

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6768444号
(P6768444)

(45) 発行日 令和2年10月14日(2020.10.14)

(24) 登録日 令和2年9月25日(2020.9.25)

(51) Int.Cl.	F I
B 2 3 K 26/00 (2014.01)	B 2 3 K 26/00 M
B 2 3 K 26/062 (2014.01)	B 2 3 K 26/062
	B 2 3 K 26/00 N

請求項の数 6 (全 30 頁)

(21) 出願番号	特願2016-202601 (P2016-202601)	(73) 特許権者	000236436
(22) 出願日	平成28年10月14日(2016.10.14)		浜松ホトニクス株式会社
(65) 公開番号	特開2018-61994 (P2018-61994A)		静岡県浜松市東区市野町1126番地の1
(43) 公開日	平成30年4月19日(2018.4.19)	(74) 代理人	100088155
審査請求日	令和1年10月11日(2019.10.11)		弁理士 長谷川 芳樹
		(74) 代理人	100113435
			弁理士 黒木 義樹
		(74) 代理人	100140442
			弁理士 柴山 健一
		(72) 発明者	伊ヶ崎 泰則
			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
		審査官	岩見 勤

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザ加工装置、及び、動作確認方法

(57) 【特許請求の範囲】

【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。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、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】

10

20

30

40

50

【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ー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ー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、レーザー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ー加工装置、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】

本発明に係るレーザー加工装置は、レーザー光を対象物に照射してレーザー加工を行う第1モードと、第1モードと異なる第2モードと、を少なくともも有するレーザー加工装置であって、レーザー光を出力するレーザー光源と、レーザー光源から出力されたレーザー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ー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ー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】

本発明に係る動作確認方法は、レーザー光を出力するレーザー光源と、レーザー光源から出力されたレーザー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ー光を対象物に集光する集光レンズと、を備えるレーザー加工装置の空間光変調器の動作確認方法であって、レーザー加工装置において、レーザー光を対象物に照射してレーザー加工を行う第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ー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】

このレーザー加工装置及び動作確認方法においては、レーザー加工を行う第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ー光が変調され、レーザー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、レーザー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ー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】

本発明に係るレーザー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ー光の強度から切替制御の後のレーザー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。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 0 】

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。

【 0 0 1 1 】

本発明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にとなる。

10

【 0 0 1 2 】

本発明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。

20

【 0 0 1 3 】

本発明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 】

【 0 0 1 4 】

本発明によれば、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 】

30

【 0 0 1 5 】

【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Z-X平面に沿ってのレーザ出力部の断面図である。

40

【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X-Y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。

50

【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。

10

【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ミックミラー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。

20

【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、ダイクロミックミラー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。

30

【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。

40

【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

50

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)に露出しているもよい。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)。

10

【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。

20

【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。

30

【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。

40

[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。

50

[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。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 4 】

まず、加工対象物 1 の裏面 1 b (図 8 参照) がレーザー光入射面となるように、加工対象物 1 が支持台 2 3 0 に支持され、加工対象物 1 の各切断予定ライン 5 a 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 のレーザー光入射面から所定距離だけ離間した位置にレーザー光 L の集光点が位置するように、第 2 移動機構 2 4 0 によってレーザー集光部 4 0 0 が移動させられる。続いて、加工対象物 1 のレーザー光入射面とレーザー光 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 5 a に沿ってレーザー光 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 5 a に沿って加工対象物 1 の内部に改質領域が形成される。

【 0 0 3 5 】

各切断予定ライン 5 a に沿っての改質領域の形成が終了すると、第 1 移動機構 2 2 0 によって支持台 2 3 0 が回転させられ、加工対象物 1 の各切断予定ライン 5 b 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 のレーザー光入射面から所定距離だけ離間した位置にレーザー光 L の集光点が位置するように、第 2 移動機構 2 4 0 によってレーザー集光部 4 0 0 が移動させられる。続いて、加工対象物 1 のレーザー光入射面とレーザー光 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 5 b に沿ってレーザー光 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 5 b に沿って加工対象物 1 の内部に改質領域が形成される。

【 0 0 3 6 】

このように、レーザー加工装置 2 0 0 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 5 a に沿ったレーザー光 L の集光点の相対的な移動、及び各切断予定ライン 5 b に沿ったレーザー光 L の集光点の相対的な移動は、第 1 移動機構 2 2 0 によって支持台 2 3 0 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 5 a 間におけるレーザー光 L の集光点の相対的な移動、及び各切断予定ライン 5 b 間におけるレーザー光 L の集光点の相対的な移動は、第 1 移動機構 2 2 0 によって支持台 2 3 0 が Y 軸方向に沿って移動させられることで、実施される。

【 0 0 3 7 】

図 9 に示されるように、レーザー出力部 3 0 0 は、取付ベース 3 0 1 と、カバー 3 0 2 と、複数のミラー 3 0 3 , 3 0 4 と、を有している。更に、レーザー出力部 3 0 0 は、レーザー発振器 (レーザ光源) 3 1 0 と、シャッタ 3 2 0 と、 $\lambda/2$ 波長板ユニット 3 3 0 と、偏光板ユニット 3 4 0 と、ビームエキスパンダ 3 5 0 と、ミラーユニット 3 6 0 と、を有している。

【 0 0 3 8 】

取付ベース 3 0 1 は、複数のミラー 3 0 3 , 3 0 4、レーザー発振器 3 1 0、シャッタ 3 2 0、 $\lambda/2$ 波長板ユニット 3 3 0、偏光板ユニット 3 4 0、ビームエキスパンダ 3 5 0 及びミラーユニット 3 6 0 を支持している。複数のミラー 3 0 3 , 3 0 4、レーザー発振器 3 1 0、シャッタ 3 2 0、 $\lambda/2$ 波長板ユニット 3 3 0、偏光板ユニット 3 4 0、ビームエキスパンダ 3 5 0 及びミラーユニット 3 6 0 は、取付ベース 3 0 1 の主面 3 0 1 a に取り付けられている。取付ベース 3 0 1 は、板状の部材であり、装置フレーム 2 1 0 (図 7 参照) に対して着脱可能である。レーザー出力部 3 0 0 は、取付ベース 3 0 1 を介して装置フレーム 2 1 0 に取り付けられている。つまり、レーザー出力部 3 0 0 は、装置フレーム 2 1 0 に対して着脱可能である。

【 0 0 3 9 】

カバー 3 0 2 は、取付ベース 3 0 1 の主面 3 0 1 a 上において、複数のミラー 3 0 3 , 3 0 4、レーザー発振器 3 1 0、シャッタ 3 2 0、 $\lambda/2$ 波長板ユニット 3 3 0、偏光板ユニット 3 4 0、ビームエキスパンダ 3 5 0 及びミラーユニット 3 6 0 を覆っている。カバー 3 0 2 は、取付ベース 3 0 1 に対して着脱可能である。

【 0 0 4 0 】

レーザー発振器 3 1 0 は、直線偏光のレーザー光 L を X 軸方向に沿ってパルス発振する。レ

10

20

30

40

50

ーザ発振器 310 から出射されるレーザ光 L の波長は、500 ~ 550 nm、1000 ~ 1150 nm 又は 1300 ~ 1400 nm のいずれかの波長帯に含まれる。500 ~ 550 nm 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 ~ 1150 nm 及び 1300 ~ 1400 nm 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 /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】

/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、/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。/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

10

20

30

40

50

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。

10

【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。

20

【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、ダイクロミックミラー 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、一对の測距センサ 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。

30

【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は、鋭角（例えば、 $10 \sim 60^\circ$ ）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。

40

【0052】

50

4 f レンズユニット 4 2 0 は、ホルダ 4 2 1 と、反射型空間光変調器 4 1 0 側のレンズ 4 2 2 と、集光レンズユニット 4 3 0 側のレンズ 4 2 3 と、スリット部材 4 2 4 と、を有している。ホルダ 4 2 1 は、一对のレンズ 4 2 2 , 4 2 3 及びスリット部材 4 2 4 を保持している。ホルダ 4 2 1 は、レーザ光 L の光軸に沿った方向における一对のレンズ 4 2 2 , 4 2 3 及びスリット部材 4 2 4 の互いの位置関係を一定に維持している。一对のレンズ 4 2 2 , 4 2 3 は、反射型空間光変調器 4 1 0 の反射面 4 1 0 a と集光レンズユニット 4 3 0 の入射瞳面 (瞳面) 4 3 0 a 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。

【 0 0 5 3 】

これにより、反射型空間光変調器 4 1 0 の反射面 4 1 0 a でのレーザ光 L の像 (反射型空間光変調器 4 1 0 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 4 3 0 の入射瞳面 4 3 0 a に転像 (結像) される。スリット部材 4 2 4 には、スリット 4 2 4 a が形成されている。スリット 4 2 4 a は、レンズ 4 2 2 とレンズ 4 2 3 との間であって、レンズ 4 2 2 の焦点面付近に位置している。反射型空間光変調器 4 1 0 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 4 2 4 によって遮断される。4 f レンズユニット 4 2 0 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 4 0 3 に入射する。

10

【 0 0 5 4 】

ダイクロイックミラー 4 0 3 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 4 0 3 において Z X 平面に沿って直角に反射される。ダイクロイックミラー 4 0 3 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 4 3 0 に入射する。

20

【 0 0 5 5 】

集光レンズユニット 4 3 0 は、Y 軸方向における筐体 4 0 1 の端部 4 0 1 d (端部 4 0 1 c の反対側の端部) に、駆動機構 4 4 0 を介して取り付けられている。集光レンズユニット 4 3 0 は、ホルダ 4 3 1 と、複数のレンズ 4 3 2 と、を有している。ホルダ 4 3 1 は、複数のレンズ 4 3 2 を保持している。複数のレンズ 4 3 2 は、支持台 2 3 0 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 4 4 0 は、圧電素子の駆動力によって、集光レンズユニット 4 3 0 を Z 軸方向に沿って移動させる。

30

【 0 0 5 6 】

一对の測距センサ 4 5 0 は、X 軸方向において集光レンズユニット 4 3 0 の両側に位置するように、筐体 4 0 1 の端部 4 0 1 d に取り付けられている。各測距センサ 4 5 0 は、支持台 2 3 0 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 4 5 0 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。

【 0 0 5 7 】

レーザ加工装置 2 0 0 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 5 a , 5 b 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、一对の測距センサ 4 5 0 のうち集光レンズユニット 4 3 0 に対して相対的に先行する測距センサ 4 5 0 が、各切断予定ライン 5 a , 5 b 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 4 4 0 が、測距センサ 4 5 0 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 4 3 0 を Z 軸方向に沿って移動させる。

40

【 0 0 5 8 】

レーザ集光部 4 0 0 は、ビームスプリッタ 4 6 1 と、一对のレンズ 4 6 2 , 4 6 3 と、プロファイル取得用カメラ (強度分布取得部) 4 6 4 と、を有している。ビームスプリッ

50

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。

10

【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。

20

【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。

30

【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481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。

40

【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

50

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 401 d 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 ~ 550 nm 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 ~ 1150 nm 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 ~ 1400 nm 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 ~ 550 nm、1000 ~ 1150 nm 及び 1300 ~ 1400 nm 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、 $\lambda/2$ 波長板ユニット 330 は $\lambda/2$ 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。 $\lambda/2$ 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、 $\lambda/2$ 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】

10

20

30

40

50

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。

10

【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 $\lambda/2$ 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 θ 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。

20

【0072】

したがって、レーザ出力部 300 において、 $\lambda/2$ 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。

30

[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。

40

【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

50

設けられており、反射型空間光変調器 4 1 0 から出力しようとする光像に応じて各画素電極 2 1 4 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 5 0 0 0 における後述の空間光変調器制御部 5 0 2 (図 1 6 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 2 1 4 に所定電圧が印加されるように構成されている。

【 0 0 7 7 】

配向膜 9 9 9 a , 9 9 9 b は、液晶層 2 1 6 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 9 9 9 a , 9 9 9 b は、例えばポリイミド等の高分子材料からなり、液晶層 2 1 6 との接触面にラビング処理等が施されている。

10

【 0 0 7 8 】

液晶層 2 1 6 は、複数の画素電極 2 1 4 と透明導電膜 2 1 7 との間に配置されており、各画素電極 2 1 4 と透明導電膜 2 1 7 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 9 1 4 のアクティブ・マトリクス回路によって各画素電極 2 1 4 に電圧が印加されると、透明導電膜 2 1 7 と各画素電極 2 1 4 との間に電界が形成され、液晶層 2 1 6 に形成された電界の大きさに応じて液晶分子 2 1 6 a の配列方向が変化する。そして、レーザ光 L が透明基板 2 1 8 及び透明導電膜 2 1 7 を透過して液晶層 2 1 6 に入射すると、このレーザ光 L は、液晶層 2 1 6 を通過する間に液晶分子 2 1 6 a によって変調され、反射膜 2 1 5 において反射した後、再び液晶層 2 1 6 により変調されて、

20

【 0 0 7 9 】

このとき、後述の空間光変調器制御部 5 0 2 (図 1 6 参照) によって各画素電極 2 1 4 に印加される電圧が制御され、その電圧に応じて、液晶層 2 1 6 において透明導電膜 2 1 7 と各画素電極 2 1 4 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 2 1 6 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 2 1 6 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 2 1 6 によって付与することができる。

【 0 0 8 0 】

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 4 1 0 の液晶層 2 1 6 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 4 1 0 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。

30

[4 f レンズユニット]

【 0 0 8 1 】

上述したように、4 f レンズユニット 4 2 0 の一対のレンズ 4 2 2 , 4 2 3 は、反射型空間光変調器 4 1 0 の反射面 4 1 0 a と集光レンズユニット 4 3 0 の入射瞳面 4 3 0 a 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 1 5 に示されるように、反射型空間光変調器 4 1 0 側のレンズ 4 2 2 の中心と反射型空間光変調器 4 1 0 の反射面 4 1 0 a との間の光路の距離がレンズ 4 2 2 の第 1 焦点距離 f_1 となり、集光レンズユニット 4 3 0 側のレンズ 4 2 3 の中心と集光レンズユニット 4 3 0 の入射瞳面 4 3 0 a との間の光路の距離がレンズ 4 2 3 の第 2 焦点距離 f_2 となり、レンズ 4 2 2 の中心とレンズ 4 2 3 の中心との間の光路の距離が第 1 焦点距離 f_1 と第 2 焦点距離 f_2 との和 (すなわち、 $f_1 + f_2$) となっている。反射型空間光変調器 4 1 0 から集光レンズユニット 4 3 0 に至る光路のうち一対のレンズ 4 2 2 , 4 2 3 間の光路は、一直線である。

40

【 0 0 8 2 】

レーザ加工装置 2 0 0 では、反射型空間光変調器 4 1 0 の反射面 4 1 0 a 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、 $0.5 < M$

50

< 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 410 a でのレーザー光 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ー光 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 に至るレーザー光 L の光路が長くなるのを抑制するという観点では、 $0.6 < M < 0.95$ であることがより好ましい。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 430 a での像の大きさ) / (反射型空間光変調器 410 の反射面 410 a での物体の大きさ) である。レーザー加工装置 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 f_1 及びレンズ 423 の第 2 焦点距離 f_2 が、 $M = f_2 / f_1$ を満たしている。

【0083】

なお、反射型空間光変調器 410 の反射面 410 a でのレーザー光 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)を満たしてもよい。反射型空間光変調器 410 の反射面 410 a でのレーザー光 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 に入射するレーザー光 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ー光 L の光軸とがなす角度 (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 に至るレーザー光 L の光路が長くなるのを抑制するという観点では、 $1.05 < M < 1.7$ であることがより好ましい。

【0084】

次に、第 1 実施形態に係るレーザー加工装置 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ー加工装置 200 の要部を示す概略構成図である。レーザー出力部 300 (レーザー発振器 310) から出力されたレーザー光 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、入射されたレーザー光 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ー光 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 に入射したレーザー光 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 で反射したレーザー光 L は、集光レンズユニット 430 に入射する。

【0086】

すなわち、レーザー加工装置 200 は、レーザー光 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 に入射したレーザー光 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 を透過したレーザー光 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 464 a に入射する。

【0087】

一对のレンズ 422, 423 は、液晶層 216 の反射面 410 a におけるレーザー光 L の波面を、集光レンズユニット 430 の入射瞳面 430 a 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、一对のレンズ 422, 423 によって共役面 491 にリレーされたレーザー光 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 464 a 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 430 a と、共役面 491 と、プロファイル取得用カメラ 464 の撮像面 464 a とは、互いに共役の関係を構成する。すなわち、レーザー加工装置 200 は、集光レンズユニット 430 の入射瞳面 430 a と共役な撮像面 464 a を有し、レーザー光 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。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 8 】

プロファイル取得用カメラ 4 6 4 は、ダイクロイックミラー 4 0 3 で分岐されたレーザー光 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 4 6 4 は、反射型空間光変調器 4 1 0 から出射され集光レンズユニット 4 3 0 に入射する前のレーザー光 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 5 0 0 へ出力する。プロファイル取得用カメラ 4 6 4 としては、例えば、C M O S（Complementary Metal Oxide Semiconductor）イメージセンサが用いられる。

【 0 0 8 9 】

レーザー光 L の光路におけるレンズ 4 2 2 の後側の焦点位置には、スリット部材 4 2 4 が配置されている。スリット部材 4 2 4 は、レーザー光 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、レーザー光 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 4 2 4 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 4 1 0（液晶層 2 1 6）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 4 2 4 は、当該回折格子パターンに応じて回折されたレーザー光 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。

【 0 0 9 0 】

ちなみに、スリット部材 4 2 4 は、レンズ 4 2 2 の後側の焦点位置の近傍に配置されている。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 4 2 4 がレーザー光 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 4 2 4 を通過後のレーザー光 L では、反射型空間光変調器 4 1 0 によるレーザー光 L の変調を強度変調として容易に観測できる。

【 0 0 9 1 】

制御部 5 0 0 は、上記レーザー光源制御部 1 0 2 と、空間光変調器制御部（制御部）5 0 2、カメラ制御部 5 0 4、判定部 5 0 6、及び、記憶部 5 1 0 を有している。レーザー光源制御部 1 0 2 は、上述したように、レーザー発振器 3 1 0 の動作を制御する。また、レーザー光源制御部 1 0 2 は、1 つの切断予定ライン 5 に沿うレーザー加工毎において、加工条件（照射条件）に基づいて、レーザー発振器 3 1 0 で発生させるレーザー光 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、レーザー出力等である。

【 0 0 9 2 】

ここで、レーザー加工装置 2 0 0 は、レーザー光 L を加工対象物 1 に照射することにより加工対象物 1 のレーザー加工を行う第 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、レーザー加工装置 2 0 0 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、レーザー光 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）。レーザー加工装置 2 0 0 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、レーザー加工装置 2 0 0 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。

【 0 0 9 3 】

レーザー光 L の強度の測定は、例えば、レーザー光 L の光路における集光レンズユニット 4 3 0 の後段に配置されたパワーメータ 5 2 0 を用いて行うことができる。パワーメータ 5 2 0 は、例えば、集光レンズユニット 4 3 0 から出射されたレーザー光 L の集光点に配置される。或いは、レーザー光 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 4 6 4 により取得されたレーザー光 L の画像（強度分布画像）に基づいてレーザー光 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、レーザー光 L の強度の測定は、上記の光

10

20

30

40

50

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。

10

【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。

20

【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。

30

【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。

40

【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。

50

【 0 1 0 0 】

つまり、判定部 5 0 6 は、空間光変調器制御部 5 0 2 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 4 1 0 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 4 1 0 の動作確認方法としても後述する。

【 0 1 0 1 】

記憶部 5 1 0 は、判定部 5 0 6 の判定結果を保存する。なお、記憶部 5 1 0 は、例えば、反射型空間光変調器 4 1 0 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。

【 0 1 0 2 】

制御部 5 0 0 には、モニタ 6 0 0 が接続されている。モニタ 6 0 0 は、記憶部 5 1 0 に記憶された判定部 5 0 6 の判定結果を表示することができる。また、モニタ 6 0 0 は、空間光変調器制御部 5 0 2 により反射型空間光変調器 4 1 0 (液晶層 2 1 6) 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 4 6 4 及びカメラ 4 7 3 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 5 0 6 の判定結果は、記憶部 5 1 0 を介さずにモニタ 6 0 0 に表示されてもよい。

10

【 0 1 0 3 】

引き続いて、レーザ加工装置 2 0 0 の反射型空間光変調器 4 1 0 の動作確認方法について、図 1 8 のフローチャートを参照しつつ説明する。

【 0 1 0 4 】

本実施形態に係る動作確認方法においては、まず、制御部 5 0 0 が、レーザ加工装置 2 0 0 のモードを動作確認モードに設定する(ステップ S 1)。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 5 0 0 が、レーザ加工装置 2 0 0 の立ち上げ時に強制的に(自動的に)、レーザ加工装置 2 0 0 を計測モードに設定する。

20

【 0 1 0 5 】

続いて、レーザ光 L の光路における集光レンズユニット 4 3 0 の後段(例えば、Z 軸方向における集光レンズユニット 4 3 0 の下方)にパワーメータ 5 2 0 を配置する(ステップ S 2)。パワーメータ 5 2 0 は、例えば、集光レンズユニット 4 3 0 から出射したレーザ光の集光点に配置される。

30

【 0 1 0 6 】

続いて、空間光変調器制御部 5 0 2 の制御により、反射型空間光変調器 4 1 0 が位相パターンを表示する(ステップ S 3)。より具体的には、ここでは、空間光変調器制御部 5 0 2 が、駆動回路層 9 1 4 に信号を送ることにより画素電極 2 1 4 に電圧を印可させ、液晶層 2 1 6 に位相パターンを表示させる。このステップ S 3 において反射型空間光変調器 4 1 0 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。

【 0 1 0 7 】

続いて、レーザ光源制御部 1 0 2 の制御により、レーザ出力部 3 0 0 (レーザ発振器 3 1 0) 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 4 1 0 及び集光レンズユニット 4 3 0 を介してパワーメータ 5 2 0 に入射する。これにより、パワーメータ 5 2 0 は、レーザ光 L の強度を計測する(ステップ S 4)。強度の計測結果は、判定部 5 0 6 に送信される。

40

【 0 1 0 8 】

続いて、空間光変調器制御部 5 0 2 が、反射型空間光変調器 4 1 0 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 S 5)。より具体的には、ここでは、空間光変調器制御部 5 0 2 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 4 1 0 に送信する。このステップ S 5 において反射型空間光変調器 4 1 0 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 P 2 (図 1 7 の

50

(a) 参照) である。第 2 パターン P 2 は、例えば、収差補正パターンをさらに含んでいてもよい。

【 0 1 0 9 】

続いて、パワーメータ 5 2 0 が、再び、レーザ光 L の強度を計測する (ステップ S 6) 。反射型空間光変調器 4 1 0 が正常に動作している場合には、反射型空間光変調器 4 1 0 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 P 2 に切り替わっている。このため、反射型空間光変調器 4 1 0 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、回折光のうち的一定次数以上の回折光は、スリット部材 4 2 4 により遮断され、パワーメータ 5 2 0 に入射しない。その結果、ステップ S 4 における強度の計測結果と、このステップ S 6 における強度の計測結果とは、互いに異なる。ステップ S 6 において計測される強度は、ステップ S 4 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 5 0 6 に送信される。

10

【 0 1 1 0 】

続いて、判定部 5 0 6 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 4 1 0 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 5 0 6 は、ステップ S 4 において計測された強度から、ステップ S 6 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 S 7) 。すなわち、ここでは、判定部 5 0 6 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 5 0 6 が、ステップ S 7 において計算された強度差が、予め設定された閾値

20

【 0 1 1 1 】

上述したように、反射型空間光変調器 4 1 0 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 4 1 0 に入射したレーザ光 L は、第 2 パターン P 2 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 S 8 : Y E S) 、反射型空間光変調器 4 1 0 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 5 0 0 が、動作確認モードを終了し、レーザ加工装置 2 0 0 のモードを加工モードに設定する (ステップ S 9) 。

【 0 1 1 2 】

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 S 8 : N O) 、反射型空間光変調器 4 1 0 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 4 1 0 のエラー時の処理が行われる (ステップ S 1 0) 。エラー時の処理は、一例として、ステップ S 3 以降を再度実行する処理や、レーザ加工装置 2 0 0 の動作を停止する処理である。

30

【 0 1 1 3 】

以上説明したように、本実施形態に係るレーザ加工装置 2 0 0 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 4 1 0 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 4 1 0 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 4 1 0 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 4 1 0 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 4 1 0 の動作確認を行うことが可能である。

40

【 0 1 1 4 】

また、レーザ加工装置 2 0 0 及びその動作確認方法においては、空間光変調器制御部 5 0 2 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 4 1 0 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

50

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。

10

【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の一定回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回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。

20

【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。

30

【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のうちの一定回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。

40

【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

50

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。

10

【0122】

以上、本発明の好適な実施形態について説明したが、本発明は、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、又は他のものにも適用してもよい。

【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。

20

【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、一对のレンズ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。

30

【0126】

また、集光レンズユニット430及び一对の測距センサ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。

40

【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】

50

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。

10

【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。

20

【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。

30

【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。

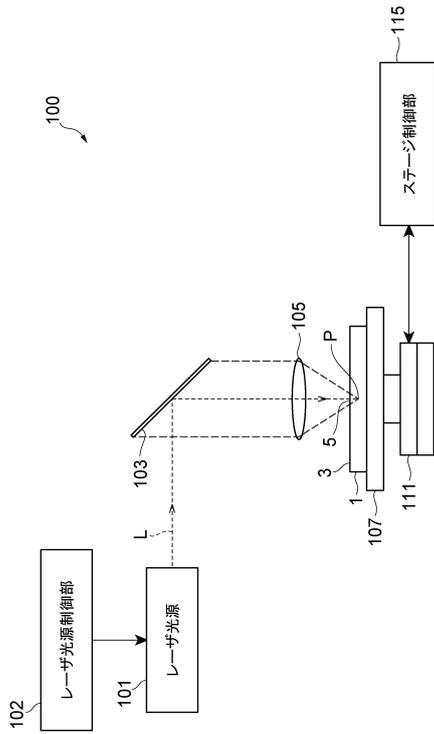
【符号の説明】

40

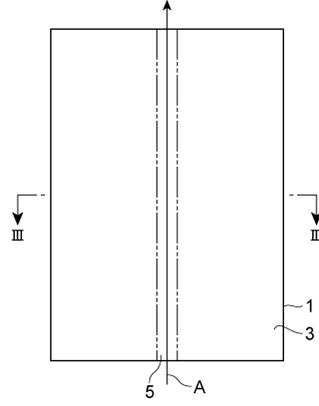
【0133】

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。

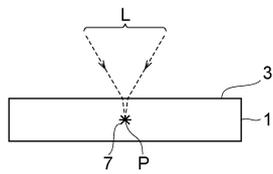
【図1】



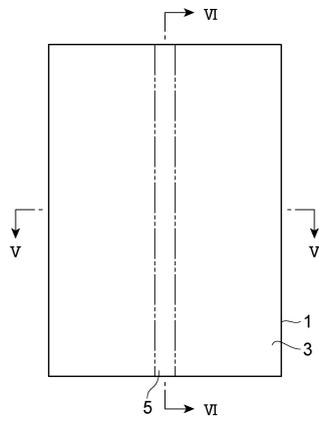
【図2】



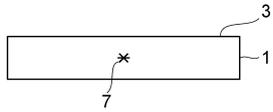
【図3】



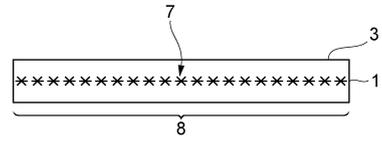
【図4】



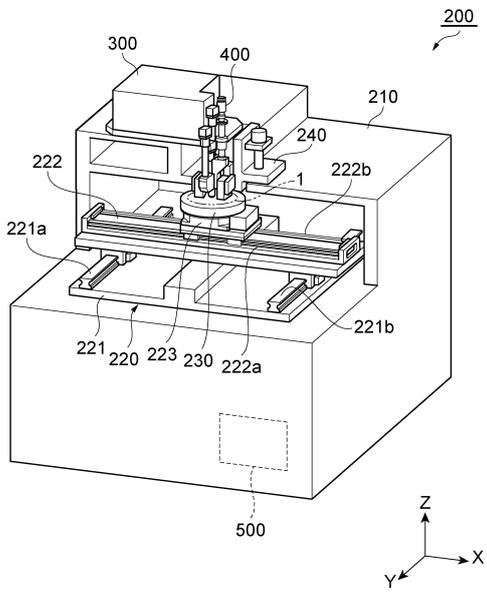
【 図 5 】



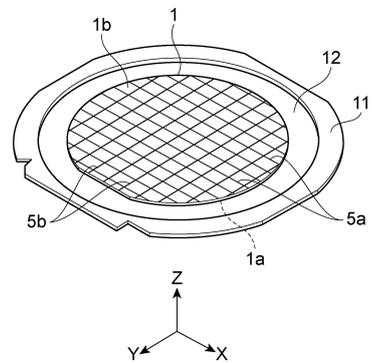
【 図 6 】



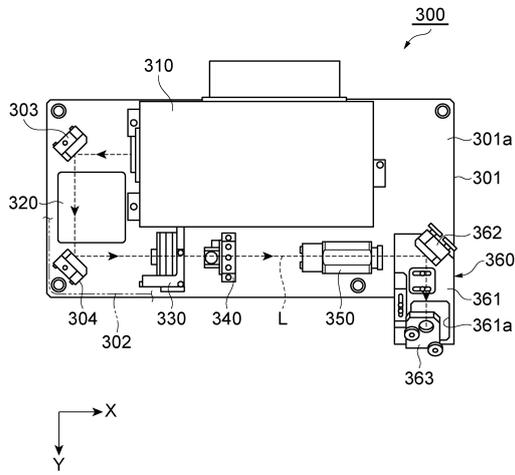
【 図 7 】



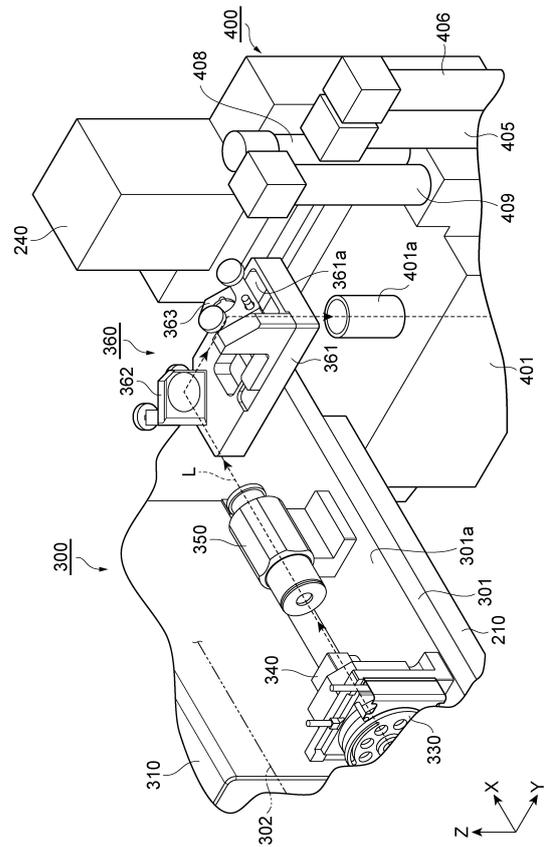
【 図 8 】



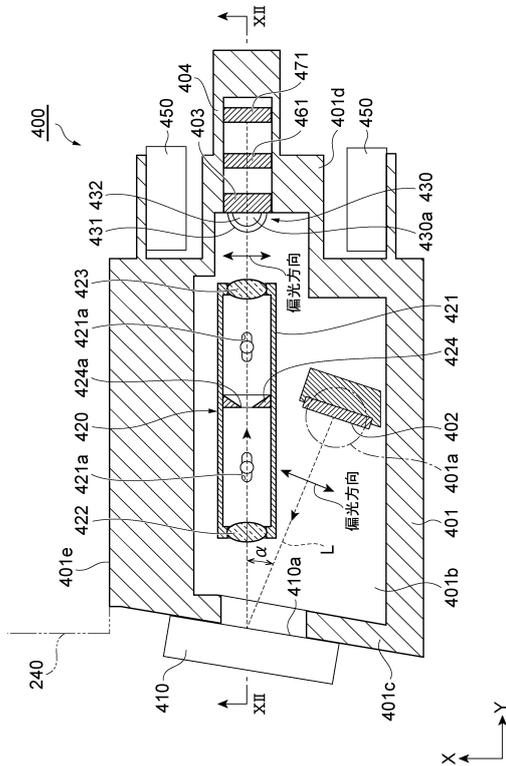
【 図 9 】



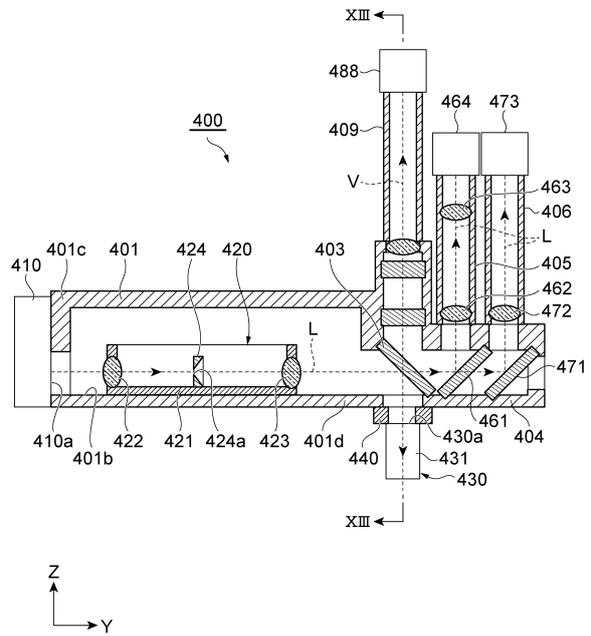
【 図 10 】



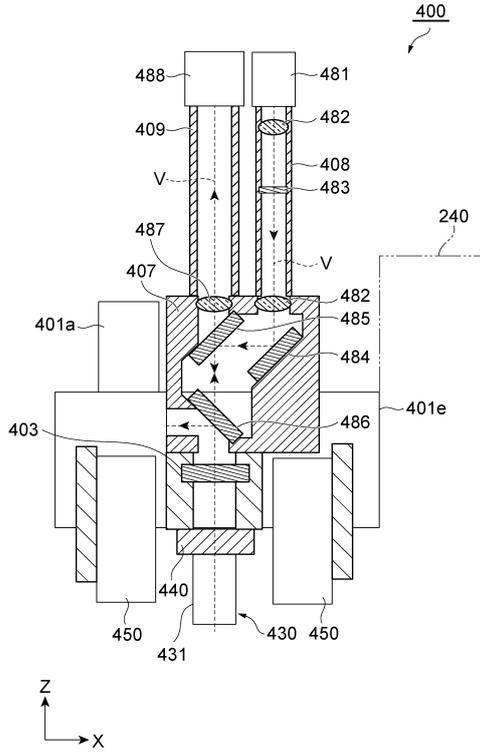
【 図 11 】



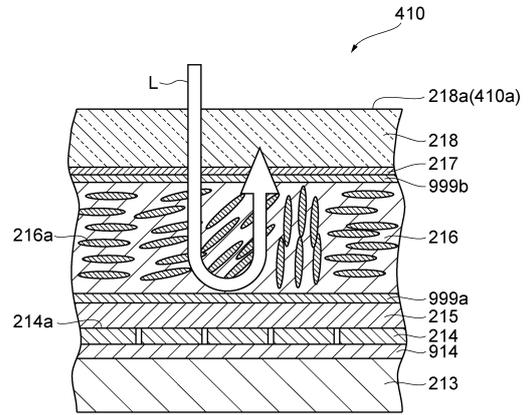
【 図 12 】



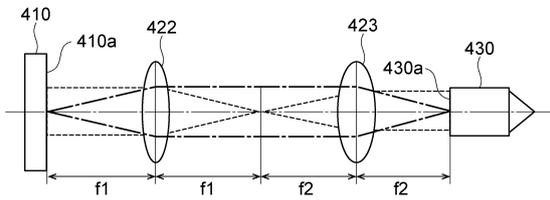
【図13】



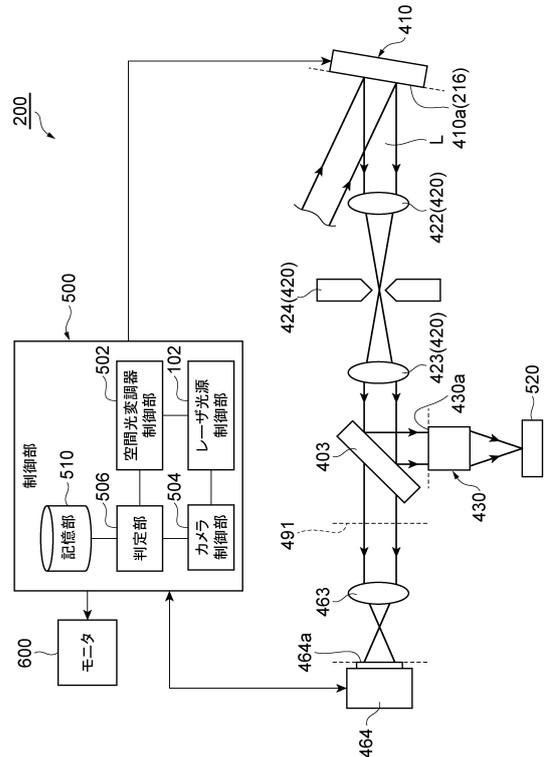
【図14】



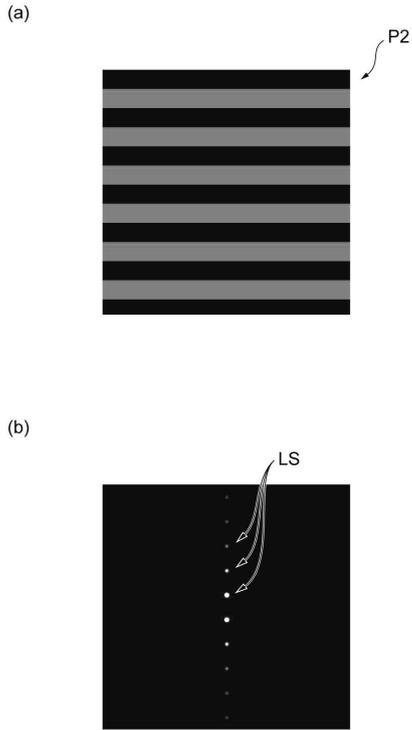
【図15】



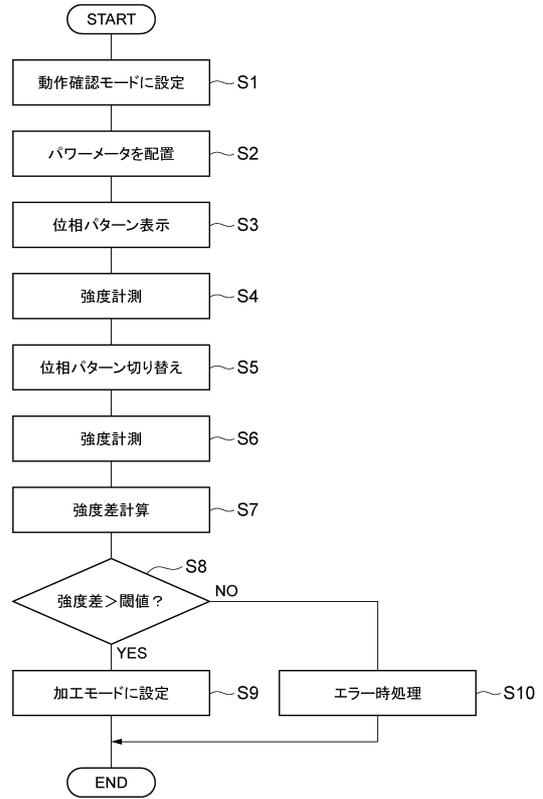
【図16】



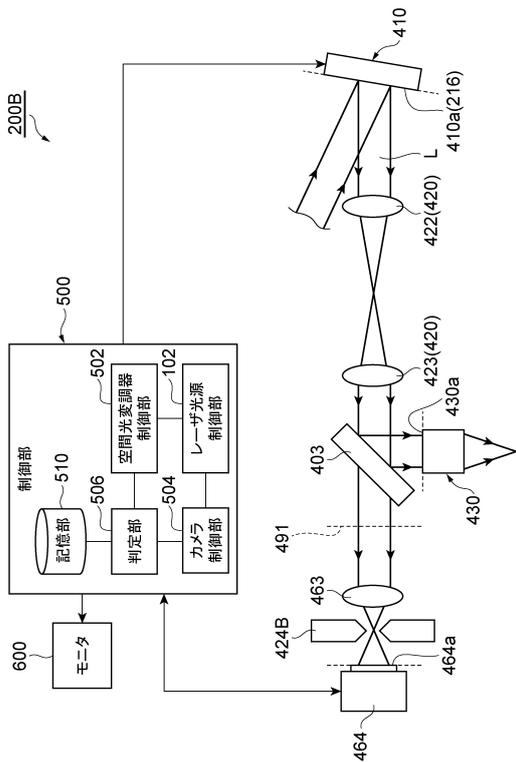
【図17】



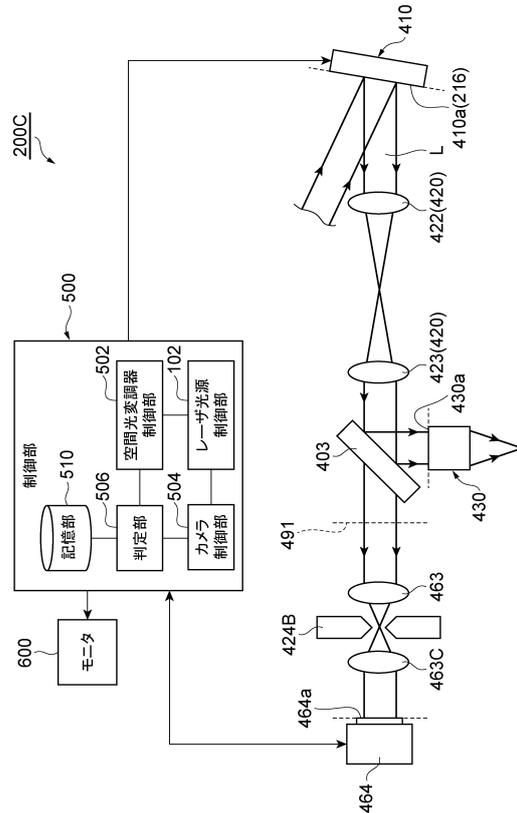
【図18】



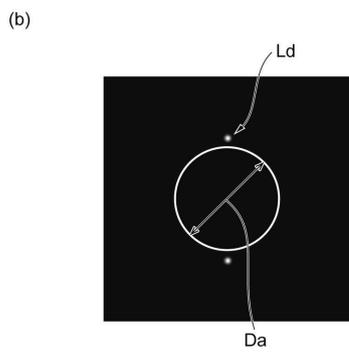
【図19】



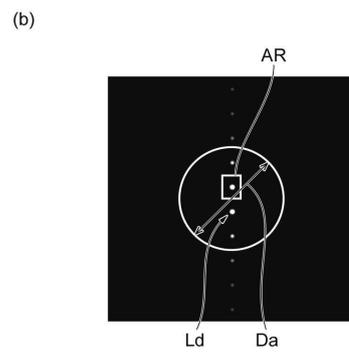
【図20】



【 図 2 1 】



【 図 2 2 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2014-138956(JP,A)
特開2011-51011(JP,A)
国際公開第2013/153371(WO,A1)
国際公開第2015/159687(WO,A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
B23K 26/00
B23K 26/062