

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6925778号
(P6925778)

(45) 発行日 令和3年8月25日(2021.8.25)

(24) 登録日 令和3年8月6日(2021.8.6)

(51) Int.Cl.	F I
B 2 3 K 26/70 (2014.01)	B 2 3 K 26/70
B 2 3 K 26/02 (2014.01)	B 2 3 K 26/02 Z
B 2 3 K 26/064 (2014.01)	B 2 3 K 26/064 Z

請求項の数 10 (全 31 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2016-14513 (P2016-14513)</p> <p>(22) 出願日 平成28年1月28日 (2016.1.28)</p> <p>(65) 公開番号 特開2017-131947 (P2017-131947A)</p> <p>(43) 公開日 平成29年8月3日 (2017.8.3)</p> <p>審査請求日 平成31年1月10日 (2019.1.10)</p> <p>審判番号 不服2021-3009 (P2021-3009/J1)</p> <p>審判請求日 令和3年3月5日 (2021.3.5)</p> <p>早期審理対象出願</p>	<p>(73) 特許権者 000236436 浜松ホトニクス株式会社 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1</p> <p>(74) 代理人 100088155 弁理士 長谷川 芳樹</p> <p>(74) 代理人 100113435 弁理士 黒木 義樹</p> <p>(74) 代理人 100140442 弁理士 柴山 健一</p> <p>(74) 代理人 100165526 弁理士 阿部 寛</p> <p>(72) 発明者 奥間 惇治 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</p>
---	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザ出力装置及びレーザ加工装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

レーザ光を出射するレーザ光源と、
前記レーザ光源から出射された前記レーザ光の出力を調整する出力調整部と、
前記出力調整部を通過した前記レーザ光を外部に出射するミラーユニットと、
前記レーザ光源、前記出力調整部及び前記ミラーユニットが配置された主面を有し、レーザ加工装置の装置フレームに対して着脱可能な取付ベースと、を備え、
前記レーザ光源から前記出力調整部を介して前記ミラーユニットに至る前記レーザ光の光路は、前記主面に平行な平面に沿うように設定されており、
前記ミラーユニットは、前記レーザ光の光軸を調整するために位置調整及び反射面の角度調整が可能なミラーを有し、前記平面と直交する方向に沿って前記レーザ光を平行光として外部に出射する、レーザ出力装置。

【請求項2】

前記出力調整部は、前記レーザ光源から出射された前記レーザ光の偏光方向を調整する、請求項1記載のレーザ出力装置。

【請求項3】

前記出力調整部は、
前記レーザ光源から出射された前記レーザ光が前記平面に平行な第1軸線に沿って入射する / 2波長板と、
前記第1軸線を中心線として前記 / 2波長板が回転可能となるように、前記 / 2波

長板を保持する第 1 ホルダと、

前記 / 2 波長板を通過した前記レーザ光が前記平面に平行な第 2 軸線に沿って入射する偏光部材と、

前記第 2 軸線を中心線として前記偏光部材が回転可能となるように、前記偏光部材を保持する第 2 ホルダと、を有する、請求項 2 記載のレーザ出力装置。

【請求項 4】

前記第 2 軸線を中心線として前記偏光部材と一体で回転可能となるように前記第 2 ホルダに保持され、前記偏光部材を透過することで前記第 2 軸線上から外れた前記レーザ光の光軸を前記第 2 軸線上に戻す光路補正部材を更に備える、請求項 3 記載のレーザ出力装置。

10

【請求項 5】

前記第 1 軸線と前記第 2 軸線とは、互いに一致している、請求項 3 又は 4 記載のレーザ出力装置。

【請求項 6】

前記ミラーユニットは、支持ベースと、前記ミラーである第 1 ミラー及び第 2 ミラーと、を有し、

前記支持ベースは、位置調整可能となるように、前記取付ベースに取り付けられており、

前記第 1 ミラーは、角度調整可能となるように前記支持ベースに取り付けられ、前記出力調整部を通過した前記レーザ光を前記平面に平行な方向に沿って反射し、

20

前記第 2 ミラーは、角度調整可能となるように前記支持ベースに取り付けられ、前記第 1 ミラーによって反射された前記レーザ光を前記平面と直交する前記方向に沿って反射する、請求項 1 ~ 5 のいずれか一項記載のレーザ出力装置。

【請求項 7】

前記出力調整部から前記ミラーユニットに至る前記レーザ光の光路上に配置され、前記レーザ光の径を調整しつつ前記レーザ光を平行化するレーザ光平行化部を更に備える、請求項 1 ~ 6 のいずれか一項記載のレーザ出力装置。

【請求項 8】

前記レーザ光源から前記出力調整部に至る前記レーザ光の光路上に配置され、前記レーザ光の光路を開閉するシャッタを更に備え、

30

前記レーザ光源は、前記レーザ光の出力の ON / OFF を切り替える機能を有する、請求項 1 ~ 7 のいずれか一項記載のレーザ出力装置。

【請求項 9】

請求項 1 ~ 8 のいずれか一項記載のレーザ出力装置と、

前記取付ベースを介して前記レーザ出力装置が取り付けられた装置フレームと、

加工対象物を支持する支持部と、

前記レーザ出力装置に対して前記平面と直交する前記方向に沿って移動可能となるように前記装置フレームに取り付けられたレーザ集光部と、を備え、

前記レーザ集光部は、前記加工対象物の内部に前記レーザ光を集光する集光光学系を有し、

40

前記ミラーユニットからの前記レーザ光の出射方向は、前記レーザ集光部の移動方向に一致している、レーザ加工装置。

【請求項 10】

前記レーザ集光部は、前記集光光学系が取り付けられた筐体を更に有し、

前記筐体には、前記ミラーユニットから出射された前記レーザ光を前記筐体内に入射させる光入射部が設けられている、請求項 9 記載のレーザ加工装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーザ加工装置に用いられるレーザ出力装置に関する。

50

【背景技術】

【0002】

特許文献1には、ワークを保持する保持機構と、保持機構に保持されたワークにレーザー光を照射するレーザー照射機構と、を備えるレーザー加工装置が記載されている。このレーザー加工装置のレーザー照射機構においては、レーザー発振器から集光レンズに至るレーザー光の光路上に配置された各構成が1つの筐体内に配置されており、その筐体が、レーザー加工装置の基台に立設された壁部に固定されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特許第5456510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、加工対象物の仕様、加工条件等に応じて、加工に適したレーザー光の波長が異なる場合がある。そのような場合に、レーザー光源を含む部分をレーザー加工装置に対して容易に着脱することができると、極めて有効である。

【0005】

本発明は、レーザー加工装置に対して容易に着脱することができるレーザー出力装置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】

本発明のレーザー出力装置は、レーザー光を出射するレーザー光源と、レーザー光源から出射されたレーザー光の出力を調整する出力調整部と、出力調整部を通過したレーザー光を外部に出射するミラーユニットと、レーザー光源、出力調整部及びミラーユニットが配置された主面を有する取付ベースと、を備え、レーザー光源から出力調整部を介してミラーユニットに至るレーザー光の光路は、主面に平行な平面に沿うように設定されており、ミラーユニットは、レーザー光の光軸を調整するためのミラーを有し、平面と交差する方向に沿ってレーザー光を外部に出射する。

【0007】

このレーザー出力装置では、レーザー光源、出力調整部及びミラーユニットが取付ベースの主面に配置されている。これにより、例えばレーザー加工装置の装置フレームに対して取付ベースを着脱することで、レーザー加工装置に対してレーザー出力装置を容易に着脱することができる。また、レーザー光源から出力調整部を介してミラーユニットに至るレーザー光の光路が、取付ベースの主面に平行な平面に沿うように設定されており、ミラーユニットが、当該平面と交差する方向に沿ってレーザー光を外部に出射する。これにより、例えばレーザー光の出射方向が鉛直方向に沿っている場合、レーザー出力装置が低背化されるので、レーザー加工装置に対してレーザー出力装置を容易に着脱することができる。更に、ミラーユニットが、レーザー光の光軸を調整するためのミラーを有している。これにより、例えばレーザー加工装置の装置フレームにレーザー出力装置を取り付けた際に、レーザー加工装置側に設けられたレーザー集光部（加工対象物に対してレーザー光を集光する集光光学系を少なくとも備える構成）に入射するレーザー光の光軸の位置及び角度を調整することができる。以上により、このレーザー出力装置は、レーザー加工装置に対して容易に着脱することができる。

【0008】

本発明のレーザー出力装置では、ミラーユニットは、平面と直交する方向に沿ってレーザー光を外部に出射してもよい。これにより、ミラーユニットにおけるレーザー光の光軸の調整を容易化することができる。

【0009】

本発明のレーザー出力装置では、出力調整部は、レーザー光源から出射されたレーザー光の偏光方向を調整してもよい。これにより、例えばレーザー加工装置の装置フレームにレーザー出

10

20

30

40

50

力装置を取り付けた際に、レーザ加工装置側に設けられたレーザ集光部に入射するレーザ光の偏光方向、延いてはレーザ集光部から出射されるレーザ光の偏光方向を調整することができる。

【0010】

本発明のレーザ出力装置では、出力調整部は、レーザ光源から出射されたレーザ光が平面に平行な第1軸線に沿って入射する $\lambda/2$ 波長板と、第1軸線を中心線として $\lambda/2$ 波長板が回転可能となるように、 $\lambda/2$ 波長板を保持する第1ホルダと、 $\lambda/2$ 波長板を通過したレーザ光が平面に平行な第2軸線に沿って入射する偏光部材と、第2軸線を中心線として偏光部材が回転可能となるように、偏光部材を保持する第2ホルダと、を有してもよい。これにより、レーザ光源から出射されたレーザ光の出力及び偏光方向を簡易な構成で調整することができる。更に、このような出力調整部をレーザ出力装置が備えることで、レーザ光源から出射されるレーザ光の波長に応じた $\lambda/2$ 波長板及び偏光部材を用いることができる。

10

【0011】

本発明のレーザ出力装置は、第2軸線を中心線として偏光部材と一体で回転可能となるように第2ホルダに保持され、偏光部材を透過することで第2軸線上から外れたレーザ光の光軸を第2軸線上に戻す光路補正部材を更に備えてもよい。これにより、偏光部材を透過することによるレーザ光の光路のずれを補正することができる。

【0012】

本発明のレーザ出力装置では、第1軸線と第2軸線とは、互いに一致していてもよい。これにより、装置の簡易化及び小型化を図ることができる。

20

【0013】

本発明のレーザ出力装置では、ミラーユニットは、支持ベースと、ミラーである第1ミラー及び第2ミラーと、を有し、支持ベースは、位置調整可能となるように、取付ベースに取り付けられており、第1ミラーは、角度調整可能となるように支持ベースに取り付けられ、出力調整部を通過したレーザ光を平面に平行な方向に沿って反射し、第2ミラーは、角度調整可能となるように支持ベースに取り付けられ、第1ミラーによって反射されたレーザ光を平面と交差する方向に沿って反射してもよい。これにより、例えばレーザ加工装置の装置フレームにレーザ出力装置を取り付けた際に、レーザ加工装置側に設けられたレーザ集光部に入射するレーザ光の光軸の位置及び角度をより精度良く調整することができる。しかも、支持ベースを取付ベースに対して位置調整することで、第1ミラー及び第2ミラーを一体で容易に位置調整することができる。

30

【0014】

本発明のレーザ出力装置は、出力調整部からミラーユニットに至るレーザ光の光路上に配置され、レーザ光の径を調整しつつレーザ光を平行化するレーザ光平行化部を更に備えてもよい。これにより、例えば、レーザ出力装置に対して、レーザ加工装置側に設けられたレーザ集光部が移動する場合にも、レーザ集光部に入射するレーザ光の状態を一定に維持することができる。

【0015】

本発明のレーザ出力装置は、レーザ光源から出力調整部に至るレーザ光の光路上に配置され、レーザ光の光路を開閉するシャッタを更に備え、レーザ光源は、レーザ光の出力のON/OFFを切り替える機能を有してもよい。これにより、レーザ出力装置からのレーザ光の出力のON/OFFの切り替えを、レーザ光源でのレーザ光の出力のON/OFFの切り替えによって実施することができる。加えて、シャッタによって、例えばレーザ出力装置からレーザ光が不意に出射されることを防止することができる。

40

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、レーザ加工装置に対して容易に着脱することができるレーザ出力装置を提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

50

【 0 0 1 7 】

【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。

10

【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 9 のレーザ出力部における $\lambda/2$ 波長板ユニット及び偏光板ユニットの光学的配置関係を示す図である。

【図 15】(a) は図 9 のレーザ出力部の $\lambda/2$ 波長板ユニットにおける偏光方向を示す図であり、(b) は図 9 のレーザ出力部の偏光板ユニットにおける偏光方向を示す図である。

20

【図 16】図 11 のレーザ集光部における反射型空間光変調器、4 f 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 17】図 16 の 4 f レンズユニットの移動による共役点の移動を示す図である。

【図 18】一体化された $\lambda/2$ 波長板ユニット及び偏光板ユニットの斜視図である。

【図 19】図 18 の Z X 平面に沿っての $\lambda/2$ 波長板ユニット及び偏光板ユニットの断面図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 8 】

以下、本発明の実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。なお、各図において同一又は相当部分には同一符号を付し、重複する説明を省略する。

30

【 0 0 1 9 】

実施形態に係るレーザ出力装置であるレーザ出力部を備えるレーザ加工装置（後述）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。

【 0 0 2 0 】

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。

40

【 0 0 2 1 】

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

50

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 1 1 1 を移動させたが、集光用レンズ 1 0 5 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。

【 0 0 2 2 】

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。

10

【 0 0 2 3 】

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 の内部に形成されていればよい。また、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。

20

【 0 0 2 4 】

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 に改質領域 7 を形成する場合には、レーザ光 L は、表面 3 に位置する集光点 P 近傍にて特に吸収され、表面 3 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）。

30

【 0 0 2 5 】

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。

40

【 0 0 2 6 】

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（G a N）、シリコン（S i）、シリコンカーバイド（S i C）、L i T a O₃、及び、サファイア（A l₂ O₃）の少なくとも何れかで形成された基板を

50

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。

【0027】

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り改質領域 7 となる。改質スポットとは、パルスレーザー光の 1 パルスのショット（つまり 1 パルスのレーザー照射：レーザーショット）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ー加工装置]

【0028】

次に、実施形態に係るレーザー出力装置であるレーザー出力部を備えるレーザー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。

[レーザー加工装置の全体構成]

【0029】

図 7 に示されるように、レーザー加工装置 200 は、装置フレーム 210 と、第 1 移動機構 220 と、支持台（支持部）230 と、第 2 移動機構 240 と、を備えている。更に、レーザー加工装置 200 は、レーザー出力部（レーザー出力装置）300 と、レーザー集光部 400 と、制御部 500 と、を備えている。

【0030】

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。

【0031】

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、レーザー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。

【0032】

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。

【0033】

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。

10

【0034】

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。

【0035】

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。

20

【0036】

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される。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。

【0037】

30

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される。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。

【0038】

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。

40

【0039】

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

50

発振器（レーザ光源）310と、シャッタ320と、 $\lambda/2$ 波長板ユニット（出力調整部、偏光方向調整部）330と、偏光板ユニット（出力調整部、偏光方向調整部）340と、ビームエキスパンダ（レーザ光平行化部）350と、ミラーユニット360と、を有している。

【0040】

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、 $\lambda/2$ 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、 $\lambda/2$ 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。

10

【0041】

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、 $\lambda/2$ 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。

20

【0042】

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。

30

【0043】

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。

40

【0044】

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 $\lambda/2$ 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。

【0045】

$\lambda/2$ 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

50

)を調整する出力調整部として機能する。また、 $\lambda/2$ 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。これらの詳細については後述する。 $\lambda/2$ 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。

【0046】

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。

【0047】

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。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。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(集光光学系)430と、駆動機構440と、一对の測距センサ(第1センサ及び第2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

10

20

30

40

50

に沿って移動させられても、Z軸方向に沿ってミラー402に入射するレーザー光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ー光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、レーザー光Lを変調しつつ、レーザー光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ー光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は、鋭角(例えば、 $10 \sim 60^\circ$)とされている。つまり、レーザー光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、レーザー光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(第1レンズ系、結像光学系)422と、集光レンズユニット430側のレンズ(第2レンズ系、結像光学系)423と、スリット部材424と、を有している。ホルダ421は、一对のレンズ422, 423及びスリット部材424を保持している。ホルダ421は、レーザー光Lの光軸に沿った方向における一对のレンズ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。一对のレンズ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。これにより、反射型空間光変調器410の反射面410aでのレーザー光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ー光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ー光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を通過したレーザー光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。

【0053】

ダイクロイックミラー403は、レーザー光Lの大部分(例えば、 $95 \sim 99.5\%$)をZ軸方向に反射し、レーザー光Lの一部(例えば、 $0.5 \sim 5\%$)をY軸方向に沿って透過させる。レーザー光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ー光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。

【0054】

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)に対してレーザー光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。

【0055】

一对の測距センサ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

10

20

30

40

50

するように、筐体 401 の端部 401 d 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。

【0056】

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 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 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 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。

【0057】

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、レーザ光 L の強度分布モニタ用のカメラ 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 430 a とカメラ 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 430 a でのレーザ光 L の像が、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 430 a 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、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。

【0058】

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。

【0059】

複数のビームスプリッタ 461, 471 は、筐体 401 の端部 401 d 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、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

10

20

30

40

50

い。

【 0 0 6 0 】

図 1 2 及び図 1 3 に示されるように、レーザ集光部 4 0 0 は、可視光源 4 8 1 と、複数のレンズ 4 8 2 と、レチクル 4 8 3 と、ミラー 4 8 4 と、ハーフミラー 4 8 5 と、ビームスプリッタ 4 8 6 と、レンズ 4 8 7 と、観察カメラ 4 8 8 と、を有している。可視光源 4 8 1 は、Z 軸方向に沿って可視光 V を出射する。複数のレンズ 4 8 2 は、可視光源 4 8 1 から出射された可視光 V を平行化する。レチクル 4 8 3 は、可視光 V に目盛り線を付与する。ミラー 4 8 4 は、複数のレンズ 4 8 2 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 4 8 5 は、ミラー 4 8 4 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 4 8 5 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 4 8 6 及びダイクロイックミラー 4 0 3 を順次透過し、集光レンズユニット 4 3 0 を介して、支持台 2 3 0 に支持された加工対象物 1 (図 7 参照) に照射される。

10

【 0 0 6 1 】

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 4 3 0 を介してダイクロイックミラー 4 0 3 に入射し、Z 軸方向に沿ってダイクロイックミラー 4 0 3 を透過する。ビームスプリッタ 4 8 6 は、ダイクロイックミラー 4 0 3 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 4 8 6 を透過した可視光 V は、ハーフミラー 4 8 5 を透過し、Z 軸方向に沿ってレンズ 4 8 7 及び観察カメラ 4 8 8 に順次入射する。レンズ 4 8 7 は、入射した可視光 V を観察カメラ 4 8 8 の撮像面上に集光する。レーザ加工装置 2 0 0 では、観察カメラ 4 8 8 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。

20

【 0 0 6 2 】

ミラー 4 8 4 、ハーフミラー 4 8 5 及びビームスプリッタ 4 8 6 は、筐体 4 0 1 の端部 4 0 1 d 上に取り付けられたホルダ 4 0 7 内に配置されている。複数のレンズ 4 8 2 及びレチクル 4 8 3 は、Z 軸方向に沿ってホルダ 4 0 7 上に立設された筒体 4 0 8 内に配置されており、可視光源 4 8 1 は、筒体 4 0 8 の端部に配置されている。レンズ 4 8 7 は、Z 軸方向に沿ってホルダ 4 0 7 上に立設された筒体 4 0 9 内に配置されており、観察カメラ 4 8 8 は、筒体 4 0 9 の端部に配置されている。筒体 4 0 8 と筒体 4 0 9 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 4 8 5 を透過した可視光 V 、及びビームスプリッタ 4 8 6 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 4 0 7 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。

30

【 0 0 6 3 】

レーザ加工装置 2 0 0 では、レーザ出力部 3 0 0 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 3 0 0 が用意される。ここでは、出射するレーザ光 L の波長が 5 0 0 ~ 5 5 0 nm の波長帯に含まれるレーザ出力部 3 0 0 、出射するレーザ光 L の波長が 1 0 0 0 ~ 1 1 5 0 nm の波長帯に含まれるレーザ出力部 3 0 0 、及び出射するレーザ光 L の波長が 1 3 0 0 ~ 1 4 0 0 nm の波長帯に含まれるレーザ出力部 3 0 0 が用意される。

40

【 0 0 6 4 】

一方、レーザ加工装置 2 0 0 では、レーザ集光部 4 0 0 の交換が想定されていない。これは、レーザ集光部 4 0 0 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 4 0 2 、反射型空間光変調器 4 1 0 、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 、ダイクロイックミラー 4 0 3 、及び集光レンズユニット 4 3 0 のレンズ 4 3 2 等がマルチ波長に対応している。ここでは、レーザ集光部 4 0 0 は、5 0 0 ~ 5 5 0 nm 、1 0 0 0 ~ 1 1 5 0 nm 及び 1 3 0 0 ~ 1 4 0 0 nm の波長帯に対応している。これは、レーザ集光部 4 0 0 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

50

部 4 0 0 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 3 0 0 において、
 / 2 波長板ユニット 3 3 0 は / 2 波長板を有しており、偏光板ユニット 3 4 0 は偏光
 板を有している。 / 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、
 / 2 波長板ユニット 3 3 0 及び偏光板ユニット 3 4 0 は、波長帯ごとに異なる構成
 としてレーザ出力部 3 0 0 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]

【 0 0 6 5 】

レーザ加工装置 2 0 0 では、支持台 2 3 0 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 1 1 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 4 1
 0 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 4 1 0 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 4 1 0 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 3 8 7 8 7 5 8 号公報参照）。一方、ダイクロイックミ
 ラー 4 0 3 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 4 0 3 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 4 0 3 の設計が容易となるからである。

【 0 0 6 6 】

したがって、レーザ集光部 4 0 0 では、ミラー 4 0 2 から反射型空間光変調器 4 1 0 及
 び f レンズユニット 4 2 0 を介してダイクロイックミラー 4 0 3 に至る光路が、X Y 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 4 0 3 から集光レンズユニット 4
 3 0 に至る光路が、Z 軸方向に沿うように設定されている。

【 0 0 6 7 】

図 9 に示されるように、レーザ出力部 3 0 0 では、レーザ光 L の光路が X 軸方向又は Y
 軸方向（主面 3 0 1 a に平行な平面）に沿うように設定されている。具体的には、レーザ
 発振器 3 1 0 からミラー 3 0 3 に至る光路、並びに、ミラー 3 0 4 から / 2 波長板ユニ
 ット 3 3 0、偏光板ユニット 3 4 0 及びビームエキスパンダ 3 5 0 を介してミラーユニッ
 ト 3 6 0 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 3 0 3 からシャッ
 タ 3 2 0 を介してミラー 3 0 4 に至る光路、及び、ミラーユニット 3 6 0 においてミラー
 3 6 2 からミラー 3 6 3 に至る光路が、Y 軸方向に沿うように設定されている。

【 0 0 6 8 】

ここで、Z 軸方向に沿ってレーザ出力部 3 0 0 からレーザ集光部 4 0 0 に進行したレー
 ザ光 L は、図 1 1 に示されるように、ミラー 4 0 2 によって X Y 平面に平行な方向に反射
 され、反射型空間光変調器 4 1 0 に入射する。このとき、X Y 平面に平行な平面内におい
 て、反射型空間光変調器 4 1 0 に入射するレーザ光 L の光軸と、反射型空間光変調器 4 1
 0 から出射されるレーザ光 L の光軸とは、鋭角である角度 をなしている。一方、上述し
 たように、レーザ出力部 3 0 0 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。

【 0 0 6 9 】

したがって、レーザ出力部 3 0 0 において、 / 2 波長板ユニット 3 3 0 及び偏光板ユ
 ニット 3 4 0 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。

[/ 2 波長板ユニット及び偏光板ユニット]

【 0 0 7 0 】

図 1 4 に示されるように、 / 2 波長板ユニット 3 3 0 は、ホルダ（第 1 ホルダ） 3 3
 1 と、 / 2 波長板 3 3 2 と、を有している。ホルダ 3 3 1 は、X 軸方向に平行な軸線（
 第 1 軸線）X L を中心線として / 2 波長板 3 3 2 が回転可能となるように、 / 2 波長
 板 3 3 2 を保持している。 / 2 波長板 3 3 2 は、その光学軸（例えば、fast 軸）に対し

10

20

30

40

50

て偏光方向が角度 θ だけ傾いてレーザ光 L が入射した場合に、軸線 X L を中心線として偏光方向を角度 2θ だけ回転させてレーザ光 L を出射する（図 15 の（a）参照）。

【0071】

偏光板ユニット 340 は、ホルダ（第 2 ホルダ）341 と、偏光板（偏光部材）342 と、光路補正板（光路補正部材）343 と、を有している。ホルダ 341 は、軸線（第 2 軸線）X L を中心線として偏光板 342 及び光路補正板 343 が一体で回転可能となるように、偏光板 342 及び光路補正板 343 を保持している。偏光板 342 の光入射面及び光出射面は、所定角度（例えば、ブリュスター角度）だけ傾いている。偏光板 342 は、レーザ光 L が入射した場合に、偏光板 342 の偏光軸に一致するレーザ光 L の P 偏光成分を透過させ、レーザ光 L の S 偏光成分を反射又は吸収する（図 15 の（b）参照）。光路補正板 343 の光入射面及び光出射面は、偏光板 342 の光入射面及び光出射面とは逆側に傾いている。光路補正板 343 は、偏光板 342 を透過することで軸線 X L 上から外れたレーザ光 L の光軸を軸線 X L 上に戻す。

10

【0072】

上述したように、レーザ集光部 400 では、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、鋭角である角度 θ をなしている（図 11 参照）。一方、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（図 9 参照）。

【0073】

20

そこで、偏光板ユニット 340 では、軸線 X L を中心線として偏光板 342 及び光路補正板 343 が一体で回転させられ、図 15 の（b）に示されるように、Y 軸方向に平行な方向に対して偏光板 342 の偏光軸が角度 θ だけ傾けられる。これにより、偏光板ユニット 340 から出射されるレーザ光 L の偏光方向が、Y 軸方向に平行な方向に対して角度 θ だけ傾く。その結果、反射型空間光変調器 410 においてレーザ光 L が P 偏光として反射されると共に、ダイクロイックミラー 403 においてレーザ光 L が S 偏光として反射され、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 の偏光方向が X 軸方向に平行な方向となる。

【0074】

また、図 15 の（b）に示されるように、偏光板ユニット 340 に入射するレーザ光 L の偏光方向が調整され、偏光板ユニット 340 から出射されるレーザ光 L の光強度が調整される。偏光板ユニット 340 に入射するレーザ光 L の偏光方向の調整は、 $\lambda/2$ 波長板ユニット 330 において軸線 X L を中心線として $\lambda/2$ 波長板 332 が回転させられ、図 15 の（a）に示されるように、 $\lambda/2$ 波長板 332 に入射するレーザ光 L の偏光方向（例えば、Y 軸方向に平行な方向）に対する $\lambda/2$ 波長板 332 の光学軸の角度が調整されることで、実施される。

30

【0075】

以上のように、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 は、レーザ光 L の出力を調整する出力調整部（上述した例では、出力減衰部）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している。

40

[4f レンズユニット]

【0076】

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 16 に示されるように、反射型空間光変調器 410 側のレンズ 422 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 f_1 となり、集光レンズユニット 430 側のレンズ 423 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 f_2 となり、レンズ 422 とレンズ 42

50

3 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 410 から集光レンズユニット 430 に至る光路のうち一对のレンズ 422, 423 間の光路は、一直線である。

【0077】

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、 $0.6 < M < 0.95$ 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 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 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。

10

【0078】

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 (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、 $1.05 < M < 1.7$ であることがより好ましい。

20

【0079】

4f レンズユニット 420 では、両側テレセントリック光学系の倍率 M が 1 ではないため、図 17 に示されるように、一对のレンズ 422, 423 が光軸に沿って移動すると、集光レンズユニット 430 側の共役点が移動する。具体的には、倍率 $M < 1$ (縮小系) の場合、一对のレンズ 422, 423 が光軸に沿って集光レンズユニット 430 側に移動すると、集光レンズユニット 430 側の共役点が反射型空間光変調器 410 の反対側に移動する。一方、倍率 $M > 1$ (拡大系) の場合、一对のレンズ 422, 423 が光軸に沿って反射型空間光変調器 410 側に移動すると、集光レンズユニット 430 側の共役点が反射型空間光変調器 410 の反対側に移動する。これにより、例えば集光レンズユニット 430 の取付位置にずれが生じた場合に、集光レンズユニット 430 の入射瞳面 430a に集光レンズユニット 430 側の共役点が位置合わせされる。4f レンズユニット 420 では、図 11 に示されるように、Y 軸方向に延在する複数の長穴 421a がホルダ 421 の底壁に形成されており、各長穴 421a を介したボルト止めによって、ホルダ 421 が筐体 401 の底面 401b に固定されている。これにより、光軸に沿った方向における一对のレンズ 422, 423 の位置調整は、筐体 401 の底面 401b に対するホルダ 421 の固定位置が Y 軸方向に沿って調整されることで、実施される。

30

40

[作用及び効果]

【0080】

レーザ出力部 300 は、レーザ光 L を出射するレーザ発振器 310 と、レーザ発振器 310 から出射されたレーザ光 L の出力を調整する / 2 波長板ユニット 330 及び偏光板ユニット 340 と、 / 2 波長板ユニット 330 及び偏光板ユニット 340 を通過したレーザ光 L を外部に出射するミラーユニット 360 と、レーザ発振器 310、 / 2 波長板ユニット 330 及び偏光板ユニット 340 並びにミラーユニット 360 が配置された主面 301a を有する取付ベース 301 と、を備える。レーザ発振器 310 から / 2 波長板ユニット 330 及び偏光板ユニット 340 を介してミラーユニット 360 に至るレーザ光

50

Lの光路は、主面301aに平行な平面に沿うように設定されている。ミラーユニット360は、レーザ光Lの光軸を調整するためのミラー362、363を有し、当該平面と交差する方向（Z軸方向）に沿ってレーザ光Lを外部に出射する。

【0081】

レーザ出力部300では、レーザ発振器310、 $\lambda/2$ 波長板ユニット330及び偏光板ユニット340並びにミラーユニット360が取付ベース301の主面301aに配置されている。これにより、レーザ加工装置200の装置フレーム210に対して取付ベース301を着脱することで、レーザ加工装置200に対してレーザ出力部300を容易に着脱することができる。また、レーザ発振器310から $\lambda/2$ 波長板ユニット330及び偏光板ユニット340を介してミラーユニット360に至るレーザ光Lの光路が、取付ベース301の主面301aに平行な平面に沿うように設定されており、ミラーユニット360が、当該平面と交差する方向に沿ってレーザ光Lを外部に出射する。これにより、例えばレーザ光Lの出射方向が鉛直方向に沿っている場合、レーザ出力部300が低背化されるので、レーザ加工装置200に対してレーザ出力部300を容易に着脱することができる。更に、ミラーユニット360が、レーザ光Lの光軸を調整するためのミラー362、363を有している。これにより、レーザ加工装置200の装置フレーム210にレーザ出力部300を取り付けた際に、レーザ集光部400に入射するレーザ光Lの光軸の位置及び角度を調整することができる。以上により、レーザ出力部300は、レーザ加工装置200に対して容易に着脱することができる。

10

【0082】

レーザ出力部300では、ミラーユニット360が、主面301aに平行な平面と直交する方向に沿ってレーザ光Lを外部に出射する。これにより、ミラーユニット360におけるレーザ光Lの光軸の調整を容易化することができる。

20

【0083】

レーザ出力部300では、 $\lambda/2$ 波長板ユニット330及び偏光板ユニット340が、レーザ発振器310から出射されたレーザ光Lの偏光方向を調整する。これにより、レーザ加工装置200の装置フレーム210にレーザ出力部300を取り付けた際に、レーザ集光部400に入射するレーザ光Lの偏光方向、延いてはレーザ集光部400から出射されるレーザ光Lの偏光方向を調整することができる。

【0084】

レーザ出力部300では、 $\lambda/2$ 波長板ユニット330及び偏光板ユニット340が、レーザ発振器310から出射されたレーザ光Lが軸線XL（主面301aに平行な軸線）に沿って入射する $\lambda/2$ 波長板332と、軸線XLを中心線として $\lambda/2$ 波長板332が回転可能となるように、 $\lambda/2$ 波長板332を保持するホルダ331と、 $\lambda/2$ 波長板332を通過したレーザ光Lが軸線XLに沿って入射する偏光板342と、軸線XLを中心線として偏光板342が回転可能となるように、偏光板342を保持するホルダ341と、を有する。これにより、レーザ発振器310から出射されたレーザ光Lの出力及び偏光方向を簡易な構成で調整することができる。更に、このような $\lambda/2$ 波長板ユニット330及び偏光板ユニット340をレーザ出力部300が備えることで、レーザ発振器310から出射されるレーザ光Lの波長に応じた $\lambda/2$ 波長板332及び偏光板342を用いることができる。

30

【0085】

レーザ出力部300は、軸線XLを中心線として偏光板342と一体で回転可能となるようにホルダ341に保持され、偏光板342を透過することで軸線XL上から外れたレーザ光Lの光軸を軸線XL上に戻す光路補正板343を更に備えている。これにより、偏光板342を透過することによるレーザ光Lの光路のずれを補正することができる。

40

【0086】

レーザ出力部300では、 $\lambda/2$ 波長板332が回転する軸線と、偏光板342が回転する軸線とが、軸線XLであり、互いに一致している。つまり、 $\lambda/2$ 波長板332及び偏光板342が同一の軸線XLを中心線として回転可能である。これにより、レーザ出力

50

部 300 の簡易化及び小型化を図ることができる。

【0087】

レーザ出力部 300 では、ミラーユニット 360 が、支持ベース 361 と、ミラー 362, 363 と、を有し、支持ベース 361 が、位置調整可能となるように、取付ベース 301 に取り付けられており、ミラー 362 が、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、 $\lambda/2$ 波長板ユニット 330 及び偏光板ユニット 340 を通過したレーザ光 L を主面 301 a に平行な方向に沿って反射し、ミラー 363 が、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、ミラー 362 によって反射されたレーザ光 L を主面 301 a と交差する方向に沿って反射する。これにより、レーザ加工装置 200 の装置フレーム 210 にレーザ出力部 300 を取り付けた際に、レーザ集光部 400 に入射するレーザ光 L の光軸の位置及び角度をより精度良く調整することができる。しかも、支持ベース 361 を取付ベース 301 に対して位置調整することで、ミラー 362, 363 を一体で容易に位置調整することができる。

10

【0088】

レーザ出力部 300 は、 $\lambda/2$ 波長板ユニット 330 及び偏光板ユニット 340 からミラーユニット 360 に至るレーザ光 L の光路上に配置され、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 を更に備える。これにより、レーザ出力部 300 に対してレーザ集光部 400 が移動する場合にも、レーザ集光部 400 に入射するレーザ光 L の状態を一定に維持することができる。

【0089】

レーザ出力部 300 は、レーザ発振器 310 から $\lambda/2$ 波長板ユニット 330 及び偏光板ユニット 340 に至るレーザ光 L の光路上に配置され、レーザ光 L の光路を開閉するシャッタ 320 を更に備える。これにより、レーザ出力部 300 からのレーザ光 L の出力の ON/OFF の切り替えを、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することができる。加えて、シャッタ 320 によって、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を防止することができる。

20

【0090】

また、レーザ加工装置 200 は、装置フレーム 210 と、装置フレーム 210 に取り付けられ、加工対象物 1 を支持する支持台 230 と、装置フレーム 210 に取り付けられたレーザ出力部 300 と、レーザ出力部 300 に対して移動可能となるように装置フレーム 210 に取り付けられたレーザ集光部 400 と、を備える。レーザ出力部 300 は、レーザ光 L を出射するレーザ発振器 310 を有する。レーザ集光部 400 は、レーザ光 L を変調しつつ反射する反射型空間光変調器 410 と、加工対象物 1 に対してレーザ光 L を集光する集光レンズユニット 430 と、反射型空間光変調器 410 の反射面 410 a と集光レンズユニット 430 の入射瞳面 430 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する一対のレンズ 422, 423 と、を有する。

30

【0091】

レーザ加工装置 200 では、反射型空間光変調器 410、集光レンズユニット 430 及び一対のレンズ 422, 423 を有するレーザ集光部 400 が、レーザ発振器 310 を有するレーザ出力部 300 に対して移動可能である。したがって、例えば、レーザ発振器 310 から集光レンズユニット 430 に至るレーザ光 L の光路上に配置された各構成の全体を移動させる場合に比べ、移動対象となるレーザ集光部 400 を軽量化することができ、レーザ集光部 400 を移動させるための第 2 移動機構 240 を小型化することができる。しかも、反射型空間光変調器 410、集光レンズユニット 430 及び一対のレンズ 422, 423 は一体として移動させられ、互いの位置関係が維持されるため、反射型空間光変調器 410 の反射面 410 a でのレーザ光 L の像を集光レンズユニット 430 の入射瞳面 430 a に精度良く転像することができる。よって、レーザ加工装置 200 によれば、装置の大型化を抑制しつつ、集光レンズユニット 430 側の構成を加工対象物 1 に対して移動させることができる。

40

【0092】

50

レーザ加工装置 200 では、レーザ出力部 300 からのレーザ光 L の出射方向 (Z 軸方向) が、レーザ集光部 400 の移動方向 (Z 軸方向) に一致している。これにより、レーザ出力部 300 に対してレーザ集光部 400 が移動しても、レーザ集光部 400 に入射するレーザ光 L の位置が変化することを抑制することができる。

【0093】

レーザ加工装置 200 では、レーザ出力部 300 が、レーザ光 L を平行化するビームエキスパンダ 350 を更に有する。これにより、レーザ出力部 300 に対してレーザ集光部 400 が移動しても、レーザ集光部 400 に入射するレーザ光 L の径が変化することを抑制することができる。なお、ビームエキスパンダ 350 によってレーザ光 L が完全な平行光とされず、例えばレーザ光 L の広がり角が多少あったとしても、反射型空間光変調器 410 においてレーザ光 L を平行化することができる。

10

【0094】

レーザ加工装置 200 では、レーザ集光部 400 が、反射型空間光変調器 410 から一对のレンズ 422, 423 を介して集光レンズユニット 430 に至るレーザ光 L の光路が内部に設定された筐体 401 を更に有し、筐体 401 に、レーザ出力部 300 から出射されたレーザ光 L を筐体 401 内に入射させる光入射部 401a が設けられている。これにより、反射型空間光変調器 410 から一对のレンズ 422, 423 を介して集光レンズユニット 430 に至るレーザ光 L の光路の状態を一定に維持しつつ、レーザ出力部 300 に対してレーザ集光部 400 を移動させることができる。

【0095】

20

レーザ加工装置 200 では、レーザ集光部 400 が、レーザ集光部 400 の移動方向 (Z 軸方向) において光入射部 401a と対向するように筐体 401 内に配置されたミラー 402 を更に有し、ミラー 402 が、光入射部 401a から筐体 401 内に入射したレーザ光 L を反射型空間光変調器 410 に向けて反射する。これにより、レーザ出力部 300 からレーザ集光部 400 に入射したレーザ光 L を反射型空間光変調器 410 に所望の角度で入射させることができる。

【0096】

レーザ加工装置 200 では、支持台 230 が、レーザ集光部 400 の移動方向 (Z 軸方向) に垂直な平面 (XY 平面) 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。これにより、加工対象物 1 に対して所望の位置にレーザ光 L の集光点を位置させることに加え、レーザ集光部 400 の移動方向に垂直な平面に平行な方向において、加工対象物 1 に対してレーザ光 L をスキャンすることができる。

30

【0097】

レーザ加工装置 200 では、支持台 230 が、第 1 移動機構 220 を介して装置フレーム 210 に取り付けられており、レーザ集光部 400 が、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。これにより、支持台 230 及びレーザ集光部 400 のそれぞれの移動を確実に実施することができる。

【0098】

また、レーザ加工装置 200 は、装置フレーム 210 と、装置フレーム 210 に取り付けられ、加工対象物 1 を支持する支持台 230 と、装置フレーム 210 に対して着脱可能であるレーザ出力部 300 と、装置フレーム 210 に取り付けられたレーザ集光部 400 と、を備える。レーザ出力部 300 は、レーザ光 L を出射するレーザ発振器 310 と、レーザ光 L の出力を調整する $\lambda/2$ 波長板ユニット 330 及び偏光板ユニット 340 と、を有する。レーザ集光部 400 は、レーザ光 L を変調しつつ反射する反射型空間光変調器 410 と、加工対象物 1 に対してレーザ光 L を集光する集光レンズユニット 430 と、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一对のレンズ 422, 423 と、を有する。

40

【0099】

レーザ加工装置 200 では、反射型空間光変調器 410、集光レンズユニット 430 及

50

び一对のレンズ422, 423を有するレーザー集光部400とは別体で、レーザー発振器310並びに / 2波長板ユニット330及び偏光板ユニット340を有するレーザー出力部300が装置フレーム210に対して着脱可能である。したがって、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ー光Lの波長が異なる場合には、所望の波長を有するレーザー光Lを出射するレーザー発振器310、並びに波長依存性を有する / 2波長板ユニット330及び偏光板ユニット340を纏めて交換することができる。よって、レーザー加工装置200によれば、レーザー光Lの波長が互いに異なる複数のレーザー発振器310を用いることができる。

【0100】

レーザー加工装置200では、レーザー出力部300が、レーザー発振器310並びに / 2波長板ユニット330及び偏光板ユニット340を支持し且つ装置フレーム210に対して着脱可能である取付ベース301を更に有し、レーザー出力部300が、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。これにより、装置フレーム210に対してレーザー出力部300を容易に着脱することができる。

10

【0101】

レーザー加工装置200では、レーザー出力部300が、レーザー出力部300から出射されるレーザー光Lの光軸を調整するためのミラー362, 363を更に有する。これにより、例えば装置フレーム210にレーザー出力部300を取り付けた際に、レーザー集光部400に入射するレーザー光Lの光軸の位置及び角度を調整することができる。

20

【0102】

レーザー加工装置200では、 / 2波長板ユニット330及び偏光板ユニット340が、レーザー光Lの偏光方向を調整する。これにより、例えば装置フレーム210にレーザー出力部300を取り付けた際に、レーザー集光部400に入射するレーザー光Lの偏光方向、延いてはレーザー集光部400から出射されるレーザー光Lの偏光方向を調整することができる。

【0103】

レーザー加工装置200では、 / 2波長板ユニット330及び偏光板ユニット340が、 / 2波長板332及び偏光板342を含んでいる。これにより、波長依存性を有する / 2波長板332及び偏光板342を、レーザー発振器310と纏めて交換することができる。

30

【0104】

レーザー加工装置200では、レーザー出力部300が、レーザー光Lの径を調整しつつレーザー光Lを平行化するビームエキスパンダ350を更に有する。これにより、例えばレーザー出力部300に対してレーザー集光部400が移動する場合にも、レーザー集光部400に入射するレーザー光Lの状態を一定に維持することができる。

【0105】

レーザー加工装置200では、反射型空間光変調器410、集光レンズユニット430及び一对のレンズ422, 423が、500~550nm、1000~1150nm及び1300~1400nmの波長帯に対応している。これにより、各波長帯のレーザー光Lを出射するレーザー出力部300をレーザー加工装置200に取り付けることができる。なお、500~550nmの波長帯のレーザー光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ー加工に適している。1000~1150nm及び1300~1400nmの各波長帯のレーザー光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ー加工に適している。

40

【0106】

また、レーザー加工装置200は、加工対象物1を支持する支持台230と、レーザー光Lを出射するレーザー発振器310と、レーザー光Lを変調しつつ反射する反射型空間光変調器410と、加工対象物1に対してレーザー光Lを集光する集光レンズユニット430と、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の入射端面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一对のレンズ422, 42

50

3と、を備える。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の光路のうち、少なくとも一对のレンズ422, 423を通過する(すなわち、反射型空間光変調器410側のレンズ422から集光レンズユニット430側のレンズ423に至る)レーザー光Lの光路は、一直線である。両側テレセントリック光学系の倍率Mは、 $0.5 < M < 1$ 又は $1 < M < 2$ を満たす。なお、レーザー加工装置200では、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、 $M = f_2 / f_1$ を満たす。

【0107】

レーザー加工装置200では、両側テレセントリック光学系の倍率Mが1ではない。これにより、一对のレンズ422, 423が光軸に沿って移動すると、集光レンズユニット430側の共役点が移動する。具体的には、倍率 $M < 1$ (縮小系)の場合、一对のレンズ422, 423が光軸に沿って集光レンズユニット430側に移動すると、集光レンズユニット430側の共役点が反射型空間光変調器410の反対側に移動する。一方、倍率 $M > 1$ (拡大系)の場合、一对のレンズ422, 423が光軸に沿って反射型空間光変調器410側に移動すると、集光レンズユニット430側の共役点が反射型空間光変調器410の反対側に移動する。したがって、例えば集光レンズユニット430の取付位置にずれが生じた場合に、集光レンズユニット430の入射瞳面430aに集光レンズユニット430側の共役点を位置合わせすることができる。しかも、少なくとも反射型空間光変調器410側のレンズ422から集光レンズユニット430側のレンズ423に至るレーザー光Lの光路が一直線であるため、一对のレンズ422, レンズ423を光軸に沿って容易に移動させることができる。よって、レーザー加工装置200によれば、反射型空間光変調器410の反射面410aでのレーザー光Lの像を集光レンズユニット430の入射瞳面430aに容易に且つ精度良く転像することができる。

【0108】

なお、 $0.5 < M < 1$ とすることで、反射型空間光変調器410の反射面410aでのレーザー光Lの有効径を大きくすることができ、高精細な位相パターンでレーザー光Lを変調することができる。一方、 $1 < M < 2$ とすることで、反射型空間光変調器410の反射面410aでのレーザー光Lの有効径を小さくすることができ、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を小さくすることができる。反射型空間光変調器410に対するレーザー光Lの入射角及び反射角を抑えることは、回折効率の低下を抑制して反射型空間光変調器410の性能を十分に発揮させる上で重要である。

【0109】

レーザー加工装置200では、倍率Mが、 $0.6 \leq M \leq 0.95$ を満たしてもよい。これにより、上述した $0.5 < M < 1$ とした場合に奏される効果を維持しつつ、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より確実に抑制することができる。

【0110】

レーザー加工装置200では、倍率Mが、 $1.05 \leq M \leq 1.7$ を満たしてもよい。これにより、上述した $1 < M < 2$ とした場合に奏される効果を維持しつつ、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より確実に抑制することができる。

【0111】

レーザー加工装置200では、一对のレンズ422, 423が、ホルダ421に保持されており、ホルダ421が、レーザー光Lの光軸に沿った方向における一对のレンズ422, 423の互いの位置関係を一定に維持しており、レーザー光Lの光軸に沿った方向(Y軸方向)における一对のレンズ422, 423の位置調整が、ホルダ421の位置調整によって実施される。これにより、一对のレンズ422, 423の互いの位置関係を一定に維持しつつ、一对のレンズ422, 423の位置調整(延いては共役点の位置調整)を容易に且つ確実に実施することができる。

10

20

30

40

50

【 0 1 1 2 】

また、レーザ加工装置 2 0 0 は、加工対象物 1 を支持する支持台 2 3 0 と、レーザ光 L を出射するレーザ発振器 3 1 0 と、レーザ光 L を変調しつつ反射する反射型空間光変調器 4 1 0 と、加工対象物 1 に対してレーザ光 L を集光する集光レンズユニット 4 3 0 と、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する一対のレンズ 4 2 2 , 4 2 3 と、一対のレンズ 4 2 2 , 4 2 3 を通過したレーザ光 L を集光レンズユニット 4 3 0 に向けて反射するダイクロイックミラー 4 0 3 と、を備える。反射型空間光変調器 4 1 0 は、レーザ光 L を所定の平面（反射型空間光変調器 4 1 0 に対して入出射するレーザ光 L の光路を含む平面、XY 平面に平行な平面）に沿って鋭角に反射する。反射型空間光変調器 4 1 0 から一対のレンズ 4 2 2 , 4 2 3 を介してダイクロイックミラー 4 0 3 に至るレーザ光 L の光路は、当該平面に沿うように設定されている。ダイクロイックミラー 4 0 3 から集光レンズユニット 4 3 0 に至るレーザ光 L の光路は、当該平面と交差する方向（Z 軸方向）に沿うように設定されている。

10

【 0 1 1 3 】

レーザ加工装置 2 0 0 では、反射型空間光変調器 4 1 0 から一対のレンズ 4 2 2 , 4 2 3 を介してダイクロイックミラー 4 0 3 に至るレーザ光 L の光路が、所定の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 4 0 3 から集光レンズユニット 4 3 0 に至るレーザ光 L の光路が、当該平面と交差する方向に沿うように設定されている。これにより、例えば、反射型空間光変調器 4 1 0 にレーザ光 L を P 偏光として反射させ且つミラーにレーザ光 L を S 偏光として反射させることができる。これは、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 の像を集光レンズユニット 4 3 0 の入射瞳面 4 3 0 a に精度良く転像する上で重要である。更に、反射型空間光変調器 4 1 0 がレーザ光 L を鋭角に反射する。反射型空間光変調器 4 1 0 に対するレーザ光 L の入射角及び反射角を抑えることは、回折効率の低下を抑制して反射型空間光変調器 4 1 0 の性能を十分に発揮させる上で重要である。以上により、レーザ加工装置 2 0 0 によれば、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 の像を集光レンズユニット 4 3 0 の入射瞳面 4 3 0 a に精度良く転像することができる。

20

【 0 1 1 4 】

レーザ加工装置 2 0 0 では、ダイクロイックミラー 4 0 3 から集光レンズユニット 4 3 0 に至るレーザ光 L の光路が、上述した平面（XY 平面に平行な平面）と直交する方向に沿うように設定されており、ダイクロイックミラー 4 0 3 が、レーザ光 L を直角に反射する。これにより、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 に至るレーザ光 L の光路を直角に取り回すことができる。

30

【 0 1 1 5 】

レーザ加工装置 2 0 0 では、一対のレンズ 4 2 2 , 4 2 3 を通過したレーザ光 L を集光レンズユニット 4 3 0 に向けて反射するミラーが、ダイクロイックミラー 4 0 3 である。これにより、ダイクロイックミラー 4 0 3 を透過したレーザ光 L の一部を様々な用途に利用することができる。

【 0 1 1 6 】

レーザ加工装置 2 0 0 では、反射型空間光変調器 4 1 0 が、レーザ光 L を P 偏光として反射し、ダイクロイックミラー 4 0 3 が、レーザ光 L を S 偏光として反射する。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 の像を集光レンズユニット 4 3 0 の入射瞳面 4 3 0 a に精度良く転像することができる。

40

【 0 1 1 7 】

レーザ加工装置 2 0 0 は、レーザ発振器 3 1 0 から反射型空間光変調器 4 1 0 に至るレーザ光 L の光路上に配置され、レーザ光 L の偏光方向を調整する / 2 波長板ユニット 3 3 0 及び偏光板ユニット 3 4 0 を更に備える。これにより、反射型空間光変調器 4 1 0 がレーザ光 L を鋭角に反射することに備えてレーザ光 L の偏光方向を調整することができるので、レーザ発振器 3 1 0 から反射型空間光変調器 4 1 0 に至るレーザ光 L の光路を直角

50

に取り回すことができる。

【0118】

また、レーザ加工装置200は、加工対象物1を支持する支持台230と、レーザ光Lを出射するレーザ発振器310と、レーザ光Lを変調しつつ反射する反射型空間光変調器410と、加工対象物1に対してレーザ光Lを集光する集光レンズユニット430と、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の入射端面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一対のレンズ422, 423と、一対のレンズ422, 423を通過したレーザ光Lを集光レンズユニット430に向けて反射するダイクロイックミラー403と、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一方の測距センサ450と、を備える。ダイクロイックミラー403から集光レンズユニット430に至るレーザ光Lの光路は、第1方向(Z軸方向)に沿うように設定されている。反射型空間光変調器410から一対のレンズ422, 423を介してダイクロイックミラー403に至るレーザ光Lの光路は、第1方向に垂直な第2方向(Y軸方向)に沿うように設定されている。一方の測距センサ450は、第1方向及び第2方向に垂直な第3方向(X軸方向)において集光レンズユニット430の一方の側に配置されている。

10

【0119】

レーザ加工装置200では、集光レンズユニット430に対して一方の測距センサ450が相対的に先行するように、加工対象物1に対してレーザ光Lをスキャンすることで、加工対象物1の任意の箇所でのレーザ光入射面の変位データを、当該箇所にレーザ光Lが照射される前に取得することができる。これにより、例えば、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、加工対象物1に対してレーザ光Lをスキャンすることができる。更に、一方の測距センサ450が、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の光路が配置される平面(YZ平面に平行な平面)に対して一方の側に配置されている。つまり、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の光路上に配置された各構成に対して、一方の測距センサ450が効率良く配置されている。よって、レーザ加工装置200によれば、装置の大型化を抑制しつつ、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ことができる。

20

【0120】

レーザ加工装置200では、一対のレンズ422, 423を通過したレーザ光Lを集光レンズユニット430に向けて反射するミラーが、ダイクロイックミラー403である。これにより、ダイクロイックミラー403を透過したレーザ光Lの一部を様々な用途に利用することができる。

30

【0121】

レーザ加工装置200では、ダイクロイックミラー403が、レーザ光LをS偏光として反射する。これにより、第3方向(X軸方向)に沿って加工対象物1に対してレーザ光Lをスキャンすることで、レーザ光Lのスキャン方向とレーザ光Lの偏光方向とを互いに一致させることができる。例えば、切断予定ラインに沿って加工対象物1の内部に改質領域を形成する場合には、レーザ光Lのスキャン方向とレーザ光Lの偏光方向とを互いに一致させることで、改質領域を効率良く形成することができる。

40

【0122】

レーザ加工装置200は、少なくとも反射型空間光変調器410、集光レンズユニット430、一対のレンズ422, 423、ダイクロイックミラー403及び一方の測距センサ450を支持する筐体401と、第1方向(Z軸方向)に沿って筐体401を移動させる第2移動機構240と、を更に備える。集光レンズユニット430及び一方の測距センサ450は、第2方向(Y軸方向)における筐体401の端部401dに取り付けられている。第2移動機構240は、第3方向(X軸方向)における筐体401の一方の側面401eに取り付けられている。これにより、装置の大型化を抑制しつつ、反射型空間光変調器410、集光レンズユニット430、一対のレンズ422, 423、ダイクロイック

50

ミラー 403 及び一方の測距センサ 450 を一体として移動させることができる。

【0123】

レーザ加工装置 200 は、第 1 方向 (Z 軸方向) に沿って集光レンズユニット 430 を移動させる駆動機構 440 を更に備える。集光レンズユニット 430 は、駆動機構 440 を介して、第 2 方向 (Y 軸方向) における筐体 401 の端部 401d に取り付けられている。これにより、例えば、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、集光レンズユニット 430 を移動させることができる。

【0124】

レーザ加工装置 200 では、反射型空間光変調器 410 が、第 2 方向 (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。これにより、筐体 401 に対して各構成を効率良く配置することができる。

10

【0125】

レーザ加工装置 200 は、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他方の測距センサ 450 を更に備える。他方の測距センサ 450 は、第 3 方向 (X 軸方向) において集光レンズユニット 430 の他方の側に配置されている。これにより、集光レンズユニット 430 に対して一方の測距センサ 450 が相対的に先行するように、加工対象物 1 に対してレーザ光 L をスキャンする際には、一方の測距センサ 450 を用いてレーザ光入射面の変位データを取得することができる。一方、集光レンズユニット 430 に対して他方の測距センサ 450 が相対的に先行するように、加工対象物 1 に対してレーザ光 L をスキャンする際には、他方の測距センサ 450 を用いてレーザ光入射面の変位データを取得することができる。更に、一方の測距センサ 450 が、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 の光路が配置される平面 (YZ 平面に平行な平面) に対して一方の側に配置されており、他方の測距センサ 450 が、当該平面に対して他方の側に配置されている。これにより、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 の光路上に配置された各構成に対して、一对の測距センサ 450 を効率良く配置することができる。

20

[変形例]

【0126】

以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明は、上述した実施形態に限定されるものではない。

30

【0127】

例えば、図 18 及び図 19 に示されるように、 $\lambda/2$ 波長板ユニット 330 と偏光板ユニット 340 とが一体化されていてもよい。この場合、 $\lambda/2$ 波長板 332 を保持するホルダ 331 は、軸線 X_L を中心線として回転可能となるように、フレーム 370 の一方の端面に取り付けられている。偏光板 342 及び光路補正板 343 を保持するホルダ 341 は、軸線 X_L を中心線として回転可能となるように、フレーム 370 の他方の端面に取り付けられている。フレーム 370 は、取付ベース 301 の主面 301a に取り付けられている。なお、ホルダ 341 には、偏光板 342 によって反射されたレーザ光 L の S 偏光成分を吸収するダンパ 344 が設けられている。

40

【0128】

また、偏光板ユニット 340 に、偏光板 342 以外の偏光部材が設けられてもよい。一例として、偏光板 342 及び光路補正板 343 に替えて、キューブ状の偏光部材が用いられてもよい。キューブ状の偏光部材とは、直方体状の形状を呈する部材であって、当該部材において互いに対向する側面が光入射面及び光出射面とされ且つその間に偏光板の機能を有する層が設けられた部材である。

【0129】

また、 $\lambda/2$ 波長板 332 が回転する軸線と、偏光板 342 が回転する軸線とは、互いに一致していなくてもよい。

【0130】

また、レーザ出力部 300 は、レーザ出力部 300 から出射されるレーザ光 L の光軸を

50

調整するためのミラー 362, 363 を有していたが、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ミラーを少なくとも 1 つ有していればよい。

【0131】

また、反射型空間光変調器 410 の反射面 410 a と集光レンズユニット 430 の入射瞳面 430 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。

【0132】

また、レーザ集光部 400 においては、一对のレンズ 422, 423 を通過したレーザ光 L を集光レンズユニット 430 に向けて反射するミラーが、ダイクロイックミラー 403 であったが、当該ミラーは、全反射ミラーであってもよい。

10

【0133】

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 401 d 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 401 d 側に片寄って取り付けられていなければならない。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 401 c 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 401 c 側に片寄って取り付けられていなければならない。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。

20

【0134】

また、レーザ集光部 400 が装置フレーム 210 に固定されていてもよい。その場合、支持台 230 が、X 軸方向及び Y 軸方向に沿ってだけでなく Z 軸方向に沿っても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てもよい。

【0135】

また、本発明のレーザ加工装置は、加工対象物 1 の内部に改質領域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。

【符号の説明】

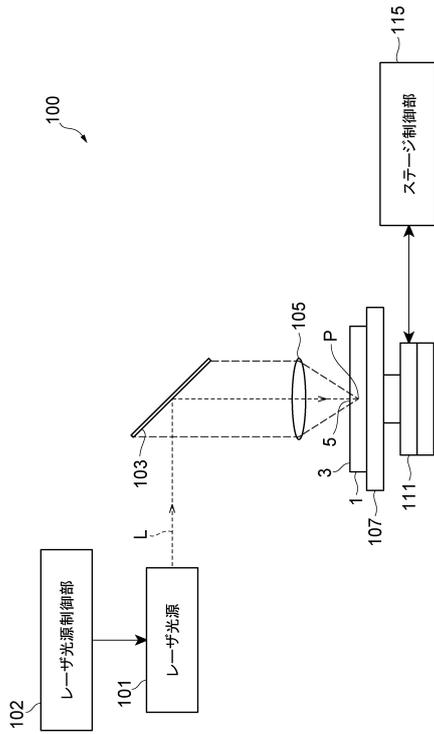
【0136】

1 ... 加工対象物、200 ... レーザ加工装置、210 ... 装置フレーム、220 ... 第 1 移動機構、230 ... 支持台（支持部）、240 ... 第 2 移動機構、300 ... レーザ出力部（レーザ出力装置）、301 ... 取付ベース、310 ... レーザ発振器（レーザ光源）、320 ... シャッタ、330 ... / 2 波長板ユニット（出力調整部、偏光方向調整部）、331 ... ホルダ（第 1 ホルダ）、332 ... / 2 波長板、340 ... 偏光板ユニット（出力調整部、偏光方向調整部）、341 ... ホルダ（第 2 ホルダ）、342 ... 偏光板（偏光部材）、343 ... 光路補正板（光路補正部材）、350 ... ビームエキスパンダ（レーザ光平行化部）、360 ... ミラーユニット、362 ... ミラー（第 1 ミラー）、363 ... ミラー（第 2 ミラー）、400 ... レーザ集光部、401 ... 筐体、401 a ... 光入射部、401 c ... 端部、401 d ... 端部、401 e ... 側面、402 ... ミラー、403 ... ダイクロイックミラー（ミラー）、410 ... 反射型空間光変調器、410 a ... 反射面、421 ... ホルダ、422 ... レンズ（第 1 レンズ系、結像光学系）、423 ... レンズ（第 2 レンズ系、結像光学系）、430 ... 集光レンズユニット（集光光学系）、440 ... 駆動機構、450 ... 測距センサ（第 1 センサ、第 2 センサ）、X L ... 軸線、L ... レーザ光。

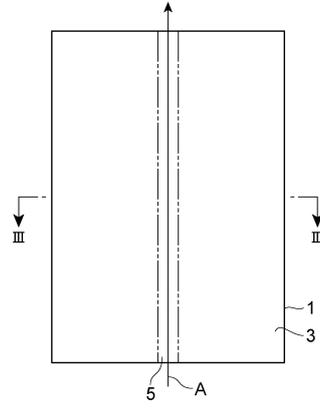
30

40

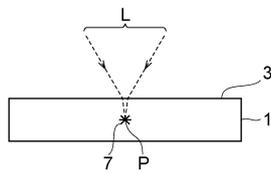
【図1】



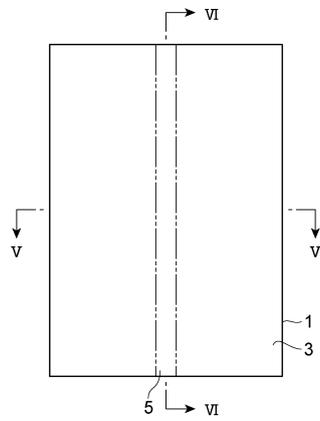
【図2】



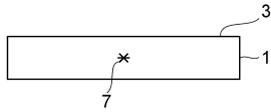
【図3】



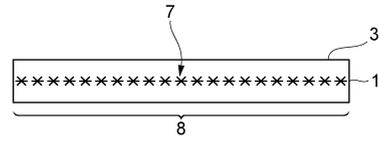
【図4】



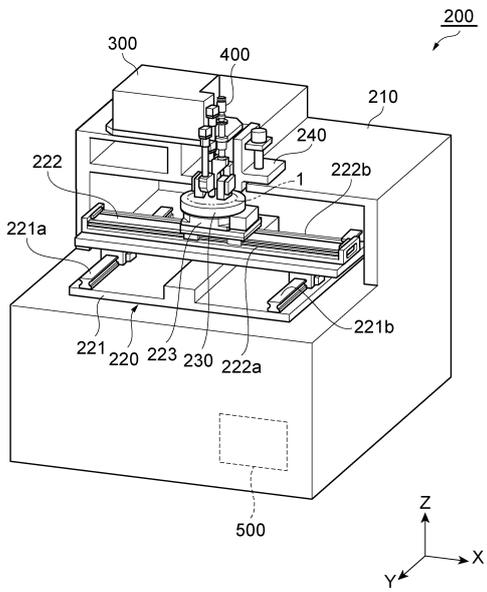
【図5】



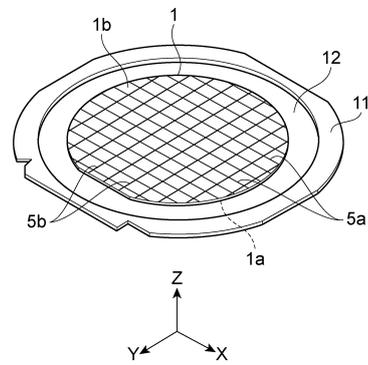
【図6】



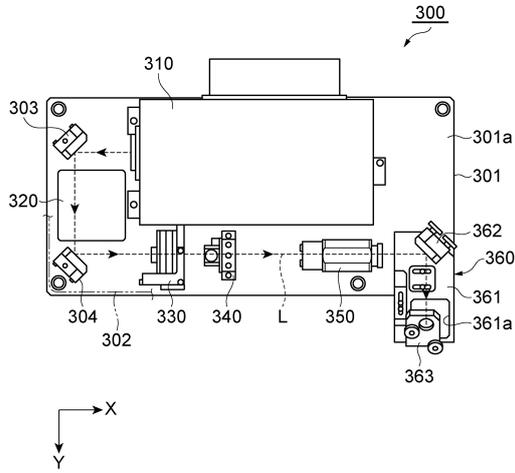
【図7】



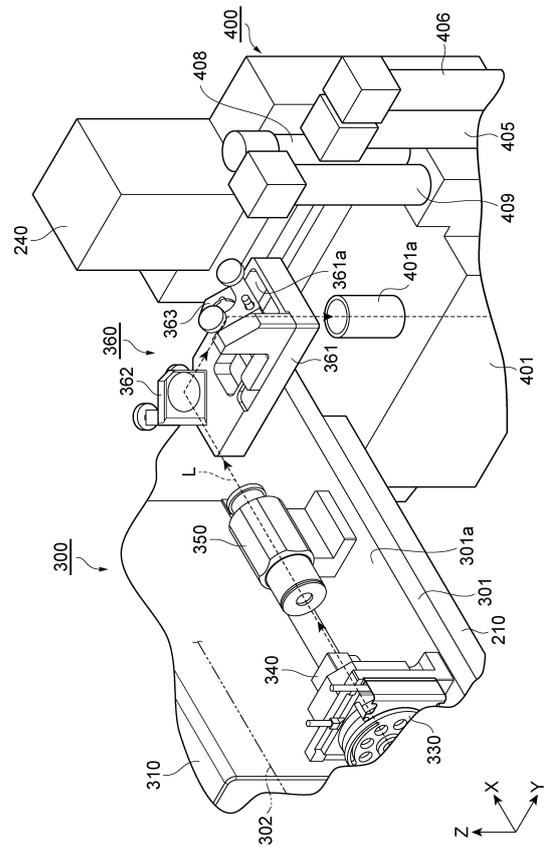
【図8】



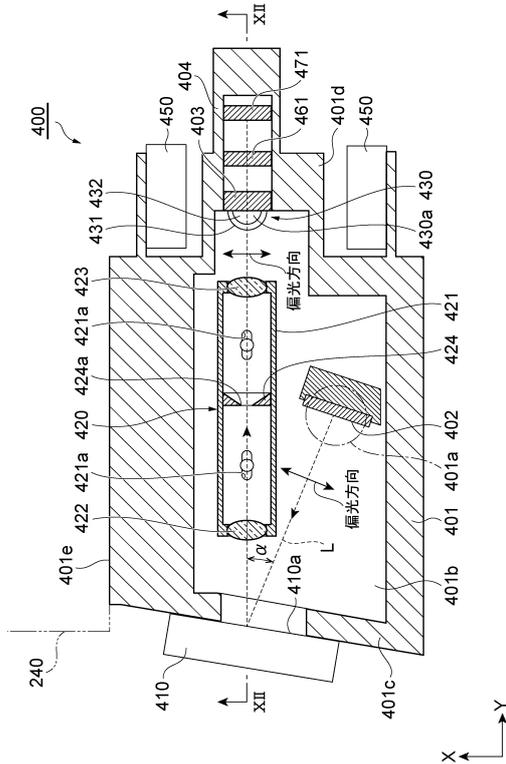
【 図 9 】



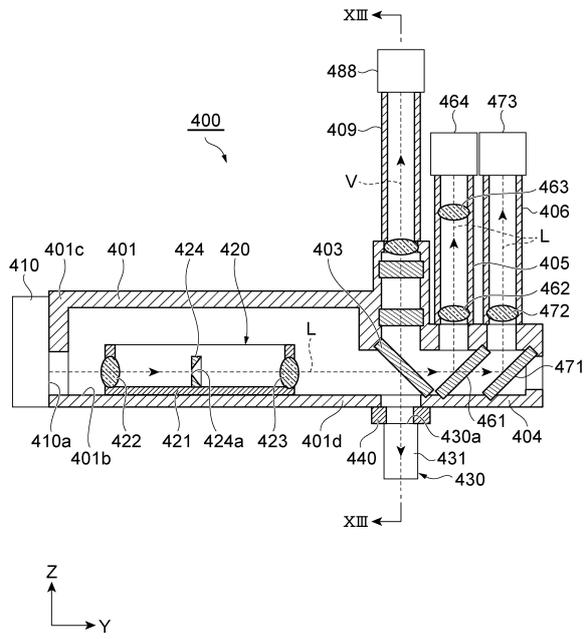
【 図 10 】



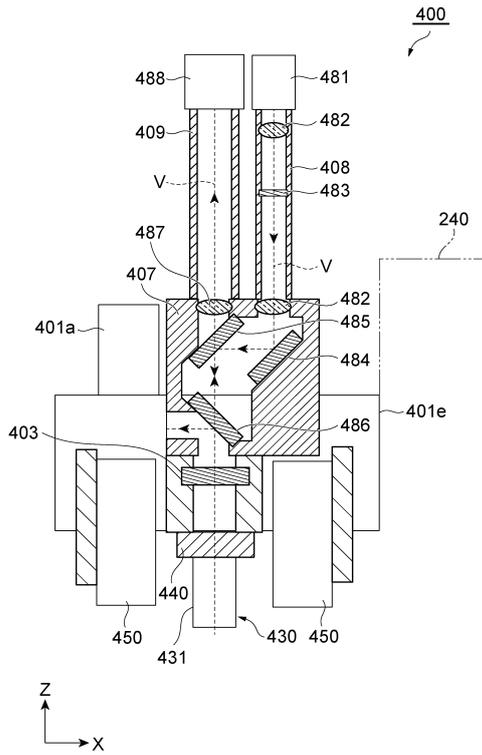
【 図 11 】



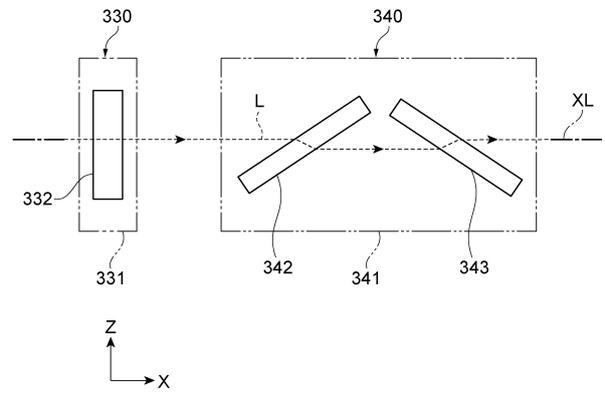
【 図 12 】



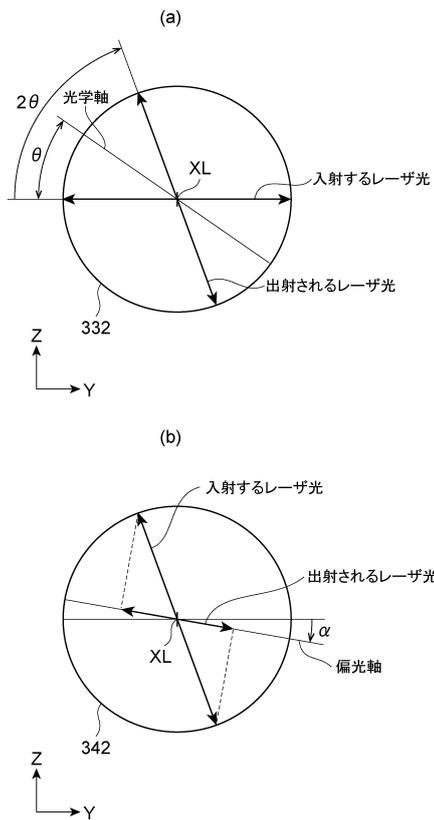
【図13】



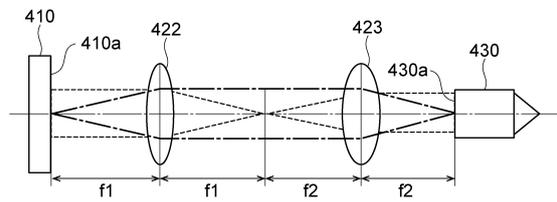
【図14】



【図15】

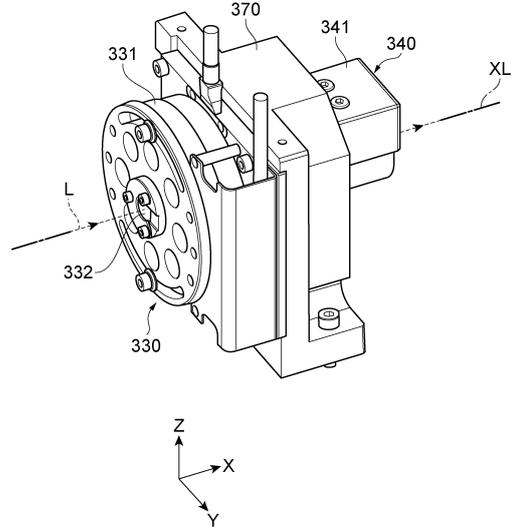
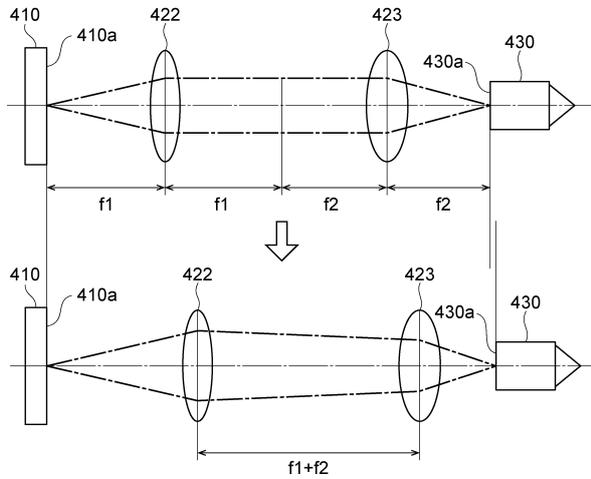


【図16】

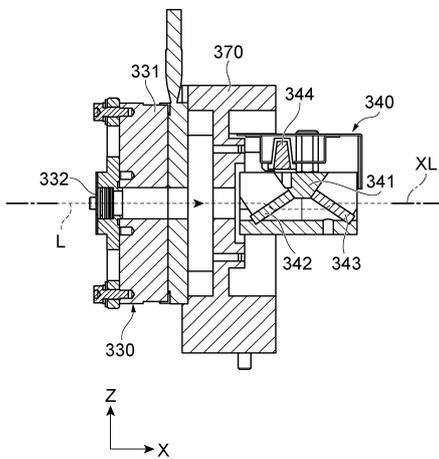


【 図 17 】

【 図 18 】



【 図 19 】



フロントページの続き

- (72)発明者 長尾 光洋
静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内
- (72)発明者 伊ヶ崎 泰則
静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内

合議体

- 審判長 刈間 宏信
審判官 大山 健
審判官 田々井 正吾

- (56)参考文献 特開 2 0 1 2 - 1 1 5 8 9 7 (J P , A)
特開 2 0 1 1 - 2 5 3 0 4 (J P , A)
特開 2 0 0 5 - 2 0 5 4 4 0 (J P , A)
特開 2 0 0 4 - 1 8 1 5 0 4 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

- B23K 26/70
B23K 26/02
B23K 26/064