[0074] 透明基板２１８は、表面２１８ａを有しており、この表面２１８ａは、反射型空間光変調器４１０の反射面４１０ａを構成している。透明基板２１８は、例えばガラス等の光透過性材料からなり、反射型空間光変調器４１０の表面２１８ａから入射した所定波長のレーザ光Ｌを、反射型空間光変調器４１０の内部へ透過する。透明導電膜２１７は、透明基板２１８の裏面上に形成されており、レーザ光Ｌを透過する導電性材料（例えばＩＴＯ）からなる。

[0075] 複数の画素電極２１４は、透明導電膜２１７に沿ってシリコン基板２１３上にマトリックス状に配列されている。各画素電極２１４は、例えばアルミ

ニウム等の金属材料からなり、これらの表面２１４ａは、平坦且つ滑らかに加工されている。複数の画素電極２１４は、駆動回路層９１４に設けられたアクティブ・マトリクス回路によって駆動される。

[0076] アクティブ・マトリクス回路は、複数の画素電極２１４とシリコン基板２１３との間に設けられており、反射型空間光変調器４１０から出力しようとする光像に応じて各画素電極２１４への印加電圧を制御する。このようなアクティブ・マトリクス回路は、例えば図示しないＸ軸方向に並んだ各画素列の印加電圧を制御する第１ドライバ回路と、Ｙ軸方向に並んだ各画素列の印加電圧を制御する第２ドライバ回路とを有しており、制御部５０００における後述の空間光変調器制御部５０２（図１６参照）によって双方のドライバ回路で指定された画素の画素電極２１４に所定電圧が印加されるように構成されている。

[0077] 配向膜９９９ａ，９９９ｂは、液晶層２１６の両端面に配置されており、液晶分子群を一定方向に配列させる。配向膜９９９ａ，９９９ｂは、例えばポリイミド等の高分子材料からなり、液晶層２１６との接触面にラビング処理等が施されている。

[0078] 液晶層２１６は、複数の画素電極２１４と透明導電膜２１７との間に配置されており、各画素電極２１４と透明導電膜２１７とにより形成される電界に応じてレーザ光Ｌを変調する。すなわち、駆動回路層９１４のアクティブ・マトリクス回路によって各画素電極２１４に電圧が印加されると、透明導電膜２１７と各画素電極２１４との間に電界が形成され、液晶層２１６に形成された電界の大きさに応じて液晶分子２１６ａの配列方向が変化する。そして、レーザ光Ｌが透明基板２１８及び透明導電膜２１７を透過して液晶層２１６に入射すると、このレーザ光Ｌは、液晶層２１６を通過する間に液晶分子２１６ａによって変調され、反射膜２１５において反射した後、再び液晶層２１６により変調されて、出射する。

[0079] このとき、後述の空間光変調器制御部５０２（図１６参照）によって各画素電極２１４に印加される電圧が制御され、その電圧に応じて、液晶層２１

６において透明導電膜２１７と各画素電極２１４とに挟まれた部分の屈折率が変化する（各画素に対応した位置の液晶層２１６の屈折率が変化する）。この屈折率の変化により、印加した電圧に応じて、レーザ光Ｌの位相を液晶層２１６の画素ごとに変化させることができる。つまり、ホログラムパターンに応じた位相変調を画素ごとに液晶層２１６によって付与することができる。

[0080] 換言すると、変調を付与するホログラムパターンとしての変調パターンを、反射型空間光変調器４１０の液晶層２１６に表示させることができる。変調パターンに入射し透過するレーザ光Ｌは、その波面が調整され、そのレーザ光Ｌを構成する各光線において進行方向に直交する所定方向の成分の位相にずれが生じる。したがって、反射型空間光変調器４１０に表示させる変調パターンを適宜設定することにより、レーザ光Ｌが変調（例えば、レーザ光Ｌの強度、振幅、位相、偏光等が変調）可能となる。

［４ｆレンズユニット］

[0081] 上述したように、４ｆレンズユニット４２０の一対のレンズ４２２，４２３は、反射型空間光変調器４１０の反射面４１０ａと集光レンズユニット４３０の入射瞳面４３０ａとが結像関係にある両側テレセントリック光学系を構成している。具体的には、図１５に示されるように、反射型空間光変調器４１０側のレンズ４２２の中心と反射型空間光変調器４１０の反射面４１０ａとの間の光路の距離がレンズ４２２の第１焦点距離ｆ１となり、集光レンズユニット４３０側のレンズ４２３の中心と集光レンズユニット４３０の入射瞳面４３０ａとの間の光路の距離がレンズ４２３の第２焦点距離ｆ２となり、レンズ４２２の中心とレンズ４２３の中心との間の光路の距離が第１焦点距離ｆ１と第２焦点距離ｆ２との和（すなわち、ｆ１＋ｆ２）となっている。反射型空間光変調器４１０から集光レンズユニット４３０に至る光路のうち一対のレンズ４２２，４２３間の光路は、一直線である。

[0082] レーザ加工装置２００では、反射型空間光変調器４１０の反射面４１０ａでのレーザ光Ｌの有効径を大きくする観点から、両側テレセントリック光学

系の倍率Ｍが、０．５＜Ｍ＜１（縮小系）を満たしている。反射型空間光変調器４１０の反射面４１０ａでのレーザ光Ｌの有効径が大きいほど、高精細な位相パターンでレーザ光Ｌが変調される。反射型空間光変調器４１０から集光レンズユニット４３０に至るレーザ光Ｌの光路が長くなるのを抑制するという観点では、０．６≦Ｍ≦０．９５とすることができる。ここで、（両側テレセントリック光学系の倍率Ｍ）＝（集光レンズユニット４３０の入射瞳面４３０ａでの像の大きさ）／（反射型空間光変調器４１０の反射面４１０ａでの物体の大きさ）である。レーザ加工装置２００の場合、両側テレセントリック光学系の倍率Ｍ、レンズ４２２の第１焦点距離ｆ１及びレンズ４２３の第２焦点距離ｆ２が、Ｍ＝ｆ２／ｆ１を満たしている。

[0083] なお、反射型空間光変調器４１０の反射面４１０ａでのレーザ光Ｌの有効径を小さくする観点から、両側テレセントリック光学系の倍率Ｍが、１＜Ｍ＜２（拡大系）を満たしていてもよい。反射型空間光変調器４１０の反射面４１０ａでのレーザ光Ｌの有効径が小さいほど、ビームエキスパンダ３５０（図９参照）の倍率が小さくて済み、ＸＹ平面に平行な平面内において、反射型空間光変調器４１０に入射するレーザ光Ｌの光軸と、反射型空間光変調器４１０から出射されるレーザ光Ｌの光軸とがなす角度α（図１１参照）が小さくなる。反射型空間光変調器４１０から集光レンズユニット４３０に至るレーザ光Ｌの光路が長くなるのを抑制するという観点では、１．０５≦Ｍ≦１．７とすることができる。

[0084] 次に、第１実施形態に係るレーザ加工装置２００の要部について詳細に説明する。

[0085] 図１６は、第１実施形態に係るレーザ加工装置２００の要部を示す概略構成図である。レーザ出力部３００（レーザ発振器３１０）から出力されたレーザ光Ｌは、図１６に示されるように、反射型空間光変調器４１０に入射する。反射型空間光変調器４１０は、入射されたレーザ光Ｌを、液晶層２１６に表示された位相パターンに応じて変調して出射する。反射型空間光変調器４１０から出射したレーザ光Ｌは、４ｆレンズユニット４２０のリレーレン

ズであるレンズ（集束レンズ）４２２で集束された後、４ｆレンズユニット４２０のリレーレンズであるレンズ４２３でコリメートされて、ダイクロイックミラー４０３に入射する。ダイクロイックミラー４０３に入射したレーザ光Ｌは、反射光と透過光とに分岐される。ダイクロイックミラー４０３で反射したレーザ光Ｌは、集光レンズユニット４３０に入射する。

[0086] すなわち、レーザ加工装置２００は、レーザ光Ｌの光路における反射型空間光変調器４１０と集光レンズユニット４３０との間に配置されたレンズ４２２を備えている。集光レンズユニット４３０に入射したレーザ光Ｌは、集光レンズユニット４３０により集光される。一方、ダイクロイックミラー４０３を透過したレーザ光Ｌは、リレーレンズである上記レンズ４６３で集束され、プロファイル取得用カメラ４６４の撮像面４６４ａに入射する。

[0087] 一対のレンズ４２２，４２３は、液晶層２１６の反射面４１０ａにおけるレーザ光Ｌの波面を、集光レンズユニット４３０の入射瞳面４３０ａと、ダイクロイックミラー４０３の下流側（後段）の共役面４９１と、にリレーする。レンズ４６３は、一対のレンズ４２２，４２３によって共役面４９１にリレーされたレーザ光Ｌの波面（液晶層２１６における実像）を、プロファイル取得用カメラ４６４の撮像面４６４ａにリレー（結像）する。これにより、液晶層２１６と、集光レンズユニット４３０の入射瞳面４３０ａと、共役面４９１と、プロファイル取得用カメラ４６４の撮像面４６４ａとは、互いに共役の関係を構成する。すなわち、レーザ加工装置２００は、集光レンズユニット４３０の入射瞳面４３０ａと共役な撮像面４６４ａを有し、レーザ光Ｌの画像を取得するプロファイル取得用カメラ４６４を備えている。

[0088] プロファイル取得用カメラ４６４は、ダイクロイックミラー４０３で分岐されたレーザ光Ｌの強度分布を取得する撮像装置である。具体的には、プロファイル取得用カメラ４６４は、反射型空間光変調器４１０から出射され集光レンズユニット４３０に入射する前のレーザ光Ｌについてのビーム断面の強度分布に関する画像（強度分布画像）を静止画像として撮像する。撮像した強度分布画像を制御部５００へ出力する。プロファイル取得用カメラ４６

４としては、例えば、ＣＭＯＳ（Complementar Metal Oxide Semiconductor）イメージセンサが用いられる。

[0089] レーザ光Ｌの光路におけるレンズ４２２の後側の焦点位置には、スリット部材４２４が配置されている。スリット部材４２４は、レーザ光Ｌにおける一定値以上の空間周波数成分（広角回折光）を遮光すると共に、レーザ光Ｌにおける一定値未満の空間周波数成分を通過させる。例えばスリット部材４２４では、一定値以上の空間周波数成分を遮光するように、開口の大きさが設定されている。例えば、反射型空間光変調器４１０（液晶層２１６）に回折格子パターンを含む位相パターンが表示されているときには、スリット部材４２４は、当該回折格子パターンに応じて回折されたレーザ光Ｌの一定次数以上の回折光（例えば正負の高次回折光）を遮断する。

[0090] ちなみに、スリット部材４２４は、レンズ４２２の後側の焦点位置の近傍に配置されていてもよい。焦点位置の近傍とは、略焦点位置、焦点位置の付近、もしくは焦点位置の周辺であって、スリット部材４２４がレーザ光Ｌにおける一定値以上の空間周波数成分を遮光できる範囲（一定次数以上の回折光を遮断できる範囲）である（以下、同じ）。スリット部材４２４を通過後のレーザ光Ｌでは、反射型空間光変調器４１０によるレーザ光Ｌの変調を強度変調として容易に観測できる。

[0091] 制御部５００は、上記レーザ光源制御部１０２と、空間光変調器制御部（制御部）５０２、カメラ制御部５０４、判定部５０６、及び、記憶部５１０を有している。レーザ光源制御部１０２は、上述したように、レーザ発振器３１０の動作を制御する。また、レーザ光源制御部１０２は、１つの切断予定ライン５に沿うレーザ加工毎において、加工条件（照射条件）に基づいて、レーザ発振器３１０で発生させるレーザ光Ｌの出力を決定して設定する。加工条件は、例えばタッチパネル等の入力部によりオペレータから入力される。加工条件としては、例えば、加工対象物１における改質領域７を形成する深さ位置、レーザ出力等である。

[0092] ここで、レーザ加工装置２００は、レーザ光Ｌを加工対象物１に照射する

ことにより加工対象物１のレーザ加工を行う第１モードと、第１モードと異なる第２モードと、を少なくとも有する。第１モードは、上記の通り加工モードである。第２モードは、例えば、レーザ加工装置２００の立ち上げ時といった加工モードの実行の前、或いは、加工対象物１の交換時といった加工モード間において、レーザ光Ｌの強度を測定するための計測モードである（例えばキャリブレーションモード）。レーザ加工装置２００の各モードの切り替えは、オペレータの入力により手動で行われてもよいし、自動で行われてもよい。一例として、レーザ加工装置２００の立ち上げ時に、第１モードの実行に先立って、自動的（強制的）に第２モードが実行されてもよい。

[0093] レーザ光Ｌの強度の測定は、例えば、レーザ光Ｌの光路における集光レンズユニット４３０の後段に配置されたパワーメータ５２０を用いて行うことができる。パワーメータ５２０は、例えば、集光レンズユニット４３０から出射されたレーザ光Ｌの集光点に配置される。或いは、レーザ光Ｌの強度の測定は、上述したように、プロファイル取得用カメラ４６４により取得されたレーザ光Ｌの画像（強度分布画像）に基づいてレーザ光Ｌの強度を取得することにより行われてもよい。さらには、レーザ光Ｌの強度の測定は、上記の光軸位置モニタ用のカメラ４７３の撮像結果に基づいてレーザ光Ｌの強度を取得することにより行われてもよい。レーザ光Ｌの強度に関する情報は、判定部５０６に送信される。

[0094] 空間光変調器制御部５０２は、反射型空間光変調器４１０の液晶層２１６に表示する位相パターンを制御する。特に、空間光変調器制御部５０２は、第２モードが実行されているときに、反射型空間光変調器４１０に表示する位相パターンを切り替えるための切替制御を行う。切替制御は、反射型空間光変調器４１０に表示する位相パターンを、ある位相パターンから別の位相パターンに切り替えるための信号を反射型空間光変調器４１０に送信する制御である。また、ある位相パターンから別の位相パターンに切り替えるとは、ある位相パターンの表示を停止した後に別の位相パターンを表示する場合もあるし、ある位相パターンが表示されている状態において、ある位相パタ

ーンにさらにパターンを重畳して別の位相パターンを構成する場合もある。

[0095] 反射型空間光変調器４１０に表示する位相パターンは、一例として、収差補正パターンを含む位相パターン、回折格子パターンを含む位相パターン、収差補正パターン及び回折格子パターンを含む位相パターン（すなわち、収差補正パターンに回折格子パターンを重畳させて構成された位相パターン）等である。なお、ここでは、液晶層２１６に屈折率分布が生じていない場合（例えば画素電極２１４に電圧を印可していない場合）、すなわち、レーザ光Ｌに対して実質的に位相変調を付加しないパターンについても、１つの位相パターンとする。

[0096] 図１７の（ａ）は、回折格子パターンである位相パターンの一例である。反射型空間光変調器４１０にこの位相パターンＰ２が表示されている場合、反射型空間光変調器４１０から出射されたレーザ光Ｌは、この位相パターンＰ２に応じて回折される。これにより、図１７の（ｂ）に示されるように、レンズ４２２の後側の集光位置において、レーザ光Ｌの各回折光に応じた複数のビームスポットＬＳが形成される。したがって、スリット部材４２４のスリット４２４ａの形状を調整することにより、回折光のうちの一部（一定次数以上の回折光）を遮断することができる。

[0097] カメラ制御部５０４は、プロファイル取得用カメラ４６４、及び、光軸位置モニタ用のカメラ４７３の動作を制御する。また、カメラ制御部５０４は、強度分布画像をプロファイル取得用カメラ４６４やカメラ４７３から取得して認識する。これにより、カメラ制御部５０４は、レーザ光Ｌの強度を取得することができる。取得されたレーザ光Ｌの強度に関する情報は、上記のように判定部５０６に送信される。

[0098] 判定部５０６は、第２モードが実行されているときに、反射型空間光変調器４１０の動作が正常であるか否かの判定を行う。反射型空間光変調器４１０の動作が正常であるとは、例えば、空間光変調器制御部５０２の制御の下で、駆動回路層９１４が画素電極２１４に所定の電圧を印可したときに、意図した位相パターンが液晶層２１６に表示される状態である。これは、液晶

層２１６を介して反射型空間光変調器４１０から出射されたレーザ光Ｌの強度に基づいて判定することができる。

[0099] すなわち、空間光変調器制御部５０２による位相パターンの切替制御の前と切替制御の後との間において、反射型空間光変調器４１０に表示される位相パターンが変化すれば、反射型空間光変調器４１０から出射されたレーザ光Ｌの強度に変化が生じ得る。一方、空間光変調器制御部５０２による位相パターンの切替制御の前と切替制御の後との間において、反射型空間光変調器４１０に表示される位相パターンが変化しなければ、反射型空間光変調器４１０から出射されたレーザ光Ｌの強度に変化が生じない。したがって、切替制御の前と後とにおいて、レーザ光Ｌの強度に変化が生じているか否かに基づいて、反射型空間光変調器４１０の動作が正常であるか否かの判定を行うことが可能である。

[0100] つまり、判定部５０６は、空間光変調器制御部５０２による位相パターンの切替制御の前と切替制御の後との間におけるレーザ光Ｌの強度の変化に基づいて、反射型空間光変調器４１０の動作が正常であるか否かの判定を行う。この点については、反射型空間光変調器４１０の動作確認方法としても後述する。

[0101] 記憶部５１０は、判定部５０６の判定結果を保存する。なお、記憶部５１０は、例えば、反射型空間光変調器４１０に表示するための複数の位相パターンを予め記憶してもよい。

[0102] 制御部５００には、モニタ６００が接続されている。モニタ６００は、記憶部５１０に記憶された判定部５０６の判定結果を表示することができる。また、モニタ６００は、空間光変調器制御部５０２により反射型空間光変調器４１０（液晶層２１６）に表示させる位相パターン、及び、プロファイル取得用カメラ４６４及びカメラ４７３で取得した強度分布画像を表示することができる。なお、判定部５０６の判定結果は、記憶部５１０を介さずにモニタ６００に表示されてもよい。

[0103] 引き続いて、レーザ加工装置２００の反射型空間光変調器４１０の動作確

認方法について、図１８のフローチャートを参照しつつ説明する。

[0104] 本実施形態に係る動作確認方法においては、まず、制御部５００が、レーザ加工装置２００のモードを動作確認モードに設定する（ステップＳ１）。動作確認モードは、加工モードとしての第１モードとは異なる第２モードであって、ここではレーザ光Ｌの強度の計測モードである。一例として、ここでは、制御部５００が、レーザ加工装置２００の立ち上げ時に強制的に（自動的に）、レーザ加工装置２００を計測モードに設定する。

[0105] 続いて、レーザ光Ｌの光路における集光レンズユニット４３０の後段（例えば、Ｚ軸方向における集光レンズユニット４３０の下方）にパワーメータ５２０を配置する（ステップＳ２）。パワーメータ５２０は、例えば、集光レンズユニット４３０から出射したレーザ光の集光点に配置される。

[0106] 続いて、空間光変調器制御部５０２の制御により、反射型空間光変調器４１０が位相パターンを表示する（ステップＳ３）。より具体的には、ここでは、空間光変調器制御部５０２が、駆動回路層９１４に信号を送ることにより画素電極２１４に電圧を印可させ、液晶層２１６に位相パターンを表示させる。このステップＳ３において反射型空間光変調器４１０に表示する位相パターンは、回折格子パターンを含まない第１パターンである。第１パターンは、例えば収差補正パターン等を含んでいてもよい。

[0107] 続いて、レーザ光源制御部１０２の制御により、レーザ出力部３００（レーザ発振器３１０）がレーザ光Ｌを出力する。レーザ光Ｌは、反射型空間光変調器４１０及び集光レンズユニット４３０を介してパワーメータ５２０に入射する。これにより、パワーメータ５２０は、レーザ光Ｌの強度を計測する（ステップＳ４）。強度の計測結果は、判定部５０６に送信される。

[0108] 続いて、空間光変調器制御部５０２が、反射型空間光変調器４１０に表示する位相パターンを切り替えるための切替制御を行う（第１ステップ、ステップＳ５）。より具体的には、ここでは、空間光変調器制御部５０２が、先に表示していた第１パターンと異なる位相パターンに切り替えて表示するための信号を反射型空間光変調器４１０に送信する。このステップＳ５におい

て反射型空間光変調器４１０に表示させる位相パターンは、第１パターンと異なるパターンであって、回折格子パターンを含む第２パターンＰ２（図１７の（ａ）参照）である。第２パターンＰ２は、例えば、収差補正パターンをさらに含んでいてもよい。

[0109] 続いて、パワーメータ５２０が、再び、レーザ光Ｌの強度を計測する（ステップＳ６）。反射型空間光変調器４１０が正常に動作している場合には、反射型空間光変調器４１０に表示されている位相パターンが、第１パターンから回折格子パターンを含む第２パターンＰ２に切り替わっている。このため、反射型空間光変調器４１０から出射されたレーザ光Ｌは、回折格子パターンに応じて回折される。そして、回折光のうちの一定次数以上の回折光は、スリット部材４２４により遮断され、パワーメータ５２０に入射しない。その結果、ステップＳ４における強度の計測結果と、このステップＳ６における強度の計測結果とは、互いに異なる。ステップＳ６において計測される強度は、ステップＳ４において計測される強度よりも小さい。強度の計測結果は、判定部５０６に送信される。

[0110] 続いて、判定部５０６が、切替制御の前と切替制御の後との間のレーザ光Ｌの強度の変化に基づいて、反射型空間光変調器４１０の動作が正常であるか否かの判定を行う（第２ステップ）。より具体的には、判定部５０６は、ステップＳ４において計測された強度から、ステップＳ６において計測された強度を減算することにより、強度差を計算する（第２ステップ、ステップＳ７）。すなわち、ここでは、判定部５０６が、切替制御の前のレーザ光Ｌの強度から、切替制御の後のレーザ光Ｌの強度を減算して強度差を計算する。そして、判定部５０６が、ステップＳ７において計算された強度差が、予め設定された閾値よいも大きいか否かの判定を行う（第２ステップ、ステップＳ８）。

[0111] 上述したように、反射型空間光変調器４１０の動作が正常であれば、切替制御の後に反射型空間光変調器４１０に入射したレーザ光Ｌは、第２パターンＰ２に含まれる回折格子パターンにより回折され、切替制御の前のレーザ

光Ｌの強度に比べて一定以上小さくなる。したがって、切替制御の前後の強度差が閾値よりも大きければ（ステップＳ８：ＹＥＳ）、反射型空間光変調器４１０の動作が正常であることが特定される。したがって、続くステップでは、制御部５００が、動作確認モードを終了し、レーザ加工装置２００のモードを加工モードに設定する（ステップＳ９）。

[0112] 一方、切替制御の前後の強度差が閾値以下であれば（ステップＳ８：ＮＯ）、反射型空間光変調器４１０の動作が正常でないことが特定される（エラーが検出される）。したがって、続くステップでは、反射型空間光変調器４１０のエラー時の処理が行われる（ステップＳ１０）。エラー時の処理は、一例として、ステップＳ３以降を再度実行する処理や、レーザ加工装置２００の動作を停止する処理である。

[0113] 以上説明したように、本実施形態に係るレーザ加工装置２００及びその動作確認方法においては、レーザ加工を行う第１モードと異なる第２モードが実行されているときに、反射型空間光変調器４１０に表示する位相パターンの切替制御が行われる。反射型空間光変調器４１０の動作が正常であれば、切替制御の前後において異なる位相パターンによりレーザ光Ｌが変調され、強度変化が生じる。一方、反射型空間光変調器４１０の動作が正常でない場合には、切替制御の前後において位相パターンが適切に切り替わらない結果、レーザ光Ｌの強度変化が生じない場合がある。したがって、第２モードが実行されているときに、切替制御の前後のレーザ光Ｌの強度の変化に基づいて、反射型空間光変調器４１０の動作が正常であるか否かの判定を行うことにより、加工時以外のタイミングで反射型空間光変調器４１０の動作確認を行うことが可能である。

[0114] また、レーザ加工装置２００及びその動作確認方法においては、空間光変調器制御部５０２が、第２モードが実行されているときに、反射型空間光変調器４１０に表示する位相パターンを第１パターンから回折格子パターンを含む第２パターンに切り替えるための切替制御を行う。そして、判定部５０６が、切替制御の前のレーザ光Ｌの強度から切替制御の後のレーザ光Ｌの強

度を減算して強度差を計算すると共に、その強度差が閾値よりも大きいか否かに基づいて、反射型空間光変調器４１０の動作が正常であるか否かの判定を行う。

[0115] この場合、反射型空間光変調器４１０の動作が正常であれば、切替制御の後に反射型空間光変調器４１０に入射したレーザ光Ｌは、第２パターンに含まれる回折格子パターンにより回折される。したがって、一部の回折光の強度に着目すれば、切替制御の前のレーザ光Ｌの強度に比べて一定以上小さくなる。したがって、切替制御の前後の強度差を所定の閾値と比較することにより、反射型空間光変調器４１０の動作が正常であるか否かが容易且つ確実に判定可能である。

[0116] また、レーザ加工装置２００は、レーザ光Ｌの光路における反射型空間光変調器４１０と集光レンズユニット４３０との間に配置され、レーザ光Ｌを集束するレンズ４２２と、レーザ光Ｌの光路におけるレンズ４２２の後側の焦点位置に配置され、回折格子パターンに応じて回折されたレーザ光Ｌの一定次数以上の回折光を遮断するスリット部材４２４と、を備えている。このため、反射型空間光変調器４１０の動作が正常であるときに、焦点位置において一定次数以上の回折光を遮断することによって、切替制御の前後における強度差を十分に生じさせることができる。したがって、反射型空間光変調器４１０の動作が正常であるか否かの判定がより容易且つ確実となる。

[0117] さらに、レーザ加工装置２００及びその動作確認方法においては、第２モードは、集光レンズユニット４３０から出射されたレーザ光Ｌの強度を測定するための計測モードである。また、判定部５０６は、レーザ光Ｌの光路における集光レンズユニット４３０の後段に配置されたパワーメータ５２０により取得されたレーザ光Ｌの強度に基づいて判定を行う。このため、通常の動作として行われるキャリブレーションモードとしての計測モードを利用して、反射型空間光変調器４１０の動作確認が可能となる。

[0118] 次に、第２実施形態について説明する。図１９は、第２実施形態に係るレーザ加工装置２００Ｂの要部を示す概略構成図である。図１９に示されるよ

うに、本実施形態のレーザ加工装置２００Ｂが上記レーザ加工装置２００（図１６参照）と異なる点は、レーザ光Ｌの光路において、反射型空間光変調器４１０とプロファイル取得用カメラ４６４との間に配置された集束レンズであるレンズ４６３の焦点位置に、スリット部材４２４Ｂが配置されている点である。スリット部材４２４Ｂは、上記スリット部材４２４と同様に構成されている。なお、スリット部材４２４Ｂは、レンズ４６３の焦点位置の近傍に配置されていてもよい。

[0119] この場合、反射型空間光変調器４１０から出射されたレーザ光Ｌの回折光が、スリット部材４２４Ｂを介してプロファイル取得用カメラ４６４に入射する一方で、スリット部材を介さずに集光レンズユニット４３０に入射する。したがって、プロファイル取得用カメラ４６４においては、レーザ光Ｌのうちの一定次数以上の回折光が遮断された残部の画像が取得される。つまり、切替制御の前後のレーザ光Ｌの強度差は、集光レンズユニット４３０の後段よりも、プロファイル取得用カメラ４６４において大きくなり得る。このため、ここでは、判定部５０６は、プロファイル取得用カメラ４６４により取得された画像に基づいて、レーザ光Ｌの強度を取得し、取得した強度に基づいて、上記のような判定を行う。この場合には、パワーメータ５２０を用いることなく、レーザ加工装置２００が予め備えている構成を利用して、反射型空間光変調器４１０の動作確認が可能である。

[0120] 以上、レーザ加工装置２００Ｂにおいても、レーザ加工装置２００と同様に、加工時以外のタイミングで反射型空間光変調器４１０の動作確認を行うことが可能であるという上記効果が奏される。

[0121] 図２０は、第２実施形態の変形例に係るレーザ加工装置２００Ｃの要部を示す概略構成図である。図２０に示されるように、第２実施形態に係る変形例として、レーザ光Ｌの光路においてレンズ４６３とプロファイル取得用カメラ４６４との間にレンズ４６３Ｃを備えたレーザ加工装置２００Ｃを採用することができる。レンズ４６３Ｃは、レンズ４６３で集束されたレーザ光Ｌをコリメートしてプロファイル取得用カメラ４６４へ入射させる。レンズ

４６３Ｃは、リレーレンズを構成する。レンズ４６３，４６３Ｃは、共役面４９１にリレーされたレーザ光Ｌの波面（液晶層２１６における実像）をプロファイル取得用カメラ４６４の撮像面４６４ａにリレー（結像）する。

[0122] 以上、本発明の一側面の実施形態について説明したが、本発明の一側面は、上記実施形態に限られるものではなく、各請求項に記載した要旨を変更しない範囲で変形し、又は他のものに適用してもよい。

[0123] 例えば、上記実施形態は、加工対象物１の内部に改質領域７を形成するものに限定されず、アブレーション等、他のレーザ加工を実施するものであってもよい。上記実施形態は、加工対象物１の内部にレーザ光Ｌを集光させるレーザ加工に用いられるレーザ加工装置に限定されず、加工対象物１の表面１ａ，３又は裏面１ｂにレーザ光Ｌを集光させるレーザ加工に用いられるレーザ加工装置であってもよい。

[0124] 上記実施形態において、反射型空間光変調器４１０の反射面４１０ａと集光レンズユニット４３０の入射瞳面４３０ａとが結像関係にある両側テレセントリック光学系を構成する結像光学系は、一対のレンズ４２２，４２３に限定されず、反射型空間光変調器４１０側の第１レンズ系（例えば、接合レンズ、３つ以上のレンズ等）及び集光レンズユニット４３０側の第２レンズ系（例えば、接合レンズ、３つ以上のレンズ等）を含むもの等であってもよい。

[0125] 上記実施形態において、プロファイル取得用カメラ４６４は、その撮像面４６４ａが反射型空間光変調器４１０の液晶層２１６の反射面と共役な面に位置すればよく、共役面４９１の位置にプロファイル取得用カメラ４６４を配置してもよい。この場合、レーザ加工装置２００（図１６参照）においては、レンズ４６３は不要となる。上記実施形態において、レンズ４２２、レンズ４２３及びレンズ４６３のリレー倍率は任意倍率でもよい。上記実施形態は、反射型空間光変調器４１０を備えたが、空間光変調器は反射型のものに限定されず、透過型の空間光変調器を備えていてもよい。

[0126] また、集光レンズユニット４３０及び一対の測距センサ４５０は、Ｙ軸方

向における筐体４０１の端部４０１ｄに取り付けられていたが、Ｙ軸方向における筐体４０１の中心位置よりも端部４０１ｄ側に片寄って取り付けられていればよい。反射型空間光変調器４１０は、Ｙ軸方向における筐体４０１の端部４０１ｃに取り付けられていたが、Ｙ軸方向における筐体４０１の中心位置よりも端部４０１ｃ側に片寄って取り付けられていればよい。また、測距センサ４５０は、Ｘ軸方向において集光レンズユニット４３０の片側のみに配置されていてもよい。

[0127] また、空間光変調器制御部５０２による切替制御の前後で反射型空間光変調器４１０に表示する第１パターン及び第２パターンは、上記の組合せに限定されない。切替制御の前後で反射型空間光変調器４１０に表示する位相パターンは、反射型空間光変調器４１０の動作が正常であったときにレーザ光の強度差が生じ得る任意の位相パターンとすることができる。例えば、第２パターンは、回折格子パターンを含まなくてもよい。

[0128] なお、第２パターンが回折格子パターンを含む場合であっても、スリット部材を用いなくてもよい。これは、例えば、スリット部材を用いなくても、他の光学素子の開口によって、一定次数以上の回折光が遮断され得るためである。また、一定次数以上の回折光の遮断の有無に関わらず、切替制御の前のレーザ光Ｌの強度と、切替制御の後のレーザ光Ｌの一部の回折光（例えば０次回折光）の強度とを比較すれば、強度差が生じ得るためである。

[0129] さらに、レーザ加工装置２００，２００Ｂ，２００Ｃは、加工モード及び計測モード以外の他のモードを有していてもよい。そして、反射型空間光変調器４１０の動作確認は、その他のモードが実行されているときに行うことができる。

[0130] ここで、図１８に示されるステップＳ４及びステップＳ６の強度計測は、プロファイル取得用カメラ４６４又は光軸モニタ用のカメラ４７３と、アパーチャーとの組み合わせを用いて行うことができる。プロファイル取得用カメラ４６４とアパーチャーとを用いる場合には、ステップＳ５において、図２１の（ａ）に示される第２パターンＰ３を反射型空間光変調器４１０に表

示させる。この第２パターンＰ３は、パワーメータ５２０及びスリット部材４２４を用いる場合の第２パターンＰ２（図１７の（ａ）参照）に含まれる回折格子パターンと比べて、溝ピッチが相対的に狭い回折格子パターンを含む。このため、図２１の（ｂ）に示されるように、回折光Ｌｄの位置は、０次光の位置から十分に離れた位置になる。したがって、アパーチャー径Ｄａのアパーチャーにより回折光Ｌｄがカットされ、ステップＳ４で計測される強度と、ステップＳ６で計測される強度との間に十分な強度差が生じ得る。

[0131] 一方、光軸モニタ用のカメラ４７３とアパーチャーとを用いる場合には、図２２の（ａ）に示されるように、第２パターンＰ２を反射型空間光変調器４１０に表示させる。この第２パターンＰ２に含まれる回折格子パターンの溝ピッチは、上記の第２パターンＰ３の場合に比べて広い。したがって、図２２の（ｂ）に示されるように、回折光Ｌｄの位置が０次光Ｌ０の位置に比較的近い。このため、回折光Ｌｄのうちの少なくとも一部は、アパーチャー径Ｄａのアパーチャーを通過する。したがって、この場合には、カメラ４７３の画像のある領域に着目して、強度差を取得すればよい。具体的には、例えば図２２の（ｂ）の領域ＡＲに着目すると、反射型空間光変調器４１０に第２パターンＰ２を表示しているときには、回折光Ｌｄが撮像されるので、相対的に強度が大きい。一方で、反射型空間光変調器４１０に対して回折格子パターンを含まない第１パターンが表示されているときには、光が撮像されない。よって、ステップＳ４で計測される強度と、ステップＳ６で計測される強度との間に十分な強度差を取得できる。

[0132] なお、アパーチャーを用いる場合には、アパーチャー部材を別途導入してもよいし、既に設けられている光学部材の開口（４ｆレンズユニット４２０のレンズの瞳開口等）を利用してもよい。

産業上の利用可能性

[0133] 加工時以外のタイミングで空間光変調器の動作確認が可能なレーザ加工装置、及び、動作確認方法を提供できる。

符号の説明

[0134] １…加工対象物（対象物）、Ｐ２…位相パターン（第２パターン）、１００，２００，２００Ｂ，２００Ｃ…レーザ加工装置、３１０…レーザ発振器（レーザ光源）、４１０…反射型空間光変調器（空間光変調器）、４２２…レンズ（集束レンズ）、４２４，４２４Ｂ…スリット部材、４３０…集光レンズユニット（対物レンズ）、４３０ａ…入射瞳面（瞳面）、４６３…レンズ（集束レンズ）、４６４…プロファイル取得用カメラ（カメラ）、４６４ａ…撮像面、５０２…空間光変調器制御部（制御部）、５０６…判定部、Ｌ…レーザ光。

請求の範囲

[請求項1] レーザ光を対象物に照射してレーザ加工を行う第１モードと、前記第１モードと異なる第２モードと、を少なくとも有するレーザ加工装置であって、

前記レーザ光を出力するレーザ光源と、

前記レーザ光源から出力された前記レーザ光を位相パターンに応じて変調して出射する空間光変調器と、

前記空間光変調器から出射された前記レーザ光を前記対象物に集光する対物レンズと、

前記空間光変調器に表示する位相パターンを制御する制御部と、

前記第２モードが実行されているときに、前記空間光変調器の動作が正常であるか否かの判定を行う判定部と、

を備え、

前記制御部は、前記第２モードが実行されているときに、前記空間光変調器に表示する前記位相パターンを切り替えるための切替制御を行い、

前記判定部は、前記空間光変調器から出射された前記レーザ光の前記切替制御の前と前記切替制御の後との間の強度の変化に基づいて前記判定を行う、

レーザ加工装置。

[請求項2] 前記制御部は、前記第２モードが実行されているときに、前記空間光変調器に表示する前記位相パターンを第１パターンから回折格子パターンを含む第２パターンに切り替えるための前記切替制御を行い、

前記判定部は、前記切替制御の前の前記レーザ光の強度から前記切替制御の後の前記レーザ光の強度を減算して強度差を計算すると共に、前記強度差が閾値よりも大きいか否かに基づいて前記判定を行う、

請求項１に記載のレーザ加工装置。

[請求項3] 前記レーザ光の光路における前記空間光変調器と前記対物レンズと

の間に配置され、前記レーザ光を集束する集束レンズと、

前記レーザ光の光路における前記集束レンズの後側の焦点位置に配置され、前記回折格子パターンに応じて回折された前記レーザ光の一定次数以上の回折光を遮断するスリット部材と、

を備える、

請求項２に記載のレーザ加工装置。

[請求項4] 前記第２モードは、前記対物レンズから出射された前記レーザ光の強度を測定するための計測モードであり、

前記判定部は、前記レーザ光の光路における前記対物レンズの後段に配置されたパワーメータにより取得された前記レーザ光の強度に基づいて前記判定を行う、

請求項１～３のいずれか一項に記載のレーザ加工装置。

[請求項5] 前記対物レンズの入射瞳面と共役な撮像面を有し、前記レーザ光の画像を取得するカメラを備え、

前記判定部は、前記カメラにより取得された前記画像に基づいて取得された前記レーザ光の強度に基づいて前記判定を行う、

請求項１～３のいずれか一項に記載のレーザ加工装置。

[請求項6] レーザ光を出力するレーザ光源と、前記レーザ光源から出力された前記レーザ光を位相パターンに応じて変調して出射する空間光変調器と、前記空間光変調器から出射された前記レーザ光を対象物に集光する集光レンズと、を備えるレーザ加工装置の前記空間光変調器の動作確認方法であって、

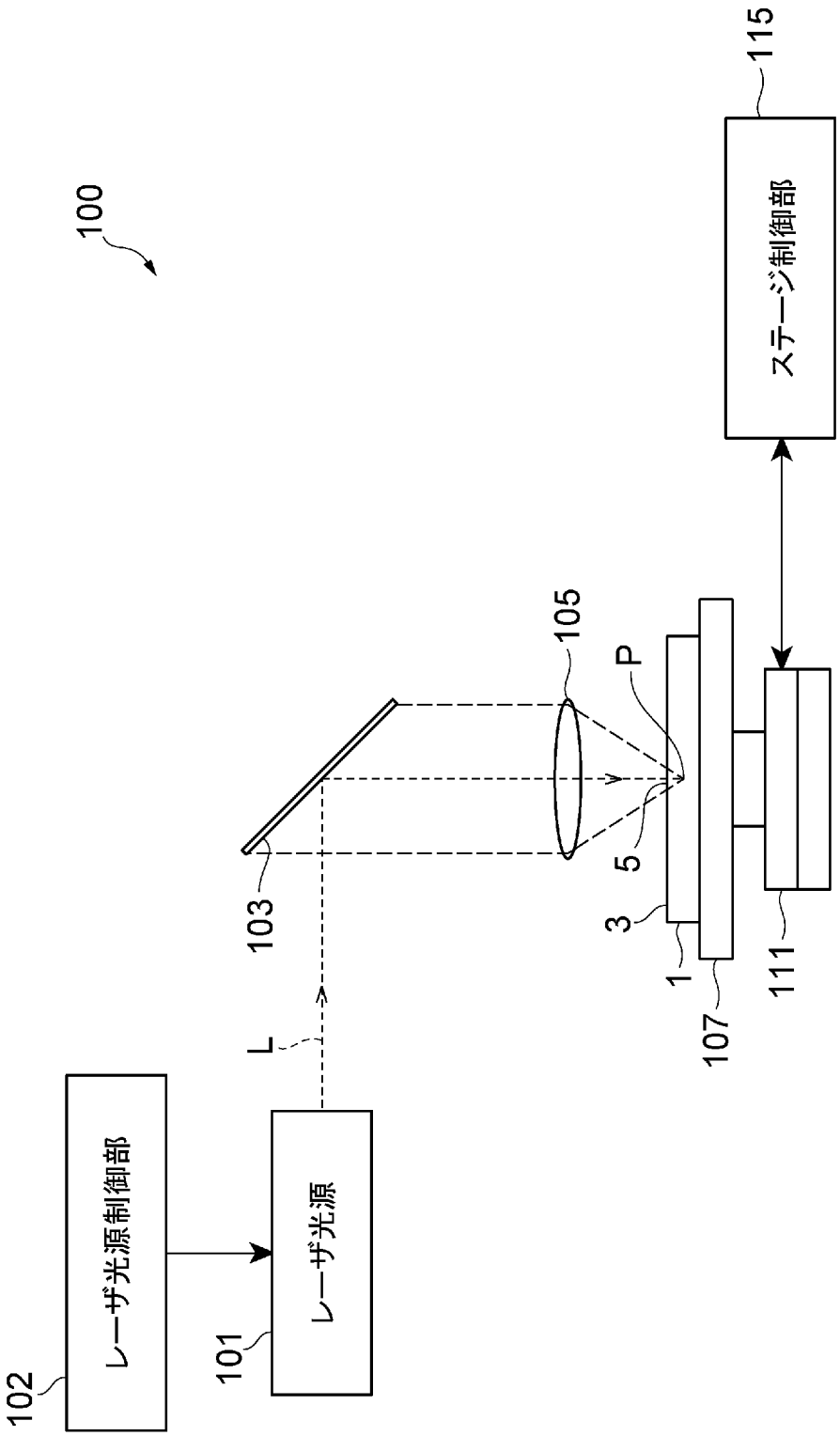
前記レーザ加工装置において、前記レーザ光を前記対象物に照射してレーザ加工を行う第１モードとは異なる第２モードが実行されているときに、前記空間光変調器に表示する前記位相パターンを切り替えるための切替制御を行う第１ステップと、

前記第２モードが実行されているときに、前記切替制御の前と前記切替制御の後との間の前記レーザ光の強度の変化に基づいて、前記空

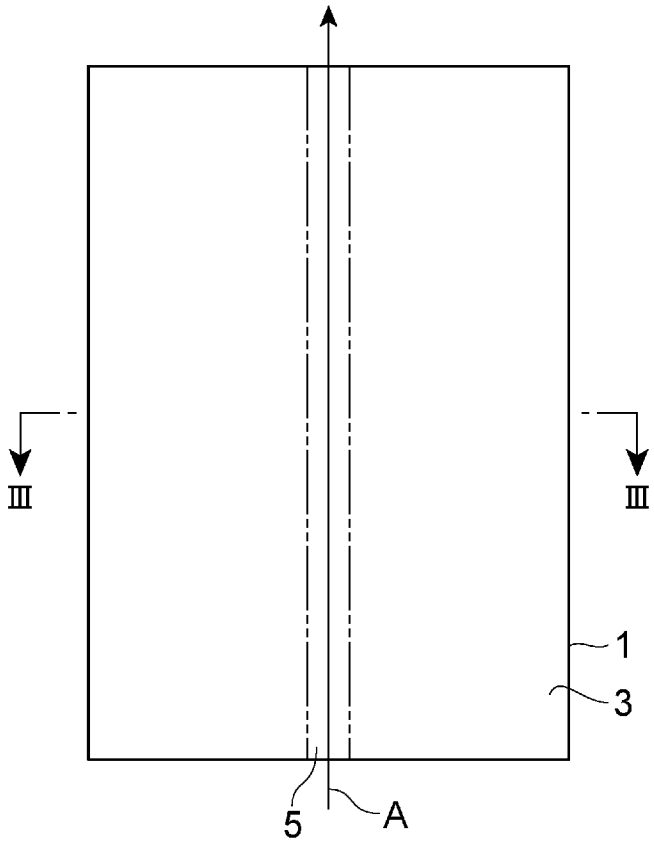
間光変調器の動作が正常であるか否かの判定を行う第２ステップと、

を含む動作確認方法。

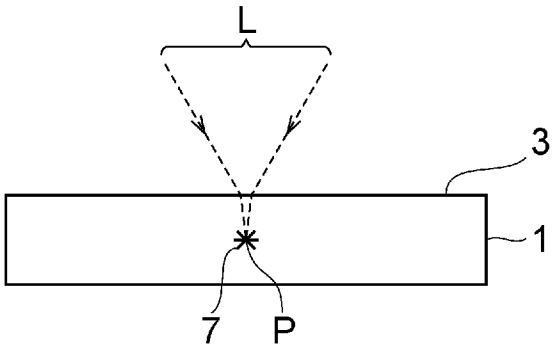
[図1]



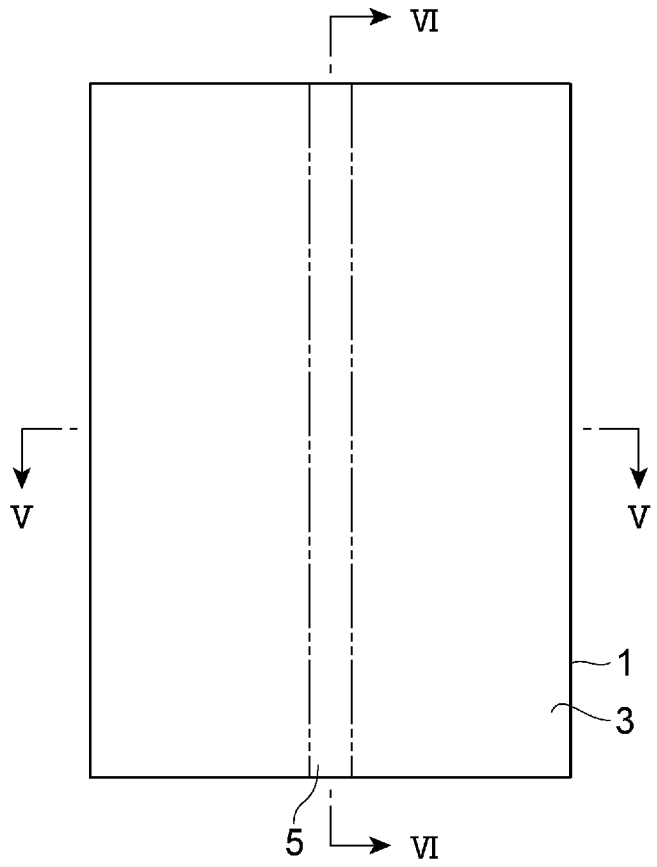
[図2]



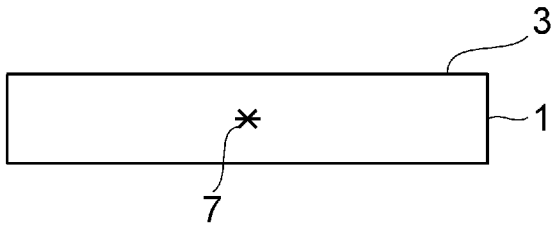
[図3]



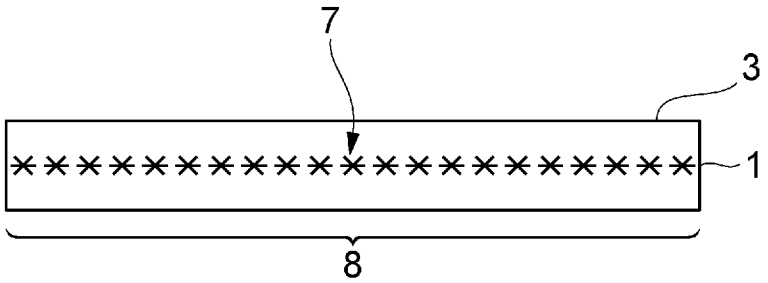
[図4]



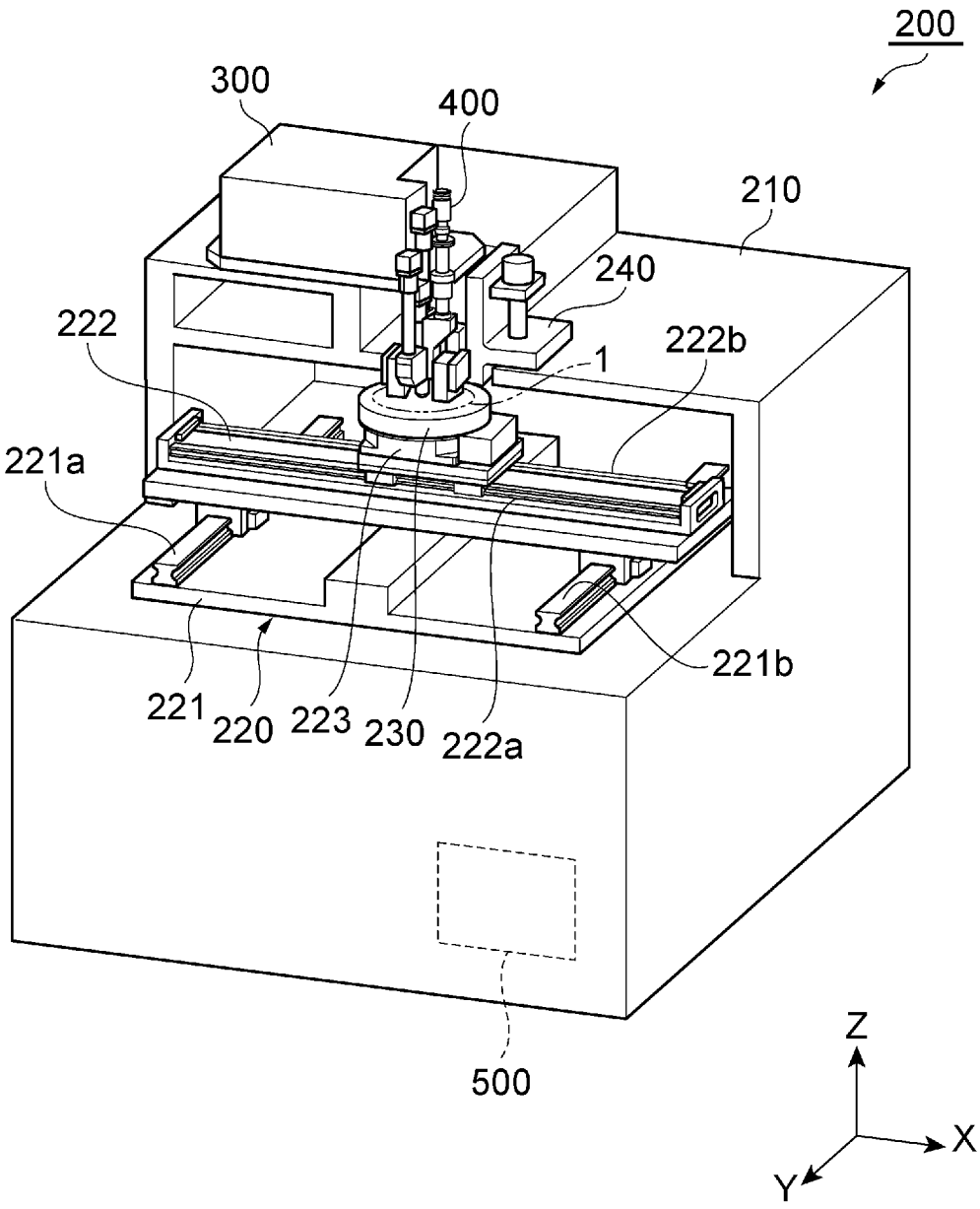
[図5]



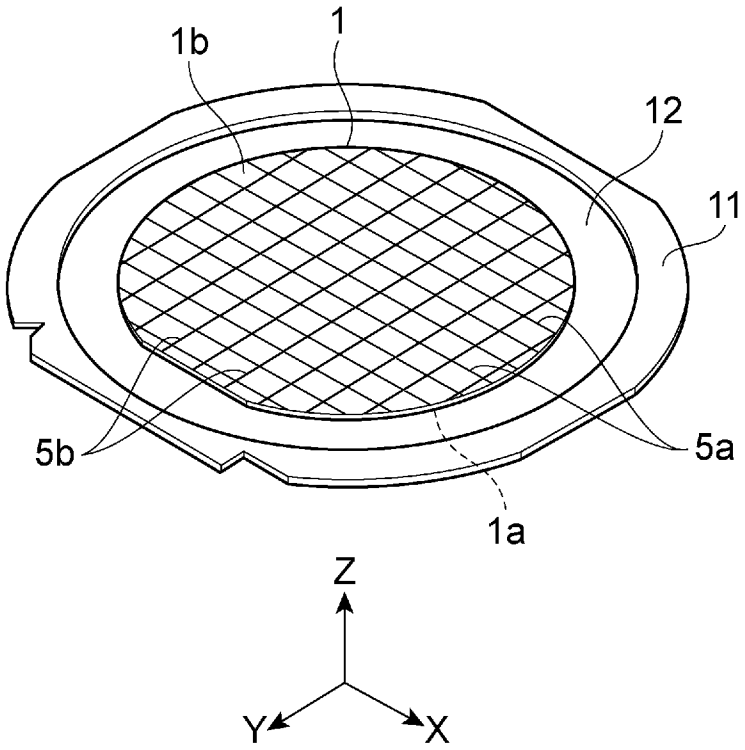
[図6]



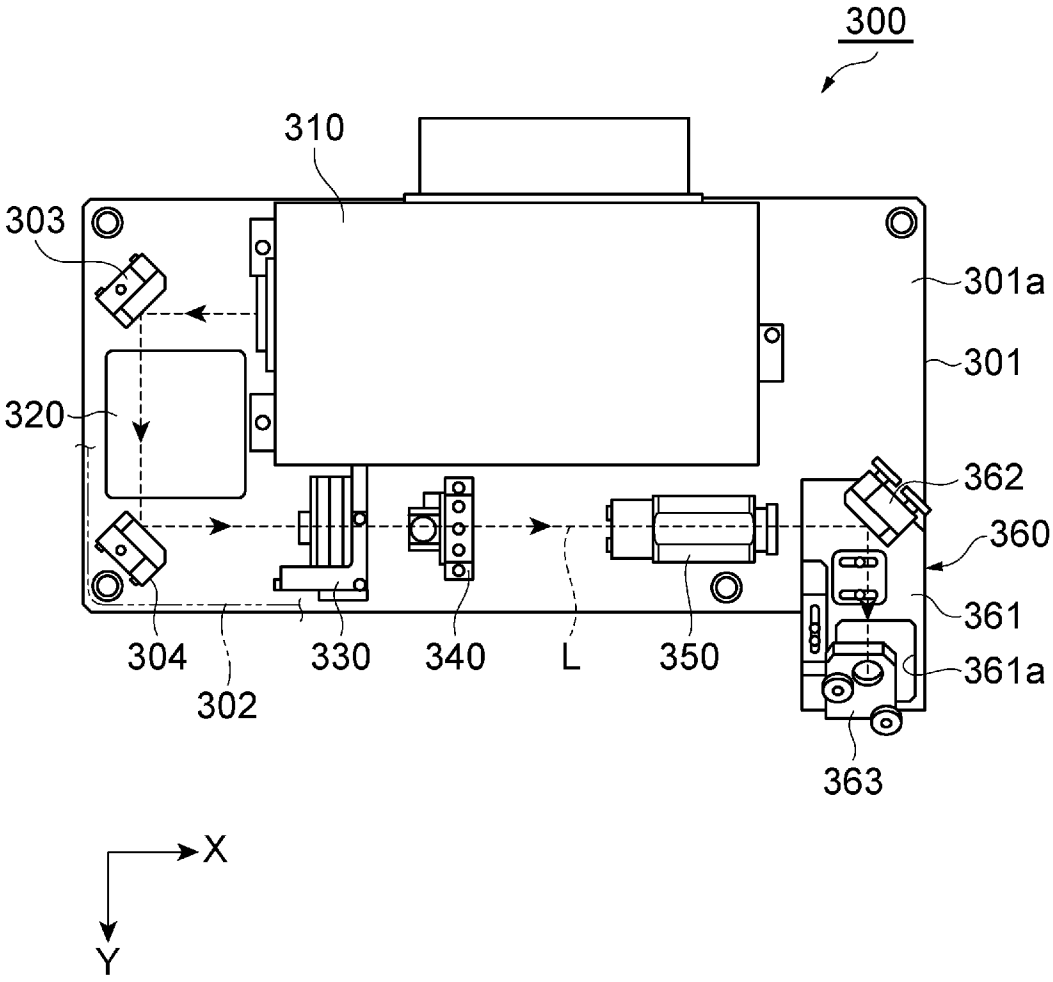
[図7]


200
300
400
210
240
222
222b
1
221a
221b
221
220
223
230
222a
500
Z
X
Y

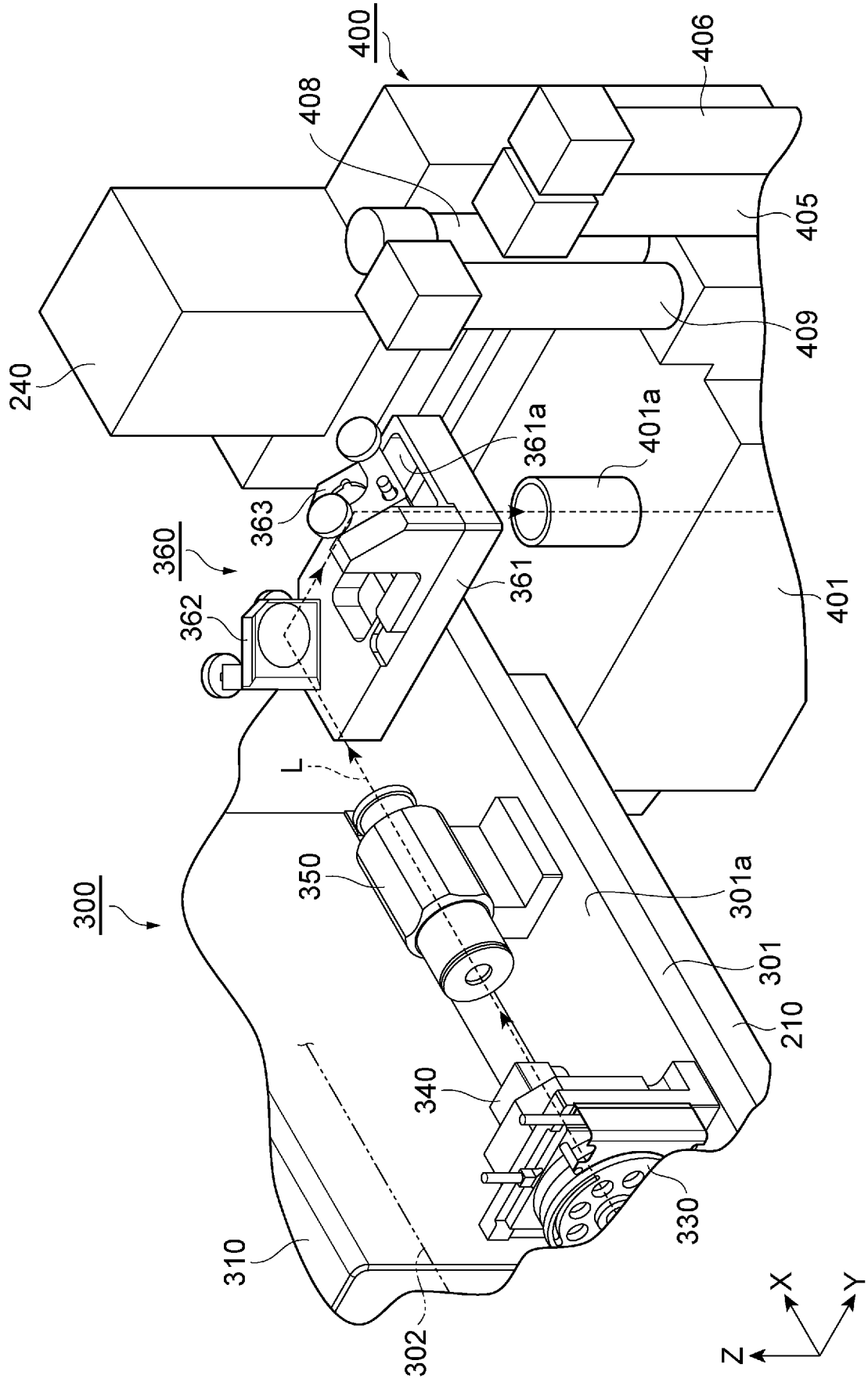
[図8]



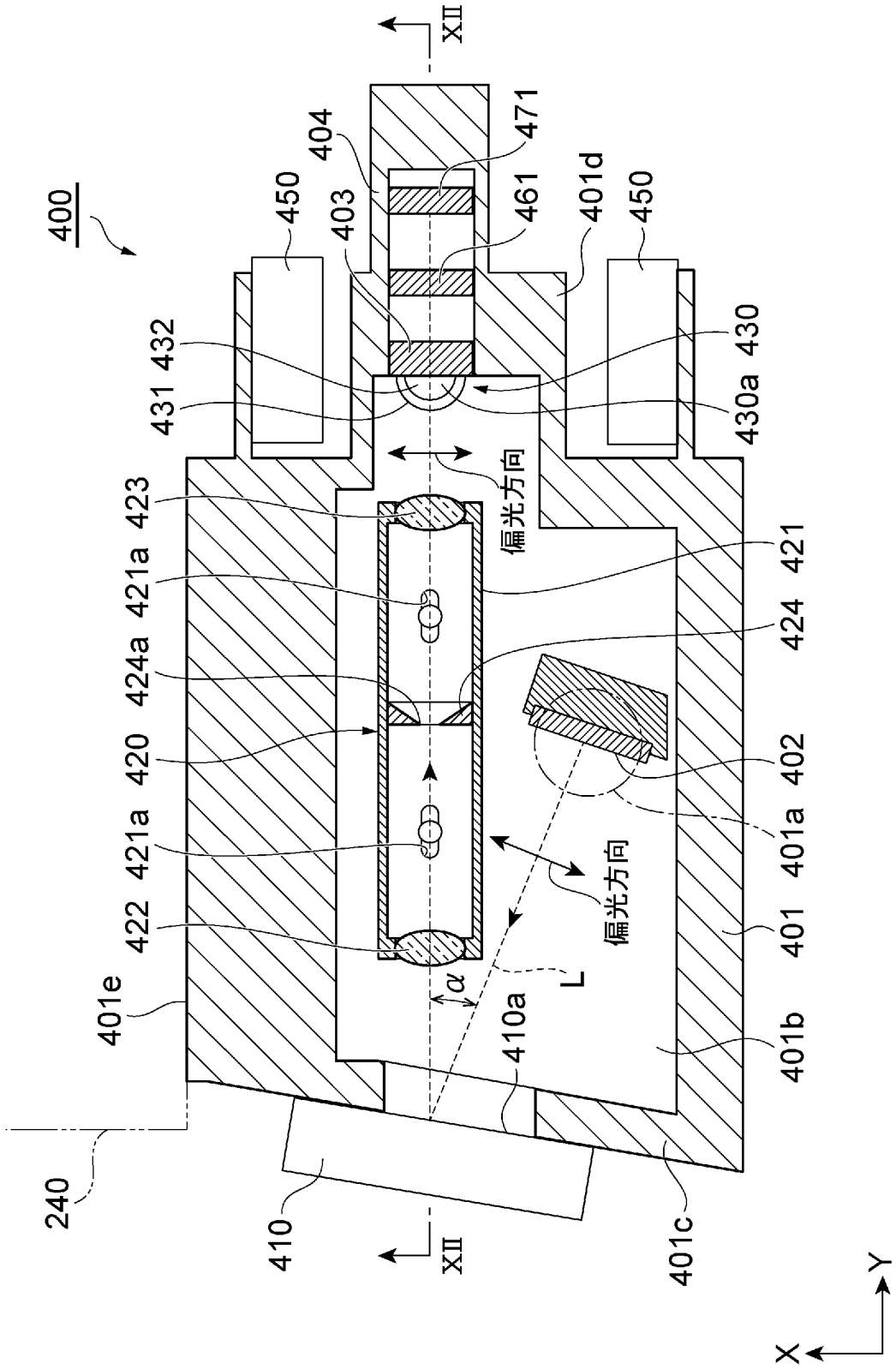
[図9]


300
310
303
301a
301
320
362
360
361
361a
304
302
330
340
L
350
363
X
Y

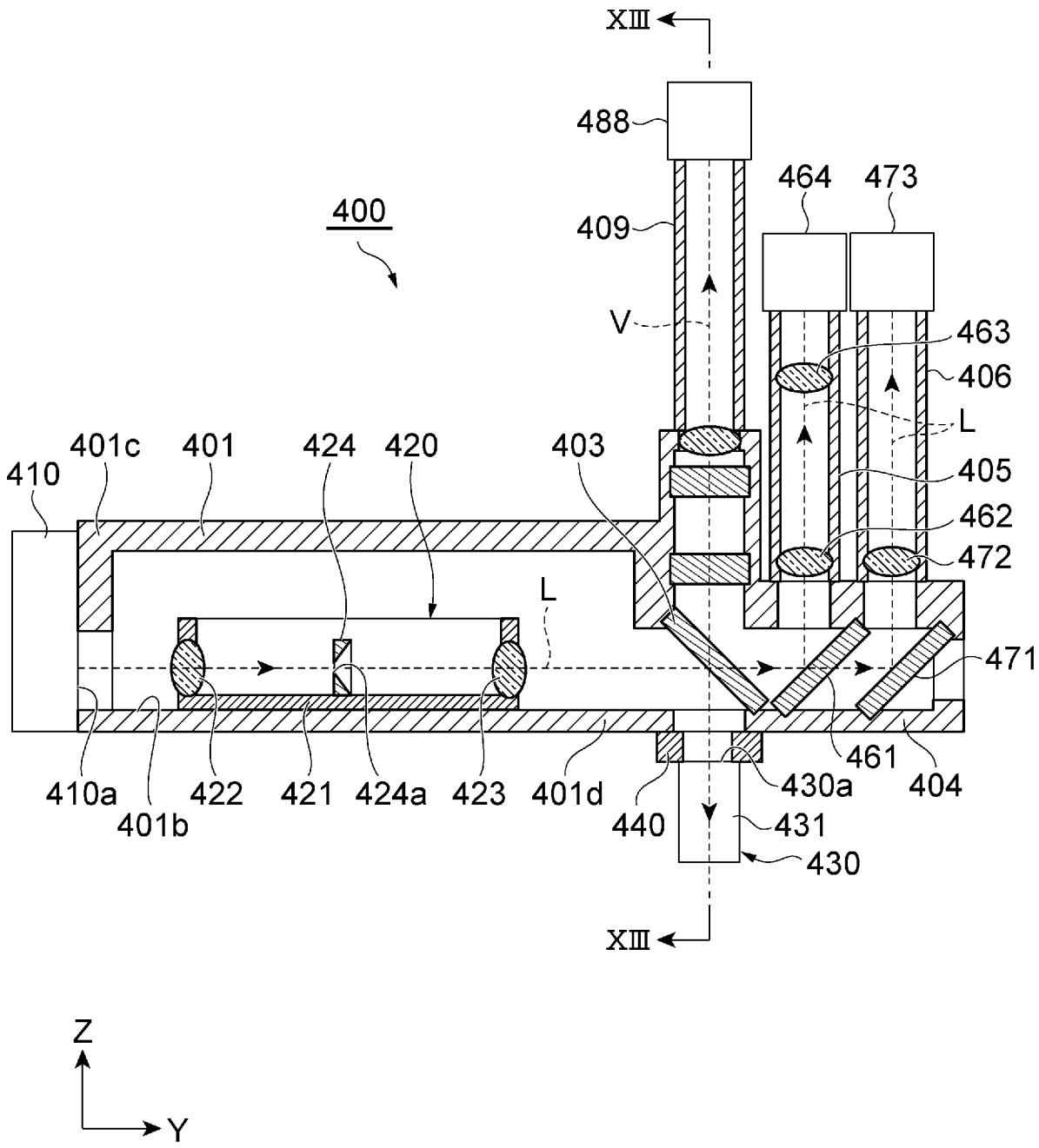
[図10]


400
406
408
405
409
240
361a
401a
363
360
361
362
401
L
350
301a
300
301
210
340
330
310
302
X
Y
Z

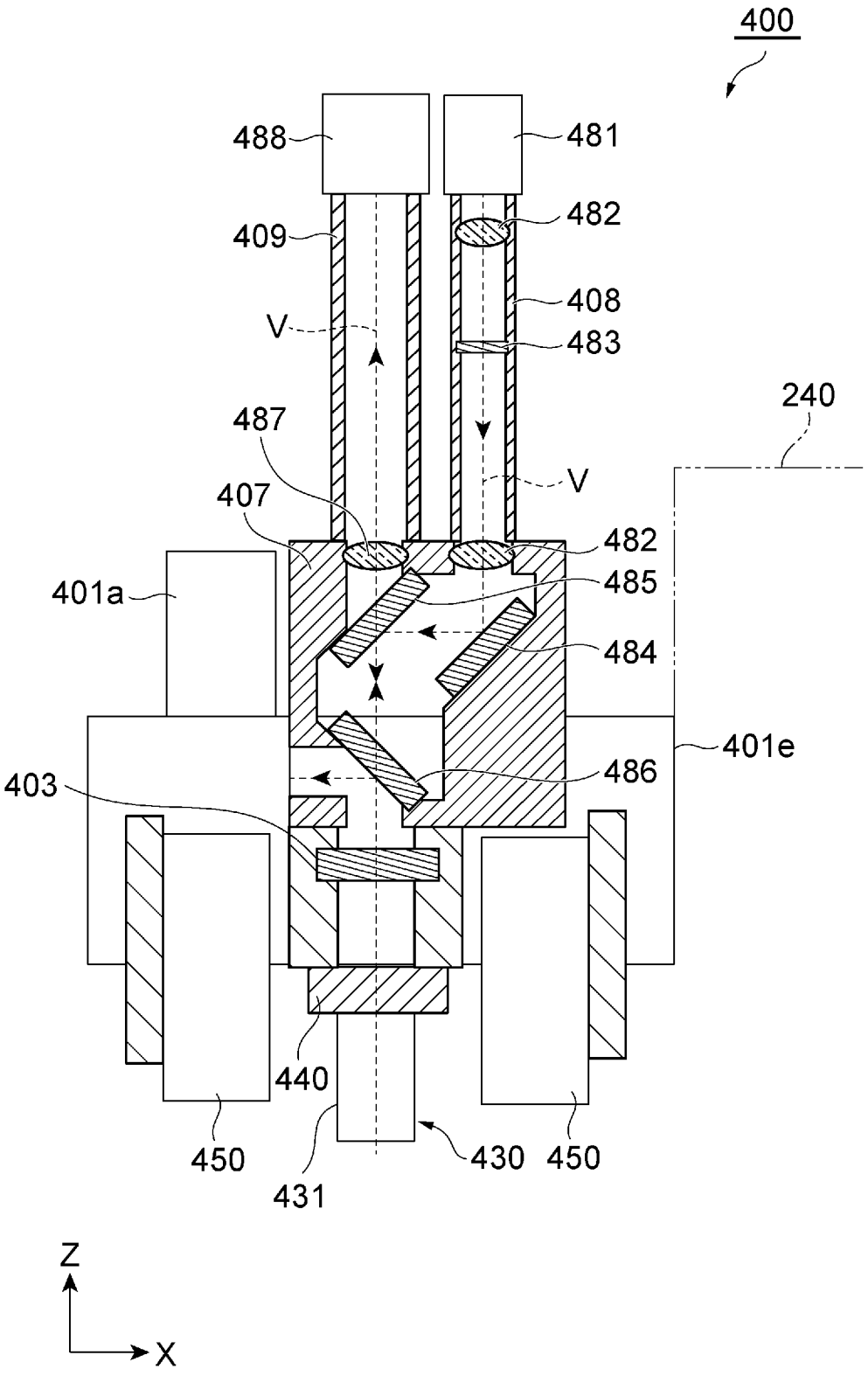
[図11]


400
XII
404
471
450
403
461
401d
450
431
432
430
430a
偏光方向
423
421
421a
424a
424
420
402
421a
401a
偏光方向
422
401
401e
α
L
410a
401b
240
410
XII
401c
Y
X

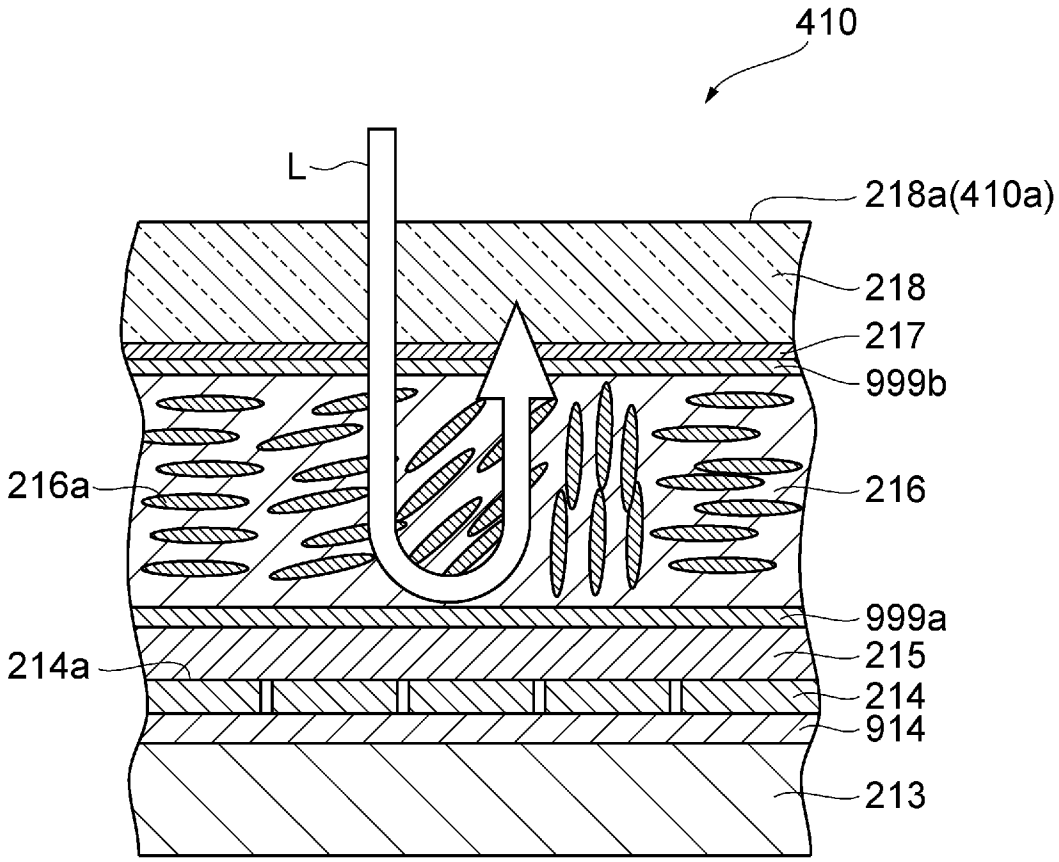
[図12]


XIII
488
464
473
400
409
V
463
406
L
405
462
472
401c
401
424
420
403
410
L
471
461
404
410a
401b
422
421
424a
423
401d
440
430a
431
430
XIII
Z
Y

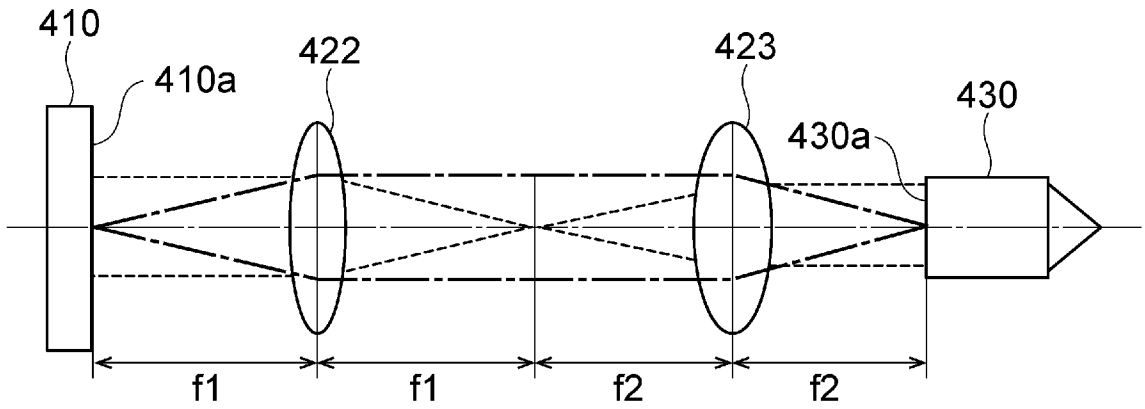
[図13]


400
488
481
409
482
408
V
483
240
487
V
407
482
401a
485
484
401e
403
486
440
450
431
430
450
Z
X

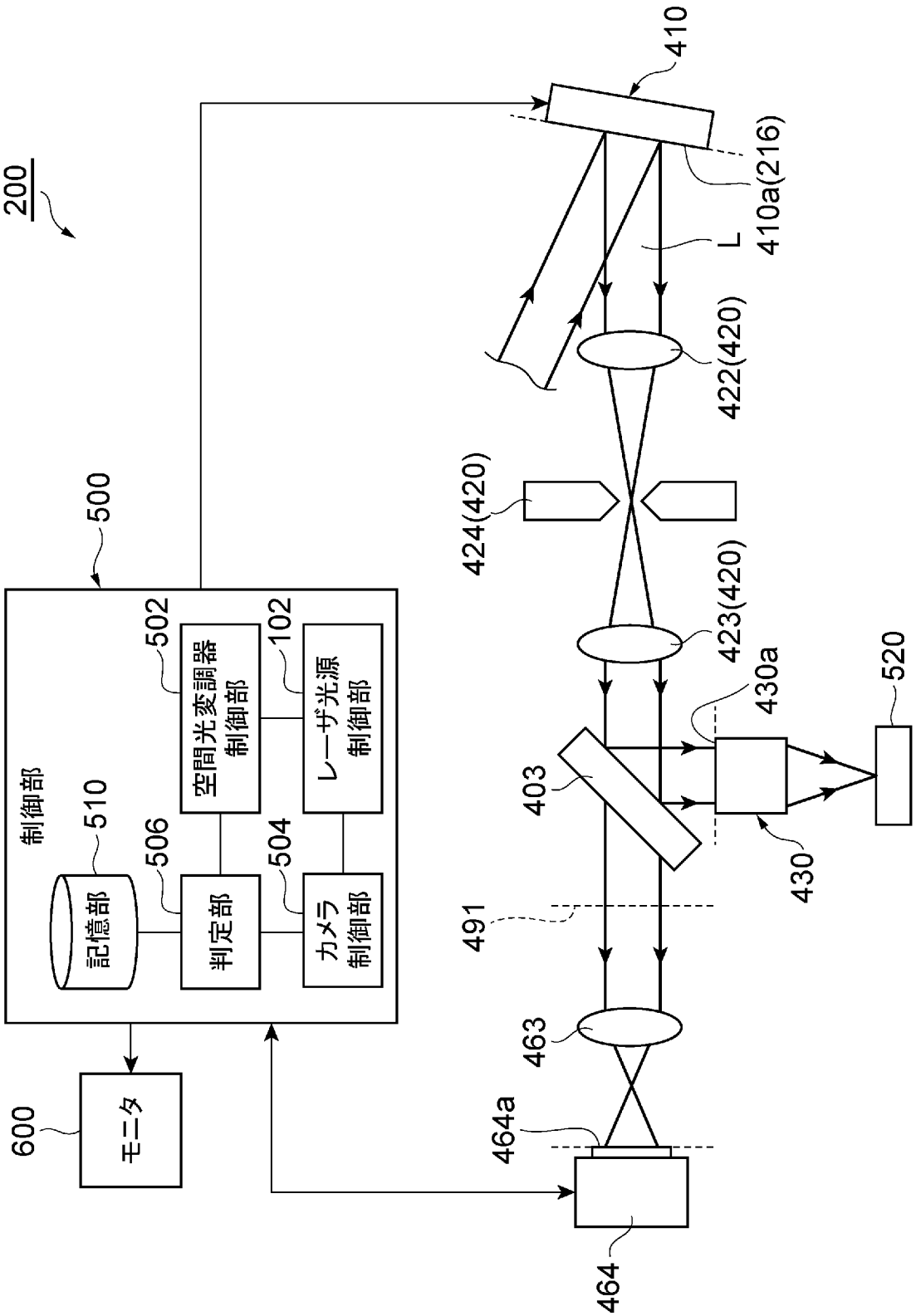
[図14]



[図15]



[図16]

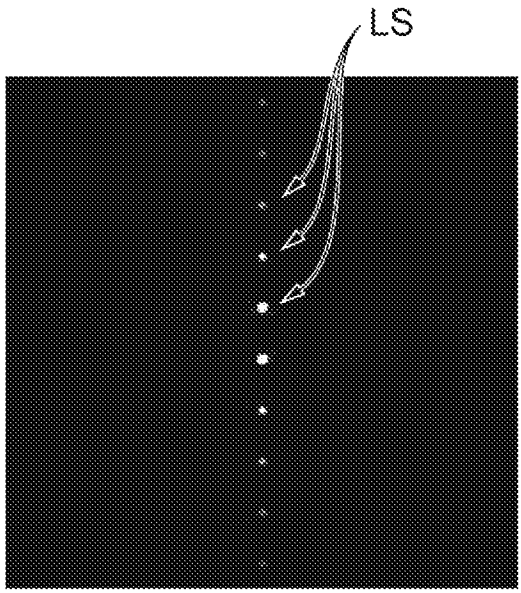

200
410
410a(216)
L
422(420)
424(420)
423(420)
430a
520
403
430
491
463
464a
464
500
制御部
510
記憶部
506
判定部
504
カメラ制御部
502
空間光変調器制御部
102
レーザ光源制御部
600
モニタ

[図17]

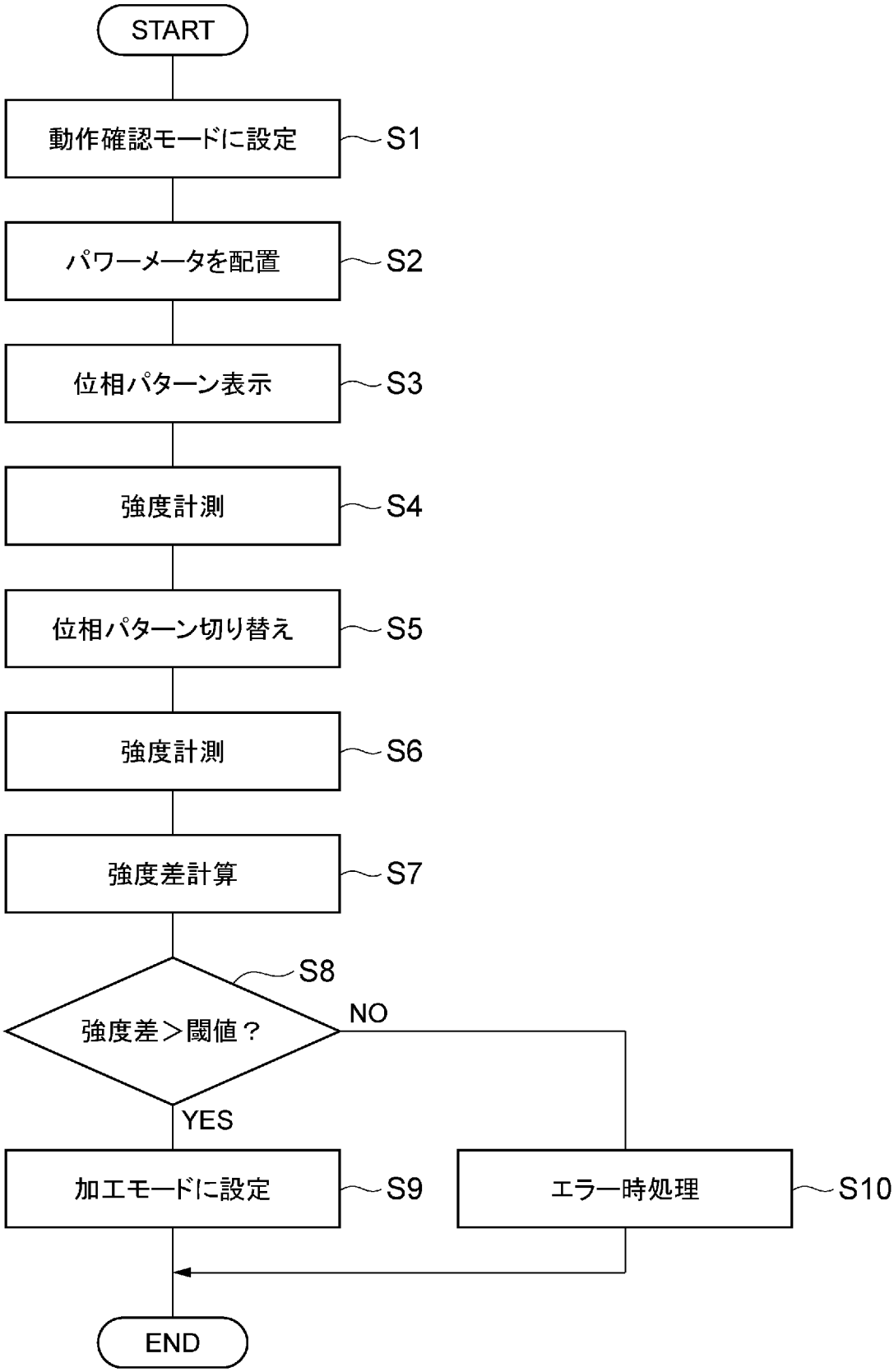
(a)



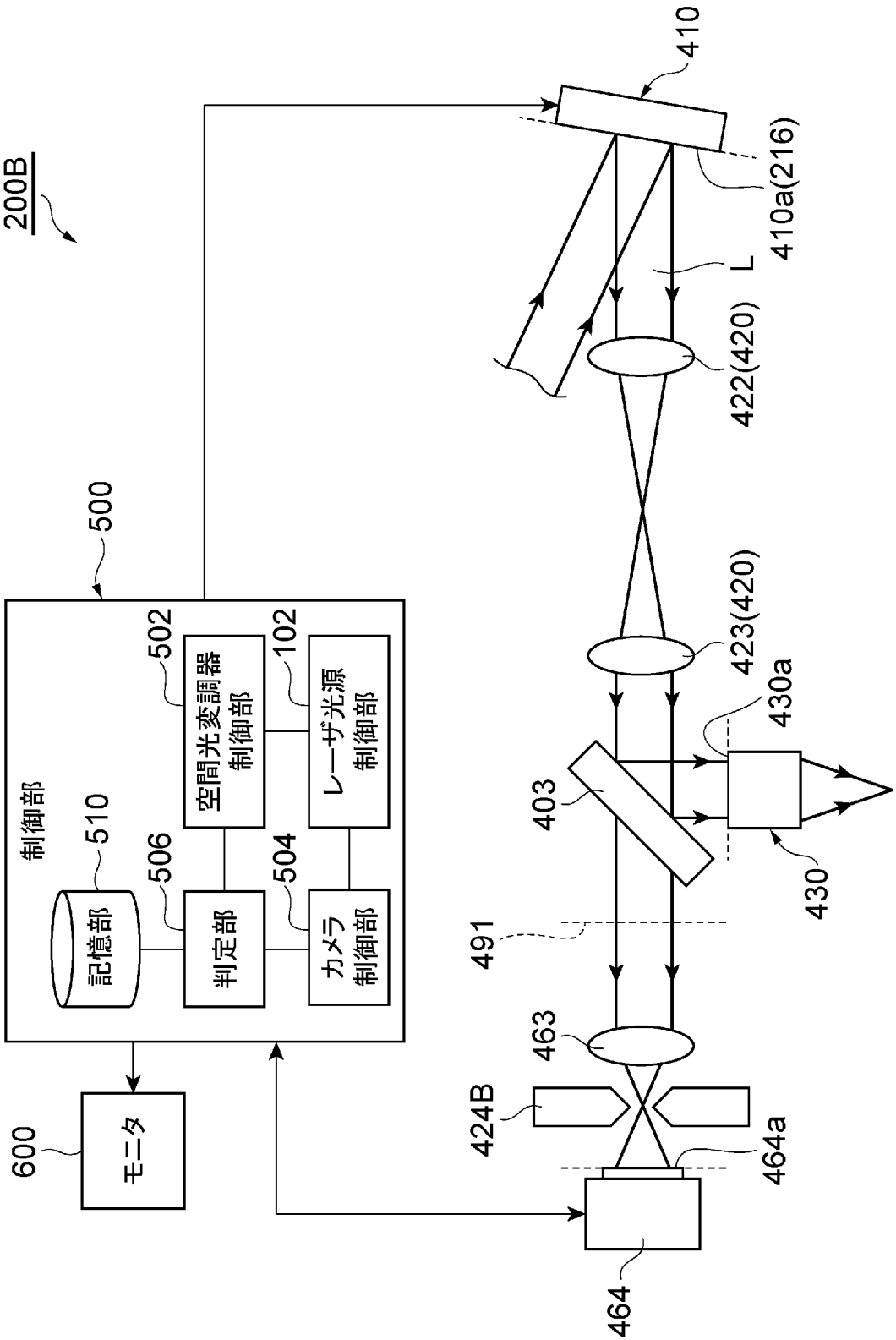
(b)



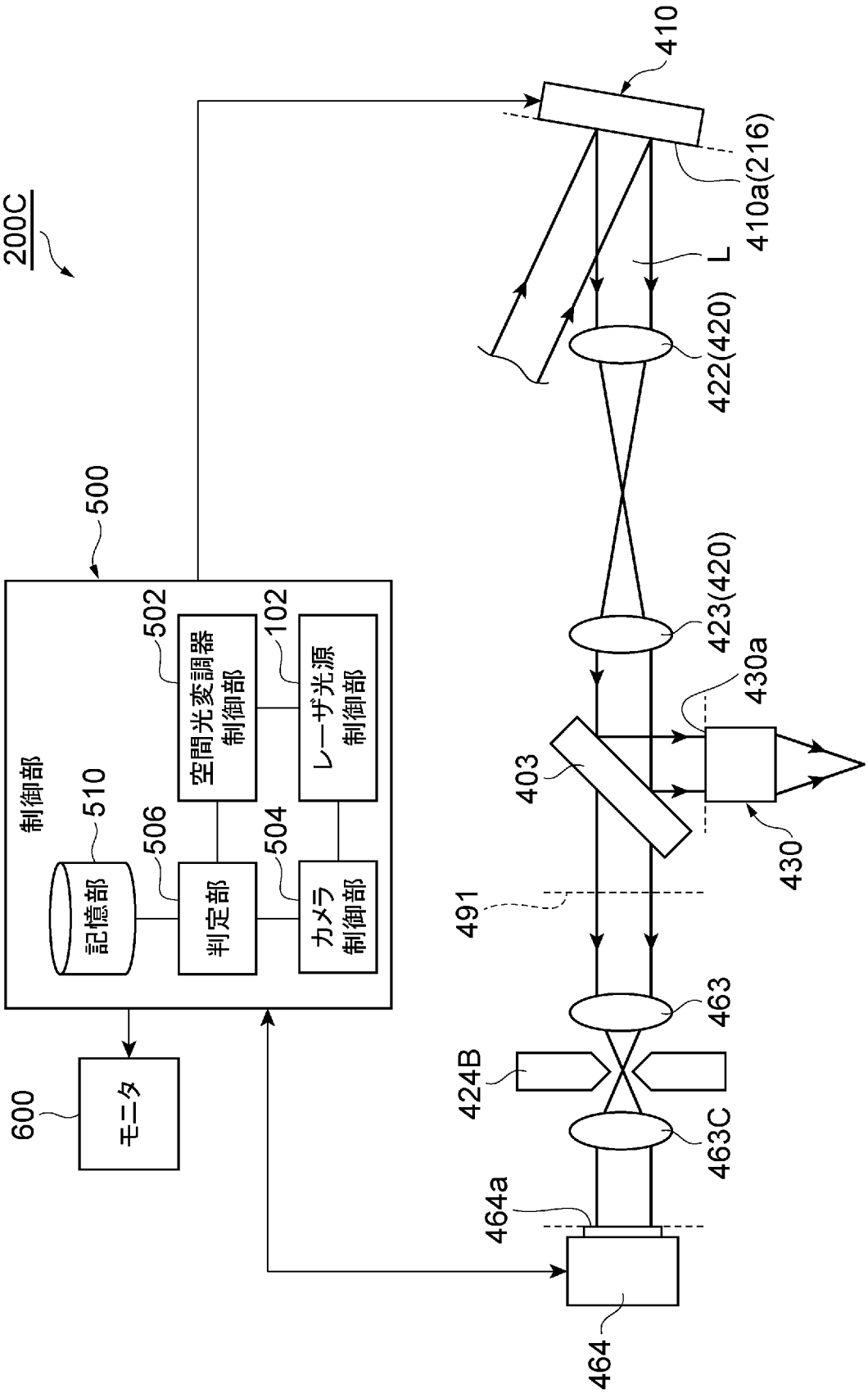
[図18]


START
動作確認モードに設定
S1
パワーメータを配置
S2
位相パターン表示
S3
強度計測
S4
位相パターン切り替え
S5
強度計測
S6
強度差計算
S7
S8
強度差＞閾値？
NO
YES
加工モードに設定
S9
エラー時処理
S10
END

[図19]

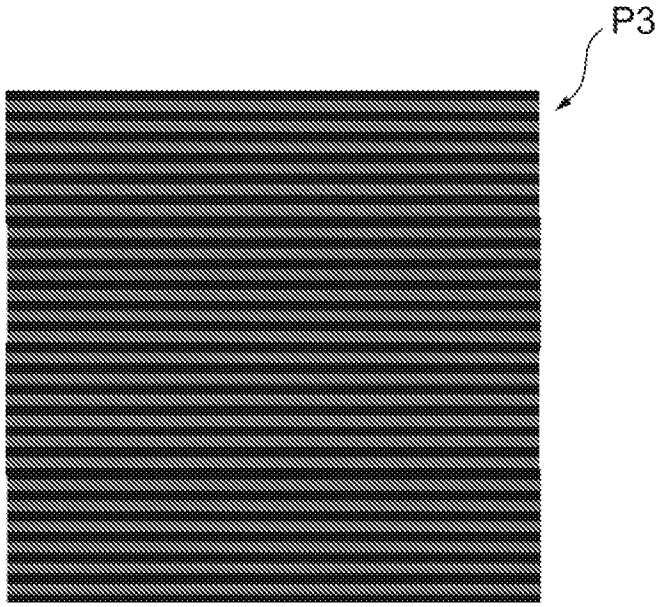

200B
500
制御部
510
記憶部
506
判定部
504
カメラ制御部
502
空間光変調器制御部
102
レーザ光源制御部
600
モニタ
410
410a(216)
L
422(420)
423(420)
430a
430
403
491
463
424B
464a
464

[図20]

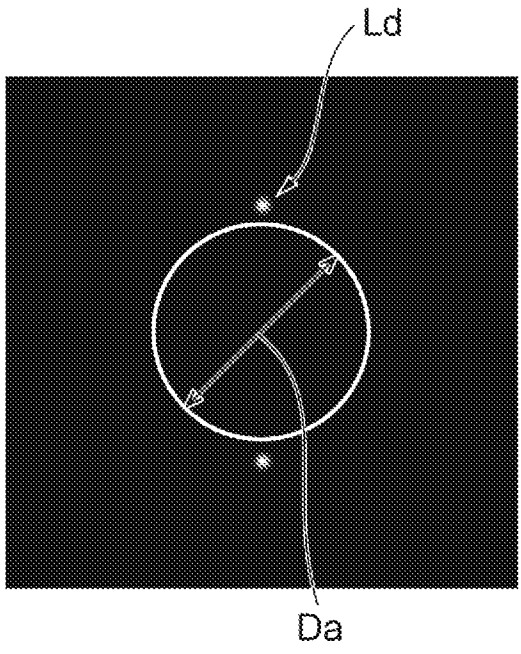

200C
500
制御部
510
記憶部
506
判定部
504
カメラ制御部
502
空間光変調器制御部
102
レーザ光源制御部
600
モニタ
410
410a(216)
L
422(420)
423(420)
430a
403
430
491
463
424B
463C
464a
464

[図21]

(a)

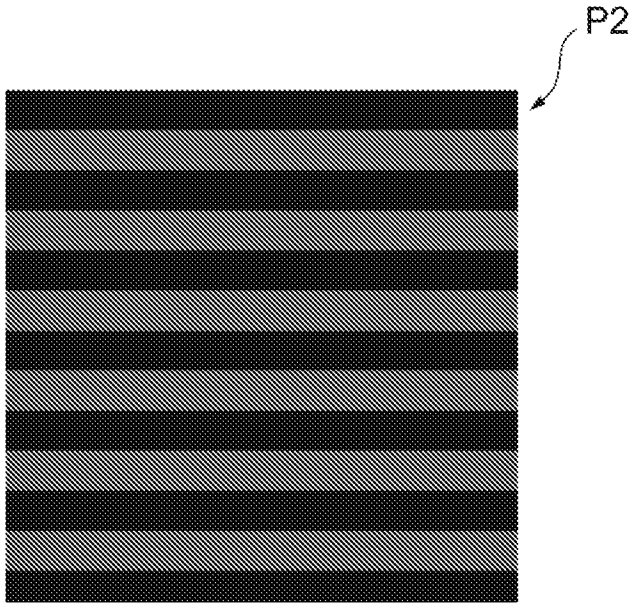


(b)

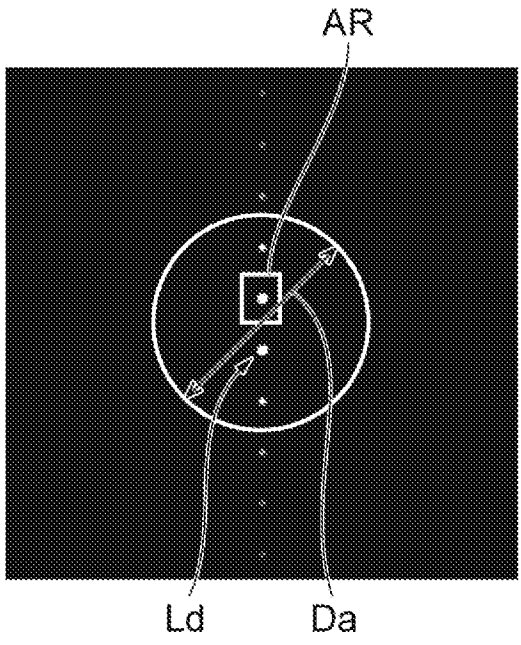


[図22]

(a)



(b)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/036872

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
B23K26/00(2014.01)i, *B23K26/062*(2014.01)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)
B23K26/00, B23K26/062

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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.
A	JP 2014-138956 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 31 July 2014 (31.07.2014), paragraphs [0019], [0029] to [0032]; fig. 1, 8 to 9 (Family: none)	1-6
A	JP 2011-51011 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 17 March 2011 (17.03.2011), paragraphs [0029] to [0039], [0044]; fig. 8 to 10 (Family: none)	1-6

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
10 November 2017 (10.11.17)	21 November 2017 (21.11.17)

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

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/036872

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2013/153371 A1 (ISIS INNOVATION LTD.), 17 October 2013 (17.10.2013), description, page 1, lines 3 to 5; page 10, line 7 to page 11, line 16; fig. 4 & GB 2501117 A	1-6
A	WO 2015/159687 A1 (Mitsubishi Electric Corp.), 22 October 2015 (22.10.2015), paragraph [0022] & KR 10-2016-0083955 A & CN 105940345 A	1-6

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１７／０３６８７２

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　B23K26/00(2014.01)i, B23K26/062(2014.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　B23K26/00, B23K26/062

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	１９７１－２０１７年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１７年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１７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
A	JP 2014-138956 A (浜松ホトニクス株式会社) 2014.07.31, 段落[0019], [0029]-[0032], 図 1, 8-9 (ファミリーなし)	1-6
A	JP 2011-51011 A (浜松ホトニクス株式会社) 2011.03.17, 段落[0029]-[0039], [0044], 図 8-10 (ファミリーなし)	1-6
A	WO 2013/153371 A1 (ISIS INNOVATION LTD) 2013.10.17, 明細書第 1 ページ第 3-5 行, 第 10 ページ第 7 行-第 11 ページ第 16 行, 図 4 & GB 2501117 A	1-6

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
１０．１１．２０１７	２１．１１．２０１７

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

特許庁審査官（権限のある職員）　３Ｐ　６１０１
岩見　勤
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３６３

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
A	WO 2015/159687 A1（三菱電機株式会社）2015.10.22, 段落[0022] & KR 10-2016-0083955 A & CN 105940345 A	1-6