(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 9 月 14 日(14.09.2017)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2017/154791 A1

(51) 国際特許分類:
B23K 26/00 (2014.01) *B23K 26/064* (2014.01)
B23K 26/035 (2014.01) *G02F 1/13* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2017/008578

(22) 国際出願日: 2017 年 3 月 3 日(03.03.2017)

(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 2016-047156 2016 年 3 月 10 日(10.03.2016) 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: 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).
中川 愛湖(**NAKAGAWA Aiko**); 〒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).

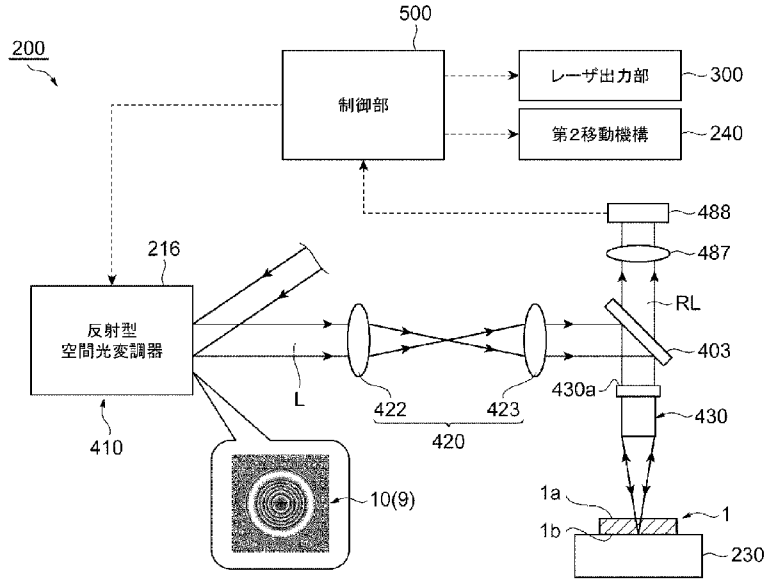
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD,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

[続葉有]

(54) **Title**: LASER LIGHT RADIATION DEVICE AND LASER LIGHT RADIATION METHOD

(54) 発明の名称 : レーザ光照射装置及びレーザ光照射方法



240 Second movement mechanism
300 Laser output unit
410 Reflection-type spatial light modulator
500 Control unit

(57) **Abstract**: A laser light radiation device, provided with: a laser light source for generating laser light; a spatial light modulator having a display unit for displaying a phase pattern; an objective lens for condensing the laser light emitted by the spatial light modulator onto an object; an image transfer optical system for transferring an image of the laser light on the display unit onto an entrance pupil surface of the objective lens; a reflection light detector for detecting the reflection light of the laser light incident on the object and reflected by an opposite surface on the opposite side from the laser light incident surface; and a control unit for controlling the phase pattern to be displayed on the display unit. When the reflection light is detected by the reflection light detector, the control unit causes the display unit to display a reflection light aberration-correcting pattern, which is a phase pattern for correcting an aberration that occurs when the laser light is transmitted through an object having twice the thickness of a predetermined thickness.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2017/154791 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

レーザ光照射装置は、レーザ光を発生させるレーザ光源と、位相パターンを表示する表示部を有する空間光変調器と、空間光変調器で出射したレーザ光を対象物に集光する対物レンズと、表示部におけるレーザ光の像を対物レンズの入射瞳面に転像する転像光学系と、対象物に入射されてレーザ光入射面とは反対側の反対面で反射されたレーザ光の反射光を検出する反射光検出器と、表示部に表示する位相パターンを制御する制御部と、を備える。制御部は、反射光検出器で反射光を検出する際、所定厚さの２倍の厚さを有する対象物をレーザ光が透過するとした場合に発生する収差を補正する位相パターンである反射光収差補正パターンを、表示部に表示させる。

明　細　書

発明の名称 ： レーザ光照射装置及びレーザ光照射方法

技術分野

[0001] 本発明の一側面は、レーザ光照射装置及びレーザ光照射方法に関する。

背景技術

[0002] 従来、レーザ光を対象物に照射するレーザ光照射装置として、例えば特許文献１に記載された装置が記載されている。このようなレーザ光照射装置において、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] 上記レーザ光照射装置では、４ｆ光学系等の転像光学系により、空間光変調器の表示部におけるレーザ光の像が対物レンズの入射瞳面に転像される。ここで、対物レンズの入射瞳面に転像したレーザ光の像の中心位置が当該入射瞳面の中心位置と一致しない場合、例えば対象物に集光されるレーザ光のビーム強度中心がずれ、加工品質（レーザ光照射後の対象物の品質）が悪化してしまう可能性が懸念される。

[0005] そこで、本発明の一側面は、転像光学系によって対物レンズの入射瞳面に転像したレーザ光の像の中心位置と当該入射瞳面の中心位置との間のずれを把握することが可能なレーザ光照射装置及びレーザ光照射方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明の一側面に係るレーザ光照射装置は、所定厚さの対象物にレーザ光を照射するレーザ光照射装置であって、レーザ光を発生させるレーザ光源と

、位相パターンを表示する表示部を有し、レーザ光源で発生させたレーザ光を表示部に入射させ、当該レーザ光を位相パターンに応じて変調して表示部から出射する空間光変調器と、空間光変調器で出射したレーザ光を対象物に集光する対物レンズと、空間光変調器の表示部におけるレーザ光の像を対物レンズの入射瞳面に転像する転像光学系と、対象物に入射されてレーザ光入射面とは反対側の反対面で反射されたレーザ光の反射光を検出する反射光検出器と、表示部に表示する位相パターンを少なくとも制御する制御部と、を備え、制御部は、反射光検出器で反射光を検出する際、所定厚さの２倍の厚さを有する対象物をレーザ光が透過するとした場合に発生する収差を補正する位相パターンである反射光収差補正パターンを、表示部に表示させる。

[0007] このレーザ光照射装置では、対象物のレーザ光入射面から入射されて反対面で反射されたレーザ光の反射光が、反射光検出器で検出される。このとき、対象物を透過することに起因して反射光に発生する収差については、反射光空間光変調器の反射光収差補正パターンで変調することにより補正できる。ここで、入射瞳面に転像したレーザ光の像の中心位置と当該入射瞳面の中心位置との間にずれ（以下、単に「転像位置ずれ」ともいう）がある場合、当該転像位置ずれがない場合に比べて、例えば対物レンズでレーザ光が適正に集光されていないことから、反射光検出器で検出する反射光にコマ収差等の収差の影響が現れ易いことが見出される。したがって、反射光を検出した検出結果に基づくことで転像位置ずれを把握することが可能となる。

[0008] 本発明の一側面に係るレーザ光照射装置は、反射光検出器の検出結果に基づいて、入射瞳面の中心位置と転像光学系により入射瞳面に転像したレーザ光の像の中心位置との間にずれがあるか否かを判定する位置判定部を備えていてもよい。この構成によれば、転像位置ずれの有無を自動で判定できる。

[0009] 本発明の一側面に係るレーザ光照射装置では、反射光検出器は、反射光の点像を含む画像を撮像するカメラを含み、位置判定部は、カメラで撮像された画像における反射光の点像が回転対称の光学像ではない場合に、ずれがあると判定してもよい。カメラで撮像された反射光の点像は、転像位置ずれが

無いときには回転対象の光学像になる一方、転像位置ずれがあるときには、例えばコマ収差等の影響によって回転対称の光学像となり難いことが見出される。そこで、位置判定部において、反射光の点像が回転対称の光学像ではない場合に転像位置ずれがあると判定することにより、転像位置ずれの有無を精度よく判定できる。

[0010] 本発明の一側面に係るレーザ光照射装置では、反射光検出器は、反射光の波面を検出する波面センサを含み、位置判定部は、波面センサで検出した反射光の波面が平面ではない場合に、ずれがあると判定してもよい。反射光は、転像位置ずれが無いときには平面波となる一方で、転像位置ずれがあるときには、平面波となり難いことが見出される。そこで、位置判定部において、波面センサで検出した反射光の波面が平面ではない場合に転像位置ずれがあると判定することにより、転像位置ずれの有無を精度よく判定できる。

[0011] 本発明の一側面に係るレーザ光照射装置は、表示部において位相パターンを表示する際に基準とする基準位置を、反射光検出器の検出結果に基づいてオフセットする位置調整部を備えていてもよい。反射光検出器の検出結果から基準位置をオフセットすることにより、入射瞳面に転像したレーザ光の像の位置を、例えば転像位置ずれが低減するように自動で調整することが可能となる。

[0012] 本発明の一側面に係るレーザ光照射装置では、反射光検出器は、反射光の点像を含む画像を撮像するカメラを含み、位置調整部は、カメラで撮像された画像における反射光の点像が回転対称の光学像となるように、基準位置をオフセットしてもよい。上述したように、転像位置ずれが無いときには、カメラで撮像された反射光の点像が回転対象の光学像になることが見出される。よって、反射光の点像が回転対称の光学像となるように基準位置をオフセットすることにより、入射瞳面に転像したレーザ光の像の中心位置を当該入射瞳面の中心位置に合うように調整し、転像位置ずれを低減させることが可能となる。

[0013] 本発明の一側面に係るレーザ光照射装置では、反射光検出器は、反射光の

波面を検出する波面センサを含み、位置調整部は、波面センサで検出した反射光の波面が平面となるように、基準位置をオフセットしてもよい。上述したように、転像位置ずれが無いときには、反射光は平面波となることが見出される。よって、波面センサで検出した反射光の波面が平面となるように基準位置をオフセットすることにより、入射瞳面に転像したレーザ光の像の中心位置を当該入射瞳面の中心位置に合うように調整し、転像位置ずれを低減させることが可能となる。

[0014] 本発明の一側面に係るレーザ光照射装置は、対物レンズ及び対象物の少なくとも一方を移動させる移動機構を備え、制御部は、表示部に反射光収差補正パターンを表示させる第１処理と、移動機構により、反射光検出器で反射光を検出可能な位置へ対物レンズ及び対象物の少なくとも一方を移動させる第２処理と、第２処理の後、第１処理により表示部に反射光収差補正パターンを表示させた状態で、レーザ光源からレーザ光を発生させて対象物に照射させ、当該照射に応じて検出された反射光検出器の検出結果を取得する第３処理と、第３処理を表示部上の反射光収差補正パターンの位置を変化させて１又は複数回繰り返し、反射光検出器の検出結果を複数取得する第４処理と、を実行し、位置調整部は、反射光検出器の複数の検出結果に基づいて表示部における光軸中心を算出し、当該光軸中心へ基準位置をオフセットしてもよい。この場合、転像位置ずれを低減する調整を具体的に実現できる。

[0015] 本発明の一側面に係るレーザ光照射装方法は、レーザ光照射装置を用いて所定厚さの対象物にレーザ光を照射するレーザ光照射方法であって、レーザ光照射装置は、レーザ光を発生させるレーザ光源と、位相パターンを表示する表示部を有し、レーザ光源で発生させたレーザ光を表示部に入射させ、当該レーザ光を位相パターンに応じて変調して表示部から出射する空間光変調器と、空間光変調器で出射したレーザ光を対象物に集光する対物レンズと、空間光変調器の表示部におけるレーザ光の像を対物レンズの入射瞳面に転像する転像光学系と、対象物に入射されてレーザ光入射面とは反対側の反対面で反射されたレーザ光の反射光を検出する反射光検出器と、を備え、所定厚

さの２倍の厚さを有する対象物をレーザ光が透過するとした場合に発生する収差を補正する位相パターンである反射光収差補正パターンを表示部に表示させる第１ステップと、第１ステップにより反射光収差補正パターンを表示部に表示させた状態で、レーザ光源からレーザ光を発生させて対象物に照射し、当該照射に応じて反射光検出器によりレーザ光の反射光を検出する第２ステップと、第２ステップの後、表示部において位相パターンを表示する際に基準とする基準位置を、反射光検出器の検出結果に基づいてオフセットする第３ステップと、を含む。

[0016] 上述したように、転像位置ずれがある場合、当該転像位置ずれが無い場合に比べて、反射光検出器で検出した反射光にコマ収差等の収差の影響が現れ易いことが見出される。したがって、第２ステップにて検出した反射光の検出結果によって、転像位置ずれを把握することが可能となる。さらに、第３ステップにて反射光検出器の検出結果から基準位置をオフセットすることにより、入射瞳面に転像したレーザ光の像の位置を転像位置ずれが低減するように調整できる。

発明の効果

[0017] 本発明の一側面によれば、転像光学系によって対物レンズの入射瞳面に転像したレーザ光の像の中心位置と当該入射瞳面の中心位置との間のずれを把握することが可能なレーザ光照射装置及びレーザ光照射方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0018] [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１５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16]図１６は、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１７は、レーザ光の裏面反射時における各集光状態を説明する概略断面図である。

[図18]図１８は、図１７の各集光状態において観察用カメラで撮像された点像画像の例を示す写真図である。

[図19]図１９は、転像位置ずれが生じていない状態を説明する概略図である。

[図20]図２０は、転像位置ずれが生じている状態を説明する概略図である。

[図21]図２１は、液晶層に表示する位相パターンの位置を変化させたときの点像画像を例示する図である。

[図22]図２２は、液晶層に表示する位相パターンの位置を変化させたときの点像画像を例示する他の図である。

[図23]図２３は、実施形態に係るレーザ光照射方法を示すフローチャートである。

[図24]図２４は、図２３の基準位置調整処理を示すフローチャートである。

[図25]図２５は、基準位置とレーザ加工結果との関係を示す表である。

[図26]図２６は、基準位置とレーザ加工結果との関係を示す他の表である。

[図27]図２７は、変形例に係るレーザ加工装置の要部を示す概略構成図である。

発明を実施するための形態

[0019] 以下、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。

[0020] 実施形態に係るレーザ加工装置（レーザ光照射装置）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。

[0021] 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。

[0022] 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。

[0023] 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。

[0024] 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。

[0025] 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）。

[0026] 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。

[0027] 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。

[0028] 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］

[0029] 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］

[0030] 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２３０と、第２移動機構（移動機構）２４０と、を備えている。更に、レーザ加工装置２００は、レーザ出力部３００と、レーザ集光部４００と、制御部５００と、を備えている。

[0031] 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。

[0032] 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。加工対象物１は、所定厚さ（ここでは、７７５μｍ）の板状を呈している。加工対象物１の所定厚さは限定されず、様々な厚さであっても勿論よい。

[0033] 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。

[0034] 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。

[0035] 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。

[0036] 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。

[0037] 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。

[0038] 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。

[0039] 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。

[0040] 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。

[0041] 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。

[0042] 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。

[0043] 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。

[0044] 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。

[0045] 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。

[0046] 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。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。

[0047] 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。

[0048] 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。

[0049] 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。

[0050] 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、一対の測距センサ４５０と、を有している。

[0051] 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。

[0052] 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。

[0053] 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。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。

[0054] 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。

[0055] 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。

[0056] 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。

[0057] 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。

[0058] 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、プロファイル取得用カメラ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及びプロファイル取得用カメラ４６４に順次入射する。一対のレンズ４６２，４６３は、集光レンズユニット４３０の入射瞳面４３０ａとプロファイル取得用カメラ４６４の撮像面とが結像関係にある両側テレセントリック光学系を構成している。これにより、集光レンズユニット４３０の入射瞳面４３０ａでのレーザ光Ｌの像が、プロファイル取得用カメラ４６４の撮像面に転像（結像）される。上述したように、集光レンズユニット４３０の入射瞳面４３０ａでのレーザ光Ｌの像は、反射型空間光変調器４１０において変調されたレーザ光Ｌの像である。したがって、レーザ加工装置２００では、プロファイル取得用カメラ４６４による撮像結果を監視することで、反射型空間光変調器４１

０の動作状態を把握することができる。

[0059] 更に、レーザ集光部４００は、ビームスプリッタ４７１と、レンズ４７２と、レーザ光Ｌの光軸位置モニタ用のカメラ４７３と、を有している。ビームスプリッタ４７１は、ビームスプリッタ４６１を透過したレーザ光Ｌを反射成分と透過成分とに分ける。ビームスプリッタ４７１によって反射されたレーザ光Ｌは、Ｚ軸方向に沿ってレンズ４７２及びカメラ４７３に順次入射する。レンズ４７２は、入射したレーザ光Ｌをカメラ４７３の撮像面上に集光する。レーザ加工装置２００では、プロファイル取得用カメラ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。

[0060] 複数のビームスプリッタ４６１，４７１は、筐体４０１の端部４０１ｄからＹ軸方向に沿って延在する筒体４０４内に配置されている。一対のレンズ４６２，４６３は、Ｚ軸方向に沿って筒体４０４上に立設された筒体４０５内に配置されており、プロファイル取得用カメラ４６４は、筒体４０５の端部に配置されている。レンズ４７２は、Ｚ軸方向に沿って筒体４０４上に立設された筒体４０６内に配置されており、カメラ４７３は、筒体４０６の端部に配置されている。筒体４０５と筒体４０６とは、Ｙ軸方向において互いに並設されている。なお、ビームスプリッタ４７１を透過したレーザ光Ｌは、筒体４０４の端部に設けられたダンパ等に吸収されるようにしてもよいし、或いは、適宜の用途で利用されるようにしてもよい。

[0061] 図１２及び図１３に示されるように、レーザ集光部４００は、可視光源４８１と、複数のレンズ４８２と、レチクル４８３と、ミラー４８４と、ハーフミラー４８５と、ビームスプリッタ４８６と、レンズ４８７と、観察用カ

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。

[0062] 加工対象物１に照射された可視光Ｖは、加工対象物１のレーザ光入射面によって反射され、集光レンズユニット４３０を介してダイクロイックミラー４０３に入射し、Ｚ軸方向に沿ってダイクロイックミラー４０３を透過する。ビームスプリッタ４８６は、ダイクロイックミラー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及び観察用カメラ４８８に順次入射する。レンズ４８７は、入射した可視光Ｖを観察用カメラ４８８の撮像面上に集光する。レーザ加工装置２００では、観察用カメラ４８８による撮像結果を観察することで、加工対象物１の状態を把握することができる。

[0063] ミラー４８４、ハーフミラー４８５及びビームスプリッタ４８６は、筐体４０１の端部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、観察用カメラ４８８は、筒体４０９の端部に配置されている。筒体４０８と筒体４０９とは、Ｘ軸方向において互いに並設されている。なお、Ｘ軸方向に沿ってハーフミラー４８５を透過した可視光Ｖ、及びビームスプリッタ４８６によってＸ軸方

向に反射された可視光Ｖは、それぞれ、ホルダ４０７の壁部に設けられたダンパ等に吸収されるようにしてもよいし、或いは、適宜の用途で利用されるようにしてもよい。

[0064] レーザ加工装置２００では、レーザ出力部３００の交換が想定されている。これは、加工対象物１の仕様、加工条件等に応じて、加工に適したレーザ光Ｌの波長が異なるからである。そのため、出射するレーザ光Ｌの波長が互いに異なる複数のレーザ出力部３００が用意される。ここでは、出射するレーザ光Ｌの波長が５００～５５０ｎｍ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。

[0065] 一方、レーザ加工装置２００では、レーザ集光部４００の交換が想定されていない。これは、レーザ集光部４００がマルチ波長に対応している（互いに連続しない複数の波長帯に対応している）からである。具体的には、ミラー４０２、反射型空間光変調器４１０、４ｆレンズユニット４２０の一対のレンズ４２２，４２３、ダイクロイックミラー４０３、及び集光レンズユニット４３０のレンズ４３２等がマルチ波長に対応している。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、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］

[0066] 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。

[0067] 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。

[0068] 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。

[0069] 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Ｘ

Ｙ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。

[0070] 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。

［反射型空間光変調器］

[0071] 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。

[0072] 透明基板２１８は、ＸＹ平面に沿った表面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。

[0073] 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。

[0074] 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５０００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。

[0075] 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。

[0076] 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。

[0077] 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。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］

[0078] 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ｆ１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ｆ２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。

[0079] 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。

[0080] 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。

[0081] 次に、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。

[0082] 図１６は、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１６に示されるように、反射型空間光変調器４１０の液晶層２１６に入射して反射されたレーザ光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で反射されたレーザ光Ｌは、集光レンズユニット４３０に入射し、集光レンズユニット４３０を介して加工対象物１に照射される。

[0083] 加工対象物１に照射されたレーザ光Ｌは、表面１ａをレーザ光入射面として加工対象物１に入射し、加工対象物１内にて光軸方向（Ｚ軸方向）に沿っ

て裏面１ｂに向けて進み、当該裏面１ｂで反射される。裏面１ｂで反射されたレーザ光Ｌの反射光ＲＬは、加工対象物１内において光軸方向に沿って表面１ａに向けて進み、表面１ａをレーザ光入射面として加工対象物１から出射される。加工対象物１から出射された反射光ＲＬは、ダイクロイックミラー４０３を通過した後、レンズ４８７を介して観察用カメラ４８８の撮像面に入射する。

[0084] ４ｆレンズユニット４２０の一対のレンズ４２２，４２３は、液晶層２１６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へ転像（リレー）する。これにより、液晶層２１６の反射面４１０ａと、集光レンズユニット４３０の入射瞳面４３０ａとは、互いに共役の関係を構成する。４ｆレンズユニット４２０は、液晶層２１６におけるレーザ光Ｌの像を入射瞳面４３０ａに転像する転像光学系を構成する。

[0085] 観察用カメラ４８８は、裏面１ｂで反射された反射光ＲＬを検出する反射光検出器を構成する。観察用カメラ４８８は、反射光ＲＬの点像（ビームスポット、裏面反射像、又は集光スポットとも称される）を含む画像である点像画像を撮像する。観察用カメラ４８８は、撮像した点像画像を制御部５００へ出力する。

[0086] 制御部５００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９を制御する。位相パターン９は、上述の変調パターンであって、レーザ光Ｌを変調する位相分布である。位相パターン９は、液晶層２１６上に設定された基準位置を基準として設定されている。つまり、液晶層２１６において位相パターン９を表示する際に基準とする位置が基準位置（以下、単に「基準位置」という）として設定されており、この基準位置を基に定められた座標系にて、位相パターン９の位置が設定されている。例えば位相パターン９の位置は、液晶層２１６上の基準位置を原点とする２次元座標の座標値として設定されている。ここでの液晶層２１６の座標系は、座標軸方向としてＸ方向及びＹ方向を有し、Ｘ方向及びＹ方向それぞれにおいて液晶

層２１６の１ピクセルを１単位としている。

[0087] 制御部５００は、観察用カメラ４８８で反射光ＲＬを撮像する際、反射光収差補正パターン１０を液晶層２１６に表示させる第１処理を実行する。反射光収差補正パターン１０は、所定厚さの２倍の厚さを有する加工対象物１をレーザ光Ｌが透過するとした場合に発生する収差を補正する位相パターン９である。換言すると、反射光収差補正パターン１０は、２倍相当の媒質厚の加工対象物１を通過した際に発生する収差を補正する位相パターン９である。反射光収差補正パターン１０は、複数の同心円図形を含むパターンである。

[0088] 所定厚さの２倍は、完全に２倍だけでなく、略２倍又は約２倍を含む。所定厚さの２倍は、製造誤差や設計誤差等を含む。例えば、所定厚さの２倍は、±１０％の範囲を有する（所定厚さをαとしたとき、（２α－０．１α）～（２α＋０．１α）である）。所定厚さの２倍は、レーザ光Ｌが表面１ａから入射し、裏面１ｂで反射し、表面１ａから出射するまでにおいて透過する道程の長さに対応する。例えば加工対象物１の所定厚さが７７５μｍである場合には、１５００μｍの厚さの加工対象物１の表面１ａから照射して裏面１ｂに集光するときに発生する収差を補正する位相パターンが、反射光収差補正パターン１０である。

[0089] 制御部５００は、第２移動機構２４０の動作を制御し、観察用カメラ４８８で反射光ＲＬの点像を確認可能な位置（検出可能な位置）へ集光レンズユニット４３０を光軸方向に移動させる第２処理を実行する。例えば第２処理では、集光レンズユニット４３０の焦点が裏面１ｂ又は裏面１ｂ近傍に位置するように集光レンズユニット４３０を移動させる。裏面１ｂの近傍とは、略裏面１ｂ位置、裏面１ｂ位置の付近、もしくは裏面１ｂ位置の周辺である。反射光ＲＬの点像を確認可能な位置とは、当該点像にピントが一定程度以上合っており、当該点像が回転対称の光学像であるか否かに係る後述の認識又はその画像処理が可能な位置である。

[0090] 制御部５００は、第２処理の後、第１処理により液晶層２１６に反射光収

差補正パターン１０を表示させた状態で、レーザ出力部３００の動作を制御してレーザ発振器３１０（図９参照）からレーザ光Ｌを発生させて加工対象物１に照射させる処理と、当該照射に応じて観察用カメラ４８８で撮像された反射光ＲＬの点像画像を、観察用カメラ４８８から取得する処理と、を含む第３処理を実行する。

[0091] 図１７は、レーザ光Ｌが裏面１ｂで反射する裏面反射時における各集光状態を説明する概略断面図である。図１７中の各集光状態は、集光レンズユニット４３０の焦点が裏面１ｂに位置する場合の例である。図１８は、図１７の各集光状態において観察用カメラ４８８で撮像された点像画像を示す写真図である。

[0092] 図１７（ａ）及び図１８（ａ）は、収差補正を反射型空間光変調器４１０で行っていない場合におけるレーザ光Ｌのレーザ光Ｌの集光状態である。図１７（ｂ）及び図１８（ｂ）は、所定厚さの加工対象物１をレーザ光Ｌが透過する際に発生する収差を補正する収差補正（媒質厚補正）を反射型空間光変調器４１０で行っている場合におけるレーザ光Ｌの集光状態である。図１７（ｃ）及び図１８（ｃ）は、所定厚さの２倍の厚さを有する加工対象物１をレーザ光Ｌが透過する際に発生する収差を補正する収差補正（媒質厚２倍補正）を反射型空間光変調器４１０で行っている場合におけるレーザ光Ｌの集光状態である。

[0093] 図１７（ａ）に示されるように、収差補正を行わない場合、レーザ光Ｌの外周部分が内周部分よりも深い位置にずれて集光する。図１７（ｂ）に示されるように、媒質厚補正を行った場合には、レーザ光Ｌの全ての成分が裏面１ｂにて１点に集光する。そのため、裏面１ｂでの反射後に所定厚さ分の媒質を更に透過して表面１ａから出射した反射光ＲＬは、レンズ４８７で集光されるときには、収差の影響でぼやけて１点に集光しないものとなる。その結果、図１８（ａ）及び図１８（ｂ）に示されるように、観察用カメラ４８８で撮像された反射光ＲＬの画像において、十分な明度及び大きさ等の点像が確認できない。

[0094] 一方、図１７（ｃ）に示されるように、媒質厚２倍補正を行った場合には、レーザ光Ｌの外周部分が内周部分よりも浅い位置にずれて集光する。媒質厚２倍補正を行った場合、裏面１ｂでの反射後に所定厚さ分の媒質を更に透過して表面１ａから出射した反射光ＲＬは、レンズ４８７で集光されるときには、１点に綺麗に集光するものとなる。その結果、図１８（ｃ）に示されるように、観察用カメラ４８８で撮像された反射光ＲＬの画像において、制御部５００による後述の判定や調整が可能なまでに十分な明度及び大きさ等の点像を確認することができる。

[0095] 制御部５００は、上記第３処理を液晶層２１６上の反射光収差補正パターン１０の位置を変化させて１又は複数回繰り返し、観察用カメラ４８８による点像画像を複数取得する第４処理を実行する。

[0096] ここで、制御部５００は、観察用カメラ４８８で撮像した点像画像に基づいて、入射瞳面４３０ａの中心位置と４ｆレンズユニット４２０で入射瞳面４３０ａに転像したレーザ光Ｌの像の中心位置との間のずれ（以下、「転像位置ずれ」という）があるか否かを判定する。また制御部５００は、転像位置ずれが低減ひいては無くなるように、位相パターン９の基準位置を調整する。以下、転像位置ずれの判定、及び、基準位置の調整に係る原理又は現象について説明する。

[0097] 図１９は、転像位置ずれが生じていない状態を説明する概略図である。図２０は、転像位置ずれが生じている状態を説明する概略図である。図１９に示されるように、転像位置ずれが生じていない場合、４ｆレンズユニット４２０は、反射型空間光変調器４１０の液晶層２１６で反射したレーザ光Ｌを、そのまま集光レンズユニット４３０まで像転送する。入射瞳面４３０ａに転像したレーザ光Ｌの像３９の中心位置Ｃ１は、入射瞳面４３０ａの中心位置Ｃ２と一致している。位相パターン９の中心位置Ｃ３は、液晶層２１６の光軸中心Ｃ４と一致しており、すなわち、液晶層２１６における位相パターン９の基準位置が光軸中心Ｃ４に設定されている。

[0098] 一方、図２０に示されるように、転像位置ずれが生じている場合には、位

相パターン９の基準位置としての中心位置Ｃ３は、液晶層２１６の光軸中心Ｃ４からずれている。換言すると、位相パターン９の中心位置Ｃ３が光軸中心Ｃ４からずれて設定されていると、入射瞳面４３０ａに転像したレーザ光Ｌの像３９の中心位置Ｃ１は、入射瞳面４３０ａの中心位置Ｃ２に対してずれている（不一致となる）。この場合、ビーム強度中心がずれてしまい、コマ収差が発生することが見出される。例えば、液晶層２１６において位相パターン９の中心位置Ｃ３が光軸中心Ｃ４に対して１ピクセルずれると、２０μｍの転像位置ずれが生じる場合があり、加工品質に影響が及ぶ可能性がある。

[0099] 図２１は、液晶層２１６に表示する位相パターン９の位置を変化させたときの点像画像を例示する図である。点像画像Ｇ０は、位相パターン９の基準位置が光軸中心Ｃ４に設定されている場合の点像である。点像画像Ｇ１は、光軸中心Ｃ４に対して基準位置が液晶層２１６の座標系のＸ方向マイナス側に１ピクセルずれている場合の点像である。点像画像Ｇ２は、光軸中心Ｃ４に対して基準位置が液晶層２１６の座標系のＸ方向のプラス側に１ピクセルずれている場合の点像である。点像画像Ｇ３は、光軸中心Ｃ４に対して基準位置が液晶層２１６の座標系のＹ方向のマイナス側に１ピクセルずれている場合の点像である。点像画像Ｇ４は、光軸中心Ｃ４に対して基準位置が液晶層２１６の座標系のＹ方向のプラス側に１ピクセルずれている場合の点像である。点像画像Ｇ０では、転像位置ずれが生じておらず、点像画像Ｇ１～Ｇ４では、転像位置ずれが生じている。

[0100] 図２１に示されるように、転像位置ずれが生じている点像画像Ｇ１～Ｇ４は、上述したようにコマ収差が発生することが見出されることから、このコマ収差に起因して、点像が回転対称の光学像となっていない。例えば、点像画像Ｇ１～Ｇ４では、点像が偏心していたり、外周側に円弧状の像ＥＺが含まれていたり、周方向における一部分が他部分よりも大きくぼやけた形状となっている。一方、転像位置ずれが生じていない点像画像Ｇ０では、コマ収差の影響が見られず、点像が回転対称の光学像となっている。

[0101] なお、回転対称とは、ある中心の周りを３６０／ｎ°（ｎは２以上の整数）回転させると自らと重なる対称性である。回転対称の点像は、完全な回転対称なものに加え、略回転対称なものを含む。回転対称の点像は、偏心していない点像、外周側に円弧状の像ＥＺが含まれてない点像、周方向における一部分が他部分よりも大きくぼやけた形状となっていない点像、及び、これらの少なくとも何れかを含む点像である。

[0102] 図２２は、液晶層２１６に表示する位相パターン９の位置を変化させたときの点像画像を例示する他の図である。図２２中のＸ方向の数字について、「０」は、Ｘ方向において基準位置が光軸中心Ｃ４と一致している場合を表し、「－２」、「－１」，「１」，「２」は、Ｘ方向において基準位置が光軸中心Ｃ４に対して「－２ピクセル」、「－１ピクセル」，「１ピクセル」，「２ピクセル」だけオフセットしている場合をそれぞれ表している。同様に、図２２中におけるＹ方向の数字について、「０」は、Ｙ方向において基準位置が光軸中心Ｃ４と一致している場合を表し、「－２」、「－１」，「１」，「２」は、Ｙ方向において基準位置が光軸中心Ｃ４に対して「－２ピクセル」、「－１ピクセル」，「１ピクセル」，「２ピクセル」だけオフセットしている場合をそれぞれ表している。図２２中では、基準位置が光軸中心Ｃ４と一致している場合の正常時の点像と、正常時から基準位置をＸ方向のみにオフセットした場合の各点像と、正常時から基準位置をＹ方向のみにオフセットした場合の各点像と、を例示している。

[0103] 図２２に示されるように、基準位置が光軸中心Ｃ４と一致している（つまり、転像位置ずれが生じていない）場合、点像が回転対称の光学像となる。基準位置が光軸中心Ｃ４からずれた（つまり、転像位置ずれが生じている）場合、点像が崩れて回転非対称の光学像となる。さらに、基準位置の光軸中心Ｃ４からのずれ量が大きくなるほど（つまり、転像位置ずれのずれ量が大きくなるほど）、点像の光学像における回転対称に対する乖離が大きくなっている。

[0104] 以上の原理又は現象に関する知見から、図１６に示されるように、制御部

５００は、観察用カメラ４８８で撮像した点像画像に基づいて、転像位置ずれがあるか否かを判定する。具体的には、制御部５００は、点像画像における反射光ＲＬの点像が回転対称の光学像ではない場合に、転像位置ずれがあると判定する。なお、回転対称の光学像であるか否かは、例えば点像画像から幾何学的手法により認識してもよいし、パターン認識等の公知の画像認識処理により認識してもよい。例えば図２１又は図２２に示される各点像の少なくとも１つを予め記憶しておき、この記憶した点像を用いたパターンマッチング手法によって回転対称の光学像であるか否かを認識してもよい。

[0105] また、制御部５００は、液晶層２１６における基準位置を、観察用カメラ４８８で撮像した点像画像に基づいて調整する。制御部５００は、点像画像における反射光ＲＬの点像が回転対称の光学像となるように、液晶層２１６における基準位置をオフセットする（ずらす）。具体的には、制御部５００は、上記第４処理で取得した複数の点像画像から、液晶層２１６における光軸中心Ｃ４を算出する。例えば制御部５００は、複数の点像画像から、回転対称の光学像となるときの点像を求め、当該点像のときにおける液晶層２１６上の反射光収差補正パターン１０の位置を求める。このときの反射光収差補正パターン１０の位置に基づき、光軸中心Ｃ４を算出する。そして、制御部５００は、算出した当該光軸中心Ｃ４へ基準位置をオフセットする。

[0106] 制御部５００には、モニタが接続されている。モニタは、観察用カメラ４８８で撮像された反射光ＲＬの点像画像を表示することができる。モニタは、空間光変調器制御部５０２により液晶層２１６に表示させる位相パターン９を表示することができる。モニタは、制御部５００による転像位置ずれがあるか否かの判定結果をログとして表示することができる。モニタは、制御部５００による基準位置の調整結果をログとして表示することができる。

[0107] 次に、本実施形態に係るレーザ光照射方法の一例について、図２３及び図２４のフローチャートを参照しつつ説明する。

[0108] 本実施形態に係るレーザ光照射方法は、レーザ加工装置２００の検査方向又は調整方法として利用できるものであって、例えば定期点検時のチェック

モードとして実施される。本実施形態に係るレーザ光照射方法では、制御部５００により次の処理を実行する。すなわち、まず、第２移動機構２４０によってレーザ集光部４００をＺ軸方向に沿って移動させ、観察用カメラ４８８の焦点位置が表面１ａ（レチクル基準位置）となるように、集光レンズユニット４３０を加工対象物１に対して移動させる（ステップＳ１）。

[0109] 反射光収差補正パターン１０を液晶層２１６に表示させる（ステップＳ２）。第２移動機構２４０によってレーザ集光部４００をＺ軸方向に沿って移動させ、レチクル基準位置からデフォーカスさせた位置であって反射光ＲＬの点像が確認可能な位置へ、集光レンズユニット４３０を加工対象物１に対して光軸方向に移動させる（ステップＳ３）。

[0110] 液晶層２１６に反射光収差補正パターン１０を表示させた状態で、レーザ発振器３１０からレーザ光Ｌを発生させて、加工対象物１にレーザ光Ｌを照射する。当該照射に応じて観察用カメラ４８８によって反射光ＲＬの点像画像を撮像する（ステップＳ４）。上記ステップＳ４では、レーザ光Ｌの照射により加工対象物１に改質領域７が形成されないように、レーザ出力部３００（λ／２波長板ユニット３３０及び偏光板ユニット３４０）を制御して、レーザ光Ｌの出力を、加工対象物１の加工閾値よりも小さい出力に調整する。

[0111] 撮像した点像画像に基づいて、転像位置ずれの有無を判定する（ステップＳ５）。点像画像に含まれる点像が回転中心の光学像である場合、上記ステップＳ５でＮＯとなり、転像位置ずれ無しとして、そのまま処理を終了する。一方、点像が回転中心の光学像でない場合には、上記ステップＳ５でＹＥＳとなり、転像位置ずれが有りとして、位相パターン９の基準位置を調整する基準位置調整処理を実行する（ステップＳ６）。

[0112] 基準位置調整処理では、まず、上記ステップＳ１と同様に、観察用カメラ４８８の焦点位置がレチクル基準となるように、集光レンズユニット４３０を加工対象物１に対して移動させる（ステップＳ１１）。上記ステップＳ２と同様に、反射光収差補正パターン１０を液晶層２１６に表示させる（ステ

ップＳ１２）。上記ステップＳ３と同様に、加工対象物１の裏面１ｂで反射した反射光ＲＬの点像を確認可能な位置へ、集光レンズユニット４３０を加工対象物１に対して光軸方向に移動させる（ステップＳ１３）。

[0113] 上記ステップＳ４と同様に、液晶層２１６に反射光収差補正パターン１０を表示させた状態で、レーザ発振器３１０からレーザ光Ｌを発生させて、加工対象物１にレーザ光Ｌを照射する。当該照射に応じて反射光ＲＬの点像画像を観察用カメラ４８８によって撮像する（ステップＳ１４）。

[0114] 上記ステップＳ１４の処理回数である撮像回数ｉが、予め設定された所定回数（＝２以上の整数）に達したか否かを判定する（ステップＳ１５）。上記ステップＳ１５でＮＯの場合、液晶層２１６上の反射光収差補正パターン１０の位置をＸ方向に沿って１ピクセル分変化させ、上記ステップＳ１４の処理に戻る（ステップＳ１６）。

[0115] 上記ステップＳ１５でＹＥＳの場合、液晶層２１６上の反射光収差補正パターン１０の位置をＹ方向に沿って１ピクセル分変化させる（ステップＳ１７）。上記ステップＳ４と同様に、液晶層２１６に反射光収差補正パターン１０を表示させた状態で、レーザ発振器３１０からレーザ光Ｌを発生させ、加工対象物１にレーザ光Ｌを照射する。当該照射に応じて反射光ＲＬの点像画像を観察用カメラ４８８により撮像する（ステップＳ１８）。上記ステップＳ１８の処理回数である撮像回数ｊが、予め設定された所定回数（＝２以上の整数）に達したか否かを判定する（ステップＳ１９）。上記ステップＳ１９でＮＯの場合、上記ステップＳ１７の処理に戻る。

[0116] 上記ステップＳ１９でＹＥＳの場合、上記ステップＳ１４及び上記ステップＳ１８で取得した複数の点像画像から、液晶層２１６における光軸中心Ｃ４を算出する（ステップＳ２０）。例えば上記ステップＳ２０では、複数の点像のうちの回転対称の光学像となるときの点像を求め、当該点像のときにおける液晶層２１６上の反射光収差補正パターン１０の中心位置を、光軸中心Ｃ４として算出する。そして、算出した当該光軸中心Ｃ４へ基準位置をオフセットする（ステップＳ２１）。これにより、転像位置ずれが低減ひいて

は生じていない状態へ、入射瞳面４３０ａに転像したレーザ光Ｌの像３９の位置が補正されることとなる。

[0117] 上記において、制御部５００は位置判定部，位置調整部を構成する。上記ステップＳ１２は、第１ステップを構成する。上記ステップＳ１４，Ｓ１８は、第２ステップを構成する。上記ステップＳ２０，Ｓ２１は、第３ステップを構成する。

[0118] 以上、本実施形態に係るレーザ加工装置２００では、加工対象物１の表面１ａから入射されて裏面１ｂで反射されたレーザ光Ｌの反射光ＲＬが、観察用カメラ４８８で検出される。このとき、加工対象物１を透過（表面１ａから裏面１ｂの間、及び裏面１ｂから表面１ａの間を透過）することに起因して反射光ＲＬに発生する収差については、反射型空間光変調器４１０の反射光収差補正パターン１０で変調することにより補正できる。ここで、転像位置ずれがある場合、例えば集光レンズユニット４３０でレーザ光Ｌが適正に集光されていないために、観察用カメラ４８８で撮像する反射光ＲＬには、コマ収差等の収差の影響が現れることが見出される。一方、転像位置ずれが無い場合、観察用カメラ４８８で撮像する反射光ＲＬには、当該コマ収差等の収差の影響が少ない又は現れないことが見出される。したがって、観察用カメラ４８８で撮像した点像画像に基づくことで転像位置ずれを把握することが可能となる。

[0119] レーザ加工装置２００は、制御部５００により、観察用カメラ４８８の点像画像に基づき転像位置ずれがあるか否かを判定する。これにより、転像位置ずれの有無を、制御部５００により自動で判定できる。

[0120] 上述したように、観察用カメラ４８８で撮像された反射光ＲＬの点像は、転像位置ずれが無いときには回転対象の光学像になる一方、転像位置ずれがあるときには、コマ収差等の影響によって回転対称の光学像となり難いことが見出される。そこで、レーザ加工装置２００では、制御部５００により、観察用カメラ４８８で撮像された点像画像における反射光ＲＬの点像が回転対称の光学像ではない場合に、転像位置ずれがあると判定する。これにより

、転像位置ずれの有無を精度よく判定できる。

[0121] レーザ加工装置２００は、制御部５００により、液晶層２１６における基準位置を観察用カメラ４８８による点像画像に基づきオフセットする。これにより、入射瞳面４３０ａに転像したレーザ光Ｌの像３９の中心位置Ｃ１を、例えば転像位置ずれが低減するように自動で調整することが可能となる。その結果、加工品質の悪化を抑制することが可能となる。

[0122] 上述したように、転像位置ずれが無いときには、観察用カメラ４８８で撮像された反射光ＲＬの点像が回転対象の光学像になることが見出される。そこで、レーザ加工装置２００では、制御部５００により、観察用カメラ４８８で撮像された点像画像における反射光ＲＬの点像が回転対称の光学像となるように、液晶層２１６の基準位置をオフセットする。これにより、入射瞳面４３０ａに転像したレーザ光Ｌの像３９の中心位置Ｃ１を当該入射瞳面４３０ａの中心位置Ｃ２に合うように調整し、転像位置ずれを低減させることが可能となる。

[0123] レーザ加工装置２００において、制御部５００は、第１～第４処理を実行する。第１処理では、液晶層２１６に反射光収差補正パターン１０を表示させる。第２処理では、観察用カメラ４８８で反射光ＲＬの転像を確認可能な位置へ、集光レンズユニット４３０を光軸に沿って移動させる。第３処理では、第２処理の後、第１処理により液晶層２１６に反射光収差補正パターン１０を表示させた状態でレーザ光Ｌを加工対象物１に照射させて、当該照射に応じて反射光ＲＬの点像画像を観察用カメラ４８８から取得する。第４処理では、第３処理を液晶層２１６上の反射光収差補正パターン１０の位置を変化させて１又は複数回繰り返し、点像画像を複数取得する。そして、制御部５００は、取得した複数の点像画像に基づいて液晶層２１６における光軸中心Ｃ４を算出し、当該光軸中心Ｃ４へ基準位置をオフセットする。この場合、転像位置ずれを低減する調整を具体的に実現できる。

[0124] レーザ加工装置２００を用いたレーザ光照射装方法によれば、反射光ＲＬの検出結果（観察用カメラ４８８の点像画像）によって、転像位置ずれを把

握することが可能となる。さらに、反射光ＲＬの検出結果から基準位置をオフセットすることにより、入射瞳面４３０ａに転像したレーザ光Ｌの像３９の位置を、転像位置ずれが低減ひいては無くなるように調整することが可能となる。

[0125] なお、本実施形態では、裏面１ｂで反射した反射光ＲＬを利用するため、加工対象物１の内部を透過したレーザ光Ｌを検出することになることから、無駄なゴースト光の影響を低減できる。精度よい転像位置ずれの判定及び基準位置の調整が可能となる。

[0126] 一般的には、加工対象物１に対して実際にレーザ加工を施し、レーザ加工後の加工対象物１の加工品質（例えば亀裂の延び量）から転像位置ずれを判断及び液晶層２１６の基準位置を調整する手法が採用されている。この点、本実施形態では、例えば定期的なコンディションチェック時において、簡易な運用が可能となる。また、基準位置調整処理を実行する前に、転像位置ずれの有無をまずは判定することから、転像位置ずれが無い場合にも基準位置調整処理が実行されるのを抑止でき、効率的な運用が可能となる。

[0127] 図２５及び図２６は、液晶層２１６の基準位置とレーザ加工結果との関係を示す表である。ここでは、反射型空間光変調器４１０でレーザ光Ｌの収差補正を行いながら表面１ａをレーザ光入射面として切断予定ライン５に沿って当該レーザ光Ｌをスキャンし、加工対象物１の内部に当該レーザ光Ｌを集光させる切断用レーザ加工の加工品質を、レーザ加工結果として評価する。図中の「ＥＸＣＥＬＬＥＮＴ」は、裏面１ｂに到達する亀裂が発生しており、加工対象物１を精度よく切断できた場合を表す。図中の「ＧＯＯＤ」は、裏面１ｂに到達する亀裂が発生しているが、切断面の一部にムシレ（引きちぎったような跡）が生じた場合を表す。図中の「ＷＲＯＮＧ」は、裏面１ｂに到達する亀裂が発生していない場合を表す。

[0128] 図中の深さは、表面１ａからの集光点Ｐの距離である。往路とは、切断予定ライン５に沿った一方向をスキャン方向とした場合であり、復路とは、切断予定ライン５に沿った他方向をスキャン方向とした場合である。図２５中

のＹ方向の数字及び図２６中のＸ方向の数字については、上述した図２２の説明と同様である。なお、Ｘ方向は加工進行方向（スキャン方向）に対応する。

[0129] 図２５及び図２６に示すように、基準位置が光軸中心Ｃ４に近づくほど、集光点Ｐが加工対象物１の浅い位置（表面１ａ側）に形成されていても、裏面１ｂに到達する亀裂が発生しやすく、加工品質が高まることを確認できる。また、Ｙ方向における基準位置の光軸中心Ｃ４からのずれに対して、加工進行方向であるＸ方向における基準位置の光軸中心Ｃ４からのずれは、加工品質に及ぶ影響がシビアであることを確認できる。

[0130] 以上、好適な実施形態について説明したが、本発明は、上記実施形態に限られるものではなく、各請求項に記載した要旨を変更しない範囲で変形し、又は他のものに適用してもよい。

[0131] 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。

[0132] 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。

[0133] 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。上記実施形態では、主面である表面１ａをレーザ光入射面とし、その反対側の主面である裏面１ｂを反対面としているが、裏面１ｂをレーザ光入射面とし、表面１ａを反対面としてもよい。

[0134] 上記実施形態において、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。

[0135] 上記実施形態では、反射光検出器として観察用カメラ４８８を用いたが、反射光ＲＬを検出できるものであれば反射光検出器は特に限定されない。上記実施形態は、観察用カメラ４８８及びレンズ４８７に代えて、例えば図２７に示されるように、反射光ＲＬの波面を検出する波面センサ５８８を反射光検出器として備えていてもよい。波面センサは、例えばマイクロレンズアレイと撮像素子とを含んで構成され、局所的な位相勾配を各マイクロレンズによる集光スポット像位置から取得する。波面センサとしては、シャックハルトマン波面センサ（ＴＨＯＲＬＡＢＳ社製、WFS150-5C）を用いることができる。

[0136] この変形例では、制御部５００は、波面センサで検出した反射光ＲＬの波面が平面ではない場合、転像位置ずれがあると判定してもよい。これにより、転像位置ずれの有無を精度よく判定できる。また、制御部５００は、波面センサで検出した反射光ＲＬの波面が平面となるように、基準位置をオフセ

ットしてもよい。これにより、入射瞳面４３０ａに転像したレーザ光Ｌの像３９の中心位置Ｃ１を当該入射瞳面４３０ａの中心位置Ｃ２に合うように調整し、転像位置ずれを低減ひいては無くすことが可能となる。これは、反射光ＲＬは、転像位置ずれが無いときには平面波（波の等位相面が平面になっているもの）となる一方で、転像位置ずれがあるときには、平面波とならないことが見出されるためである。平面は、完全な平面に限られず、実質的に平面なものであればよく、略平面及び約平面を含んでいる。

[0137] あるいは上記実施形態では、例えばコマ収差成分を検出する検出器を反射光検出器として備えていてもよい。この変形例では、制御部５００は、検出したコマ収差成分が０又は所定以下ではない場合、転像位置ずれがあると判定してもよい。また、制御部５００は、検出したコマ収差成分が０又は所定以下となるように、基準位置をオフセットしてもよい。

[0138] 上記実施形態では、制御部５００において転像位置ずれの判定及び基準位置の調整（オフセット）の双方を実行したが、転像位置ずれの判定のみを実行してもよいし、又は、基準位置の調整のみを実行してもよい。さらに、制御部５００による転像位置ずれの判定に代えてもしくは加えて、点像画像（反射光ＲＬの検出結果）をモニタに表示させ、点像画像に基づきオペレータが転像位置ずれを目視で判断してもよい。制御部５００による基準位置の調整に代えてもしくは加えて、点像画像をモニタに表示させ、点像画像に基づきオペレータが基準位置を目視で調整してもよい。制御部５００は、１つの電子制御ユニットであってもよいし、複数の電子制御ユニットから構成されていてもよい。

符号の説明

[0139] １…加工対象物（対象物）、１ａ，３…表面（レーザ光入射面）、１ｂ…裏面（反対面）、９…位相パターン、１０…反射光収差補正パターン、１００，２００…レーザ加工装置（レーザ光照射装置）、２１６…液晶層（表示部）、２４０…第２移動機構（移動機構）、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）、４２０…４ｆレン

ズユニット（転像光学系）、４３０…集光レンズユニット（対物レンズ）、４３０ａ…入射瞳面、４８８…観察用カメラ（反射光検出器，カメラ）、５００…制御部（位置判定部，位置調整部）、５８８…波面センサ、Ｌ…レーザ光、ＲＬ…反射光。

請求の範囲

[請求項1] 所定厚さの対象物にレーザ光を照射するレーザ光照射装置であって、

前記レーザ光を発生させるレーザ光源と、

位相パターンを表示する表示部を有し、前記レーザ光源で発生させた前記レーザ光を前記表示部に入射させ、当該レーザ光を前記位相パターンに応じて変調して前記表示部から出射する空間光変調器と、

前記空間光変調器で出射した前記レーザ光を前記対象物に集光する対物レンズと、

前記空間光変調器の前記表示部における前記レーザ光の像を前記対物レンズの入射瞳面に転像する転像光学系と、

前記対象物に入射されてレーザ光入射面とは反対側の反対面で反射された前記レーザ光の反射光を検出する反射光検出器と、

前記表示部に表示する前記位相パターンを少なくとも制御する制御部と、を備え、

前記制御部は、

前記反射光検出器で前記反射光を検出する際、前記所定厚さの２倍の厚さを有する前記対象物を前記レーザ光が透過するとした場合に発生する収差を補正する前記位相パターンである反射光収差補正パターンを、前記表示部に表示させる、レーザ光照射装置。

[請求項2] 前記反射光検出器の検出結果に基づいて、前記入射瞳面の中心位置と前記転像光学系により前記入射瞳面に転像した前記レーザ光の像の中心位置との間にずれがあるか否かを判定する位置判定部を備える、請求項１に記載のレーザ光照射装置。

[請求項3] 前記反射光検出器は、前記反射光の点像を含む画像を撮像するカメラを含み、

前記位置判定部は、前記カメラで撮像された前記画像における前記反射光の点像が回転対称の光学像ではない場合に、前記ずれがあると

判定する、請求項２に記載のレーザ光照射装置。

[請求項4] 前記反射光検出器は、前記反射光の波面を検出する波面センサを含み、

前記位置判定部は、前記波面センサで検出した前記反射光の波面が平面ではない場合に、前記ずれがあると判定する、請求項２に記載のレーザ光照射装置。

[請求項5] 前記表示部において前記位相パターンを表示する際に基準とする基準位置を、前記反射光検出器の検出結果に基づいてオフセットする位置調整部を備える、請求項１～４の何れか一項に記載のレーザ光照射装置。

[請求項6] 前記反射光検出器は、前記反射光の点像を含む画像を撮像するカメラを含み、

前記位置調整部は、前記カメラで撮像された前記画像における前記反射光の点像が回転対称の光学像となるように、前記基準位置をオフセットする、請求項５に記載のレーザ光照射装置。

[請求項7] 前記反射光検出器は、前記反射光の波面を検出する波面センサを含み、

前記位置調整部は、前記波面センサで検出した前記反射光の波面が平面となるように、前記基準位置をオフセットする、請求項５に記載のレーザ光照射装置。

[請求項8] 前記対物レンズ及び前記対象物の少なくとも一方を移動させる移動機構を備え、

前記制御部は、

前記表示部に前記反射光収差補正パターンを表示させる第１処理と、

前記移動機構により、前記反射光検出器で前記反射光を検出可能な位置へ前記対物レンズ及び前記対象物の少なくとも一方を移動させる第２処理と、

前記第２処理の後、前記第１処理により前記表示部に前記反射光収差補正パターンを表示させた状態で、前記レーザ光源から前記レーザ光を発生させて前記対象物に照射させ、当該照射に応じて検出された前記反射光検出器の検出結果を取得する第３処理と、

前記第３処理を前記表示部上の前記反射光収差補正パターンの位置を変化させて１又は複数回繰り返し、前記反射光検出器の検出結果を複数取得する第４処理と、を実行し、

前記位置調整部は、

前記反射光検出器の複数の検出結果に基づいて前記表示部における光軸中心を算出し、当該光軸中心へ前記基準位置をオフセットする、請求項５～７の何れか一項に記載のレーザ光照射装置。

[請求項9] レーザ光照射装置を用いて所定厚さの対象物にレーザ光を照射するレーザ光照射方法であって、

前記レーザ光照射装置は、

前記レーザ光を発生させるレーザ光源と、

位相パターンを表示する表示部を有し、前記レーザ光源で発生させた前記レーザ光を前記表示部に入射させ、当該レーザ光を前記位相パターンに応じて変調して前記表示部から出射する空間光変調器と、

前記空間光変調器で出射した前記レーザ光を前記対象物に集光する対物レンズと、

前記空間光変調器の前記表示部における前記レーザ光の像を前記対物レンズの入射瞳面に転像する転像光学系と、

前記対象物に入射されてレーザ光入射面とは反対側の反対面で反射された前記レーザ光の反射光を検出する反射光検出器と、を備え、

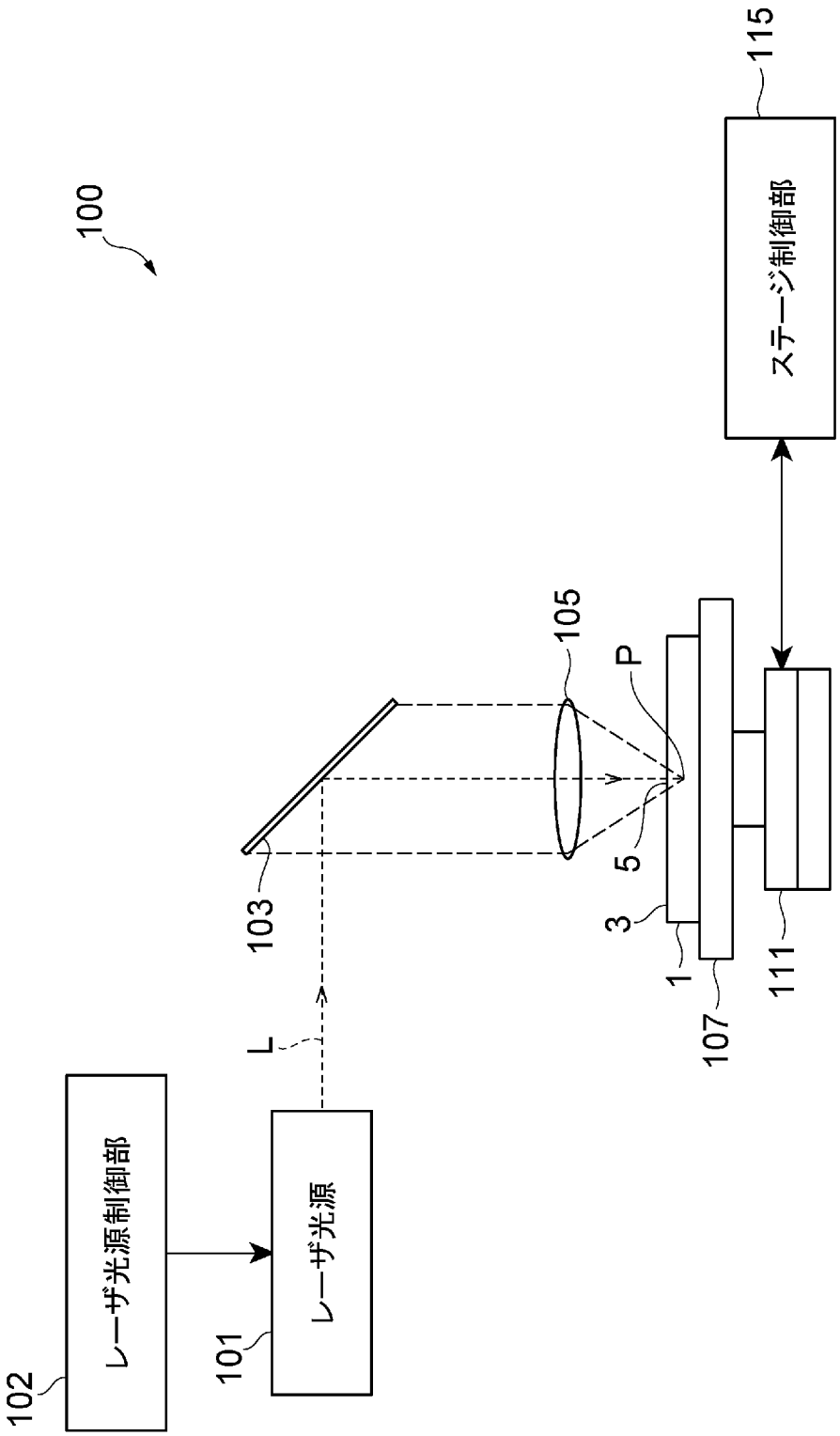
前記所定厚さの２倍の厚さを有する前記対象物を前記レーザ光が透過するとした場合に発生する収差を補正する前記位相パターンである反射光収差補正パターンを前記表示部に表示させる第１ステップと、

前記第１ステップにより前記反射光収差補正パターンを前記表示部

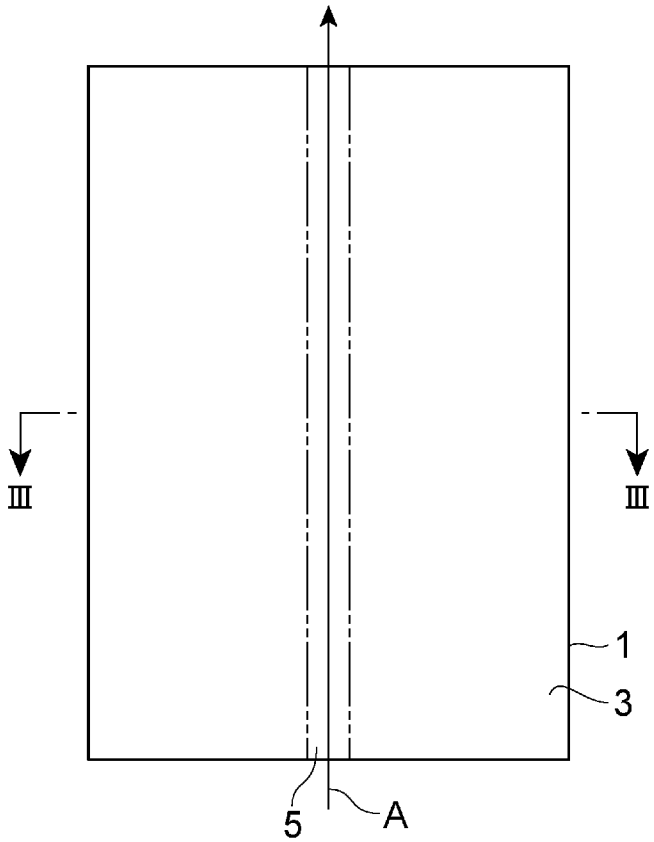
に表示させた状態で、前記レーザ光源から前記レーザ光を発生させて前記対象物に照射し、当該照射に応じて前記反射光検出器により前記レーザ光の反射光を検出する第２ステップと、

前記第２ステップの後、前記表示部において前記位相パターンを表示する際に基準とする基準位置を、前記反射光検出器の検出結果に基づいてオフセットする第３ステップと、を含むレーザ光照射方法。

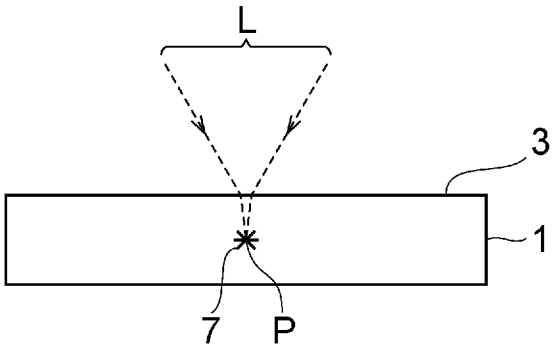
[図1]



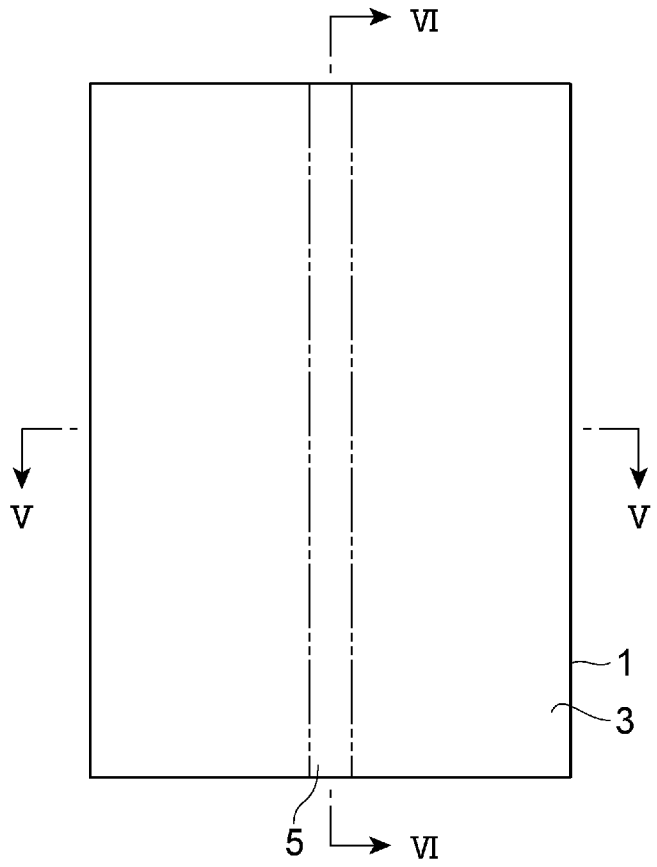
[図2]



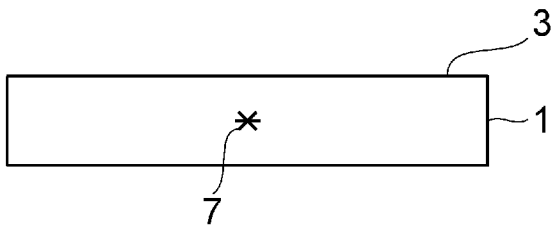
[図3]



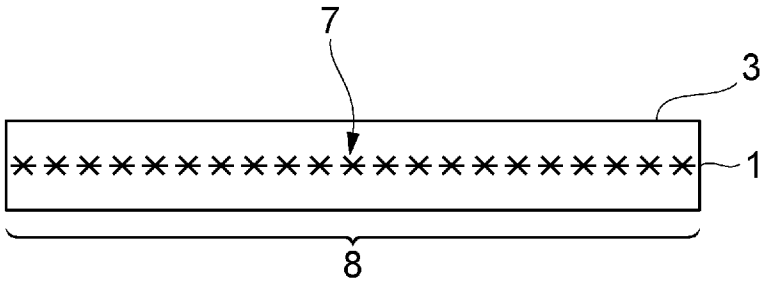
[図4]



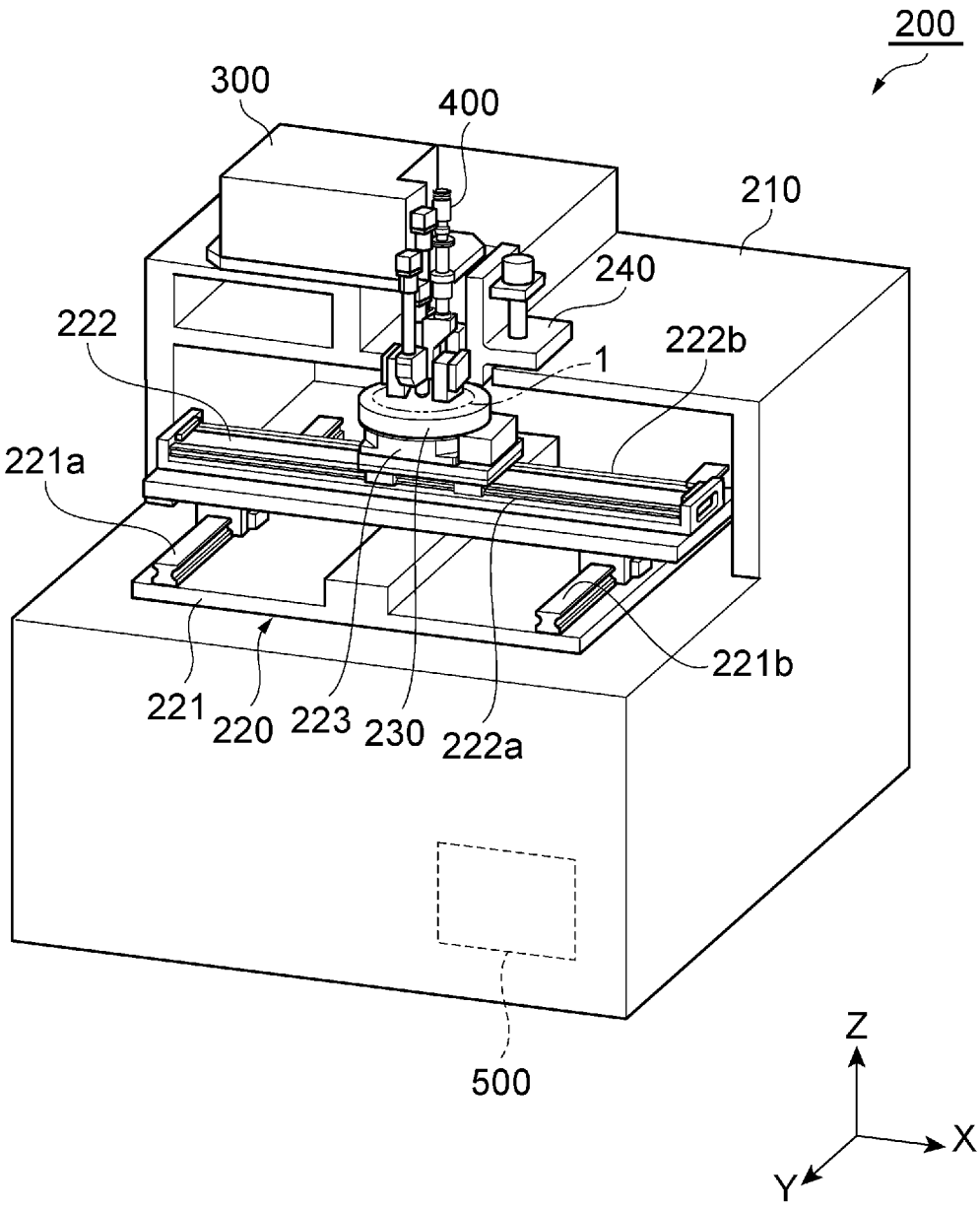
[図5]



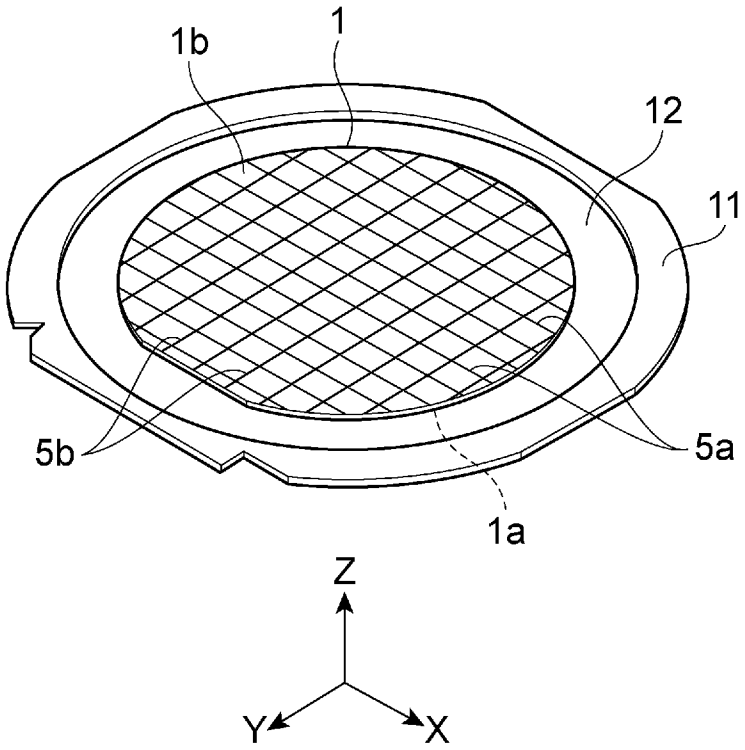
[図6]



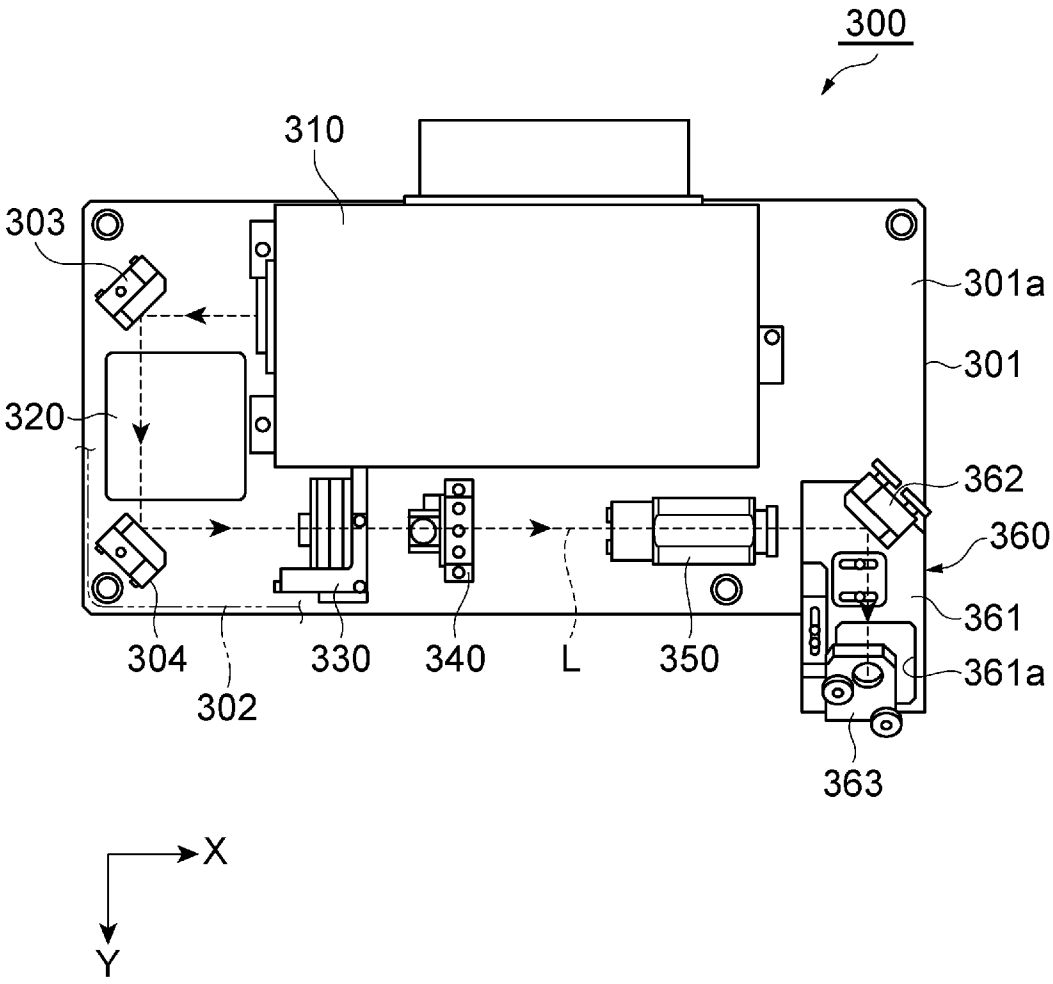
[図7]


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

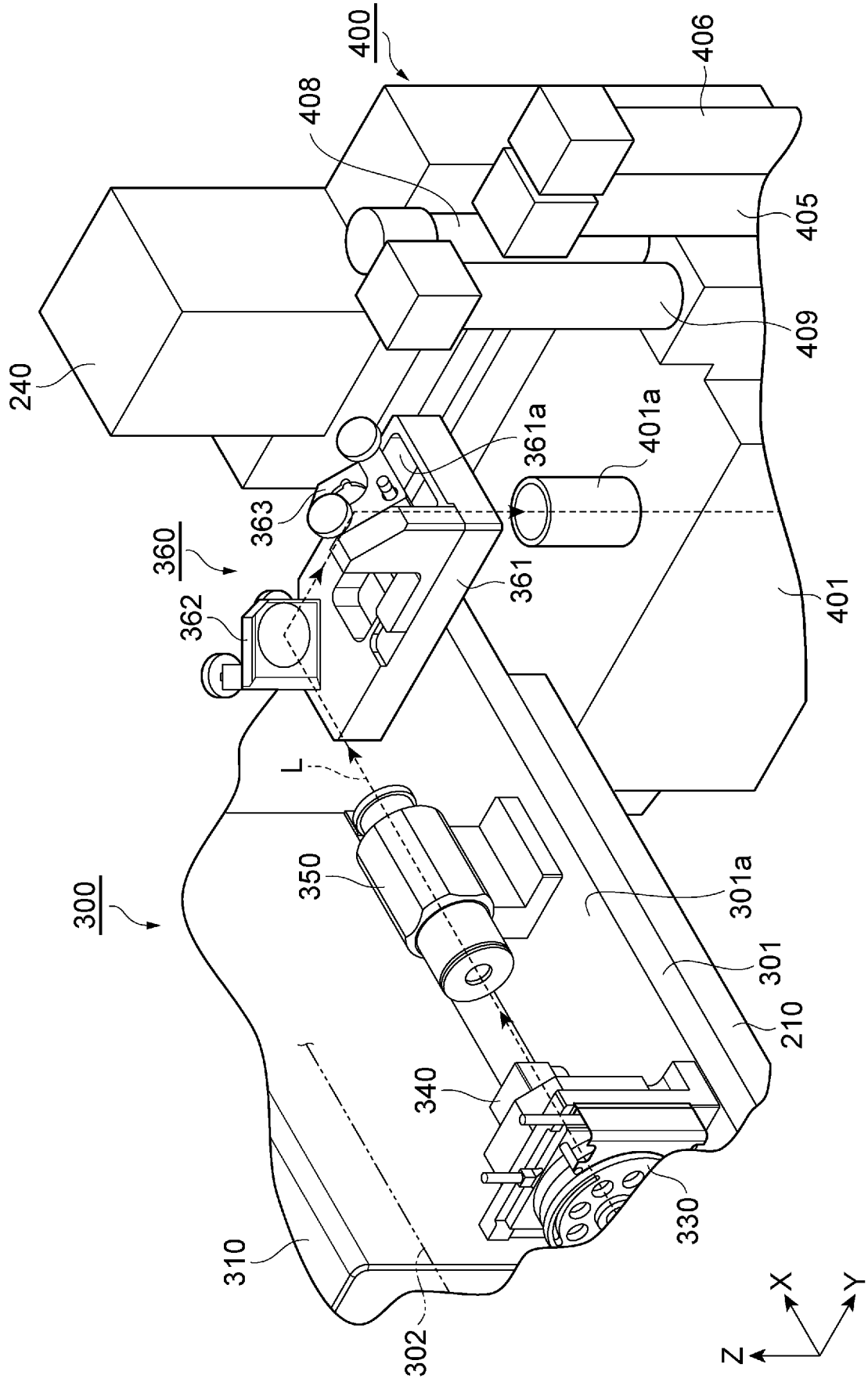
[図8]



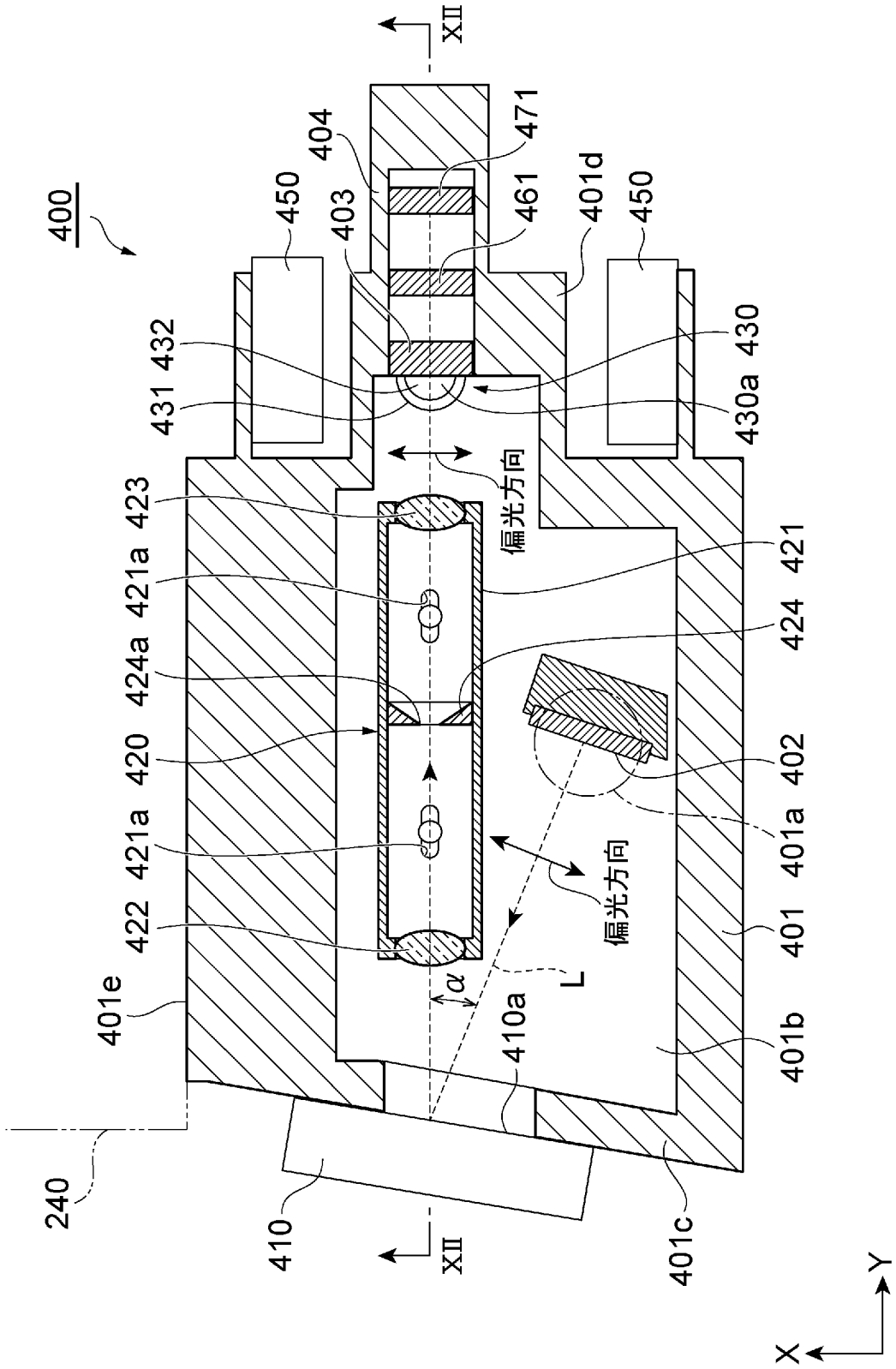
[図9]


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

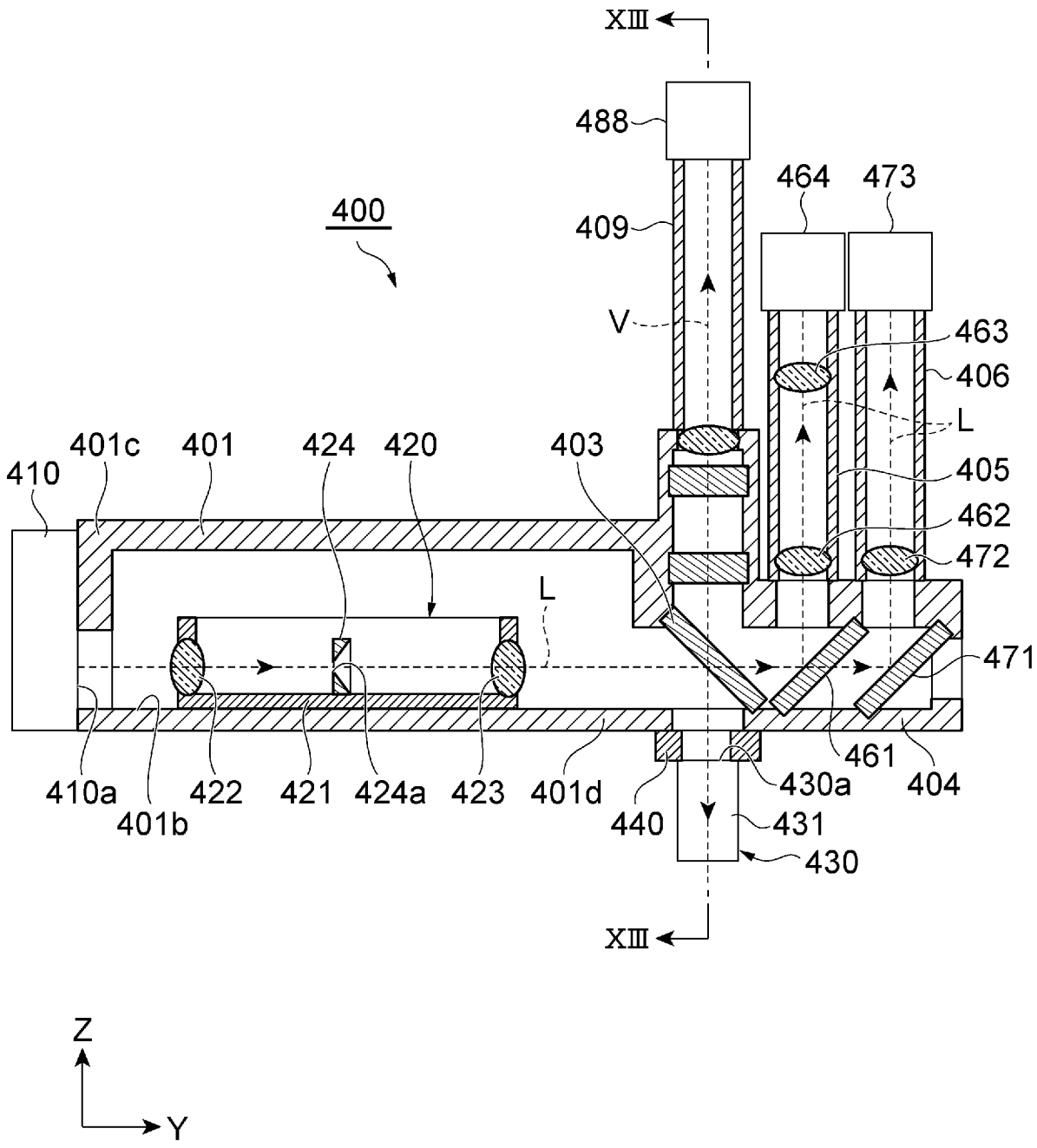
[図10]


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

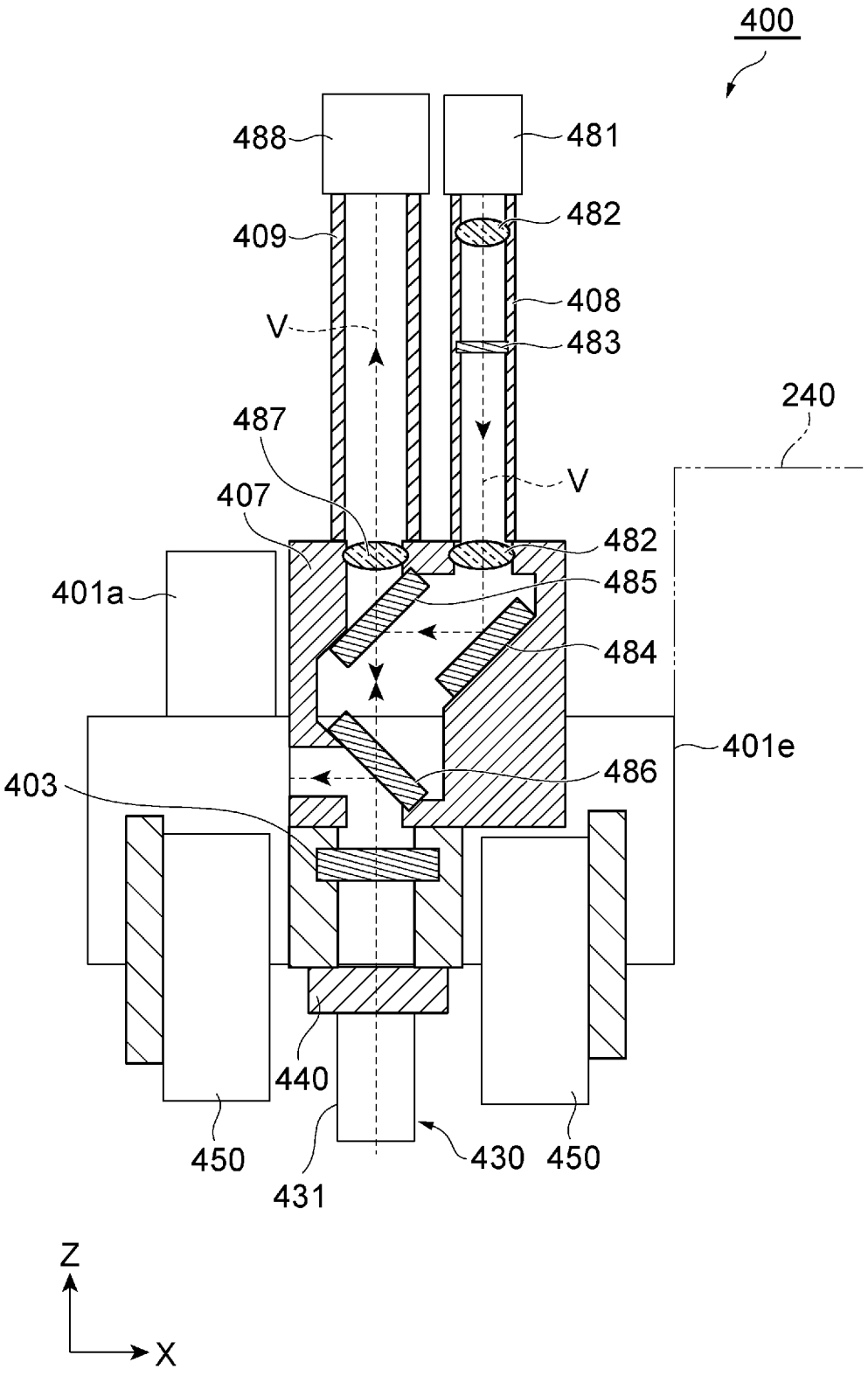
[図11]


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

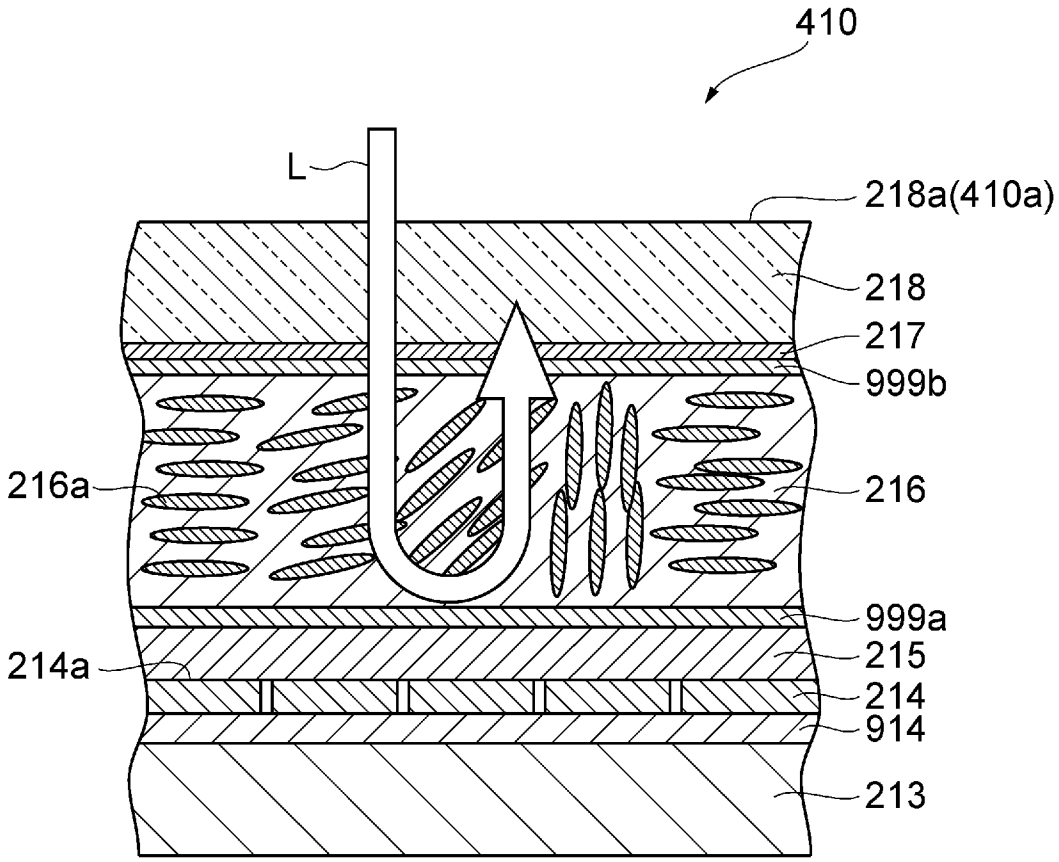
[図12]


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

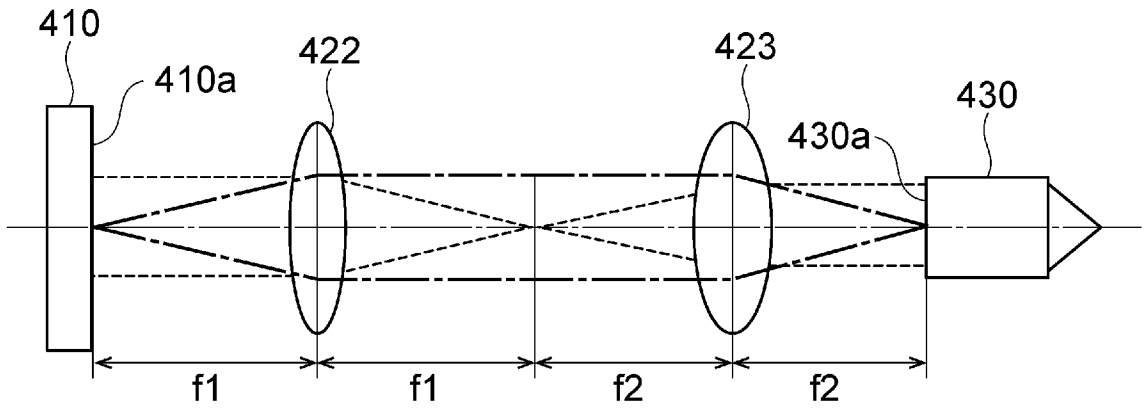
[図13]


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

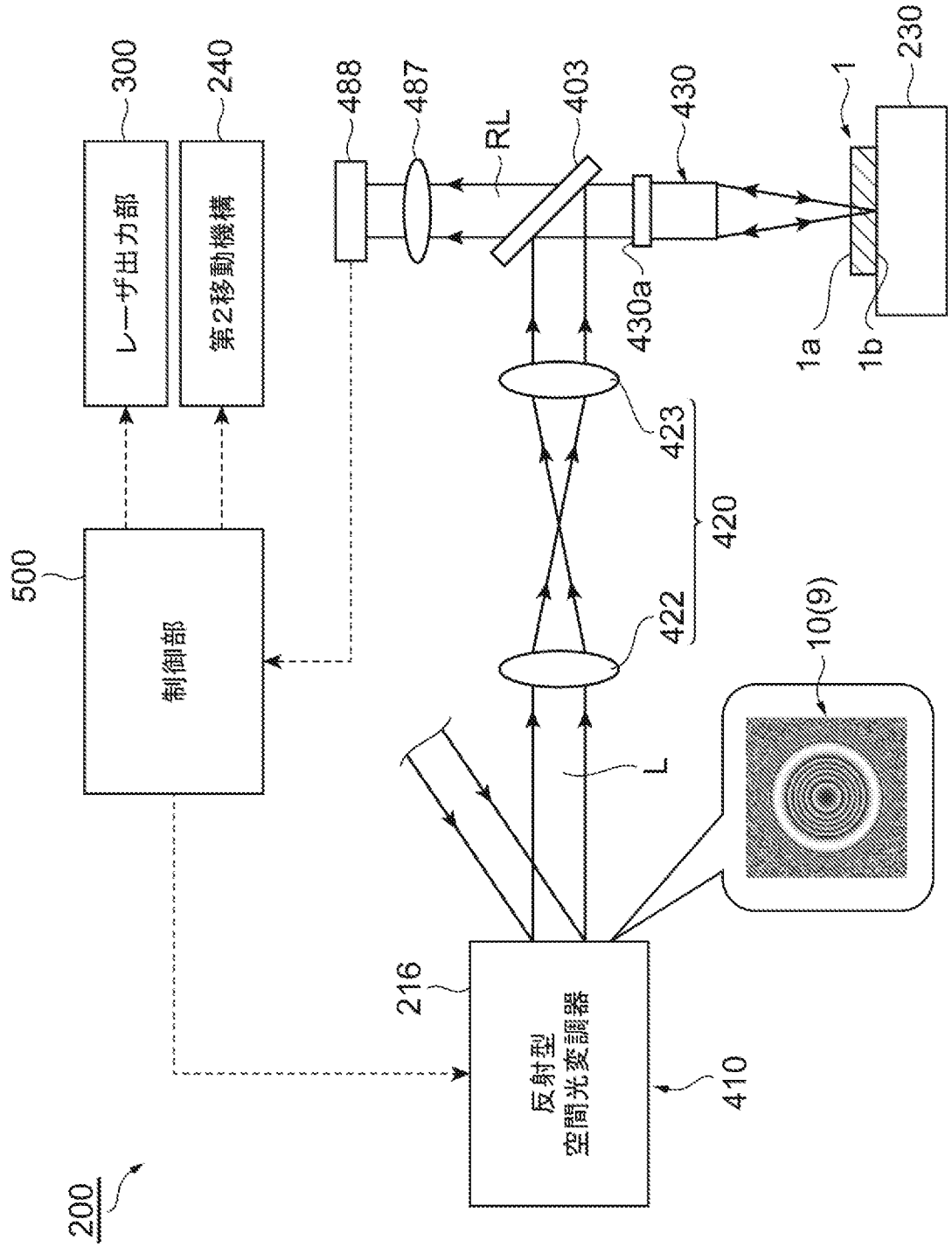
[図14]



[図15]

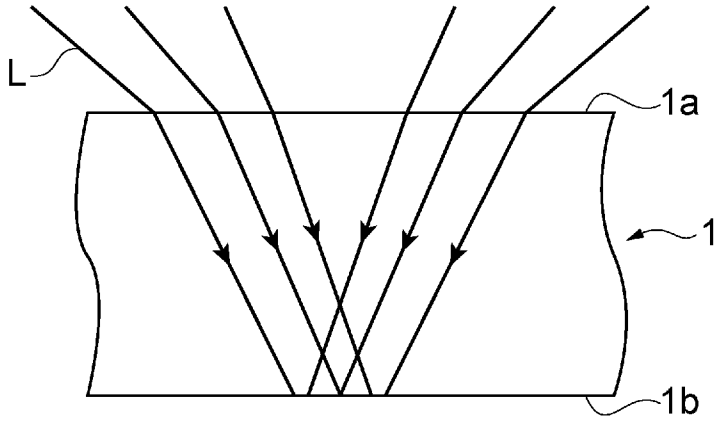


[図16]

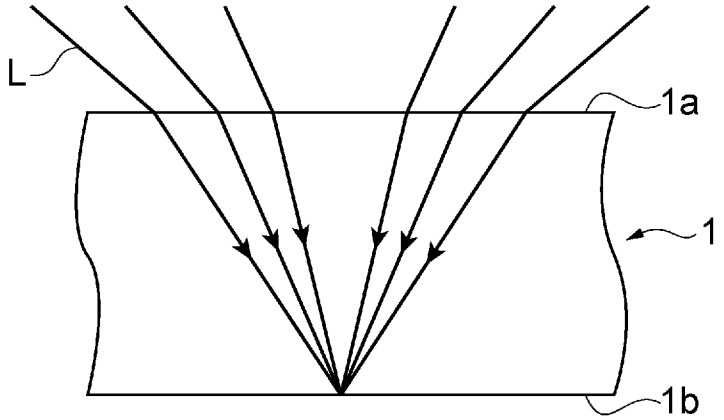

200
反射型
空間光変調器
410
216
制御部
500
レーザ出力部
300
第2移動機構
240
488
487
RL
403
430
430a
1
230
1a
1b
423
420
422
10(9)
L

[図17]

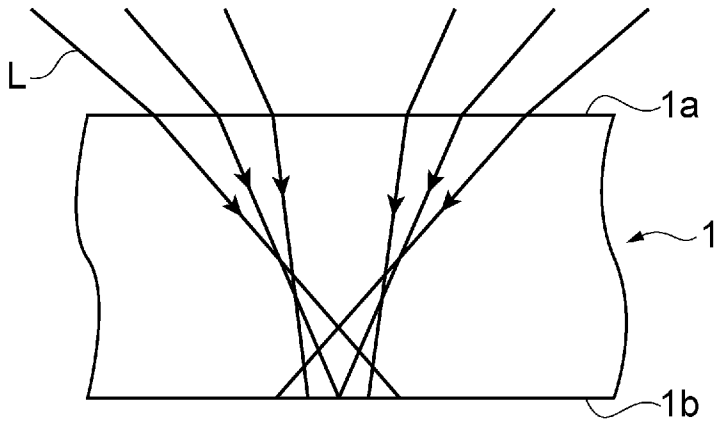
(a)



(b)

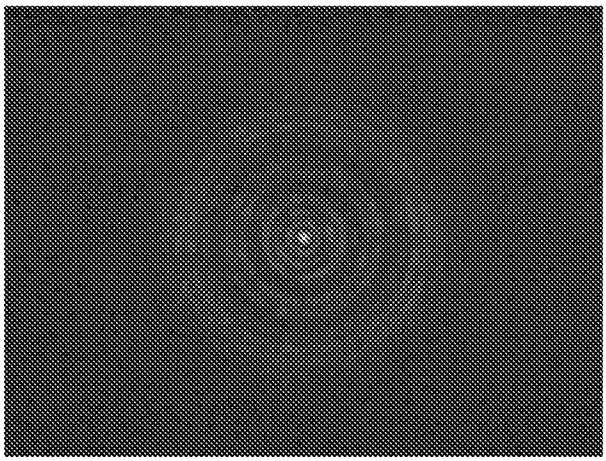


(c)

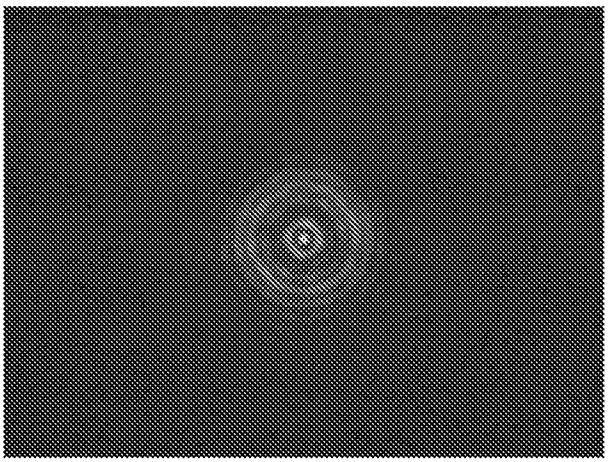


[図18]

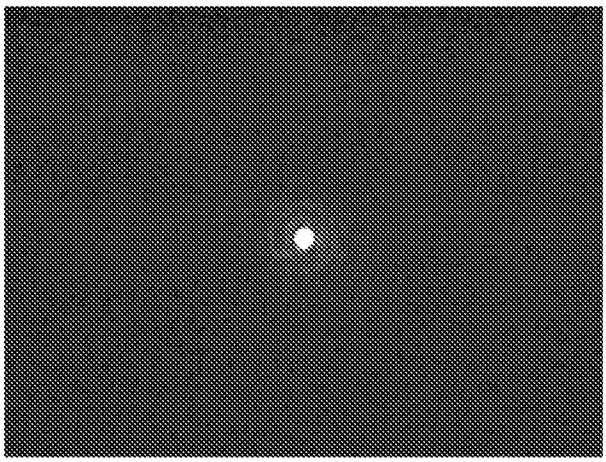
(a)



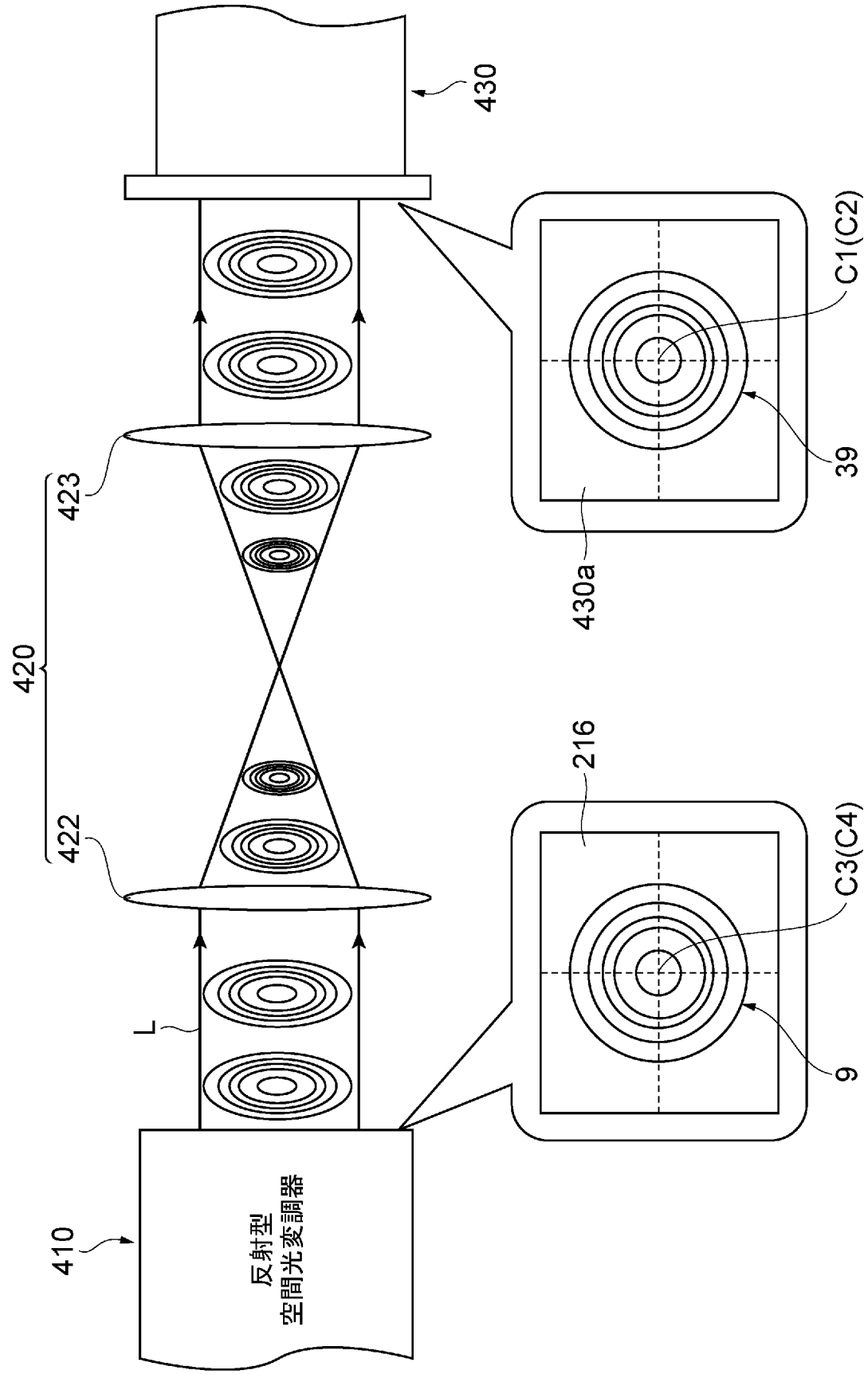
(b)



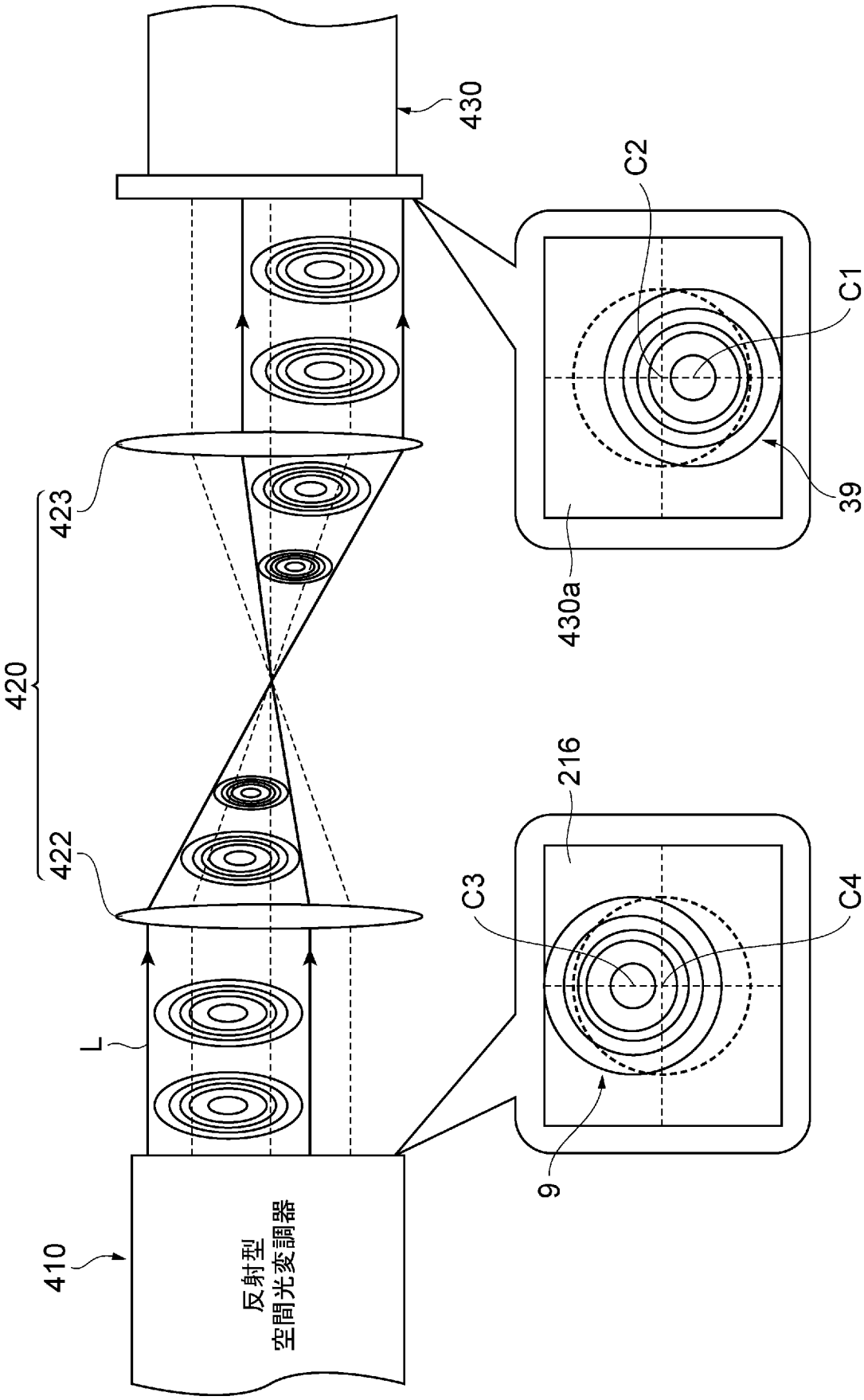
(c)



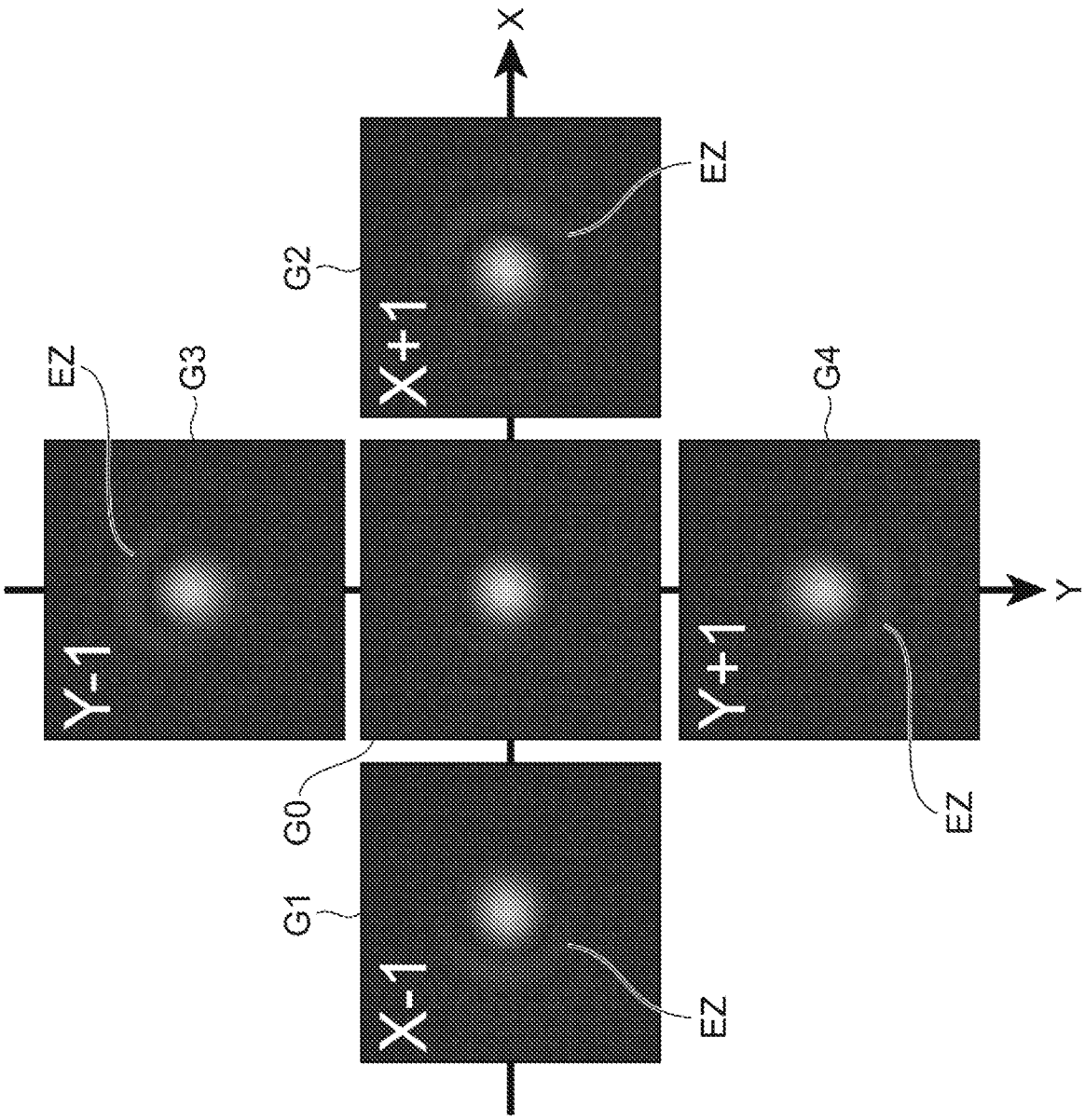
[図19]



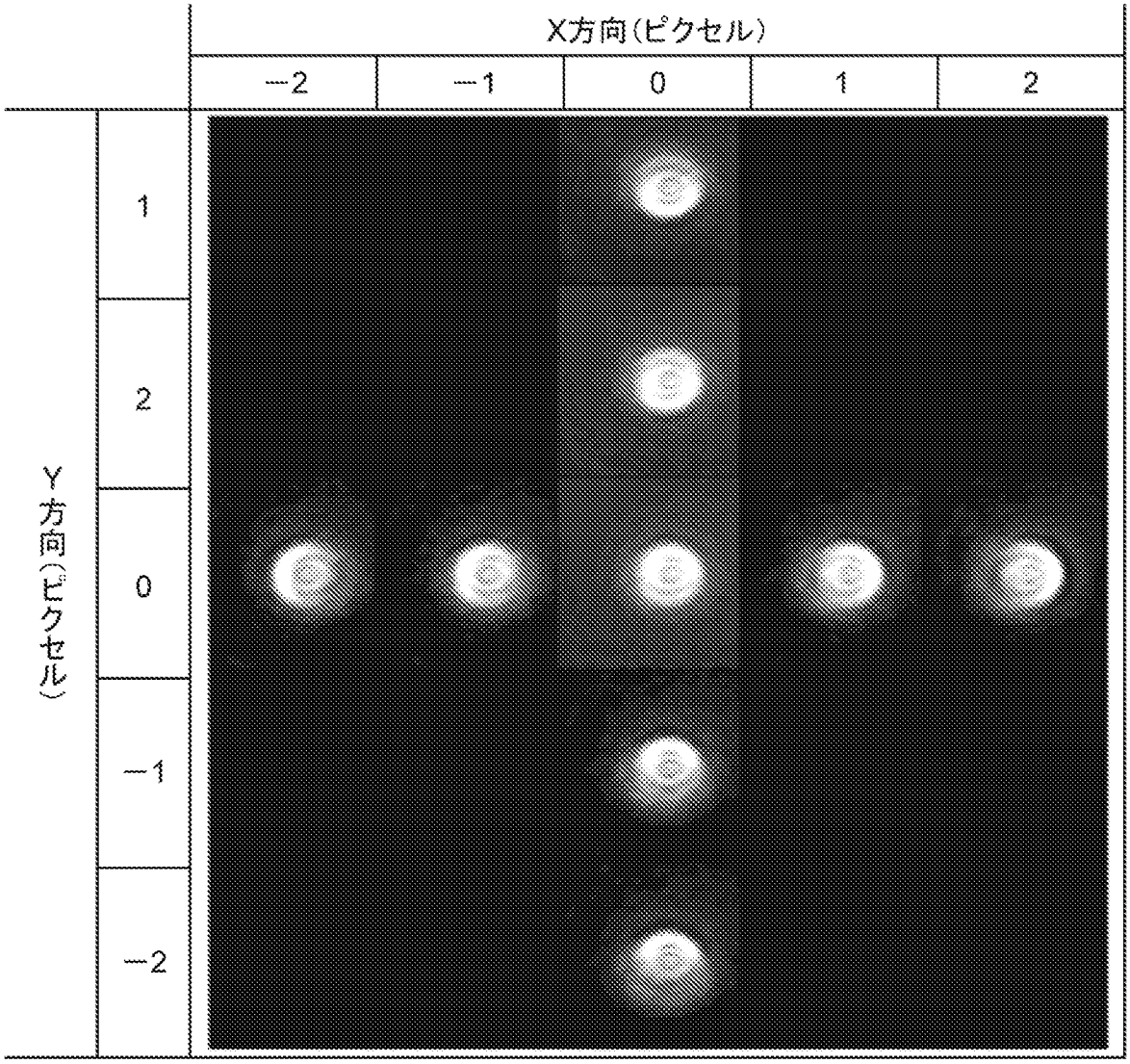
[図20]



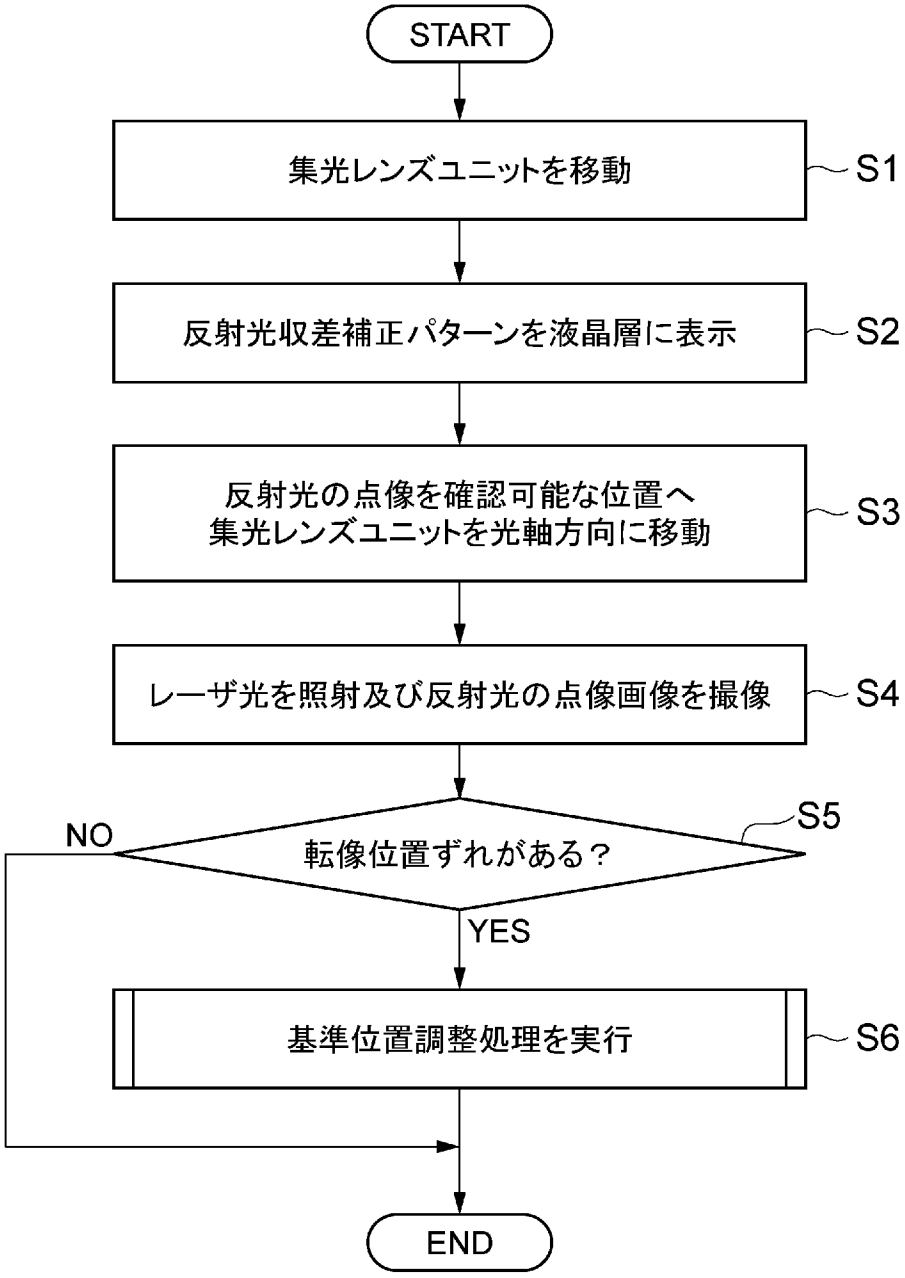
[図21]



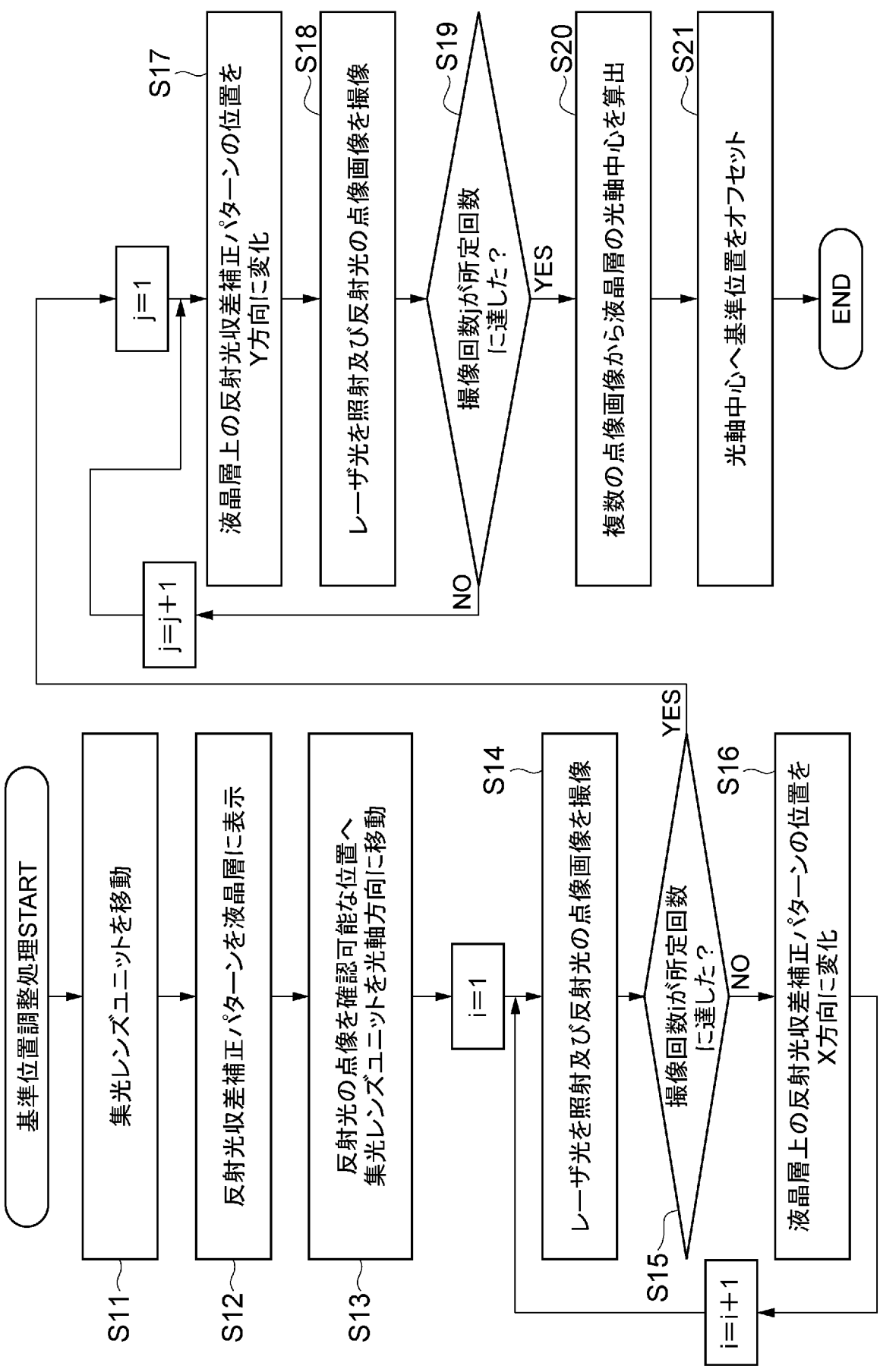
[図22]



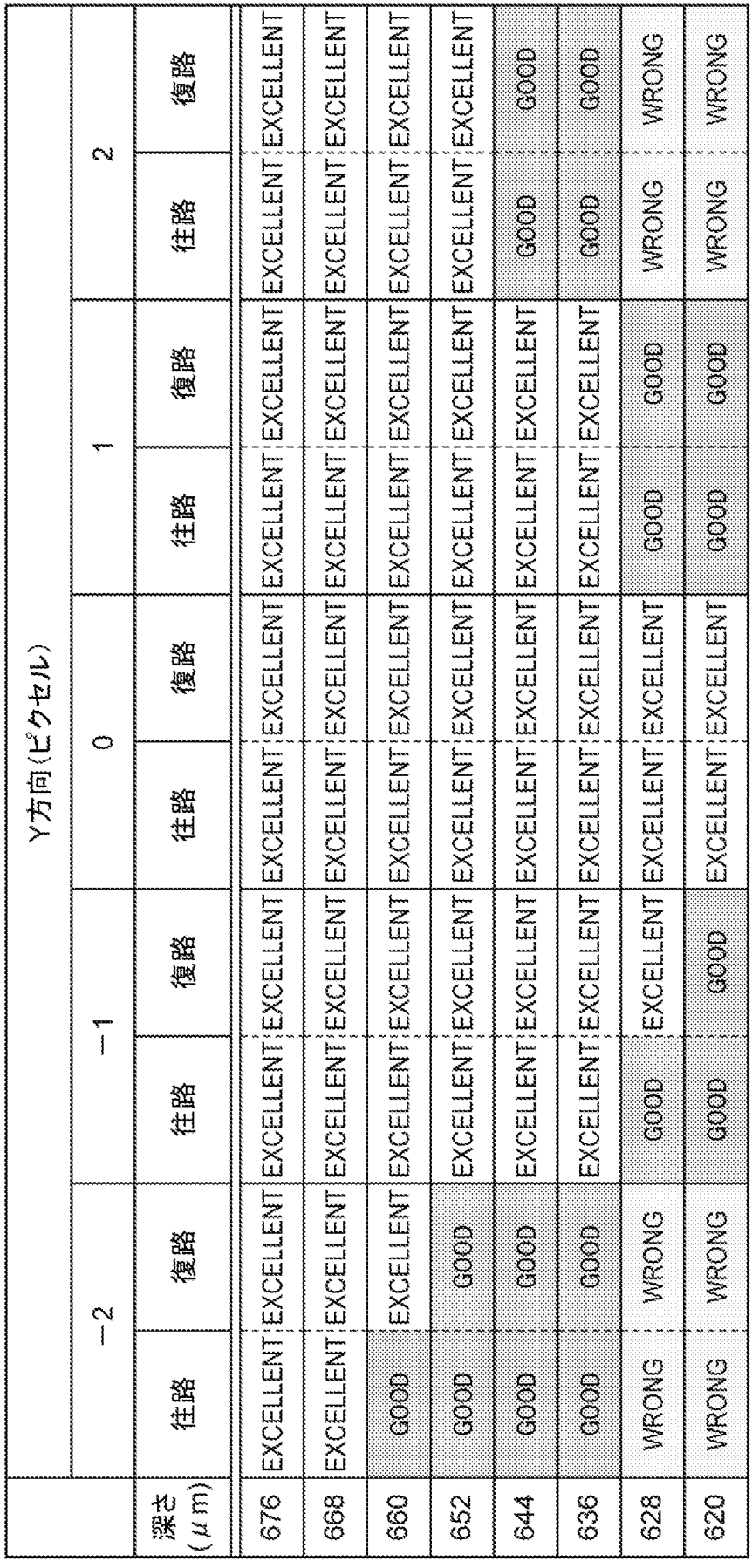
[図23]


START
集光レンズユニットを移動
S1
反射光収差補正パターンを液晶層に表示
S2
反射光の点像を確認可能な位置へ
集光レンズユニットを光軸方向に移動
S3
レーザ光を照射及び反射光の点像画像を撮像
S4
転像位置ずれがある？
S5
NO
YES
基準位置調整処理を実行
S6
END

[図24]

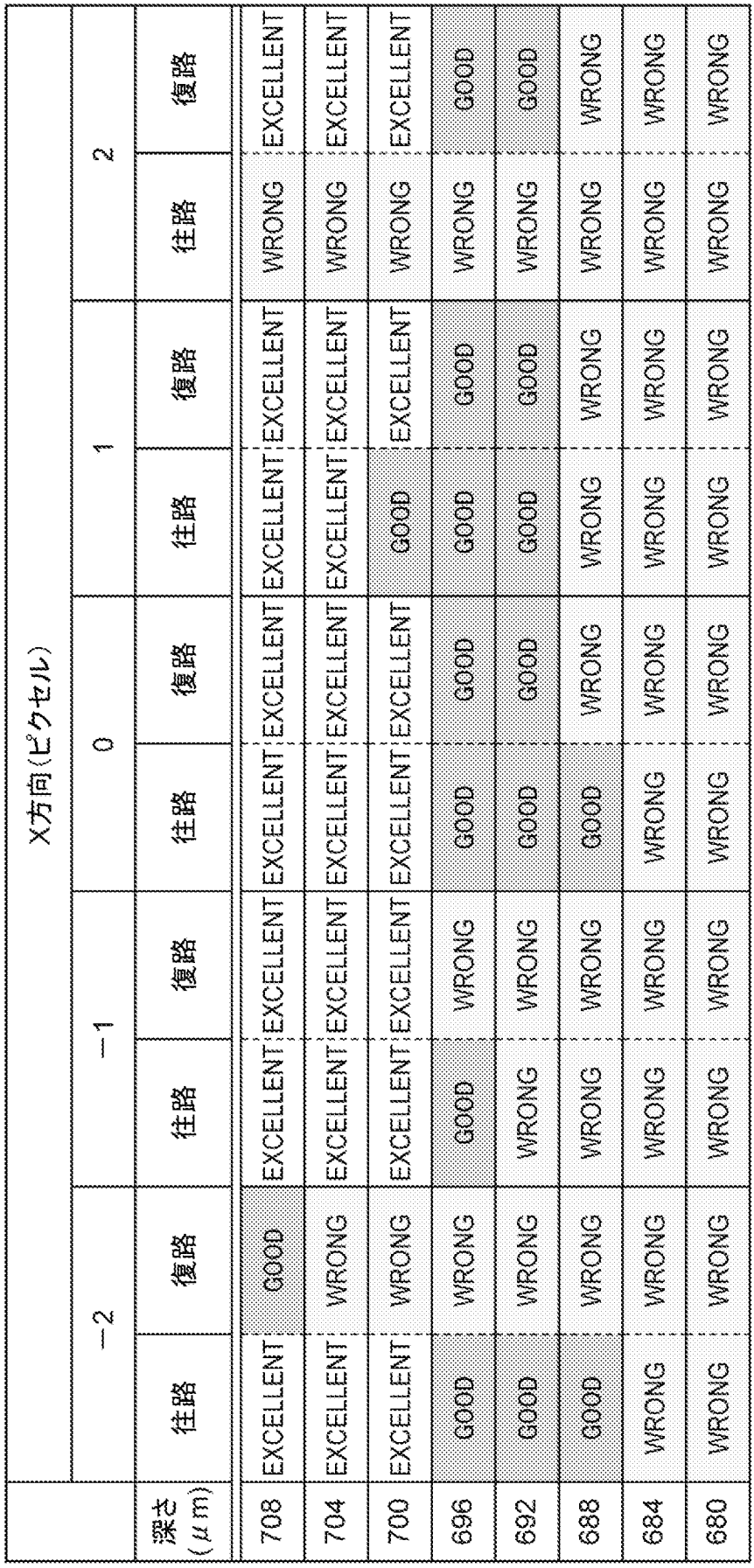

基準位置調整処理START
集光レンズユニットを移動
S11
反射光収差補正パターンを液晶層に表示
S12
反射光の点像を確認可能な位置へ
集光レンズユニットを光軸方向に移動
S13
i=1
S14
レーザ光を照射及び反射光の点像画像を撮像
撮像回数iが所定回数
に達した？
S15
YES
NO
液晶層上の反射光収差補正パターンの位置を
X方向に変化
S16
i=i+1
j=1
液晶層上の反射光収差補正パターンの位置を
Y方向に変化
S17
レーザ光を照射及び反射光の点像画像を撮像
S18
撮像回数jが所定回数
に達した？
S19
YES
NO
j=j+1
複数の点像画像から液晶層の光軸中心を算出
S20
光軸中心へ基準位置をオフセット
S21
END

[図25]



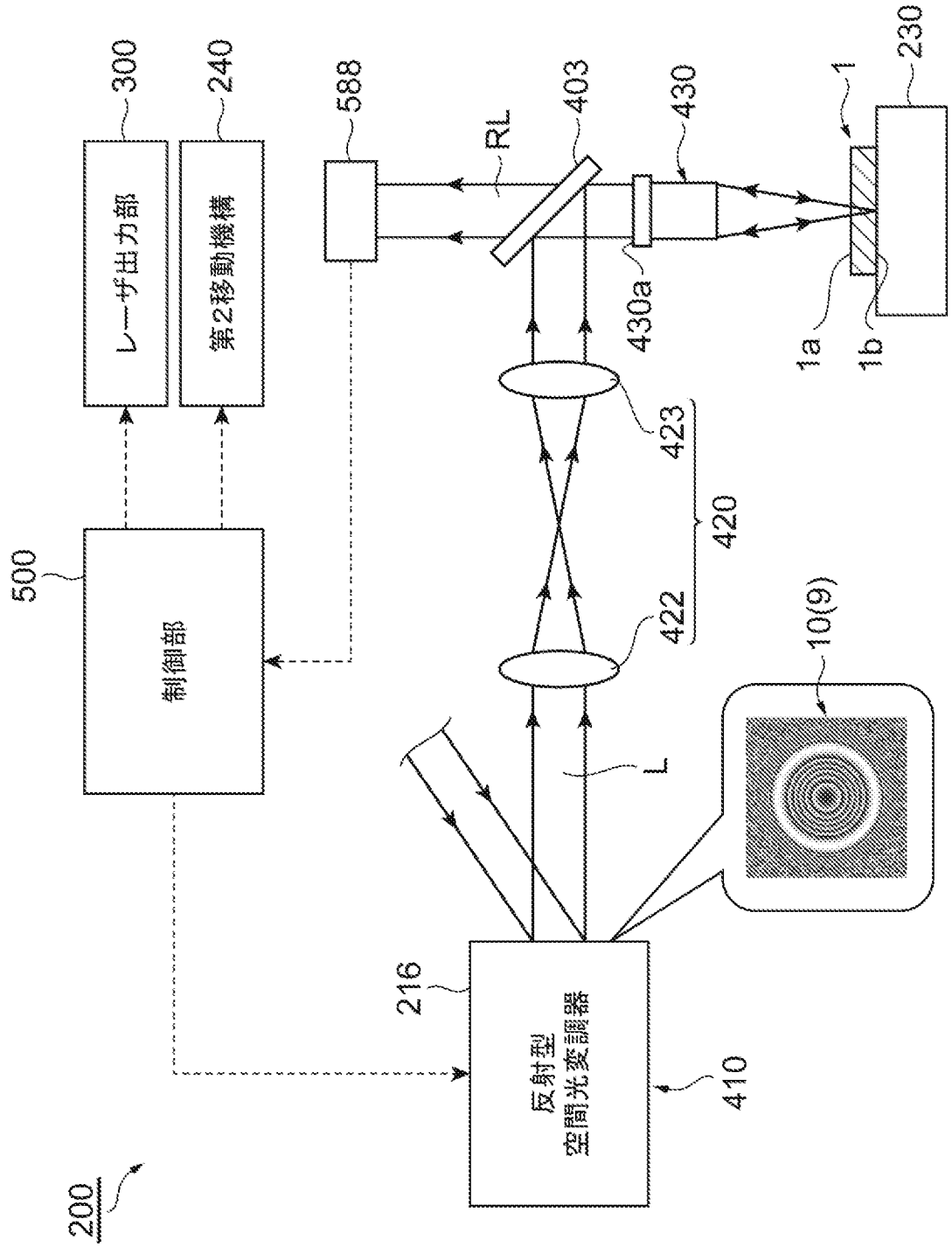
	Y方向(ピクセル)									
	−2		−1		0		1		2	
深さ(μm)	往路	復路	往路	復路	往路	復路	往路	復路	往路	復路
676	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT
668	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT
660	GOOD	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT
652	GOOD	GOOD	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT
644	GOOD	GOOD	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	GOOD	GOOD
636	GOOD	GOOD	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	GOOD	GOOD
628	WRONG	WRONG	GOOD	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	GOOD	GOOD	WRONG	WRONG
620	WRONG	WRONG	GOOD	GOOD	EXCELLENT	EXCELLENT	GOOD	GOOD	WRONG	WRONG

[図26]



	X方向(ピクセル)											
	−2		−1		0		1		2			
深さ(μm)	往路	復路	往路	復路	往路	復路	往路	復路	往路	復路		
708	EXCELLENT	GOOD	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	WRONG	EXCELLENT		
704	EXCELLENT	WRONG	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	WRONG	EXCELLENT		
700	EXCELLENT	WRONG	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	EXCELLENT	GOOD	EXCELLENT	WRONG	EXCELLENT		
696	GOOD	WRONG	GOOD	WRONG	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	WRONG	GOOD		
692	GOOD	WRONG	WRONG	WRONG	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	WRONG	GOOD		
688	GOOD	WRONG	WRONG	WRONG	GOOD	WRONG	WRONG	WRONG	WRONG	WRONG		
684	WRONG	WRONG	WRONG	WRONG	WRONG	WRONG	WRONG	WRONG	WRONG	WRONG		
680	WRONG	WRONG	WRONG	WRONG	WRONG	WRONG	WRONG	WRONG	WRONG	WRONG		

[図27]


200
反射型
空間光変調器
410
216
制御部
500
レーザ出力部
300
第2移動機構
240
588
RL
403
430
430a
1
230
1a
1b
423
420
422
10(9)
L

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/008578

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
B23K26/00(2014.01)i, *B23K26/035*(2014.01)i, *B23K26/064*(2014.01)i, *G02F1/13*(2006.01)i

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)
B23K26/00, B23K26/035, B23K26/064, G02F1/13

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.
A	WO 2013/153371 A1 (ISIS INNOVATION LTD.), 17 October 2013 (17.10.2013), description, page 1, lines 3 to 5; page 10, line 7 to page 11, line 16; fig. 4 & GB 2501117 A	1-9
A	JP 2015-226012 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 14 December 2015 (14.12.2015), paragraphs [0023] to [0029], [0041]; fig. 7 & CN 106463374 A & KR 10-2017-0010760 A	1-9

☒ 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
22 May 2017 (22.05.17)	30 May 2017 (30.05.17)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Authorized officer Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2015)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/008578

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 2011-51011 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 17 March 2011 (17.03.2011), paragraphs [0029] to [0039], [0044]; fig. 8 to 10 (Family: none)	1-9

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１７／００８５７８

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　B23K26/00(2014.01)i, B23K26/035(2014.01)i, B23K26/064(2014.01)i, G02F1/13(2006.01)i

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.　B23K26/00, B23K26/035, B23K26/064, G02F1/13

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	WO 2013/153371 A1 (ISIS INNOVATION LTD) 2013.10.17, 明細書第1ページ第3-5行,第10ページ第7行-第11ページ第16行,図4 & GB 2501117 A	1-9
A	JP 2015-226012 A (浜松ホトニクス株式会社) 2015.12.14, 段落[0023]-[0029],[0041],図7 & CN 106463374 A & KR 10-2017-0010760 A	1-9
A	JP 2011-51011 A (浜松ホトニクス株式会社) 2011.03.17, 段落	1-9

☑　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	国際調査報告の発送日
２２．０５．２０１７	３０．０５．２０１７

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　６１０１
本庄　亮太郎
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
	[0029]-[0039], [0044], 図 8-10（ファミリーなし）	