(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2017 年 8 月 3 日(03.08.2017)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2017/130953 A1

(51) 国際特許分類:
B23K 26/064 (2014.01) *H01S 3/10* (2006.01)
H01L 21/301 (2006.01) *B23K 26/53* (2014.01)
H01S 3/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2017/002315

(22) 国際出願日: 2017 年 1 月 24 日(24.01.2017)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2016-014496 2016 年 1 月 28 日(28.01.2016) JP
特願 2016-014499 2016 年 1 月 28 日(28.01.2016) JP
特願 2016-014500 2016 年 1 月 28 日(28.01.2016) JP
特願 2016-014504 2016 年 1 月 28 日(28.01.2016) JP
特願 2016-014508 2016 年 1 月 28 日(28.01.2016) JP
特願 2016-014513 2016 年 1 月 28 日(28.01.2016) JP

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

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

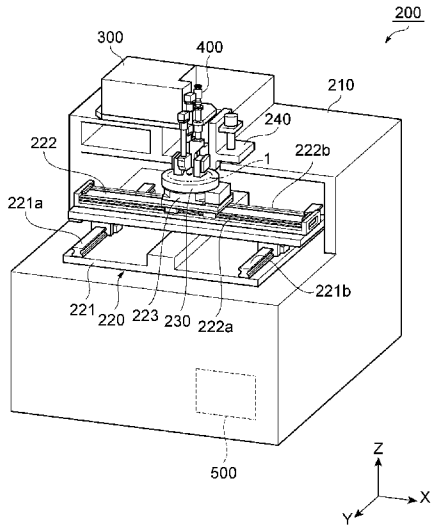
(74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA Yoshiki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目１番１号丸の内 ＭＹ ＰＬＡＺＡ（明治安田生命ビル） ９階 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG,

[続葉有]

(54) **Title**: LASER MACHINING DEVICE AND LASER OUTPUT DEVICE

(54) 発明の名称 : レーザ加工装置及びレーザ出力装置



(57) **Abstract**: A laser machining device (200) is provided with: a device frame (210); a support part (230) for supporting a machining object (1), the support part (230) being attached to the device frame; a laser output part (300) attached to the device frame; and a laser condensing part (400) attached to the device frame so as to be able to move relative to the laser output part. The laser output part has a laser light source for emitting laser light, and the laser condensing part has a reflection-type spatial optical modulator for reflecting laser light while modulating the laser light, a condensing optical system for condensing the laser light on the machining object, and an image-forming optical system for constituting part of a both-side telecentric optical system in which a reflecting surface of the reflection-type spatial optical modulator and an entrance pupil surface of the condensing optical system are in an image-forming relationship.

(57) 要約: レーザ加工装置（２００）は、装置フレーム（２１０）と、装置フレームに取り付けられ、加工対象物（１）を支持する支持部（２３０）と、装置フレームに取り付けられたレーザ出力部（３００）と、レーザ出力部に対して移動可能となるように装置フレームに取り付けられたレーザ集光部（４００）と、を備える。レーザ出力部は、レーザ光を出射するレーザ光源を有し、レーザ集光部は、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、を有する。

WO 2017/130953 A1

PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

明　細　書

発明の名称 ： レーザ加工装置及びレーザ出力装置

技術分野

[0001] 本開示は、レーザ加工装置及びレーザ出力装置に関する。

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のレーザ照射機構においては、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] 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加工装置においては、レーザ光を集光する集光光学系側の構成を加工対象物に対して移動させる場合がある。その一方で、そのような場合にも、装置の大型化を抑制することは極めて重要である。

[0005] 本開示の第１形態は、装置の大型化を抑制しつつ、集光光学系側の構成を加工対象物に対して移動させ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。

[0006] また、上述したようなレーザ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光の波長が異なる場合がある。

[0007] 本開示の第２形態は、レーザ光の波長が互いに異なる複数のレーザ光源を用い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。

[0008] また、上述したようなレーザ加工装置には、レーザ光を変調しつつ反射す

る反射型空間光変調器が設けられる場合がある。そのような場合には、反射型空間光変調器の反射面でのレーザ光の像（反射型空間光変調器において変調されたレーザ光の像）を集光光学系の入射瞳面に精度良く転像（結像）することが極めて重要である。

[0009] 本開示の第３形態は、反射型空間光変調器の反射面でのレーザ光の像を集光光学系の入射瞳面に容易に且つ精度良く転像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。

[0010] また、上述したようなレーザ加工装置には、レーザ光を変調しつつ反射する反射型空間光変調器が設けられる場合がある。そのような場合には、反射型空間光変調器の反射面でのレーザ光の像（反射型空間光変調器において変調されたレーザ光の像）を集光光学系の入射瞳面に精度良く転像（結像）することが極めて重要である。

[0011] 本開示の第４形態は、反射型空間光変調器の反射面でのレーザ光の像を集光光学系の入射瞳面に精度良く転像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。

[0012] また、上述したようなレーザ加工装置においては、加工対象物に対してレーザ光を集光する集光光学系とは別軸に設けられたセンサを用いて、加工対象物のレーザ光入射面の変位データを取得する場合がある。その一方で、そのような場合にも、装置の大型化を抑制することは極めて重要である。

[0013] 本開示の第５形態は、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。

[0014] また、上述したようなレーザ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光の波長が異なる場合がある。そのような場合に、レーザ光源を含む部分をレーザ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。

[0015] 本開示の一形態は、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を目的とする。

課題を解決するための手段

[0016] 本開示の第１形態に係るレーザ加工装置は、装置フレームと、装置フレームに取り付けられ、加工対象物を支持する支持部と、装置フレームに取り付けられたレーザ出力部と、レーザ出力部に対して移動可能となるように装置フレームに取り付けられたレーザ集光部と、を備え、レーザ出力部は、レーザ光を出射するレーザ光源を有し、レーザ集光部は、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、を有する。

[0017] このレーザ加工装置では、反射型空間光変調器、集光光学系及び結像光学系を有するレーザ集光部が、レーザ光源を有するレーザ出力部に対して移動可能である。したがって、例えば、レーザ光源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を軽量化することができ、レーザ集光部を移動させるための機構を小型化することができる。しかも、反射型空間光変調器、集光光学系及び結像光学系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の反射面でのレーザ光の像（反射型空間光変調器において変調されたレーザ光の像）を集光光学系の入射瞳面に精度良く転像（結像）することができる。よって、このレーザ加工装置によれば、装置の大型化を抑制しつつ、集光光学系側の構成を加工対象物に対して移動させることができる。

[0018] 本開示の第１形態に係るレーザ加工装置では、レーザ出力部からのレーザ光の出射方向は、レーザ集光部の移動方向に一致していてもよい。これにより、レーザ出力部に対してレーザ集光部が移動しても、レーザ集光部に入射するレーザ光の位置が変化するのを抑制することができる。

[0019] 本開示の第１形態に係るレーザ加工装置では、レーザ出力部は、レーザ光を平行化するレーザ光平行化部を更に有してもよい。これにより、レーザ出

力部に対してレーザ集光部が移動しても、レーザ集光部に入射するレーザ光の径が変化するのを抑制することができる。なお、レーザ光平行化部によってレーザ光が完全な平行光とされず、例えばレーザ光の広がり角が多少あったとしても、反射型空間光変調器においてレーザ光を平行化することができる。

[0020] 本開示の第１形態に係るレーザ加工装置では、レーザ集光部は、反射型空間光変調器から結像光学系を介して集光光学系に至るレーザ光の光路が内部に設定された筐体を更に有し、筐体には、レーザ出力部から出射されたレーザ光を筐体内に入射させる光入射部が設けられていてもよい。これにより、反射型空間光変調器から結像光学系を介して集光光学系に至るレーザ光の光路の状態を一定に維持しつつ、レーザ出力部に対してレーザ集光部を移動させることができる。

[0021] 本開示の第１形態に係るレーザ加工装置では、レーザ集光部は、レーザ集光部の移動方向において光入射部と対向するように筐体内に配置されたミラーを更に有し、ミラーは、光入射部から筐体内に入射したレーザ光を反射型空間光変調器に向けて反射してもよい。これにより、レーザ出力部からレーザ集光部に入射したレーザ光を反射型空間光変調器に所望の角度で入射させることができる。

[0022] 本開示の第１形態に係るレーザ加工装置では、支持部は、レーザ集光部の移動方向に垂直な平面に沿って移動可能となるように装置フレームに取り付けられていてもよい。これにより、加工対象物に対して所望の位置にレーザ光の集光点を位置させることに加え、レーザ集光部の移動方向に垂直な平面に平行な方向において、加工対象物に対してレーザ光をスキャンすることができる。

[0023] 本開示の第１形態に係るレーザ加工装置では、支持部は、第１移動機構を介して装置フレームに取り付けられており、レーザ集光部は、第２移動機構を介して装置フレームに取り付けられていてもよい。これにより、支持部及びレーザ集光部のそれぞれの移動を確実に実施することができる。

[0024] 本開示の第２形態に係るレーザ加工装置は、装置フレームと、装置フレームに取り付けられ、加工対象物を支持する支持部と、装置フレームに対して着脱可能であるレーザ出力部と、装置フレームに取り付けられたレーザ集光部と、を備え、レーザ出力部は、レーザ光を出射するレーザ光源と、レーザ光の出力を調整する出力調整部と、を有し、レーザ集光部は、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、を有する。

[0025] このレーザ加工装置では、反射型空間光変調器、集光光学系及び結像光学系を有するレーザ集光部とは別体で、レーザ光源及び出力調整部を有するレーザ出力部が装置フレームに対して着脱可能である。したがって、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光の波長が異なる場合には、所望の波長を有するレーザ光を出射するレーザ光源、及び波長依存性を有する出力調整部を纏めて交換することができる。よって、このレーザ加工装置によれば、レーザ光の波長が互いに異なる複数のレーザ光源を用いることができる。

[0026] 本開示の第２形態に係るレーザ加工装置では、レーザ出力部は、レーザ光源及び出力調整部を支持し且つ装置フレームに対して着脱可能である取付ベースを更に有し、レーザ出力部は、取付ベースを介して装置フレームに取り付けられていてもよい。これにより、装置フレームに対してレーザ出力部を容易に着脱することができる。

[0027] 本開示の第２形態に係るレーザ加工装置では、レーザ出力部は、レーザ出力部から出射されるレーザ光の光軸を調整するためのミラーを更に有してもよい。これにより、例えば装置フレームにレーザ出力部を取り付けた際に、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調整することができる。

[0028] 本開示の第２形態に係るレーザ加工装置では、出力調整部は、レーザ光の

偏光方向を調整してもよい。これにより、例えば装置フレームにレーザ出力部を取り付けた際に、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。

[0029] 本開示の第２形態に係るレーザ加工装置では、出力調整部は、λ／２波長板及び偏光板を含んでもよい。これにより、波長依存性を有するλ／２波長板及び偏光板を、レーザ光源と纏めて交換することができる。

[0030] 本開示の第２形態に係るレーザ加工装置では、レーザ出力部は、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有してもよい。これにより、例えばレーザ出力部に対して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。

[0031] 本開示の第２形態に係るレーザ加工装置では、反射型空間光変調器、集光光学系及び結像光学系は、５００～５５０ｎｍ、１０００～１１５０ｎｍ及び１３００～１４００ｎｍの波長帯に対応していてもよい。これにより、各波長帯のレーザ光を出射するレーザ出力部をレーザ加工装置に取り付けることができる。なお、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。

[0032] 本開示の第３形態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、を備え、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のうち、少なくとも結像光学系を通過するレーザ光の光路は、一直線であり、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。

[0033] このレーザ加工装置では、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、結像光学系が光軸に沿って移動すると、集光光学系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、結像光学系が光軸に沿って集光光学系側に移動すると、集光光学系側の共役点が反射型空間光変調器の反対側に移動する。一方、倍率Ｍ＞１（拡大系）の場合、結像光学系が光軸に沿って反射型空間光変調器側に移動すると、集光光学系側の共役点が反射型空間光変調器の反対側に移動する。したがって、例えば集光光学系の取付位置にずれが生じた場合に、集光光学系の入射瞳面に集光光学系側の共役点を位置合わせすることができる。しかも、少なくとも結像光学系を通過するレーザ光の光路が一直線であるため、結像光学系を光軸に沿って容易に移動させることができる。よって、このレーザ加工装置によれば、反射型空間光変調器の反射面でのレーザ光の像を集光光学系の入射瞳面に容易に且つ精度良く転像することができる。なお、（両側テレセントリック光学系の倍率Ｍ）＝（集光光学系の入射瞳面での像の大きさ）／（反射型空間光変調器の反射面での像の大きさ）である。

[0034] なお、０．５＜Ｍ＜１とすることで、反射型空間光変調器の反射面でのレーザ光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の反射面でのレーザ光の有効径を小さくすることができ、反射型空間光変調器に入射するレーザ光の光軸と、反射型空間光変調器から出射されるレーザ光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に対するレーザ光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の性能を十分に発揮させる上で重要である。

[0035] 本開示の第３形態に係るレーザ加工装置では、結像光学系が反射型空間光変調器側の第１レンズ系及び集光光学系側の第２レンズ系を含み、倍率Ｍ、第１レンズ系の第１焦点距離ｆ１及び第２レンズ系の第２焦点距離ｆ２がＭ＝ｆ２／ｆ１を満たす場合がある。

[0036] 本開示の第３形態に係るレーザ加工装置では、倍率Ｍは、０．６≦Ｍ≦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から集光光学系に至るレーザ光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。

[0037] 本開示の第３形態に係るレーザ加工装置では、倍率Ｍは、１．０５≦Ｍ≦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から集光光学系に至るレーザ光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。

[0038] 本開示の第３形態に係るレーザ加工装置では、第１レンズ系及び第２レンズ系は、ホルダに保持されており、ホルダは、レーザ光の光軸に沿った方向における第１レンズ系及び第２レンズ系の互いの位置関係を一定に維持しており、レーザ光の光軸に沿った方向における第１レンズ系及び第２レンズ系の位置調整は、ホルダの位置調整によって実施されてもよい。これにより、第１レンズ系及び第２レンズ系の互いの位置関係を一定に維持しつつ、第１レンズ系及び第２レンズ系の位置調整（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。

[0039] 本開示の第４形態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、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、を備え、反射型空間光変調器は、レーザ光を所定の平面に沿って鋭角に反射し、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、平面に沿うように設定されており、ミラーから集光光学系に至るレーザ光の光路は、平面と交差する方向に沿うように設定されている。

[0040] このレーザ加工装置では、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が、所定の平面（反射型空間光変調器に対して入出射するレーザ光の光路を含む平面）に沿うように設定されており、ミラー

から集光光学系に至るレーザ光の光路が、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にレーザ光をＰ偏光として反射させ且つミラーにレーザ光を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の反射面でのレーザ光の像を集光光学系の入射瞳面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がレーザ光を鋭角に反射する。反射型空間光変調器に対するレーザ光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の性能を十分に発揮させる上で重要である。以上により、このレーザ加工装置によれば、反射型空間光変調器の反射面でのレーザ光の像を集光光学系の入射瞳面に精度良く転像することができる。

[0041] 本開示の第４形態に係るレーザ加工装置では、ミラーから集光光学系に至るレーザ光の光路は、平面と直交する方向に沿うように設定されており、ミラーは、レーザ光を直角に反射してもよい。これにより、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を直角に取り回すことができる。

[0042] 本開示の第４形態に係るレーザ加工装置では、ミラーは、ダイクロイックミラーであってもよい。これにより、ダイクロイックミラーを透過したレーザ光の一部を様々な用途に利用することができる。

[0043] 本開示の第４形態に係るレーザ加工装置では、反射型空間光変調器は、レーザ光をＰ偏光として反射し、ミラーは、レーザ光をＳ偏光として反射してもよい。これにより、反射型空間光変調器の反射面でのレーザ光の像を集光光学系の入射瞳面に精度良く転像することができる。

[0044] 本開示の第４形態に係るレーザ加工装置は、レーザ光源から反射型空間光変調器に至るレーザ光の光路上に配置され、レーザ光の偏光方向を調整する偏光方向調整部を更に備えてもよい。これにより、反射型空間光変調器がレーザ光を鋭角に反射することに備えてレーザ光の偏光方向を調整することができるので、レーザ光源から反射型空間光変調器に至るレーザ光の光路を直角に取り回すことができる。

[0045] 本開示の第５形態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、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、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、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ており、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。

[0046] このレーザ加工装置では、集光光学系に対して第１センサが相対的に先行するように、加工対象物に対してレーザ光をスキャンすることで、加工対象物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、加工対象物のレーザ光入射面とレーザ光の集光点との距離が一定に維持されるように、加工対象物に対してレーザ光をスキャンすることができる。更に、第１センサが、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。よって、こ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取得することができる。

[0047] 本開示の第５形態に係るレーザ加工装置では、ミラーは、ダイクロイックミラーであってもよい。これにより、ダイクロイックミラーを透過したレーザ光の一部を様々な用途に利用することができる。

[0048] 本開示の第５形態に係るレーザ加工装置では、ミラーは、レーザ光をＳ偏光として反射してもよい。これにより、第３方向に沿って加工対象物に対し

てレーザ光をスキャンすることで、レーザ光のスキャン方向とレーザ光の偏光方向とを互いに一致させることができる。

[0049] 本開示の第５形態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、を更に備え、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、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。

[0050] 本開示の第５形態に係るレーザ加工装置は、第１方向に沿って集光光学系を移動させる駆動機構を更に備え、集光光学系は、駆動機構を介して、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いてもよい。これにより、例えば、加工対象物のレーザ光入射面とレーザ光の集光点との距離が一定に維持されるように、集光光学系を移動させることができる。

[0051] 本開示の第５形態に係るレーザ加工装置では、反射型空間光変調器は、第２方向における筐体の他方の端部側に取り付けられていてもよい。これにより、筐体に対して各構成を効率良く配置することができる。

[0052] 本開示の第５形態に係るレーザ加工装置は、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２センサを更に備え、第２センサは、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。これにより、集光光学系に対して第１センサが相対的に先行するように、加工対象物に対してレーザ光をスキャンする際には、第１センサ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、集光光学系に対して第２センサが相対的に先行するように、加工対象物に対してレーザ光をスキャンする際には、第２センサ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、第１センサが、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おり、第２センサが、

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センサ及び第２センサを効率良く配置することができる。

[0053] 本開示の一形態に係るレーザ出力装置は、レーザ光を出射するレーザ光源と、レーザ光源から出射されたレーザ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光を外部に出射するミラーユニットと、レーザ光源、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光を外部に出射する。

[0054] このレーザ出力装置では、レーザ光源、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、レーザ加工装置に対してレーザ出力装置を容易に着脱することができる。また、レーザ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光を外部に出射する。これにより、例えばレーザ光の出射方向が鉛直方向に沿っている場合、レーザ出力装置が低背化されるので、レーザ加工装置に対してレーザ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（加工対象物に対してレーザ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、このレーザ出力装置は、レーザ加工装置に対して容易に着脱することができる。

[0055] 本開示の一形態に係るレーザ出力装置では、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光の光軸の調整を容易化することができる。

[0056] 本開示の一形態に係る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の偏光方向を調整してもよい。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。

[0057] 本開示の一形態に係る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λ／２波長板と、第１軸線を中心線としてλ／２波長板が回転可能となるように、λ／２波長板を保持する第１ホルダと、λ／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λ／２波長板及び偏光部材を用いることができる。

[0058] 本開示の一形態に係るレーザ出力装置は、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。

[0059] 本開示の一形態に係る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。

[0060] 本開示の一形態に係る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。

[0061] 本開示の一形態に係るレーザ出力装置は、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。

[0062] 本開示の一形態に係るレーザ出力装置は、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。

発明の効果

[0063] 本開示の第１形態によれば、装置の大型化を抑制しつつ、集光光学系側の構成を加工対象物に対して移動させることができるレーザ加工装置を提供することが可能となる。

[0064] 本開示の第２形態によれば、レーザ光の波長が互いに異なる複数のレーザ光源を用いることができるレーザ加工装置を提供することが可能となる。

[0065] 本開示の第３形態によれば、反射型空間光変調器の反射面でのレーザ光の像を集光光学系の入射瞳面に容易に且つ精度良く転像することができるレーザ加工装置を提供することが可能となる。

[0066] 本開示の第４形態によれば、反射型空間光変調器の反射面でのレーザ光の像を集光光学系の入射瞳面に精度良く転像することができるレーザ加工装置を提供することが可能となる。

[0067] 本開示の第５形態によれば、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取得することができるレーザ加工装置を提供することが可能となる。

[0068] 本開示の一形態によれば、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

[0069] [図1]図１は、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]図２は、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３は、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]図４は、レーザ加工後の加工対象物の平面図である。

[図5]図５は、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６は、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]図７は、実施形態に係るレーザ加工装置の斜視図である。

[図8]図８は、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９は、図７のＺＸ平面に沿ってのレーザ出力部の断面図である。

[図10]図１０は、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１１は、図７のＸＹ平面に沿ってのレーザ集光部の断面図である。

[図12]図１２は、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１３は、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１４は、図９のレーザ出力部におけるλ／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]図１５の（ａ）は、図９のレーザ出力部のλ／２波長板ユニットにおける偏光方向を示す図であり、図１５の（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。

[図16]図１６は、図１１のレーザ集光部における反射型空間光変調器、４ｆレンズユニット及び集光レンズユニットの光学的配置関係を示す図である。

[図17]図１７は、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１８は、一体化されたλ／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１９は、図１８のＺＸ平面に沿ってのλ／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

[0070] 以下、本開示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。

[0071] 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。

[0072] 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。

[0073] 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。

[0074] 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。

[0075] 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。

[0076] 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）。

[0077] 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。

[0078] 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）、$LiTaO_3$、及び、サファイア（Al_2O_3）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、$LiTaO_3$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。

[0079] 実施形態では、切断予定ライン５に沿って改質スポット（加工痕）を複数形成することにより、改質領域７を形成することができる。この場合、複数の改質スポットが集まることによって改質領域７となる。改質スポットとは、パルスレーザ光の１パルスのショット（つまり１パルスのレーザ照射：レーザショット）で形成される改質部分である。改質スポットとしては、クラックスポット、溶融処理スポット若しくは屈折率変化スポット、又はこれらの少なくとも１つが混在するもの等が挙げられる。改質スポットについては、要求される切断精度、要求される切断面の平坦性、加工対象物１の厚さ、種類、結晶方位等を考慮して、その大きさや発生する亀裂の長さを適宜制御することができる。また、実施形態では、切断予定ライン５に沿って、改質スポットを改質領域７として形成することができる。

［実施形態に係るレーザ加工装置］

[0080] 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］

[0081] 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（レーザ出力装置）３００と、レーザ集光部４００と、制御部５００と、を備えている。

[0082] 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。

[0083] 支持台２３０は、可動ベース２２３に取り付けられている。支持台２３０は、加工対象物１を支持する。加工対象物１は、例えば、シリコン等の半導体材料からなる基板の表面側に複数の機能素子（フォトダイオード等の受光素子、レーザダイオード等の発光素子、又は回路として形成された回路素子等）がマトリックス状に形成されたものである。加工対象物１が支持台２３０に支持される際には、図８に示されるように、環状のフレーム１１に張られたフィルム１２上に、例えば加工対象物１の表面１ａ（複数の機能素子側の面）が貼付される。支持台２３０は、クランプによってフレーム１１を保持すると共に真空チャックテーブルによってフィルム１２を吸着することで、加工対象物１を支持する。支持台２３０上において、加工対象物１には、互いに平行な複数の切断予定ライン５ａ、及び互いに平行な複数の切断予定

ライン５ｂが、隣り合う機能素子の間を通るように格子状に設定される。

[0084] 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。

[0085] 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。

[0086] 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。

[0087] 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。

[0088] 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。

[0089] 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。

[0090] 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。

[0091] 図９に示されるように、レーザ出力部３００は、取付ベース３０１と、カバー３０２と、複数のミラー３０３，３０４と、を有している。更に、レーザ出力部３００は、レーザ発振器（レーザ光源）３１０と、シャッタ３２０と、λ／２波長板ユニット（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。

[0092] 取付ベース３０１は、複数のミラー３０３，３０４、レーザ発振器３１０、シャッタ３２０、λ／２波長板ユニット３３０、偏光板ユニット３４０、ビームエキスパンダ３５０及びミラーユニット３６０を支持している。複数のミラー３０３，３０４、レーザ発振器３１０、シャッタ３２０、λ／２波長板ユニット３３０、偏光板ユニット３４０、ビームエキスパンダ３５０及びミラーユニット３６０は、取付ベース３０１の主面３０１ａに取り付けられている。取付ベース３０１は、板状の部材であり、装置フレーム２１０（図７参照）に対して着脱可能である。レーザ出力部３００は、取付ベース３０１を介して装置フレーム２１０に取り付けられている。つまり、レーザ出力部３００は、装置フレーム２１０に対して着脱可能である。

[0093] カバー３０２は、取付ベース３０１の主面３０１ａ上において、複数のミラー３０３，３０４、レーザ発振器３１０、シャッタ３２０、λ／２波長板ユニット３３０、偏光板ユニット３４０、ビームエキスパンダ３５０及びミラーユニット３６０を覆っている。カバー３０２は、取付ベース３０１に対して着脱可能である。

[0094] 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。

[0095] 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。

[0096] シャッタ３２０は、機械式の機構によってレーザ光Ｌの光路を開閉する。レーザ出力部３００からのレーザ光Ｌの出力のＯＮ／ＯＦＦの切り替えは、上述したように、レーザ発振器３１０でのレーザ光Ｌの出力のＯＮ／ＯＦＦの切り替えによって実施されるが、シャッタ３２０が設けられていることで、例えばレーザ出力部３００からレーザ光Ｌが不意に出射されることが防止される。シャッタ３２０を通過したレーザ光Ｌは、ミラー３０４によって反射され、Ｘ軸方向に沿ってλ／２波長板ユニット３３０及び偏光板ユニット３４０に順次入射する。

[0097] λ／２波長板ユニット３３０及び偏光板ユニット３４０は、レーザ光Ｌの出力（光強度）を調整する出力調整部として機能する。また、λ／２波長板ユニット３３０及び偏光板ユニット３４０は、レーザ光Ｌの偏光方向を調整する偏光方向調整部として機能する。これらの詳細については後述する。λ／２波長板ユニット３３０及び偏光板ユニット３４０を順次通過したレーザ光Ｌは、Ｘ軸方向に沿ってビームエキスパンダ３５０に入射する。

[0098] 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。

[0099] 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。

[0100] 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。

[0101] 図１１及び図１２に示されるように、レーザ集光部４００は、ミラー４０２と、ダイクロイックミラー４０３と、を有している。更に、レーザ集光部４００は、反射型空間光変調器４１０と、４ｆレンズユニット４２０と、集光レンズユニット（集光光学系）４３０と、駆動機構４４０と、一対の測距センサ（第１センサ及び第２センサ）４５０と、を有している。

[0102] 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。

[0103] 反射型空間光変調器４１０は、反射面４１０ａが筐体４０１内に臨んだ状態で、Ｙ軸方向における筐体４０１の端部４０１ｃに取り付けられている。反射型空間光変調器４１０は、例えば反射型液晶（ＬＣＯＳ：Liquid Crystal on Silicon）の空間光変調器（ＳＬＭ：Spatial Light Modulator）であり、レーザ光Ｌを変調しつつ、レーザ光ＬをＹ軸方向に反射する。反射型空間光変調器４１０によって変調されると共に反射されたレーザ光Ｌは、Ｙ軸方向に沿って４ｆレンズユニット４２０に入射する。ここで、ＸＹ平面に平行な平面内において、反射型空間光変調器４１０に入射するレーザ光Ｌの光軸と、反射型空間光変調器４１０から出射されるレーザ光Ｌの光軸とがなす角度αは、鋭角（例えば、１０～６０°）とされている。つまり、レーザ光Ｌは、反射型空間光変調器４１０においてＸＹ平面に沿って鋭角に反射

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

[0104] 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、一対のレンズ４２２，４２３及びスリット部材４２４を保持している。ホルダ４２１は、レーザ光Ｌの光軸に沿った方向における一対のレンズ４２２，４２３及びスリット部材４２４の互いの位置関係を一定に維持している。一対のレンズ４２２，４２３は、反射型空間光変調器４１０の反射面４１０ａと集光レンズユニット４３０の入射瞳面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でのレーザ光Ｌの像（反射型空間光変調器４１０において変調されたレーザ光Ｌの像）が、集光レンズユニット４３０の入射瞳面４３０ａに転像（結像）される。スリット部材４２４には、スリット４２４ａが形成されている。スリット４２４ａは、レンズ４２２とレンズ４２３との間であって、レンズ４２２の焦点面付近に位置している。反射型空間光変調器４１０によって変調されると共に反射されたレーザ光Ｌのうち不要な部分は、スリット部材４２４によって遮断される。４ｆレンズユニット４２０を通過したレーザ光Ｌは、Ｙ軸方向に沿ってダイクロイックミラー４０３に入射する。

[0105] 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。

[0106] 集光レンズユニット４３０は、Ｙ軸方向における筐体４０１の端部４０１ｄ（端部４０１ｃの反対側の端部）に、駆動機構４４０を介して取り付けられている。集光レンズユニット４３０は、ホルダ４３１と、複数のレンズ４３２と、を有している。ホルダ４３１は、複数のレンズ４３２を保持している。複数のレンズ４３２は、支持台２３０に支持された加工対象物１（図７参照）に対してレーザ光Ｌを集光する。駆動機構４４０は、圧電素子の駆動力によって、集光レンズユニット４３０をＺ軸方向に沿って移動させる。

[0107] 一対の測距センサ４５０は、Ｘ軸方向において集光レンズユニット４３０の両側に位置するように、筐体４０１の端部４０１ｄに取り付けられている。各測距センサ４５０は、支持台２３０に支持された加工対象物１（図７参照）のレーザ光入射面に対して測距用の光（例えば、レーザ光）を出射し、当該レーザ光入射面によって反射された測距用の光を検出することで、加工対象物１のレーザ光入射面の変位データを取得する。なお、測距センサ４５０には、三角測距方式、レーザ共焦点方式、白色共焦点方式、分光干渉方式、非点収差方式等のセンサを利用することができる。

[0108] レーザ加工装置２００では、上述したように、Ｘ軸方向に平行な方向が加工方向（レーザ光Ｌのスキャン方向）とされている。そのため、各切断予定ライン５ａ，５ｂに沿ってレーザ光Ｌの集光点が相対的に移動させられる際に、一対の測距センサ４５０のうち集光レンズユニット４３０に対して相対的に先行する測距センサ４５０が、各切断予定ライン５ａ，５ｂに沿った加工対象物１のレーザ光入射面の変位データを取得する。そして、加工対象物１のレーザ光入射面とレーザ光Ｌの集光点との距離が一定に維持されるように、駆動機構４４０が、測距センサ４５０によって取得された変位データに基づいて集光レンズユニット４３０をＺ軸方向に沿って移動させる。

[0109] 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４３０ａ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４３０ａ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４３０ａでのレーザ光Ｌの像は、反射型空間光変調器４１０において変調されたレーザ光Ｌの像である。したがって、レーザ加工装置２００では、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。

[0110] 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。

[0111] 複数のビームスプリッタ４６１，４７１は、筐体４０１の端部４０１ｄからＹ軸方向に沿って延在する筒体４０４内に配置されている。一対のレンズ４６２，４６３は、Ｚ軸方向に沿って筒体４０４上に立設された筒体４０５

内に配置されており、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。

[0112] 図１２及び図１３に示されるように、レーザ集光部４００は、可視光源４８１と、複数のレンズ４８２と、レチクル４８３と、ミラー４８４と、ハーフミラー４８５と、ビームスプリッタ４８６と、レンズ４８７と、観察カメラ４８８と、を有している。可視光源４８１は、Ｚ軸方向に沿って可視光Ｖを出射する。複数のレンズ４８２は、可視光源４８１から出射された可視光Ｖを平行化する。レチクル４８３は、可視光Ｖに目盛り線を付与する。ミラー４８４は、複数のレンズ４８２によって平行化された可視光ＶをＸ軸方向に反射する。ハーフミラー４８５は、ミラー４８４によって反射された可視光Ｖを反射成分と透過成分とに分ける。ハーフミラー４８５によって反射された可視光Ｖは、Ｚ軸方向に沿ってビームスプリッタ４８６及びダイクロイックミラー４０３を順次透過し、集光レンズユニット４３０を介して、支持台２３０に支持された加工対象物１（図７参照）に照射される。

[0113] 加工対象物１に照射された可視光Ｖは、加工対象物１のレーザ光入射面によって反射され、集光レンズユニット４３０を介してダイクロイックミラー４０３に入射し、Ｚ軸方向に沿ってダイクロイックミラー４０３を透過する。ビームスプリッタ４８６は、ダイクロイックミラー４０３を透過した可視光Ｖを反射成分と透過成分とに分ける。ビームスプリッタ４８６を透過した可視光Ｖは、ハーフミラー４８５を透過し、Ｚ軸方向に沿ってレンズ４８７及び観察カメラ４８８に順次入射する。レンズ４８７は、入射した可視光Ｖを観察カメラ４８８の撮像面上に集光する。レーザ加工装置２００では、観察カメラ４８８による撮像結果を観察することで、加工対象物１の状態を把

握することができる。

[0114] ミラー４８４、ハーフミラー４８５及びビームスプリッタ４８６は、筐体４０１の端部４０１ｄ上に取り付けられたホルダ４０７内に配置されている。複数のレンズ４８２及びレチクル４８３は、Ｚ軸方向に沿ってホルダ４０７上に立設された筒体４０８内に配置されており、可視光源４８１は、筒体４０８の端部に配置されている。レンズ４８７は、Ｚ軸方向に沿ってホルダ４０７上に立設された筒体４０９内に配置されており、観察カメラ４８８は、筒体４０９の端部に配置されている。筒体４０８と筒体４０９とは、Ｘ軸方向において互いに並設されている。なお、Ｘ軸方向に沿ってハーフミラー４８５を透過した可視光Ｖ、及びビームスプリッタ４８６によってＸ軸方向に反射された可視光Ｖは、それぞれ、ホルダ４０７の壁部に設けられたダンパ等に吸収されるようにしてもよいし、或いは、適宜の用途で利用されるようにしてもよい。

[0115] 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。

[0116] 一方、レーザ加工装置２００では、レーザ集光部４００の交換が想定されていない。これは、レーザ集光部４００がマルチ波長に対応している（互いに連続しない複数の波長帯に対応している）からである。具体的には、ミラー４０２、反射型空間光変調器４１０、４ｆレンズユニット４２０の一対のレンズ４２２，４２３、ダイクロイックミラー４０３、及び集光レンズユニット４３０のレンズ４３２等がマルチ波長に対応している。ここでは、レーザ集光部４００は、５００～５５０ｎｍ、１０００～１１５０ｎｍ及び１３

００～１４００ｎｍの波長帯に対応している。これは、レーザ集光部４００の各構成に所定の誘電体多層膜をコーティングすること等、所望の光学性能が満足されるようにレーザ集光部４００の各構成が設計されることで実現される。なお、レーザ出力部３００において、λ／２波長板ユニット３３０はλ／２波長板を有しており、偏光板ユニット３４０は偏光板を有している。λ／２波長板及び偏光板は、波長依存性が高い光学素子である。そのため、λ／２波長板ユニット３３０及び偏光板ユニット３４０は、波長帯ごとに異なる構成としてレーザ出力部３００に設けられている。

［レーザ加工装置におけるレーザ光の光路及び偏光方向］

[0117] 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。

[0118] したがって、レーザ集光部４００では、ミラー４０２から反射型空間光変調器４１０及び４ｆレンズユニット４２０を介してダイクロイックミラー４０３に至る光路が、ＸＹ平面に沿うように設定されており、ダイクロイックミラー４０３から集光レンズユニット４３０に至る光路が、Ｚ軸方向に沿うように設定されている。

[0119] 図９に示されるように、レーザ出力部３００では、レーザ光Ｌの光路がＸ軸方向又はＹ軸方向（主面３０１ａ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３１０からミラー３０３に至る光路、並びに、ミラー３０４からλ／２波長板ユニット３３０、偏光板ユニット３４０及びビームエキスパンダ３５０を介してミラーユニット３６０に至る光路が、Ｘ軸方向に沿うように設定されており、ミラー３０３からシャッタ３２０を介してミラー３０４に至る光路、及び、ミラーユニット３６０においてミラー３６２からミラー３６３に至る光路が、Ｙ軸方向に沿うように設定されている。

[0120] ここで、Ｚ軸方向に沿ってレーザ出力部３００からレーザ集光部４００に進行したレーザ光Ｌは、図１１に示されるように、ミラー４０２によってＸＹ平面に平行な方向に反射され、反射型空間光変調器４１０に入射する。このとき、ＸＹ平面に平行な平面内において、反射型空間光変調器４１０に入射するレーザ光Ｌの光軸と、反射型空間光変調器４１０から出射されるレーザ光Ｌの光軸とは、鋭角である角度αをなしている。一方、上述したように、レーザ出力部３００では、レーザ光Ｌの光路がＸ軸方向又はＹ軸方向に沿うように設定されている。

[0121] したがって、レーザ出力部３００において、λ／２波長板ユニット３３０及び偏光板ユニット３４０を、レーザ光Ｌの出力を調整する出力調整部としてだけでなく、レーザ光Ｌの偏光方向を調整する偏光方向調整部としても機能させる必要がある。

［λ／２波長板ユニット及び偏光板ユニット］

[0122] 図１４に示されるように、λ／２波長板ユニット３３０は、ホルダ（第１ホルダ）３３１と、λ／２波長板３３２と、を有している。ホルダ３３１は、Ｘ軸方向に平行な軸線（第１軸線）ＸＬを中心線としてλ／２波長板３３２が回転可能となるように、λ／２波長板３３２を保持している。λ／２波長板３３２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ＸＬ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）。

[0123] 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）ＸＬ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ＸＬ上から外れたレーザ光Ｌの光軸を軸線ＸＬ上に戻す。

[0124] 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α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）。

[0125] そこで、偏光板ユニット３４０では、軸線ＸＬ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α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α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。

[0126] 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、λ／２波長板ユニット３３０において軸線ＸＬを中心線としてλ／２波長板３３２が回転させられ、図１５の（ａ）に示されるように、λ／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λ／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。

[0127] 以上のように、レーザ出力部３００において、λ／２波長板ユニット３３０及び偏光板ユニット３４０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］

[0128] 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ｆ１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ｆ２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ｆ１と第２焦点距離ｆ２との和（すなわち、ｆ１＋ｆ２）となっている。反射型空間光変調器４１０から集光レンズユニット４３０に至る光路のうち一対のレンズ４２２，４２３間の光路は、一直線である。

[0129] 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ｆ１及びレンズ４２３の第２焦点距離ｆ２が、Ｍ＝ｆ２／ｆ１を満たしている。

[0130] なお、反射型空間光変調器４１０の反射面４１０ａでのレーザ光Ｌの有効径を小さくする観点から、両側テレセントリック光学系の倍率Ｍが、１＜Ｍ＜２（拡大系）を満たしていてもよい。反射型空間光変調器４１０の反射面４１０ａでのレーザ光Ｌの有効径が小さいほど、ビームエキスパンダ３５０（図９参照）の倍率が小さくて済み、ＸＹ平面に平行な平面内において、反射型空間光変調器４１０に入射するレーザ光Ｌの光軸と、反射型空間光変調器４１０から出射されるレーザ光Ｌの光軸とがなす角度α（図１１参照）が小さくなる。反射型空間光変調器４１０から集光レンズユニット４３０に至るレーザ光Ｌの光路が長くなるのを抑制するという観点では、１．０５≦Ｍ≦１．７であることがより好ましい。

[0131] 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、一対のレンズ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、一対のレンズ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、一対のレンズ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対のレンズ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。

［作用及び効果］

[0132] 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対のレンズ４２２，４２３と、を有する。

[0133] 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。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。

[0134] 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。

[0135] 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の径が変化するの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。

[0136] 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から一対のレンズ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から一対のレンズ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。

[0137] 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４

０１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。

[0138] 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。

[0139] 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。

[0140] 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λ／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対のレンズ４２２，４２３と、を有する。この場合、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。そして、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。

[0141] 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とは別体で、レーザ発振器３１０並びにλ／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光Ｌを出射するレーザ発振器３１０、並びに波長依存性を有するλ／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、レーザ加工装置２００によれば、レーザ光Ｌの波長が互いに異なる複数のレーザ発振器３１０を用いることができる。

[0142] レーザ加工装置２００では、レーザ出力部３００が、レーザ発振器３１０並びにλ／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に対してレーザ出力部３００を容易に着脱することができる。

[0143] レーザ加工装置２００では、レーザ出力部３００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。

[0144] レーザ加工装置２００では、λ／２波長板ユニット３３０及び偏光板ユニット３４０が、レーザ光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。

[0145] レーザ加工装置２００では、λ／２波長板ユニット３３０及び偏光板ユニット３４０が、λ／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λ／２波長板３３２及び偏光板３４２を、レーザ発振器３１０と纏めて交換することができる。

[0146] レーザ加工装置２００では、レーザ出力部３００が、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を更に有する。これにより、例えばレーザ出力部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。

[0147] 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、各波長帯のレーザ光Ｌを出射するレーザ出力部３００をレーザ加工装置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。

[0148] 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ｆ１及びレンズ４２３の第２焦点距離ｆ２が、Ｍ＝ｆ２／ｆ１を満たす。この場合、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。そして、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。

[0149] 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、一対のレンズ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、一対のレンズ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、一対のレンズ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、一対のレンズ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。

[0150] 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α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。

[0151] レーザ加工装置２００では、倍率Ｍが、０．６≦Ｍ≦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。

[0152] レーザ加工装置２００では、倍率Ｍが、１．０５≦Ｍ≦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。

[0153] レーザ加工装置２００では、一対のレンズ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対のレンズ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）における一対のレンズ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、一対のレンズ４２２，４２３の互いの位置関係を一定に維持しつつ、一対のレンズ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。

[0154] 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。この場合、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。そして、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。

[0155] 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。

[0156] 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。

[0157] 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。

[0158] 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。

[0159] 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λ／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。

[0160] 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。この場合、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。そして、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。

[0161] 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。

[0162] 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。

[0163] 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。

[0164] 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。

[0165] 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。

[0166] 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。

[0167] 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、一対の測距センサ４５０を効率良く配置することができる。

[0168] 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λ／２波長板ユニット３３０及び偏光板ユニット３４０と、λ／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、λ／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λ／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。この場合、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。そして、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。

[0169] レーザ出力部３００では、レーザ発振器３１０、λ／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λ／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。

[0170] 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。

[0171] レーザ出力部３００では、λ／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。

[0172] レーザ出力部３００では、λ／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λ／２波長板３３２と、軸線ＸＬを中心線としてλ／２波長板３３２が回転可能となるように、λ／２波長板３３２を保持するホルダ３３１と、λ／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λ／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λ／２波長板３３２及び偏光板３４２を用いることができる。

[0173] 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。

[0174] レーザ出力部３００では、λ／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、λ／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。

[0175] 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、λ／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。

[0176] レーザ出力部３００は、λ／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。

[0177] レーザ出力部３００は、レーザ発振器３１０からλ／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。

［変形例］

[0178] 以上、本開示の実施形態について説明したが、本開示は、上述した実施形態に限定されるものではない。

[0179] 例えば、図１８及び図１９に示されるように、λ／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、λ／２波長板３３２を保持するホルダ３３１は、軸線ＸＬ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ＸＬ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。

[0180] 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。

[0181] また、λ／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。

[0182] 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。

[0183] 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の入射瞳面４３０ａとが結像関係にある両側テレセントリック光学系を構成する結像光学系は、一対のレンズ４２２，４２３に限定されず、反射型空間光変調器４１０側の第１レンズ系（例えば、接合レンズ、３つ以上のレンズ等）及び集光レンズユニット４３０側の第２レンズ系（例えば、接合レンズ、３つ以上のレンズ等）を含むもの等であってもよい。

[0184] また、レーザ集光部４００においては、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であったが、当該ミラーは、全反射ミラーであってもよい。

[0185] また、集光レンズユニット４３０及び一対の測距センサ４５０は、Ｙ軸方向における筐体４０１の端部４０１ｄに取り付けられていたが、Ｙ軸方向における筐体４０１の中心位置よりも端部４０１ｄ側に片寄って取り付けられていればよい。反射型空間光変調器４１０は、Ｙ軸方向における筐体４０１の端部４０１ｃに取り付けられていたが、Ｙ軸方向における筐体４０１の中心位置よりも端部４０１ｃ側に片寄って取り付けられていればよい。また、測距センサ４５０は、Ｘ軸方向において集光レンズユニット４３０の片側のみに配置されていてもよい。

[0186] また、本開示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

[0187] 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…λ／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…λ／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、４０１ａ…光入射部、４０１ｃ…端部、４０１ｄ…端部、４０１ｅ…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、４１０ａ…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）、ＸＬ…軸線、Ｌ…レーザ光。

請求の範囲

[請求項1] 装置フレームと、

前記装置フレームに取り付けられ、加工対象物を支持する支持部と、

前記装置フレームに取り付けられたレーザ出力部と、

前記レーザ出力部に対し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、

前記レーザ出力部は、レーザ光を出射するレーザ光源を有し、

前記レーザ集光部は、

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、を有する、レーザ加工装置。

[請求項2] 前記レーザ出力部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、請求項１記載のレーザ加工装置。

[請求項3] 前記レーザ出力部は、前記レーザ光を平行化するレーザ光平行化部を更に有する、請求項２記載のレーザ加工装置。

[請求項4] 前記レーザ集光部は、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集光光学系に至る前記レーザ光の光路が内部に設定された筐体を更に有し、

前記筐体には、前記レーザ出力部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１～３のいずれか一項記載のレーザ加工装置。

[請求項5] 前記レーザ集光部は、前記レーザ集光部の移動方向において前記光入射部と対向するように前記筐体内に配置されたミラーを更に有し、

前記ミラーは、前記光入射部から前記筐体内に入射した前記レーザ光を前記反射型空間光変調器に向けて反射する、請求項４記載のレー

ザ加工装置。

[請求項6] 前記支持部は、前記レーザ集光部の移動方向に垂直な平面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ている、請求項１～５のいずれか一項記載のレーザ加工装置。

[請求項7] 前記支持部は、第１移動機構を介して前記装置フレームに取り付けられており、

前記レーザ集光部は、第２移動機構を介して前記装置フレームに取り付けられている、請求項６記載のレーザ加工装置。

[請求項8] 装置フレームと、

前記装置フレームに取り付けられ、加工対象物を支持する支持部と、

前記装置フレームに対して着脱可能であるレーザ出力部と、

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、

前記レーザ出力部は、

レーザ光を出射するレーザ光源と、

前記レーザ光の出力を調整する出力調整部と、を有し、

前記レーザ集光部は、

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、を有する、レーザ加工装置。

[請求項9] 前記レーザ出力部は、前記レーザ光源及び前記出力調整部を支持し且つ前記装置フレームに対して着脱可能である取付ベースを更に有し、

前記レーザ出力部は、前記取付ベースを介して前記装置フレームに取り付けられている、請求項８記載のレーザ加工装置。

[請求項10] 前記レーザ出力部は、前記レーザ出力部から出射される前記レーザ

光の光軸を調整するためのミラーを更に有する、請求項８又は９記載のレーザ加工装置。

[請求項11] 前記出力調整部は、前記レーザ光の偏光方向を調整する、請求項８～１０のいずれか一項記載のレーザ加工装置。

[請求項12] 前記出力調整部は、λ／２波長板及び偏光板を含む、請求項１１記載のレーザ加工装置。

[請求項13] 前記レーザ出力部は、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有する、請求項８～１２のいずれか一項記載のレーザ加工装置。

[請求項14] 前記反射型空間光変調器、前記集光光学系及び前記結像光学系は、５００～５５０ｎｍ、１０００～１１５０ｎｍ及び１３００～１４００ｎｍの波長帯に対応している、請求項８～１３のいずれか一項記載のレーザ加工装置。

[請求項15] 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、を備え、

前記反射型空間光変調器から前記集光光学系に至る前記レーザ光の光路のうち、少なくとも前記結像光学系を通過する前記レーザ光の光路は、一直線であり、

前記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、レーザ加工装置。

[請求項16] 前記結像光学系は、前記反射型空間光変調器側の第１レンズ系及び前記集光光学系側の第２レンズ系を含み、

前記倍率Ｍ、前記第１レンズ系の第１焦点距離ｆ１及び前記第２レ

ンズ系の第２焦点距離ｆ２は、Ｍ＝ｆ２／ｆ１を満たす、請求項１５記載のレーザ加工装置。

[請求項17] 前記倍率Ｍは、０．６≦Ｍ≦０．９５を満たす、請求項１５又は１６記載のレーザ加工装置。

[請求項18] 前記倍率Ｍは、１．０５≦Ｍ≦１．７を満たす、請求項１５又は１６記載のレーザ加工装置。

[請求項19] 前記第１レンズ系及び前記第２レンズ系は、ホルダに保持されており、

前記ホルダは、前記レーザ光の光軸に沿った方向における前記第１レンズ系及び前記第２レンズ系の互いの位置関係を一定に維持しており、

前記レーザ光の光軸に沿った方向における前記第１レンズ系及び前記第２レンズ系の位置調整は、前記ホルダの位置調整によって実施される、請求項１６記載のレーザ加工装置。

[請求項20] 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、を備え、

前記反射型空間光変調器は、前記レーザ光を所定の平面に沿って鋭角に反射し、

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、前記平面に沿うように設定されており、

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、前記

平面と交差する方向に沿うように設定されている、レーザ加工装置。

[請求項21] 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、前記平面と直交する方向に沿うように設定されており、

前記ミラーは、前記レーザ光を直角に反射する、請求項２０記載のレーザ加工装置。

[請求項22] 前記ミラーは、ダイクロイックミラーである、請求項２０又は２１記載のレーザ加工装置。

[請求項23] 前記反射型空間光変調器は、前記レーザ光をＰ偏光として反射し、

前記ミラーは、前記レーザ光をＳ偏光として反射する、請求項２０～２２のいずれか一項記載のレーザ加工装置。

[請求項24] 前記レーザ光源から前記反射型空間光変調器に至る前記レーザ光の光路上に配置され、前記レーザ光の偏光方向を調整する偏光方向調整部を更に備える、請求項２０～２３のいずれか一項記載のレーザ加工装置。

[請求項25] 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、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ており、

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26] 前記ミラーは、ダイクロイックミラーである、請求項２５記載のレーザ加工装置。

[請求項27] 前記ミラーは、前記レーザ光をＳ偏光として反射する、請求項２５又は２６記載のレーザ加工装置。

[請求項28] 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、を更に備え、

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２５～２７のいずれか一項記載のレーザ加工装置。

[請求項29] 前記第１方向に沿って前記集光光学系を移動させる駆動機構を更に備え、

前記集光光学系は、前記駆動機構を介して、前記第２方向における前記筐体の一方の前記端部側に取り付けられている、請求項２８記載のレーザ加工装置。

[請求項30] 前記反射型空間光変調器は、前記第２方向における前記筐体の他方の端部側に取り付けられている、請求項２９記載のレーザ加工装置。

[請求項31] 前記加工対象物の前記レーザ光入射面の変位データを取得する第２センサを更に備え、

前記第２センサは、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２５～３０のいずれか一項記載のレーザ加工装置。

[請求項32] 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する取付ベースと、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のミラーを有し、前記平面と交差する方向に沿って前記レーザ光を外部に出射する、レーザ出力装置。

[請求項33] 前記ミラーユニットは、前記平面と直交する方向に沿って前記レーザ光を外部に出射する、請求項３２記載のレーザ出力装置。

[請求項34] 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３２又は３３記載のレーザ出力装置。

[請求項35] 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λ／２波長板と、

前記第１軸線を中心線として前記λ／２波長板が回転可能となるように、前記λ／２波長板を保持する第１ホルダと、

前記λ／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３４記載

のレーザ出力装置。

[請求項36] 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３５記載のレーザ出力装置。

[請求項37] 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３５又は３６記載のレーザ出力装置。

[請求項38] 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、

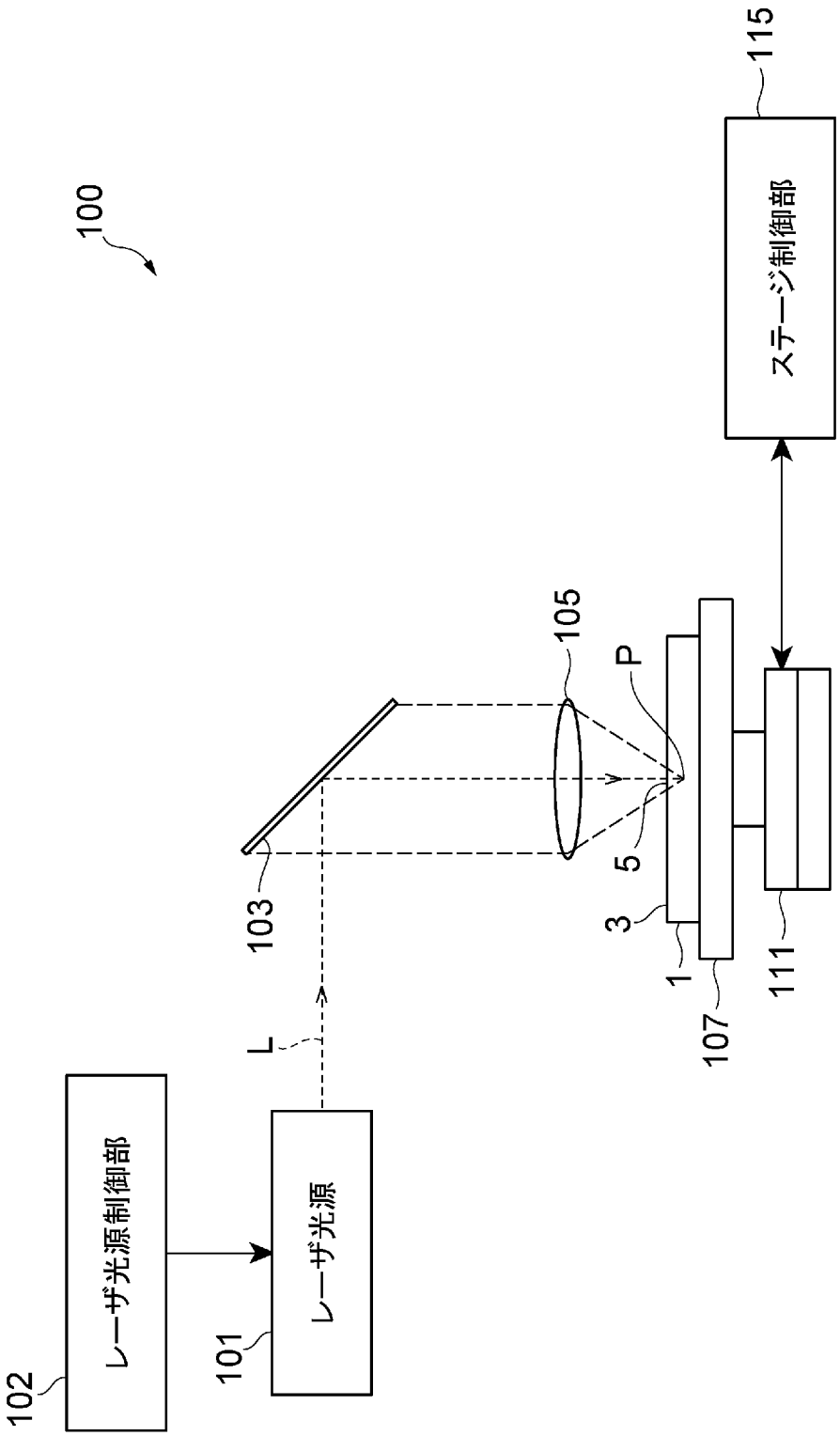
前記第２ミラーは、角度調整可能となるように前記支持ベースに取り付けられ、前記第１ミラーによって反射された前記レーザ光を前記平面と交差する前記方向に沿って反射する、請求項３２～３７のいずれか一項記載のレーザ出力装置。

[請求項39] 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３２～３８のいずれか一項記載のレーザ出力装置。

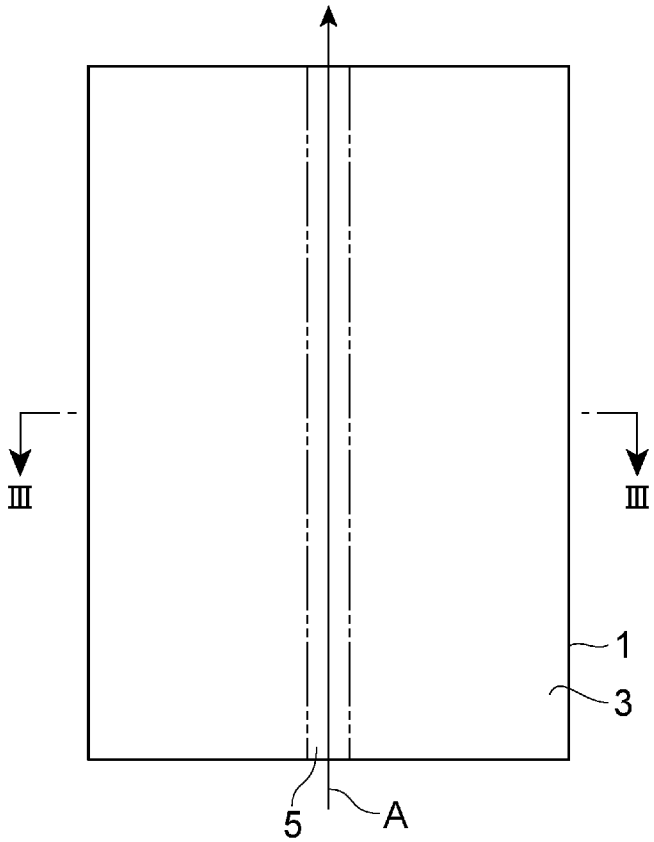
[請求項40] 前記レーザ光源から前記出力調整部に至る前記レーザ光の光路上に配置され、前記レーザ光の光路を開閉するシャッタを更に備え、

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３２～３９のいずれか一項記載のレーザ出力装置。

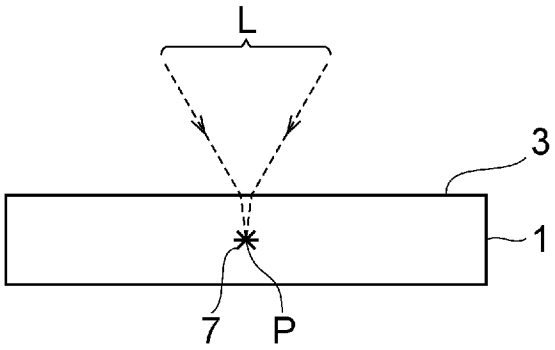
[図1]



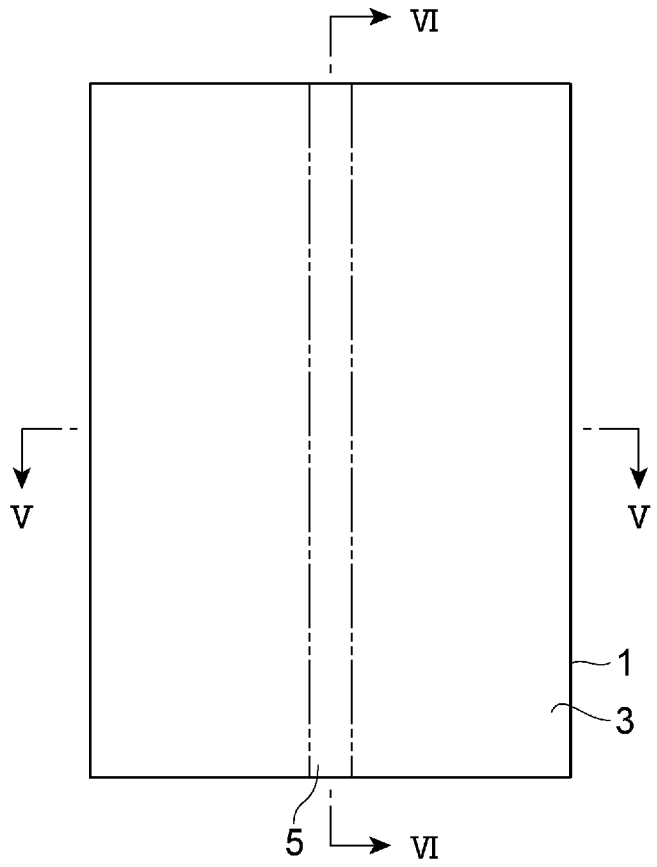
[図2]



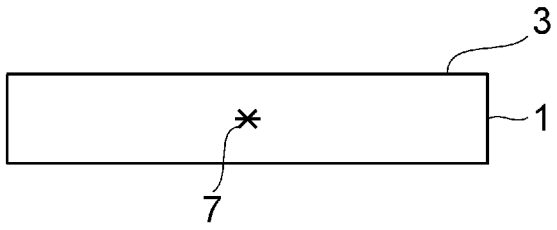
[図3]



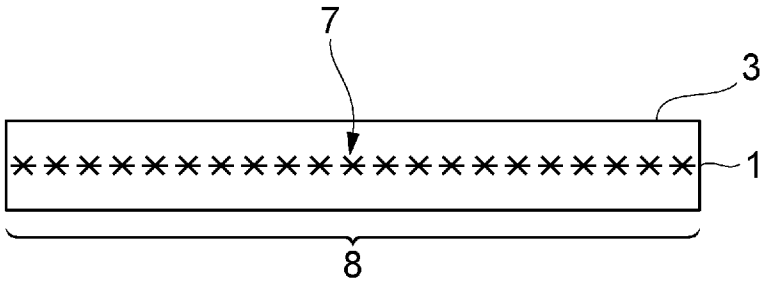
[図4]



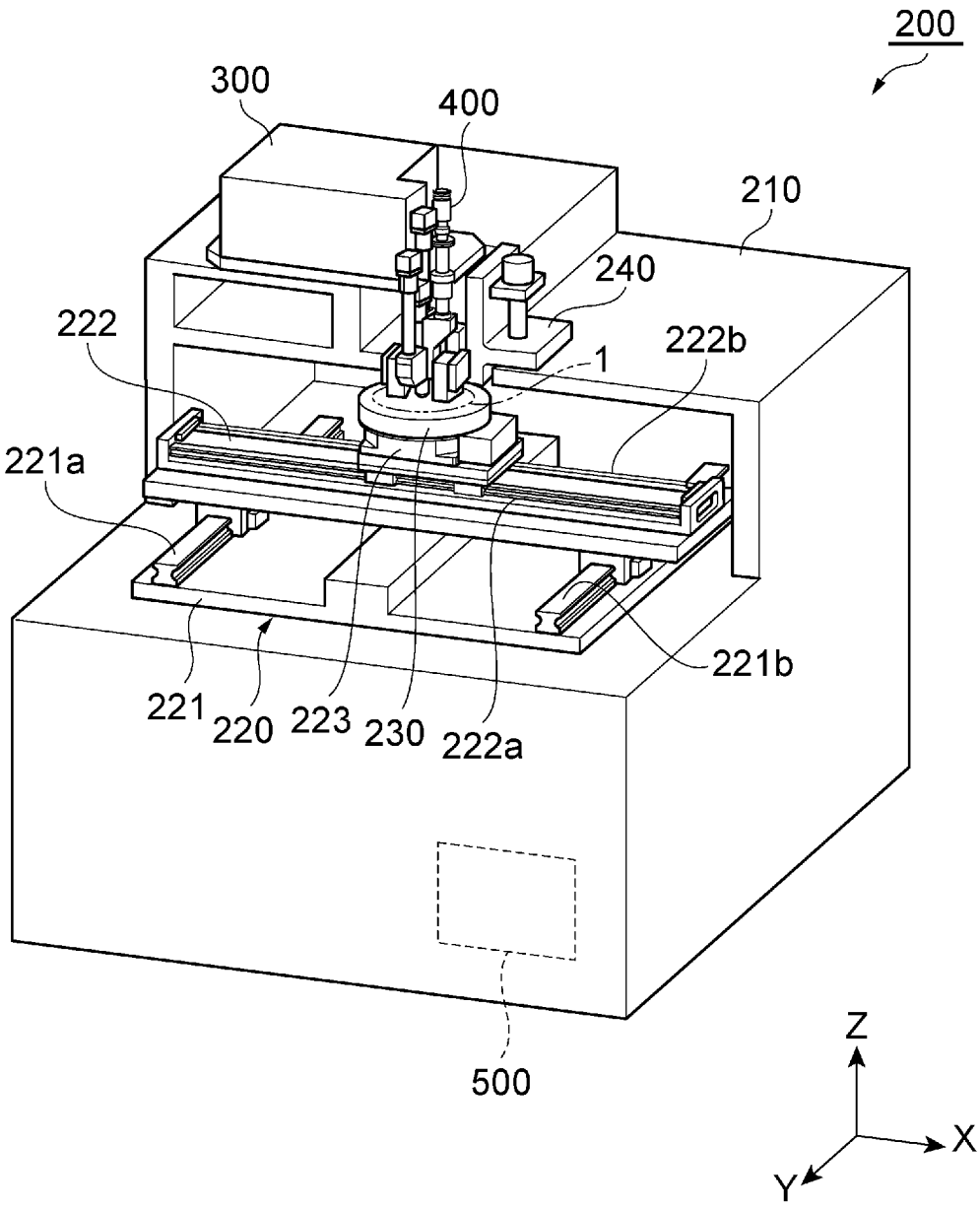
[図5]



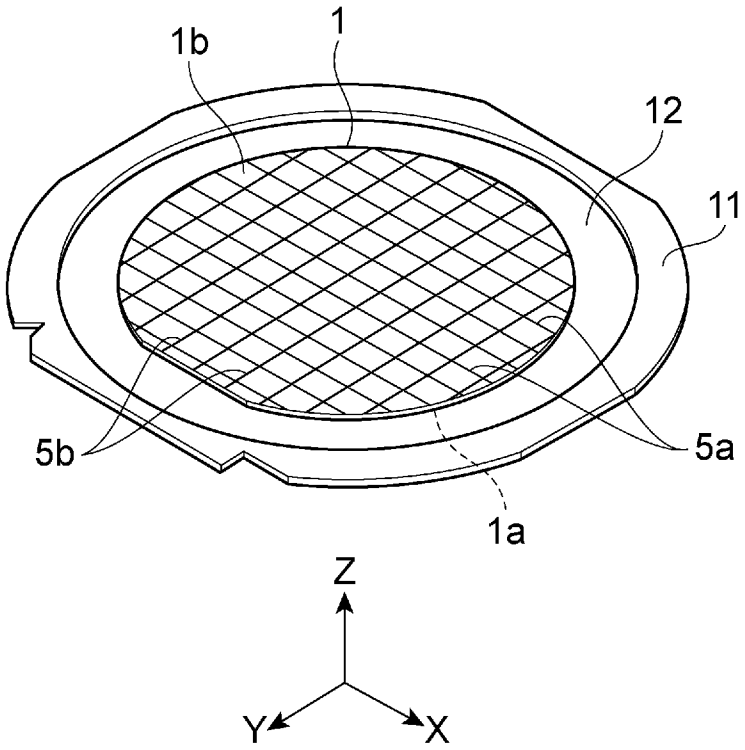
[図6]



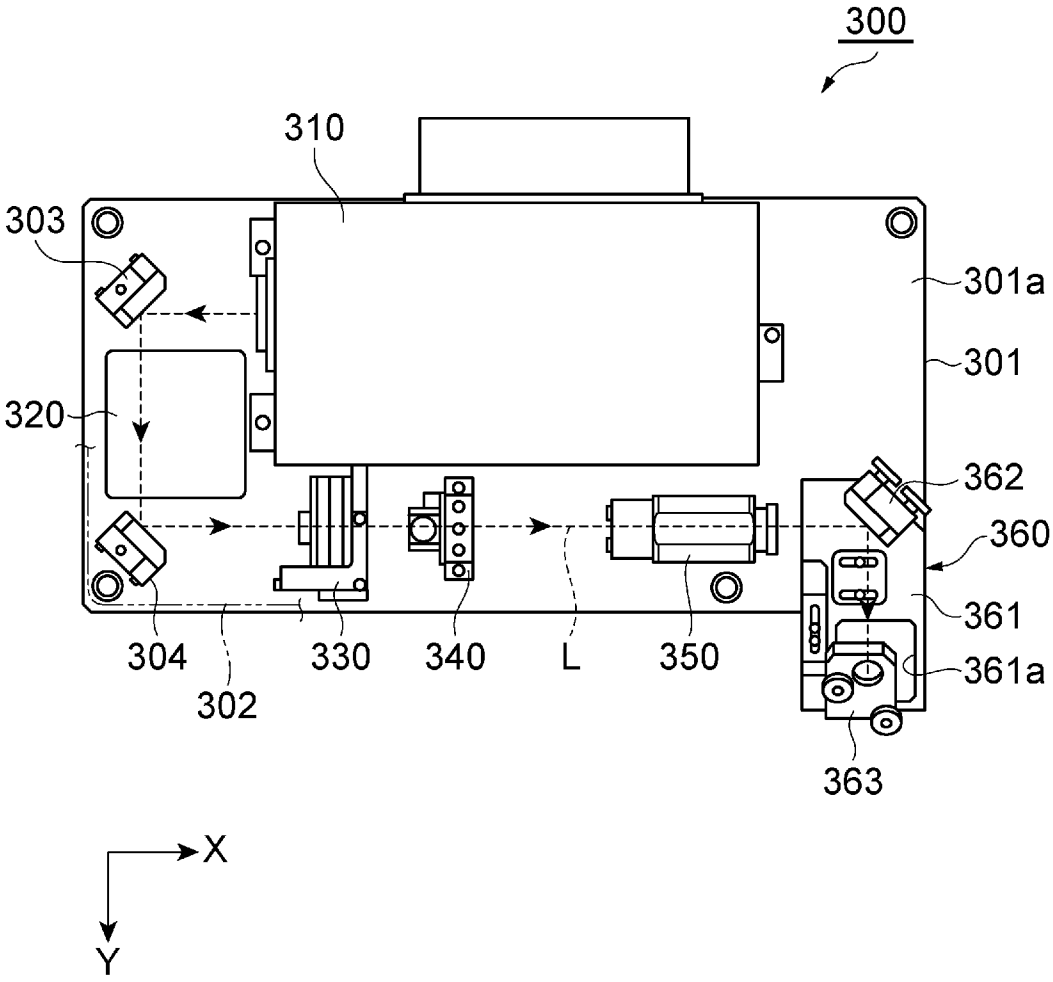
[図7]


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

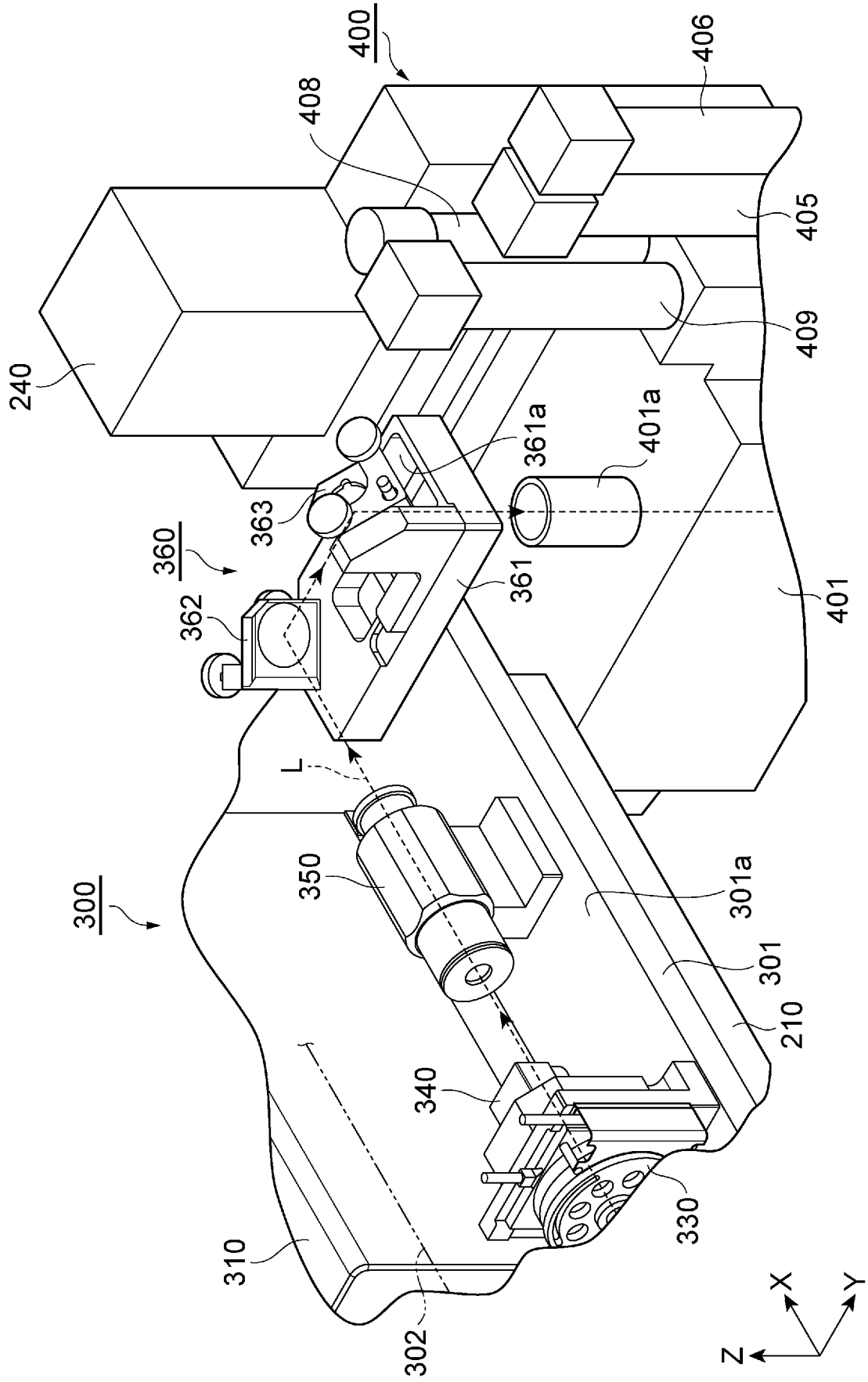
[図8]



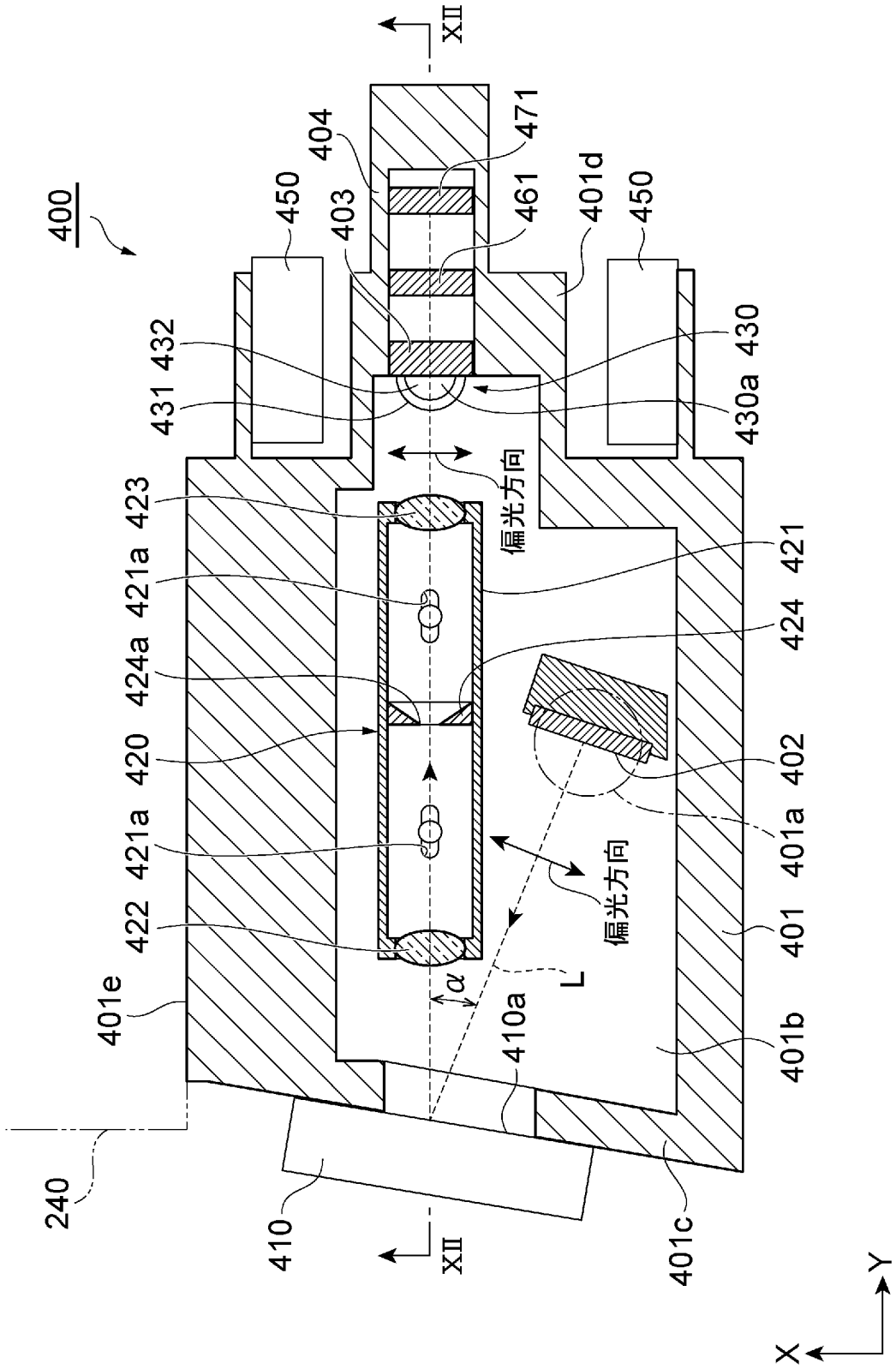
[図9]


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

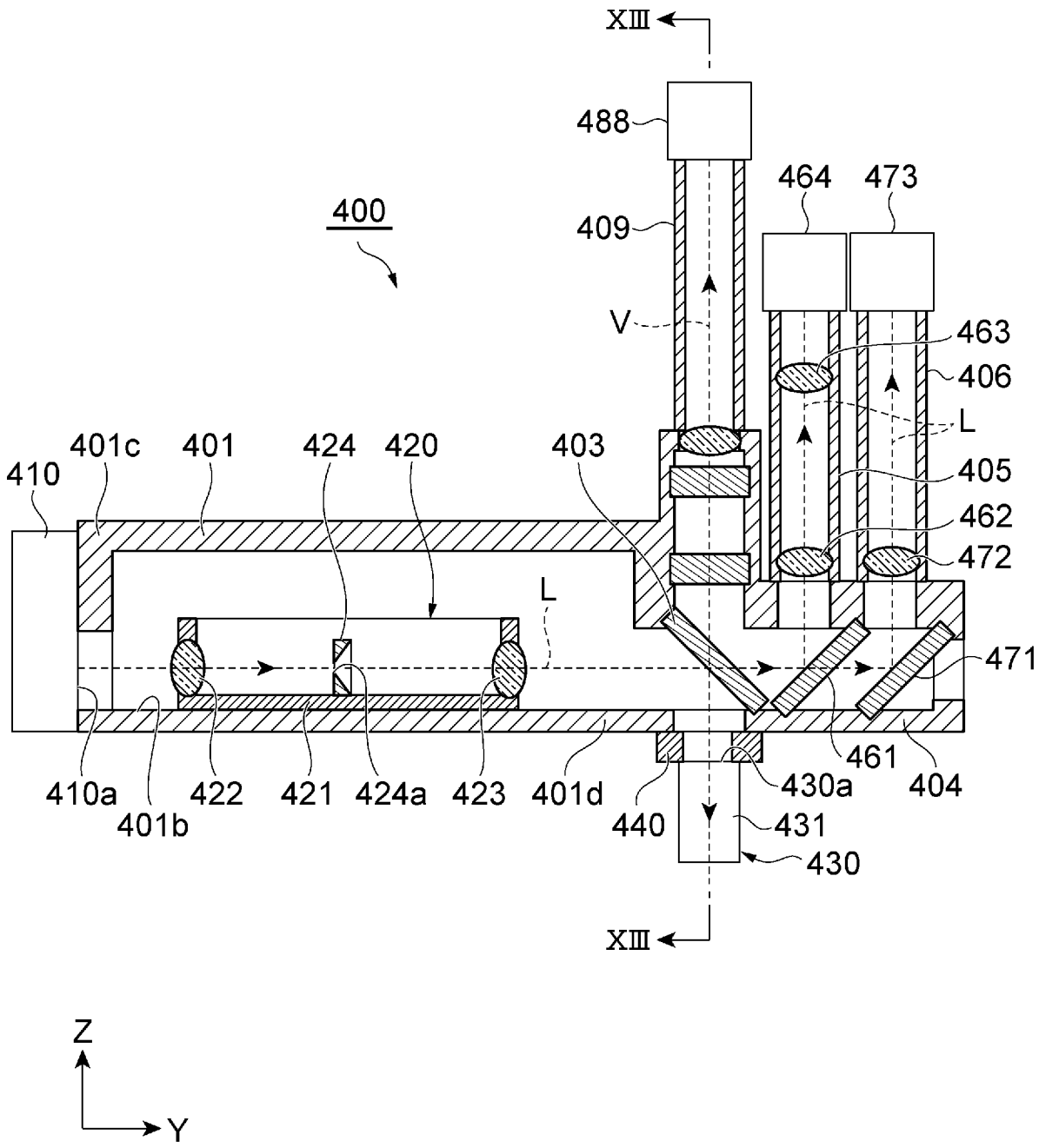
[図10]


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

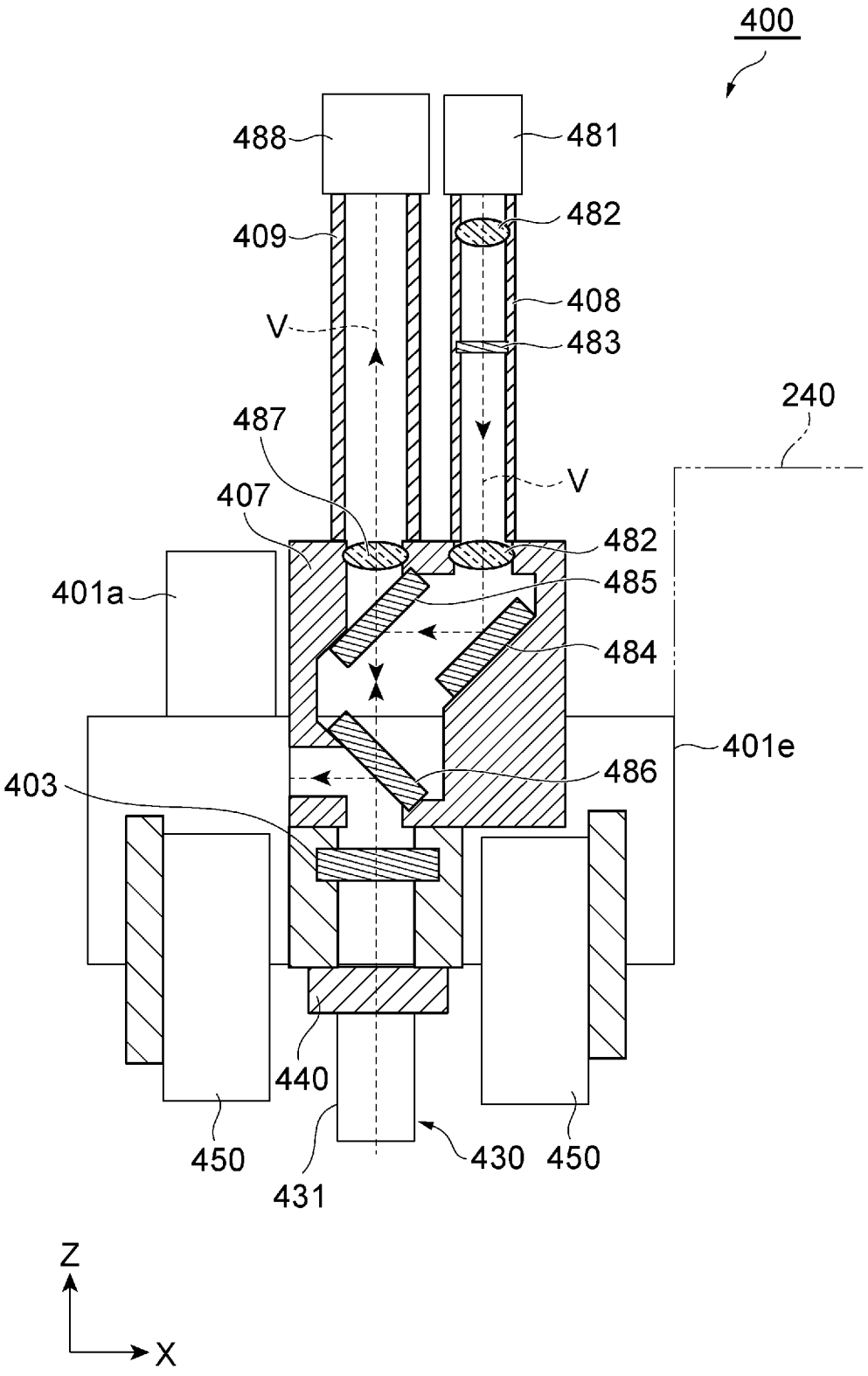
[図11]


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

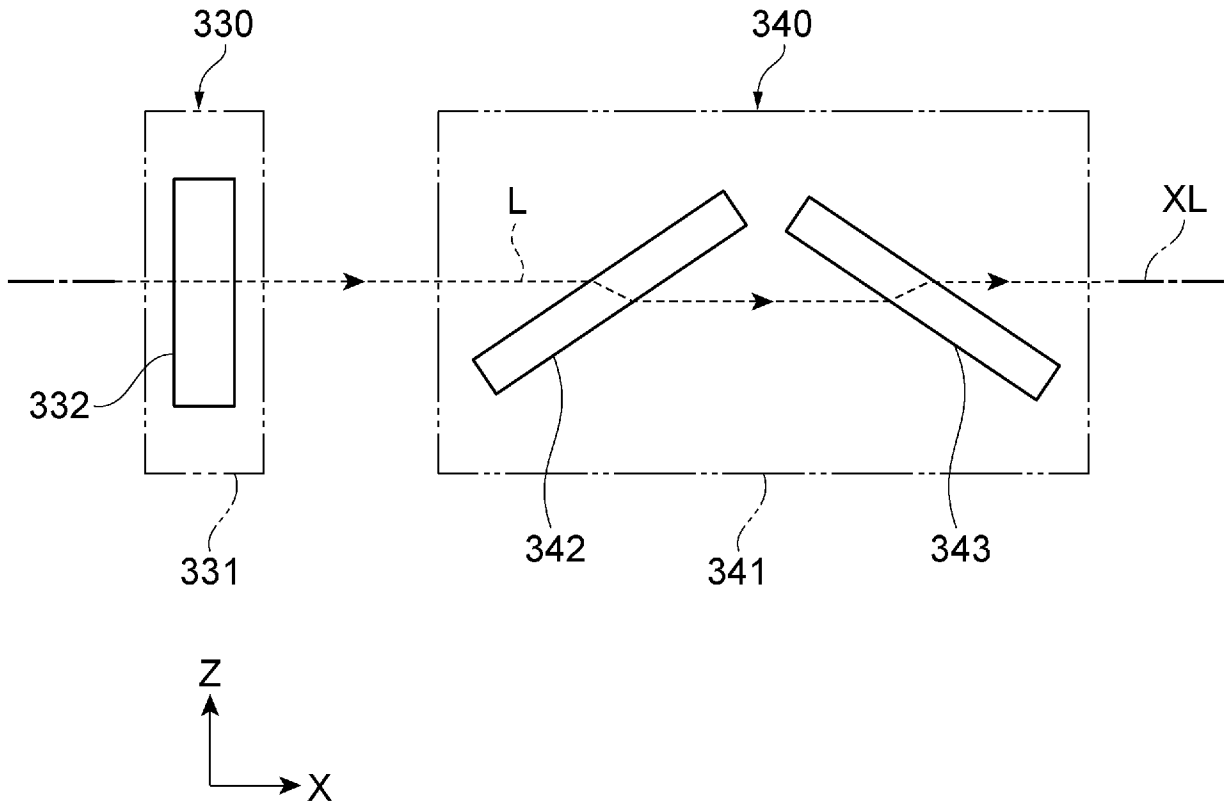
[図12]


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

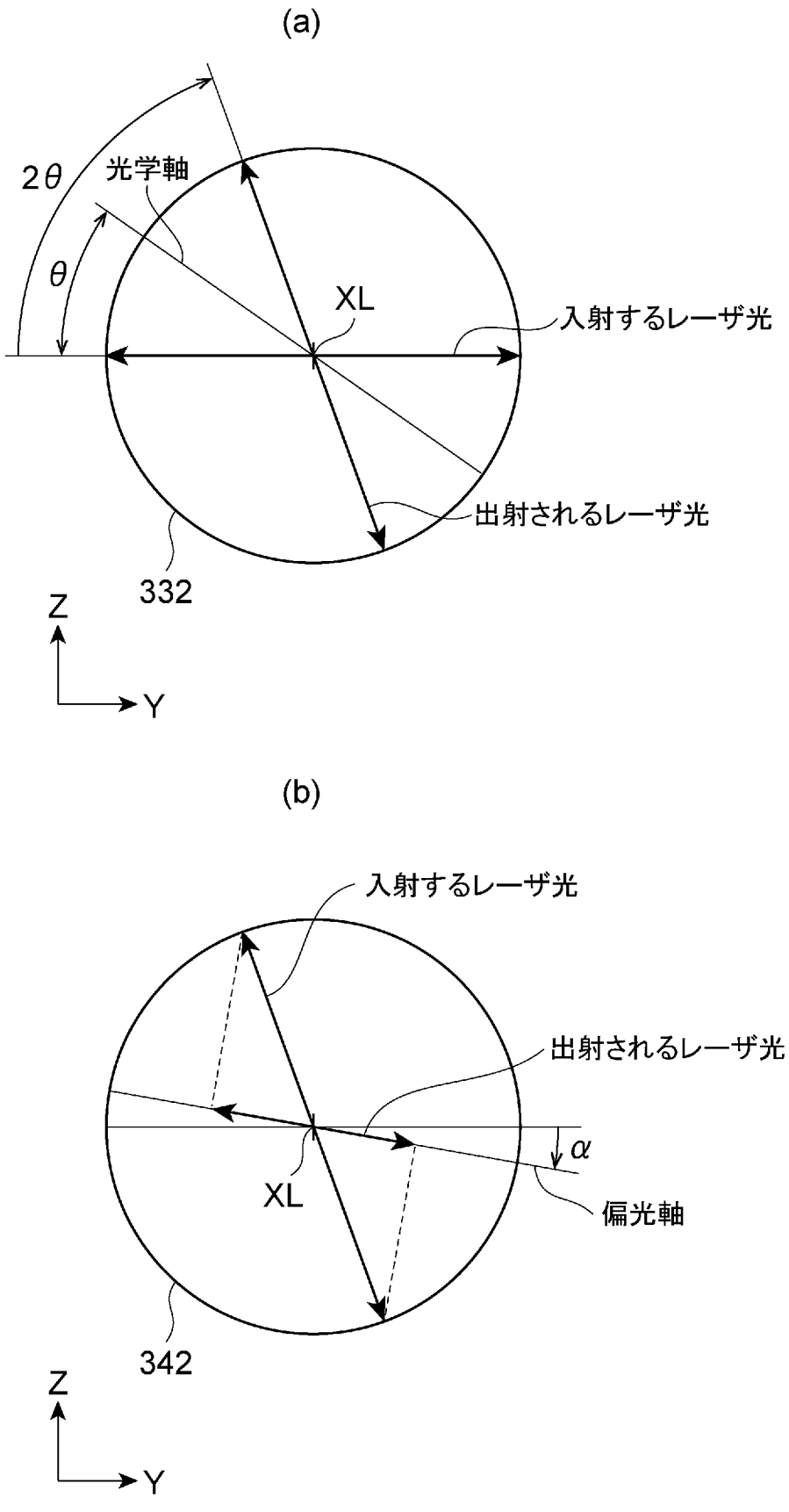
[図13]


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

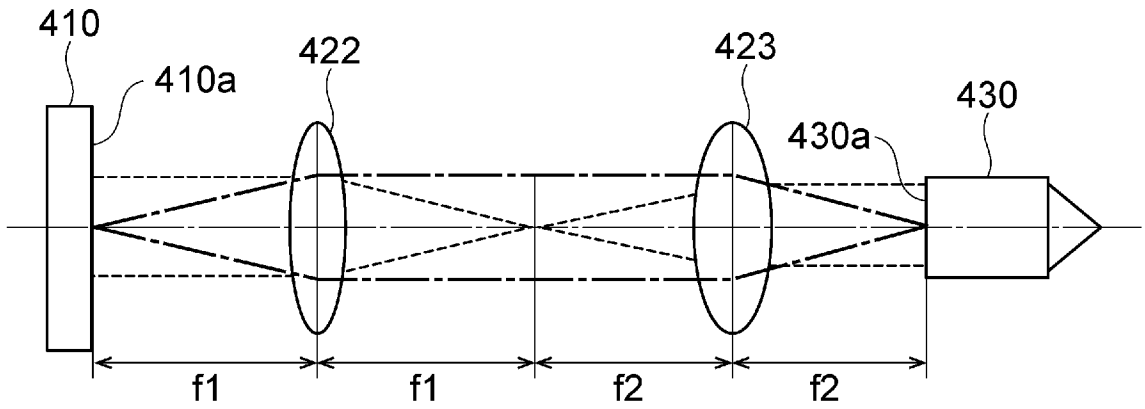
[図14]



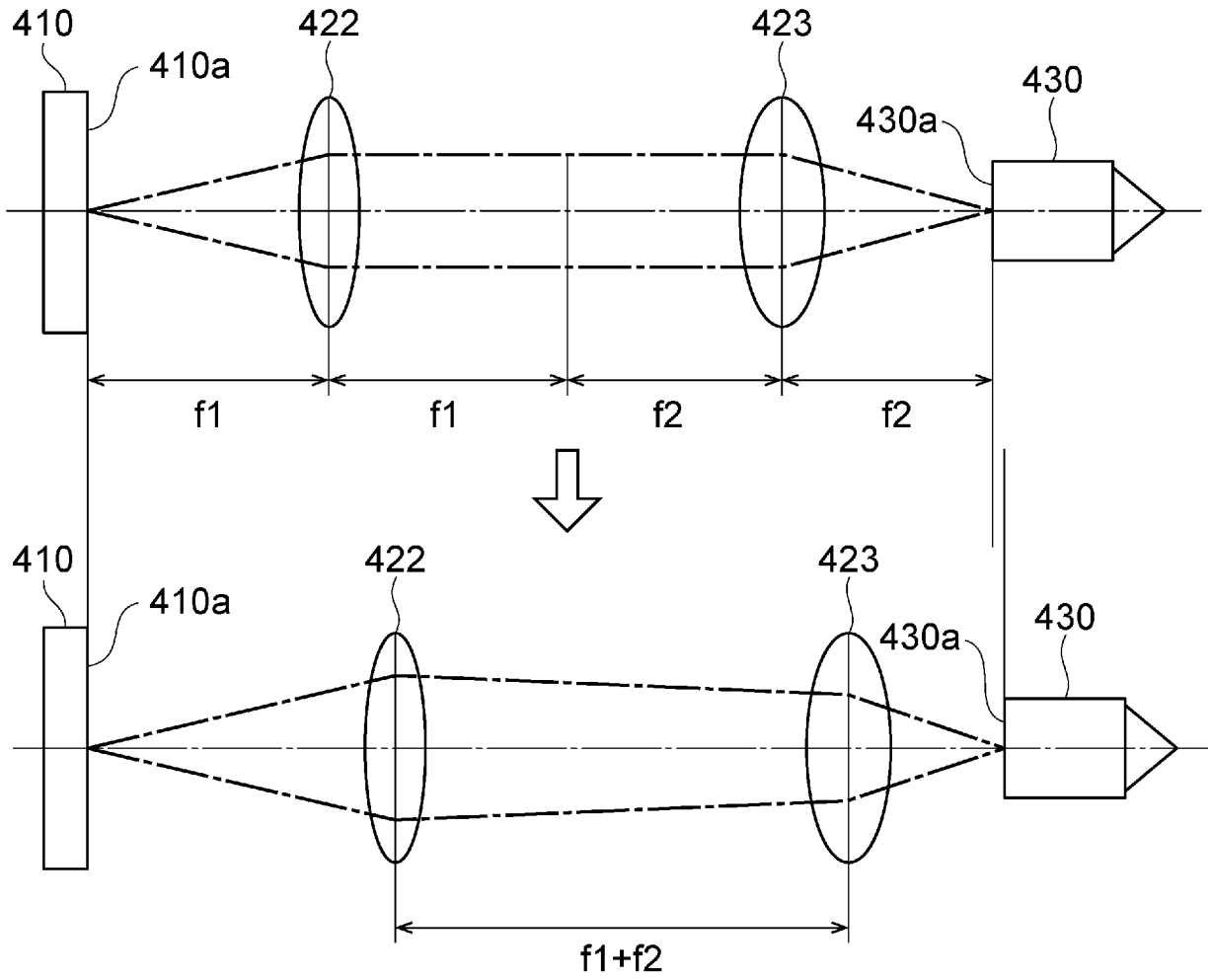
[図15]


(a)
2θ
光学軸
θ
XL
入射するレーザ光
出射されるレーザ光
332
Z
Y
(b)
入射するレーザ光
出射されるレーザ光
α
XL
偏光軸
342
Z
Y

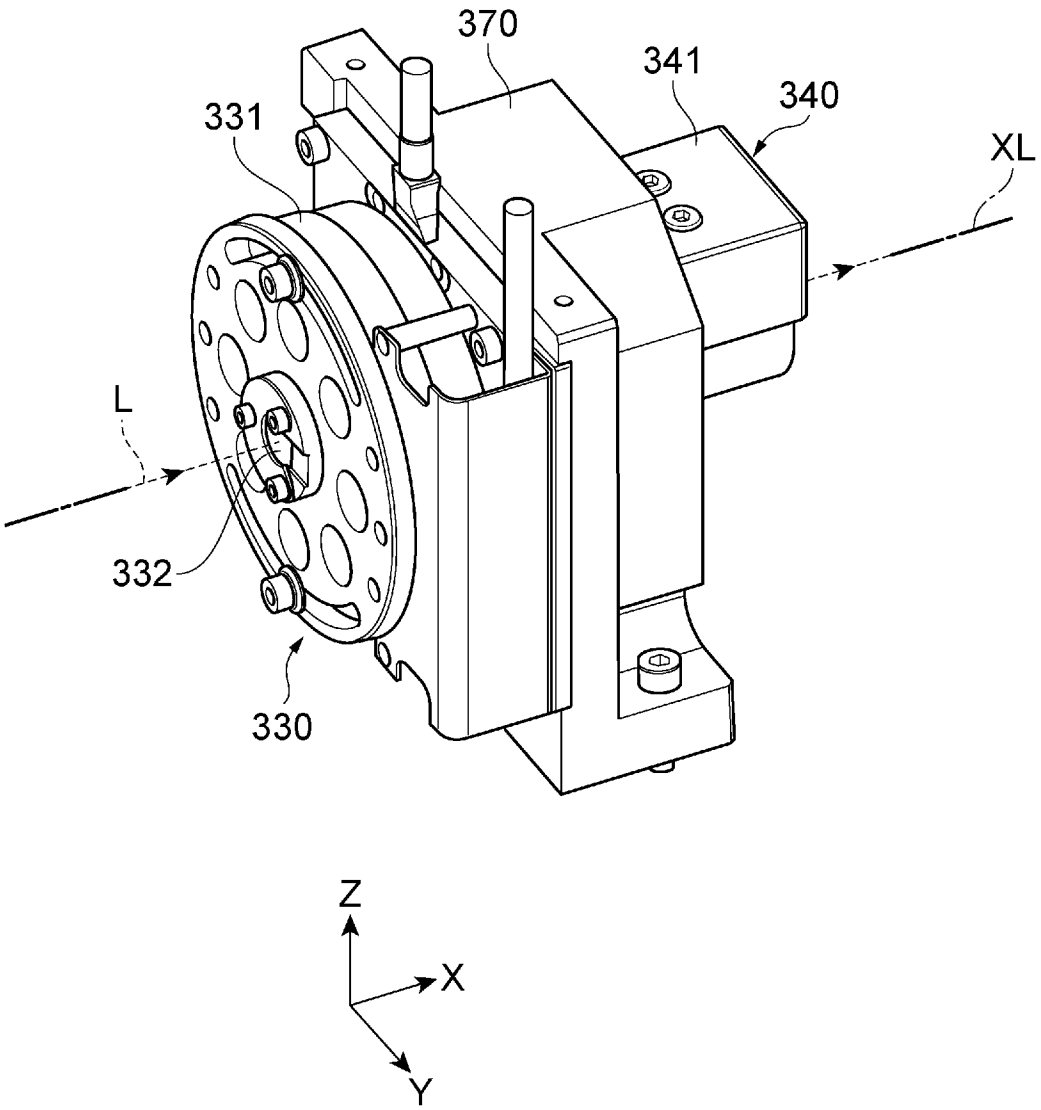
[図16]



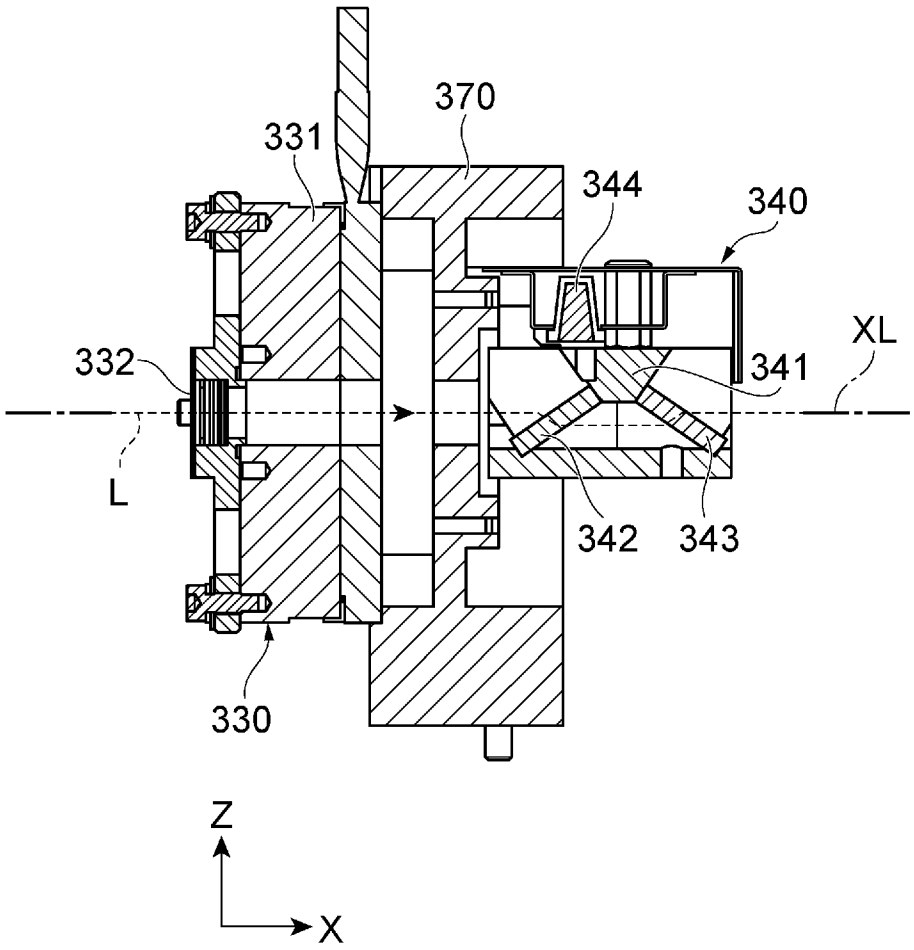
[図17]


410
410a
422
423
430
430a
f1
f1
f2
f2
410
410a
422
423
430
430a
f1+f2

[図18]



[図19]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/002315

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
B23K26/064(2014.01)i, *H01L21/301*(2006.01)i, *H01S3/00*(2006.01)i, *H01S3/10*(2006.01)i, *B23K26/53*(2014.01)n

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
B23K26/064, H01L21/301, H01S3/00, H01S3/10, B23K26/53

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2010-155258 A (Toray Engineering Co., Ltd.), 15 July 2010 (15.07.2010), paragraphs [0020], [0037] to [0041]; fig. 1, 4 (Family: none)	32-33,38-40 34-40 1-31
Y A	JP 2011-025304 A (Seishin Trading Co., Ltd.), 10 February 2011 (10.02.2011), paragraphs [0023] to [0042]; fig. 2 & US 2012/0261453 A1 paragraphs [0042] to [0061]; fig. 2 & WO 2011/013449 A1 & EP 2460614 A1 & TW I391203 B1 & KR 10-1167236 B1 & CN 102470482 B	34-40 1-33

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

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

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
11 April 2017 (11.04.17)	25 April 2017 (25.04.17)

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

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/002315

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2015-226012 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 14 December 2015 (14.12.2015), entire text; all drawings & WO 2015/182236 A1 & TW 201607660 A & CN 106463374 A & KR 10-2017-0010760 A	1-40
A	JP 2014-147946 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 21 August 2014 (21.08.2014), entire text; all drawings & US 2015/0343562 A1 & WO 2014/119114 A1 & DE 112013006559 T5 & TW 201429589 A & KR 10-2015-0110466 A & CN 105008085 A	1-40

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１７／００２３１５

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　B23K26/064(2014.01)i, H01L21/301(2006.01)i, H01S3/00(2006.01)i, H01S3/10(2006.01)i, B23K26/53(2014.01)n

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　B23K26/064, H01L21/301, H01S3/00, H01S3/10, B23K26/53

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１７年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１７年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１７年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X Y A	JP 2010-155258 A (東レエンジニアリング株式会社) 2010.07.15, [0020], [0037]-[0041], 図1, 図4 (ファミリーなし)	32-33, 38-40 34-40 1-31
Y A	JP 2011-025304 A (西進商事株式会社) 2011.02.10, [0023]-[0042], 図2 & US 2012/0261453 A1, [0042]-[0061], Fig.2 & WO 2011/013449 A1 & EP 2460614 A1 & TW I391203 B1 & KR 10-1167236 B1 & CN 102470482 B	34-40 1-33

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

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

国際調査を完了した日 １１．０４．２０１７	国際調査報告の発送日 ２５．０４．２０１７
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 郵便番号１００－８９１５ 東京都千代田区霞が関三丁目４番３号	特許庁審査官（権限のある職員）　３Ｐ　９２４６ 岩瀬　昌治 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３６３

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 2015-226012 A (浜松ホトニクス株式会社) 2015.12.14, 全文, 全図 & WO 2015/182236 A1 & TW 201607660 A & CN 106463374 A & KR 10-2017-0010760 A	1-40
A	JP 2014-147946 A (浜松ホトニクス株式会社) 2014.08.21, 全文, 全図 & US 2015/0343562 A1 & WO 2014/119114 A1 & DE 112013006559 T5 & TW 201429589 A & KR 10-2015-0110466 A & CN 105008085 A	1-40