

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年4月26日(26.04.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/074253 A1

(51) 国際特許分類:

B23K 26/064 (2014.01) G02B 5/18 (2006.01)
B23K 26/067 (2006.01) H01L 21/677 (2006.01)
C03B 33/09 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2017/036362

(22) 国際出願日: 2017年10月5日(05.10.2017)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:

特願 2016-205294 2016年10月19日(19.10.2016) JP

(71) 出願人: 浜松ホトニクス株式会社 (HAMAMATSU PHOTONICS K.K.) [JP/JP];
〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1
2 6 番地の 1 Shizuoka (JP).

(72) 発明者: 奥間 淳治 (OKUMA Junji); 〒4358558
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 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 M Y P L A Z A
(明治安田生命ビル) 9 階 創英国際特
許法律事務所 Tokyo (JP).

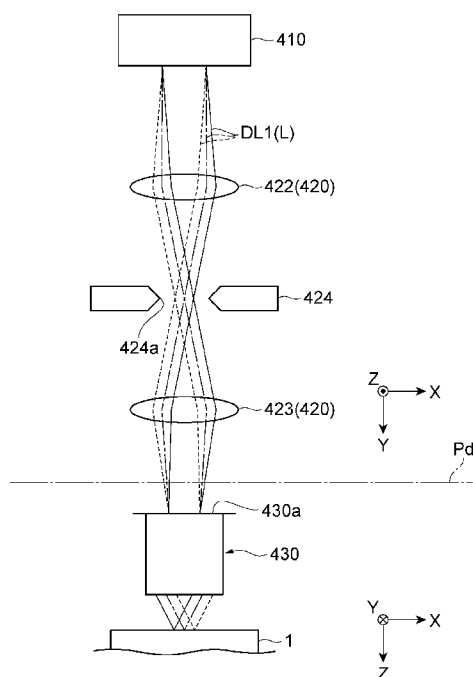
(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ,
BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS,
MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM,

(54) Title: LASER LIGHT IRRADIATING DEVICE

(54) 発明の名称: レーザ光照射装置

[図17]



(57) Abstract: This laser light irradiating device is provided with: a spatial optical modulator which, in accordance with a phase pattern, modulates laser light output from a laser light source and emits the modulated laser light; an objective lens which condenses, toward a target object, the laser light emitted from the spatial optical modulator; a converging lens which is disposed in the optical path of the laser light, between the spatial optical modulator and the objective lens, and which causes the laser light to converge; and a slit member which is disposed in the optical path of the laser light at the position of a focal point after the converging lens, to block a portion of the laser light. The phase pattern includes a first pattern for modulating a portion of the laser light incident on a pupil plane of the objective lens, and a second pattern for modulating the remaining portion of the laser light. The second pattern includes a diffraction grating pattern for causing the remaining portion of the laser light to branch into a plurality of diffracted light beams, and the slit member blocks the diffracted light beams by means of a slit.



ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

- 一 国際調査報告（条約第21条(3)）

(57) 要約：レーザ光源から出力されたレーザ光を位相パターンに応じて変調して出射する空間光変調器と、前記空間光変調器から出射された前記レーザ光を対象物に向けて集光する対物レンズと、前記レーザ光の光路における前記空間光変調器と前記対物レンズとの間に配置され、前記レーザ光を集束する集束レンズと、前記レーザ光の光路における前記集束レンズの後側の焦点位置に配置され、前記レーザ光の一部を遮断するスリット部材と、を備え、前記位相パターンは、前記対物レンズの瞳面に入射する前記レーザ光の一部を変調する第1パターンと、前記レーザ光の残部を変調する第2パターンと、を含み、前記第2パターンは、前記レーザ光の前記残部を複数の回折光に分岐させるための回折格子パターンを含み、前記スリット部材は、スリットによって前記回折光を遮断する、レーザ光照射装置。

明 細 書

発明の名称： レーザ光照射装置

技術分野

[0001] 本発明の一側面は、レーザ光照射装置に関する。

背景技術

[0002] 特許文献1には、レーザ光を対象物に照射するレーザ光照射装置が記載されている。このレーザ光照射装置においては、レーザ光源で発生させたレーザ光は、空間光変調器により変調された後、対物レンズによって対象物に集光される。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2011-51011号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] ところで、レーザ光が空間光変調器を介して対物レンズに入射するとき、レーザ光のビームサイズが対物レンズの瞳面のサイズ（瞳径）よりも大きい場合がある。その場合には、レーザ光の一部が対物レンズの瞳面に入射する一方で、レーザ光の残部が対物レンズのホルダといった別部材に入射する。対物レンズの瞳面に入射するレーザ光の一部は、対象物に照射される有効光であり、別部材に入射するレーザ光の残部は、対象物に照射されない非有効光である。非有効光が別部材に入射すると、その別部材において熱が発生する。これにより、レーザ光の集光点の位置が変化する等、レーザ光の対象物への照射状態が変化するおそれがある。

[0005] 本発明の一側面は、そのような事情に鑑みてなされたものであり、レーザ光の対象物への照射状態の変化を抑制可能なレーザ光照射装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明者らは、上記課題を解決するために鋭意検討を重ねた結果、次のような知見を得た。すなわち、上記課題を解決するためには、対物レンズの前方側において非有効光を遮断すればよく、そのためには、例えば、空間光変調器に回折格子パターンを含む位相パターンを表示して非有効光を回折により分岐させ、分岐された回折光をスリットにより遮断すればよい。本発明の一側面は、そのような知見に基づいて更なる研究を重ねた結果になされたものである。

[0007] すなわち、本発明の一側面に係るレーザ光照射装置は、レーザ光を第1方向に沿って対象物に照射するレーザ光照射装置であって、レーザ光を出力するレーザ光源と、レーザ光源から出力されたレーザ光を位相パターンに応じて変調して出射する空間光変調器と、空間光変調器から出射されたレーザ光を対象物に向けて集光する対物レンズと、レーザ光の光路における空間光変調器と対物レンズとの間に配置され、レーザ光を集束する集束レンズと、レーザ光の光路における集束レンズの後側の焦点位置に配置され、レーザ光の一部を遮断するスリット部材と、を備え、位相パターンは、対物レンズの瞳面に入射するレーザ光の一部を変調する第1パターンと、レーザ光の残部を変調する第2パターンと、を含み、第2パターンは、第1方向に交差する第2方向に沿ってレーザ光の残部を複数の回折光に分岐させるための回折格子パターンを含み、スリット部材は、スリットによって回折光を遮断する。

[0008] このレーザ光照射装置においては、レーザ光源から出力されたレーザ光が、空間光変調器の位相パターンにより変調された後に、対物レンズにより対象物に向けて集光される。空間光変調器の位相パターンは、対物レンズの瞳面に入射するレーザ光の一部（有効光）を変調する第1パターンと、レーザ光の残部（非有効光）を変調する第2パターンと、を含む。第2パターンは、第1方向に交差する第2方向に沿って光を回折するための回折格子パターンを含む。したがって、レーザ光のうちの非有効光は、レーザ光のスキュン方向に交差する第2方向について、複数の回折光に分岐される。そして、回折光は、集束レンズの後側焦点位置において、スリット部材のスリットによ

り遮断される。その結果、有効光がスリットを通過して対象物に照射される一方で、非有効光の回折光がスリットにより遮断され、対物レンズに到達しない。よって、このレーザ光照射装置によれば、レーザ光の対象物への照射状態の変化を抑制することが可能である。

[0009] 本発明の一側面に係るレーザ光照射装置においては、スリット部材は、第2方向よりも第1方向に相対的に長くなるように形成されたスリットによって、回折光を遮断してもよい。

[0010] ここで、レーザ光照射装置にあっては、レーザ光を複数に分岐させて対象物に照射する要求がある。そこで、本発明の一側面に係るレーザ光照射装置においては、第1パターンは、第1方向に沿ってレーザ光の一部を複数の別の回折光に分岐させるための別の回折格子パターンを含んでもよい。この場合、レーザ光のうちの有効光を、対象物に対するレーザ光の照射方向（スキャン方向）である第1方向について複数の別の回折光に分岐し、対象物に照射可能である。

[0011] なお、以下では、第1パターンに含まれる「別の回折格子パターン」を「第1回折格子パターン」と称し（或いは併記し）、その第1回折格子パターンにより分岐された「別の回折光」を「第1回折光」と称する（或いは併記する）場合がある。また、第2パターンに含まれる「回折格子パターン」を「第2回折格子パターン」と称し（或いは併記し）、その第2回折格子パターンにより分岐された「回折光」を「第2回折光」と称する（或いは併記する）場合がある。

[0012] 本発明の一側面に係るレーザ光照射装置においては、第1方向についてのスリットのサイズは、焦点位置における第1回折光（別の回折光）のビームサイズと、焦点位置における第1回折光（別の回折光）の分岐間隔と、の合計値よりも大きく、第2方向についてのスリットのサイズは、焦点位置における第2回折光（回折光）のビームサイズよりも大きくてもよい。この場合、複数の第1回折光をスリットで遮断することなく確実に対象物に照射可能である。

[0013] 本発明の一側面に係るレーザ光照射装置においては、分岐間隔は、第1方向における±1次の第1回折光（別の回折光）の間隔であってもよい。この場合、少なくとも、第1回折光のうちの0次光と±1次光とを対象物に照射可能である。

[0014] 本発明の一側面に係るレーザ光照射装置においては、第2方向についてのスリットのサイズは、集束レンズの焦点距離を f 、レーザ光の波長を λ 、空間光変調器の画素サイズを x_{SLM} とすると、下記式（1）で表される1次光の最大回折距離 F よりも小さくてもよい。この場合、第2回折光をスリットにより確実に遮断できる。

[数1]

$$F = 2f \times \tan \left(\sin^{-1} \left(\frac{\lambda}{2x_{SLM}} \right) \right) \cdots (1)$$

[0015] 本発明の一側面に係るレーザ光照射装置においては、スリットの第1方向についてのサイズは、焦点位置における±3次の第1回折光（別の回折光）の間隔よりも小さくてもよい。この場合、第1回折光のうちの±3次以上の高次光をスリットにより遮断できる。

[0016] 本発明の一側面に係るレーザ光照射装置においては、第1回折格子パターン（別の回折格子パターン）は、第2方向に沿った複数の溝パターンからなり、第2回折格子パターン（回折格子パターン）は、第1方向に沿った複数の溝パターンからなってもよい。このように、第1回折格子パターンと第2回折格子パターンとで溝パターンの方向を交差するように設定することで、第1回折光の分岐方向と第2回折光の分岐方向とを違えることができる。

[0017] 本発明の一側面に係るレーザ光照射装置においては、空間光変調器は、位相パターンを表示する液晶層を含み、液晶層は、レーザ光が入射する領域のうちの円形状の有効領域と有効領域の外側の円環形状の非有効領域とを含み、第1パターンは、有効領域に表示されレーザ光の一部を変調し、第2パターンは、非有効領域に表示されレーザ光の残部を変調してもよい。この場合

、対物レンズに入射するビームプロファイルに応じて、対象物に照射されるビーム形状を所望に設定することができ、微細な加工制御（照射制御）が可能となる。

[0018] ここで、本発明の一側面に係るレーザ光照射装置は、レーザ光を第1方向に沿って対象物に照射するレーザ光照射装置であって、レーザ光を出力するレーザ光源と、レーザ光源から出力されたレーザ光を位相パターンに応じて変調して出射する空間光変調器と、空間光変調器から出射されたレーザ光を対象物に向けて集光する対物レンズと、レーザ光の光路における空間光変調器と対物レンズとの間に配置され、レーザ光を集束する集束レンズと、レーザ光の光路における集束レンズの後側の焦点位置に配置され、レーザ光の一部を遮断するスリット部材と、を備え、空間光変調器は、位相パターンを表示する液晶層を含み、液晶層は、対物レンズの瞳面に入射するレーザ光の一部が入射する有効領域と、レーザ光の残部が入射する非有効領域と、を含み、スリット部材は、非有効領域で変調された光をスリットにより遮断する。

[0019] このレーザ光照射装置においては、レーザ光源から出力されたレーザ光が、空間光変調器の位相パターンにより変調された後に、対物レンズにより対象物に向けて集光される。空間光変調器の液晶層は、対物レンズの瞳面に入射するレーザ光の一部（有効光）が入射する有効領域と、レーザ光の残部（非有効光）が入射する非有効領域と、を含む。そして、非有効領域で変調された光は、集束レンズの後側焦点位置において、スリット部材のスリットにより遮断される。その結果、有効光がスリットを通過して対象物に照射される一方で、非有効光がスリットにより遮断され、対物レンズ（別部材）に到達しない。よって、このレーザ光照射装置によれば、レーザ光の対象物への照射状態の変化を抑制することが可能である。

発明の効果

[0020] 本発明の一側面によれば、レーザ光の対象物への照射状態の変化を抑制可能なレーザ光照射装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[図21] [図1]改質領域の形成に用いられるレーザ加工装置の概略構成図である。

[図2]改質領域の形成の対象となる加工対象物の平面図である。

[図3]図2の加工対象物のIII-III線に沿っての断面図である。

[図4]レーザ加工後の加工対象物の平面図である。

[図5]図4の加工対象物のV-V線に沿っての断面図である。

[図6]図4の加工対象物のVI-VI線に沿っての断面図である。

[図7]実施形態に係るレーザ加工装置の斜視図である。

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

[図9]図7のXY平面に沿ってのレーザ出力部の断面図である。

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

[図11]図7のXY平面に沿ってのレーザ集光部の断面図である。

[図12]図11のXII-XII線に沿ってのレーザ集光部の断面図である。

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

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

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

[図16]第1実施形態に係るレーザ加工装置の要部を示す概略構成図である。

[図17]図16に示された反射型空間光変調器から加工対象物に至るレーザ光の光路、及び、その光路上の各光学要素を模式的に示す図である。

[図18]反射型空間光変調器に表示される位相パターンの一例を示す図である。

[図19]反射型空間光変調器上のレーザ光の強度分布を示す画像である。

[図20]スリット部材及び回折光のビームスポットを示す図である。

[図21]最大回折距離を説明するための図である。

発明を実施するための形態

[0022] 以下、本発明の一側面の一実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。なお、各図において、互いに同一の要素、又は、互いに相当する要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する場合がある。

[0023] 実施形態に係るレーザ加工装置では、加工対象物にレーザ光を集光することにより、切断予定ラインに沿って加工対象物に改質領域を形成する。そこで、まず、改質領域の形成について、図1～図6を参照して説明する。

[0024] 図1に示されるように、レーザ加工装置100は、レーザ光Lをパルス発振するレーザ光源101と、レーザ光Lの光軸（光路）の向きを90°変えるように配置されたダイクロイックミラー103と、レーザ光Lを集光するための集光用レンズ105と、を備えている。また、レーザ加工装置100は、集光用レンズ105で集光されたレーザ光Lが照射される対象物である加工対象物1を支持するための支持台107と、支持台107を移動させるための移動機構であるステージ111と、レーザ光Lの出力やパルス幅、パルス波形等を調節するためにレーザ光源101を制御するレーザ光源制御部102と、ステージ111の移動を制御するステージ制御部115と、を備えている。

[0025] 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。

[0026] 加工対象物1としては、半導体材料で形成された半導体基板や圧電材料で形成された圧電基板等を含む板状の部材（例えば、基板、ウェハ等）が用いられる。図2に示されるように、加工対象物1には、加工対象物1を切断す

るための切断予定ライン5が設定されている。切断予定ライン5は、直線状に延びた仮想線である。加工対象物1の内部に改質領域を形成する場合、図3に示されるように、加工対象物1の内部に集光点（集光位置）Pを合わせた状態で、レーザ光Lを切断予定ライン5に沿って（すなわち、図2の矢印A方向に）相対的に移動させる。これにより、図4、図5及び図6に示されるように、改質領域7が切断予定ライン5に沿って加工対象物1に形成され、切断予定ライン5に沿って形成された改質領域7が切断起点領域8となる。切断予定ライン5は、照射予定ラインに対応する。

[0027] 集光点Pとは、レーザ光Lが集光する箇所のことである。切断予定ライン5は、直線状に限らず曲線状であってもよいし、これらが組み合わされた3次元状であってもよいし、座標指定されたものであってもよい。切断予定ライン5は、仮想線に限らず加工対象物1の表面3に実際に引かれた線であってもよい。改質領域7は、連続的に形成される場合もあるし、断続的に形成される場合もある。改質領域7は列状でも点状でもよく、要は、改質領域7は少なくとも加工対象物1の内部、表面3又は裏面に形成されていればよい。改質領域7を起点に亀裂が形成される場合があり、亀裂及び改質領域7は、加工対象物1の外表面（表面3、裏面、若しくは外周面）に露出しているもよい。改質領域7を形成する際のレーザ光入射面は、加工対象物1の表面3に限定されるものではなく、加工対象物1の裏面であってもよい。

[0028] ちなみに、加工対象物1の内部に改質領域7を形成する場合には、レーザ光Lは、加工対象物1を透過すると共に、加工対象物1の内部に位置する集光点P近傍にて特に吸収される。これにより、加工対象物1に改質領域7が形成される（すなわち、内部吸収型レーザ加工）。この場合、加工対象物1の表面3ではレーザ光Lが殆ど吸収されないので、加工対象物1の表面3が溶融することはない。一方、加工対象物1の表面3又は裏面に改質領域7を形成する場合には、レーザ光Lは、表面3又は裏面に位置する集光点P近傍にて特に吸収され、表面3又は裏面から溶融され除去されて、穴や溝等の除去部が形成される（表面吸収型レーザ加工）。

[0029] 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、熔融処理領域（一旦熔融後再固化した領域、熔融状態中の領域及び熔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。

[0030] 熔融処理領域、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。

[0031] 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、熔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]

[0032] 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]

[0033] 図7に示されるように、レーザ加工装置200は、装置フレーム210と、第1移動機構（移動機構）220と、支持台230と、第2移動機構240と、を備えている。さらに、レーザ加工装置200は、レーザ出力部300と、レーザ集光部400と、制御部500と、を備えている。

[0034] 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。

[0035] 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。

[0036] 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。

[0037] 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。

[0038] 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。

[0039] 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 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。

[0040] 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 230 に支持され、加工対象物 1 の各切断予定ライン 5 a が X 軸方向に平行な方向に合わせられる。続いて、加工対象物 1 の内部において加工対象物 1 のレーザ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 5 a 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 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。

[0041] 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 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 5 b が X 軸方向に平行な方向に合わせられる。続いて、加工対象物 1 の内部において加工対象物 1 のレーザ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 5 b に沿ってレーザ光 L の集光点が相対的に移動させられる。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。

[0042] 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 5 a 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 5 b 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 5 a 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。

[0043] 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、 $\lambda/2$ 波長板ユニット330と、偏光板ユニット340と、ビームエキスパンダ350と、ミラーユニット360と、を有している。

[0044] 取付ベース301は、複数のミラー303、304、レーザ発振器310、シャッタ320、 $\lambda/2$ 波長板ユニット330、偏光板ユニット340、ビームエキスパンダ350及びミラーユニット360を支持している。複数のミラー303、304、レーザ発振器310、シャッタ320、 $\lambda/2$ 波長板ユニット330、偏光板ユニット340、ビームエキスパンダ350及びミラーユニット360は、取付ベース301の主面301aに取り付けられている。取付ベース301は、板状の部材であり、装置フレーム210（図7参照）に対して着脱可能である。レーザ出力部300は、取付ベース301を介して装置フレーム210に取り付けられている。つまり、レーザ出力部300は、装置フレーム210に対して着脱可能である。

[0045] カバー302は、取付ベース301の主面301a上において、複数のミラー303、304、レーザ発振器310、シャッタ320、 $\lambda/2$ 波長板ユニット330、偏光板ユニット340、ビームエキスパンダ350及びミラーユニット360を覆っている。カバー302は、取付ベース301に対して着脱可能である。

[0046] 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。

[0047] 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。

[0048] シャッタ320は、機械式の機構によってレーザ光Lの光路を開閉する。レーザ出力部300からのレーザ光Lの出力のON/OFFの切り替えは、上述したように、レーザ発振器310でのレーザ光Lの出力のON/OFFの切り替えによって実施されるが、シャッタ320が設けられていることで、例えばレーザ出力部300からレーザ光Lが不意に出射されることが防止される。シャッタ320を通過したレーザ光Lは、ミラー304によって反射され、X軸方向に沿って $\lambda/2$ 波長板ユニット330及び偏光板ユニット340に順次入射する。

[0049] $\lambda/2$ 波長板ユニット330及び偏光板ユニット340は、レーザ光Lの出力（光強度）を調整する出力調整部として機能する。また、 $\lambda/2$ 波長板ユニット330及び偏光板ユニット340は、レーザ光Lの偏光方向を調整

する偏光方向調整部として機能する。 $\lambda/2$ 波長板ユニット330及び偏光板ユニット340を順次通過したレーザ光Lは、X軸方向に沿ってビームエキスパンダ350に入射する。

[0050] 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。

[0051] 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。

[0052] 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。

[0053] 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。

[0054] 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。

[0055] 図11及び図12に示されるように、レーザ集光部400は、ミラー402と、ダイクロイックミラー403と、を有している。更に、レーザ集光部400は、反射型空間光変調器410と、4fレンズユニット420と、集光レンズユニット（対物レンズ）430と、駆動機構440と、一对の測距センサ450と、を有している。

[0056] 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。

[0057] 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、 $10\sim60^\circ$ ）とされている。つまり、レーザ光Lは、反射型空間光変調器410においてXY平面に沿って鋭角に反射される。これは、レーザ光Lの入射角及び反射角を抑えて回折効率の低下を抑制し、反射型空間光変調器410の性能を十分に発揮させるためである。なお、反射型空間光変調器410では、例えば、液晶が用いられた光変調層の厚さが数 μm ～数十 μm 程度と極めて薄いため、反射面410aは、光変調層の光入出射面と実質的に同じと捉えることができる。

[0058] 4fレンズユニット420は、ホルダ421と、反射型空間光変調器410側のレンズ422と、集光レンズユニット430側のレンズ423と、スリット部材424と、を有している。ホルダ421は、一対のレンズ422、423及びスリット部材424を保持している。ホルダ421は、レーザ光Lの光軸に沿った方向における一対のレンズ422、423及びスリット部材424の互いの位置関係を一定に維持している。一対のレンズ422、423は、反射型空間光変調器410の反射面410aと集光レンズユニット430の入射瞳面（瞳面）430aとが結像関係にある両側テレセントリック光学系を構成している。

[0059] 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。

[0060] 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。

[0061] 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。

[0062] 一对の測距センサ 450 は、X 軸方向において集光レンズユニット 430 の両側に位置するように、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。

[0063] 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、一对の測距センサ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。

[0064] 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、プロファイル取得用カメラ（強度分布取得部）464と、を有している。ビームスプリッタ461は、ダイクロイックミラー403を透過したレーザ光Lを反射成分と透過成分とに分ける。ビームスプリッタ461によって反射されたレーザ光Lは、Z軸方向に沿って一对のレンズ462, 463及びプロファイル取得用カメラ464に順次入射する。一对のレンズ462, 463は、集光レンズユニット430の入射瞳面430aとプロファイル取得用カメラ464の撮像面とが結像関係にある両側テレセントリック光学系を構成している。これにより、集光レンズユニット430の入射瞳面430aでのレーザ光Lの像が、プロファイル取得用カメラ464の撮像面に転像（結像）される。上述したように、集光レンズユニット430の入射瞳面430aでのレーザ光Lの像は、反射型空間光変調器410において変調されたレーザ光Lの像である。したがって、レーザ加工装置200では、プロファイル取得用カメラ464による撮像結果を監視することで、反射型空間光変調器410の動作状態を把握することができる。

[0065] 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

そ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。

[0066] 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、プロファイル取得用カメラ 464 は、筒体 405 の端部に配置されている。レンズ 472 は、Z 軸方向に沿って筒体 404 上に立設された筒体 406 内に配置されており、カメラ 473 は、筒体 406 の端部に配置されている。筒体 405 と筒体 406 とは、Y 軸方向において互いに並設されている。なお、ビームスプリッタ 471 を透過したレーザ光 L は、筒体 404 の端部に設けられたダンパ等に吸収されるようにしてもよいし、或いは、適宜の用途で利用されるようにしてもよい。

[0067] 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 2 3 0 に支持された加工対象物 1（図 7 参照）に照射される。

[0068] 加工対象物 1 に照射された可視光 V は、加工対象物 1 のレーザ光入射面によって反射され、集光レンズユニット 4 3 0 を介してダイクロイックミラー 4 0 3 に入射し、Z 軸方向に沿ってダイクロイックミラー 4 0 3 を透過する。ビームスプリッタ 4 8 6 は、ダイクロイックミラー 4 0 3 を透過した可視光 V を反射成分と透過成分とに分ける。ビームスプリッタ 4 8 6 を透過した可視光 V は、ハーフミラー 4 8 5 を透過し、Z 軸方向に沿ってレンズ 4 8 7 及び観察カメラ 4 8 8 に順次入射する。レンズ 4 8 7 は、入射した可視光 V を観察カメラ 4 8 8 の撮像面上に集光する。レーザ加工装置 2 0 0 では、観察カメラ 4 8 8 による撮像結果を観察することで、加工対象物 1 の状態を把握することができる。

[0069] ミラー 4 8 4、ハーフミラー 4 8 5 及びビームスプリッタ 4 8 6 は、筐体 4 0 1 の端部 4 0 1 d 上に取り付けられたホルダ 4 0 7 内に配置されている。複数のレンズ 4 8 2 及びレチクル 4 8 3 は、Z 軸方向に沿ってホルダ 4 0 7 上に立設された筒体 4 0 8 内に配置されており、可視光源 4 8 1 は、筒体 4 0 8 の端部に配置されている。レンズ 4 8 7 は、Z 軸方向に沿ってホルダ 4 0 7 上に立設された筒体 4 0 9 内に配置されており、観察カメラ 4 8 8 は、筒体 4 0 9 の端部に配置されている。筒体 4 0 8 と筒体 4 0 9 とは、X 軸方向において互いに並設されている。なお、X 軸方向に沿ってハーフミラー 4 8 5 を透過した可視光 V、及びビームスプリッタ 4 8 6 によって X 軸方向に反射された可視光 V は、それぞれ、ホルダ 4 0 7 の壁部に設けられたダンパ等に吸収されるようにしてもよいし、或いは、適宜の用途で利用されるようにしてもよい。

[0070] レーザ加工装置 2 0 0 では、レーザ出力部 3 0 0 の交換が想定されている。これは、加工対象物 1 の仕様、加工条件等に応じて、加工に適したレーザ光 L の波長が異なるからである。そのため、出射するレーザ光 L の波長が互いに異なる複数のレーザ出力部 3 0 0 が用意される。ここでは、出射するレーザ光 L の波長が 5 0 0 ~ 5 5 0 nm の波長帯に含まれるレーザ出力部 3 0

0、出射するレーザ光Lの波長が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。

[0071] 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。

[0072] 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。

[レーザ加工装置におけるレーザ光の光路及び偏光方向]

[0073] 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)。

[0074] 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。

[0075] 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。

[0076] 図9に示されるように、レーザ出力部300では、レーザ光Lの光路がX軸方向又はY軸方向に沿うように設定されている。具体的には、レーザ発振器310からミラー303に至る光路、並びに、ミラー304から $\lambda/2$ 波長板ユニット330、偏光板ユニット340及びビームエキスパンダ350を介してミラーユニット360に至る光路が、X軸方向に沿うように設定されており、ミラー303からシャッタ320を介してミラー304に至る光路、及び、ミラーユニット360においてミラー362からミラー363に至る光路が、Y軸方向に沿うように設定されている。

[0077] 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。

[0078] したがって、レーザ出力部300において、 $\lambda/2$ 波長板ユニット330

及び偏光板ユニット340を、レーザ光Lの出力を調整する出力調整部としてだけでなく、レーザ光Lの偏光方向を調整する偏光方向調整部としても機能させる必要がある。

[反射型空間光変調器]

[0079] 図14に示されるように、反射型空間光変調器410は、シリコン基板213、駆動回路層914、複数の画素電極214、誘電体多層膜ミラー等の反射膜215、配向膜999a、液晶層（表示部）216、配向膜999b、透明導電膜217、及びガラス基板等の透明基板218がこの順に積層されることで構成されている。

[0080] 透明基板218は、表面218aを有しており、この表面218aは、反射型空間光変調器410の反射面410aを構成している。透明基板218は、例えばガラス等の光透過性材料からなり、反射型空間光変調器410の表面218aから入射した所定波長のレーザ光Lを、反射型空間光変調器410の内部へ透過する。透明導電膜217は、透明基板218の裏面上に形成されており、レーザ光Lを透過する導電性材料（例えばITO）からなる。

[0081] 複数の画素電極214は、透明導電膜217に沿ってシリコン基板213上にマトリックス状に配列されている。各画素電極214は、例えばアルミニウム等の金属材料からなり、これらの表面214aは、平坦且つ滑らかに加工されている。複数の画素電極214は、駆動回路層914に設けられたアクティブ・マトリクス回路によって駆動される。

[0082] アクティブ・マトリクス回路は、複数の画素電極214とシリコン基板213との間に設けられており、反射型空間光変調器410から出力しようとする光像に応じて各画素電極214への印加電圧を制御する。このようなアクティブ・マトリクス回路は、例えば図示しないX軸方向に並んだ各画素列の印加電圧を制御する第1ドライバ回路と、Y軸方向に並んだ各画素列の印加電圧を制御する第2ドライバ回路とを有しており、制御部500における後述の空間光変調器制御部502（図16参照）によって双方のドライバ回

路で指定された画素の画素電極 214 に所定電圧が印加されるように構成されている。

[0083] 配向膜 999a, 999b は、液晶層 216 の両端面に配置されており、液晶分子群を一定方向に配列させる。配向膜 999a, 999b は、例えばポリイミド等の高分子材料からなり、液晶層 216 との接触面にラビング処理等が施されている。

[0084] 液晶層 216 は、複数の画素電極 214 と透明導電膜 217 との間に配置されており、各画素電極 214 と透明導電膜 217 とにより形成される電界に応じてレーザ光 L を変調する。すなわち、駆動回路層 914 のアクティブ・マトリクス回路によって各画素電極 214 に電圧が印加されると、透明導電膜 217 と各画素電極 214 との間に電界が形成され、液晶層 216 に形成された電界の大きさに応じて液晶分子 216a の配列方向が変化する。そして、レーザ光 L が透明基板 218 及び透明導電膜 217 を透過して液晶層 216 に入射すると、このレーザ光 L は、液晶層 216 を通過する間に液晶分子 216a によって変調され、反射膜 215 において反射した後、再び液晶層 216 により変調されて、出射する。

[0085] このとき、後述の空間光変調器制御部 502（図 16 参照）によって各画素電極 214 に印加される電圧が制御され、その電圧に応じて、液晶層 216 において透明導電膜 217 と各画素電極 214 とに挟まれた部分の屈折率が変化する（各画素に対応した位置の液晶層 216 の屈折率が変化する）。この屈折率の変化により、印加した電圧に応じて、レーザ光 L の位相を液晶層 216 の画素ごとに変化させることができる。つまり、ホログラムパターンに応じた位相変調を画素ごとに液晶層 216 によって付与することができる。

[0086] 換言すると、変調を付与するホログラムパターンとしての変調パターンを、反射型空間光変調器 410 の液晶層 216 に表示させることができる。変調パターンに入射し透過するレーザ光 L は、その波面が調整され、そのレーザ光 L を構成する各光線において進行方向に直交する所定方向の成分の位相

にずれが生じる。したがって、反射型空間光変調器 410 に表示させる変調パターンを適宜設定することにより、レーザ光 L が変調（例えば、レーザ光 L の強度、振幅、位相、偏光等が変調）可能となる。

[4f レンズユニット]

[0087] 上述したように、4f レンズユニット 420 の一对のレンズ 422, 423 は、反射型空間光変調器 410 の反射面 410a と集光レンズユニット 430 の入射瞳面 430a とが結像関係にある両側テレセントリック光学系を構成している。具体的には、図 15 に示されるように、反射型空間光変調器 410 側のレンズ 422 の中心と反射型空間光変調器 410 の反射面 410a との間の光路の距離がレンズ 422 の第 1 焦点距離 f_1 となり、集光レンズユニット 430 側のレンズ 423 の中心と集光レンズユニット 430 の入射瞳面 430a との間の光路の距離がレンズ 423 の第 2 焦点距離 f_2 となり、レンズ 422 の中心とレンズ 423 の中心との間の光路の距離が第 1 焦点距離 f_1 と第 2 焦点距離 f_2 との和（すなわち、 $f_1 + f_2$ ）となっている。反射型空間光変調器 410 から集光レンズユニット 430 に至る光路のうち一对のレンズ 422, 423 間の光路は、一直線である。

[0088] 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、 $0.6 \leq M \leq 0.95$ とすることができる。ここで、（両側テレセントリック光学系の倍率 M ）＝（集光レンズユニット 430 の入射瞳面 430a での像の大きさ）／（反射型空間光変調器 410 の反射面 410a での物体の大きさ）である。レーザ加工装置 200 の場合、両側テレセントリック光学系の倍率 M 、レンズ 422 の第 1 焦点距離 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。

[0089] 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、 $1.05 \leq M \leq 1.7$ とすることができる。

[0090] 次に、第1実施形態に係るレーザ加工装置200の要部について詳細に説明する。

[0091] 図16は、第1実施形態に係るレーザ加工装置200の要部を示す概略構成図である。図17は、図16に示された反射型空間光変調器から加工対象物に至るレーザ光の光路、及び、その光路上の各光学要素を模式的に示す図である。図17においては、ダイクロイックミラー403が省略されている。レーザ光Lは、例えば、Y軸方向に沿って進行した後に、位置Pdにおいてダイクロイックミラー403によりZ軸方向に反射され、Z軸方向に進行して集光レンズユニット430に入射する。

[0092] 図16、17に示されるように、レーザ出力部300（レーザ発振器310）から出力されたレーザ光Lは、反射型空間光変調器410に入射する。反射型空間光変調器410は、入射されたレーザ光Lを、液晶層216に表示された位相パターンに応じて変調して出射する。反射型空間光変調器410から出射したレーザ光Lは、4fレンズユニット420のリレーレンズであるレンズ（集束レンズ）422で集束された後、4fレンズユニット420のリレーレンズであるレンズ423でコリメートされて、ダイクロイックミラー403に入射する。ダイクロイックミラー403に入射したレーザ光Lは、反射光と透過光とに分岐される。ダイクロイックミラー403で反射

したレーザ光Lは、集光レンズユニット430に入射する。

[0093] すなわち、レーザ加工装置200は、レーザ光Lの光路における反射型空間光変調器410と集光レンズユニット430との間に配置されたレンズ422を備えている。集光レンズユニット430に入射したレーザ光Lは、集光レンズユニット430により加工対象物1に向けて集光される。一方、ダイクロイックミラー403を透過したレーザ光Lは、リレーレンズである上記レンズ463で集束され、プロファイル取得用カメラ464の撮像面464aに入射する。

[0094] 一对のレンズ422, 423は、反射型空間光変調器410の反射面410aにおけるレーザ光Lの波面を、集光レンズユニット430の入射瞳面430aと、ダイクロイックミラー403の下流側（後段）の共役面491と、にリレーする。レンズ463は、一对のレンズ422, 423によって共役面491にリレーされたレーザ光Lの波面（液晶層216における実像）を、プロファイル取得用カメラ464の撮像面464aにリレー（結像）する。これにより、液晶層216と、集光レンズユニット430の入射瞳面430aと、共役面491と、プロファイル取得用カメラ464の撮像面464aとは、互いに共役の関係を構成する。

[0095] プロファイル取得用カメラ464は、ダイクロイックミラー403で分岐されたレーザ光Lの強度分布を取得する撮像装置である。具体的には、プロファイル取得用カメラ464は、反射型空間光変調器410から出射され集光レンズユニット430に入射する前のレーザ光Lについてのビーム断面の強度分布に関する画像（強度分布画像）を静止画像として撮像する。撮像した強度分布画像を制御部500へ出力する。プロファイル取得用カメラ464としては、例えば、CMOS（Complementary Metal Oxide Semiconductor）イメージセンサが用いられる。

[0096] 制御部500は、上記レーザ光源制御部102と、空間光変調器制御部（制御部）502、カメラ制御部504、及び、記憶部510を有している。レーザ光源制御部102は、レーザ発振器310の動作を制御する。また、

レーザ光源制御部 102 は、1つの切断予定ライン 5 に沿うレーザ加工毎において、加工条件（照射条件）に基づいて、レーザ発振器 310 で発生させるレーザ光 L の出力を決定して設定する。加工条件は、例えばタッチパネル等の入力部によりオペレータから入力される。加工条件としては、例えば、加工対象物 1 における改質領域 7 を形成する深さ位置、レーザ出力等である。

[0097] 空間光変調器制御部 502 は、反射型空間光変調器 410 の液晶層 216 に表示する位相パターンを制御する。図 18 は、反射型空間光変調器 410 に表示される位相パターンの一例を示す図である。図 18 の (a) は、位相パターンの全体を示し、図 18 の (b) は、図 18 の (a) の領域 RA の拡大図である。図 18 に示されるように、反射型空間光変調器 410 に表示される位相パターン P0 は、第 1 パターン P1 と第 2 パターン P2 とを含む。第 1 パターン P1 は、レーザ光 L のうちの集光レンズユニット 430 の入射瞳面 430a に入射する一部を変調する。第 2 パターン P2 は、レーザ光 L のうちの残部、すなわち、入射瞳面 430a に入射しない（例えば入射瞳面 430a の周縁部に入射する）部分を変調する。この点について、より具体的に説明する。

[0098] 図 19 は、反射型空間光変調器上のレーザ光の強度分布を示す画像である。図 19 に示されるように、液晶層 216 は、レーザ光 L が入射する領域 HA を含む。領域 HA は、円形の有効領域 AC と、有効領域 AC の外側の円環形状の非有効領域 AB と、を含む。有効領域 AC に入射するレーザ光 L の一部は、集光レンズユニット 430 の入射瞳面 430a に入射して加工対象物 1 に照射される有効光である。すなわち、有効領域 AC は、有効光（レーザ光 L の一部）を変調するための領域である。有効領域 AC は、例えば、レーザ光 L がガウシアンビームの場合、レーザ光 L の強度がピークの $1/3.5$ ($1/e^2$) % となるガウシアンビーム半径 w を用いると、ガウシアンビーム半径 w を半径とした円形領域である。

[0099] 非有効領域 AB に入射するレーザ光 L の残部は、集光レンズユニット 43

0の入射瞳面430aに入射せず加工対象物1に照射されない非有効光である。すなわち、非有効領域ABは、非有効光（レーザ光Lの残部）を変調するための領域である。非有効領域ABは、例えば、ガウシアンビーム半径wを内半径とし、ガウシアンビーム半径wの1.22倍（ $=1.22w$ ）を外半径とする円環領域である。ガウシアンビーム半径wの1.22倍の位置は、レーザ光Lの強度がピークの約5%となる位置である。

[0100] なお、液晶層216は、領域HAの外側の領域AAを含む。領域AAは、実質的にレーザ光Lが入射しない領域である。一例として、領域AAは、レーザ光Lがガウシアンビームである場合には、レーザ光の強度がピークの5%よりも小さくなる領域である。

[0101] 図18に示される第1パターンP1は、液晶層216の有効領域ACに表示される。したがって、第1パターンP1は、レーザ光Lのうちの有効光を変調する。第2パターンP2は、液晶層216の非有効領域AB及び領域AAに表示される。したがって、第2パターンP2は、レーザ光Lのうちの非有効光を変調する。

[0102] 第1パターンP1は、第1方向（ここではX軸方向：レーザ光Lのスキャン方向：レーザ光Lの集光点の加工対象物1に対する相対的な移動方向）に沿ってレーザ光Lの一部（有効光）を複数の第1回折光（別の回折光）DL1に分岐させるための第1回折格子パターン（別の回折格子パターン）G1を含む（図17，20参照）。ここでは、第1パターンP1は、回折格子パターンであるが、収差補正パターン等の別の位相パターンを含んでもよい（すなわち、回折格子パターンに別の位相パターンが重畳されて構成されてもよい）。第1回折格子パターンG1は、第1方向及び光軸方向に交差（直交）する第2方向（ここではZ軸方向）に沿った直線状の複数の溝パターンが第1方向に配列されて構成されている。したがって、レンズ422の後側の焦点位置においては、第1方向に沿って分岐された複数の第1回折光DL1のビームスポットSP1が形成される（図20参照）。

[0103] 第2パターンP2は、第2方向に沿ってレーザ光Lの残部（非有効光）を

複数の第2回折光（回折光）DL2に分岐させるための第2回折格子パターン（回折格子パターン）G2を含む（図20参照）。ここでは、第2パターンP2は、回折格子パターンであるが、収差補正パターン等の別の位相パターンを含んでもよい（すなわち、回折格子パターンに別の位相パターンが重畳されて構成されてもよい）。第2回折格子パターンG2は、第1方向に沿った直線状の複数の溝パターンが第2方向に配列されて構成されている。したがって、レンズ422の後側の焦点位置においては、第2方向に沿って分岐された複数の第2回折光DL2のビームスポットSP2が形成される（図20参照）。

[0104] ここで、図16, 17に示されるように、レーザ光Lの光路におけるレンズ422の後側の焦点位置には、スリット部材424が配置されている。スリット部材424は、レーザ光Lの位相変調における一定値以上の空間周波数成分（広角回折光）を遮光すると共に、レーザ光Lの位相変調における一定値未満の空間周波数成分を通過させる。例えばスリット部材424では、一定値以上の空間周波数成分を遮光するように、開口の大きさが設定されている。例えば、反射型空間光変調器410（液晶層216）に回折格子パターンを含む位相パターンが表示されているときには、スリット部材424は、当該回折格子パターンに応じて回折されたレーザ光Lの回折光の少なくとも一部を遮断する。

[0105] 特に、スリット部材424には、図20に示されるように、第2方向よりも第1方向に相対的に長い長方形状のスリット424aが設けられている。スリット部材424は、スリット424aによって、低次の第1回折光DL1を通過させると共に、高次の第1回折光DL1及び第2回折光DL2を遮断する。そのために、ここでは、次のようにスリット424aのサイズが規定されている。

[0106] すなわち、第1方向についてのスリット424aのサイズは、レンズ422の後側の焦点位置における第1回折光DL1のビームサイズ（スポットSP1の直径）S1と、レンズ422の後側の焦点位置における第1回折光D

L 1 の分岐間隔 S 2 と、の合計値よりも大きい。分岐間隔 S 2 は、ここでは、レンズ 4 2 2 の後側の焦点位置における第 1 方向についての ± 1 次の第 1 回折光 D L 1 の中心同士の間隔である。また、ここでは、第 1 方向についてのスリット 4 2 4 a のサイズは、レンズ 4 2 2 の後側の焦点位置における ± 2 次の第 1 回折光 D L 1 の間隔 S 3 よりも小さい。

[0107] 一方、第 2 方向についてのスリット 4 2 4 a のサイズは、レンズ 4 2 2 の後側の焦点位置における第 1 回折光 D L 1 のビームサイズよりも大きい。また、第 2 方向についてのスリット 4 2 4 a のサイズは、レンズ 4 2 2 の焦点距離を f 、レーザ光 L の波長を λ 、反射型空間光変調器 4 1 0 の画素サイズを x_{SLM} とすると、下記式 (1) で表される 1 次光の最大回折距離 F よりも小さい。したがって、ここでは、第 1 回折光 D L 1 のうちの 0 次光及び ± 1 次光はスリット 4 2 4 a を通過し、第 1 回折光 D L 1 のうちの ± 3 次以上の高次光及び第 2 回折光 D L 2 はスリット 4 2 4 a を通過せずに遮断される。

[数2]

$$F = 2f \times \tan \left(\sin^{-1} \left(\frac{\lambda}{2x_{SLM}} \right) \right) \quad \dots(1)$$

[0108] ここで、上記の最大回折距離 F について説明する。図 2 1 に示されるように、回折格子 G における回折角を θ 、回折次数を m ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$) とし、回折格子 G における格子間隔（一周期の間隔）を L とすると、各値の関係が下記式 (2) で表される。 m 次回折光は、格子間隔が L のとき θ で回折する光成分を指す。

[数3]

$$\sin \theta = \frac{m\lambda}{L} \quad \dots(2)$$

[0109] 焦点距離が f である集束レンズ C L に θ の回折角の光が入射し、焦点距離 f 付近で集光したときの像高を h とすると、 h と θ とには下記式 (3) の関

係がある。

[数4]

$$h = f \times \tan \theta \quad \dots (3)$$

[0110] 空間光変調記における最大回折角（分岐間隔）は、格子間隔 $L = 2 \times x_{SLM}$ のときであるから、 m 次光の最大回折距離 $F_m = 2 \times h$ （ h は絶対値）は、上記式（2）、（3）から、下記式（4）のように表される。したがって、 $m = 1$ である 1 次光の最大回折距離 F が上記式（1）のように表される。

[数5]

$$Fm = 2f \times \tan \left(\sin^{-1} \left(\frac{m\lambda}{2x_{SLM}} \right) \right) \quad \dots (4)$$

[0111] なお、スリット部材 424 は、レンズ 422 の後側の焦点位置の近傍に配置されていてもよい。焦点位置の近傍とは、略焦点位置、焦点位置の付近、もしくは焦点位置の周辺であって、スリット部材 424 がレーザ光 L における一定値以上の空間周波数成分を遮光できる範囲（一定次数以上の回折光を遮断できる範囲）である。

[0112] また、レンズ 422 の後側の焦点位置における第 1 回折光 $DL1$ のビームサイズ $S1$ は、位相パターン $P0$ に応じて変化し得る。すなわち、位相パターン $P0$ （例えば第 1 パターン $P1$ ）は、上述したように、回折格子パターン以外のパターンを含む場合に、ビームサイズ $S1$ が変化する場合がある。例えば、位相パターン $P0$ は、レーザ光 L が加工対象物 1 に集光された際に生じる収差を補正するための収差補正パターンを含む場合がある。この場合には、位相パターン $P0$ が収差補正パターンを含まない場合に比べて、レンズ 422 の後側の焦点位置でのレーザ光 L の拡がりが大きくなる。このため、ビームサイズ $S1$ が大きくなる。したがって、スリット 424a のサイズは、位相パターン $P0$ に応じたビームサイズ $S1$ に基づいて規定すればよい。

[0113] 引き続いて図16を参照する。カメラ制御部504は、プロファイル取得用カメラ464の動作を制御する。また、カメラ制御部504は、強度分布画像をプロファイル取得用カメラ464から取得して認識する。これにより、カメラ制御部504は、レーザ光Lの強度を取得することができる。記憶部510は、例えば、反射型空間光変調器410に表示するための位相パターンを記憶している。また、記憶部510は、カメラ制御部504が取得したレーザ光Lの強度を記憶してもよい。さらに、制御部500には、モニタ600が接続されている。モニタ600は、空間光変調器制御部502により反射型空間光変調器410（液晶層216）に表示させる位相パターン、及び、プロファイル取得用カメラ464で取得した強度分布画像等を表示することができる。

[0114] 以上説明したように、レーザ加工装置200においては、レーザ出力部300（レーザ発振器310）から出力されたレーザ光Lが、反射型空間光変調器410の位相パターンP0により変調された後に、集光レンズユニット430により加工対象物1に向けて集光される。レーザ光Lは、第1方向に沿って加工対象物1に照射される。第1方向は、ここでは、レーザ光Lと加工対象物1とを相対的に移動させる方向である。反射型空間光変調器410の位相パターンP0は、集光レンズユニット430の入射瞳面430aに入射するレーザ光Lの一部（有効光）を変調する第1パターンP1と、レーザ光Lの残部（非有効光）を変調する第2パターンP2と、を含む。第1パターンP1は、第1方向に沿って光を回折するための第1回折格子パターンG1を含む。したがって、レーザ光Lのうちの有効光は、加工対象物1に対するレーザ光Lの照射方向（スキャン方向）である第1方向について、複数の第1回折光DL1に分岐される。

[0115] 一方、第2パターンP2は、第1方向に交差する第2方向に沿って光を回折するための第2回折格子パターンG2を含む。したがって、レーザ光Lのうちの非有効光は、レーザ光Lのスキャン方向に交差する第2方向について、複数の第2回折光DL2に分岐される。そして、第2回折光DL2は、レ

レンズ422の後側の焦点位置において、スリット部材424のスリット424aにより遮断される。

[0116] その結果、有効光の回折光である複数の第1回折光DL1がスリット424aを通過して加工対象物1に照射される一方で、非有効光の回折光である第2回折光DL2がスリット424aにより遮断され、集光レンズユニット430に到達しない。よって、レーザ加工装置200によれば、レーザ光Lの加工対象物1への照射状態の変化を抑制しつつ、レーザ光Lを複数に分岐させて加工対象物1に照射することが可能である。つまり、加工精度の劣化を抑制しながら、切断予定ライン5a, 5bに沿って多点（一例では3点）でのレーザ加工（改質領域の形成）を行うことが可能である。

[0117] また、レーザ加工装置200においては、第1回折格子パターンG1は、第2方向に沿った複数の溝パターンからなり、第2回折格子パターンG2は、第1方向に沿った複数の溝パターンからなる。このように、第1回折格子パターンG1と第2回折格子パターンG2とで溝パターンの方向を交差（直交）するように設定することで、第1回折光DL1の分岐方向と第2回折光DL2の分岐方向とを違えることができる。

[0118] また、レーザ加工装置200においては、第1方向についてのスリット424aのサイズは、レンズ422の焦点位置における第1回折光DL1のビームサイズS1と、焦点位置における第1回折光DL1の分岐間隔S2と、の合計値よりも大きく、第2方向についてのスリット424aのサイズは、焦点位置における第1回折光DL1のビームサイズS1よりも大きい。このため、複数の第1回折光DL1をスリット424aで遮断することなく確実に加工対象物1に照射可能である。

[0119] また、レーザ加工装置200においては、分岐間隔S2は、第1方向における±1次の第1回折光の間隔であってもよい。この場合、少なくとも、第1回折光のうちの0次光と±1次光とを対象物に照射可能である。

[0120] また、レーザ加工装置200においては、第2方向についてのスリット424aのサイズは、レンズ422の焦点距離をf、レーザ光Lの波長をλ、

反射型空間光変調器 410 の画素サイズを x_{SLM} とすると、上記式 1 で表される最大回折距離 F よりも小さい。このため、第 2 回折光 DL2 をスリット 424a により確実に遮断できる。

[0121] さらに、レーザ加工装置 200 においては、スリット 424a の第 1 方向についてのサイズは、レンズ 422 の焦点位置における ± 3 次の第 1 回折光 DL1 の間隔 S_3 よりも小さい。このため、第 1 回折光のうちの ± 3 次以上の高次光をスリット 424a により遮断できる。

[0122] 以上は、本発明の一側面の一実施形態である。本発明の一側面は、上記実施形態に限定されず、各請求項の要旨を変更しない範囲で変形し、又は他のものに適用してもよい。

[0123] 例えば、上記実施形態は、加工対象物 1 の内部に改質領域 7 を形成するものに限定されず、アブレーション等、他のレーザ加工を実施するものであってもよい。上記実施形態は、加工対象物 1 の内部にレーザ光 L を集光させるレーザ加工に用いられるレーザ加工装置に限定されず、加工対象物 1 の表面 1a, 3 又は裏面 1b にレーザ光 L を集光させるレーザ加工に用いられるレーザ加工装置であってもよい。本発明の一側面が適用される装置はレーザ加工装置に限定されず、レーザ光 L を対象物に照射するものであれば、様々なレーザ光照射装置に適用できる。上記実施形態では、切断予定ライン 5 を照射予定ラインとしたが、照射予定ラインは切断予定ライン 5 に限定されず、照射されるレーザ光 L を沿わせるラインであればよい。

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

[0125] また、上記実施形態において、プロファイル取得用カメラ 464 は、その

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

[0126] また、集光レンズユニット 430 及び一对の測距センサ 450 は、Y 軸方向における筐体 401 の端部 401d に取り付けられていたが、Y 軸方向における筐体 401 の中心位置よりも端部 401d 側に片寄って取り付けられていればよい。反射型空間光変調器 410 は、Y 軸方向における筐体 401 の端部 401c に取り付けられていたが、Y 軸方向における筐体 401 の中心位置よりも端部 401c 側に片寄って取り付けられていればよい。また、測距センサ 450 は、X 軸方向において集光レンズユニット 430 の片側のみに配置されていてもよい。

[0127] さらに、スリット 424a の形状及びサイズは、上記の一例に限定されない。例えば、スリット 424a は、第 2 方向よりも第 1 方向に相対的に長い形状であればよく、例えば楕円形状等であってもよい。スリット 424a は、必ずしも高次の第 1 回折光 DL1 を遮断しなくてもよい。例えば、第 1 方向についてのスリット 424a のサイズを、±2 次の第 1 回折光 DL1 の間隔よりも大きくしてもよい。

[0128] また、上記実施形態においては、第 1 パターン P1 が第 1 回折格子パターン（別の回折格子パターン）を含む場合について例示した。しかしながら、第 1 パターン P1 は、回折格子パターンを含んでいなくてもよい。例えば、第 1 パターン P1 は、収差方正のためのパターンであってもよい。一方、第 1 パターン P1 及び／又は第 2 パターン P2 は、レーザ光 L を平面（例えば X-Y 面）内において分岐させのみならず、当該平面に交差する方向（例えば Z 方向：深さ方向）に分岐するためのパターンを含んでいてもよい。

[0129] ここで、レーザ光Lの加工対象物1への照射状態の変化を抑制する観点からは、液晶層216が、集光レンズユニット（対物レンズ）430の瞳面に入射するレーザ光Lの一部（有効光）が入射する有効領域ACと、レーザ光Lの残部（非有効光）が入射する非有効領域と、を含み、スリット部材424が、非有効領域ABで変調された光をスリット424aにより遮断すればよい。特に、有効領域ACの形状は、上述した円形状に限らず、例えば円環形状であってもよい。さらに、非有効領域ABの形状は、上述した円環形状に限らず、有効領域ACに対して相補的な形状とすることができる。

[0130] すなわち、一例として、有効領域ACが円環形状である場合には、非有効領域ABは、円環の内側の円形部分と、円環の外側の部分と、を含むような形状であってもよい。すなわち、液晶層216において、少なくとも一方向に沿って有効領域ACと非有効領域ABとが混在している場合がある。そのような場合であっても、上述したように、非有効領域ABで変調された光のみをスリット424aにより遮断すればよい。

産業上の利用可能性

[0131] レーザ光の対象物への照射状態の変化を抑制可能なレーザ光照射装置を提供できる。

符号の説明

[0132] 1…加工対象物（対象物）、100、200…レーザ加工装置（レーザ光照射装置）、310…レーザ発振器（レーザ光源）、410…反射型空間光変調器（空間光変調器）、422…レンズ（集束レンズ）、424…スリット部材、424a…スリット、430…集光レンズユニット（対物レンズ）、430a…入射瞳面（瞳面）、L…レーザ光、DL1…第1回折光、DL2…第2回折光、P0…位相パターン、P1…第1パターン、P2…第2パターン、G1…第1回折格子パターン、G2…第2回折格子パターン。

請求の範囲

- [請求項1] レーザ光を第1方向に沿って対象物に照射するレーザ光照射装置であって、
- 前記レーザ光を出力するレーザ光源と、
- 前記レーザ光源から出力された前記レーザ光を位相パターンに応じて変調して出射する空間光変調器と、
- 前記空間光変調器から出射された前記レーザ光を前記対象物に向けて集光する対物レンズと、
- 前記レーザ光の光路における前記空間光変調器と前記対物レンズとの間に配置され、前記レーザ光を集束する集束レンズと、
- 前記レーザ光の光路における前記集束レンズの後側の焦点位置に配置され、前記レーザ光の一部を遮断するスリット部材と、
- を備え、
- 前記位相パターンは、前記対物レンズの瞳面に入射する前記レーザ光の一部を変調する第1パターンと、前記レーザ光の残部を変調する第2パターンと、を含み、
- 前記第2パターンは、前記第1方向に交差する第2方向に沿って前記レーザ光の前記残部を複数の回折光に分岐させるための回折格子パターンを含み、
- 前記スリット部材は、スリットによって前記回折光を遮断する、レーザ光照射装置。
- [請求項2] 前記スリット部材は、前記第2方向よりも前記第1方向に相対的に長くなるように形成された前記スリットによって、前記回折光を遮断する、
- 請求項1に記載のレーザ光照射装置。
- [請求項3] 前記第1パターンは、前記第1方向に沿って前記レーザ光の前記一部を複数の別の回折光に分岐させるための別の回折格子パターンを含む、

請求項 1 又は 2 に記載のレーザ光照射装置。

[請求項4] 前記第 1 方向についての前記スリットのサイズは、前記焦点位置における前記別の回折光のビームサイズと、前記焦点位置における前記別の回折光の分岐間隔と、の合計値よりも大きく、

前記第 2 方向についての前記スリットのサイズは、前記焦点位置における前記回折光のビームサイズよりも大きい、

請求項 3 に記載のレーザ光照射装置。

[請求項5] 前記分岐間隔は、前記第 1 方向における ± 1 次の前記別の回折光の間隔である、

請求項 4 に記載のレーザ光照射装置。

[請求項6] 前記第 2 方向についての前記スリットのサイズは、前記集束レンズの焦点距離を f 、前記レーザ光の波長を λ 、前記空間光変調器の画素サイズを x_{SLM} とすると、下記式 (1) で表される最大回折距離 F よりも小さい、

請求項 4 又は 5 に記載のレーザ光照射装置。

[数1]

$$F = 2f \times \tan \left(\sin^{-1} \left(\frac{\lambda}{2x_{SLM}} \right) \right) \quad \cdots (1)$$

[請求項7] 前記スリットの前記第 1 方向についてのサイズは、前記焦点位置における ± 3 次の前記別の回折光の間隔よりも小さい、

請求項 4 ～ 6 のいずれか一項に記載のレーザ光照射装置。

[請求項8] 前記別の回折格子パターンは、前記第 2 方向に沿った複数の溝パターンからなり、

前記回折格子パターンは、前記第 1 方向に沿った複数の溝パターンからなる、

請求項 3 ～ 6 のいずれか一項に記載のレーザ光照射装置。

[請求項9] 前記空間光変調器は、前記位相パターンを表示する液晶層を含み、

前記液晶層は、前記レーザ光が入射する領域のうちの円形状の有効領域と前記有効領域の外側の円環形状の非有効領域とを含み、

前記第1パターンは、前記有効領域に表示され前記レーザ光の前記一部を変調し、

前記第2パターンは、前記非有効領域に表示され前記レーザ光の前記残部を変調する、

請求項1～8のいずれか一項に記載のレーザ光照射装置。

[請求項10] レーザ光を第1方向に沿って対象物に照射するレーザ光照射装置であって、

前記レーザ光を出力するレーザ光源と、

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

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

前記レーザ光の光路における前記空間光変調器と前記対物レンズとの間に配置され、前記レーザ光を集束する集束レンズと、

前記レーザ光の光路における前記集束レンズの後側の焦点位置に配置され、前記レーザ光の一部を遮断するスリット部材と、

を備え、

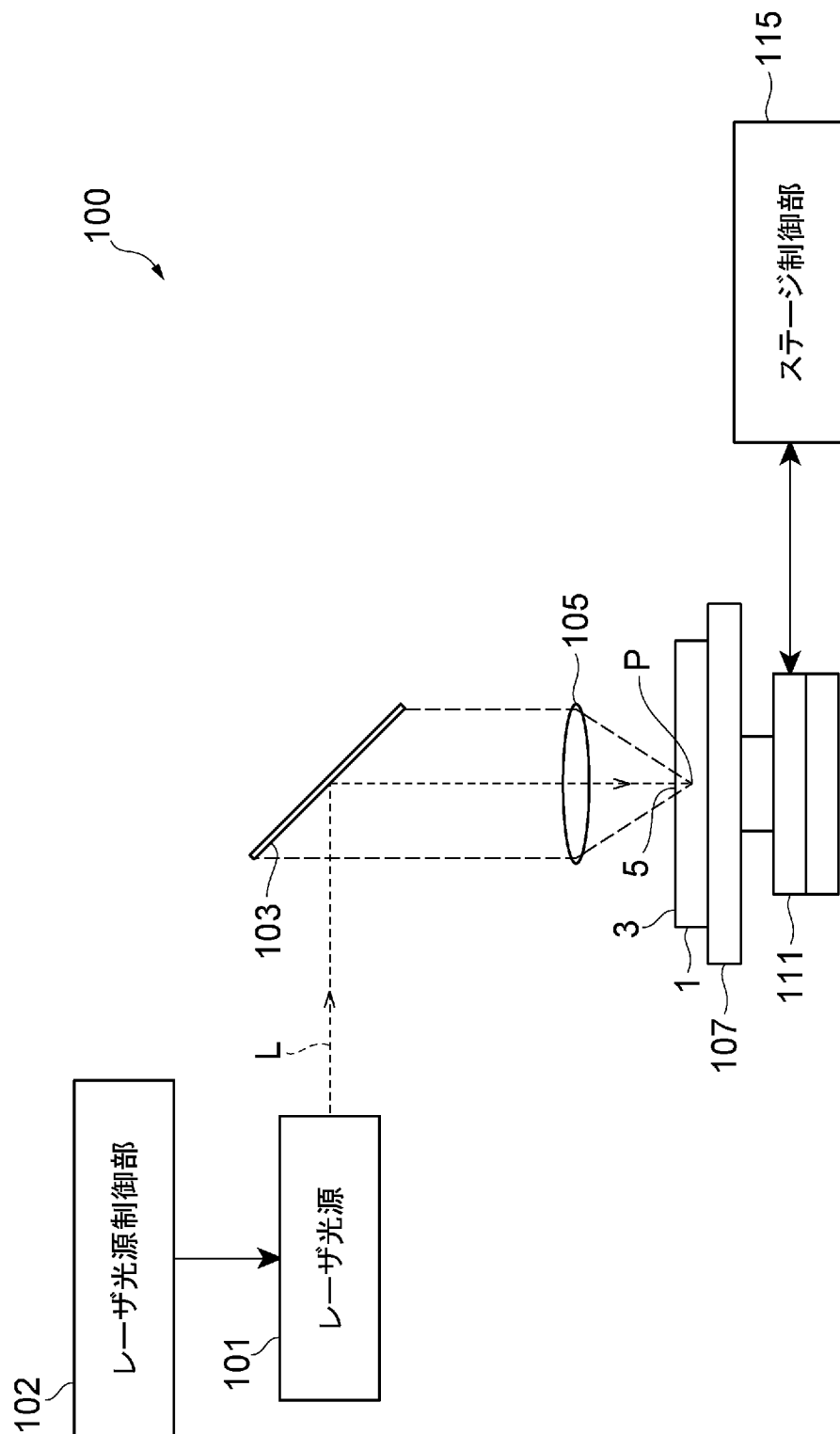
前記空間光変調器は、前記位相パターンを表示する液晶層を含み、

前記液晶層は、前記対物レンズの瞳面に入射する前記レーザ光の一部が入射する有効領域と、前記レーザ光の残部が入射する非有効領域と、を含み、

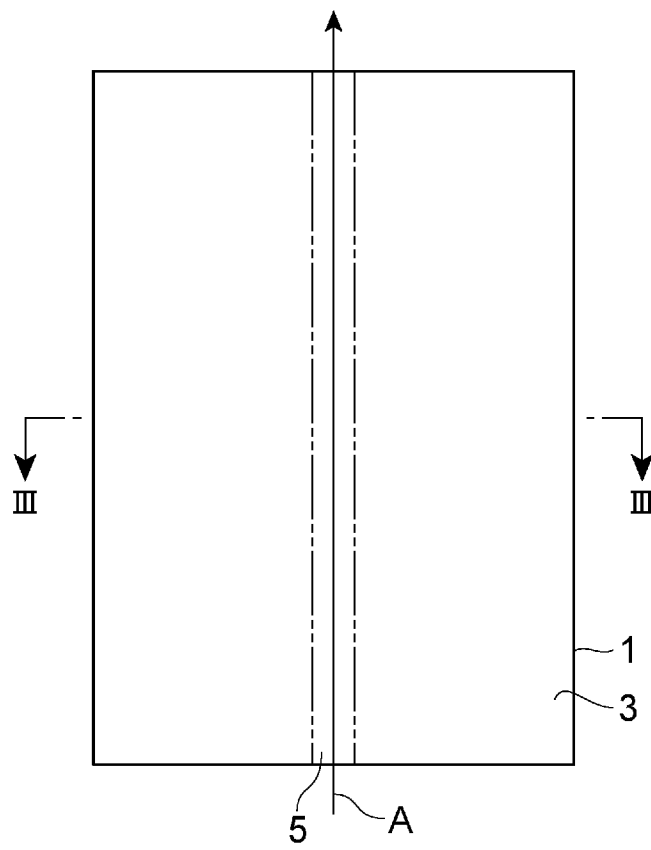
前記スリット部材は、前記非有効領域で変調された光をスリットにより遮断する、

レーザ光照射装置。

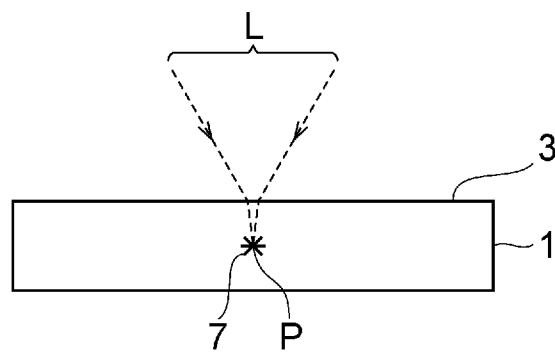
[図1]



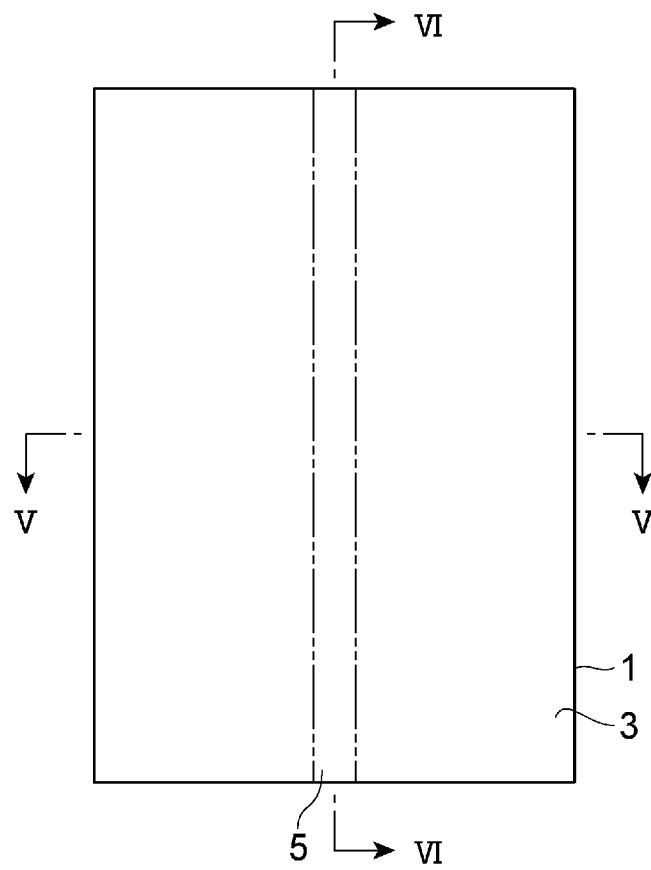
[図2]



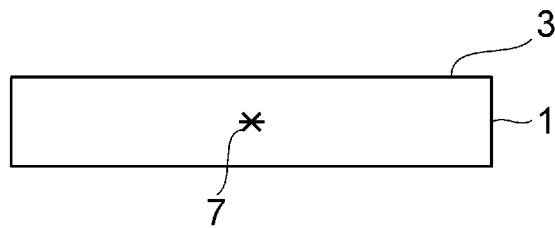
[図3]



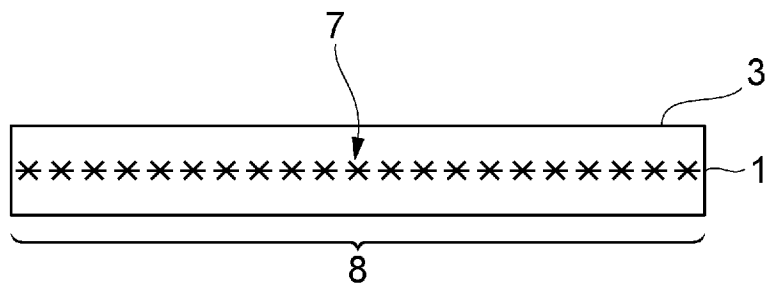
[図4]



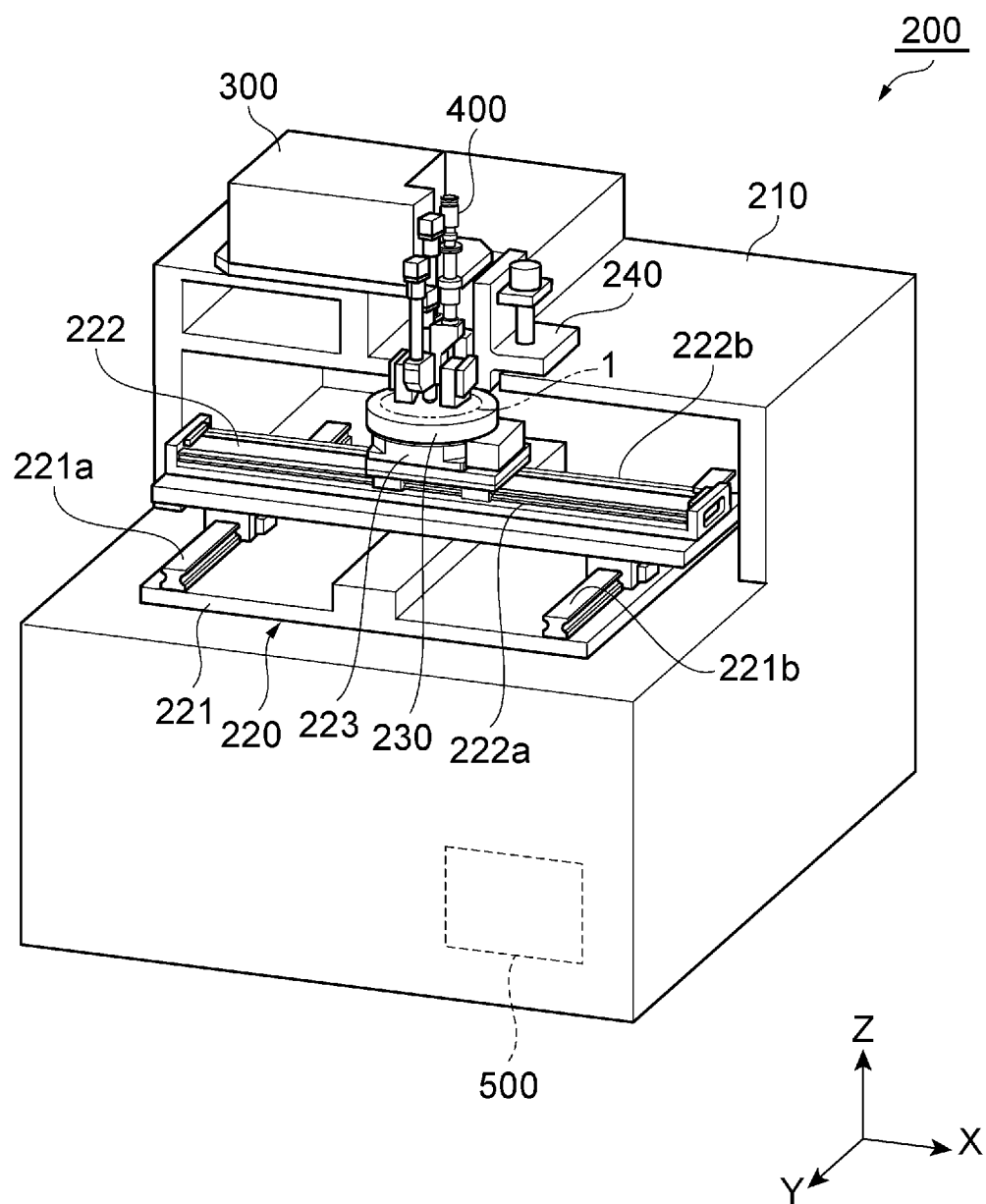
[図5]



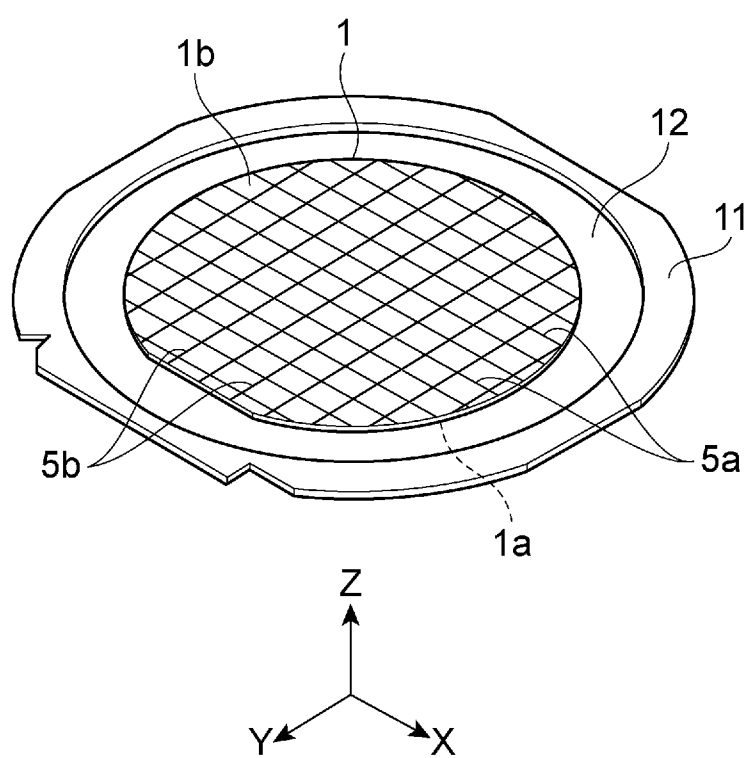
[図6]



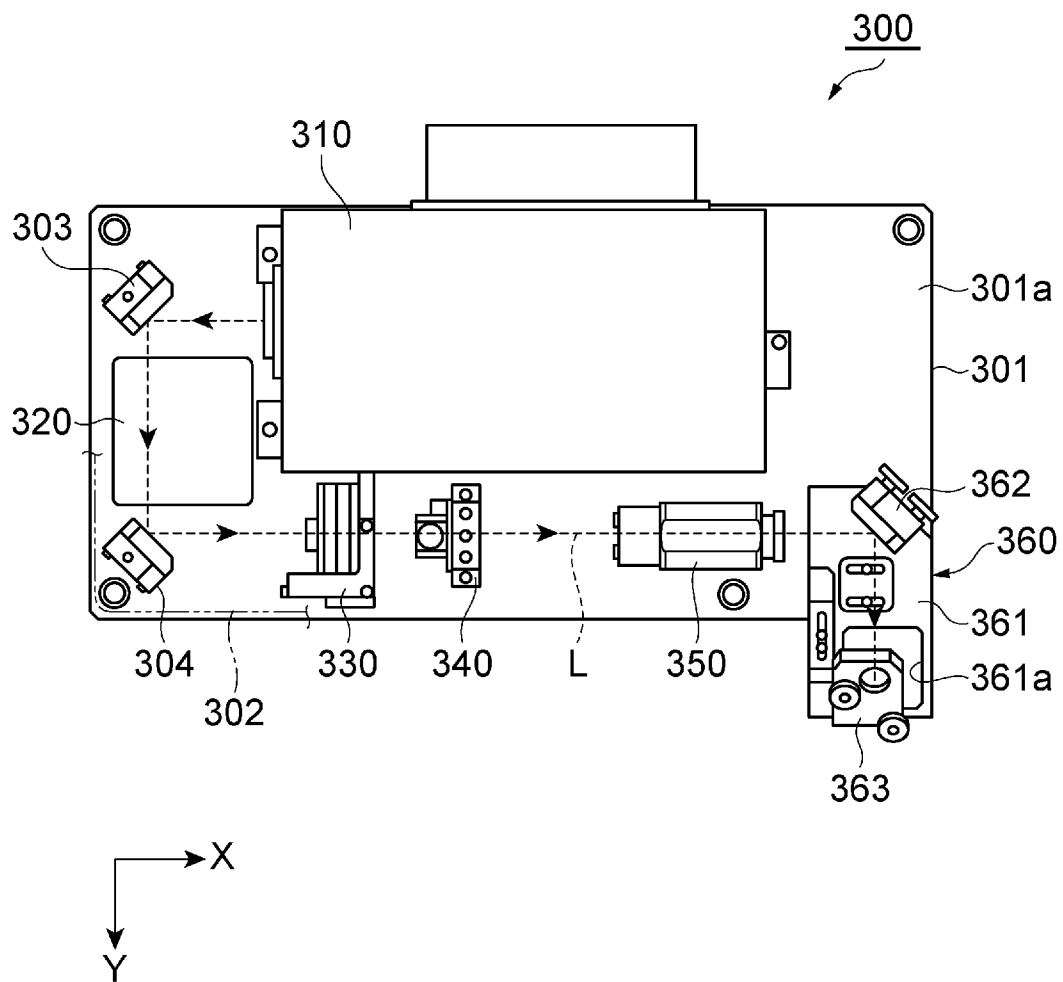
[図7]



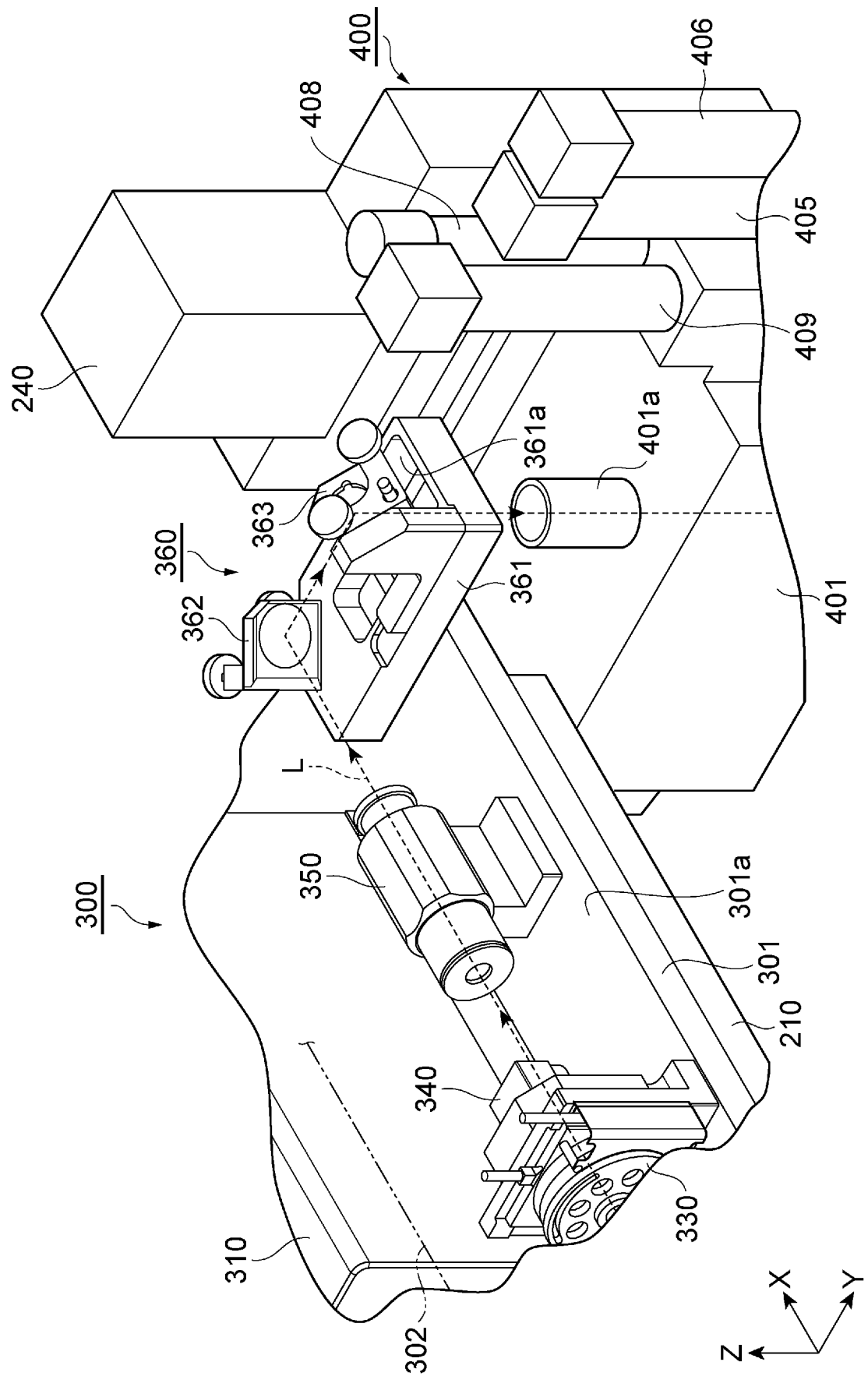
[図8]



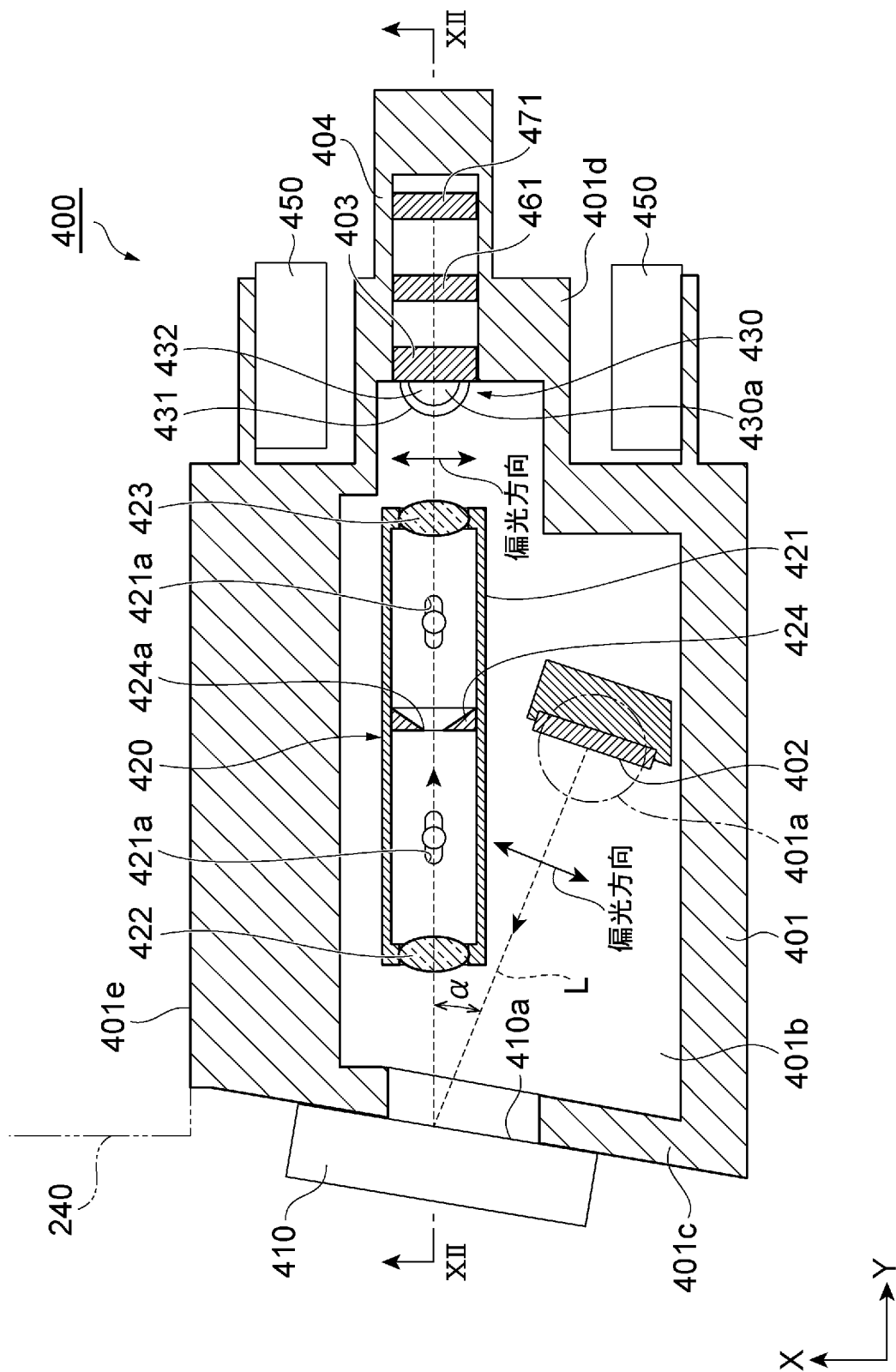
[図9]



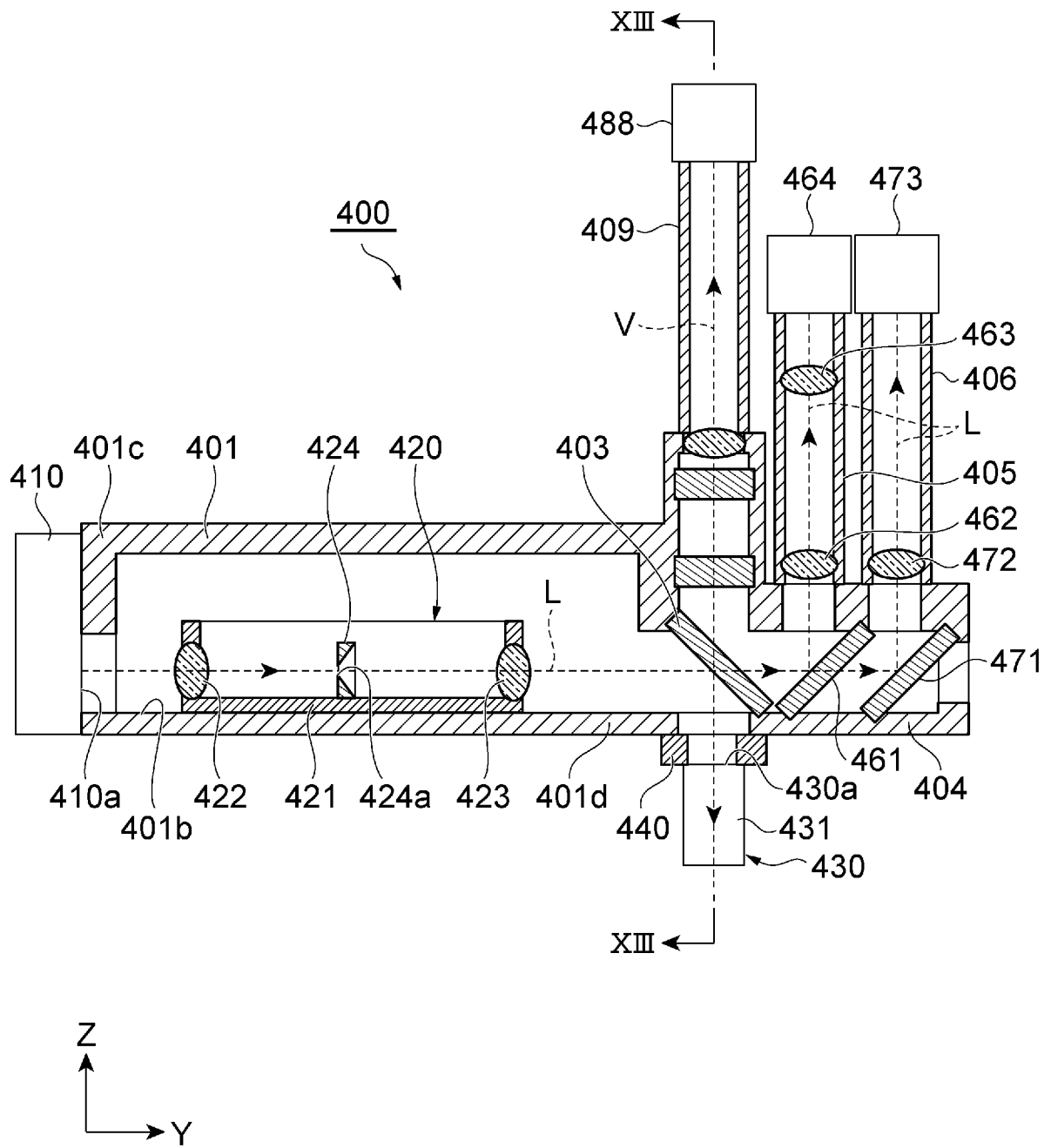
[図10]



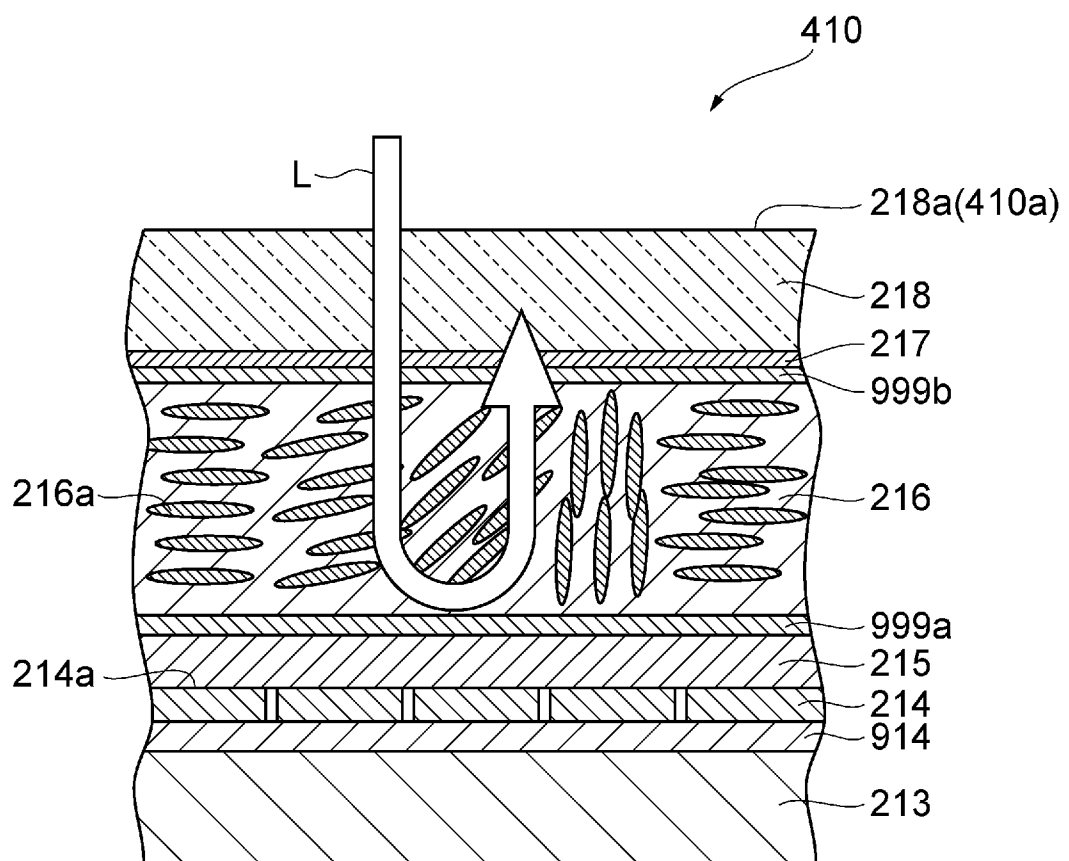
[図11]



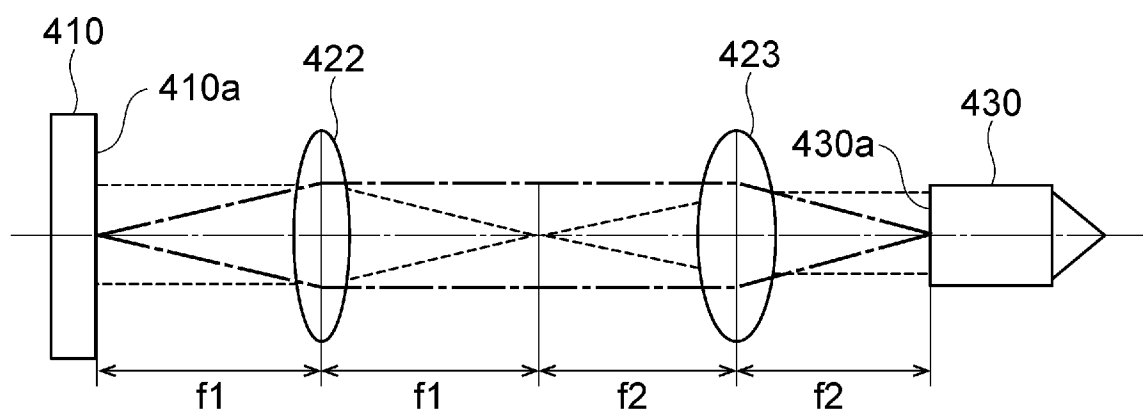
[図12]



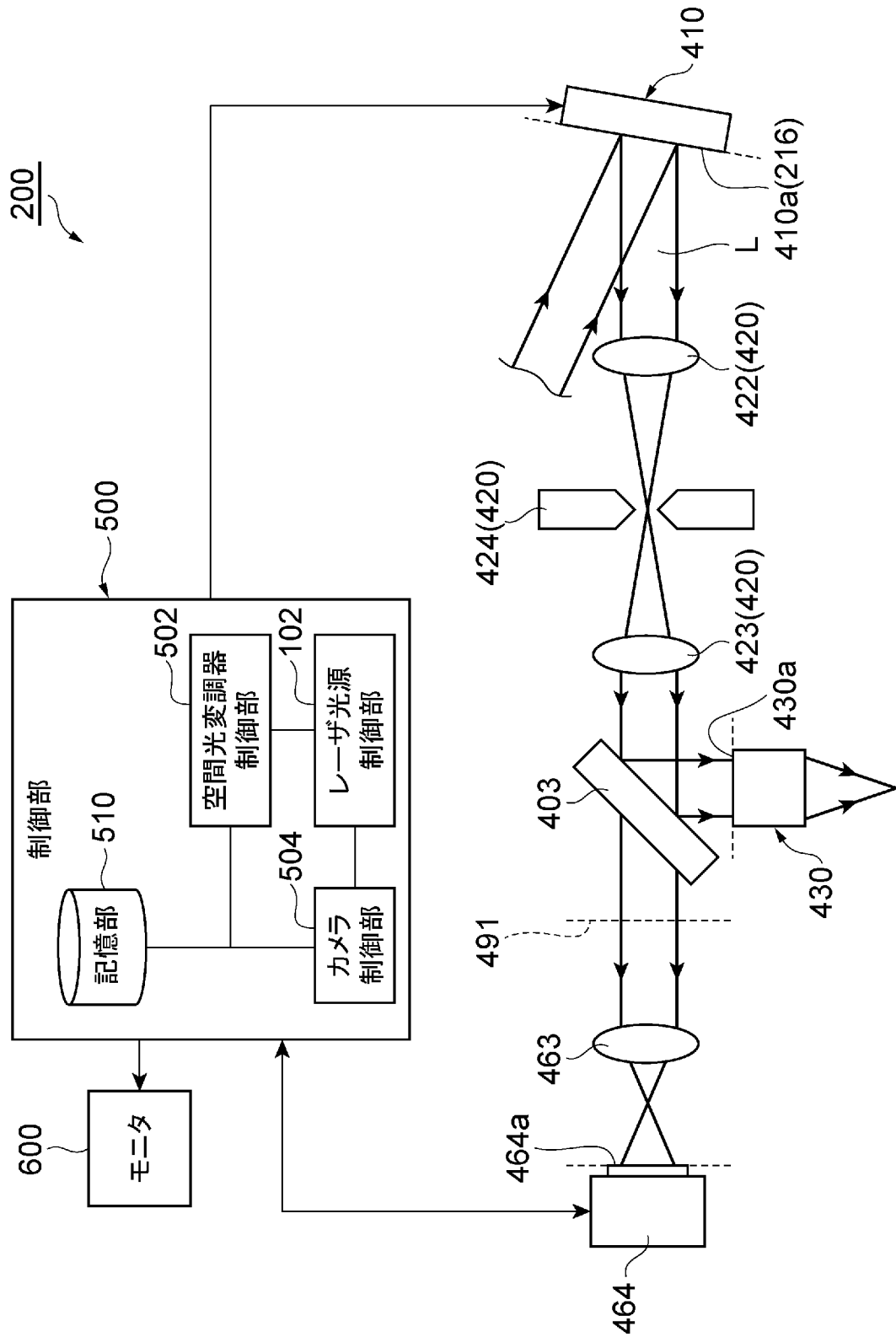
[図14]



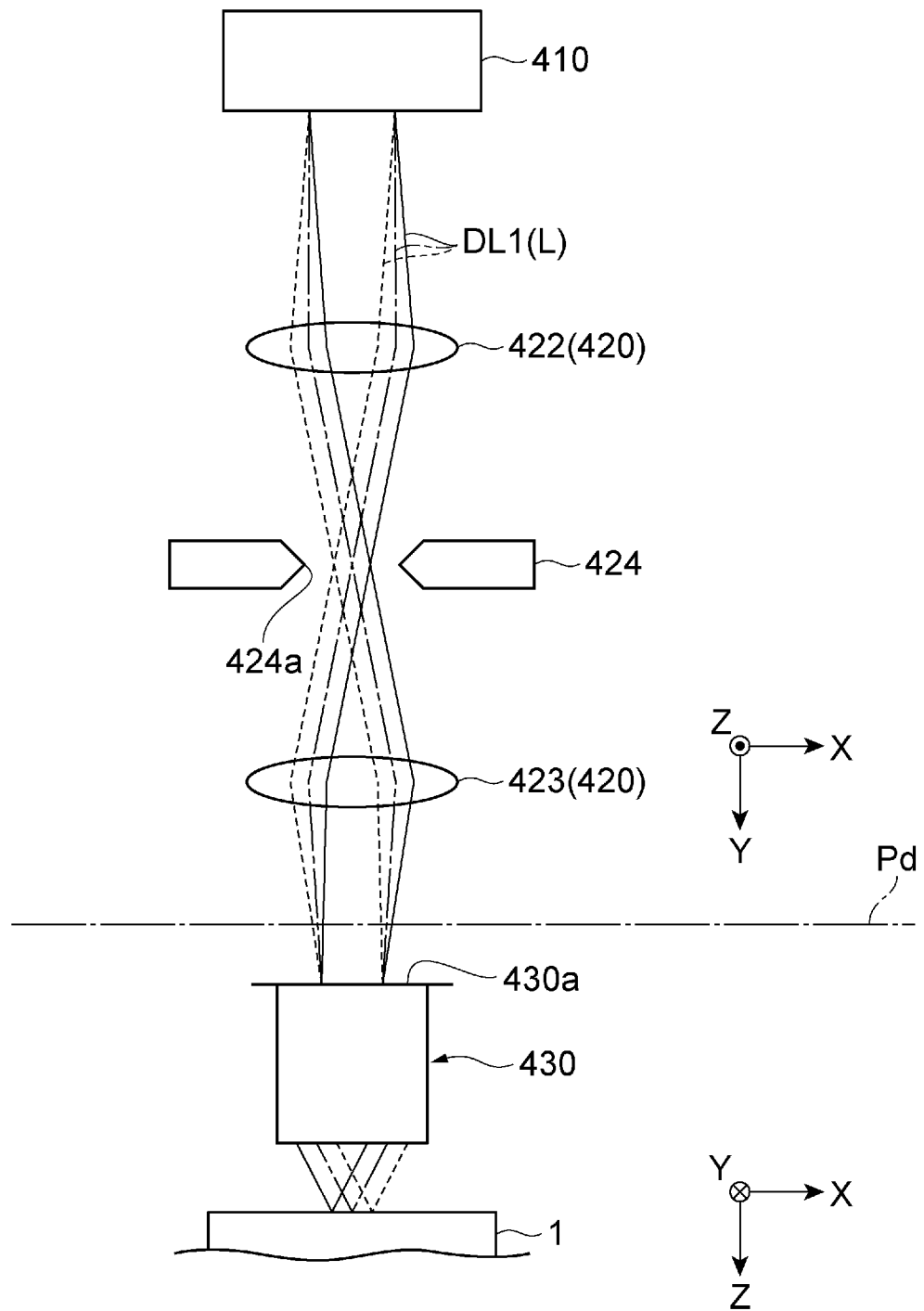
[図15]



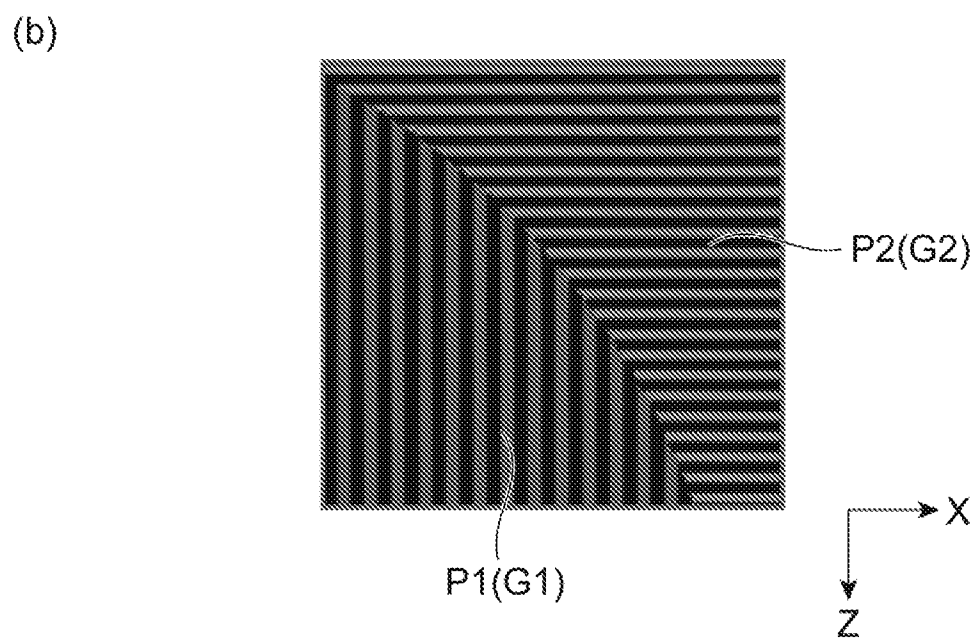
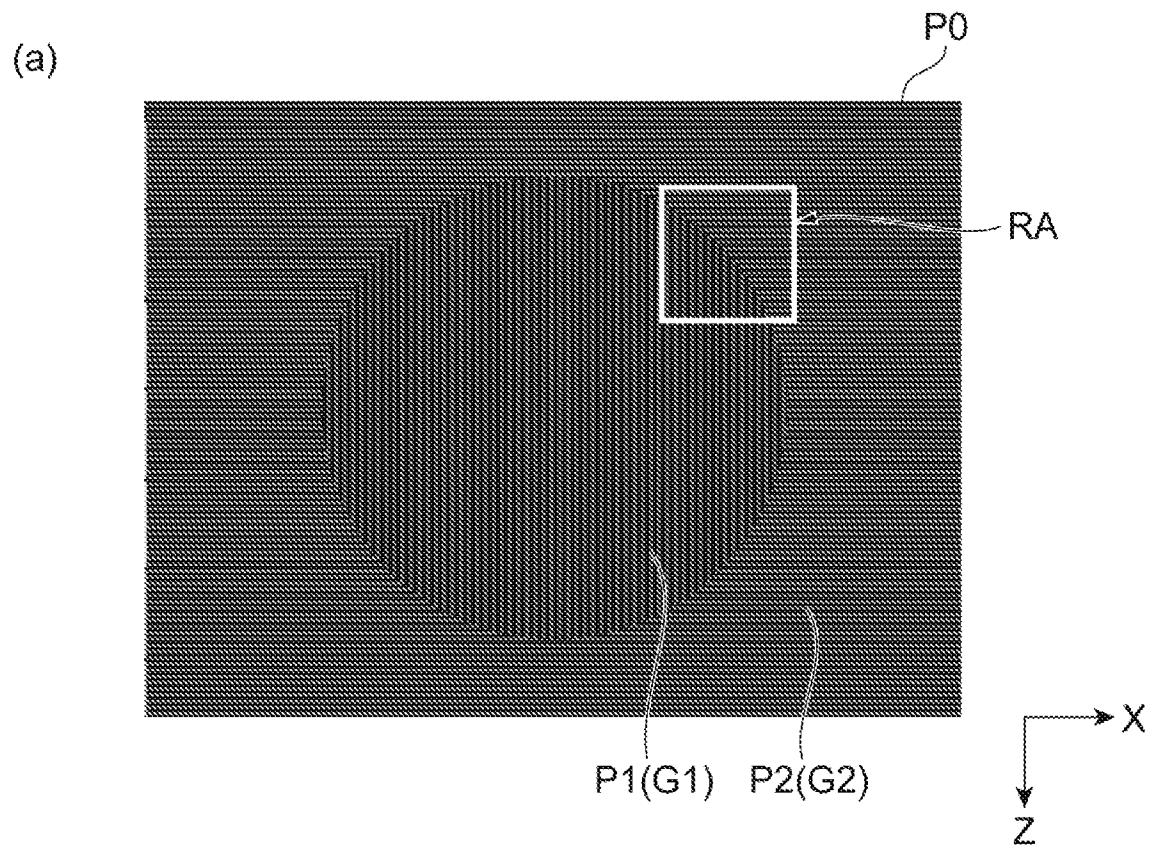
[図16]



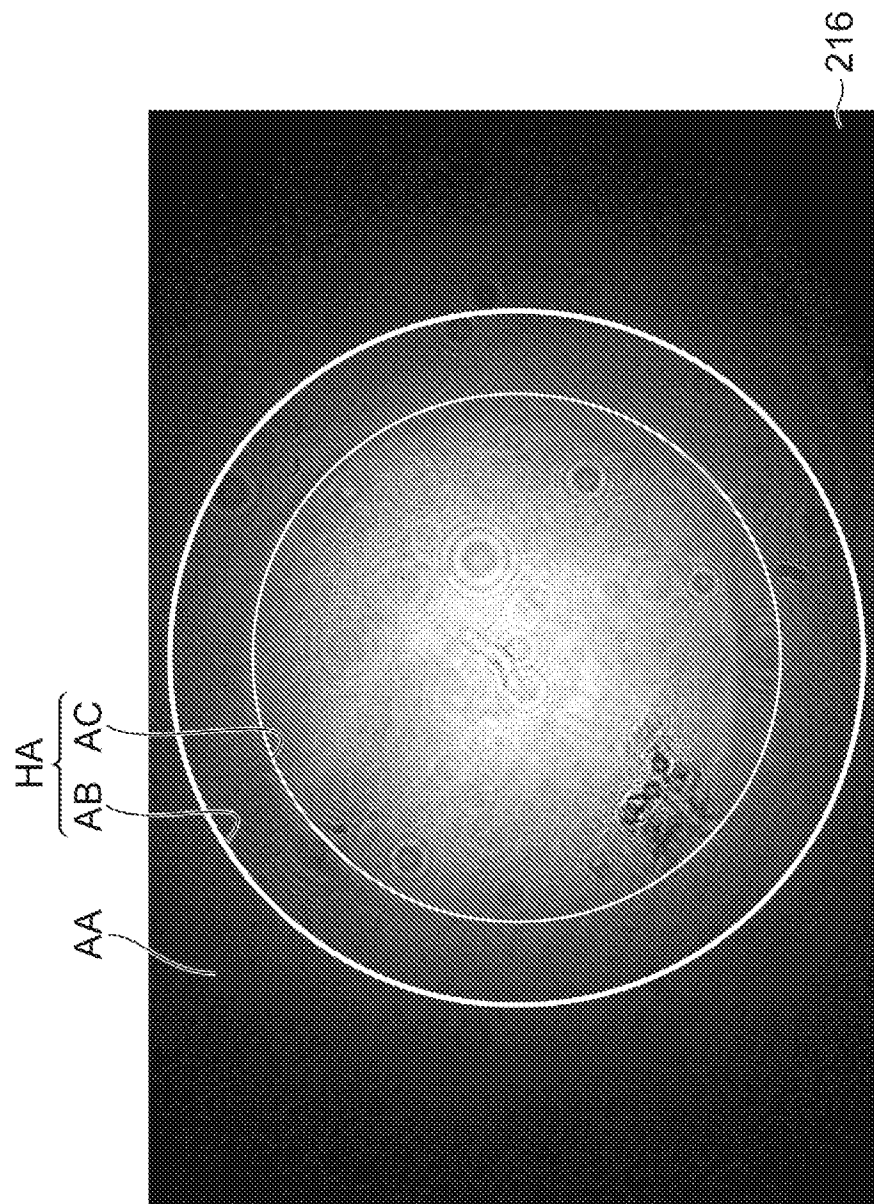
[図17]



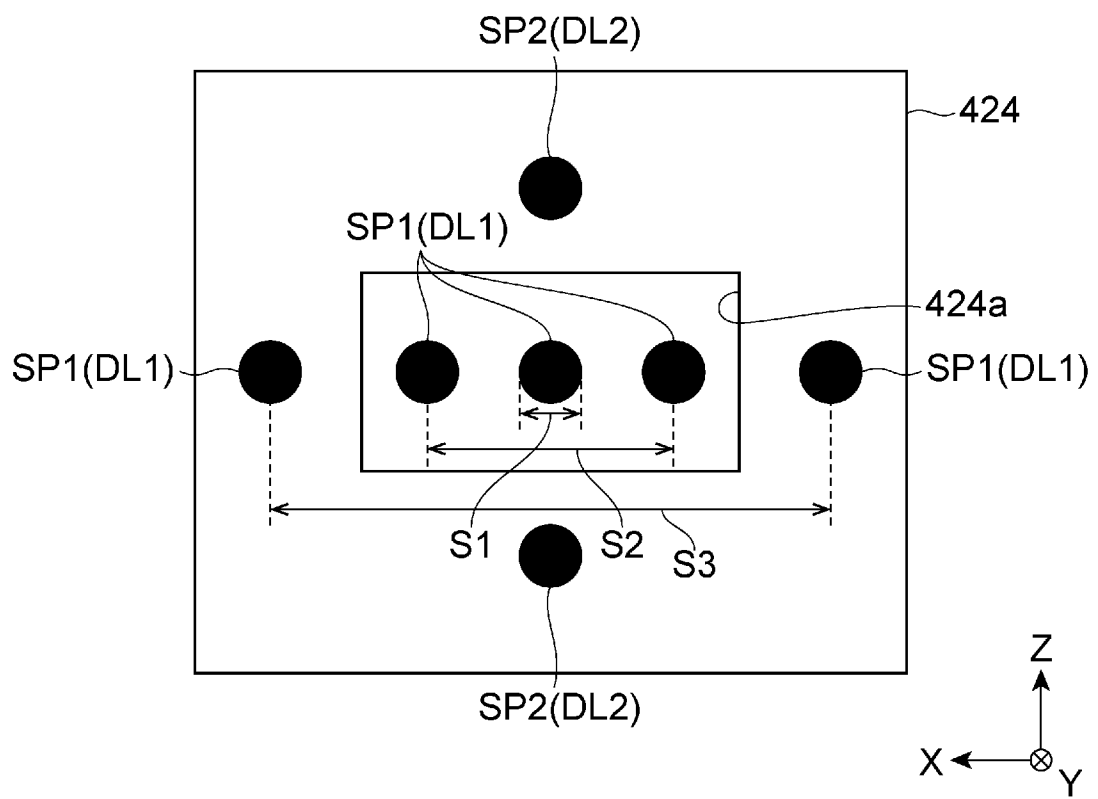
[図18]



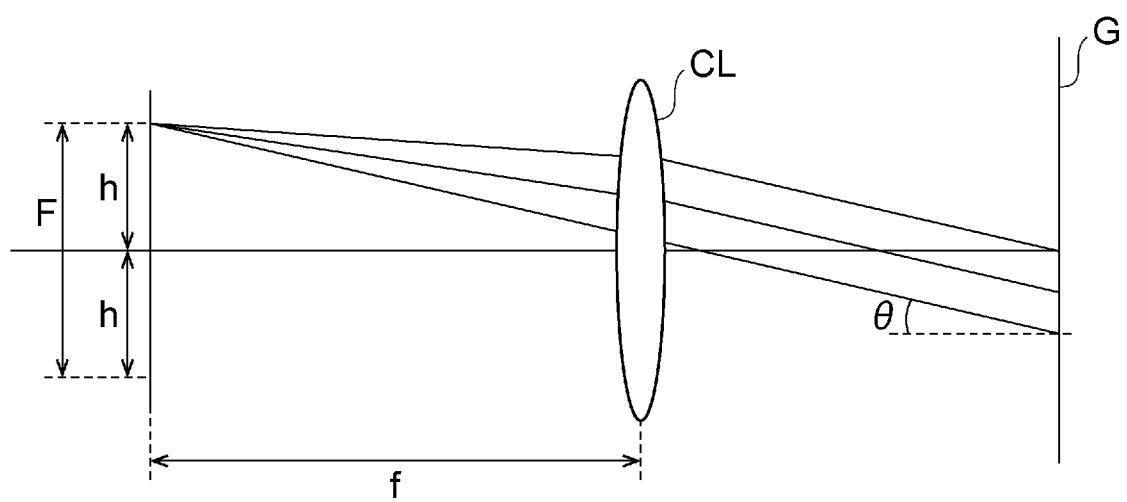
[図19]



[図20]



[図21]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/036362

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. B23K26/064 (2014.01) i, B23K26/067 (2006.01) i, C03B33/09 (2006.01) i, G02B5/18 (2006.01) i, H01L21/677 (2006.01) 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)

Int. Cl. B23K26/064, B23K26/067, C03B33/09, G02B5/18, H01L21/677

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2017

Registered utility model specifications of Japan 1996-2017

Published registered utility model applications of Japan 1994-2017

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2013-521131 A (MICRONIC AB) 10 June 2013, fig. 4A & WO 2011/107602 A2 & US 2011/0240611 A1	1-10
A	JP 2011-31284 A ((HAMAMATSU PHOTONICS KABUSHIKI KAISHA) 17 February 2011, fig. 7, 14 & WO 2011/016296 A1 & TW 201105444 A	1-10



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

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/036362

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 2012-501853 A (ELECTRO SCIENTIFIC INDUSTRIES, INC.) 26 January 2012, fig. 9 & US 2010/0059490 A1 & US 2012/0250134 A1 & WO 2010/030575 A2 & CN 102144182 A & KR 10-2011-0065450 A & TW 201012579 A	1-10
A	JP 2014-059511 A (HAMAMATSUPHOTONICS KABUSHIKI KAISHA) 03 April 2014, fig. 12 & US 2015/0219980 A1 & WO 2014/045865 A1 & EP 2899591 A1 & TW 201431223 A & CN 104641286 A & KR 10-2015-0058098 A	1-10
P, A	JP 2017-131945 A (HAMAMATSUPHOTONICS KABUSHIKI KAISHA) 03 August 2017, abstract & WO 2017/130961 A	1-10

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, B23K26/067(2006.01)i, C03B33/09(2006.01)i, G02B5/18(2006.01)i, H01L21/677(2006.01)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, B23K26/067, C03B33/09, G02B5/18, H01L21/677

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

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

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2013-521131 A（マイクロニック マイデータ アーペー） 2013.06.10, 図 4A & WO 2011/107602 A2 & US 2011/0240611 A1	1-10
A	JP 2011-31284 A（浜松ホトニクス株式会社）2011.02.17, 図 7, 14 & WO 2011/016296 A1 & TW 201105444 A	1-10

☑ 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

27.10.2017

国際調査報告の発送日

05.12.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

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）

奥隅 隆

3 P

4016

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 2012-501853 A (エレクトロ サイエンティフィック インダストリーズ インコーポレーテッド) 2012.01.26, 図 9 & US 2010/0059490 A1 & US 2012/0250134 A1 & WO 2010/030575 A2 & CN 102144182 A & KR 10-2011-0065450 A & TW 201012579 A	1-10
A	JP 2014-059511 A (浜松ホトニクス株式会社) 2014.04.03, 図 12 & US 2015/0219980 A1 & WO 2014/045865 A1 & EP 2899591 A1 & TW 201431223 A & CN 104641286 A & KR 10-2015-0058098 A	1-10
P, A	JP 2017-131945 A (浜松ホトニクス株式会社) 2017.08.03, 要約 & WO 2017/130961 A	1-10