(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
2020年6月18日(18.06.2020)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2020/121468 A1

(51) 国際特許分類:
H01S 3/00 (2006.01) *G02B 27/09* (2006.01)
B23K 26/073 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2018/045811

(22) 国際出願日： 2018年12月13日(13.12.2018)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(71) 出願人:ギガフォトン株式会社(**GIGAPHOTON INC.**) [JP/JP]; 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田４００番地 Tochigi (JP).

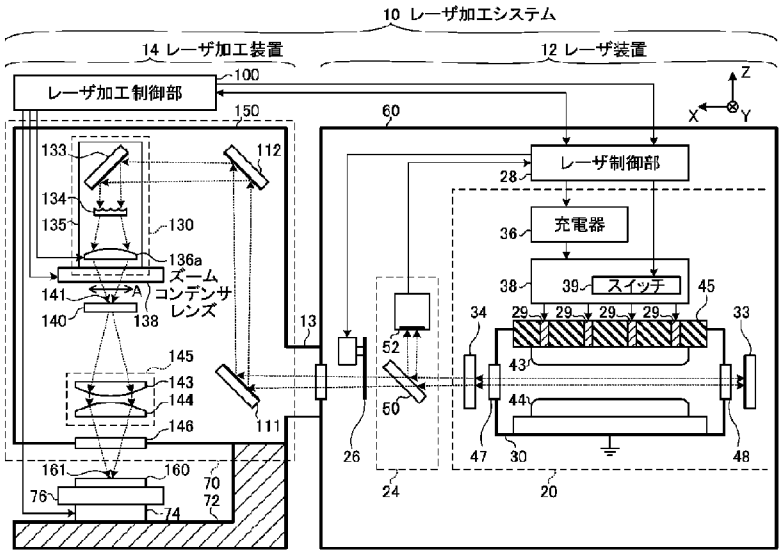
(72) 発明者: 新 堀 真 史 (**SHIMBORI Masashi**); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田４００番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP). 若林 理(**WAKABAYASHI Osamu**); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田４００番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP).

(74) 代理人: 保 坂 延 寿 (**HOSAKA Nobuhisa**); 〒1010025 東京都千代田区神田佐久間町３－２２ 神田ＳＫビル４階 新井・橋本・保坂国際特許事務所 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, JP, 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,

(54) **Title:** LASER MACHINING DEVICE AND WORKPIECE MACHINING METHOD

(54) 発明の名称： レーザ加工装置及び被加工物の加工方法



10 Laser machining system
12 Laser device
14 Laser machining device
28 Laser control unit
36 Charger
39 Switch
100 Laser machining control unit
138 Zoom condenser lens

(57) **Abstract:** This laser machining device comprises: a mounting stand on which a workpiece is mounted; a shaping optical system that shapes a laser such that a first irradiation region of the laser on a mask becomes a rectangular shape with a short side and a long side, said mask being structured so as to block a portion of the laser, said shaping optical system being structured such that one of a first irradiation width of the first irradiation region and a second irradiation width of the first irradiation region is fixed and the other can be changed, said first irradiation width being in a direction parallel to the short edge, and said second irradiation width being in a direction parallel to the long edge; a projection

WO 2020/121468 A1

［続葉有］

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).

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

optical system that is structured so as to project a pattern of the mask onto a workpiece, said workpiece having been mounted on the mounting stand; and a shifting device that shifts the first irradiation region at least in the direction parallel to the short edge, and shifts a second irradiation region of the laser, said second irradiation region being on the workpiece that has been mounted on the mounting stand.

(57) 要約:レーザ加工装置は、被加工物を載置する載置台と、レーザ光の一部を遮断するように構成されたマスクにおけるレーザ光の第1の照射領域が短辺及び長辺を有する矩形状となるように、レーザ光を整形し、短辺に平行な方向における第1の照射領域の第1の照射幅と、長辺に平行な方向における第1の照射領域の第2の照射幅と、の一方を固定し他方を変更可能に構成された整形光学系と、マスクのパターンを載置台に載置された被加工物に投影するように構成された投影光学系と、第1の照射領域を少なくとも短辺に平行な方向に移動させて、載置台に載置された被加工物におけるレーザ光の第2の照射領域を移動させる移動装置と、を備える。

明　細　書

発明の名称 ： レーザ加工装置及び被加工物の加工方法

技術分野

[0001] 本開示は、レーザ加工装置及び被加工物の加工方法に関する。

背景技術

[0002] 近年、半導体露光装置（以下、「露光装置」という）においては、半導体集積回路の微細化および高集積化につれて、解像力の向上が要請されている。このため、露光用光源から放出される光の短波長化が進められている。一般的に、露光用光源には、従来の水銀ランプに代わってガスレーザ装置が用いられる。たとえば、露光用のガスレーザ装置としては、波長２４８ｎｍの紫外線のレーザ光を出力するＫｒＦエキシマレーザ装置、ならびに波長１９３ｎｍの紫外線のレーザ光を出力するＡｒＦエキシマレーザ装置が用いられる。

[0003] また、エキシマレーザ光はパルス幅が約数１０ｎｓであって、波長はそれぞれ、２４８．４ｎｍと１９３．４ｎｍと短いことから、高分子材料やガラス材料等の直接加工に用いられることがある。

高分子材料における化学結合は、結合エネルギーよりも高いフォトンエネルギーをもつエキシマレーザ光によって切断することができる。そのため、エキシマレーザ光によって高分子材料の非加熱加工が可能となり、加工形状が綺麗になることが知られている。

また、ガラスやセラミックス等はエキシマレーザ光に対する吸収率が高いので、可視及び赤外線レーザ光では加工することが難しい材料であっても、エキシマレーザ光により加工できることが知られている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開２００１－１３５５６０号公報

特許文献2：特開２００８－１４７３３７号公報

概要

[0005] 本開示の１つの観点に係るレーザ加工装置は、被加工物を載置する載置台と、レーザ光の一部を遮断するように構成されたマスクにおけるレーザ光の第１の照射領域が短辺及び長辺を有する矩形状となるように、レーザ光を整形し、短辺に平行な方向における第１の照射領域の第１の照射幅と、長辺に平行な方向における第１の照射領域の第２の照射幅と、の一方を固定し他方を変更可能に構成された整形光学系と、マスクのパターンを載置台に載置された被加工物に投影するように構成された投影光学系と、第１の照射領域を少なくとも短辺に平行な方向に移動させて、載置台に載置された被加工物におけるレーザ光の第２の照射領域を移動させる移動装置と、を備える。

[0006] 本開示の他の１つの観点に係るレーザ加工装置は、被加工物を載置する載置台と、レーザ光の一部を遮断するように構成されたマスクにおけるレーザ光の第１の照射領域が短辺及び長辺を有する矩形状となるように、レーザ光を整形し、短辺に平行な方向における第１の照射領域の第１の照射幅と、長辺に平行な方向における第１の照射領域の第２の照射幅と、を独立に変更可能に構成された整形光学系と、マスクのパターンを載置台に載置された被加工物に投影するように構成された投影光学系と、第１の照射領域を少なくとも短辺に平行な方向に移動させて、載置台に載置された被加工物におけるレーザ光の第２の照射領域を移動させる移動装置と、を備える。

[0007] 本開示の１つの観点に係る被加工物の加工方法は、被加工物を載置する載置台と、レーザ光の一部を遮断するように構成されたマスクにおけるレーザ光の第１の照射領域が短辺及び長辺を有する矩形状となるように、レーザ光を整形し、短辺に平行な方向における第１の照射領域の第１の照射幅と、長辺に平行な方向における第１の照射領域の第２の照射幅と、の一方を固定し他方を変更可能に構成された整形光学系と、マスクのパターンを載置台に載置された被加工物に投影するように構成された投影光学系と、第１の照射領域を少なくとも短辺に平行な方向に移動させて、載置台に載置された被加工物におけるレーザ光の第２の照射領域を移動させる移動装置と、を備えたレ

ーザ加工装置を用いて、第１の照射領域が矩形状となるようにレーザ光を整形し、マスクのパターンを載置台に載置された被加工物に投影し、第１の照射領域を少なくとも短辺に平行な方向に移動させることを含む。

[0008] 本開示の他の１つの観点に係る被加工物の加工方法は、被加工物を載置する載置台と、レーザ光の一部を遮断するように構成されたマスクにおけるレーザ光の第１の照射領域が短辺及び長辺を有する矩形状となるように、レーザ光を整形し、短辺に平行な方向における第１の照射領域の第１の照射幅と、長辺に平行な方向における第１の照射領域の第２の照射幅と、を独立に変更可能に構成された整形光学系と、マスクのパターンを載置台に載置された被加工物に投影するように構成された投影光学系と、第１の照射領域を少なくとも短辺に平行な方向に移動させて、載置台に載置された被加工物におけるレーザ光の第２の照射領域を移動させる移動装置と、を備えたレーザ加工装置を用いて、第１の照射領域が矩形状となるようにレーザ光を整形し、マスクのパターンを載置台に載置された被加工物に投影し、第１の照射領域を少なくとも短辺に平行な方向に移動させることを含む。

図面の簡単な説明

[0009] 本開示のいくつかの実施形態を、単なる例として、添付の図面を参照して以下に説明する。

[図1]図１は、比較例に係るレーザ加工装置１４を含むレーザ加工システム１０の構成を概略的に示す。

[図2]図２Ａは、マスク１４０におけるレーザ光の照射領域１４１の例を示す。図２Ｂは、比較例においてレーザ光が照射されるマスク１４０の例を示す平面図である。

[図3]図３は、ビームスキャン方式による被加工物１６０のレーザ加工方法の例を示す平面図である。

[図4]図４は、レーザ加工制御部１００の動作を示すフローチャートである。

[図5]図５は、レーザ加工条件パラメータの読込の処理内容の例を示すフローチャートである。

[図6]図６は、レーザ加工装置１４の制御パラメータの計算及び設定の処理内容の例を示すフローチャートである。

[図7]図７は、ビームスキャン加工の処理内容の例を示すフローチャートである。

[図8]図８は、本開示の第１の実施形態に係るレーザ加工装置１４を含むレーザ加工システム１０の構成を概略的に示す。

[図9]図９は、第１の実施形態において実行されるレーザ加工装置１４の制御パラメータの計算及び設定の処理内容の例を示すフローチャートである。

[図10]図１０Ａ及び図１０Ｂは、第１の実施形態においてレーザ光が照射されるマスク１４０の例を示す平面図である。

[図11]図１１Ａ及び図１１Ｂは、フライアイレンズ１３４及びズームコンデンサレンズ１３６ａの構成例を示す。

[図12]図１２Ａ及び図１２Ｂは、Ｘ方向フライアイレンズ１３４ｘ及びＸ方向ズームコンデンサレンズ１３６ｘの構成例を示す。

[図13]図１３は、第２の実施形態において実行されるレーザ加工条件パラメータの読込の処理内容の例を示すフローチャートである。

[図14]図１４は、第２の実施形態において実行されるレーザ加工装置１４の制御パラメータの計算及び設定の処理内容の例を示すフローチャートである。

[図15]図１５Ａ及び図１５Ｂは、第２の実施形態においてレーザ光が照射されるマスク１４０の例を示す平面図である。

[図16]図１６は、本開示の第３の実施形態に係るレーザ加工装置１４を含むレーザ加工システム１０の構成を概略的に示す。

[図17]図１７は、第３の実施形態において実行されるレーザ加工条件パラメータの読込の処理内容の例を示すフローチャートである。

[図18]図１８は、第３の実施形態において実行されるレーザ加工装置１４の制御パラメータの計算及び設定の処理内容の例を示すフローチャートである。

[図19]図１９は、第３の実施形態において実行されるビームスキャン加工の処理内容の例を示すフローチャートである。

[図20]図２０Ａ及び図２０Ｂは、第３の実施形態においてレーザ光が照射されるマスク１４０の例を示す平面図である。

[図21]図２１は、第３の実施形態における被加工物１６０のレーザ加工方法の例を示す平面図である。

[図22]図２２は、本開示の第４の実施形態に係るレーザ加工装置１４を含むレーザ加工システム１０の構成を概略的に示す。

[図23]図２３Ａ及び図２３Ｂは、第４の実施形態における拡大縮小光学系１７０ｄの構成例を、Ｘ方向フライアイレンズ１３４ｘ及びＸ方向ズームコンデンサレンズ１３６ｘとともに示す。

実施形態

[0010] 内容

１．比較例に係るレーザ加工装置及びレーザ加工システム
１．１　構成
１．１．１　レーザ装置の構成
１．１．２　レーザ加工装置の構成
１．２　動作
１．２．１　レーザ装置の動作
１．２．２　レーザ加工装置の動作
１．２．３　マスクにおける照射領域の移動
１．２．４　被加工物における照射領域の移動
１．２．５　レーザ加工制御部の動作
１．２．５．１　メインフロー
１．２．５．２　レーザ加工条件パラメータの読込の詳細
１．２．５．３　制御パラメータの計算及び設定の詳細
１．２．５．４　ビームスキャン加工の詳細
１．３　課題

２．縦横の照射幅を独立に変更可能なレーザ加工装置
２．１　構成
２．２　動作
２．２．１　制御パラメータの計算及び設定
２．２．２　マスクにおける照射領域の移動
２．３　作用
２．４　整形光学系の構成例
３．マスク幅に照射幅を合わせるレーザ加工装置
３．１　概要
３．２　動作
３．２．１　レーザ加工条件パラメータの読込
３．２．２　制御パラメータの計算及び設定
３．２．３　マスクにおける照射領域の移動
３．３　作用
４．マスクを複数回スキャンするレーザ加工装置
４．１　構成
４．２　動作
４．２．１　レーザ加工条件パラメータの読込
４．２．２　制御パラメータの計算及び設定
４．２．３　ビームスキャン加工
４．２．４　マスクにおける照射領域の移動
４．２．５　被加工物における照射領域の移動
４．３　作用
５．整形光学系への入射光を拡大縮小可能なレーザ加工装置
５．１　構成
５．２　動作
５．３　作用
６．　その他

[0011] 以下、本開示の実施形態について、図面を参照しながら詳しく説明する。以下に説明される実施形態は、本開示の一例を示すものであって、本開示の内容を限定するものではない。また、各実施形態で説明される構成及び動作の全てが本開示の構成及び動作として必須であるとは限らない。なお、同一の構成要素には同一の参照符号を付して、重複する説明を省略する。

[0012] １．比較例に係るレーザ加工装置及びレーザ加工システム

１．１ 構成

図１は、比較例に係るレーザ加工装置１４を含むレーザ加工システム１０の構成を概略的に示す。レーザ加工システム１０は、レーザ装置１２と、光路管１３と、レーザ加工装置１４と、を含む。

[0013] １．１．１ レーザ装置の構成

レーザ装置１２は、紫外線のレーザ光を出力するレーザ装置である。例えば、レーザ装置１２は、F_2、ＡｒＦ、ＫｒＦ、ＸｅＣｌ、又はＸｅＦをレーザ媒質とする放電励起式レーザ装置であってよい。レーザ装置１２は、発振器２０と、モニタモジュール２４と、シャッタ２６と、レーザ制御部２８と、を含む。

[0014] 発振器２０は、チャンバ３０と、リアミラー３３と、出力結合ミラー３４と、充電器３６と、パルスパワーモジュール（ＰＰＭ）３８と、を含む。チャンバ３０には、エキシマレーザガスが封入される。

チャンバ３０は、一対の電極４３及び４４と、絶縁部材４５と、ウインドウ４７及び４８と、を含む。絶縁部材４５には複数の導電部材２９が埋め込まれている。電極４３は絶縁部材４５に支持されている。電極４３は、導電部材２９を介してパルスパワーモジュール３８に電気的に接続されている。電極４４は、チャンバ３０を構成する導電性の部材を介して接地電位に接続されている。

[0015] リアミラー３３及び出力結合ミラー３４は光共振器を構成する。リアミラー３３は平面基板に高反射膜がコートされたものであり、出力結合ミラー３４は、平面基板に部分反射膜がコートされたものである。光共振器の光路に

チャンバ３０が配置される。

[0016] モニタモジュール２４は、ビームスプリッタ５０と、光センサ５２と、を含む。

シャッタ２６は、ビームスプリッタ５０を通過したレーザ光の光路に配置される。

レーザ光の光路は、筐体６０及び光路管１３によってシールされ、N_2ガスでパージされていてもよい。

[0017] １．１．２　レーザ加工装置の構成

レーザ加工装置１４は、照射光学システム７０と、フレーム７２と、ＸＹＺステージ７４と、レーザ加工制御部１００と、を含む。

[0018] フレーム７２に、照射光学システム７０とＸＹＺステージ７４とが固定される。ＸＹＺステージ７４のテーブル７６に被加工物１６０が支持される。テーブル７６は被加工物１６０を載置する載置台の一例である。

[0019] 被加工物１６０は、例えば、ＬＳＩ（large-scale integrated circuit）チップとメインのプリント基板とを中継するインターポーザ基板や、フレキシブルなプリント基板であってもよい。この基板を構成する電気絶縁材料としては、例えば、高分子材料、ガラスエポキシ材料、ガラス材料などがある。

[0020] 照射光学システム７０は、高反射ミラー１１１及び高反射ミラー１１２と、アッテネータ１２０と、整形光学系１３０と、１軸ステージ１３８と、マスク１４０と、投影光学系１４５と、ウインドウ１４６と、筐体１５０と、を含む。

[0021] 高反射ミラー１１１は、光路管１３を通過したレーザ光の光路に配置される。高反射ミラー１１１は、レーザ光がアッテネータ１２０を通過して高反射ミラー１１２に入射するように配置される。

[0022] アッテネータ１２０は、高反射ミラー１１１と高反射ミラー１１２との間の光路に配置される。アッテネータ１２０は、２枚の部分反射ミラー１２１及び１２２と回転ステージ１２３及び１２４とを含む。回転ステージ１２３

及び１２４は、それぞれ部分反射ミラー１２１及び１２２に対するレーザ光の入射角を変更可能に構成されている。

[0023] 高反射ミラー１１２は、アッテネータ１２０を通過したレーザ光が整形光学系１３０に入射するように配置される。

[0024] 整形光学系１３０は、高反射ミラー１３３と、フライアイレンズ１３４と、コンデンサレンズ１３６と、を含む。

整形光学系１３０に含まれる高反射ミラー１３３は、入射したレーザ光をフライアイレンズ１３４に入射させるように配置される。

フライアイレンズ１３４は、フライアイレンズ１３４の焦点面とコンデンサレンズ１３６の前側焦点面とが一致するように配置される。コンデンサレンズ１３６は、コンデンサレンズ１３６の後側焦点面とマスク１４０の位置とが一致するように配置される。

整形光学系１３０は、以上の構成により、マスク１４０をケーラー照明する。

[0025] 図２Ａは、マスク１４０におけるレーザ光の照射領域１４１の例を示す。照射領域１４１は、レーザ光の光路の断面であって、マスク１４０の表面に沿った断面に相当する。照射領域１４１は、本開示における第１の照射領域に相当する。照射領域１４１は、矩形状の形状を有する。矩形状の形状は、短辺及び長辺を有する。矩形状の照射領域１４１の短辺に平行な方向をＸ軸方向とし、長辺に平行な方向をＹ軸方向とする。短辺に平行な方向における照射幅をＢｘとし、長辺に平行な方向における照射幅をＢｙとする。

[0026] 図１を再び参照し、整形光学系１３０は、プレート１３５に支持される。プレート１３５は、整形光学系１３０とともに、双方向矢印Ａで示されるＸ軸方向に移動できるように、１軸ステージ１３８に支持される。整形光学系１３０がＸ軸方向に移動することにより、照射領域１４１がマスク１４０上をＸ軸方向に移動する。

[0027] マスク１４０は、例えば、紫外光であるエキシマレーザ光を透過させる合成石英基板に、金属又は誘電体多層膜のパターンが形成されたマスクである

。例えば、被加工物１６０としてのプリント基板にビアホール加工する場合のマスク１４０には、直径５μｍ～３０μｍの穴のパターンが形成されている。

[0028] 投影光学系１４５は、マスク１４０の倒立像が被加工物１６０の表面で形成されるように配置される。投影光学系１４５は、複数のレンズ１４３及び１４４の組合せレンズで構成される縮小投影光学系であってもよい。

[0029] ウインドウ１４６は、投影光学系１４５と被加工物１６０との間のレーザ光の光路に配置される。ウインドウ１４６は、筐体１５０に設けられた穴に、図示せぬＯリング等を介して配置される。ウインドウ１４６は、エキシマレーザ光を透過させるCaF_2結晶や合成石英基板の両面に反射抑制膜がコートされたものでもよい。

[0030] 筐体１５０は、筐体１５０内に外気が混入するのを抑制するようにＯリング等によってシールされ、N_2ガスでパージされていてもよい。

[0031] レーザ加工制御部１００は、アッテネータ１２０、１軸ステージ１３８、及びＸＹＺステージ７４の動作を制御する。レーザ加工制御部１００は、レーザ装置１２に、目標パルスエネルギーＥｔのデータを送信したり、発光トリガを出力したりするように構成されている。

[0032] １．２ 動作

１．２．１ レーザ装置の動作

レーザ装置１２において、レーザ制御部２８は、レーザ加工制御部１００から受信した目標パルスエネルギーＥｔのデータに基づいて、充電器３６に充電電圧の設定信号を送信する。また、レーザ制御部２８は、レーザ加工制御部１００から受信した発光トリガに基づいて、パルスパワーモジュール３８に含まれるスイッチ３９に発光トリガを送信する。

[0033] パルスパワーモジュール３８のスイッチ３９は、レーザ制御部２８から発光トリガを受信するとオン状態となる。パルスパワーモジュール３８は、スイッチ３９がオン状態となると、充電器３６に充電された電気エネルギーからパルス状の高電圧を生成する。パルスパワーモジュール３８は、この高電

圧を一対の電極４３及び４４の間に印加する。

[0034] 一対の電極４３及び４４の間に高電圧が印加されると、一対の電極４３及び４４の間に放電が起こる。この放電のエネルギーにより、チャンバ３０内のレーザガスが励起されて高エネルギー準位に移行する。励起されたレーザガスが、その後、低エネルギー準位に移行するとき、そのエネルギー準位差に応じた波長の光を放出する。

[0035] チャンバ３０内で発生した光は、ウインドウ４７及び４８を介してチャンバ３０の外部に出射する。チャンバ３０のウインドウ４８から出射した光は、リアミラー３３によって高い反射率で反射されてチャンバ３０に戻される。

[0036] 出力結合ミラー３４は、チャンバ３０のウインドウ４７から出射した光のうちの一部を透過させて出力し、他の一部を反射してチャンバ３０に戻す。

[0037] このようにして、チャンバ３０から出射した光は、リアミラー３３と出力結合ミラー３４との間で往復し、一対の電極４３及び４４の間の放電空間を通過する度に増幅され、レーザ発振する。その結果、レーザ光が出力結合ミラー３４から出力される。このレーザ光はパルスレーザ光である。

[0038] モニタモジュール２４は、出力結合ミラー３４から出力されたレーザ光のパルスエネルギーを検出する。モニタモジュール２４は、検出したパルスエネルギーのデータをレーザ制御部２８に送信する。

[0039] レーザ制御部２８は、モニタモジュール２４から受信したパルスエネルギーの測定データと、レーザ加工制御部１００から受信した目標パルスエネルギーＥｔのデータとに基づいて、充電器３６に設定する充電電圧をフィードバック制御する。

[0040] １．２．２ レーザ加工装置の動作

ＸＹＺステージ７４は、被加工物１６０の所望の加工対象領域にマスク１４０の倒立像が形成されるように、テーブル７６を位置決めする。

[0041] シャッタ２６が開いた状態で、モニタモジュール２４のビームスプリッタ５０を透過したレーザ光は、光路管１３を介してレーザ加工装置１４に入射

する。レーザ光は、照射光学システム７０によって、以下のようにして被加工物１６０に導かれる。

[0042] レーザ加工装置１４に入射したレーザ光は、高反射ミラー１１１によって反射され、アッテネータ１２０を通過した後、高反射ミラー１１２によってＸ軸方向に反射される。

[0043] 高反射ミラー１１２によって反射されたレーザ光は、整形光学系１３０によって、光強度分布が空間的に均一化されるとともに、矩形状のビームに整形される。整形光学系１３０から出射したレーザ光は、マスク１４０に入射する。１軸ステージ１３８の駆動によって整形光学系１３０がＸ軸方向に移動速度Ｖｘｍで移動するのに伴って、照射領域１４１は、マスク１４０上をＸ軸方向に移動速度Ｖｘｍで移動する。

[0044] マスク１４０に形成されたマスクパターンに従って、レーザ光の一部は遮断され、他の一部はマスク１４０を透過する。マスク１４０を透過したレーザ光は、投影光学系１４５によって、被加工物１６０の表面に縮小投影される。被加工物１６０におけるレーザ光の照射領域１６１は、マスク１４０に形成されたマスクパターンのうちの照射領域１４１に相当する部分を縮小した形状を有する。照射領域１６１は、レーザ光の光路の断面であって、被加工物１６０の表面に沿った断面に相当する。照射領域１６１は、本開示における第２の照射領域に相当する。被加工物１６０にレーザ光が照射されると、被加工物１６０の表面がアブレーションし、レーザ加工される。

[0045] １軸ステージ１３８の駆動によってマスク１４０におけるレーザ光の照射領域１４１がＸ軸方向に移動速度Ｖｘｍで移動するのに伴って、被加工物１６０におけるレーザ光の照射領域１６１は、被加工物１６０上をＸ軸方向に移動速度－Ｍ・Ｖｘｍで移動する。Ｍは投影光学系１４５の倍率である。投影光学系１４５は縮小投影光学系であるため、Ｍは１より小さい正の値である。Ｍは、例えば１／２以上、１／４以下の範囲の値であってよい。１軸ステージ１３８の駆動による照射領域１４１の移動方向と照射領域１６１の移動方向とは、互いに反対方向となる。なお、照射領域１６１の短辺に平行な

方向における照射幅はＭ・Ｂｘとなり、長辺に平行な方向における照射幅はＭ・Ｂｙとなる。

[0046] １．２．３　マスクにおける照射領域の移動

図２Ｂは、比較例においてレーザ光が照射されるマスク１４０の例を示す平面図である。マスク１４０は、マスクパターンが形成されたパターン領域１４０ｐを有する。１軸ステージ１３８を駆動することにより、照射領域１４１は、図２Ｂの左端に位置する初期位置１４１ｓから右方向に移動する。これにより、パターン領域１４０ｐの全体にレーザ光が照射される。

[0047] 次に、１軸ステージ１３８を逆方向に駆動することにより、照射領域１４１は、図２Ｂの右端から左方向に移動する。このときも、パターン領域１４０ｐの全体にレーザ光が照射される。

[0048] このように１軸ステージ１３８の駆動方向を切り替えることにより、パターン領域１４０ｐへのレーザ光の照射を繰り返すことができる。

[0049] １．２．４　被加工物における照射領域の移動

図３は、ビームスキャン方式による被加工物１６０のレーザ加工方法の例を示す平面図である。図３において、被加工物１６０の加工面は、「Ｓ＃１」から「Ｓ＃１２」までの１２個の加工対象領域に区画されている。「Ｓ＃１」から「Ｓ＃１２」までの符号の順番は、ビームスキャン方式による被加工物１６０の加工順番に相当する。一点鎖線の矢印は、それぞれの加工対象領域における照射領域１６１の移動方向を示す。

[0050] まず、マスク１４０の倒立像が形成される領域に最初の加工対象領域Ｓ＃１が一致するように、ＸＹＺステージ７４を動作させて被加工物１６０を移動させ、ＸＹＺステージ７４を停止させる。そして、マスク１４０にレーザ光を照射し、マスク１４０におけるレーザ光の照射領域１４１を、１軸ステージ１３８により図２Ｂの左端に位置する初期位置１４１ｓから右方向に移動させる。これにより、被加工物１６０におけるレーザ光の照射領域１６１が、図３における加工対象領域Ｓ＃１の右端に位置する初期位置１６１ｓから左方向に移動する。この１回のビームスキャン動作によって加工対象領域

Ｓ＃１の加工が完了する。

[0051] １つの加工対象領域についてビームスキャン動作が終わったら、レーザ光の照射を停止させる。

[0052] 次に、マスク１４０の倒立像が形成される領域に次の加工対象領域Ｓ＃２が一致するように、ＸＹＺステージ７４を動作させて被加工物１６０を移動させ、ＸＹＺステージ７４を停止させる。そして、マスク１４０にレーザ光を照射し、マスク１４０におけるレーザ光の照射領域１４１を、１軸ステージ１３８により図２Ｂの右端から左方向に移動させる。これにより、被加工物１６０におけるレーザ光の照射領域１６１が、図３における加工対象領域Ｓ＃２の左端に位置する初期位置１６１ｓから右方向に移動する。これにより加工対象領域Ｓ＃２の加工が完了する。

[0053] このようにして、ＸＹＺステージ７４をＸ軸方向又はＹ軸方向に動作させることにより、「Ｓ＃１」、「Ｓ＃２」、「Ｓ＃３」、・・・、「Ｓ＃１２」の順番に、マスク１４０の倒立像が形成される領域が変更される。加工対象領域ごとにビームスキャンが実施され、マスク１４０の倒立像が形成される領域が変更されるごとに照射領域１６１の移動方向が反転する。このような動作によって、レーザ加工が行われる。

[0054] １．２．５　レーザ加工制御部の動作

１．２．５．１　メインフロー

図４は、レーザ加工制御部１００の動作を示すフローチャートである。以下のようにしてビームスキャン方式によるレーザ加工が行われる。

[0055] ステップＳ１１において、被加工物１６０がＸＹＺステージ７４のテーブル７６にセットされる。被加工物１６０は、例えば、レーザ加工制御部１００によって制御される図示せぬワーク搬送ロボットやその他の自動搬送装置によって、テーブル７６にセットされる。

[0056] ステップＳ１２において、レーザ加工制御部１００は、レーザ加工条件パラメータの読込みを行う。レーザ加工条件パラメータについては、図５を参照しながら後述する。

[0057] ステップＳ１４において、レーザ加工制御部１００は、マスク１４０の像が被加工物１６０の表面に形成されるように、ＸＹＺステージ７４をＺ軸方向に制御する。

[0058] ステップＳ１５において、レーザ加工制御部１００は、マスク１４０の像が被加工物１６０の最初の加工対象領域Ｓ＃１に形成されるように、ＸＹＺステージ７４をＸ軸方向及びＹ軸方向に制御する。

[0059] ステップＳ１６において、レーザ加工制御部１００は、レーザ加工装置１４の制御パラメータの計算及び設定を行う。レーザ加工装置１４の制御パラメータについては、図６を参照しながら後述する。

[0060] ステップＳ１７において、レーザ加工制御部１００は、被加工物１６０におけるビームスキャン方向を表すパラメータＸａの値を初期値－１に設定する。

[0061] ステップＳ２０において、レーザ加工制御部１００は、ビームスキャン加工の制御を行う。レーザ加工制御部１００は、１つの加工対象領域についてビームスキャン動作を行い、この加工対象領域の加工を行う。ビームスキャン加工については、図７を参照しながら後述する。

[0062] ステップＳ２２において、レーザ加工制御部１００は、被加工物１６０全体のビームスキャン加工が終了したか否かを判定する。ステップＳ２２にてＮＯと判定された場合、レーザ加工制御部１００は、ステップＳ２４に進む。

[0063] ステップＳ２４において、レーザ加工制御部１００は、マスク１４０の像が次の加工対象領域に形成されるように、ＸＹＺステージ７４をＸ軸方向又はＹ軸方向のいずれかに制御し、その後ステップＳ２０に戻る。レーザ加工制御部１００は、すべての加工対象領域のビームスキャン加工を終了するまで、ステップＳ２０からステップＳ２２までの処理を繰り返す。

[0064] すべての加工対象領域のビームスキャン加工が終了し、ステップＳ２２にてＹＥＳと判定されると、レーザ加工制御部１００は図４のフローチャートを終了する。

[0065] １．２．５．２　レーザ加工条件パラメータの読込の詳細

図５は、レーザ加工条件パラメータの読込の処理内容の例を示すフローチャートである。図５に示されるフローチャートは、図４のステップＳ１２のサブルーチンに相当する。

[0066] ステップＳ３１において、レーザ加工制御部１００は、図示せぬ記憶装置から以下のレーザ加工条件パラメータを読み込む。

（ａ）被加工物１６０の表面でのフルーエンスの目標値Ｆｔ

（ｂ）同じ位置への照射パルス数Ｎｐ

（ｃ）繰り返し周波数ｆ

同じ位置への照射パルス数Ｎｐは、例えば２以上の整数である。

[0067] レーザ加工制御部１００は、ステップＳ３１の後、図４のメインフローに復帰する。

[0068] １．２．５．３　制御パラメータの計算及び設定の詳細

図６は、レーザ加工装置１４の制御パラメータの計算及び設定の処理内容の例を示すフローチャートである。図６に示されるフローチャートは、図４のステップＳ１６のサブルーチンに相当する。

[0069] ステップＳ５１において、レーザ加工制御部１００は、被加工物１６０の表面でのフルーエンスＦが目標値Ｆｔとなるように、アッテネータ１２０の透過率Ｔの目標値Ｔｔを計算する。目標値Ｔｔの計算は以下のように行われる。

[0070] まず、アッテネータ１２０の透過率が最大である時の、レーザ装置１２から出力されたレーザ光が被加工物１６０に到達するまでの光学系の透過率をＴｐとする。投影光学系１４５の倍率をＭとする。被加工物１６０の表面でのフルーエンスＦは、被加工物１６０の表面でのパルスエネルギーＴ・Ｔｐ・Ｅｔを、被加工物１６０におけるレーザ光の照射領域１６１の面積M^{2}・Ｂｘ・Ｂｙで除算して、次の式（１）で表される。

$$F = M^{-2}(T \cdot Tp \cdot Et) / (Bx \cdot By) \quad \cdots (1)$$

[0071] 式（１）から、被加工物１６０の表面でのフルーエンスＦを目標値Ｆｔと

するために設定されるアッテネータ１２０の透過率Ｔの目標値Ｔｔは、次の式（２）で表される。

$$Tt=(M^2/Tp)(Ft/Et)(Bx\cdot By) \quad \cdots(2)$$

[0072] ステップＳ５２において、レーザ加工制御部１００は、アッテネータ１２０の透過率Ｔを目標値Ｔｔに設定する。すなわち、レーザ加工制御部１００は、アッテネータ１２０の透過率Ｔが目標値Ｔｔに近づくように、回転ステージ１２３及び１２４を制御して部分反射ミラー１２１及び１２２の角度を調整する。

[0073] 次に、ステップＳ５８において、レーザ加工制御部１００は、１軸ステージ１３８の駆動速度の絶対値Ｖｘｍｉを計算する。１軸ステージ１３８の駆動速度の絶対値Ｖｘｍｉは、マスク１４０におけるレーザ光の照射領域１４１の移動速度Ｖｘｍの絶対値｜Ｖｘｍ｜と同じである。繰り返し周波数ｆのパルスレーザ光を同じ位置にＮｐ回照射するための所要時間はＮｐ／ｆである。１軸ステージ１３８の駆動速度の絶対値は、照射領域１４１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘを所要時間Ｎｐ／ｆで除算して、次の式（３）で表される。

$$Vxmi=f\cdot Bx/Np \quad \cdots(3)$$

[0074] ステップＳ５８の後、レーザ加工制御部１００は、図６のフローチャートを抜けて、図４のメインフローに復帰する。

[0075] １．２．５．４　ビームスキャン加工の詳細

図７は、ビームスキャン加工の処理内容の例を示すフローチャートである。図７に示されるフローチャートは、図４のステップＳ２０のサブルーチンに相当する。

[0076] ステップＳ７１において、レーザ加工制御部１００は、パラメータＸａの値が１であるか否かを判定する。

ステップＳ７１にてＹＥＳと判定された場合、すなわち、パラメータＸａの値が１である場合には、レーザ加工制御部１００は、ステップＳ７２に進み、パラメータＸａの値を－１に設定する。

[0077] その一方、ステップＳ７１において、ＮＯと判定された場合、すなわち、パラメータＸａの値が－１である場合には、レーザ加工制御部１００は、ステップＳ７３に進み、パラメータＸａの値を１に設定する。

[0078] すなわち、レーザ加工制御部１００は、パラメータＸａの正負の符号を逆にして、前回設定されたビームスキャン方向と逆方向にビームスキャン方向を切り替える。

図４のステップＳ１７では、例としてパラメータＸａの値が初期値－１に設定されている。この場合に、図７の処理を初めて実行するときは、ステップＳ７３においてパラメータＸａの値は１に設定される。

パラメータＸａの値が１である場合、被加工物１６０の表面を照射領域１６１が移動する方向は、例えばＸ軸の正の方向であり、図３における左方向である。パラメータＸａの値が－１である場合、被加工物１６０の表面を照射領域１６１が移動する方向はＸ軸の負の方向であり、図３における右方向である。

ステップＳ７２又はＳ７３の後、レーザ加工制御部１００は、Ｓ７４に進む。

[0079] ステップＳ７４において、レーザ加工制御部１００は、１軸ステージ１３８の駆動速度をセットする。１軸ステージ１３８の駆動速度は、整形光学系１３０の等速直線運動中の移動速度Ｖｘｍと照射領域１４１の移動速度Ｖｘｍとの両方に等しく、次の式（４）に従って決定される。

$$Vxm = -Xa \cdot Vxmi \quad \cdots (4)$$

ステップＳ７４においては、さらに、等速直線運動の前後の加速及び減速のそれぞれが所定の時間で行われるように、１軸ステージ１３８を制御するための各種パラメータがセットされてもよい。

[0080] 式（４）によって決定される移動速度Ｖｘｍの値が負の場合は、１軸ステージ１３８の駆動方向はＸ軸の負の方向となる。その結果、被加工物１６０におけるレーザ光の照射領域１６１の移動方向は、Ｘ軸の正の方向となる。

式（４）によって決定される移動速度Ｖｘｍの値が正の場合は、１軸ステ

ージ１３８の駆動方向はＸ軸の正の方向となる。その結果、被加工物１６０におけるレーザ光の照射領域１６１の移動方向は、Ｘ軸の負の方向となる。

[0081] ステップＳ７５において、レーザ加工制御部１００は、１軸ステージ１３８の駆動を開始させる。１軸ステージ１３８によって、整形光学系１３０は加速され、その後、等速直線運動させられる。

[0082] ステップＳ７６において、レーザ加工制御部１００は、レーザ制御部２８に対して、目標パルスエネルギーＥｔのデータを送信する。また、レーザ加工制御部１００は、レーザ制御部２８に対して、繰り返し周波数ｆでの発光トリガの出力を開始する。これにより、レーザ装置１２からのレーザ光の出力が開始される。レーザ光の出力が開始された時点での照射領域１４１が初期位置１４１ｓに一致するように、１軸ステージ１３８が制御される。

[0083] ステップＳ７７において、レーザ加工制御部１００は、設定されたビームスキャン方向のビームスキャンが終了したか否かの判定を行う。すなわち、マスク１４０のパターン領域１４０ｐのＸ軸方向の一端から他端まで、照射領域１４１が移動したか否かを判定する。

[0084] レーザ加工制御部１００は、ステップＳ７７にてＹＥＳと判定されるまで、ステップＳ７７を繰り返す。これにより、レーザ光が被加工物１６０の加工対象領域に照射される。ステップＳ７７にてＹＥＳと判定された場合、レーザ加工制御部１００は、ステップＳ７８に進む。

ステップＳ７８において、レーザ加工制御部１００は、発光トリガの出力を停止する。これにより、レーザ装置１２からのレーザ光の出力が停止される。

[0085] ステップＳ７９において、レーザ加工制御部１００は、１軸ステージ１３８の駆動を停止させる。これにより、整形光学系１３０は減速され、その後、停止させられる。

[0086] ステップＳ７９の後、レーザ加工制御部１００は、図７のフローチャートを抜けて、図４のメインフローに復帰する。

[0087] １．３ 課題

以上説明した比較例においては、フルーエンスＦを目標値Ｆｔに近づけるために、アッテネータ１２０の透過率が変更されている。このため、レーザ装置１２において生成されたレーザ光のエネルギーのうち、アッテネータ１２０における減衰分が無駄となる。加工に必要なフルーエンスＦの目標値Ｆｔが低くなるほど、アッテネータ１２０の透過率を低くしなければならず、エネルギーの無駄が大きくなる。

一方、加工に必要なフルーエンスＦの目標値Ｆｔが高い場合に備えて、アッテネータ１２０の透過率を最大とした場合のフルーエンスＦは高くしておく必要がある。例えば、照射領域１４１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘは小さい値に設定しておく必要がある。

[0088] また、以上説明した比較例においては、マスク１４０におけるレーザ光の照射領域１４１の長辺に平行な方向における照射幅Ｂｙが、マスク１４０のパターン領域１４０ｐのＹ軸方向における幅とほぼ等しくなっている。しかしながら、マスク１４０のパターン領域１４０ｐが常に同じ大きさとは限らない。マスク１４０のパターン領域１４０ｐのＹ軸方向における幅が小さい場合には、マスク１４０に照射される光のうちのパターン領域１４０ｐからはみ出た部分が無駄となる。

[0089] 以下に説明される実施形態に係るレーザ加工装置１４は、照射領域１４１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘと長辺に平行な方向における照射幅Ｂｙとを独立に変更可能に構成される。あるいは、レーザ加工装置１４は、照射領域１４１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘと長辺に平行な方向における照射幅Ｂｙとの一方を固定して他方を変更可能に構成される。

[0090] ２．縦横の照射幅を独立に変更可能なレーザ加工装置

２．１　構成

図８は、本開示の第１の実施形態に係るレーザ加工装置１４を含むレーザ加工システム１０の構成を概略的に示す。第１の実施形態において、レーザ加工装置１４に含まれる整形光学系１３０は、図１を参照しながら説明したコンデンサレンズ１３６の代わりに、ズームコンデンサレンズ１３６ａを含

む。また、第１の実施形態において、レーザ加工装置１４は、図１を参照しながら説明したアッテネータ１２０を含まなくてもよい。

[0091] ズームコンデンサレンズ１３６ａは、フライアイレンズ１３４を通過したレーザ光が入射する位置に配置されている。ズームコンデンサレンズ１３６ａは、フライアイレンズ１３４との組み合わせによってマスク１４０を矩形状のビームでケーラー照明するだけでなく、照射領域１４１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘと長辺に平行な方向における照射幅Ｂｙとを独立して変更可能に構成されている。あるいは、ズームコンデンサレンズ１３６ａは、照射領域１４１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘと長辺に平行な方向における照射幅Ｂｙとの一方を固定して他方を変更可能に構成されている。短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘは、本開示における第１の照射幅に相当する。長辺に平行な方向における照射幅Ｂｙは、本開示における第２の照射幅に相当する。ズームコンデンサレンズ１３６ａの構成例については図１１Ａ、図１１Ｂ、図１２Ａ、及び図１２Ｂを参照しながら後述する。

他の点については、第１の実施形態の構成は比較例の構成と同様である。

[0092] ２．２ 動作

２．２．１ 制御パラメータの計算及び設定

図９は、第１の実施形態において実行されるレーザ加工装置１４の制御パラメータの計算及び設定の処理内容の例を示すフローチャートである。図９に示されるフローチャートは、図４のステップＳ１６のサブルーチンに相当しており、上述の比較例における図６のフローチャートの代わりに実行される。

[0093] ステップＳ５３ａにおいて、レーザ加工制御部１００は、マスク１４０の表面でのフルーエンスの目標値Ｆｍｔを計算する。マスク１４０におけるレーザ光の照射領域１４１の面積は、被加工物１６０におけるレーザ光の照射領域１６１の面積の１／M^2倍であるので、マスク１４０の表面でのフルーエンスの目標値Ｆｍｔは、次の式（５）で表される。

$$Fmt = M^2 \cdot Ft \quad \cdots (5)$$

[0094] ステップＳ５５ａにおいて、レーザ加工制御部１００は、マスク１４０の表面でのフルーエンスが目標値Ｆｍｔとなるように、照射領域１４１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘの目標値Ｂｘｔを計算する。マスク１４０の表面でのパルスエネルギーは、ほぼ目標パルスエネルギーＥｔに一致する。マスク１４０の表面でのフルーエンスは、パルスエネルギーＥｔをマスク１４０におけるレーザ光の照射領域１４１の面積Ｂｘ・Ｂｙで除算して得られる。そこで、照射領域１４１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘの目標値Ｂｘｔは、次の式（６）で表される。

Ｂｘｔ＝Ｅｔ／（Ｆｍｔ・Ｂｙ） ・・・（６）

[0095] ステップＳ５８において、レーザ加工制御部１００は、１軸ステージ１３８の駆動速度の絶対値Ｖｘｍｉを計算する。ステップＳ５８の処理は、図６を参照しながら説明したものと同様である。

[0096] ステップＳ５９ａにおいて、レーザ加工制御部１００は、ズームコンデンサレンズ１３６ａを制御して、照射領域１４１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘを目標値Ｂｘｔに調節する。これにより、マスク１４０の表面でのフルーエンスを目標値Ｆｍｔに近づけることができ、被加工物１６０の表面でのフルーエンスを目標値Ｆｔに近づけることができる。このとき、照射領域１４１の長辺に平行な方向における照射幅Ｂｙは固定しておいてもよい。

[0097] ステップＳ５９ａの後、レーザ加工制御部１００は、図９のフローチャートを抜けて、図４のメインフローに復帰する。

[0098] ２．２．２ マスクにおける照射領域の移動

図１０Ａ及び図１０Ｂは、第１の実施形態においてレーザ光が照射されるマスク１４０の例を示す平面図である。ズームコンデンサレンズ１３６ａは、照射領域１４１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘを変更可能に構成されている。図１０Ａ及び図１０Ｂの各々に示される初期位置１４１ｓの形状及び大きさは、マスク１４０におけるレーザ光の照射領域１４１の形状及び大きさに相当する。

[0099] 照射領域１４１が、図１０Ａに初期位置１４１ｓとして示されるような形状及び大きさを有する状態で、マスク１４０の表面でのフルーエンスが目標値Ｆｍｔに達しない場合には、短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘを狭くする。図１０Ｂに示されるように、短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘの目標値Ｂｘｔを小さい値に設定することにより、マスク１４０の表面でのフルーエンスを目標値Ｆｍｔに近づけることができる。

[0100] 逆に、マスク１４０の表面でのフルーエンスを低下させたい場合には、短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘの目標値Ｂｘｔを大きい値に設定すればよい。

他の点については、第１の実施形態の動作は比較例の動作と同様である。

[0101] ２．３ 作用

第１の実施形態によれば、フルーエンスの目標値Ｆｍｔに応じて照射領域１４１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘを変更するので、アッテネータ１２０を使用しなくてもフルーエンスを調整することができる。これにより、レーザ光のエネルギーの無駄を抑制できる。

[0102] また、フルーエンスの目標値Ｆｍｔが低い場合には、短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘを大きくすることができる。これにより、ステップＳ５８で計算される１軸ステージ１３８の駆動速度の絶対値Ｖｘｍｉが大きくなる。従って、加工速度を向上させ、スループットを向上させることができる。

[0103] ２．４ 整形光学系の構成例

図１１Ａ及び図１１Ｂは、フライアイレンズ１３４及びズームコンデンサレンズ１３６ａの構成例を示す。図１１ＡはＹ軸方向に沿ってこれらのレンズを見た図であり、図１１ＢはＸ軸方向に沿ってこれらのレンズを見た図である。

[0104] フライアイレンズ１３４は、Ｘ方向フライアイレンズ１３４ｘと、Ｙ方向フライアイレンズ１３４ｙとを含む。Ｘ方向フライアイレンズ１３４ｘは、複数のシリンドリカル面がＸ軸方向に配列されたレンズであって、シリンドリカル面の各々はＹ軸方向の焦点軸を有する。Ｙ方向フライアイレンズ１３

４ｙは、複数のシリンドリカル面がＹ軸方向に配列されたレンズであって、シリンドリカル面の各々はＸ軸方向の焦点軸を有する。

[0105] ズームコンデンサレンズ１３６ａは、Ｘ方向ズームコンデンサレンズ１３６ｘとＹ方向ズームコンデンサレンズ１３６ｙとを含む。Ｘ方向ズームコンデンサレンズ１３６ｘは、例えば、３枚のシリンドリカルレンズを含み、これらのシリンドリカルレンズの各々はＹ軸方向の焦点軸を有する。Ｙ方向ズームコンデンサレンズ１３６ｙは、例えば、３枚のシリンドリカルレンズを含み、これらのシリンドリカルレンズの各々はＸ軸方向の焦点軸を有する。３枚のシリンドリカルレンズの構成については図１２Ａ及び図１２Ｂを参照しながら後述する。

[0106] Ｘ方向フライアイレンズ１３４ｘは、Ｘ方向フライアイレンズ１３４ｘの焦点面とＸ方向ズームコンデンサレンズ１３６ｘの前側焦点面とが一致するように配置される。Ｘ方向ズームコンデンサレンズ１３６ｘは、Ｘ方向ズームコンデンサレンズ１３６ｘの後側焦点面とマスク１４０の位置とが一致するように配置される。

Ｙ方向フライアイレンズ１３４ｙは、Ｙ方向フライアイレンズ１３４ｙの焦点面とＹ方向ズームコンデンサレンズ１３６ｙの前側焦点面とが一致するように配置される。Ｙ方向ズームコンデンサレンズ１３６ｙは、Ｙ方向ズームコンデンサレンズ１３６ｙの後側焦点面とマスク１４０の位置とが一致するように配置される。

[0107] Ｘ方向フライアイレンズ１３４ｘに含まれる複数のシリンドリカル面の各々に入射したレーザ光は、当該シリンドリカル面によって拡大され、Ｘ方向ズームコンデンサレンズ１３６ｘによってマスク１４０に照射される。このとき、複数のシリンドリカル面に入射した光が、マスク１４０上の同じ位置で重ね合わせられ、Ｘ軸方向の光強度分布が均一化される。

Ｙ軸方向についても同様に、Ｙ方向フライアイレンズ１３４ｙとＹ方向ズームコンデンサレンズ１３６ｙとによってＹ軸方向の光強度分布が均一化される。

[0108] このようにして、Ｘ軸方向とＹ軸方向とでそれぞれ光強度分布が均一化され、矩形状の照射領域１４１が形成される。照射領域１４１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘと長辺に平行な方向における照射幅Ｂｙとは、それぞれＸ方向ズームコンデンサレンズ１３６ｘとＹ方向ズームコンデンサレンズ１３６ｙとによって変更することができる。

[0109] 図１２Ａ及び図１２Ｂは、Ｘ方向フライアイレンズ１３４ｘ及びＸ方向ズームコンデンサレンズ１３６ｘの構成例を示す。

Ｘ方向ズームコンデンサレンズ１３６ｘを構成する３枚のシリンドリカルレンズは、２枚のシリンドリカル凸レンズと、２枚のシリンドリカル凸レンズの間に配置された１枚のシリンドリカル凹レンズとを含む。

[0110] Ｘ方向フライアイレンズ１３４ｘと３枚のシリンドリカルレンズの各々との間隔を調整することにより、Ｘ方向ズームコンデンサレンズ１３６ｘの焦点距離が変化する。Ｘ方向ズームコンデンサレンズ１３６ｘの焦点距離を変化させることにより、照射領域１４１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘを変更することができる。照射領域１４１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘは、Ｘ方向ズームコンデンサレンズ１３６ｘの焦点距離に比例する。図１２Ａは短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘを小さくした場合を示し、図１２Ｂは短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘを大きくした場合を示す。なお、図１２Ａ及び図１２Ｂにおいては、Ｘ方向フライアイレンズ１３４ｘから出射した複数の光線のうち、照射領域１４１の中央に集光する第１の光線と、照射領域１４１の右端に集光する第２の光線が示され、他の光線の図示が省略されている。第１の光線と第２の光線との間隔は照射幅Ｂｘの半分である。

[0111] 図１２Ａ及び図１２Ｂに示される３枚構成のＸ方向ズームコンデンサレンズ１３６ｘは、照射幅Ｂｘを変更可能であるだけでなく、さらに以下の条件を満たしている。

（１）瞳面（Ｘ方向フライアイレンズ１３４ｘ）から像面（マスク１４０）までの距離が一定である。

（２）瞳面及び像面でのテレセントリシティが実質的に変化しない。

[0112] Ｘ方向フライアイレンズ１３４ｘに近い位置に配置されたシリンドリカル凸レンズはフォーカシングレンズとして機能する。シリンドリカル凹レンズは前段バリエータとして機能し、マスク１４０に近い位置に配置されたシリンドリカル凸レンズは主バリエータとして機能する。主バリエータはさらに主光線のテレセントリシティを改善させる役割も有している。

[0113] Ｙ方向フライアイレンズ１３４ｙ及びＹ方向ズームコンデンサレンズ１３６ｙの構成は、図１２Ａ及び図１２Ｂを参照しながら説明したものと同様である。

これにより、照射領域１４１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘと長辺に平行な方向における照射幅Ｂｙとを独立に変更することができる。

[0114] あるいは、短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘと長辺に平行な方向における照射幅Ｂｙとの一方を固定して他方のみ変更可能としてもよい。

例えば、図９及び図１０を参照しながら説明したように長辺に平行な方向における照射幅Ｂｙを固定し、短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘのみ変更してフルーエンスを調整可能としてもよい。その場合には、Ｙ方向ズームコンデンサレンズ１３６ｙの代わりに、シリンドリカルレンズを含むコンデンサレンズが用いられてもよい。

また例えば、短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘを固定し、長辺に平行な方向における照射幅Ｂｙのみ変更してフルーエンスを調整可能としてもよい。その場合には、Ｘ方向ズームコンデンサレンズ１３６ｘの代わりに、シリンドリカルレンズを含むコンデンサレンズが用いられてもよい。

[0115] ３．マスク幅に照射幅を合わせるレーザ加工装置

３．１　概要

次に本開示の第２の実施形態について説明する。第２の実施形態の構成は、図８を参照しながら説明した第１の実施形態の構成と同様である。第２の実施形態においては、マスク１４０のＹ軸方向におけるマスク幅Ｂｍｙに、照射領域１４１の長辺に平行な方向における照射幅Ｂｙを一致させる。

[0116] ３．２　動作

３．２．１　レーザ加工条件パラメータの読込

図１３は、第２の実施形態において実行されるレーザ加工条件パラメータの読込の処理内容の例を示すフローチャートである。図１３に示されるフローチャートは、図４のステップＳ１２のサブルーチンに相当しており、上述の比較例における図５のフローチャートの代わりに実行される。

[0117] ステップＳ３１ｂにおいて、レーザ加工制御部１００は、図示せぬ記憶装置から以下のレーザ加工条件パラメータを読み込む。

（ａ）被加工物１６０の表面でのフルーエンスの目標値Ｆｔ

（ｂ）同じ位置への照射パルス数Ｎｐ

（ｃ）繰り返し周波数ｆ

（ｄ）Ｙ軸方向におけるマスク幅Ｂｍｙ

上記（ａ）～（ｃ）については比較例と同様である。（ｄ）のＹ軸方向は、照射領域１４１の長辺に平行な方向に相当する。マスク幅Ｂｍｙは、マスクパターンが形成されたパターン領域１４０ｐの幅でもよい。

レーザ加工制御部１００は、ステップＳ３１ｂの後、図４のメインフローに復帰する。

[0118] ３．２．２　制御パラメータの計算及び設定

図１４は、第２の実施形態において実行されるレーザ加工装置１４の制御パラメータの計算及び設定の処理内容の例を示すフローチャートである。図１４に示されるフローチャートは、図４のステップＳ１６のサブルーチンに相当しており、上述の比較例における図６のフローチャートの代わりに実行される。

[0119] ステップＳ５３ａにおいて、レーザ加工制御部１００は、マスク１４０の表面でのフルーエンスの目標値Ｆｍｔを計算する。ステップＳ５３ａの処理は、図９を参照しながら説明したものと同様である。

[0120] ステップＳ５５ｂにおいて、レーザ加工制御部１００は、マスク１４０の表面でのフルーエンスが目標値Ｆｍｔとなるように、照射領域１４１の短辺

に平行な方向における照射幅Ｂｘの目標値Ｂｘｔを計算する。ここで、照射領域１４１の長辺に平行な方向における照射幅は、Ｙ軸方向におけるマスク幅Ｂｍｙに設定されるものとする。照射領域１４１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘの目標値Ｂｘｔは、次の式（７）で表される。

Ｂｘｔ＝Ｅｔ／（Ｆｍｔ・Ｂｍｙ）　・・・（７）

[0121] ステップＳ５８において、レーザ加工制御部１００は、１軸ステージ１３８の駆動速度の絶対値Ｖｘｍｉを計算する。ステップＳ５８の処理は、図６を参照しながら説明したものと同様である。

[0122] ステップＳ５９ｂにおいて、レーザ加工制御部１００は、ズームコンデンサレンズ１３６ａを制御して、照射領域１４１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘを目標値Ｂｘｔに調節し、長辺に平行な方向における照射幅ＢｙをＹ軸方向におけるマスク幅Ｂｍｙに調節する。

[0123] ステップＳ５９ｂの後、レーザ加工制御部１００は、図１４のフローチャートを抜けて、図４のメインフローに復帰する。

[0124] ３．２．３　マスクにおける照射領域の移動

図１５Ａ及び図１５Ｂは、第２の実施形態においてレーザ光が照射されるマスク１４０の例を示す平面図である。ズームコンデンサレンズ１３６ａは、マスク１４０におけるレーザ光の照射領域１４１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘと長辺に平行な方向における照射幅Ｂｙとの両方を変更可能に構成されている。図１５Ａ及び図１５Ｂの各々に示される初期位置１４１ｓの形状及び大きさは、照射領域１４１の形状及び大きさに相当する。

[0125] 照射領域１４１が、図１５Ａに初期位置１４１ｓとして示されるような形状及び大きさを有する場合には、マスク１４０に照射される光のうちのパターン領域１４０ｐからはみ出た部分が無駄となる。そこで、図１５Ｂに示されるように、長辺に平行な方向における照射幅ＢｙをＹ軸方向におけるマスク幅Ｂｍｙに設定する。さらに、フルーエンスの目標値Ｆｍｔに応じて短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘの目標値Ｂｘｔを設定する。

[0126] 逆に、長辺に平行な方向における照射幅ＢｙがＹ軸方向におけるマスク幅

Ｂｍｙより小さかった場合には、長辺に平行な方向における照射幅Ｂｙを大きくする。

他の点については、第２の実施形態の動作は第１の実施形態の動作と同様である。

[0127] ３．３　作用

第２の実施形態によれば、長辺に平行な方向における照射幅ＢｙをＹ軸方向におけるマスク幅Ｂｍｙに設定するので、マスク１４０のパターン領域１４０ｐを効率よく照射することができ、レーザ光のエネルギーの無駄を抑制できる。

[0128] また、長辺に平行な方向における照射幅Ｂｙを小さくする結果、フルーエンスが目標値Ｆｍｔより高くなる場合には、短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘを大きくすることができる。これにより、ステップＳ５８で計算される１軸ステージ１３８の駆動速度の絶対値Ｖｘｍｉが大きくなる。従って、加工速度を向上させ、スループットを向上させることができる。

[0129] ここでは照射領域１４１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘと長辺に平行な方向における照射幅Ｂｙとの両方を変更する場合について説明したが、本開示はこれに限定されない。Ｙ軸方向におけるマスク幅Ｂｍｙに近づくように長辺に平行な方向における照射幅Ｂｙを変更可能にする一方、短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘは固定しておいてもよい。

[0130] ４．マスクを複数回スキャンするレーザ加工装置

４．１　構成

図１６は、本開示の第３の実施形態に係るレーザ加工装置１４を含むレーザ加工システム１０の構成を概略的に示す。第３の実施形態において、レーザ加工装置１４は、図８に示される１軸ステージ１３８の代わりに、２軸ステージ１３８ｃを含む。なお、１軸ステージ１３８および２軸ステージ１３８ｃは、本開示における移動装置に相当する。

[0131] ２軸ステージ１３８ｃは、整形光学系１３０及び照射領域１４１をＸ軸方向に移動させるだけでなく、Ｙ軸方向にも移動可能に構成されている。

他の点については、第３の実施形態の構成は第１及び第２の実施形態の構成と同様である。

[0132] ４．２　動作

第３の実施形態において、照射領域１４１の長辺に平行な方向における照射幅Ｂｙは、マスク１４０のＹ軸方向におけるマスク幅Ｂｍｙの１／ｎ倍に設定される。ｎは自然数である。そして、レーザ光をＸ軸方向に１回スキャンするごとに、照射領域１４１をＹ軸方向にＢｍｙ／ｎ移動させ、ｎ回スキャンすることによってパターン領域１４０ｐの全体を照射する。

４．２．１　レーザ加工条件パラメータの読込

図１７は、第３の実施形態において実行されるレーザ加工条件パラメータの読込の処理内容の例を示すフローチャートである。図１７に示されるフローチャートは、図４のステップＳ１２のサブルーチンに相当しており、上述の比較例における図５のフローチャートの代わりに実行される。

[0133] ステップＳ３１ｃにおいて、レーザ加工制御部１００は、図示せぬ記憶装置から以下のレーザ加工条件パラメータを読み込む。

（ａ）被加工物１６０の表面でのフルーエンスの目標値Ｆｔ

（ｂ）同じ位置への照射パルス数Ｎｐ

（ｃ）繰り返し周波数ｆ

（ｄ）Ｙ軸方向におけるマスク幅Ｂｍｙ

（ｅ）照射幅の下限値ＢｘＩ

上記（ａ）～（ｄ）については第２の実施形態と同様である。

[0134] 上記（ｅ）の下限値ＢｘＩは、以下の制約から決められる値である。

光学系において、ラグランジュの不変量と呼ばれる値は伝搬により大きくなることはあっても小さくなることはない。像の高さをｈとし、最大光線角度をθとすると、ラグランジュの不変量はｈ・ｔａｎθで与えられる。

[0135] 被加工物１６０の表面でのフルーエンスを高くするためには、上述のように照射領域１４１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘを小さくすればよい。しかし、照射領域１４１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘを小さ

くすると、整形光学系１３０がマスク１４０に入射させる光の最大光線角度が大きくなる。ラグランジュの不変量は小さくならないからである。

[0136] 最大光線角度が大きくなると、最大光線角度が投影光学系１４５の開口数を超えて、光が投影光学系１４５の有効径からはみ出てしまう場合がある。光が投影光学系１４５の有効径からはみ出ると、被加工物１６０の表面でのフルーエンスが低下する。すなわち、照射領域１４１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘをさらに小さくしても、被加工物１６０の表面でのフルーエンスを高くすることができなくなる。従って、照射幅Ｂｘには下限値Ｂｘｌが存在する。

[0137] 整形光学系１３０に入射するレーザ光のビーム径及び発散角を、それぞれＬ、θｄとし、投影光学系１４５の開口数をＮＡとすると、照射幅Ｂｘの下限値Ｂｘｌは次の式（８）で与えられる。

$$Bxl = L \cdot \theta d / NA \quad \cdots (8)$$

[0138] レーザ加工制御部１００は、式（８）を用いた計算によって、照射幅Ｂｘの下限値Ｂｘｌを求めてもよい。

レーザ加工制御部１００は、ステップＳ３１ｃの後、図４のメインフローに復帰する。

[0139] ４．２．２ 制御パラメータの計算及び設定

図１８は、第３の実施形態において実行されるレーザ加工装置１４の制御パラメータの計算及び設定の処理内容の例を示すフローチャートである。図１８に示されるフローチャートは、図４のステップＳ１６のサブルーチンに相当しており、上述の比較例における図６のフローチャートの代わりに実行される。

[0140] ステップＳ５３ａにおいて、レーザ加工制御部１００は、マスク１４０の表面でのフルーエンスの目標値Ｆｍｔを計算する。ステップＳ５３ａの処理は、図９を参照しながら説明したものと同様である。

[0141] ステップＳ５４ｃにおいて、レーザ加工制御部１００は、スキャン回数ｎを初期値１に設定する。スキャン回数ｎは、照射領域１４１がマスク１４０

内でＸ軸方向にスキャンする回数であって、ステップＳ５５ｃ～Ｓ５７ｃの処理によって決定される。

[0142] ステップＳ５５ｃにおいて、レーザ加工制御部１００は、マスク１４０の表面でのフルーエンスが目標値Ｆｍｔとなるように、照射領域１４１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘの目標値Ｂｘｔを計算する。照射領域１４１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘの目標値Ｂｘｔは、次の式（９）で表される。

$$Bxt = n \cdot Et / (Fmt \cdot Bmy) \quad \cdots (9)$$

この式は、右辺にスキャン回数ｎが乗算されている点で、第２の実施形態における式（７）と異なる。第３の実施形態においては、マスク１４０をｎ回スキャンすることにより、Ｙ軸方向におけるマスク幅Ｂｍｙの全体を照射する。

[0143] ステップＳ５６ｃにおいて、レーザ加工制御部１００は、照射領域１４１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘの目標値Ｂｘｔが下限値Ｂｘｌ以上であるか否かを判定する。

[0144] ステップＳ５６ｃにてＮＯと判定された場合、すなわち、照射幅Ｂｘの目標値Ｂｘｔが小さすぎて、光が投影光学系１４５の有効径からはみ出る場合に、レーザ加工制御部１００は、ステップＳ５７ｃに進む。

ステップＳ５７ｃにおいて、レーザ加工制御部１００は、ｎの値に１を加算してｎの値を更新し、その後ステップＳ５５ｃに戻る。こうして、光が投影光学系１４５の有効径からはみ出ないような照射幅Ｂｘの目標値Ｂｘｔが算出されるまで、スキャン回数ｎに１ずつ加算する。

[0145] ステップＳ５６ｃにてＹＥＳと判定された場合、レーザ加工制御部１００は、ステップＳ５８ｃに進む。

ステップＳ５８ｃにおいて、レーザ加工制御部１００は、２軸ステージ１３８ｃのＸ軸方向の駆動速度の絶対値Ｖｘｍｉを計算する。ステップＳ５８ｃの処理は、図６を参照しながら説明したステップＳ５８の処理と同様である。

[0146] ステップＳ５９ｃにおいて、レーザ加工制御部１００は、ズームコンデンサレンズ１３６ａを制御して、照射領域１４１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘを目標値Ｂｘｔに調節し、長辺に平行な方向における照射幅ＢｙをＢｍｙ／ｎに調節する。Ｂｍｙ／ｎは、Ｙ軸方向におけるマスク幅Ｂｍｙをスキャン回数ｎで除算した値であり、マスク幅Ｂｍｙ以下の値となる。第３の実施形態においては、短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘを小さくするだけでは高いフルーエンスを得られない場合に、長辺に平行な方向における照射幅Ｂｙを小さくすることにより、高いフルーエンスを得られるようにする。

[0147] ステップＳ５９ｃの後、レーザ加工制御部１００は、図１８のフローチャートを抜けて、図４のメインフローに復帰する。

[0148] ４．２．３　ビームスキャン加工

図１９は、第３の実施形態において実行されるビームスキャン加工の処理内容の例を示すフローチャートである。図１９に示されるフローチャートは、図４のステップＳ２０のサブルーチンに相当し、上述の比較例における図７のフローチャートの代わりに実行される。

[0149] ステップＳ７１～Ｓ７３において、レーザ加工制御部１００は、パラメータＸａの正負の符号を逆にして、前回設定されたビームスキャン方向と逆方向にビームスキャン方向を切り替える。ステップＳ７１～Ｓ７３の処理は、図７を参照しながら説明したものと同様である。

ステップＳ７２又はＳ７３の後、レーザ加工制御部１００は、Ｓ７４ｃに進む。

[0150] ステップＳ７４ｃにおいて、レーザ加工制御部１００は、２軸ステージ１３８ｃのＸ軸方向の駆動速度をセットする。

ステップＳ７５ｃにおいて、レーザ加工制御部１００は、２軸ステージ１３８ｃのＸ軸方向の駆動を開始させる。

ステップＳ７４ｃ及びＳ７５ｃの処理は、それぞれ、図７を参照しながら説明したステップＳ７４及びＳ７５の処理と同様である。

[0151] ステップＳ７６において、レーザ加工制御部１００は、レーザ制御部２８に対して、目標パルスエネルギーＥｔのデータを送信する。また、レーザ加工制御部１００は、レーザ制御部２８に対して、繰り返し周波数ｆでの発光トリガの出力を開始する。

ステップＳ７７において、レーザ加工制御部１００は、設定されたビームスキャン方向のビームスキャンが終了したか否かの判定を行う。

ステップＳ７７にてＹＥＳと判定された場合、レーザ加工制御部１００は、ステップＳ７８において、発光トリガの出力を停止する。

ステップＳ７６～Ｓ７８の処理は、図７を参照しながら説明したものと同様である。

[0152] ステップＳ７９ｃにおいて、レーザ加工制御部１００は、２軸ステージ１３８ｃのＸ軸方向の駆動を停止させる。ステップＳ７９ｃの処理は、図７を参照しながら説明したステップＳ７９の処理と同様である。

[0153] ステップＳ８０ｃにおいて、レーザ加工制御部１００は、マスク１４０全体の照射が終了したか否かを判定する。

[0154] ｎ回のビームスキャンが終了していない場合は、ステップＳ８０ｃにおいてＮＯと判定される。ステップＳ８０ｃにおいてＮＯと判定された場合、レーザ加工制御部１００は、ステップＳ８１ｃに進む。

ステップＳ８１ｃにおいて、レーザ加工制御部１００は、２軸ステージ１３８ｃをＹ軸方向にＢｍｙ／ｎ駆動する。Ｂｍｙ／ｎは、図１８のステップＳ５９ｃにおいて設定された長辺に平行な方向における照射幅に相当する。

ステップＳ８１ｃの後、レーザ加工制御部１００は、ステップＳ７１に戻り、ビームスキャン方向を切り替えて、ｎ回のビームスキャンが終了するまでステップＳ７１からステップＳ８０ｃまでの処理を繰り返す。

[0155] ｎ回のビームスキャンが終了した場合は、ステップＳ８０ｃにおいてＹＥＳと判定される。ステップＳ８０ｃにおいてＹＥＳと判定された場合、レーザ加工制御部１００は、図１９のフローチャートを抜けて、図４のメインフローに復帰する。

[0156] ４．２．４　マスクにおける照射領域の移動

図２０Ａ及び図２０Ｂは、第３の実施形態においてレーザ光が照射されるマスク１４０の例を示す平面図である。ズームコンデンサレンズ１３６ａは、マスク１４０におけるレーザ光の照射領域１４１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘと長辺に平行な方向における照射幅Ｂｙとの両方を変更可能に構成されている。図２０Ａ及び図２０Ｂの各々に示される初期位置１４１ｓの形状及び大きさは、照射領域１４１の形状及び大きさに相当する。

[0157] 照射領域１４１の長辺に平行な方向における照射幅Ｂｙが、図２０Ａに初期位置１４１ｓとして示されるようにＹ軸方向におけるマスク幅Ｂｍｙに一致する場合に、短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘを調節するだけでは高いフルーエンスを得られないことがある。そこで、図２０Ｂに示されるように、長辺に平行な方向における照射幅ＢｙをＢｍｙ／ｎに設定することにより、高いフルーエンスが得られるようにする。さらに、フルーエンスの目標値Ｆｍｔに応じて、短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘの目標値Ｂｘｔを設定する。

[0158] そして、２軸ステージ１３８ｃを駆動することにより、照射領域１４１を図２０Ｂの初期位置１４１ｓからＸ軸方向に移動させて１回目のビームスキャンを行った後、Ｙ軸方向にＢｍｙ／ｎ移動させる。さらに、図２０Ｂの初期位置１４２ｓから、１回目のビームスキャンと反対方向に照射領域１４１を移動させて２回目のビームスキャンを行う。ｎ回のビームスキャンを行うことにより、マスク１４０全体の照射を行う。

[0159] ４．２．５　被加工物における照射領域の移動

図２１は、第３の実施形態における被加工物１６０のレーザ加工方法の例を示す平面図である。図２１に示される「Ｓ＃１」から「Ｓ＃１２」までの加工対象領域は図３を参照しながら説明したものと同様である。

[0160] まず、マスク１４０の倒立像が形成される領域に最初の加工対象領域Ｓ＃１が一致するように、ＸＹＺステージ７４を動作させて被加工物１６０を移動させ、ＸＹＺステージ７４を停止させる。

そして、マスク１４０にレーザ光を照射し、マスク１４０におけるレーザ光の照射領域１４１を、２軸ステージ１３８ｃにより図２０Ｂの初期位置１４１ｓから右方向に移動させる。これにより、被加工物１６０におけるレーザ光の照射領域１６１が、図２１における加工対象領域Ｓ＃１の初期位置１６１ｓから左方向に移動する。１回目のビームスキャン動作が終わったら、レーザ光の照射を停止させる。

[0161] その後、マスク１４０におけるレーザ光の照射領域１４１を２軸ステージ１３８ｃにより図２０Ｂの上方向にＢｍｙ／ｎ移動させる。これにより、被加工物１６０におけるレーザ光の照射領域１６１は図２１の下方向に移動する。

そして、マスク１４０にレーザ光を照射し、マスク１４０におけるレーザ光の照射領域１４１を、２軸ステージ１３８ｃにより図２０Ｂの初期位置１４２ｓから左方向に移動させる。これにより、被加工物１６０におけるレーザ光の照射領域１６１が、図２１における加工対象領域Ｓ＃１の初期位置１６２ｓから右方向に移動する。２回目のビームスキャン動作が終わったら、レーザ光の照射を停止させる。

ｎ回のビームスキャン動作によって、加工対象領域Ｓ＃１の加工が完了する。

[0162] 次に、マスク１４０の倒立像が形成される領域に次の加工対象領域Ｓ＃２が一致するように、ＸＹＺステージ７４を動作させて被加工物１６０を移動させ、ＸＹＺステージ７４を停止させる。その後、最初の加工対象領域Ｓ＃１を加工したときと同様に、ｎ回のビームスキャン動作を行う。但し、マスク１４０におけるレーザ光の照射領域１４１の移動経路は、最初の加工対象領域Ｓ＃１を加工したときの移動経路と反対方向となる。従って、被加工物１６０におけるレーザ光の照射領域１６１は、図２１における加工対象領域Ｓ＃２の初期位置１６１ｓから左方向に移動し、上方向に移動した後、初期位置１６２ｓから右方向に移動する。

[0163] このようにして、ＸＹＺステージ７４をＸ軸方向又はＹ軸方向に動作させ

ることにより、「Ｓ＃１」、「Ｓ＃２」、「Ｓ＃３」、・・・、「Ｓ＃１２」の順番に、加工対象領域が変更される。加工対象領域ごとにｎ回のビームスキャンが実施されることにより、レーザ加工が行われる。

他の点については、第３の実施形態の動作は第１の実施形態の動作と同様である。

[0164] ４．３　作用

第３の実施形態によれば、照射領域１４１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘを小さくしても所望のフルーエンスを得られない場合に、長辺に平行な方向における照射幅Ｂｙを小さくする。これにより、レーザ装置１２の設定を変えなくても、高いフルーエンスでのレーザ加工が可能となる。

[0165] ここでは照射領域１４１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘと長辺に平行な方向における照射幅Ｂｙとの両方を変更する場合について説明したが、本開示はこれに限定されない。Ｙ軸方向におけるマスク幅Ｂｍｙとフルーエンスの目標値Ｆｍｔとに応じて長辺に平行な方向における照射幅ＢｙをＢｍｙ／ｎに変更可能にする一方、短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘは固定しておいてもよい。

[0166] ５．整形光学系への入射光を拡大縮小可能なレーザ加工装置

５．１　構成

図２２は、本開示の第４の実施形態に係るレーザ加工装置１４を含むレーザ加工システム１０の構成を概略的に示す。第４の実施形態において、レーザ加工装置１４は、拡大縮小光学系１７０ｄを含む。拡大縮小光学系１７０ｄは、高反射ミラー１１２と整形光学系１３０との間のレーザ光の光路に配置されている。

[0167] 図２３Ａ及び図２３Ｂは、第４の実施形態における拡大縮小光学系１７０ｄの構成例を、Ｘ方向フライアイレンズ１３４ｘ及びＸ方向ズームコンデンサレンズ１３６ｘとともに示す。Ｘ方向フライアイレンズ１３４ｘ及びＸ方向ズームコンデンサレンズ１３６ｘについては、図１２Ａ及び図１２Ｂを参照しながら説明したものと同様である。

[0168] 図２３Ａ及び図２３Ｂに示される拡大縮小光学系１７０ｄは、例えば、３枚のシリンドリカルレンズを含む。３枚のシリンドリカルレンズは、２枚のシリンドリカル凸レンズと、２枚のシリンドリカル凸レンズの間に配置された１枚のシリンドリカル凹レンズとを含む。

[0169] ３枚のシリンドリカルレンズの各々の位置を調整することにより、拡大縮小光学系１７０ｄの焦点距離が変化する。拡大縮小光学系１７０ｄの焦点距離を変えることにより、Ｘ方向フライアイレンズ１３４ｘにおけるレーザ光の照射領域１３１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘｆを変更することができる。Ｘ方向フライアイレンズ１３４ｘにおけるレーザ光の照射領域１３１は、本開示における第３の照射領域に相当する。照射領域１３１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘｆは、拡大縮小光学系１７０ｄの焦点距離に比例する。なお、図２３Ａ及び図２３Ｂにおいては、レーザ装置１２から出射した光線のうち、照射領域１３１の中央に集光する第１の光線と、照射領域１３１の右端に集光する第２の光線が示され、他の光線の図示が省略されている。第１の光線と第２の光線との間隔は、照射領域１３１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘｆの半分である。

[0170] このように、拡大縮小光学系１７０ｄの構成は、Ｘ方向ズームコンデンサレンズ１３６ｘの構成と同様である。但し、拡大縮小光学系１７０ｄを構成するシリンドリカルレンズのレンズ径は、Ｘ方向ズームコンデンサレンズ１３６ｘを構成するシリンドリカルレンズのレンズ径より小さくてよい。

[0171] 図２３Ａ及び図２３Ｂには、拡大縮小光学系１７０ｄとして短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘｆを変更する光学系が示されているが、本開示はこれに限定されない。拡大縮小光学系１７０ｄとして、Ｘ方向フライアイレンズ１３４ｘにおけるレーザ光の照射領域１３１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘｆを変更する第１の光学系の代わりに、Ｙ方向フライアイレンズ１３４ｙにおけるレーザ光の照射領域の長辺に平行な方向における照射幅を変更する第２の光学系が配置されてもよい。

さらに、第１の光学系と第２の光学系との両方が配置されてもよい。

[0172] また、拡大縮小光学系１７０ｄは、シリンドリカルレンズを含む光学系に限定されるものではなく、プリズムを含む光学系であってもよい。

[0173] 他の点については、第４の実施形態の構成は第１及び第２の実施形態の構成と同様である。あるいは、第３の実施形態と同様に、レーザ加工装置１４が１軸ステージ１３８の代わりに２軸ステージ１３８ｃを含んでもよい。

[0174] ５．２ 動作

第４の実施形態においては、Ｘ方向ズームコンデンサレンズ１３６ｘの倍率を小さくして照射領域１４１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘを小さくする場合に、拡大縮小光学系１７０ｄにより照射領域１３１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘｆを小さくする。逆に、照射幅Ｂｘを大きくする場合に、照射幅Ｂｘｆを大きくする。長辺に平行な方向すなわちＹ軸方向についても同様である。その理由は以下の通りである。

[0175] 例えば、図１２Ａ及び図１２Ｂに示されるように、照射領域１４１の短辺に平行な方向における照射幅Ｂｘを小さくすると、Ｘ方向ズームコンデンサレンズ１３６ｘがマスク１４０に入射させる光の最大光線角度θが大きくなる。図１２Ａ及び図１２Ｂには、最大光線角度θの２倍に相当する角度が示されている。

[0176] 最大光線角度が変化すると、マスク１４０に対する照明条件が変化し、加工性能が意図せずに変化することがある。照射領域１４１の照射幅を短辺に平行な方向又は長辺に平行な方向の一方だけ変化させる場合や、照射領域１４１の照射幅を短辺に平行な方向と長辺に平行な方向とで別々に変化させる場合には、加工性能が短辺に平行な方向と長辺に平行な方向とで異なることになる。例えば、円形パターンを加工しようとしたときに楕円形に加工される可能性がある。

[0177] 第４の実施形態においては、ズームコンデンサレンズ１３６ａの倍率を変化させても加工性能の意図しない変化が抑制されるように、拡大縮小光学系１７０ｄが照射領域１３１における照射幅を変化させる。

[0178] 拡大縮小光学系１７０ｄは、拡大縮小光学系１７０ｄの焦点距離Ｆｏがズ

ームコンデンサレンズ１３６ａの焦点距離Ｆｚに比例するように設定される。拡大縮小光学系１７０ｄの焦点距離Ｆｏの設定は、以下のように行われる。

まず、拡大縮小光学系１７０ｄの倍率Ｍｏを、次の式（１０）に基づいて計算する。

Ｆｚ／Ｆｚｍｉｎ＝Ｍｏ／Ｍｚｍｉｎ　・・・（１０）

Ｆｚは、ズームコンデンサレンズ１３６ａの焦点距離である。

Ｆｚｍｉｎは、マスク１４０におけるレーザ光の照射領域１４１の照射幅を最小としたときのズームコンデンサレンズ１３６ａの焦点距離である。

Ｍｚｍｉｎは、マスク１４０におけるレーザ光の照射領域１４１の照射幅を最小としたときのズームコンデンサレンズ１３６ａの倍率である。

[0179] 次に、拡大縮小光学系１７０ｄの焦点距離Ｆｏを、次の式（１１）により計算する。

Ｆｏ＝Ｍｏ・Ｆｏｍｉｎ　・・・（１１）

Ｆｏｍｉｎは、フライアイレンズ１３４におけるレーザ光の照射領域１３１の照射幅を最小としたときの拡大縮小光学系１７０ｄの焦点距離である。

算出された焦点距離Ｆｏに基づいて、拡大縮小光学系１７０ｄを構成する３枚のシリンドリカルレンズの位置が決定される。

[0180] 拡大縮小光学系１７０ｄとして上述の第１の光学系と第２の光学系との両方が配置される場合には、拡大縮小光学系１７０ｄの焦点距離Ｆｏの設定は、Ｘ軸方向とＹ軸方向とで別々に行われる。

[0181] ５．３　作用

第４の実施形態によれば、ズームコンデンサレンズ１３６ａの調節に連動して、拡大縮小光学系１７０ｄを調節する。これにより、ズームコンデンサレンズ１３６ａの倍率を変化させても、加工性能の意図しない変化が抑制される。

[0182] ６．　その他

上記の説明は、制限ではなく単なる例示を意図したものである。従って、

添付の特許請求の範囲を逸脱することなく本開示の実施形態に変更を加えることができることは、当業者には明らかであろう。

[0183] 本明細書及び添付の特許請求の範囲全体で使用される用語は、「限定的でない」用語と解釈されるべきである。例えば、「含む」又は「含まれる」という用語は、「含まれるものとして記載されたものに限定されない」と解釈されるべきである。「有する」という用語は、「有するものとして記載されたものに限定されない」と解釈されるべきである。また、本明細書及び添付の特許請求の範囲に記載される修飾句「１つの」は、「少なくとも１つ」又は「１又はそれ以上」を意味すると解釈されるべきである。

請求の範囲

[請求項1] 被加工物を載置する載置台と、

レーザ光の一部を遮断するように構成されたマスクにおける前記レーザ光の第１の照射領域が短辺及び長辺を有する矩形状となるように、前記レーザ光を整形し、前記短辺に平行な方向における前記第１の照射領域の第１の照射幅と、前記長辺に平行な方向における前記第１の照射領域の第２の照射幅と、の一方を固定し他方を変更可能に構成された整形光学系と、

前記マスクのパターンを前記載置台に載置された前記被加工物に投影するように構成された投影光学系と、

前記第１の照射領域を少なくとも前記短辺に平行な方向に移動させて、前記載置台に載置された前記被加工物における前記レーザ光の第２の照射領域を移動させる移動装置と、

を備えた、レーザ加工装置。

[請求項2] 請求項１記載のレーザ加工装置であって、

制御部をさらに備え、

前記整形光学系は、前記第２の照射幅を固定し前記第１の照射幅を変更可能に構成され、

前記制御部は、前記第１の照射幅を変更することにより、前記載置台に載置された前記被加工物における前記レーザ光のフルーエンスが目標値に近づくように、前記整形光学系を制御する、

レーザ加工装置。

[請求項3] 請求項２記載のレーザ加工装置であって、

前記レーザ光はパルスレーザ光であり、

前記制御部は、前記第１の照射領域の前記短辺に平行な方向の移動速度Ｖｘｍの絶対値が以下の値に近づくように前記移動装置を制御する、

$$|Vxm| = f \cdot Bx / Np$$

但し、ｆは前記パルスレーザ光の繰り返し周波数、Ｂｘは前記第１の照射幅、Ｎｐは同じ位置への照射パルス数である、

レーザ加工装置。

[請求項4] 請求項１記載のレーザ加工装置であって、

制御部をさらに備え、

前記整形光学系は、前記第１の照射幅を固定し前記第２の照射幅を変更可能に構成され、

前記制御部は、前記第２の照射幅が前記長辺に平行な方向における前記マスクの幅に近づくように、前記整形光学系を制御する、

レーザ加工装置。

[請求項5] 請求項１記載のレーザ加工装置であって、

制御部をさらに備え、

前記整形光学系は、前記第１の照射幅を固定し前記第２の照射幅を変更可能に構成され、

前記制御部は、

前記第２の照射幅が前記長辺に平行な方向における前記マスクの幅より小さくなるように、前記整形光学系を制御し、

前記第１の照射領域が前記短辺に平行な方向に移動した後、前記第１の照射領域が前記長辺に平行な方向に移動し、その後、前記第１の照射領域が前記短辺に平行な方向に移動するように、前記移動装置を制御する、

レーザ加工装置。

[請求項6] 請求項１記載のレーザ加工装置であって、

前記整形光学系は、

フライアイレンズと、

前記フライアイレンズを通過した前記レーザ光が入射するズームレンズと、

を含む、レーザ加工装置。

[請求項7] 請求項６記載のレーザ加工装置であって、

前記ズームレンズは３枚のシリンドリカルレンズを含む、

レーザ加工装置。

[請求項8] 請求項６記載のレーザ加工装置であって、

前記フライアイレンズにおける前記レーザ光の第３の照射領域の大きさを変更するように構成された拡大縮小光学系をさらに備えた、

レーザ加工装置。

[請求項9] 請求項８記載のレーザ加工装置であって、

制御部をさらに備え、

前記制御部は、

前記整形光学系を制御して前記第１の照射領域を小さくする場合に、前記拡大縮小光学系を制御して前記第３の照射領域を縮小し、

前記整形光学系を制御して前記第１の照射領域を大きくする場合に、前記拡大縮小光学系を制御して前記第３の照射領域を拡大する、

レーザ加工装置。

[請求項10] 被加工物を載置する載置台と、

レーザ光の一部を遮断するように構成されたマスクにおける前記レーザ光の第１の照射領域が短辺及び長辺を有する矩形状となるように、前記レーザ光を整形し、前記短辺に平行な方向における前記第１の照射領域の第１の照射幅と、前記長辺に平行な方向における前記第１の照射領域の第２の照射幅と、を独立に変更可能に構成された整形光学系と、

前記マスクのパターンを前記載置台に載置された前記被加工物に投影するように構成された投影光学系と、

前記第１の照射領域を少なくとも前記短辺に平行な方向に移動させて、前記載置台に載置された前記被加工物における前記レーザ光の第２の照射領域を移動させる移動装置と、

を備えた、レーザ加工装置。

[請求項11] 請求項１０記載のレーザ加工装置であって、

制御部をさらに備え、

前記制御部は、前記第１の照射幅を変更することにより、前記載置台に載置された前記被加工物における前記レーザ光のフルーエンスが目標値に近づくように、前記整形光学系を制御する、

レーザ加工装置。

[請求項12] 請求項１１記載のレーザ加工装置であって、

前記レーザ光はパルスレーザ光であり、

前記制御部は、前記第１の照射領域の前記短辺に平行な方向の移動速度Ｖｘｍの絶対値が以下の値に近づくように前記移動装置を制御する、

$$|Vxm| = f \cdot Bx / Np$$

但し、ｆは前記パルスレーザ光の繰り返し周波数、Ｂｘは前記第１の照射幅、Ｎｐは同じ位置への照射パルス数である、

レーザ加工装置。

[請求項13] 請求項１０記載のレーザ加工装置であって、

制御部をさらに備え、

前記制御部は、前記第２の照射幅が前記長辺に平行な方向における前記マスクの幅に近づくように、前記整形光学系を制御する、

レーザ加工装置。

[請求項14] 請求項１０記載のレーザ加工装置であって、

制御部をさらに備え、

前記制御部は、

前記第２の照射幅が前記長辺に平行な方向における前記マスクの幅より小さくなるように、前記整形光学系を制御し、

前記第１の照射領域が前記短辺に平行な方向に移動した後、前記第１の照射領域が前記長辺に平行な方向に移動し、その後、前記第１の照射領域が前記短辺に平行な方向に移動するように、前記移動装置を

制御する、

レーザ加工装置。

[請求項15] 請求項１０記載のレーザ加工装置であって、

前記整形光学系は、

フライアイレンズと、

前記フライアイレンズを通過した前記レーザ光が入射するズームレンズと、

を含む、レーザ加工装置。

[請求項16] 被加工物の加工方法であって、

前記被加工物を載置する載置台と、

レーザ光の一部を遮断するように構成されたマスクにおける前記レーザ光の第１の照射領域が短辺及び長辺を有する矩形状となるように、前記レーザ光を整形し、前記短辺に平行な方向における前記第１の照射領域の第１の照射幅と、前記長辺に平行な方向における前記第１の照射領域の第２の照射幅と、の一方を固定し他方を変更可能に構成された整形光学系と、

前記マスクのパターンを前記載置台に載置された前記被加工物に投影するように構成された投影光学系と、

前記第１の照射領域を少なくとも前記短辺に平行な方向に移動させて、前記載置台に載置された前記被加工物における前記レーザ光の第２の照射領域を移動させる移動装置と、

を備えたレーザ加工装置を用いて、

前記第１の照射領域が矩形状となるように前記レーザ光を整形し、

前記マスクのパターンを前記載置台に載置された前記被加工物に投影し、

前記第１の照射領域を少なくとも前記短辺に平行な方向に移動させること

を含む被加工物の加工方法。

[請求項17] 被加工物の加工方法であって、

前記被加工物を載置する載置台と、

レーザ光の一部を遮断するように構成されたマスクにおける前記レーザ光の第１の照射領域が短辺及び長辺を有する矩形状となるように、前記レーザ光を整形し、前記短辺に平行な方向における前記第１の照射領域の第１の照射幅と、前記長辺に平行な方向における前記第１の照射領域の第２の照射幅と、を独立に変更可能に構成された整形光学系と、

前記マスクのパターンを前記載置台に載置された前記被加工物に投影するように構成された投影光学系と、

前記第１の照射領域を少なくとも前記短辺に平行な方向に移動させて、前記載置台に載置された前記被加工物における前記レーザ光の第２の照射領域を移動させる移動装置と、

を備えたレーザ加工装置を用いて、

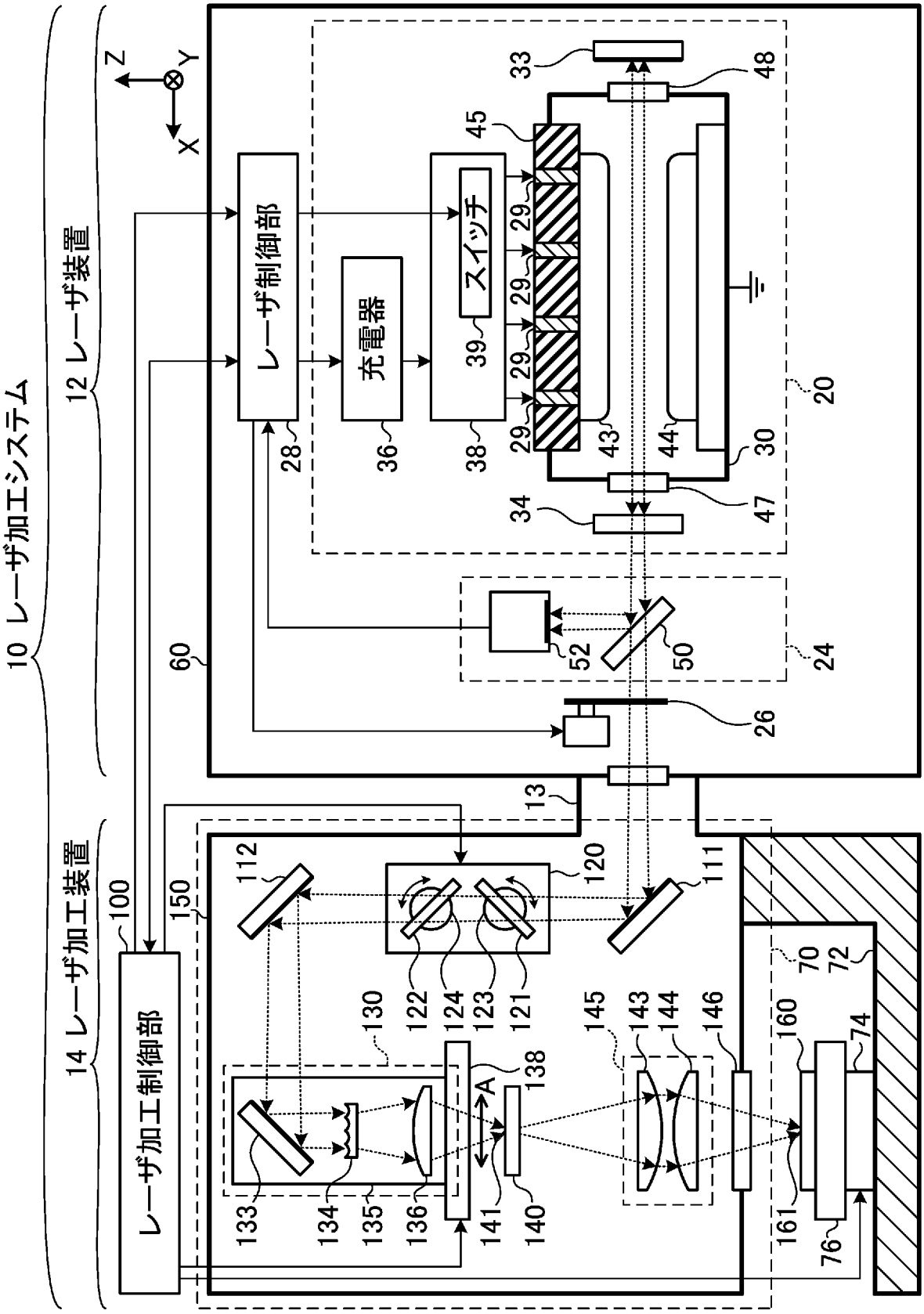
前記第１の照射領域が矩形状となるように前記レーザ光を整形し、

前記マスクのパターンを前記載置台に載置された前記被加工物に投影し、

前記第１の照射領域を少なくとも前記短辺に平行な方向に移動させること

を含む被加工物の加工方法。

[図1]


10 レーザ加工システム
12 レーザ装置
14 レーザ加工装置
レーザ制御部
充電器
スイッチ
レーザ加工制御部
Z
Y
X
A
20
24
26
28
30
33
34
36
38
39
43
44
45
47
48
50
52
60
70
72
74
76
100
111
112
120
121
122
123
124
130
133
134
135
136
138
140
141
143
144
145
146
150
160
161
29

[図2]

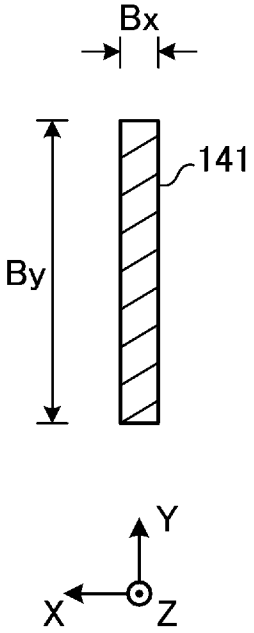

Bx
141
By
Y
X
Z

図 2A

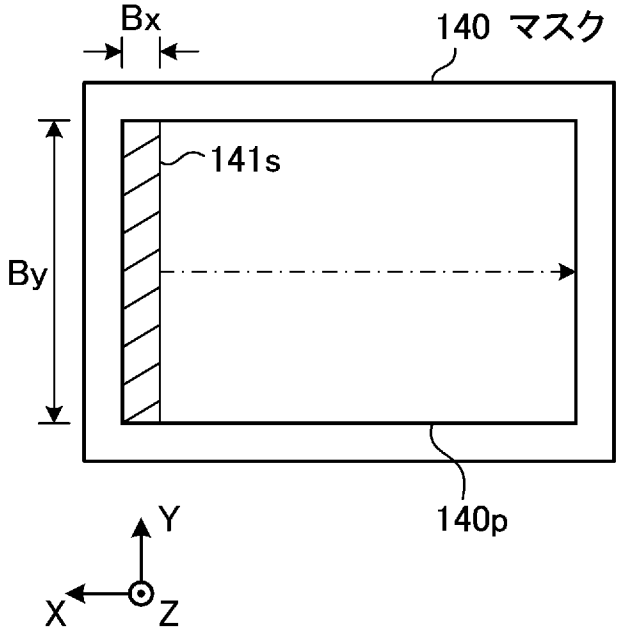
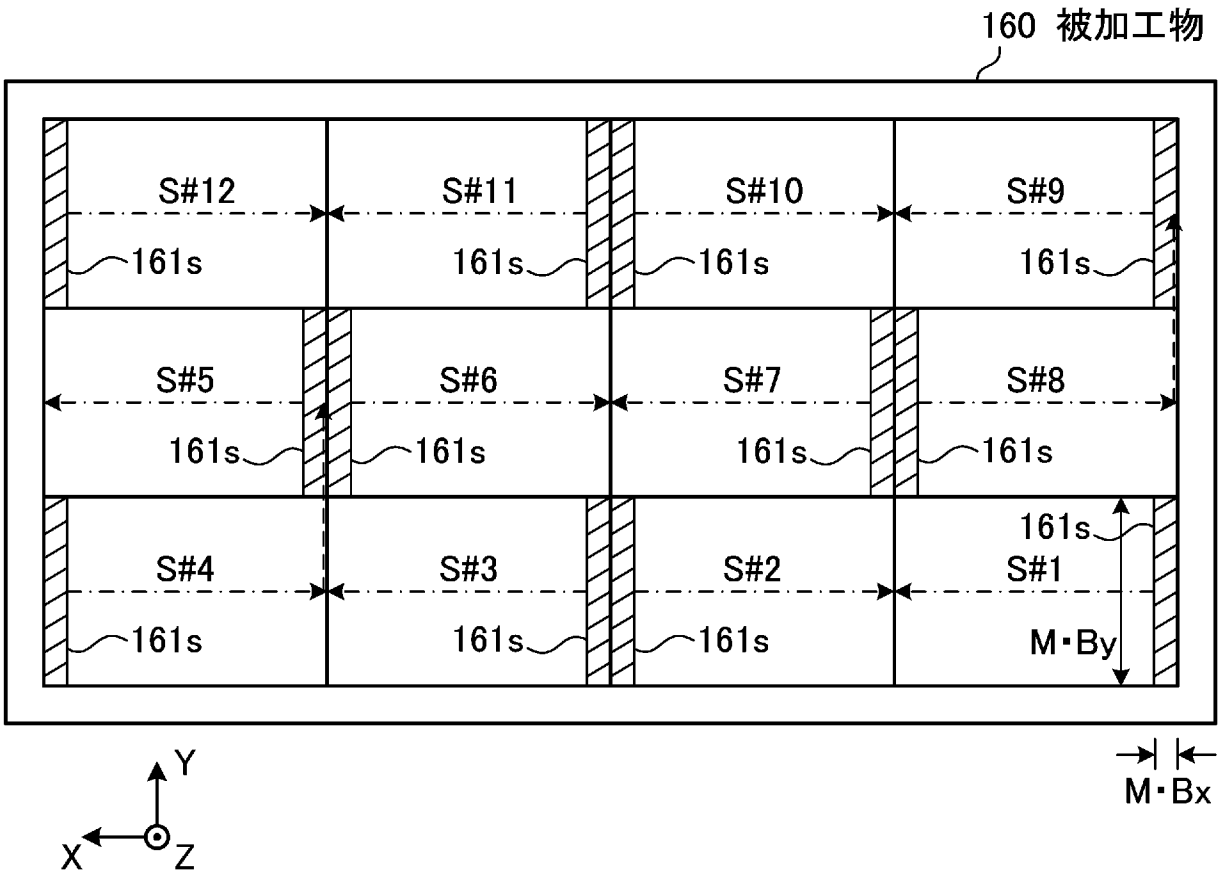
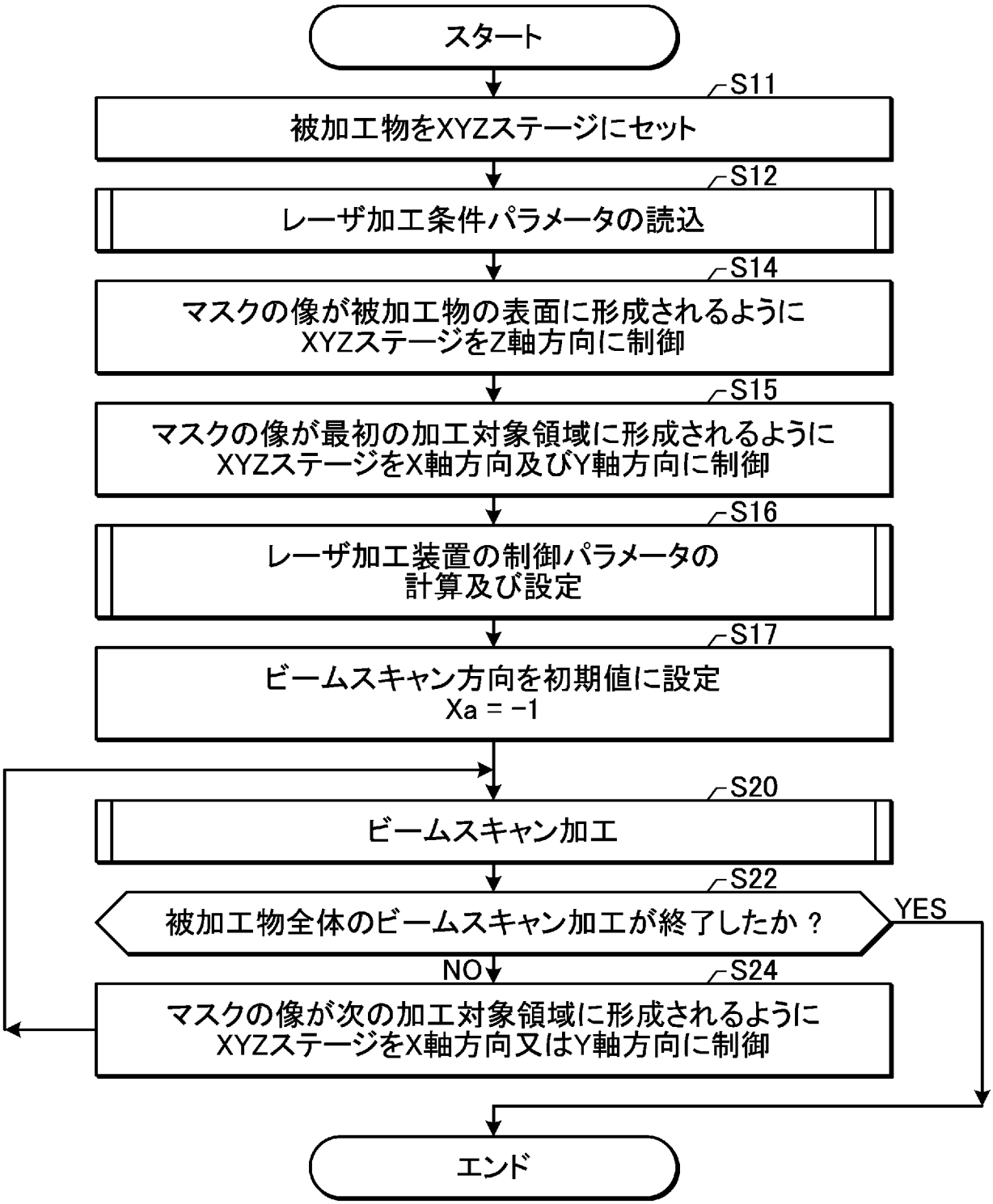

Bx
140 マスク
141s
By
140p
Y
X
Z

図 2B

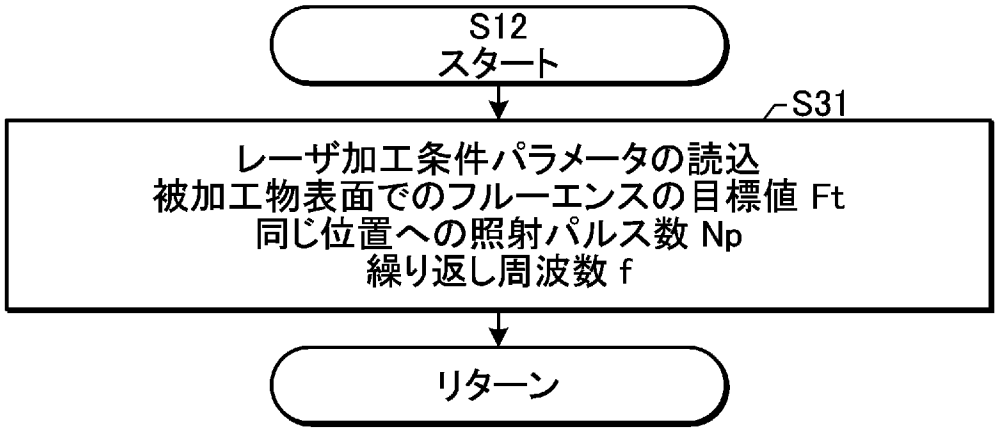
[図3]


160 被加工物
S#12
S#11
S#10
S#9
161s
S#5
S#6
S#7
S#8
S#4
S#3
S#2
S#1
M・By
M・Bx
Y
X
Z

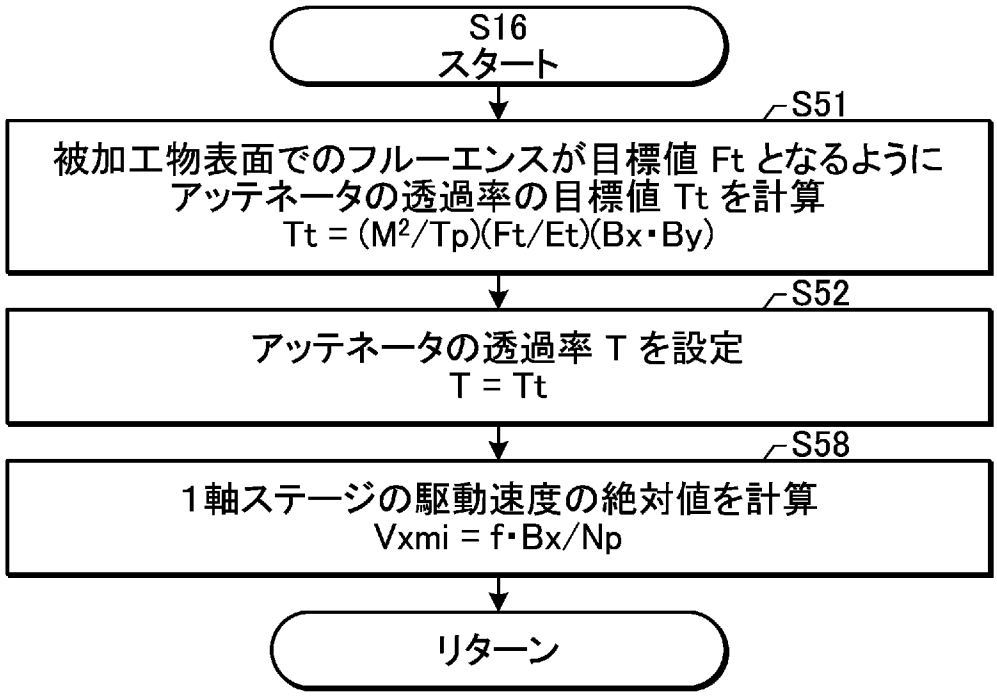
[図4]


スタート
S11
被加工物をXYZステージにセット
S12
レーザ加工条件パラメータの読込
S14
マスクの像が被加工物の表面に形成されるように
XYZステージをZ軸方向に制御
S15
マスクの像が最初の加工対象領域に形成されるように
XYZステージをX軸方向及びY軸方向に制御
S16
レーザ加工装置の制御パラメータの
計算及び設定
S17
ビームスキャン方向を初期値に設定
Xa = −1
S20
ビームスキャン加工
S22
被加工物全体のビームスキャン加工が終了したか？
YES
NO
S24
マスクの像が次の加工対象領域に形成されるように
XYZステージをX軸方向又はY軸方向に制御
エンド

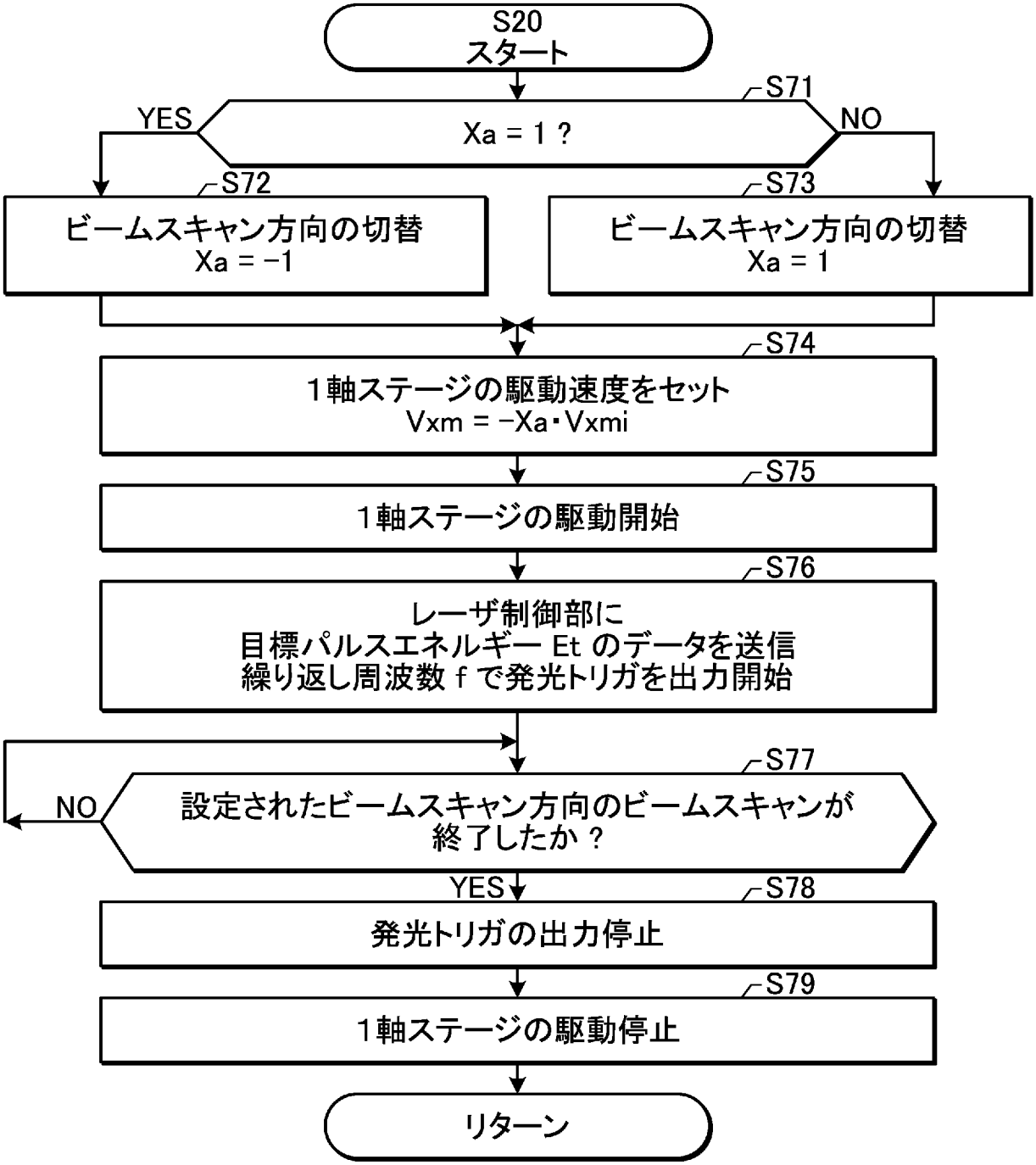
[図5]


S12
スタート
S31
レーザ加工条件パラメータの読込
被加工物表面でのフルーエンスの目標値 Ft
同じ位置への照射パルス数 Np
繰り返し周波数 f
リターン

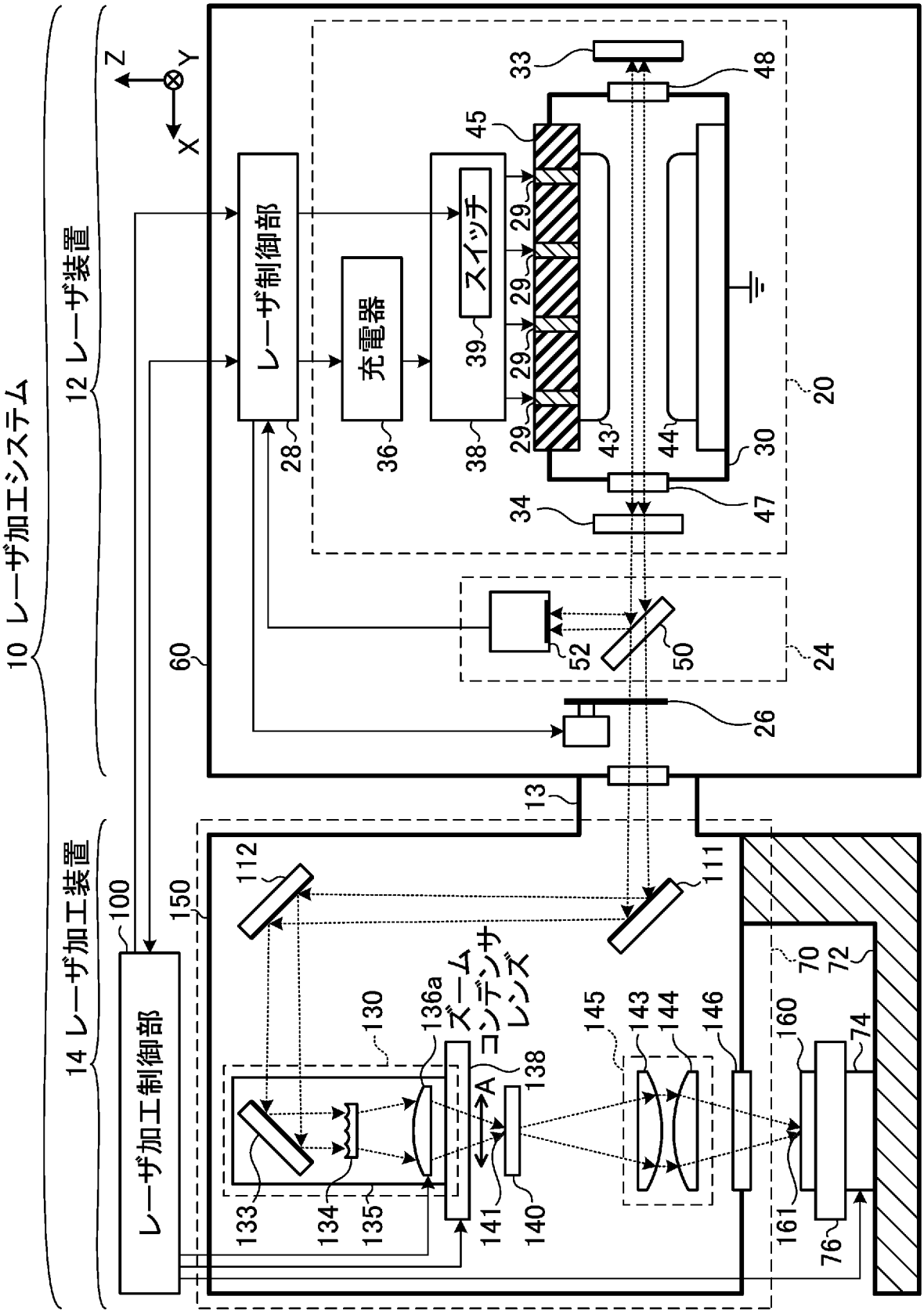
[図6]


S16
スタート
S51
被加工物表面でのフルーエンスが目標値 Ft となるように
アッテネータの透過率の目標値 Tt を計算
Tt = (M²/Tp)(Ft/Et)(Bx・By)
S52
アッテネータの透過率 T を設定
T = Tt
S58
1軸ステージの駆動速度の絶対値を計算
Vxmi = f・Bx/Np
リターン

[図7]


S20
スタート
S71
Xa = 1 ?
YES
NO
S72
ビームスキャン方向の切替
Xa = −1
S73
ビームスキャン方向の切替
Xa = 1
S74
1軸ステージの駆動速度をセット
Vxm = −Xa・Vxmi
S75
1軸ステージの駆動開始
S76
レーザ制御部に
目標パルスエネルギー Et のデータを送信
繰り返し周波数 f で発光トリガを出力開始
S77
NO
設定されたビームスキャン方向のビームスキャンが
終了したか ?
YES
S78
発光トリガの出力停止
S79
1軸ステージの駆動停止
リターン

[図8]


10 レーザ加工システム
12 レーザ装置
14 レーザ加工装置
Z
Y
X
レーザ制御部
充電器
スイッチ
レーザ加工制御部
ズームコンデンサレンズ
A
20
24
26
28
30
33
34
36
38
39
43
44
45
47
48
50
52
60
70
72
74
76
100
111
112
130
133
134
135
136a
138
140
141
143
144
145
146
150
160
161
29

[図9]

[図10]

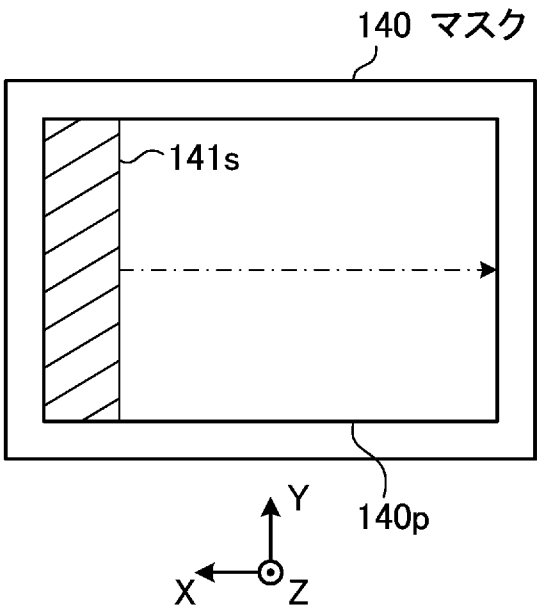


図 10A

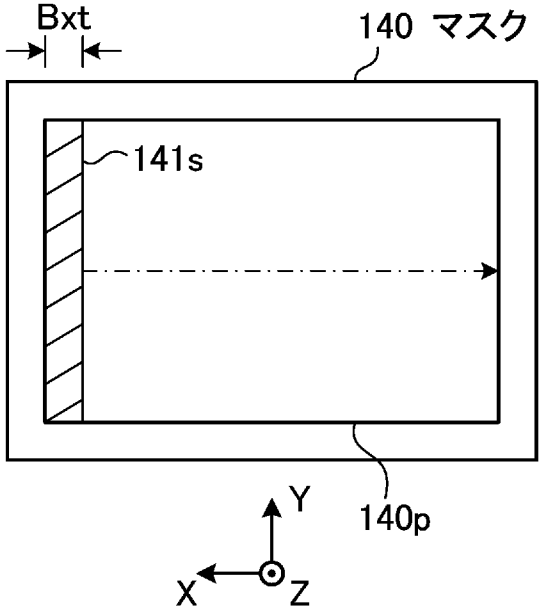


図 10B

[図11]

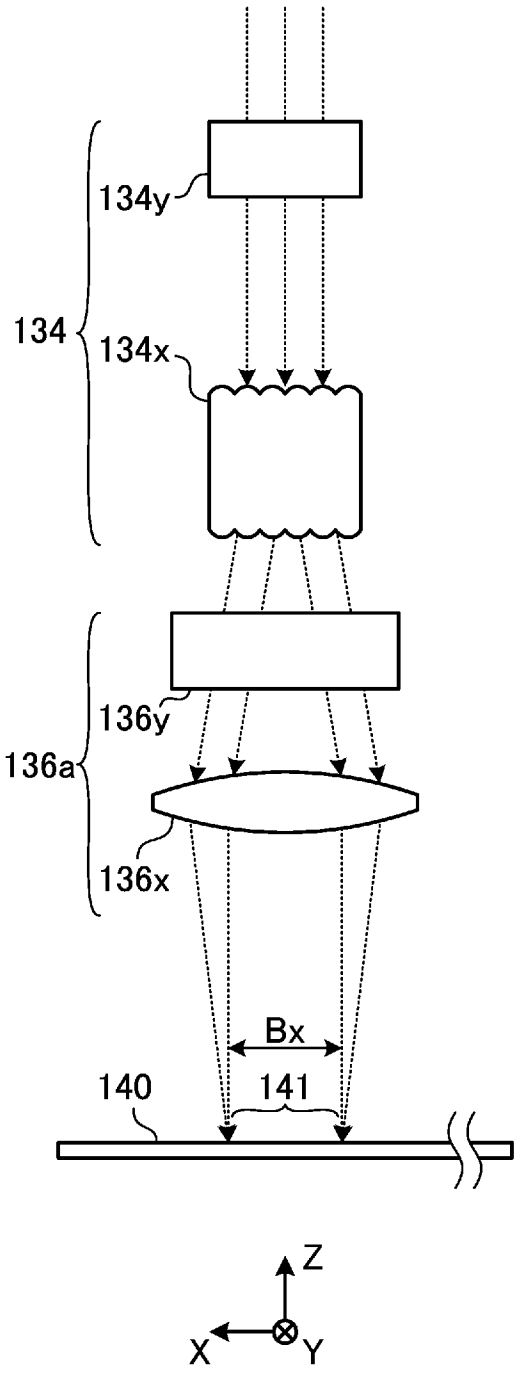


図 11A

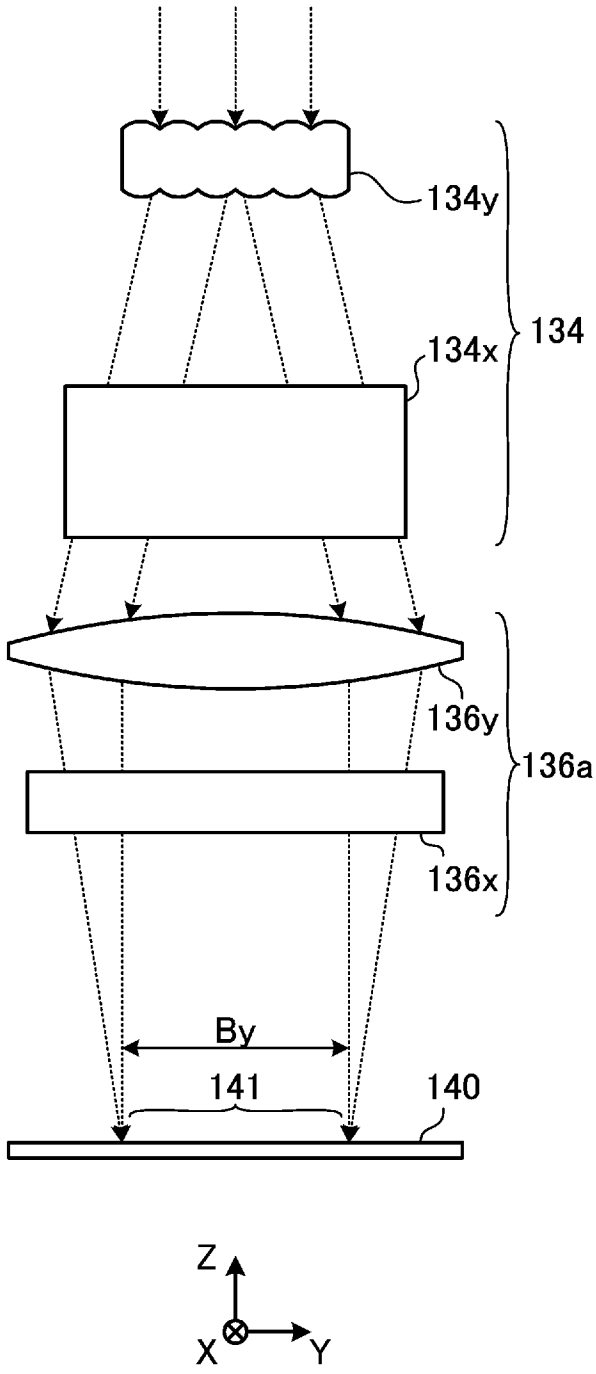


図 11B

[図12]

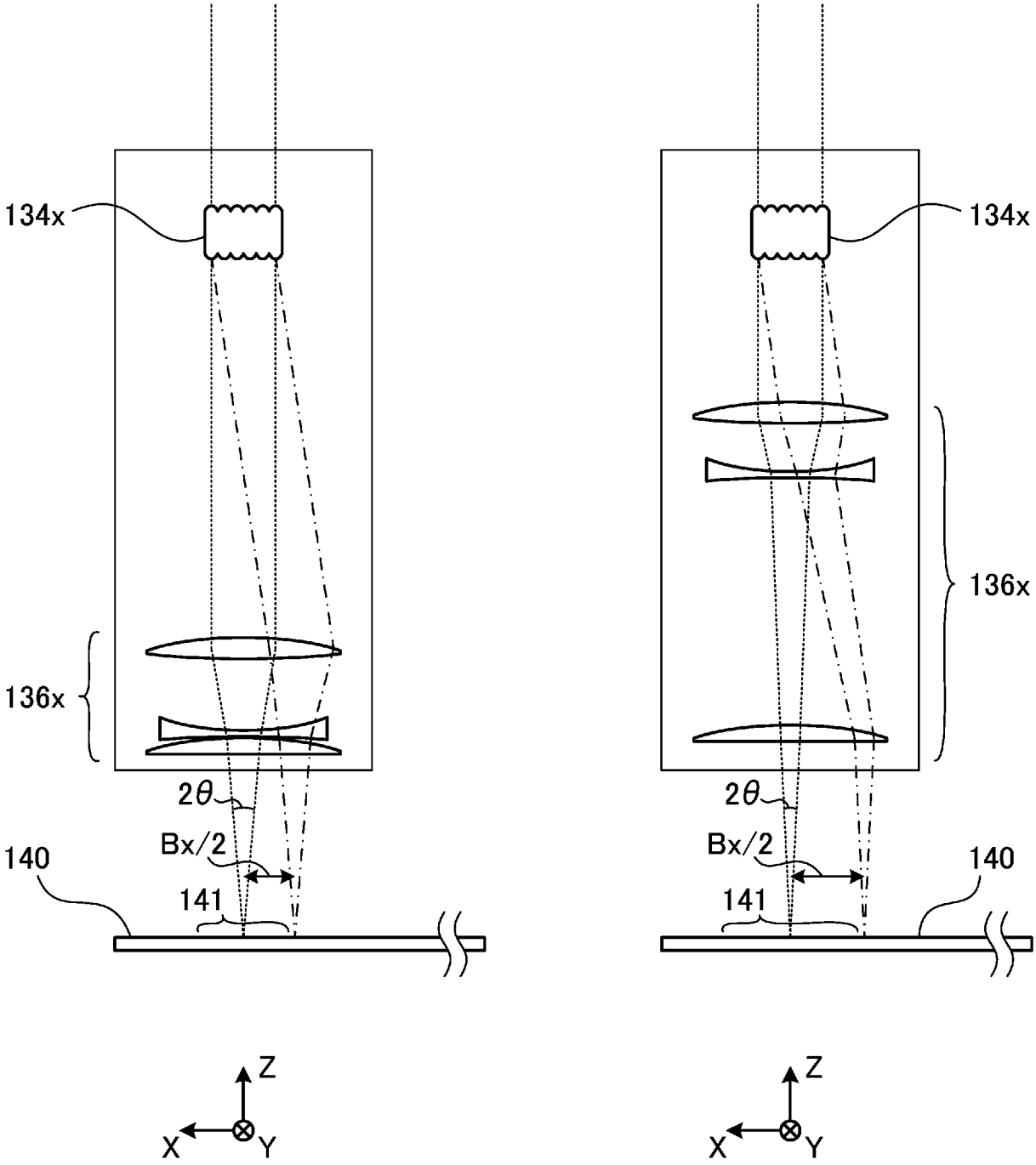
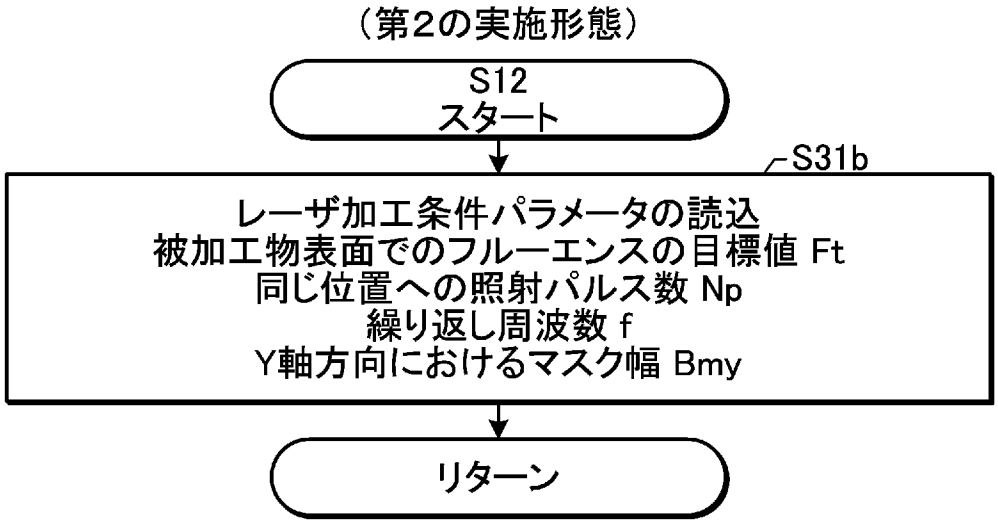


図 12A

図 12B

[図13]


（第2の実施形態）
S12
スタート
S31b
レーザ加工条件パラメータの読込
被加工物表面でのフルーエンスの目標値 Ft
同じ位置への照射パルス数 Np
繰り返し周波数 f
Y軸方向におけるマスク幅 Bmy
リターン

[図14]

（第2の実施形態）
S16
スタート
S53a
マスク表面でのフルーエンスの目標値 Fmt を計算
Fmt = M²・Ft
S55b
マスク表面でのフルーエンスが目標値 Fmt となるように
短辺に平行な方向における照射幅 Bx の目標値 Bxt を計算
Bxt = Et/(Fmt・Bmy)
S58
1軸ステージの駆動速度の絶対値を計算
Vxmi = f・Bxt/Np
S59b
ズームコンデンサレンズを制御して Bx と By を調節
Bx = Bxt , By = Bmy
リターン

[図15]

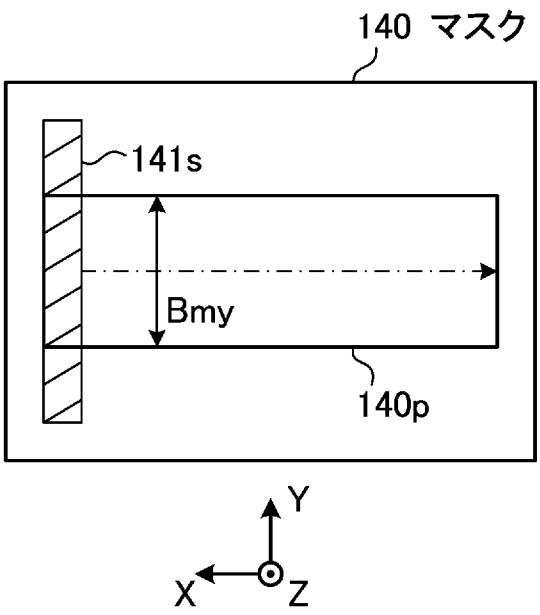


図 15A

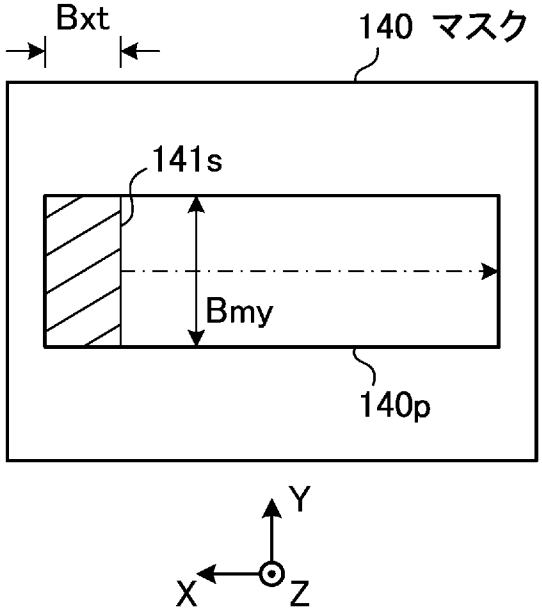
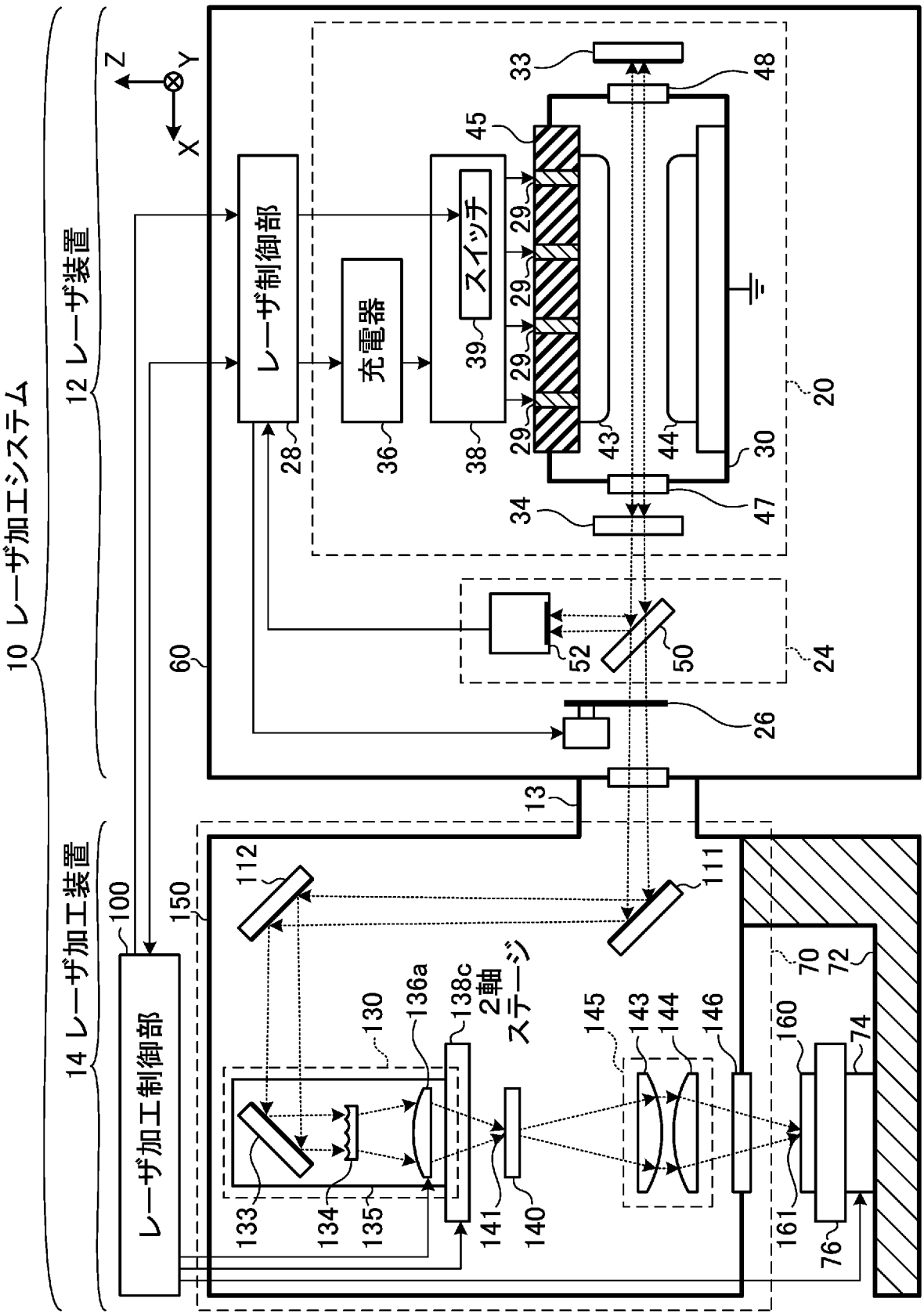
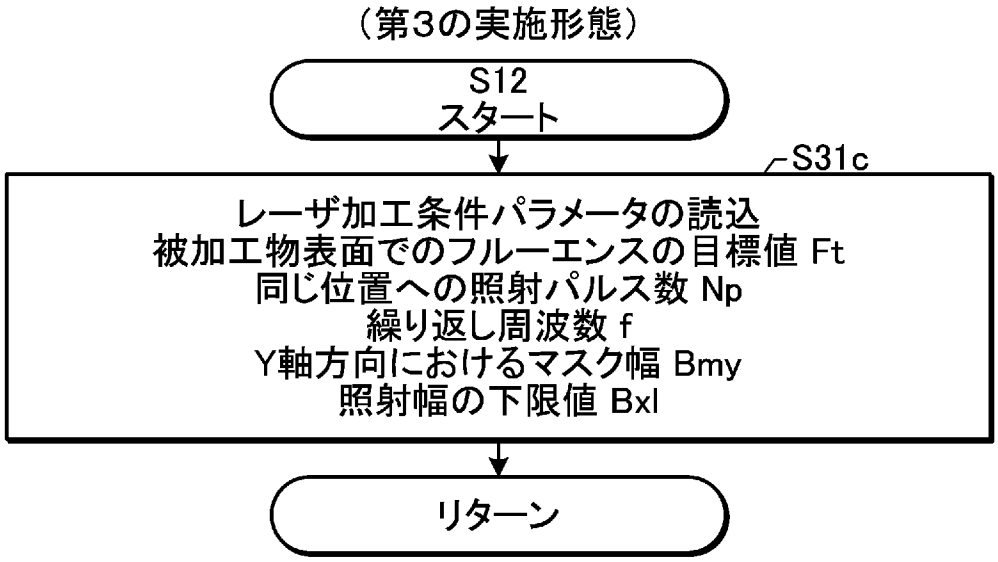


図 15B

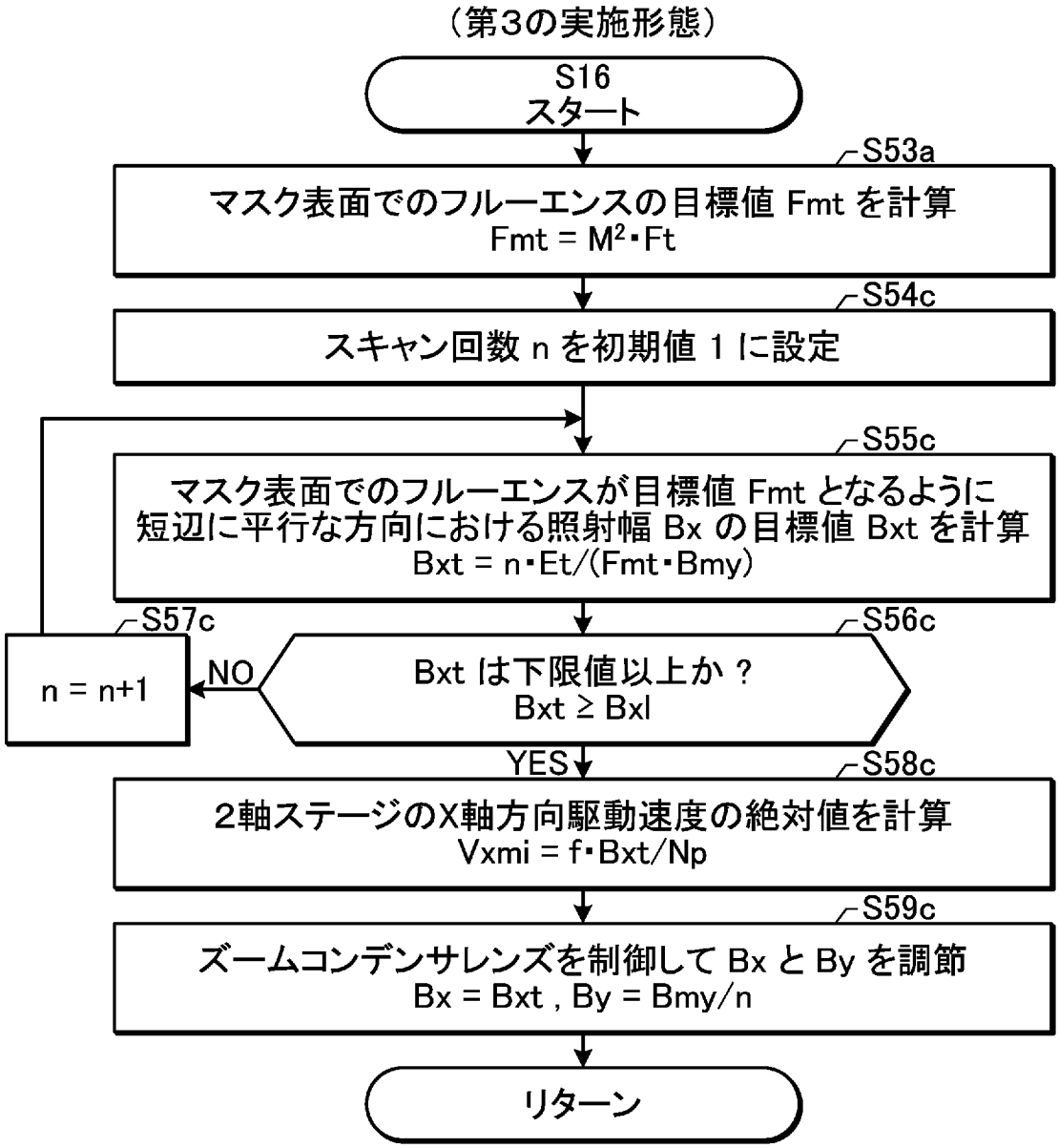
[図16]


10 レーザ加工システム
12 レーザ装置
14 レーザ加工装置
Z
Y
X
レーザ制御部
充電器
スイッチ
レーザ加工制御部
2軸ステージ
20
24
26
28
30
33
34
36
38
39
43
44
45
47
48
50
52
60
70
72
74
76
100
111
112
130
133
134
135
136a
138c
140
141
143
144
145
146
150
160
161
13
29

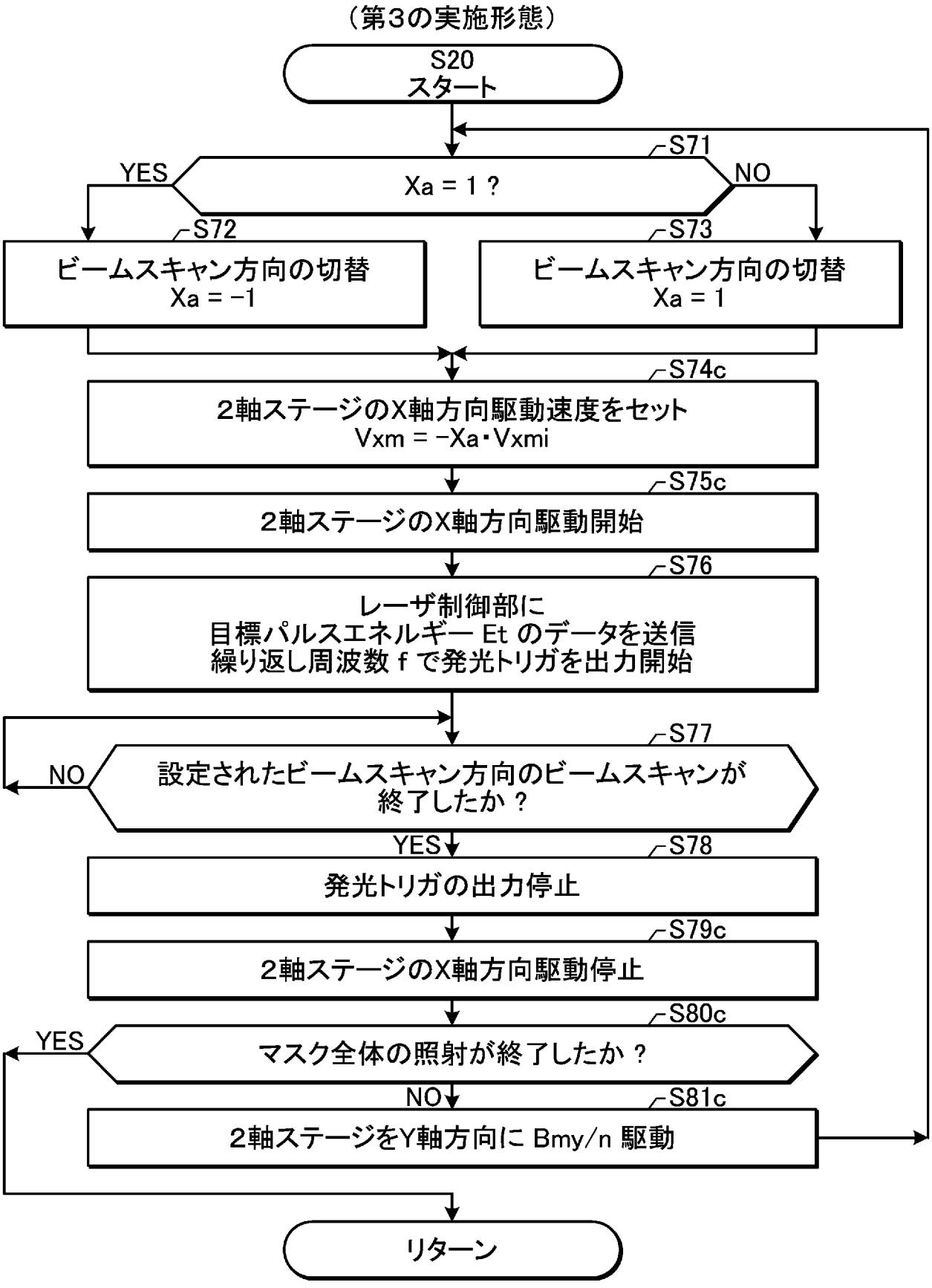
[図17]


（第3の実施形態）
S12
スタート
S31c
レーザ加工条件パラメータの読込
被加工物表面でのフルーエンスの目標値 Ft
同じ位置への照射パルス数 Np
繰り返し周波数 f
Y軸方向におけるマスク幅 Bmy
照射幅の下限値 Bxl
リターン

[図18]


（第3の実施形態）
S16
スタート
S53a
マスク表面でのフルーエンスの目標値 Fmt を計算
Fmt = M²・Ft
S54c
スキャン回数 n を初期値 1 に設定
S55c
マスク表面でのフルーエンスが目標値 Fmt となるように
短辺に平行な方向における照射幅 Bx の目標値 Bxt を計算
Bxt = n・Et/(Fmt・Bmy)
S57c
n = n+1
NO
S56c
Bxt は下限値以上か ？
Bxt ≥ Bxl
YES
S58c
2軸ステージのX軸方向駆動速度の絶対値を計算
Vxmi = f・Bxt/Np
S59c
ズームコンデンサレンズを制御して Bx と By を調節
Bx = Bxt , By = Bmy/n
リターン

[図19]


（第3の実施形態）
S20
スタート
S71
Xa = 1 ?
YES
NO
S72
ビームスキャン方向の切替
Xa = −1
S73
ビームスキャン方向の切替
Xa = 1
S74c
2軸ステージのX軸方向駆動速度をセット
Vxm = −Xa・Vxmi
S75c
2軸ステージのX軸方向駆動開始
S76
レーザ制御部に
目標パルスエネルギー Et のデータを送信
繰り返し周波数 f で発光トリガを出力開始
S77
NO
設定されたビームスキャン方向のビームスキャンが
終了したか ?
YES
S78
発光トリガの出力停止
S79c
2軸ステージのX軸方向駆動停止
S80c
YES
マスク全体の照射が終了したか ?
NO
S81c
2軸ステージをY軸方向に Bmy/n 駆動
リターン

[図20]

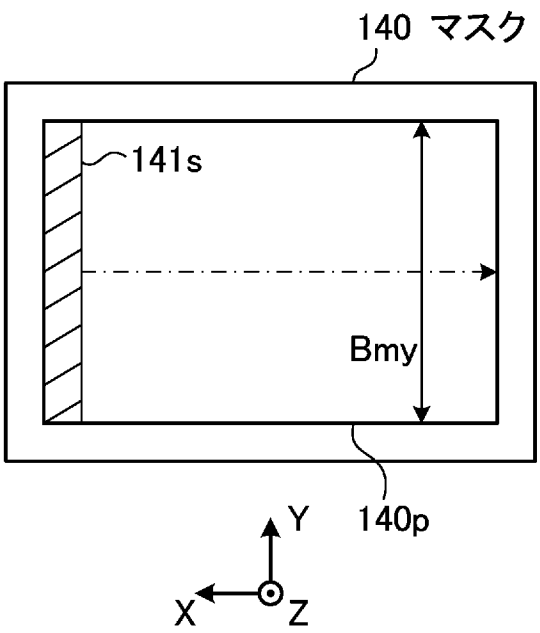


図 20A

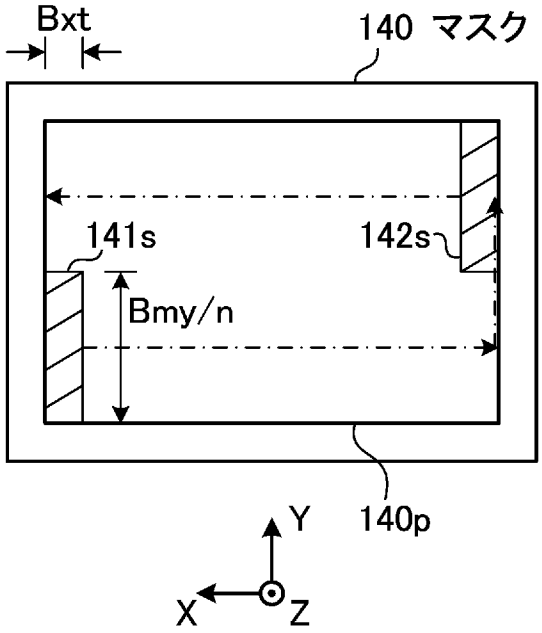
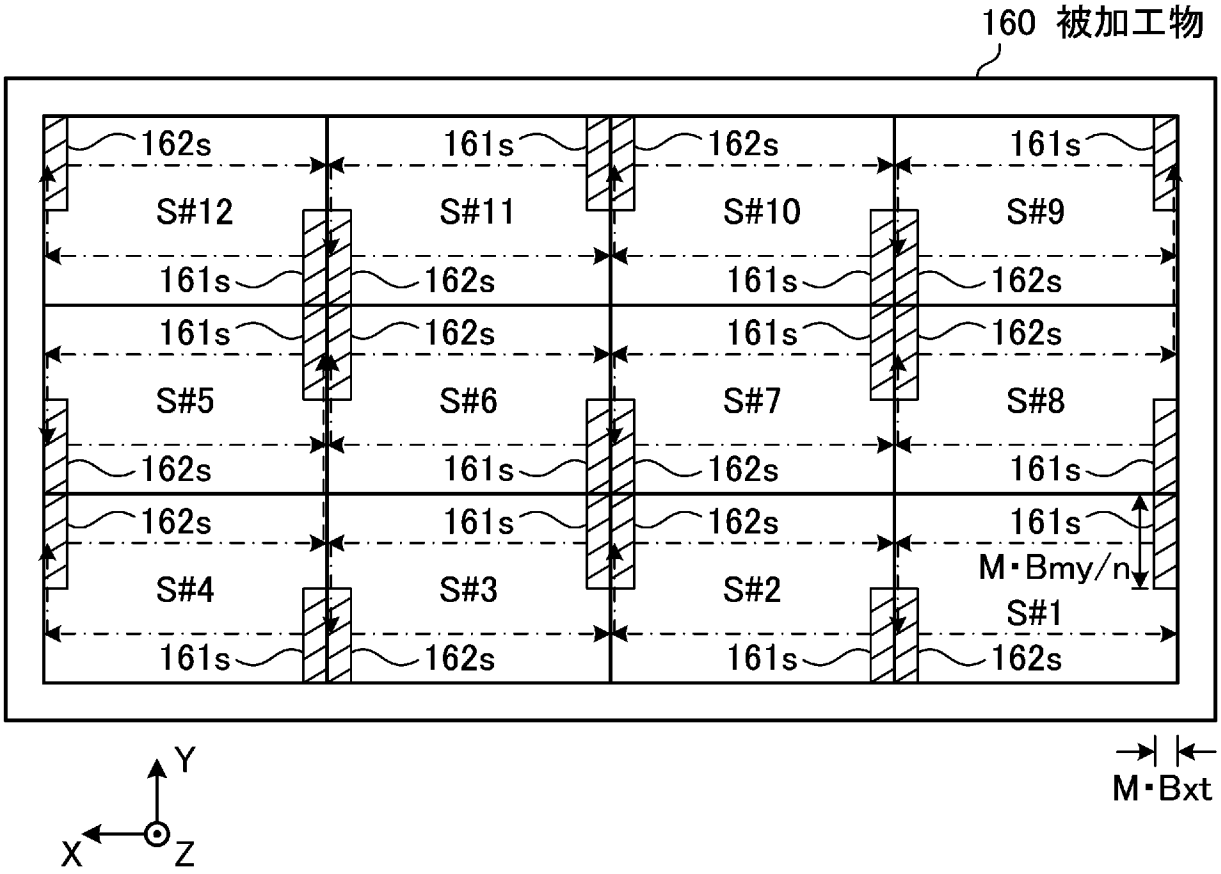
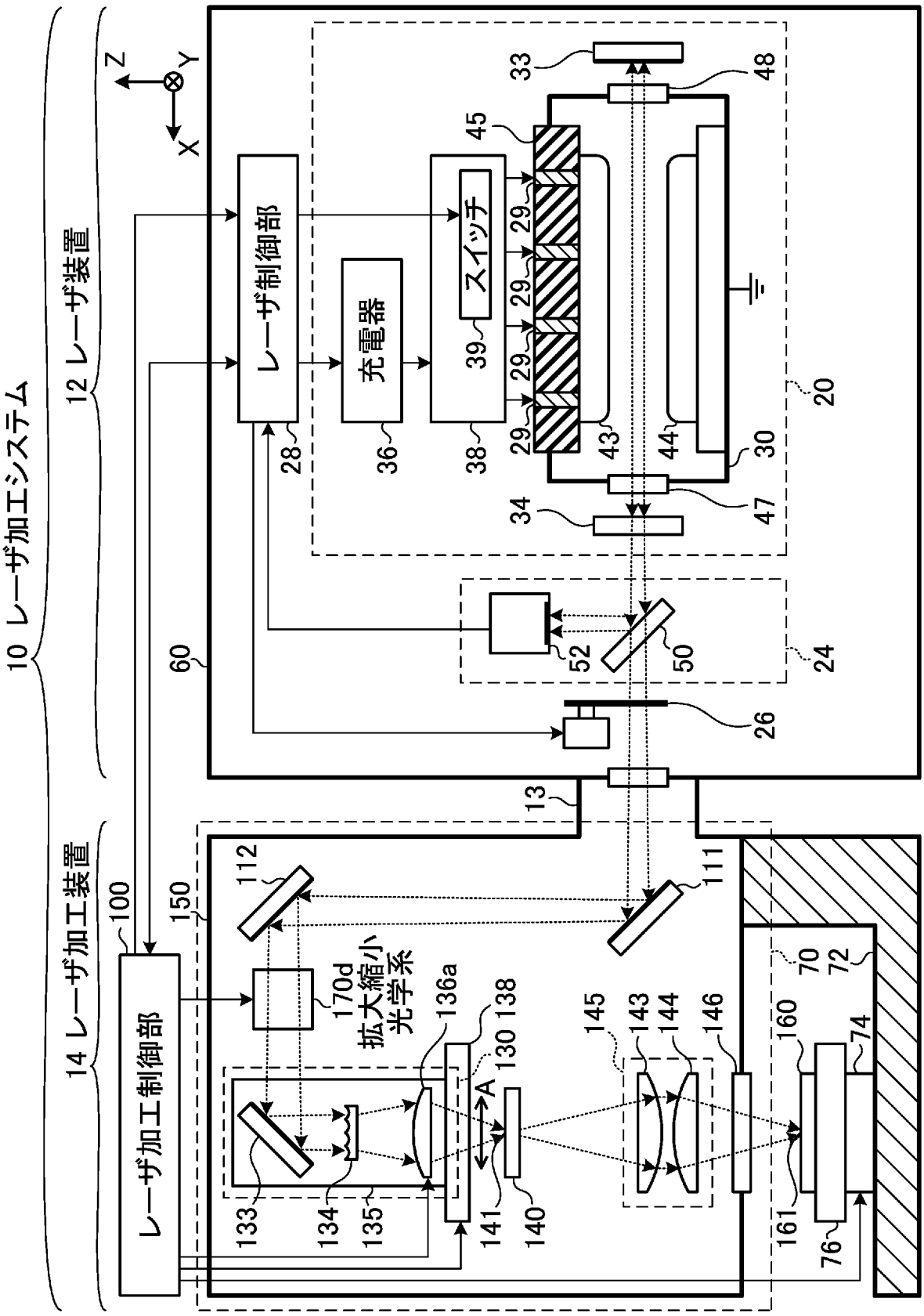


図 20B

[図21]



[図22]


10 レーザ加工システム
12 レーザ装置
14 レーザ加工装置
レーザ制御部
充電器
スイッチ
レーザ加工制御部
拡大縮小光学系
Z
Y
X
A
20
24
26
28
30
33
34
36
38
39
43
44
45
47
48
50
52
60
70
72
74
76
100
111
112
130
133
134
135
136a
138
140
141
143
144
145
146
150
160
161
170d

[図23]

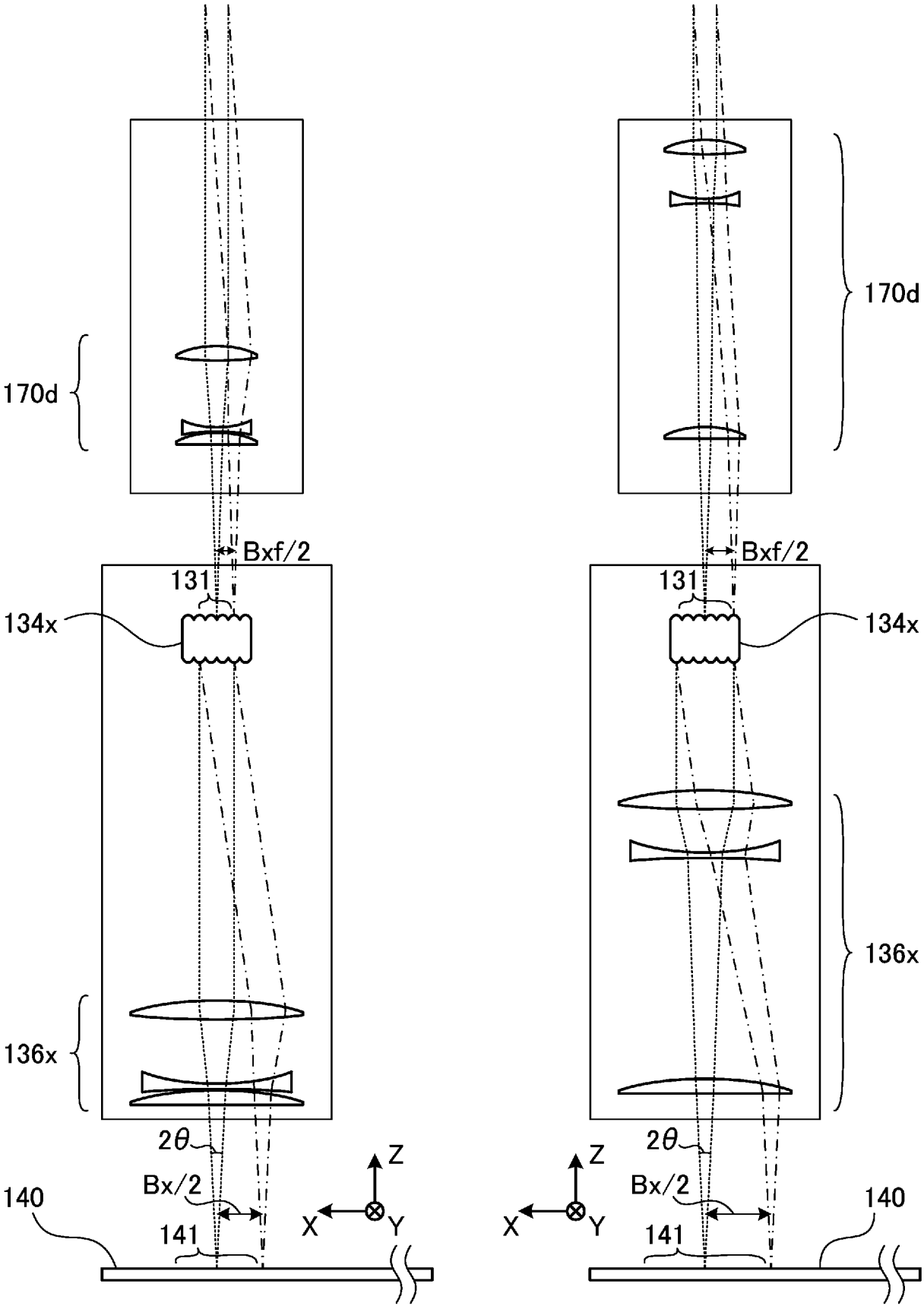


図 23A

図 23B

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2018/045811

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int. Cl. H01S3/00(2006.01)i, B23K26/073(2006.01)i, G02B27/09(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)
Int. Cl. H01S3/00-3/02, 3/04-3/0959, 3/098-3/102, 3/105-3/131, 3/136-3/213, 3/23-5/50, B23K26/00-26/70, G02B27/00-27/64, G03F7/20-7/24, 9/00-9/02, H01L21/00-21/027, 21/04-21/16, 21/30, 21/46

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 1971-2019
Registered utility model specifications of Japan 1996-2019
Published registered utility model applications of Japan 1994-2019

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.
Y A	JP 2011-216863 A (HITACHI VIA MECHANICS, LTD.) 27 October 2011, paragraphs [0002]-[0005], [0009], [0038], [0046], [0061], [0062], [0099]-[0111], fig. 17-20 & US 2011/0228537 A1, paragraphs [0003]-[0007], [0010], [0070], [0078], [0092]-[0094], [0131]-[0143], fig. 17-20 & KR 10-2011-0104907 A & TW 201213857 A	1-7, 10-17 8-9
X Y	JP 63-52786 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 05 March 1988, claims 1-3, page 3, upper left column, line 12 to page 4, upper left column, line 20, fig. 1 (Family: none)	1-5, 10-14, 16-17 1-7, 10-17
A	JP 2002-118043 A (NIKON CORP.) 19 April 2002, entire text, all drawings (Family: none)	1-17

☒ 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
28.02.2019	12.03.2019
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/JP2018/045811

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 2002-207167 A (NIKON CORP.) 26 July 2002, entire text, all drawings (Family: none)	1-17
A	WO 2018/100638 A1 (GIGAPHOTON INC.) 07 June 2018, entire text, all drawings (Family: none)	1-17
A	JP 10-270312 A (CANON INC.) 09 October 1998, entire text, all drawings & US 6285855 B1 & EP 0867772 A2 & TW 396397 B	1-17
A	JP 6-177009 A (SONY CORP.) 24 June 1994, entire text, all drawings (Family: none)	1-17
A	JP 4-238686 A (HITACHI, LTD.) 26 August 1992, entire text, all drawings (Family: none)	1-17
A	US 2010/0027570 A1 (HITACHI VIA MECHANICS, LTD.) 04 February 2010, entire text, all drawings (Family: none)	1-17

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１８／０４５８１１

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01S3/00(2006.01)i, B23K26/073(2006.01)i, G02B27/09(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.　H01S3/00-3/02,3/04-3/0959,3/098-3/102,3/105-3/131,3/136-3/213,3/23-5/50,
B23K26/00-26/70,G02B27/00-27/64, G03F7/20-7/24,9/00-9/02, H01L21/00-21/027,21/04-21/16,21/30,21/46

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	１９７１－２０１９年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１９年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１９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
Y A	JP 2011-216863 A（日立ビアメカニクス株式会社）2011.10.27, 段落 0002-0005,0009,0038,0046,0061-0062,0099-0111,図 17-20 & US 2011/0228537 A1, 段落 0003-0007,0010,0070,0078,0092-0094,0131-0143,図 17-20 & KR 10-2011-0104907 A & TW 201213857 A	1-7,10-17 8-9
X Y	JP 63-52786 A（三菱電機株式会社）1988.03.05, 請求項 1-3,第 3 頁左上欄第 12 行-第 4 頁左上欄第 20 行,第 1 図 （ファミリーなし）	1-5,10-14, 16-17 1-7,10-17

☑　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
２８．０２．２０１９	１２．０３．２０１９

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）　２Ｋ　３７１５
高椋　健司
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２５５

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 2002-118043 A (株式会社ニコン) 2002.04.19, 全文,全図（ファミリーなし）	1-17
A	JP 2002-207167 A (株式会社ニコン) 2002.07.26, 全文,全図（ファミリーなし）	1-17
A	WO 2018/100638 A1 (ギガフォトン株式会社) 2018.06.07, 全文,全図（ファミリーなし）	1-17
A	JP 10-270312 A (キヤノン株式会社) 1998.10.09, 全文,全図 & US 6285855 B1 & EP 0867772 A2 & TW 396397 B	1-17
A	JP 6-177009 A (ソニー株式会社) 1994.06.24, 全文,全図 (ファミリーなし)	1-17
A	JP 4-238686 A (株式会社日立製作所) 1992.08.26, 全文,全図 (ファミリーなし)	1-17
A	US 2010/0027570 A1 (HITACHI VIA MECHANICS, LTD.) 2010.02.04, 全文,全図（ファミリーなし）	1-17