

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7034621号
(P7034621)

(45)発行日 令和4年3月14日(2022.3.14)

(24)登録日 令和4年3月4日(2022.3.4)

(51)国際特許分類	F I
B 2 3 K 26/03 (2006.01)	B 2 3 K 26/03
B 2 3 K 26/064 (2014.01)	B 2 3 K 26/064 Z

請求項の数 5 (全32頁)

(21)出願番号	特願2017-143627(P2017-143627)	(73)特許権者	000236436 浜松ホトニクス株式会社
(22)出願日	平成29年7月25日(2017.7.25)		静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の
(65)公開番号	特開2019-25486(P2019-25486A)		1
(43)公開日	平成31年2月21日(2019.2.21)	(74)代理人	100088155 弁理士 長谷川 芳樹
審査請求日	令和2年7月7日(2020.7.7)	(74)代理人	100113435 弁理士 黒木 義樹
		(74)代理人	100140442 弁理士 柴山 健一
		(74)代理人	100156395 弁理士 荒井 寿王
		(72)発明者	奥間 惇治 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

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 レーザ加工装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

加工対象物を支持する支持部と、
 レーザ光を出射するレーザ光源と、
 前記レーザ光を変調しつつ反射する反射型空間光変調器と、
 前記加工対象物に対して前記レーザ光を集光する集光光学系と、
 前記反射型空間光変調器の反射面と前記集光光学系の入射瞳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する結像光学系と、
 前記結像光学系を通過した前記レーザ光を前記集光光学系に向けて反射するミラーと、
 前記集光光学系を介さずに前記レーザ光と別軸で第1測距用レーザ光を前記加工対象物に照射し、当該第1測距用レーザ光の反射光を受光することで、前記加工対象物のレーザ光入射面の変位データを取得する第1センサと、
 前記集光光学系を介して前記レーザ光と同軸で第2測距用レーザ光を前記加工対象物に照射し、当該第2測距用レーザ光の反射光を受光することで、前記レーザ光入射面の変位データを取得する第2センサと、を備え、
 前記ミラーから前記集光光学系に至る前記レーザ光の光路は、第1方向に沿うように設定されており、
 前記反射型空間光変調器から前記結像光学系を介して前記ミラーに至る前記レーザ光の光路は、前記第1方向に垂直な第2方向に沿うように設定され、
 前記第1センサは、前記第1方向及び前記第2方向に垂直な第3方向において前記集光光

学系の一方の側に配置されている、レーザ加工装置。

【請求項 2】

少なくとも前記反射型空間光変調器、前記集光光学系、前記結像光学系、前記ミラー及び前記第 1 センサを支持する筐体と、

前記第 1 方向に沿って前記筐体を移動させる移動機構と、を備え、

前記集光光学系及び前記第 1 センサは、前記第 2 方向における前記筐体の一方の端部側に取り付けられており、

前記移動機構は、前記第 3 方向における前記筐体の一方の側面に取り付けられている、請求項 1 に記載のレーザ加工装置。

【請求項 3】

前記第 1 センサを複数備え、

複数の前記第 1 センサのうちの一つは、前記第 3 方向において前記集光光学系の一方の側に配置され、

複数の前記第 1 センサのうち他の一つは、前記第 3 方向において前記集光光学系の他方の側に配置されている、請求項 1 又は 2 に記載のレーザ加工装置。

【請求項 4】

レーザ光を出射するレーザ光源と、

前記レーザ光を変調する空間光変調器と、

加工対象物に対して前記レーザ光を集光する集光光学系と、

前記集光光学系を介さずに前記レーザ光と別軸で第 1 測距用レーザ光を前記加工対象物に照射し、当該第 1 測距用レーザ光の反射光を受光することで、前記加工対象物のレーザ光入射面の変位データを取得する第 1 センサと、

前記集光光学系を介して前記レーザ光と同軸で第 2 測距用レーザ光を前記加工対象物に照射し、当該第 2 測距用レーザ光の反射光を受光することで、前記レーザ光入射面の変位データを取得する第 2 センサと、を備え、

前記第 1 センサは、前記集光光学系に対して、前記レーザ光のスキャン方向に離れて配置され、

前記加工対象物に前記レーザ光をスキャンする場合に、前記第 1 センサは、前記スキャン方向において前記集光光学系に対して相対的に先行する、レーザ加工装置。

【請求項 5】

前記集光光学系を光軸に沿って移動させる駆動機構と、

前記駆動機構の駆動を制御する制御部と、を備え、

前記制御部は、前記第 1 センサで取得した変位データ及び前記第 2 センサで取得した変位データの少なくとも何れかに基づいて、前記集光光学系が前記レーザ光入射面に追従するように前記駆動機構を駆動させる、請求項 1 ~ 4 の何れか一項に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、レーザ加工装置に関する。

【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光を照射するレーザ照射機構と、を備えるレーザ加工装置が記載されている。このレーザ加工装置では、レーザ発振器から集光レンズに至るレーザ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】

【文献】特許第 5 4 5 6 5 1 0 号公報

10

20

30

40

50

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0004】**

ところで、上述したようなレーザ加工装置は、測距用レーザ光を加工対象物に照射し、当該測距用レーザ光の反射光を受光することで、加工対象物のレーザ光入射面の変位データを取得するセンサを備える場合がある。このような場合、様々な要求に応じて変位データを精度よく取得できることが望まれる。また、このような場合においても、装置の大型化を抑制することは重要である。

【0005】

本発明は、装置の大型化を抑制しつつ、加工対象物のレーザ光入射面の変位データを様々な要求に応じて精度よく取得することができるレーザ加工装置を提供することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】**【0006】**

本発明に係るレーザ加工装置は、加工対象物を支持する支持部と、レーザ光を出射するレーザ光源と、レーザ光を変調しつつ反射する反射型空間光変調器と、加工対象物に対してレーザ光を集光する集光光学系と、反射型空間光変調器の反射面と集光光学系の入射端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する結像光学系と、結像光学系を通過したレーザ光を集光光学系に向けて反射するミラーと、集光光学系を介さずにレーザ光と別軸で第1測距用レーザ光を加工対象物に照射し、当該第1測距用レーザ光の反射光を受光することで、加工対象物のレーザ光入射面の変位データを取得する第1センサと、集光光学系を介してレーザ光と同軸で第2測距用レーザ光を加工対象物に照射し、当該第2測距用レーザ光の反射光を受光することで、レーザ光入射面の変位データを取得する第2センサと、を備え、ミラーから集光光学系に至るレーザ光の光路は、第1方向に沿うように設定されており、反射型空間光変調器から結像光学系を介してミラーに至るレーザ光の光路は、第1方向に垂直な第2方向に沿うように設定され、第1センサは、第1方向及び第2方向に垂直な第3方向において集光光学系の一方の側に配置されている。

20

【0007】

このレーザ加工装置は、集光光学系を介さずにレーザ光と別軸で第1測距用レーザ光を照射する第1センサと、集光光学系を介してレーザ光と同軸で第2測距用レーザ光を照射する第2センサと、の双方を、加工対象物のレーザ光入射面（以下、単に「レーザ光入射面」ともいう）の変位データを取得するセンサとして備える。これらの第1センサ及び第2センサはそれぞれ異なるアドバンテージを有することから、それぞれのアドバンテージをいいとこ取りするように適宜利用することで、変位データを様々な要求に応じて精度よく取得することが可能となる。また、第1センサは、反射型空間光変調器から集光光学系に至るレーザ光の光路が配置される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から集光光学系に至るレーザ光の光路上に配置された各構成に対して、第1センサが効率良く配置されている。したがって、本発明のレーザ加工装置によれば、装置の大型化を抑制しつつ、加工対象物のレーザ光入射面の変位データを様々な要求に応じて精度よく取得することが可能となる。

30

40

【0008】

本発明に係るレーザ加工装置は、少なくとも反射型空間光変調器、集光光学系、結像光学系、ミラー及び第1センサを支持する筐体と、第1方向に沿って筐体を移動させる移動機構と、を備え、集光光学系及び第1センサは、第2方向における筐体の一方の端部側に取り付けられており、移動機構は、第3方向における筐体の一方の側面に取り付けられていてもよい。この構成によれば、装置の大型化を抑制しつつ、反射型空間光変調器、集光光学系、結像光学系、ミラー及び第1センサを一体として移動させることができる。

【0009】

本発明に係るレーザ加工装置は、第1センサを複数備え、複数の第1センサのうちの一つは、第3方向において集光光学系の一方の側に配置され、複数の第1センサのうち他の

50

一つは、第3方向において集光光学系の他方の側に配置されていてもよい。この構成によれば、反射型空間光変調器から集光光学系に至るレーザー光の光路上に配置された各構成に対して、複数の第1センサを効率良く配置することができる。

【0010】

本発明に係るレーザー加工装置は、レーザー光を出射するレーザー光源と、レーザー光を変調する空間光変調器と、加工対象物に対してレーザー光を集光する集光光学系と、集光光学系を介さずレーザー光と別軸で第1測距用レーザー光を加工対象物に照射し、当該第1測距用レーザー光の反射光を受光することで、加工対象物のレーザー光入射面の変位データを取得する第1センサと、集光光学系を介してレーザー光と同軸で第2測距用レーザー光を加工対象物に照射し、当該第2測距用レーザー光の反射光を受光することで、レーザー光入射面の変位データを取得する第2センサと、を備える。

10

【0011】

このレーザー加工装置によれば、第1センサ及び第2センサはそれぞれ異なるアドバンテージを有することから、それぞれのアドバンテージをいいとこ取りするように適宜利用することで、変位データを様々な要求に応じて精度よく取得することが可能となる。

【0012】

本発明に係るレーザー加工装置は、集光光学系を光軸に沿って移動させる駆動機構と、駆動機構の駆動を制御する制御部と、を備え、制御部は、第1センサで取得した変位データ及び第2センサで取得した変位データの少なくとも何れかに基づいて、集光光学系がレーザー光入射面に追従するように駆動機構を駆動させてもよい。この構成によれば、例えば、レーザー光入射面とレーザー光の集光点との距離が一定に維持されるように、第1センサで取得した変位データ及び第2センサで取得した変位データの少なくとも何れかを利用して集光光学系を移動させることができる。

20

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、装置の大型化を抑制しつつ、加工対象物のレーザー光入射面の変位データを様々な要求に応じて精度よく取得できるレーザー加工装置を提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】改質領域の形成に用いられるレーザー加工装置の概略構成図である。

30

【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】レーザー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ー加工装置の斜視図である。

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

【図9】図7のZX平面に沿ってのレーザー出力部の断面図である。

【図10】図7のレーザー加工装置におけるレーザー出力部及びレーザー集光部の一部の斜視図である。

40

【図11】図7のXY平面に沿ってのレーザー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ー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ー集光部の断面図である。

【図14】図9のレーザー出力部における / 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のレーザー出力部の / 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のレーザー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。

【図16】図11のレーザー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。

50

【図17】図16の4f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】図7のレーザ加工装置における同軸測距センサ及び別軸測距センサを説明する模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

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。

【0016】

実施形態に係るレーザ加工装置（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。

10

【0017】

図1に示されるように、レーザ加工装置100は、レーザ光Lをパルス発振するレーザ光源101と、レーザ光Lの光軸（光路）の向きを90°変えるように配置されたダイクロイックミラー103と、レーザ光Lを集光するための集光用レンズ105と、を備えている。また、レーザ加工装置100は、集光用レンズ105で集光されたレーザ光Lが照射される加工対象物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。

20

【0018】

レーザ加工装置100においては、レーザ光源101から出射されたレーザ光Lは、ダイクロイックミラー103によってその光軸の向きを90°変えられ、支持台107上に載置された加工対象物1の内部に集光用レンズ105によって集光される。これと共に、ステージ111が移動させられ、加工対象物1がレーザ光Lに対して切断予定ライン5に沿って相対移動させられる。これにより、切断予定ライン5に沿った改質領域が加工対象物1に形成される。なお、ここでは、レーザ光Lを相対的に移動させるためにステージ111を移動させたが、集光用レンズ105を移動させてもよいし、或いはこれらの両方を移動させてもよい。

【0019】

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。

30

【0020】

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）に露出していてもよい。改質領域7を形成する際のレーザ光入射面は、加工対象物1の表面3に限定されるものではなく、加工対象物1の裏面であってもよい。

40

50

【 0 0 2 1 】

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）。

【 0 0 2 2 】

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。

10

【 0 0 2 3 】

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。

20

【 0 0 2 4 】

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。

30

40

[実施形態に係るレーザ加工装置]

【 0 0 2 5 】

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

[レーザ加工装置の全体構成]

【 0 0 2 6 】

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 220 と、支持台（支持部）230 と、第 2 移動機構（移動機構）240 と、を備えている。更に、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。

50

【 0 0 2 7 】

第 1 移動機構 2 2 0 は、装置フレーム 2 1 0 に取り付けられている。第 1 移動機構 2 2 0 は、第 1 レールユニット 2 2 1 と、第 2 レールユニット 2 2 2 と、可動ベース 2 2 3 と、を有している。第 1 レールユニット 2 2 1 は、装置フレーム 2 1 0 に取り付けられている。第 1 レールユニット 2 2 1 には、Y 軸方向に沿って延在する一対のレール 2 2 1 a , 2 2 1 b が設けられている。第 2 レールユニット 2 2 2 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 2 2 1 の一対のレール 2 2 1 a , 2 2 1 b に取り付けられている。第 2 レールユニット 2 2 2 には、X 軸方向に沿って延在する一対のレール 2 2 2 a , 2 2 2 b が設けられている。可動ベース 2 2 3 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 2 2 2 の一対のレール 2 2 2 a , 2 2 2 b に取り付けられている。可動ベース 2 2 3 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。

10

【 0 0 2 8 】

支持台 2 3 0 は、可動ベース 2 2 3 に取り付けられている。支持台 2 3 0 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 2 3 0 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 1 1 に張られたフィルム 1 2 上に、例えば加工対象物 1 の表面 1 a（複数の機能素子側の面）が貼付される。支持台 2 3 0 は、クランプによってフレーム 1 1 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 1 2 を吸着することで、加工対象物 1 を支持する。支持台 2 3 0 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 5 a、及び互いに平行な複数の切断予定ライン 5 b 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。

20

【 0 0 2 9 】

図 7 に示されるように、支持台 2 3 0 は、第 1 移動機構 2 2 0 において第 2 レールユニット 2 2 2 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 2 3 0 は、第 1 移動機構 2 2 0 において可動ベース 2 2 3 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 2 3 0 は、第 1 移動機構 2 2 0 において可動ベース 2 2 3 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 2 3 0 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 2 1 0 に取り付けられている。

30

【 0 0 3 0 】

レーザ出力部 3 0 0 は、装置フレーム 2 1 0 に取り付けられている。レーザ集光部 4 0 0 は、第 2 移動機構 2 4 0 を介して装置フレーム 2 1 0 に取り付けられている。レーザ集光部 4 0 0 は、第 2 移動機構 2 4 0 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 4 0 0 は、レーザ出力部 3 0 0 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 2 1 0 に取り付けられている。

【 0 0 3 1 】

制御部 5 0 0 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 5 0 0 は、レーザ加工装置 2 0 0 の各部の動作を制御する。

40

【 0 0 3 2 】

一例として、レーザ加工装置 2 0 0 では、次のように、各切断予定ライン 5 a , 5 b（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。

【 0 0 3 3 】

まず、加工対象物 1 の裏面 1 b（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 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 2 4 0 によってレーザ集光部 4 0 0 が移動させられる。続いて、加工対象物 1 のレーザ光入

50

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。レーザー光入射面は、裏面 1 b に限定されず、表面 1 a であってもよい。

【 0 0 3 4 】

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。

10

【 0 0 3 5 】

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（レーザー光 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。

20

【 0 0 3 6 】

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（レーザー光源）3 1 0 と、シャッタ 3 2 0 と、 $\lambda/2$ 波長板ユニット（出力調整部、偏光方向調整部）3 3 0 と、偏光板ユニット（出力調整部、偏光方向調整部）3 4 0 と、ビームエキスパンダ（レーザー光平行化部）3 5 0 と、ミラーユニット 3 6 0 と、を有している。

【 0 0 3 7 】

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。

30

【 0 0 3 8 】

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。

40

【 0 0 3 9 】

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。レーザー発振器 3 1 0 から出射されるレーザー光 L の波長は、5 0 0 ~ 5 5 0 nm、1 0 0 0 ~ 1 1 5 0 nm 又は 1 3 0 0 ~ 1 4 0 0 nm のいずれかの波長帯に含まれる。5 0 0 ~ 5 5 0 nm 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。1 0 0 0 ~ 1 1 5 0 nm 及び 1 3 0 0 ~ 1 4 0 0 nm の各波長帯のレ

50

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。

【0040】

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。

10

【0041】

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。

20

【0042】

/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。これらの詳細については後述する。/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。

【0043】

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。

30

【0044】

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。

40

50

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。

【0045】

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。

10

【0046】

図 11 及び図 12 に示されるように、レーザ集光部 400 は、ミラー 402 と、ダイクロイックミラー 403 と、を有している。更に、レーザ集光部 400 は、反射型空間光変調器（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、一对の別軸測距センサ（第 1 センサ）450 と、を有している。

【0047】

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。

20

【0048】

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° ~ 60°）とされている。つまり、レーザ光 L は、反射型空間光変調器 410 において XY 平面に沿って鋭角に反射される。これは、レーザ光 L の入射角及び反射角を抑えて回折効率の低下を抑制し、反射型空間光変調器 410 の性能を十分に発揮させるためである。なお、反射型空間光変調器 410 では、例えば、液晶が用いられた光変調層の厚さが数 μm ~ 数十 μm 程度と極めて薄いため、反射面 410a は、光変調層の光入出射面と実質的に同じと捉えることができる。

30

40

【0049】

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（結像光学系）422 と、集光レンズユニット 430 側のレンズ（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

50

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

【0050】

ダイクロイックミラー 403 は、レーザ光 L の大部分（例えば、95 ~ 99.5%）を Z 軸方向に反射し、レーザ光 L の一部（例えば、0.5 ~ 5%）を Y 軸方向に沿って透過させる。レーザ光 L の大部分は、ダイクロイックミラー 403 において ZX 平面に沿って直角に反射される。ダイクロイックミラー 403 によって反射されたレーザ光 L は、Z 軸方向に沿って集光レンズユニット 430 に入射する。

10

【0051】

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

20

【0052】

一对の別軸測距センサ 450 は、X 軸方向において集光レンズユニット 430 の両側に位置するように、筐体 401 の端部 401 d に取り付けられている。各別軸測距センサ 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第 1 測距用レーザ光を出射し、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、別軸測距センサ 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。

【0053】

レーザ集光部 400 は、ビームスプリッタ 461 と、一对のレンズ 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 軸方向に沿って一对のレンズ 462, 463 及びカメラ 464 に順次入射する。一对のレンズ 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。

30

40

【0054】

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

50

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。

【0055】

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。一对のレンズ 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い。

10

【0056】

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、同軸測距センサ（第 2 センサ）460 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。

20

【0057】

加工対象物 1 に照射された可視光 V は、加工対象物 1 のレーザ光入射面によって反射され、集光レンズユニット 430 を介してダイクロイックミラー 403 に入射し、Z 軸方向に沿ってダイクロイックミラー 403 を透過する。ビームスプリッタ 486 は、ダイクロイックミラー 403 を透過した可視光 V を反射成分と透過成分とに分ける。また、ビームスプリッタ 486 は、後述の第 2 測距用レーザ光 L2 及びその反射光 L2R を反射させる。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。

30

【0058】

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。

40

【0059】

同軸測距センサ 460 は、ホルダ 407 の側面に取り付けられている。同軸測距センサ 4

50

60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第2測距用レーザ光L2を出射し、当該レーザ光入射面によって反射された第2測距用レーザ光L2の反射光L2R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。同軸測距センサ460から出射された第2測距用レーザ光L2は、ビームスプリッタ486で反射され、ダイクロイックミラー403を透過して集光レンズユニット430に導光され、集光レンズユニット430の焦点付近であってレーザ光入射面で反射される。当該反射光L2Rは、第2測距用レーザ光L2とは逆の経路で同軸測距センサ460に戻る。同軸測距センサ460は、集光レンズユニット430に対するレーザ光入射面の位置によって反射光L2Rの状態が変化することを利用して、加工対象物1の変位データを取得する。例えば同軸測距センサ460としては、非点収差方式等のセンサを利用することができる。

10

【0060】

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

【0061】

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の一对のレンズ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。ここでは、レーザ集光部400は、500~550nm、1000~1150nm及び1300~1400nmの波長帯に対応している。これは、レーザ集光部400の各構成に所定の誘電体多層膜をコーティングすること等、所望の光学性能が満足されるようにレーザ集光部400の各構成が設計されることで実現される。なお、レーザ出力部300において、 $\lambda/2$ 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。

20

30

[レーザ加工装置におけるレーザ光の光路及び偏光方向]

【0062】

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

40

【0063】

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

50

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 4 】

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。

10

【 0 0 6 5 】

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 θ 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 6 】

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。

20

[/ 2 波長板ユニット及び偏光板ユニット]

【 0 0 6 7 】

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 1 5 の（a）参照）。

30

【 0 0 6 8 】

偏光板ユニット 3 4 0 は、ホルダ（第 2 ホルダ）3 4 1 と、偏光板（偏光部材）3 4 2 と、光路補正板（光路補正部材）3 4 3 と、を有している。ホルダ 3 4 1 は、軸線（第 2 軸線）X L を中心線として偏光板 3 4 2 及び光路補正板 3 4 3 が一体で回転可能となるように、偏光板 3 4 2 及び光路補正板 3 4 3 を保持している。偏光板 3 4 2 の光入射面及び光出射面は、所定角度（例えば、プリユスター角度）だけ傾いている。偏光板 3 4 2 は、レーザ光 L が入射した場合に、偏光板 3 4 2 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 1 5 の（b）参照）。光路補正板 3 4 3 の光入射面及び光出射面は、偏光板 3 4 2 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 3 4 3 は、偏光板 3 4 2 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。

40

【 0 0 6 9 】

上述したように、レーザ集光部 4 0 0 では、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 の光軸とが、鋭角である角度 θ をなしている（図 1 1 参照）。一方、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（図 9 参照）。

【 0 0 7 0 】

そこで、偏光板ユニット 3 4 0 では、軸線 X L を中心線として偏光板 3 4 2 及び光路補正板 3 4 3 が一体で回転させられ、図 1 5 の（b）に示されるように、Y 軸方向に平行な方

50

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。

【0071】

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 XL 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。

10

【0072】

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。

[4f レンズユニット]

20

【0073】

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 423 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対のレンズ 422, 423 間の光路は、一直線である。

30

【0074】

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。

40

【0075】

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

50

なる。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、 $1.05 \leq M \leq 1.7$ であることがより好ましい。

【0076】

4 f レンズユニット 4 2 0 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 1 7 に示されるように、一对のレンズ 4 2 2 , 4 2 3 が光軸に沿って移動すると、集光レンズユニット 4 3 0 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 4 2 2 , 4 2 3 が光軸に沿って集光レンズユニット 4 3 0 側に移動すると、集光レンズユニット 4 3 0 側の共役点が反射型空間光変調器 4 1 0 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 4 2 2 , 4 2 3 が光軸に沿って反射型空間光変調器 4 1 0 側に移動すると、集光レンズユニット 4 3 0 側の共役点が反射型空間光変調器 4 1 0 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 4 3 0 の取付位置にずれが生じた場合に、集光レンズユニット 4 3 0 の入射瞳面 4 3 0 a に集光レンズユニット 4 3 0 側の共役点が位置合わせされる。4 f レンズユニット 4 2 0 では、図 1 1 に示されるように、Y 軸方向に延在する複数の長穴 4 2 1 a がホルダ 4 2 1 の底壁に形成されており、各長穴 4 2 1 a を介したボルト止めによって、ホルダ 4 2 1 が筐体 4 0 1 の底面 4 0 1 b 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 4 2 2 , 4 2 3 の位置調整は、筐体 4 0 1 の底面 4 0 1 b に対するホルダ 4 2 1 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。

[別軸測距センサ及び同軸測距センサ]

【0077】

図 1 8 に示されるように、別軸測距センサ 4 5 0 は、集光レンズユニット 4 3 0 を介さずにレーザ光 L と別軸で第 1 測距用レーザ光 L 1 を加工対象物 1 に照射し、当該第 1 測距用レーザ光 L 1 の反射光 L 1 R を受光することで、レーザ光入射面の変位データを取得する。別軸測距センサ 4 5 0 は一对 (複数) 設けられている。一对の別軸測距センサ 4 5 0 は、X 方向において集光レンズユニット 4 3 0 の一方側及び他方側にそれぞれ配置されている。同軸測距センサ 4 6 0 は、集光レンズユニット 4 3 0 を介してレーザ光 L と同軸で第 2 測距用レーザ光 L 2 を前記加工対象物に照射し、当該第 2 測距用レーザ光 L 2 の反射光 L 2 R を受光することで、レーザ光入射面の変位データを取得する。取得した変位データは、制御部 5 0 0 に送信される。

【0078】

変位データは、変位に関する信号であって、例えば誤差信号である。一例として、誤差信号は、変化するビーム形状を分割して検出した検出結果に基づいて、下式の演算により生成できる。

$$\text{誤差信号} = [(I_A + I_C) - (I_B + I_D)] / [(I_A + I_B + I_C + I_D)]$$

但し、

I_A : 4 分割された受光面のうちの第 1 受光面の光量に基づき出力された信号値、

I_B : 4 分割された受光面のうちの第 2 受光面の光量に基づき出力された信号値、

I_C : 4 分割された受光面のうちの第 3 受光面の光量に基づき出力された信号値、

I_D : 4 分割された受光面のうちの第 4 受光面の光量に基づき出力された信号値。

【0079】

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、切断予定ライン 5 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、一对の別軸測距センサ 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別軸測距センサ 4 5 0 により、切断予定ライン 5 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ことができる。

【0080】

別軸測距センサ 4 5 0 は、次のアドバンテージを有する。設計上の制約 (波長、偏光等) が少ない。上述のように、集光レンズユニット 4 3 0 に対して相対的に先行するレーザ光入射面の変位データを取得できるため、レーザ光入射面の形状 (加工対象物 1 の形状) を予

め把握することが可能となる。測距点と制御点が異なり、集光レンズユニット430に先行して変位データを取得することができる。加工対象物1のエッジや加工対象物1上の急峻な変位が在っても、追従動作に支障（制御に時間がかかったり振動したりすること）が生じることが少ない。

【0081】

一方、同軸測距センサ46は、次のアドバンテージを有する。外乱（振動及び熱膨張等）の影響をキャンセルできる。位置ズレの影響をキャンセルできる。測距点と制御点と同じであるため、支持台230に振動又は歪みがある場合でも、それを加味したフィードバック制御によって集光レンズユニット430とレーザ光入射面との間の距離を一定に保つことが可能となり、制御結果に生じるエラーを抑制できる。

10

【0082】

制御部500は、切断予定ライン5に沿ってレーザ光Lをスキャンしながら、別軸測距センサ450で取得した変位データ及び同軸測距センサ460で取得した変位データの少なくとも何れかに基づいて、集光レンズユニット430がレーザ光入射面に追従するように駆動機構440を駆動させる。これにより、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、当該変位データに基づいて集光レンズユニット430がZ軸方向に沿って移動する。

【0083】

例えば制御部500は、切断予定ライン5に沿ってレーザ光Lをスキャンしながら、同軸測距センサ460から変位データとして誤差信号を取得し、取得した誤差信号が目標値を維持するようにフィードバック制御を実行し、駆動機構440により集光レンズユニット430をレーザ光入射面に追従するようにZ方向に動作させる。

20

【0084】

或いは、例えば制御部500は、切断予定ライン5に沿ってレーザ光Lをスキャンしながら、先行する別軸測距センサ450から変位データとして誤差信号を取得し、取得した誤差信号が目標値を維持するように先読み制御（フィードフォワード制御）を実行し、駆動機構440により集光レンズユニット430をレーザ光入射面に追従するようにZ方向に動作させる。

【0085】

或いは、例えば制御部500は、切断予定ライン5に沿ってレーザ光Lをスキャンしながら、同軸測距センサ460からの誤差信号と別軸測距センサ450からの誤差信号との双方に基づく信号が目標値を維持するようにフィードバック制御を実行し、駆動機構440により集光レンズユニット430をレーザ光入射面に追従するようにZ方向に動作させる。

30

【0086】

さらに或いは、制御部500は、別軸測距センサ450で取得した変位データ及び同軸測距センサ460で取得した変位データの少なくとも何れかに基づいて、次のような制御を実行してもよい。例えば、先行する別軸測距センサ450で取得した変位データを用いてレーザ光入射面を追従しながら、同軸測距センサ460で取得した変位データを用いて集光レンズユニット430位置での当該追従を確認してもよい。また、先行する別軸測距センサ450で取得した変位データを用いてレーザ光入射面を追従しながら、同軸測距センサ460で取得した変位データを用いて、第1レールユニット221、第2レールユニット222及び可動ベース223（図7参照）の少なくとも何れかのうねりを検出してもよい。また、加工対象物1のエッジの高さ位置を、先行する別軸測距センサ450で取得し、集光レンズユニット430の光軸がエッジに進入するとき（同軸測距センサ460の光軸がエッジに進入するとき）の高さ位置を、取得した当該高さ位置に基づいて補正してもよい。また、先行する別軸測距センサ450で取得した変位データを用いてレーザ光入射面を追従しながら、当該追従の誤差を同軸測距センサ460で取得した変位データを用いてフィードバック補正してもよい（フィードフォワード制御+フィードバック制御）。また、特殊ウエハに対する加工において選択肢を拡大すべく、別軸測距センサ450及び同軸測距センサ460の中から、加工対象物1の種類等に基づき最適な何れかを選択して

40

50

もよい。

[作用及び効果]

【0087】

以上、レーザ加工装置200は、集光レンズユニット430を介さずにレーザ光Lと別軸で第1測距用レーザ光L1を照射する別軸測距センサ450と、集光レンズユニット430を介してレーザ光Lと同軸で第2測距用レーザ光L2を照射する同軸測距センサ460と、の双方を、レーザ光入射面の変位データを取得するセンサとして備える。別軸測距センサ450及び同軸測距センサ460はそれぞれ異なるアドバンテージを有することから、それぞれのアドバンテージをいいとこ取りするように適宜利用することで、変位データを様々な要求に応じて精度よく取得することが可能となる。より安定した精度の高い追従動作が実現できる。更に、一方の別軸測距センサ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、一方の別軸測距センサ450が効率良く配置されている。

10

【0088】

したがって、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様々な要求に応じて精度よく取得することが可能となる。レーザ加工装置200では、別軸測距センサ450及び同軸測距センサ460を同時搭載することができ、別軸測距センサ450及び同軸測距センサ460を同時に利用することで単体ではできなかった新たな機能が実現可能となる。両者のアドバンテージを合わせた制御が可能となる。

20

【0089】

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、一对のレンズ422, 423、ダイクロイックミラー403及び一方の別軸測距センサ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及び一方の別軸測距センサ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、一对のレンズ422, 423、ダイクロイックミラー403及び一方の別軸測距センサ450を一体として移動させることができる。

30

【0090】

レーザ加工装置200は、別軸測距センサ450を複数備え、一方の別軸測距センサ450は、X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、他方の別軸測距センサ450は、X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。この構成によれば、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、複数の別軸測距センサ450を効率良く配置することができる。

40

【0091】

レーザ加工装置200は、集光レンズユニット430を光軸に沿って移動させる駆動機構440と、駆動機構440の駆動を制御する制御部500と、を備える。制御部500は、別軸測距センサ450で取得した変位データ及び同軸測距センサ460で取得した変位データの少なくとも何れかに基づいて、集光レンズユニット430がレーザ光入射面に追従するように駆動機構440を駆動させる。この構成によれば、例えば、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、別軸測距センサ450及び同軸測距センサ460の少なくとも何れかの変位データを利用して集光レンズユニット430を移動させることができる。

【0092】

50

なお、レーザ加工装置 200 は、以下の作用効果をさらに奏する。

【0093】

レーザ加工装置 200 では、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。

【0094】

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。

10

【0095】

レーザ加工装置 200 は、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。

【0096】

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。

20

【0097】

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 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, 423 と、を有する。

30

【0098】

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 及び一对のレンズ 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 及び一对のレンズ 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 410a でのレーザ光 L の像を集光レンズユニット 430 の入射端面 430a 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

【0099】

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 の位置が変化するのを抑制することができる。

50

【 0 1 0 0 】

レーザ加工装置 2 0 0 では、レーザ出力部 3 0 0 が、レーザ光 L を平行化するビームエキスパンダ 3 5 0 を更に有する。これにより、レーザ出力部 3 0 0 に対してレーザ集光部 4 0 0 が移動しても、レーザ集光部 4 0 0 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 3 5 0 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 4 1 0 においてレーザ光 L を平行化することができる。

【 0 1 0 1 】

レーザ加工装置 2 0 0 では、レーザ集光部 4 0 0 が、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 を介して集光レンズユニット 4 3 0 に至るレーザ光 L の光路が内部に設定された筐体 4 0 1 を更に有し、筐体 4 0 1 に、レーザ出力部 3 0 0 から出射されたレーザ光 L を筐体 4 0 1 内に入射させる光入射部 4 0 1 a が設けられている。これにより、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 を介して集光レンズユニット 4 3 0 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 3 0 0 に対してレーザ集光部 4 0 0 を移動させることができる。

10

【 0 1 0 2 】

レーザ加工装置 2 0 0 では、レーザ集光部 4 0 0 が、レーザ集光部 4 0 0 の移動方向（Z 軸方向）において光入射部 4 0 1 a と対向するように筐体 4 0 1 内に配置されたミラー 4 0 2 を更に有し、ミラー 4 0 2 が、光入射部 4 0 1 a から筐体 4 0 1 内に入射したレーザ光 L を反射型空間光変調器 4 1 0 に向けて反射する。これにより、レーザ出力部 3 0 0 からレーザ集光部 4 0 0 に入射したレーザ光 L を反射型空間光変調器 4 1 0 に所望の角度で入射させることができる。

20

【 0 1 0 3 】

レーザ加工装置 2 0 0 では、支持台 2 3 0 が、レーザ集光部 4 0 0 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 2 1 0 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 4 0 0 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。

【 0 1 0 4 】

レーザ加工装置 2 0 0 では、支持台 2 3 0 が、第 1 移動機構 2 2 0 を介して装置フレーム 2 1 0 に取り付けられており、レーザ集光部 4 0 0 が、第 2 移動機構 2 4 0 を介して装置フレーム 2 1 0 に取り付けられている。これにより、支持台 2 3 0 及びレーザ集光部 4 0 0 のそれぞれの移動を確実に実施することができる。

30

【 0 1 0 5 】

また、レーザ加工装置 2 0 0 は、装置フレーム 2 1 0 と、装置フレーム 2 1 0 に取り付けられ、加工対象物 1 を支持する支持台 2 3 0 と、装置フレーム 2 1 0 に対して着脱可能であるレーザ出力部 3 0 0 と、装置フレーム 2 1 0 に取り付けられたレーザ集光部 4 0 0 と、を備える。レーザ出力部 3 0 0 は、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 の出力を調整する / 2 波長板ユニット 3 3 0 及び偏光板ユニット 3 4 0 と、を有する。レーザ集光部 4 0 0 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 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 の入射端面 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、を有する。

40

【 0 1 0 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 、集光レンズユニット 4 3 0 及び一対のレンズ 4 2 2 , 4 2 3 を有するレーザ集光部 4 0 0 とは別体で、レーザ発振器 3 1 0 並びに / 2 波長板ユニット 3 3 0 及び偏光板ユニット 3 4 0 を有するレーザ出力部 3 0 0 が装置フレーム 2 1 0 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光 L の波長が異なる場合には、所望の波長を有

50

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。

【0107】

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

【0108】

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。

【0109】

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。

20

【0110】

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。

【0111】

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。

30

【0112】

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及び一対のレンズ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。

【0113】

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対のレンズ422, 423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、少なくとも一対のレンズ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

40

50

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。

【0114】

レーザ加工装置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。

10

【0115】

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。

20

【0116】

レーザ加工装置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。

30

【0117】

レーザ加工装置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。

【0118】

レーザ加工装置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。

40

【0119】

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の入射瞳面430a

50

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、を備える。反射型空間光変調器410は、レーザ光Lを所定の平面（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、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、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。

【0120】

レーザ加工装置200では、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403から集光レンズユニット430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410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410の反射面410a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430a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410がレーザ光Lを鋭角に反射する。反射型空間光変調器410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410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でのレーザ光Lの像を集光レンズユニット430の入射瞳面430aに精度良く転像することができる。

【0121】

レーザ加工装置200では、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403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410から集光レンズユニット430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。

【0122】

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。

【0123】

レーザ加工装置200では、反射型空間光変調器410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403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410の反射面410a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430aに精度良く転像することができる。

【0124】

レーザ加工装置200は、レーザ発振器310から反射型空間光変調器410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330及び偏光板ユニット340を更に備える。これにより、反射型空間光変調器410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310から反射型空間光変調器410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。

【0125】

また、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

10

20

30

40

50

たレーザー光Lを外部に出射するミラーユニット360と、レーザー発振器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。レーザー発振器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に至るレーザー光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、レーザー光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)に沿ってレーザー光Lを外部に出射する。

【0126】

レーザー出力部300では、レーザー発振器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、レーザー加工装置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、レーザー加工装置200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。また、レーザー発振器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に至るレーザー光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ー光Lを外部に出射する。これにより、例えばレーザー光Lの出射方向が鉛直方向に沿っている場合、レーザー出力部300が低背化されるので、レーザー加工装置200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。更に、ミラーユニット360が、レーザー光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、レーザー加工装置200の装置フレーム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。以上により、レーザー出力部300は、レーザー加工装置200に対して容易に着脱することができる。

【0127】

レーザー出力部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ー光Lを外部に出射する。これにより、ミラーユニット360におけるレーザー光Lの光軸の調整を容易化することができる。

【0128】

レーザー出力部300では、 $\lambda/2$ 波長板ユニット330及び偏光板ユニット340が、レーザー発振器310から出射されたレーザー光Lの偏光方向を調整する。これにより、レーザー加工装置200の装置フレーム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。

【0129】

レーザー出力部300では、 $\lambda/2$ 波長板ユニット330及び偏光板ユニット340が、レーザー発振器310から出射されたレーザー光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を通過したレーザー光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、レーザー発振器310から出射されたレーザー光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をレーザー出力部300が備えることで、レーザー発振器310から出射されるレーザー光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。

【0130】

レーザー出力部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ー光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ー光Lの光路のずれを補正することができる。

10

20

30

40

50

【0131】

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、レーザ出力部300の簡易化及び小型化を図ることができる。

【0132】

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301a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301a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

【0133】

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。

20

【0134】

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。

30

[変形例]

【0135】

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。

【0136】

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。

40

【0137】

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。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。

【0138】

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。

【0139】

また、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

50

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結像光学系は、一对のレンズ 4 2 2 , 4 2 3 に限定されず、反射型空間光変調器 4 1 0 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 4 3 0 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。

【 0 1 4 0 】

また、レーザ集光部 4 0 0 においては、一对のレンズ 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 であったが、当該ミラーは、全反射ミラーであってもよい。

【 0 1 4 1 】

また、集光レンズユニット 4 3 0 及び一对の別軸測距センサ 4 5 0 は、Y 軸方向における筐体 4 0 1 の端部 4 0 1 d に取り付けられていたが、Y 軸方向における筐体 4 0 1 の中心位置よりも端部 4 0 1 d 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 4 1 0 は、Y 軸方向における筐体 4 0 1 の端部 4 0 1 c に取り付けられていたが、Y 軸方向における筐体 4 0 1 の中心位置よりも端部 4 0 1 c 側に片寄って取り付けられていればよい。また、別軸測距センサ 4 5 0 は、X 軸方向において集光レンズユニット 4 3 0 の片側のみに配置されていてもよい。

10

【 0 1 4 2 】

また、レーザ集光部 4 0 0 が装置フレーム 2 1 0 に固定されていてもよい。その場合、支持台 2 3 0 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 2 1 0 に取り付けられていてもよい。

20

【 0 1 4 3 】

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】

【 0 1 4 4 】

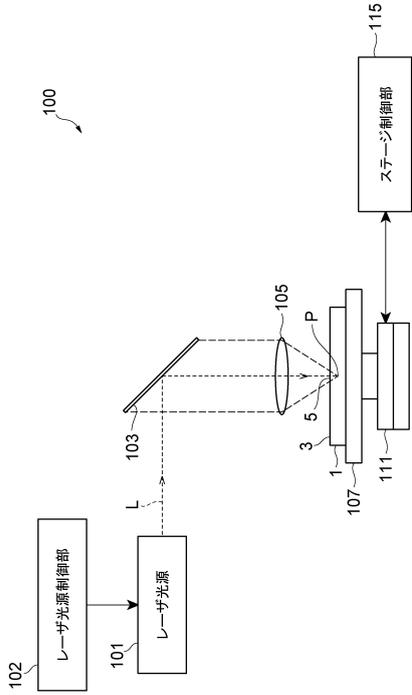
1 ... 加工対象物、2 0 0 ... レーザ加工装置、2 3 0 ... 支持台（支持部）、2 4 0 ... 第 2 移動機構（移動機構）、3 1 0 ... レーザ発振器（レーザ光源）、4 0 1 ... 筐体、4 0 1 c ... 端部、4 0 1 d ... 端部、4 0 1 e ... 側面、4 0 3 ... ダイクロイックミラー（ミラー）、4 1 0 ... 反射型空間光変調器（空間光変調器）、4 1 0 a ... 反射面、4 2 1 ... ホルダ、4 2 2 ... レンズ（結像光学系）、4 2 3 ... レンズ（結像光学系）、4 3 0 ... 集光レンズユニット（集光光学系）、4 4 0 ... 駆動機構、4 5 0 ... 別軸測距センサ（第 1 センサ）、4 6 0 ... 同軸測距センサ（第 2 センサ）、5 0 0 ... 制御部、L ... レーザ光、L 1 ... 第 1 測距用レーザ光、L 1 R ... 反射光、L 2 ... 第 2 測距用レーザ光、L 2 R ... 反射光。

30

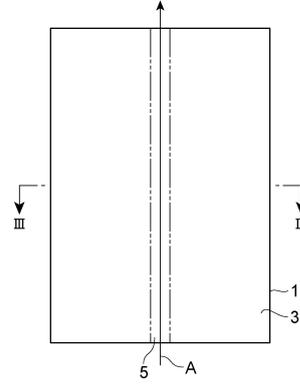
40

50

【図面】
【図 1】



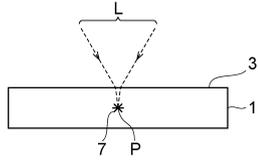
【図 2】



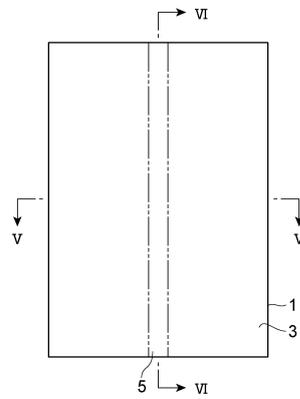
10

20

【図 3】



【図 4】

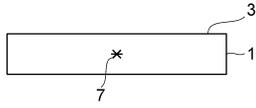


30

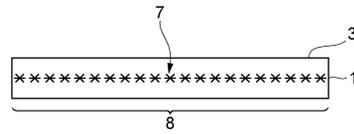
40

50

【 図 5 】



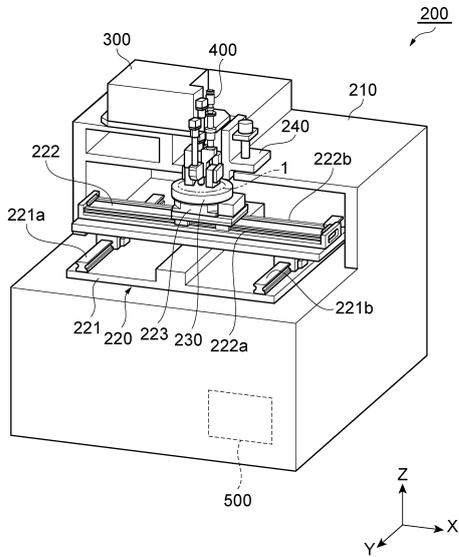
【 図 6 】



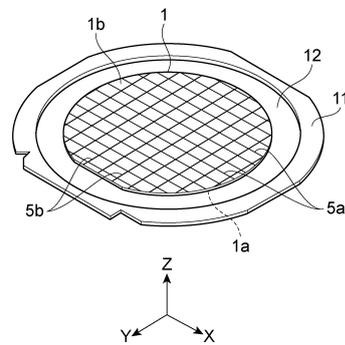
10

20

【 図 7 】



【 図 8 】

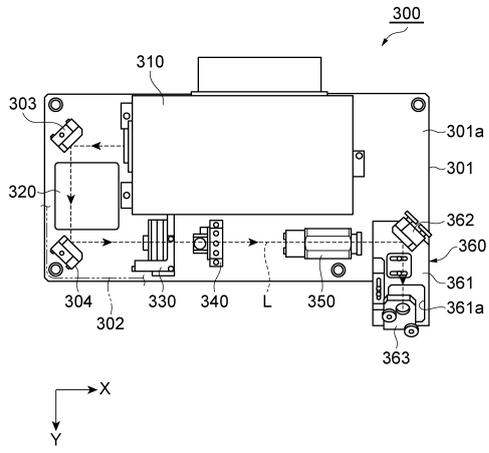


30

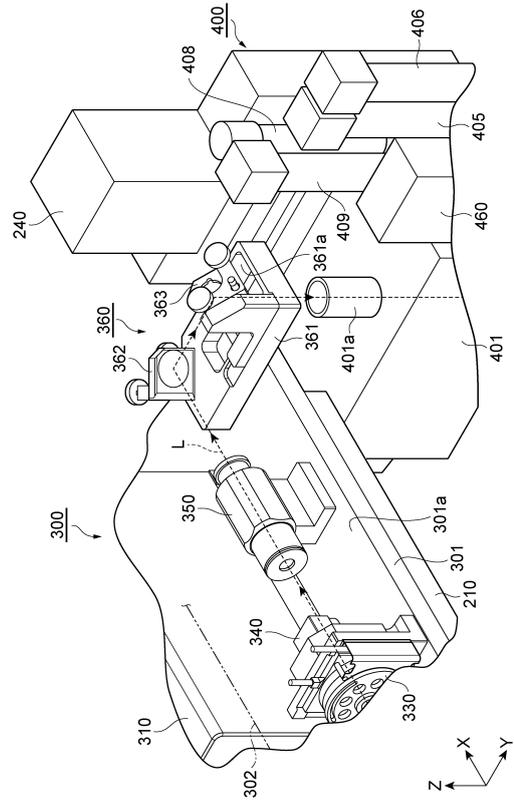
40

50

【 図 9 】



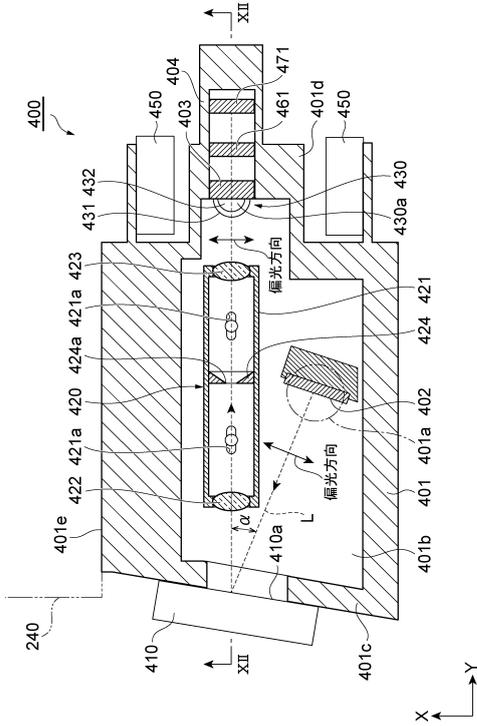
【 図 10 】



10

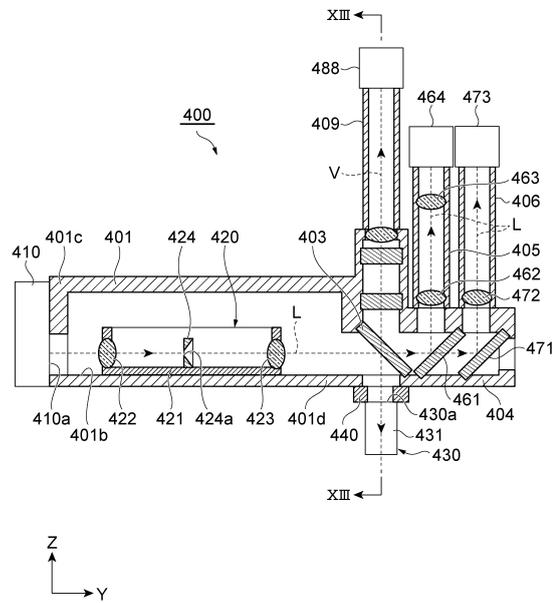
20

【 図 11 】



30

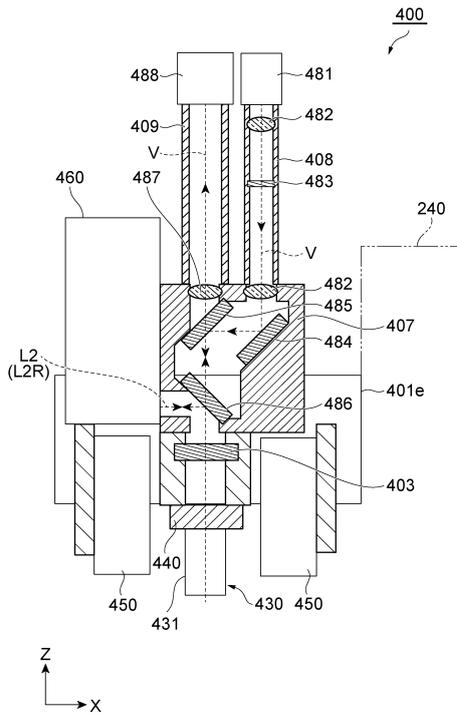
【 図 12 】



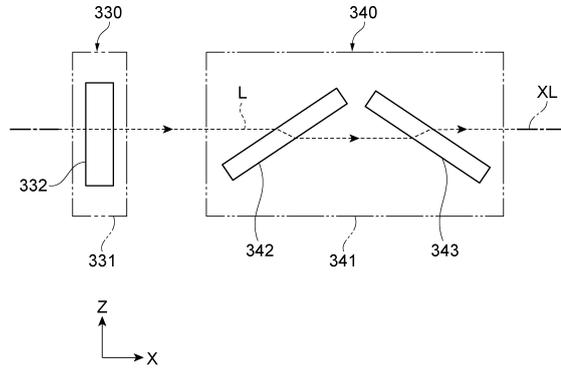
40

50

【 図 1 3 】



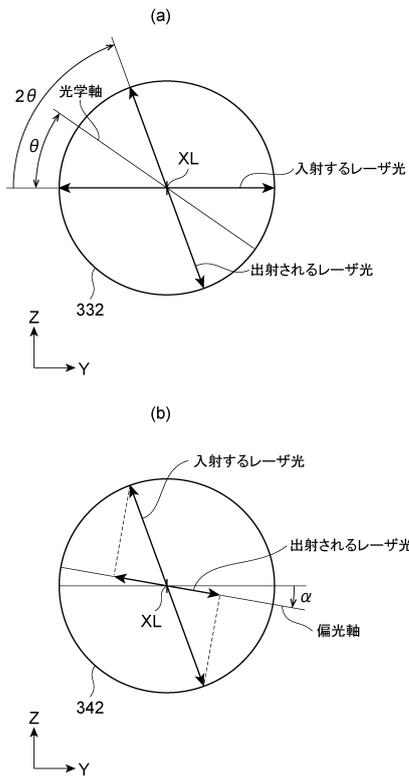
【 図 1 4 】



10

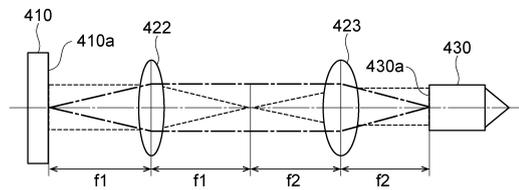
20

【 図 1 5 】



30

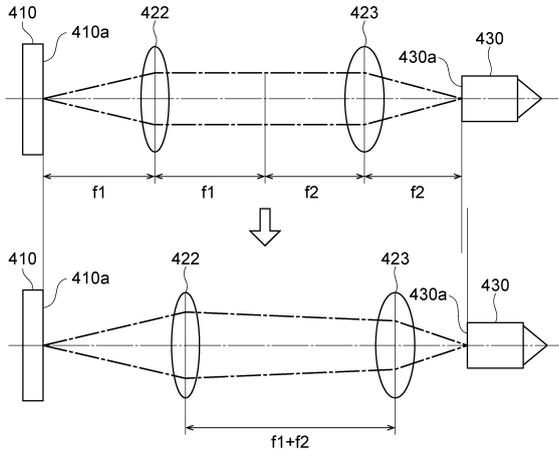
【 図 1 6 】



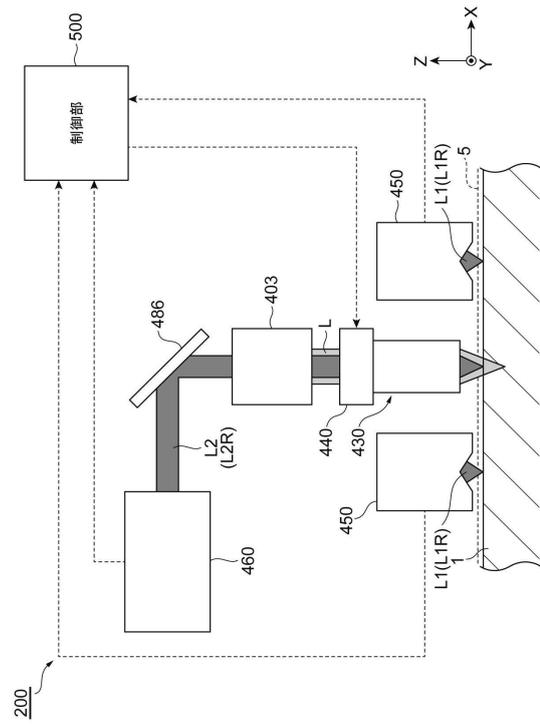
40

50

【図 17】



【図 18】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

審査官 岩見 勤

(56)参考文献 国際公開第2013/039162(WO, A1)

特開2017-013092(JP, A)

特開2010-000542(JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

B23K 26/03

B23K 26/064