

(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
2015 年 9 月 3 日(03.09.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/129362 A1

- (51) 国際特許分類:
B23K 26/388 (2014.01) **B23K 26/064** (2014.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/052072
- (22) 国際出願日: 2015 年 1 月 26 日(26.01.2015)
- (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 2014-039643 2014 年 2 月 28 日(28.02.2014) JP
- (71) 出願人: 三菱重工業株式会社 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 呉屋 真之 (GOYA, Saneyuki); 〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 木ノ内 雅人 (KINOUCHI, Masato); 〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 瀧田 篤史 (TAKITA, Atsushi); 〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 団野 実 (DANNO, Minoru); 〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 渡辺 俊哉 (WATANABE,

Toshiya); 〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 石出 孝 (ISHIDE, Takashi); 〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP).

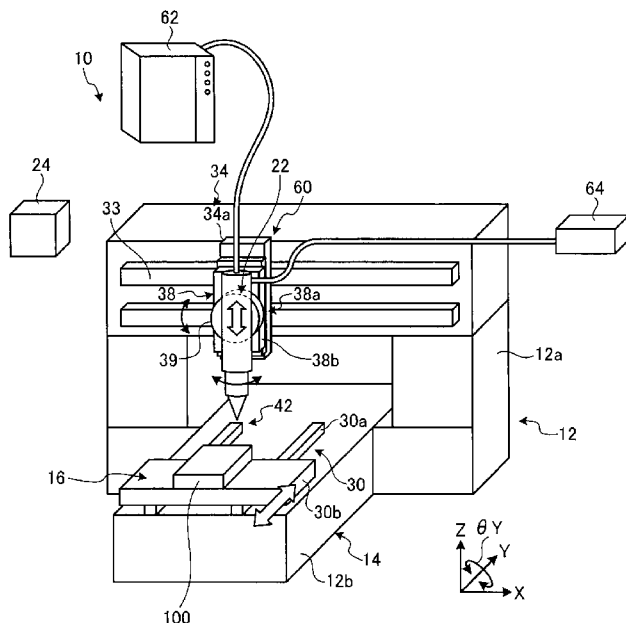
- (74) 代理人: 酒井 宏明, 外 (SAKAI, Hiroaki et al.); 〒1000013 東京都千代田区霞が関 3 丁目 8 番 1 号 虎の門三井ビルディング 特許業務法人酒井国際特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, 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

[続葉有]

(54) Title: LASER PROCESSING METHOD AND LASER PROCESSING APPARATUS

(54) 発明の名称: レーザ加工方法及びレーザ加工装置

[図1]



(57) Abstract: Provided is a laser processing method in which a laser processing head for irradiating, with at least a short-pulse laser (L2), a processed article (100) having a protection layer (104) laminated to a metal layer (102) is used to process the processed article (100), whereby high-quality, highly accurate processing is possible by means of a short-pulse laser processing step for irradiating the protection layer (104) with the short-pulse laser (L2) to ablate the protection layer (104), and a metal layer processing step for ablating the metal layer (102) in the area that was ablated during the short-pulse laser processing step.

(57) 要約: 金属層 (102) に保護層 (104) が積層された加工対象物 (100) を、短パルスレーザ (L2) を少なくとも照射するレーザ加工ヘッドを用いて、加工対象物 (100) を加工するレーザ加工方法であって、保護層 (104) に短パルスレーザ (L2) を照射し、保護層 (104) を切削する短パルスレーザ加工工程と、短パルスレーザ加工工程で切削した領域の金属層 (102) を切削する金属層加工工程とにより、高品質かつ高精度で加工することが可能とする。



ロツパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,
ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,
SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： レーザ加工方法及びレーザ加工装置

技術分野

[0001] 本発明は、レーザ加工を行うレーザ加工方法およびレーザ加工装置に関する。

背景技術

[0002] 加工対象物を加工する方法及び装置として、レーザを用いるレーザ加工方法及びレーザ加工装置がある。例えば、特許文献1には、被加工物に少なくとも2種類の波長のレーザ光を照射して穴加工を行うレーザ加工方法が記載されている。具体的には、穴の径よりも小さなスポット径の第1のレーザ光を穴の内周に沿って照射して加工するステップと、穴の径よりも小さなスポット径で、かつ第1のレーザ光よりも波長の長い第2のレーザ光を穴の周よりも内側に照射するステップとで、加工を行うことが記載されている。また、後のステップによって、前のステップで加工されずに残った部分を加工することが記載されている。また、特許文献1は、レーザ光を回転させつつ照射し、穴をあけることが記載されている。また、特許文献2には、レーザ光を回転させる機構として、電磁駆動を用いる方法が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2011-110598号公報

特許文献2：特許第2828871号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] ここで、加工対象物としては、金属層に、金属層とは異なる特性の材料の保護層が積層された構造体がある。保護層は、例えば、金属層を熱、応力及び異物の接触の少なくとも1つから保護する層として金属層上に積層されている。このような金属層に保護層が積層された積層体を加工対象物とした場

合、保護層を適切に加工することが難しく、金属層と保護層の両方の品質を維持したまま、加工速度を向上させることが困難であった。

[0005] 本発明は上述した課題を解決するものであり、金属層に保護層が積層された加工対象物を高品質かつ高精度に加工することのできるレーザ加工方法およびレーザ加工装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明は、加工対象物を加工する短パルスレーザを少なくとも照射するレーザ加工ヘッドを用いて、前記加工対象物を加工するレーザ加工方法であって、前記加工対象物は、金属層に保護層が形成された積層構造であり、前記保護層に短パルスレーザを照射し、前記保護層を切削する短パルスレーザ加工工程と、前記短パルスレーザ加工工程で切削した領域の前記金属層を切削する金属層加工工程と、を含む。

[0007] また、前記短パルスレーザ加工工程は、前記金属層の表面に直交する方向において、前記金属層を0.001mm以上、かつ、前記金属層の厚みの50%以下の深さに切削することが好ましい。

[0008] また、前記短パルスレーザ加工工程は、前記短パルスレーザが照射される方向において、前記金属層を0.001mm以上、かつ、前記金属層の厚みの50%以下の深さに切削することが好ましい。

[0009] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明は、少なくとも加工対象物を加工するレーザを照射するレーザ加工ヘッドを用いて、前記加工対象物を加工するレーザ加工方法であって、前記加工対象物は、金属層に保護層が形成された積層構造であり、前記保護層と前記金属層とを一括して切削する金属層加工工程と、前記金属層加工工程で切削した領域の端面を含む前記保護層に短パルスレーザを照射し、前記保護層を切削する短パルスレーザ加工工程と、を含む。

[0010] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明は、少なくとも加工対象物を加工するレーザを照射するレーザ加工ヘッドを用いて、前記加工

対象物を加工するレーザ加工方法であって、前記加工対象物は、金属層に保護層が形成された積層構造であり、前記保護層が形成されていない前記加工対象物の前記金属層を切削する金属層加工工程と、前記金属層加工工程で切削された前記加工対象物に前記保護層を積層する積層工程と、前記積層工程で前記保護層が積層された前記加工対象物の前記金属層加工工程で切削した領域と重なる領域に短パルスレーザを照射し、前記保護層を切削する短パルスレーザ加工工程と、を含む。

[0011] また、前記短パルスレーザ加工工程及び前記金属層加工工程は、前記加工対象物に穴を形成する加工であり、前記短パルスレーザ加工工程は、前記金属層加工工程が前記金属層に形成する穴より径が大きい穴を前記保護層に形成することが好ましい。

[0012] また、前記金属層加工工程は、前記短パルスレーザ加工工程で切削した領域にファイバレーザを照射し、前記金属層を切削することが好ましい。

[0013] また、前記保護層は、耐熱性材料もしくは耐摩耗性材料で形成されることが好ましい。また、前記保護層は、サーマルバリアコートであることが好ましい。また、前記保護層は、アルミナ (Al_2O_3)、ジルコニア (ZrO_2)、酸化チタン (TiO_2)、ニクシリー (NiCrAl)、コクラリー (CoCrAl)、アルミナーチタニア ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$)、クロミア (Cr_2O_3)、クロムカーバイド ($\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$) またはタングステンカーバイド ($\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ 、 $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-CoCr}$ 、 $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-Co}$) であることが好ましい。

[0014] また、前記レーザ加工ヘッドは、前記短パルスレーザを前記加工対象物に対して回転させるレーザ回転部と、前記レーザ回転部で回転された前記短パルスレーザを集光させる集光光学系と、を有し、前記短パルスレーザ加工工程は、前記レーザ回転部で、前記レーザが前記加工対象物に照射される位置を回転させることが好ましい。

[0015] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明は、レーザ加工装置であって、加工対象物を支持するステージを含むステージユニットと、フ

ファイバレーザを出力するファイバレーザ光源、短パルスレーザを出力する短パルスレーザ光源及び前記加工対象物を加工するレーザを照射するレーザ加工ヘッドを含むレーザ加工ユニットと、前記レーザ加工ヘッドと前記ステージとをY軸方向に相対移動させるY軸移動機構、前記Y軸移動機構に対して、前記レーザ加工ヘッドをX軸方向に相対移動させるX軸移動機構及び前記X軸移動機構に固定され、前記レーザ加工ヘッドをZ軸方向に相対移動させるZ軸移動機構を有する移動ユニットと、各部の動作を制御する制御部と、を含み、前記レーザ加工ヘッドは、前記ファイバレーザをレーザ旋回部に入射させる状態と、前記短パルスレーザを前記レーザ旋回部に入射させる状態と、を切り換える切換機構と、前記レーザを前記加工対象物に対して回転させるレーザ旋回部と、前記レーザ旋回部で回転されたレーザを集光させる集光光学系と、を有し、前記レーザ旋回部で、前記レーザが前記加工対象物に照射される位置を回転させることを特徴とする。

[0016] ここで、前記短パルスレーザの経路に配置され、前記短パルスレーザの照射位置を、前記レーザの旋回する経路の中心よりも外側にオフセットし、前記ファイバレーザが入射しない軌道へ調整する軌道調整機構をさらに備えることが好ましい。

[0017] また、前記軌道調整機構は、前記レーザ旋回部に設置されたプリズムであることが好ましい。

[0018] また、前記軌道調整機構は、前記集光光学系に設置されたレンズであることが好ましい。

[0019] また、前記短パルスレーザの経路に配置され、前記短パルスレーザの照射位置を、調整する照射位置調整機構をさらに備え、前記制御部は、前記ファイバレーザの照射位置に基づいて、前記照射位置調整機構により前記短パルスレーザの照射位置を調整することが好ましい。

[0020] また、前記加工対象物は、金属層に保護層が形成された積層構造であり、前記制御部は、前記レーザ加工ユニットから前記加工対象物に前記短パルスレーザを照射して、前記保護層を切削することが好ましい。

発明の効果

[0021] 本発明によれば、金属層に積層された保護層の切削を、短パルスレーザで行うことでドロスの付着やクラックの発生を抑制することができる。これにより、保護層に与える影響を少なくすることができ、加工の精度をより高くすることができる。また、金属層を短パルスレーザとは異なる加工手段で加工することで、金属層の加工を短時間で行うことができる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1]図1は、本実施形態に係るレーザ加工装置の概略構成を示す模式図である。

[図2]図2は、レーザ加工ヘッドの概略構成を示す模式図である。

[図3]図3は、レーザ加工ヘッドの動作を説明するための説明図である。

[図4]図4は、レーザ加工ヘッドの動作を説明するための説明図である。

[図5]図5は、レーザ加工ヘッドの動作を説明するための説明図である。

[図6]図6は、レーザ加工ヘッドの動作を説明するための説明図である。

[図7]図7は、レーザ加工ヘッドの動作を説明するための説明図である。

[図8]図8は、加工対象物の構造の一例を示す模式図である。

[図9]図9は、レーザ加工装置の動作を説明するためのフローチャートである。

[図10A]図10Aは、レーザ加工装置の動作を説明するための説明図である。

[図10B]図10Bは、レーザ加工装置の動作を説明するための説明図である。

[図11]図11は、レーザ加工装置の動作を説明するための説明図である。

[図12A]図12Aは、レーザ加工装置の動作を説明するための説明図である。

[図12B]図12Bは、レーザ加工装置の動作を説明するための説明図である。

[図13]図13は、レーザ加工装置の動作を説明するためのフローチャートである。

[図14A]図14Aは、レーザ加工装置の動作を説明するための説明図である。

[図14B]図14Bは、レーザ加工装置の動作を説明するための説明図である。

[図15]図15は、レーザ加工装置の動作を説明するためのフローチャートである。

ある。

[図16]図 1 6 は、レーザ加工装置の動作を説明するための説明図である。

[図17]図 1 7 は、他の実施形態に係るレーザ加工装置の概略構成を示す模式図である。

[図18]図 1 8 は、他の実施形態に係るレーザ加工装置の概略構成を示す模式図である。

[図19]図 1 9 は、他の実施形態に係るレーザ加工装置の切換機構の一部の構成を示す模式図である。

[図20]図 2 0 は、他の実施形態に係るレーザ加工装置の切換機構の一部の構成を示す模式図である。

[図21]図 2 1 は、他の実施形態に係るレーザ加工装置の切換機構の一部の構成を示す模式図である。

[図22]図 2 2 は、他の実施形態に係るレーザ加工装置の概略構成を示す模式図である。

[図23]図 2 3 は、他の実施形態に係るレーザ加工装置の概略構成を示す模式図である。

[図24]図 2 4 は、図 2 3 に示すレーザ加工装置の光学系の概略構成を示す模式図である。

[図25]図 2 5 は、軌道調整機構及びプリズムをレーザの入射方向から見た模式図である。

[図26]図 2 6 は、軌道調整機構及びプリズムをレーザの入射方向に直交する方向から見た模式図である。

[図27]図 2 7 は、レーザの照射位置近傍を拡大して示す拡大図である。

[図28]図 2 8 は、他の実施形態に係るレーザ加工装置の概略構成を示す模式図である。

[図29]図 2 9 は、図 2 8 に示すレーザ加工装置の光学系の概略構成を示す模式図である。

[図30]図 3 0 は、軌道調整機構及び集光レンズをレーザの入射方向から見た

模式図である。

[図31]図 3 1 は、軌道調整機構及び集光レンズをレーザの入射方向に直交する方向から見た模式図である。

[図32]図 3 2 は、レーザの照射位置近傍を拡大して示す拡大図である。

[図33]図 3 3 は、他の実施形態に係るレーザ加工装置の概略構成を示す模式図である。

[図34A]図 3 4 A は、レーザ加工装置の動作を説明するための説明図である。

[図34B]図 3 4 B は、レーザ加工装置の動作を説明するための説明図である。

[図35A]図 3 5 A は、レーザ加工装置の動作を説明するための説明図である。

[図35B]図 3 5 B は、レーザ加工装置の動作を説明するための説明図である。

発明を実施するための形態

[0023] 本発明を実施するための形態（実施形態）につき、図面を参照しつつ詳細に説明する。以下の実施形態に記載した内容により本発明が限定されるものではない。また、以下に記載した構成要素には、当業者が容易に想定できるもの、実質的に同一のものが含まれる。さらに、以下に記載した構成は適宜組み合わせることが可能である。また、本発明の要旨を逸脱しない範囲で構成の種々の省略、置換または変更を行うことができる。

[0024] 図 1 は、本実施形態に係るレーザ加工装置の概略構成を示す模式図である。図 2 は、レーザ加工ヘッドの概略構成を示す模式図である。図 3 から図 7 は、それぞれレーザ加工ヘッドの動作を説明するための説明図である。

[0025] 図 1 に示すように、レーザ加工装置 10 は、加工対象物 100 に対して、切断加工、穴あけ加工等の各種加工を行う装置である。なお、加工の種類は特に限定されないが、本実施形態のレーザ加工装置 10 は、穴あけ、切断等の切削加工を行う。また、レーザ加工装置 10 は、加工対象物 100 の計測も行う。

[0026] レーザ加工装置 10 は、フレーム 12 と、移動ユニット 14 と、ステージユニット 16 と、レーザ加工ヘッド 60 を含むレーザ加工ユニット 22 と、制御部 24 と、を有する。レーザ加工装置 10 は、ステージユニット 16 に

保持される加工対象物 100 にレーザ加工ユニット 22 によりレーザを照射し、加工対象物 100 をレーザ加工する。ここで、本実施形態では、水平面を X 軸方向と X 軸に直交する Y 軸方向を含む X Y 平面とし、水平面に直交する方向を Z 軸方向とする。また、Y 軸周りに回転する方向を θ Y 方向とする。

[0027] フレーム 12 は、レーザ加工装置 10 の筐体であり、地面、土台等の設置面に固定されている。フレーム 12 は、門 12 a と門 12 a の空間に挿入された土台 12 b とを有する。フレーム 12 は、移動ユニット 14 の固定部が固定されている。レーザ加工装置 10 は、フレーム 12 の門 12 a と土台 12 b とに移動ユニット 14 が固定され、移動ユニット 14 により加工対象物 100 と、レーザ加工ユニット 22 とを相対的に移動させる、いわゆる門型の加工装置である。

[0028] 移動ユニット 14 は、加工対象物 100 とレーザ加工ヘッド 60 とを相対移動させる。移動ユニット 14 は、Y 軸移動機構 30 と、X 軸移動機構 34 と、Z 軸移動機構 38 と、 θ Y 回転機構 39 と、を有する。Y 軸移動機構 30 は、フレーム 12 の土台 12 b 上に配置され、Y 軸方向に延在するレール 30 a と、レール 30 a に沿って移動する Y 軸移動部材 30 b と、を有する。Y 軸移動機構 30 は、Y 軸移動部材 30 b にステージユニット 16 が固定されている。Y 軸移動機構 30 は、レール 30 a に沿って、Y 軸移動部材 30 b を移動させることで、ステージユニット 16 を Y 軸方向に移動させる。Y 軸移動機構 30 は、Y 軸移動部材 30 b を Y 軸方向に移動させる機構として、種々の機構を用いることができる。例えば、Y 軸移動部材 30 b にボールねじを挿入し、ボールねじをモータ等で回転させる機構や、リニアモータ機構、ベルト機構等を用いることができる。X 軸移動機構 34 と、Z 軸移動機構 38 も同様に種々の機構を用いることができる。

[0029] X 軸移動機構 34 は、フレーム 12 の門 12 a 上に配置され、X 軸方向に延在するレール 33 と、レール 33 に沿って移動する X 軸移動部材 34 a と、を有する。X 軸移動機構 34 は、X 軸移動部材 34 a に Z 軸移動機構 38

が固定されている。X軸移動機構34は、レール33に沿って、X軸移動部材34aを移動させることで、Z軸移動機構38をX軸方向に移動させる。Z軸移動機構38は、X軸移動部材34aに固定され、Z軸方向に延在するレール38aと、レール38aに沿って移動するZ軸移動部材38bと、を有する。Z軸移動機構38は、Z軸移動部材38bに θY 回転機構39が固定されている。Z軸移動機構38は、レール38aに沿って、 θY 回転機構39を移動させることで、 θY 回転機構39をZ軸方向に移動させる。 θY 回転機構39は、Z軸移動部材38bに固定され、レーザ加工ヘッド60が固定されている。 θY 回転機構39は、Z軸移動部材38bに対して、レーザ加工ヘッド60を θY 方向に回転させることで、レーザ加工ヘッド60を θY 方向に回転させる。

[0030] 移動ユニット14は、Y軸移動機構30とX軸移動機構34とZ軸移動機構38とを用いて、加工対象物100とレーザ加工ヘッド60とをX軸方向、Y軸方向及びZ軸方向のそれぞれに相対移動させる。また、移動ユニット14は、 θY 回転機構39を用いて、加工対象物100に対してレーザ加工ヘッド60を回転させる。これにより、レーザ加工ヘッド60から加工対象物100に対して照射されるレーザの向きを調整することができる。移動ユニット14は、レーザ加工ヘッド60をX軸周りに回転させる機構を備えていてもよい。また、レーザが照射される向きを調整する機構は、レーザ加工ヘッド60に設けてもよい。

[0031] ステージユニット16は、Y軸移動機構30のY軸移動部材30b上に配置されている。ステージユニット16は、加工対象物100を支持するステージである。本実施形態のステージユニット16は、Y軸移動部材30bと一体化させた部材、つまり、Y軸移動部材30bをステージユニット16のステージとしたが、Y軸移動部材30b上に別の支持部材をステージとして設けてもよい。ステージユニット16は、Y軸移動機構30が加工対象物100を移動させるステージ移動機構42となる。ステージユニット16は、加工対象物100をY軸移動部材30bの所定の位置に固定する固定機構を

備えている。また、ステージユニット16は、ステージ移動機構42として、さらにY軸移動部材30bに対して加工対象物100の向きを、つまり姿勢を調整する調整機構を備えていてもよい。具体的には、ステージ移動機構42として、加工対象物100を回転させる機構を備えていてもよい。

[0032] レーザ加工ユニット22は、レーザ加工ヘッド60と、ファイバレーザ光源62と、短パルスレーザ光源64と、を有する。ファイバレーザ光源62は、光ファイバを媒質としてレーザを出力する装置である。ファイバレーザ出力装置としては、例えば、ファブリペロー型ファイバレーザ出力装置やリング型ファイバレーザ出力装置を用いることができ、これらの出力装置が励起されることによりレーザが発振される。ファイバレーザ出力装置のファイバは、例えば、エルビウム（Er）、ネオジム（Nd）、イッテルビウム（Yb）等の希土類元素が添加されたシリカガラスを用いることができる。短パルスレーザ光源64は、レーザを短パルス、例えば、周波数20kHzで出力する。短パルスレーザ出力装置としては、レーザの発振源として例えば、チタンサファイアレーザを用いることができ、パルス幅が100ピコ秒以下のパルスを発振することができる。また、YAGレーザやYVO4レーザ等のナノ秒オーダーパルス発振をするレーザも使用可能である。ここで、本実施形態において、短パルスレーザは、パルス幅が100ナノ秒以下の短パルスでレーザを出力するものである。なお、レーザ加工ユニット22は、短パルスレーザを、パルス幅が10ナノ秒以上の短パルスとすることが好ましく、パルス幅が1ナノ秒未満のレーザとすることがより好ましい。

[0033] 次に、レーザ加工ヘッド60について、説明する。レーザ加工ヘッド60は、図2に示すように、ファイバレーザ光源62から出力されたファイバレーザと、短パルスレーザ光源64から出力された短パルスレーザと、が入射され、入射されたレーザのうち一方を加工対象物100に照射することで、加工対象物100をレーザ加工する。なお、ファイバレーザ光源62から出力されたファイバレーザと、短パルスレーザ光源64から出力された短パルスレーザとは、光ファイバ等のレーザ光を導く光学部材でレーザ加工ヘッド

60まで案内される。

[0034] レーザ加工ヘッド60は、コリメート光学系70、72と、切換機構74と、レーザ旋回部76と、集光光学系80と、ノズル81と、を含む。コリメート光学系70は、ファイバレーザ光源62から出力されたファイバレーザL1をコリメートする光学部材であり、コリメートしたファイバレーザL1を切換機構74に向けて射出する。コリメート光学系72は、短パルスレーザ光源64から出力された短パルスレーザL2をコリメートする光学部材であり、コリメートした短パルスレーザL2を切換機構74に向けて射出する。

[0035] 切換機構74は、レーザ旋回部76にファイバレーザ光源62から出力されたファイバレーザL1を入射させるか、短パルスレーザ光源64から出力された短パルスレーザL2を入射させるかを切り換える機構である。切換機構74は、レーザを反射するミラー74aと、ミラー74aに連結された支持棒74bと、支持棒74bを移動させる駆動部74cと、を有する。切換機構74は、駆動部74cでミラー74aを図2に示す位置、具体的には、ファイバレーザL1と短パルスレーザL2とが重なる位置に配置する。具体的には、ミラー74aは、コリメート光学系70とレーザ旋回部76との間で、かつ、コリメート光学系72を通過した短パルスレーザL2が到達する位置に配置されている。

[0036] また、切換機構74は、図3に示すように、駆動部74cでミラー74aをファイバレーザL1の経路からはずれた位置に配置し、つまり、ファイバレーザL1と短パルスレーザL2とが重なる位置にミラー74aが配置されていない状態とし、ファイバレーザL1をそのまま通過させることで、ファイバレーザL1がレーザ旋回部76に入射する状態とする。ファイバレーザL1をそのまま通過させる場合、短パルスレーザL2は、ミラーで反射させてレーザを吸収する位置に照射するようにしてもよいし、コリメート光学系72とミラー74aとの間にシャッタを設けて遮るようにしてもよい。図3に示す例では、短パルスレーザ光源64で短パルスレーザL2を遮っている

ため、短パルスレーザL 2は、ミラー74 aまで到達しない。

[0037] 切換機構74は、図4に示すように、駆動部74 cでミラー74 aをファイバレーザL 1と短パルスレーザL 2とが重なる位置に配置し、短パルスレーザL 2をミラー74 aで反射し、ファイバレーザL 1を遮ることで、短パルスレーザL 2がレーザ旋回部76に入射する状態とする。なお、図4に示す例では、ファイバレーザ光源62でファイバレーザL 1を遮っているため、ファイバレーザL 1は、ミラー74 aまで到達しない。

[0038] レーザ旋回部76は、光路の中心周り（例えば、図中の矢印c）にレーザを回転させて、加工対象物100に照射するレーザ、つまりレーザLの照射位置IPを同方向に旋回させる。レーザ旋回部76は、図2に示すように、第1プリズムユニット82と、第2プリズムユニット84と、を有する。

[0039] 第1プリズムユニット82は、レーザLを屈折させて、光軸に対して傾ける第1プリズムと、第1プリズムを回転させる回転機構と、を有する。第2プリズムユニット84は、第1プリズムユニット82で屈折されたレーザを再度屈折させ、集光する位置を制御する第2プリズムと、第2プリズムを回転させる回転機構と、を有する。第1プリズム、第2プリズムとしては、例えばウェッジプリズムを用いることができる。

[0040] レーザ旋回部76は、第1プリズムユニット82の第1プリズムと、第2プリズムユニット84の第2プリズムとを回転させることで、図5に示すように、レーザの照射位置を回転させる。レーザ旋回部76は、第1プリズムユニット82の第1プリズムと、第2プリズムユニット84の第2プリズムとを同期回転および相対回転可能である。

[0041] また、レーザ旋回部76は、第1プリズムユニット82の第1プリズムと、第2プリズムユニット84の第2プリズムとの位相角の差を変えることができる。これにより、図5に示すように、レーザ照射点を回転軸の光路の中心Pから第1プリズムと第2プリズムとの位相角の差に対応する距離だけ離れた照射位置IPまで偏心させることができる。つまり、レーザ旋回部76は、第1プリズムと第2プリズムとの位相角の差を維持しながら、第1プリ

ズムユニット 82 の第 1 プリズムと、第 2 プリズムユニット 84 の第 2 プリズムとを同回転周期で同期回転させることで、レーザ照射点は巡回径 R の円軌道 1C を描く。また、第 1 プリズムユニット 82 の第 1 プリズムと、第 2 プリズムユニット 84 の第 2 プリズムとを非同期回転（異なる回転周期で回転）させる場合には、レーザ照射点の巡回径を増減させながらレーザ照射点を巡回させることができ、任意の曲線軌道を描くことも可能である。

[0042] また、巡回径 R とは、光路の中心から加工対象物 100 に照射されるレーザの照射位置までの距離のことをいい、加工対象物 100 に照射されるレーザが中心周りに巡回する半径のことをいう。巡回径 R は、第 1 プリズムと第 2 プリズムとの位相角の差を変えることにより加工対象物 100 に照射されるレーザの巡回径 R が変わるので、可変である。巡回数とは、加工対象物 100 に照射されるレーザの照射位置が中心周りに巡回する単位時間当たりの回数のことをいう。

[0043] 集光光学系 80 は、複数のレンズを有し、複数のレンズにより、レーザ巡回部 76 を通過したレーザを集光し、所定の焦点距離、焦点深度となるレーザを形成する。集光光学系 80 は、加工対象物 100 に所定のスポット径のレーザを照射する。また、集光光学系 80 は、冷却機構を有することが好ましい。冷却機構は、例えば、上記複数のレンズを冷却するための冷却ジャケット等である。

[0044] ノズル 81 は、レーザ L の進行方向の先側に向かうにつれて次第に径が縮小する中空の円錐形状である。ノズル 81 は、集光光学系 80 に装着される。ノズル 81 は、加工対象物 100 の加工点で生じるスパッタ等により集光光学系 80 が汚損するのを防ぐための透光部材を有する。また、ノズル 81 は、アシストガス供給源 86 からアシストガスが供給され、このアシストガスを加工対象物 100 に向けて噴射可能である。

[0045] 本実施形態において、アシストガスは、例えば、空気、窒素ガス、酸素ガス、アルゴンガス、キセノンガス、ヘリウムガス、または、これらの混合ガスを用いることができる。アシストガスとして、酸化反応熱を加工処理に利

用できる酸素ガスを用いた場合、金属等の加工対象物 100 に対する加工速度をより向上させることができる。また、アシストガスとして、熱影響層としての酸化被膜の生成を抑える窒素ガスやアルゴンガス等を用いた場合、金属等の加工対象物 100 に対する加工精度をより向上させることができる。アシストガスのガス種、混合比、および、ノズル 81 からの噴出量（圧力）などは、加工対象物 100 の種類や加工モード等の加工条件に応じて変えることができる。

[0046] また、レーザ加工ユニット 22 は、レーザを照射する位置の画像を撮影する撮影手段、例えば、CCD (Charge Coupled Device) イメージセンサ等を有するカメラを備えていてもよい。これにより、取得した画像に基づいてレーザの照射位置等を調整することができる。

[0047] レーザ加工ユニット 22 は、ファイバレーザ光源 62 または短パルスレーザ光源 64 から出力されるレーザをレーザ加工ヘッド 60 から加工対象物 100 に照射することで、穴 Wb があけられる。図 6 は、穴あけを行う場合として、説明しているが、レーザの照射位置を移動させることで、加工対象物を線で切削することができ、加工対象物を切断することもできる。レーザ加工ユニット 22 は、レーザを照射して加工を行った場合、加工した穴 Wb の周囲に熱影響層 Wa が生じる。本実施形態では、熱影響層 Wa は厚みが TH となる。

[0048] 制御部 24 は、移動ユニット 14、ステージユニット 16、レーザ加工ユニット 22 の各部の動作を制御する。制御部 24 は、移動ユニット 14 とステージユニット 16 のステージ移動機構 42 の動作を制御し、加工対象物 100 とレーザ加工ヘッド 60 とを相対移動させる。また、制御部 24 はレーザ加工ユニット 22 の駆動を制御し、レーザ加工を制御する。具体的には、制御部 24 は、加工対象物 100 の加工手順に基づいて、ファイバレーザで加工を行うか、短パルスレーザで加工を行うかを決定し、決定に基づいて切換機構 74 を含む各部を動作し、加工対象物 100 にレーザを照射する。また、制御部 24 は、熱影響層 Wa の許容厚みに基づいて、熱影響層 Wa の厚

みとレーザLの回転数と回転径Rとの相関関係を定めた制御マップ（巡回条件制御マップ）を参照して、熱影響層W aの厚みTHが許容厚みを超えないレーザLの許容回転数範囲および許容回転径範囲を決定する。

[0049] ここで、本実施形態において、加工対象物100の熱影響層W aは、加工対象物100に照射されたレーザL（ファイバレーザL1、短パルスレーザL2のいずれかのレーザ）により形成される再溶融層、酸化層、クラック、ドロスを少なくとも1つ含む。再溶融層は、加工時に、レーザLの照射により加工対象物100の固体が液体化し、再び固体化した層である。再溶融層は、加工モードにより異なるが、穴あけ加工、切断加工の場合、レーザLの照射方向（進行方向）の先に形成される層ではなく、レーザLの照射方向（進行方向）に直交する方向に形成される層であり、レーザLを照射することで形成された穴W bの内周面や、切断された加工対象物100の切断面に形成されるものである。

[0050] 酸化層は、加工対象物100が金属等である場合、アシストガスとして酸素を使用した際に、加工対象物100の穴W bの内周面や切断面に形成される酸化被膜である。クラックは、レーザLの照射により加工対象物100が急速加熱され、この急速加熱時に加工対象物100の穴W bの内周面や切断面に生じる微細なひび割れ（マイクロクラック）である。ドロスは、加工対象物100の穴あけ時や切断時などに液体化した材料が溶融物となって、加工対象物100の穴W bの内周面や切断面に付着して固体化した付着物である。加工対象物100の熱影響層W aの厚みTHは、再溶融層の厚み、酸化被膜の厚み、ひび割れの深さ、付着物の厚みを含む。

[0051] 許容厚みは、切断加工、穴あけ加工の少なくとも1つを含む切削加工処理を加工対象物100に施した際に、穴W bの内周面、切断部分の熱影響層W aの厚みTHが、加工処理を施された製品としての加工対象物100において許容できる範囲内の厚みである。また、許容厚みは、加工モードにより異なるが、穴あけ加工、切断加工の場合、レーザLの照射方向（進行方向）に直交する方向の長さである。

[0052] また、レーザ加工装置 10 は、一定周期で ON/OFF させて加工対象物 100 にレーザ L を照射する場合、例えば短パルスレーザで加工を行う場合、図 7 に示すように、レーザ L の ON/OFF の周期を、照射位置 I P の旋回周期の非整数倍とすることが好ましい。すなわち、レーザ加工装置 10 は、レーザ L の ON/OFF の周期と、照射位置 I P の旋回周期とをずらすことにより、一周目はレーザ L を照射位置 I P a に照射し、二周目はレーザ L を照射位置 I P b に照射することができる。つまり、レーザ加工装置 10 は、三周目以降も同様にレーザ L の ON/OFF を繰り返すことで、照射位置を順次ずらすことができる。これにより、レーザ加工装置 10 は、レーザ L の照射位置が各周回でずれ、加工対象物 100 の加工対象の領域に効率よくレーザ L を照射することができる。

[0053] また、レーザ加工装置 10 は、第 1 プリズムユニット 82 の第 1 プリズムと、第 2 プリズムユニット 84 の第 2 プリズムとの位相角の差を連続的に変化させつつ、第 1 プリズムユニット 82 の第 1 プリズムと、第 2 プリズムユニット 84 の第 2 プリズムとを回転させる場合、中心 P から徐々に離れる渦巻状の軌跡でレーザ L を加工対象物 100 に照射することができる。これにより、レーザ加工装置 10 は、渦巻状にレーザ L を照射することで、レーザ L が入りにくくなる厚みを有する加工対象物 100 に対しても精度良く加工することができる。

[0054] 次に、図 8 から図 16 を用いて、レーザ加工装置 10 の動作、つまりレーザ加工方法の一例について説明する。図 8 は、加工対象物の構造の一例を示す模式図である。図 9 は、レーザ加工装置の動作を説明するためのフローチャートである。図 10 A 及び図 10 B は、それぞれレーザ加工装置の動作を説明するための説明図である。図 11 は、レーザ加工装置の動作を説明するための説明図である。図 12 A 及び図 12 B は、それぞれレーザ加工装置の動作を説明するための説明図である。図 13 は、レーザ加工装置の動作を説明するためのフローチャートである。図 14 A 及び図 14 B は、それぞれレーザ加工装置の動作を説明するための説明図である。図 15 は、レーザ加工

装置の動作を説明するためのフローチャートである。図16は、レーザ加工装置の動作を説明するための説明図である。

[0055] まず、図8を用いて、加工対象物100の構造を説明する。加工対象物100は、金属層102に保護層104が積層されている。保護層104は、金属層102を熱、応力及び異物の接触の少なくとも1つから保護する層である。保護層104は、耐熱性材料もしくは、耐摩耗性材料で形成することが好ましい。ここで、耐熱性材料または耐摩耗性材料としては、より具体的には、保護層104は、アルミナ (Al_2O_3)、ジルコニア (ZrO_2)、酸化チタン (TiO_2)、ニクシリー ($NiCrAl$)、コクラリー ($CoCrAl$)、アルミナーチタニア ($Al_2O_3-TiO_2$)、クロミア (Cr_2O_3)、クロムカーバイド (Cr_3C_2-NiCr)、タングステンカーバイド (Cr_3C_2-NiCr 、 Cr_3C_2-CoCr 、 Cr_3C_2-Co) を用いることが好ましい。上記材料を用いることで、耐熱性及び耐摩耗性のうち少なくとも一方を高くすることができる。また、金属層102と保護層104との間には、金属層102と保護層104とを接合する接着層106が形成されている。なお、金属層102に保護層104を直接形成できる場合、接着層106はなくてもよい。

[0056] 加工対象物100としては、タービン翼が例示される。タービン翼の場合、耐熱鋼で形成された金属層102の表面にTBC（サーマルバリアコート）となる保護膜104が溶射等により形成されている。保護層104は、タービン翼の耐熱性の向上に寄与する膜である。また、加工対象物100がタービン翼の場合、レーザ加工装置10は、タービン翼の金属層102及び保護層104にフィルム冷却用の冷却穴として、貫通穴を形成する。また、加工対象物100の例として、タービン翼を示したが、加工対象物は、これに限定されない。加工対象物100は、金属層102に、保護層104が積層された各種部材を対象とすることができる。例えば、タービン翼と同様に、金属層102となる耐熱鋼の表面に保護層104となる溶射膜を形成する部分としては、エンジン燃焼器がある。

[0057] 次に、図9を用いて、レーザ加工方法の一例を説明する。レーザ加工装置10は、加工条件を決定する（ステップS12）。具体的には、加工対象物100の金属層102、保護層104のそれぞれ厚み、材料等に基づいて、加工時間、レーザの回転速度、レーザの出力等を決定する。

[0058] レーザ加工装置10は、加工条件を決定したら、短パルスレーザで加工を行う（ステップS14）。具体的には、レーザ加工装置10は、切換機構74で、短パルスレーザ光源64から照射される短パルスレーザL2が加工対象物100に照射される状態とし、短パルスレーザL2を加工対象物100に照射し、加工対象物100の切削を行う。レーザ加工装置10は、短パルスレーザL2で加工対象物100の保護層104を切削する。これにより、図10Aに示すように加工対象物100の保護層104に穴110が形成される。また、穴110の周囲には、熱影響層114が形成される。熱影響層114は、短パルスレーザL2が照射されることで、穴110の壁面から穴110の径方向外側の領域に形成されている。ここで、レーザ加工装置10は、短パルスレーザL2を加工する穴110よりも内径側に照射する。短パルスレーザL2の径が1mmの場合、短パルスレーザL2の端面と切削される側面との距離d1は、0.5mm（短パルスレーザL2の中心と切削される側面との距離は、1.0mm）となる。d1は、0.001mm以上1mm以下とすることが好ましい。

[0059] レーザ加工装置10は、短パルスレーザで加工を行ったら、ファイバレーザで加工を行う（ステップS16）。具体的には、レーザ加工装置10は、切換機構74で、ファイバレーザ光源62から照射されるファイバレーザL1が加工対象物100に照射される状態とし、ファイバレーザL1を加工対象物100の穴110が形成された領域に照射し、加工対象物100の切削を行う。レーザ加工装置10は、ファイバレーザL1で加工対象物100の金属層102を切削する。これにより、図10Bに示すように加工対象物100の保護層104と金属層102に繋がった穴120が形成される。また、穴120の周囲のうち金属層102の部分には、熱影響層122が形成さ

れる。熱影響層 122 は、ファイバレーザ L1 が照射されることで、穴 120 の金属層 102 の部分の壁面から穴 120 の径方向外側の領域に形成されている。ここで、レーザ加工装置 10 は、ファイバレーザ L1 を加工する穴 120 よりも内径側に照射する。ファイバレーザ L1 の径が 1 mm の場合、ファイバレーザ L1 の端面と切削される側面との距離 d2 は、0.5 mm (ファイバレーザ L1 の中心と切削される側面との距離は、1.0 mm) となる。d2 は、0.01 mm 以上 2 mm 以下とすることが好ましい。レーザ加工装置 10 は、ファイバレーザ L1 により切削される側面とファイバレーザ L1 との間に距離 d2 が設けられることで、短パルスレーザ L2 で加工された保護層 104 の壁面 (熱影響層 114) にファイバレーザ L1 があたらない状態で、金属層 102 を切削することができる。レーザ加工装置 10 は、ファイバレーザで加工を行ったら、本処理を終了する。

[0060] レーザ加工装置 10 は、短パルスレーザで保護層 104 を切削することで、保護層 104 に生じる熱影響層 114 をより小さくすることができる。また、レーザ加工装置 10 は、ファイバレーザで金属層 102 を切削することで、金属層 102 を切削する時間を短くすることができる。これにより、レーザ加工装置 10 は、加工対象物 100 の加工時間が長くなることを抑制しつつ、保護層 104 の熱影響層 114 を小さくすることができ、加工対象物 100 の加工を高精度かつ高速で行うことができる。

[0061] 例えば、上述したガスタービンのタービン翼のように、金属層 (耐熱鋼) 102 に保護層 (TBC) 104 を溶射等の方法により形成する構造の場合、複合材料のため、耐熱鋼だけの場合に比べて、高品質な加工を行なうことが困難である。具体的には、金属層 102 と保護層 104 では、適正加工条件が異なるため、どちらか一方の加工に適正な条件を設定すると、他方の品質が低下する。また、TBC と耐熱鋼では入熱に対する熱膨張率が異なり、TBC にクラックなどの熱影響層が生じやすい。TBC の表面は耐熱鋼に比べて表面粗さが大きく、ドロスが付着しやすく、とれにくい、つまり熱影響層が大きくなりやすい。これに対して、レーザ加工装置 10 は、保護層 10

4を短パルスレーザで切削することで、熱影響層を小さくしつつ切削加工を行うことができる。

[0062] また、レーザ加工装置10は、金属層102はファイバレーザで加工することで、金属層102の加工を短時間で行うことができる。

[0063] 以上より、レーザ加工装置10は、ファイバレーザ光源62と、短パルスレーザ光源64と、を設け、切換機構74により照射するレーザを切り換え可能とすることで、加工対象物100の大きさ、厚み、材料等に応じて、使用するレーザを切り換えることができる。これにより用途に応じた加工を高い精度かつ短時間で行うことができる。

[0064] また、レーザ加工装置10は、熱影響層を小さくできることで、設計時に切断面、穴等に設ける余裕（誤差等を加味した性能や形状の余裕）をより小さくすることができる。これにより、レーザ加工装置10で加工を行うことで、加工対象物100の性能をより高くすることができる。

[0065] また、レーザ加工装置10は、ファイバレーザL1を加工する穴120よりも内径側に照射することで、ファイバレーザL1が保護層104にあたらない状態で、金属層102を加工することができる。これにより、レーザ加工装置10は、ファイバレーザL1の照射時に保護層104の熱影響層114が増加することを抑制することができる。

[0066] また、レーザ加工装置10は、1つのレーザ加工ユニット22でファイバレーザによる加工と短パルスレーザによる加工ができる。これにより、加工対象物100の固定状態を維持したまま、加工を行うことができ、加工した部分で軸ズレが生じることを抑制できる。また、レーザを回転させることで、効果的にレーザ加工を行うことができる。

[0067] また、レーザ加工装置10は、切換機構74で、レーザ旋回部76に入射するレーザを切り換えることで、ファイバレーザと短パルスレーザとの波長が近い場合でも、それぞれのレーザを好適にレーザ旋回部76に入射させることができる。具体的には、レーザ加工ヘッド60の通過によって、ファイバレーザと短パルスレーザとの両方で生じる損失を少なくすることができ、

光源から出力されたレーザを効率よく加工対象物 100 に照射させることができる。

[0068] また、上記実施形態では、保護層 104 に形成する穴と金属層 102 に形成する穴とを同じ大きさ（同径）としたが、これに限定されない。レーザ加工装置 10 は、保護層 104 に形成する穴を金属層 102 に形成する穴よりも大きい径で形成することが好ましい。具体的には、短パルスレーザ加工工程で、金属層加工工程が金属層 102 に形成する穴より径が大きい穴を保護層 104 に形成することが好ましい。ここで、レーザ加工装置 10 は、保護層 104 に形成する穴の径を金属層 102 に形成する穴の径よりも数 10 μ m 大きくした穴を形成することが好ましい。これにより、加工時に保護層 104 に生じる熱影響層をより確実に少なくすることができる。なお、本実施形態は、加工により加工対象物 100 に穴を形成する場合で説明したが、レーザを線状に移動させ、加工対象物 100 を切断する加工等の場合も同様に、表面から見た場合、金属層 102 よりも保護層 104 をより広く加工していることが好ましい。

[0069] ここで、図 10A に示す例では、短パルスレーザ L2 で保護層 104 に穴を形成したが、これに限定されない。レーザ加工装置 10 は、短パルスレーザ L2 で加工対象物 100 の保護層 104 の穴の内面となる部分のみを切削してもよい。具体的には、短パルスレーザ L2 で保護層にリング状の穴を形成する加工を行ってもよい。

[0070] 図 11 は、レーザ加工装置の動作を説明するための説明図である。レーザ加工装置 10 は、図 11 に示すように、短パルスレーザ L2 で保護層 104 にリング状の開口 140 を形成してもよい。開口 140 は、外径（回転中心から最も遠い部分）が形成する穴の外径となる。開口 140 は、外径側の形状が図 10A の穴 110 と同様の形状である。また、レーザ加工装置 10 は、図 11 に示すように、短パルスレーザ L2 で保護層 104 にリング状の開口 140 を形成することで、開口 140 の内側に保護層 104 の柱 142 が残った状態となる。レーザ加工装置 10 は、短パルスレーザ L2 で開口 14

0を形成した後、ファイバレーザL1で、金属層102の一部と、柱142とを切削する加工を行い、図10Bに示す穴120を形成する。

[0071] レーザ加工装置10は、図11に示すように、短パルスレーザL2による加工をリング形状の開口140とし、形成する穴120の保護層104の内壁面部分を選択的に加工し、柱142をファイバレーザL1で加工することで、短パルスレーザL2による加工の時間をより短くすることができる。また、柱142は、穴120の内周から距離が離れているため、穴120の内周に影響を与えずにファイバレーザL1で切削することができ、穴120の品質を維持することができる。

[0072] また、図10A及び図10Bに示す例、図11に示す例では、加工をより短時間にできるため、短パルスレーザL2で保護層104のみを加工したが、これに限定されない。レーザ加工装置10は、短パルスレーザL2で加工対象物100の保護層104と金属層102の一部を切削してもよい。具体的には、金属層102の薄皮加工を行ってもよい。

[0073] 例えば、レーザ加工装置10は、短パルスレーザL2で加工対象物100の保護層104と金属層102の一部を切削する。これにより、図12Aに示すように加工対象物100の保護層104に加え、金属層102の保護層104側の一部まで延びた穴110aが形成される。また、穴110aの周囲には、熱影響層114、116aが形成される。熱影響層114は、短パルスレーザL2が照射されることで、保護層104の穴110aの壁面から穴110aの径方向外側の領域に形成されている。熱影響層116aは、短パルスレーザL2が照射されることで、金属層102の穴110aの壁面から穴110aの径方向外側の領域に形成されている。ここで、レーザ加工装置10は、短パルスレーザL2を加工する穴110aよりも内径側に照射する。また、レーザ加工装置10は、金属層102における穴110aの深さがd3となる。

[0074] レーザ加工装置10は、短パルスレーザL2で穴110aを形成したら、切換機構74で、ファイバレーザ光源62から照射されるファイバレーザL

1 が加工対象物 100 に照射される状態とし、ファイバレーザ L1 を加工対象物 100 の穴 110a が形成された領域に照射し、加工対象物 100 の切削を行う。レーザ加工装置 10 は、ファイバレーザ L1 で加工対象物 100 の金属層 102 を切削する。これにより、図 12B に示すように加工対象物 100 の保護層 104 と金属層 102 に繋がった穴 120a が形成される。また、穴 120a の周囲のうち金属層 102 の部分には、熱影響層 122a が形成される。熱影響層 122a は、ファイバレーザ L1 が照射されることで、穴 120a の金属層 102 の部分の壁面から穴 120a の径方向外側の領域に形成されている。熱影響層 122a は、熱影響層 116a に隣接している。つまり、金属層 102 は、保護層 104 側に熱影響層 116a が形成され、保護層 104 側とは反対側に熱影響層 122a が形成される。

[0075] レーザ加工装置 10 は、短パルスレーザ L2 で金属層 102 の一部にも穴 110a を形成することで、ファイバレーザ L1 が金属層 102 に照射されることで、金属層 102 に生じる熱影響が保護膜に伝わることを抑制することができる。これにより、短パルスレーザ L2 で加工して生じる熱影響層 114 がファイバレーザ L1 の照射により、大きくなることを抑制することができる。

[0076] また、レーザ加工装置 10 は、金属層 102 における穴 110a の深さ d3 を 0.001mm 以上、かつ、金属層 102 の厚みの 50% 以下とすることが好ましい。つまり、前記金属層 102 の表面に直交する方向において、金属層 102 を 0.001mm 以上、かつ、金属層 102 の厚みの 50% 以下に切削することが好ましい。深さ d3 を上記深さとすることで、ファイバレーザ L1 が金属層 102 に照射されて加工が行われることで、生じる保護層 104 への影響をより小さくすることができる。

[0077] また、レーザ加工装置 10 は、パルスレーザの照射により形成される、レーザが照射される方向における金属層の穴の深さ（レーザの進行方向における穴の深さ）を 0.001mm 以上、かつ、金属層の厚みの 50% 以下の深さとすることが好ましい。ここで、レーザが照射される方向と、加工対象物

の表面に直交する方向と、のなす角は、 10° 以上 60° 以下とすることが好ましい。これにより、ファイバレーザL1が金属層102に照射されて加工が行われることで、生じる保護層104への影響をより小さくすることができる。

[0078] 次に、図13を用いて、レーザ加工方法の一例を説明する。レーザ加工装置10は、加工条件を決定する（ステップS22）。具体的には、加工対象物100の金属層102、保護層104のそれぞれ厚み、材料等に基づいて、加工時間、レーザの回転速度、レーザの出力等を決定する。

[0079] レーザ加工装置10は、加工条件を決定したら、ファイバレーザで加工を行う（ステップS24）。具体的には、レーザ加工装置10は、切換機構74で、ファイバレーザ光源62から照射されるファイバレーザL1が加工対象物100に照射される状態とし、ファイバレーザL1を加工対象物100に照射し、加工対象物100の切削を行う。レーザ加工装置10は、ファイバレーザL1で加工対象物100の保護層104及び金属層102を切削する。つまり、レーザ加工装置10は、ファイバレーザL1で加工対象物100の保護層104及び金属層102を一括で加工する。これにより、図14Aに示すように加工対象物100の保護層104及び金属層102に穴120bが形成される。また、穴120bの周囲には、熱影響層122b、124が形成される。熱影響層122bは、ファイバレーザL1が照射されることで、穴120bの金属層102の壁面から穴120bの径方向外側の領域に形成されている。熱影響層124は、ファイバレーザL1が照射されることで、穴120bの保護層104の壁面から穴120bの径方向外側の領域に形成されている。ここで、レーザ加工装置10は、ファイバレーザL1を加工する穴120bよりも内径側に照射する。

[0080] レーザ加工装置10は、ファイバレーザで加工を行ったら、短パルスレーザで加工を行う（ステップS26）。具体的には、レーザ加工装置10は、切換機構74で、短パルスレーザ光源64から照射される短パルスレーザL2が加工対象物100に照射される状態とし、短パルスレーザL2を加工対

象物 100 の穴 120 b が形成された領域に照射し、加工対象物 100 の切削を行う。レーザ加工装置 10 は、短パルスレーザ L2 で加工対象物 100 の保護層 104 を切削する。これにより、図 14 B に示すように加工対象物 100 の保護層 104 の壁面の一部が切削される。これにより、ファイバレーザ L1 が照射されて生じる熱影響層 124 の一部が削られ、熱影響層 114 a が形成される。また、短パルスレーザ L2 で保護層 104 を加工することで、金属層 102 に形成される穴よりも保護層 104 に形成される穴の方が大きな径の穴となる。レーザ加工装置 10 は、短パルスレーザで加工を行ったら、本処理を終了する。

[0081] レーザ加工装置 10 は、以上のように、ファイバレーザ L1 で貫通した穴 120 b を形成し、その後、短パルスレーザ L2 を保護層 104 の穴 120 b の壁面近傍に照射することで、穴 120 b の周囲の保護層 104 の熱影響層を小さくすることができる。また、ファイバレーザ L1 で貫通した穴 120 b を形成することで、加工時間をより短くすることができる。

[0082] 次に、図 15 を用いて、レーザ加工方法の一例を説明する。ここで、図 15 に示す例は、加工開始時の加工対象物 100 は、保護層 104 が形成されていない金属層 102 のみの状態となる。レーザ加工装置 10 は、加工条件を決定する（ステップ S32）。具体的には、加工対象物 100 の金属層 102、保護層 104 のそれぞれ厚み、材料等に基づいて、加工時間、レーザの回転速度、レーザの出力等を決定する。

[0083] レーザ加工装置 10 は、加工条件を決定したら、穴あけ加工を行う（ステップ S34）。具体的には、金属層 102 に穴を形成する。穴を形成する方法は、上述したファイバレーザを用いてもよいが、切削工具を用いた機械加工によって行ってもよい。なお、この場合、レーザ加工装置 10 は、フレーム 12 とは別体で機械加工を行う機械加工ヘッドを設けてもよいし、フレーム 12 に設置された機械加工ヘッドを設けてもよい。

[0084] レーザ加工装置 10 は、穴あけ加工を行ったら、保護膜を形成する（ステップ S36）。保護膜は、穴が形成された金属層 102 に溶射等を行うこと

で、形成される。保護膜が本実施形態の保護層 104 となる。これにより、図 16 に示すように、穴 130 が形成された金属層 102 a の上に穴が開いていない保護層 104 a が形成される。

[0085] レーザ加工装置 10 は、保護膜を形成したら、短パルスレーザで加工を行う（ステップ S38）。具体的には、図 16 に示すように、保護層 104 a の穴 130 が形成されている部分に対応する位置に短パルスレーザ L2 を照射する。ここで、短パルスレーザ L2 は、穴 130 の壁面に沿った方向から照射することが好ましい。レーザ加工装置 10 は、短パルスレーザで加工を行ったら、本処理を終了する。

[0086] このように、金属層 102 a に穴 130 を形成した後、保護層 104 a を形成する場合も、短パルスレーザ L2 により保護層 104 a の領域 132 を加工し、穴を形成することで、保護層 104 a に形成する穴の熱影響層を少なくすることができる。

[0087] ここで、上記実施形態では、切換機構 74 を用いて、加工対象物 100 に照射されるレーザをファイバレーザにするか、短パルスレーザにするかを切り換えたがこれに限定されない。以下、図 17 から図 21 を用いて、レーザ加工装置の他の例について説明する。なお、以下の例は、切換機構の構成以外は、上記実施形態のレーザ加工装置と同様であるので、切換機構を含むレーザ加工ユニット 22 の構成のみを示す。

[0088] 図 17 は、他の実施形態に係るレーザ加工装置の概略構成を示す模式図である。図 17 に示すレーザ加工ユニット 22 のレーザ加工ヘッド 160 は、切換機構 74 に換えて、ハーフミラー 174 を有する。ハーフミラー 174 は、ファイバレーザ L1 と短パルスレーザ L2 とが重なる位置に配置されている。具体的には、ハーフミラー 174 は、コリメート光学系 70 とレーザ旋回部 76 との間で、かつ、コリメート光学系 72 を通過した短パルスレーザ L2 が到達する位置に配置されている。ハーフミラー 174 は、短パルスレーザ L2 の波長の光を反射し、ファイバレーザ L1 の波長の光を透過する特性を有する。レーザ加工ヘッド 160 は、ファイバレーザ L1 が、ハーフ

ミラー 174 を透過することで、レーザ旋回部 76 に入射し、短パルスレーザ L2 がハーフミラー 174 で反射されることで、レーザ旋回部 76 に入射する。

[0089] このようにレーザ加工装置は、切換機構 74 に換えてハーフミラー 174 を用いることでも、ファイバレーザ L1 と短パルスレーザ L2 の両方をレーザ旋回部 76 に入射させることができる。なお、本実施形態のようにハーフミラーを用いる場合、ファイバレーザ L1 と短パルスレーザ L2 として、波長が離れているレーザを用いることが好ましい。

[0090] 図 18 は、他の実施形態に係るレーザ加工装置の概略構成を示す模式図である。図 19 から図 21 は、それぞれ他の実施形態に係るレーザ加工装置の切換機構の一部の構成を示す模式図である。図 18 に示すレーザ加工ユニット 22 のレーザ加工ヘッド 260 は、切換機構 74 に換えて、切換光学系 274 を有する。切換光学系 274 は、図 18 及び図 19 に示すように、部分遮光板 274a と、部分反射板 274b と、を有する。

[0091] 部分遮光板 274a は、ファイバレーザ L1 が通過するコリメート光学系 70 の下流側に配置されており、コリメート光学系 70 を通過したファイバレーザ L1 が入射する。部分遮光板 274a は、図 19 及び図 20 に示すように、ファイバレーザ L1 が通過する領域の中心側に円形の光を遮光する遮光部 280 が設けられ、遮光部 280 よりも外側に光を透過する透過部 281 が設けられている。部分遮光板 274a は、入射したファイバレーザ L1 のうち、遮光部 280 に入射した光を遮り、透過部 281 に入射した光を透過させることで、ファイバレーザ L1 をリング形状の光とする。

[0092] 部分反射板 274b は、ファイバレーザ L1 と短パルスレーザ L2 とが重なる位置に配置されている。具体的には、部分反射板 274b は、コリメート光学系 70 とレーザ旋回部 76（より具体的には、部分遮光板 274a とレーザ旋回部 76）との間で、かつ、コリメート光学系 72 を通過した短パルスレーザ L2 が到達する位置に配置されている。部分反射板 274b は、図 19 及び図 21 に示すように、短パルスレーザ L2 が通過する領域の中心

側に円形の光を反射する反射部 282 が設けられ、反射部 282 よりも外側に光を透過する透過部 284 が設けられている。部分反射板 274 b は、短パルスレーザ L2 が反射部 282 に入射し、リング形状のファイバレーザ L1 が透過部 284 に入射する。部分反射板 274 b は、入射した短パルスレーザ L2 を反射部 282 で反射させて、レーザ旋回部 76 に入射させる。また、部分反射板 274 b は、入射したリング形状のファイバレーザ L1 を透過部 284 に透過させてレーザ旋回部 76 に入射させる。つまり、リング形状のファイバレーザ L1 は、中空部分が反射部 282 に対応し、反射部 282 の周囲の領域である透過部 284 を透過する。

[0093] このように、レーザ加工装置は、ファイバレーザ L1 と短パルスレーザ L2 の形状を調整した後、光の経路を重ねることで、2つのレーザを同じ向きで、レーザ旋回部 76 に入射させることができる。

[0094] 図 22 は、他の実施形態に係るレーザ加工装置の概略構成を示す模式図である。図 22 に示すレーザ加工ユニット 22 のレーザ加工ヘッド 360 は、切換機構 74 に換えて、切換光学系 374 を有する。切換光学系 374 は、反射光学系 376 と、部分反射板 378 と、を有する。

[0095] 反射光学系 376 は、複数の反射板 380 a、380 b、380 c、380 d を有する。反射板 380 a、380 b、380 c、380 d は、光を反射する部材であり、短パルスレーザ光源 64 から照射され、コリメート光学系 72 でコリメートされた短パルスレーザ L2 を反射させ、部分反射板 278 に設定された向き、ファイバレーザ L1 に対して直交する向きで入射させる。なお、本実施形態は、反射光学系 376 を用いたが、光ファイバで導光してもよい。

[0096] 部分反射板 378 は、ファイバレーザ L1 と短パルスレーザ L2 とが重なる位置に配置されている。具体的には、部分反射板 378 は、コリメート光学系 70 とレーザ旋回部 76 との間で、かつ、反射光学系 376 を通過した短パルスレーザ L2 が到達する位置に配置されている。部分反射板 378 は、短パルスレーザ L2 が通過する領域の中心側に円形の光の開口 378 a が

設けられ、開口 378 a よりも外側に光を反射する反射部 378 b が設けられている。部分反射板 378 は、短パルスレーザ L 2 が周囲の反射部 378 b に入射し、ファイバレーザ L 1 が中心の開口 378 a に入射する。部分反射板 378 は、入射した短パルスレーザ L 2 の中心を除く部分を反射部 378 b で反射させて、レーザ旋回部 76 に入射させる。また、部分反射板 378 は、入射したリング形状のファイバレーザ L 1 が中心に形成した開口 378 a を通過して、レーザ旋回部 76 に入射する。また、部分反射板 378 は、入射した短パルスレーザ L 2 の中心側の一部が開口 378 a を通過する。

[0097] レーザ加工ヘッド 360 は、ファイバレーザ光源 62 から照射された光は、コリメート光学系 70 を通過してコリメートされた後、部分反射板 378 を通過して、レーザ旋回部 76 に入射する。短パルスレーザ光源 64 から照射された光は、コリメート光学系 72 を通過してコリメートされた後、反射光学系 376 に入射する。短パルスレーザ L 2 は、反射光学系 376 で反射されて、部分反射板 378 で一部（中心側の一部を除いたリング形状の部分）が反射され、レーザ旋回部 76 に入射する。

[0098] このように、レーザ加工装置は、ファイバレーザ L 1 と短パルスレーザ L 2 の形状を調整した後、光の経路を重ねることで、2つのレーザを同じ向きで、レーザ旋回部 76 に入射させることができる。

[0099] なお、上記実施形態では、いずれもファイバレーザを直線の経路で案内し、短パルスレーザを反射させる経路で案内したが、これに限定されず、逆の配置としてもよいし、両方のレーザを反射させるようにしてもよい。また、本実施形態では、2種類のレーザを用いる場合としたが、3種類以上のレーザを用いるようにしてもよい。

[0100] 次に、図 23 から図 27 を用いて、レーザ加工装置の他の実施形態について説明する。図 23 は、他の実施形態に係るレーザ加工装置の概略構成を示す模式図である。図 24 は、図 23 に示すレーザ加工装置の光学系の概略構成を示す模式図である。図 25 は、軌道調整機構及びプリズムをレーザの入射方向から見た模式図である。図 26 は、軌道調整機構及びプリズムをレー

ザの入射方向に直交する方向から見た模式図である。図 27 は、レーザの照射位置近傍を拡大して示す拡大図である。

[0101] 図 23 に示すレーザ加工装置は、レーザ加工ヘッドの構造以外は、基本的にレーザ加工装置 10 と同様である。以下、図 23 に示すレーザ加工装置に特有の点を説明する。図 23 に示すレーザ加工装置は、短パルスレーザ光源 64 から出力される短パルスレーザ L2 を直線の経路で案内し、ファイバレーザ光源 62 から出力されるファイバレーザ L1 を反射させる経路で案内する。

[0102] レーザ加工ヘッド 460 は、短パルスレーザ光源 64 とファイバレーザ光源 62 との配置される位置がレーザ加工ヘッド 360 の配置と逆となっており、軌道調整機構 420 を備えている以外、基本的にレーザ加工ヘッド 360 と同様の構成である。また、レーザ加工ヘッド 460 のレーザ旋回部 476 は、プリズム 82a を有する第 1 プリズムユニット 82 と、プリズム 84a を有する第 2 プリズムユニット 84 と、を一体で回転させることで、ファイバレーザ L1 と短パルスレーザ L2 との照射位置を回転させる。また、レーザ加工ヘッド 460 の集光光学系 480 は、レンズ 480a とレンズ 480b とレンズ 480c とを有する。

[0103] レーザ加工ヘッド 460 は、ファイバレーザ L1 を反射光学系 376 で反射させた後、切り換え光学系 474 の部分反射板 478 でファイバレーザ L1 を反射する。部分反射板 478 は、反射板 478a と反射板 478b とを有する。2つの反射板 478a、478b は、図 24 に示すように、ファイバレーザ L1 の進行方向に対してずれた位置に配置されている。部分反射板 478 は、ファイバレーザ L1 の進行方向に対してずれた位置に配置されることで反射板 478a と反射板 478b との間に空間 478c が形成される。レーザ加工ヘッド 460 は、短パルスレーザ L2 が、空間 478c を通過する。このように、レーザ加工ヘッド 460 は、短パルスレーザ L2 が回転中心の近傍を通過し、ファイバレーザ L1 は、短パルスレーザ L2 の周囲を通過する。ここで、図 23 では、ファイバレーザ L1 及び短パルスレーザ L

2がレーザ旋回部476で中心軸がずれる状態を強調して示しているが、ファイバレーザL1及び短パルスレーザL2は、図24に示すように、レーザ旋回部476及び集光光学系480を通過する際、別々の領域を通過し重ならない。

[0104] ここで、レーザ加工ヘッド460は、軌道調整機構420を備えている。軌道調整機構420は、短パルスレーザL2の軌道を調整する機構であり、レーザ旋回部476の第1プリズムユニット82のプリズム82aの平坦な面に固定されている。具体的には、軌道調整機構420は、図25に示すように、プリズム82aの回転中心の短パルスレーザL2が通過する領域に配置されている。また、軌道調整機構420は、短パルスレーザL2よりも回転中心から離れた位置を通過するファイバレーザL1が通過する領域よりも内側に配置されている。つまり、軌道調整機構420は、ファイバレーザL1が通過する領域には配置されていない。本実施形態の軌道調整機構420は、図26に示すようなプリズムであり、入射した短パルスレーザL2を所定の方に屈折させる。軌道調整機構420は、第1プリズムユニット82のプリズム82aとともに回転する。

[0105] レーザ加工ヘッド460は、軌道調整機構420を設け、短パルスレーザL2を屈折させ、ファイバレーザL1を屈折させないことで、レーザ旋回部476の第1プリズムユニット82と第2プリズムユニット84との相対位相を同じ位置としても、図27に示すように、加工対象物100に照射される位置において、短パルスレーザL2をファイバレーザL1よりも回転中心から離れた位置に照射させることができる。これにより、短パルスレーザL2による加工と、ファイバレーザL1による加工と、を切り換える際に、第1プリズムユニット82と第2プリズムユニット84との相対位相をずらし、レーザの旋回径を変更する制御を実行せずに、短パルスレーザL2をファイバレーザL1よりも外側に照射させることができる。したがって、短パルスレーザL2とファイバレーザL1の両方を用いた加工をより短時間で実行することができ、加工対象物100の加工速度を向上させることができる。

。また、軌道調整機構420を、レーザ旋回部476に設けることで、装置を大型化せずに、短パルスレーザL2とファイバレーザL1とが通過する光学系を異なる光学系とし、照射位置をずらすことができる。

[0106] また、本実施形態では、短パルスレーザL2を回転中心側に入射させたため、軌道調整機構420を回転中心近傍に配置したが、レーザ加工ヘッド360のように、短パルスレーザL2を回転中心よりも外側に入射させる場合、軌道調整機構420をリング形状とし、短パルスレーザL2が通過する領域に軌道調整機構420を配置し、ファイバレーザL1が通過する領域に軌道調整機構420を配置しない構造とすればよい。

[0107] ここで、軌道調整機構は、レーザ旋回部に配置するプリズムに限定されない。図28から図32を用いて、軌道調整機構の他の例について説明する。図28は、他の実施形態に係るレーザ加工装置の概略構成を示す模式図である。図29は、図28に示すレーザ加工装置の光学系の概略構成を示す模式図である。図30は、軌道調整機構及び集光レンズをレーザの入射方向から見た模式図である。図31は、軌道調整機構及び集光レンズをレーザの入射方向に直交する方向から見た模式図である。図32は、レーザの照射位置近傍を拡大して示す拡大図である。

[0108] 図28に示すレーザ加工装置のレーザ加工ヘッドは、軌道調整機構の構造以外、基本的に、図23に示すレーザ加工ヘッドと同様である。以下、図28に示すレーザ加工ヘッドに特有の点を説明する。

[0109] レーザ加工ヘッド560は、図28及び図29に示すように、軌道調整機構520が、集光光学系580に設けられている。また、レーザ加工ヘッド560のレーザ旋回部76は、プリズム82aを有する第1プリズムユニット82と、プリズム84aを有する第2プリズムユニット84と、を一体で回転させることで、ファイバレーザL1と短パルスレーザL2との照射位置を回転させる。また、レーザ加工ヘッド560の集光光学系580は、レンズ580aとレンズ580bとレンズ580cとを有する。

[0110] 軌道調整機構520は、短パルスレーザL2の軌道を調整する機構であり

、レンズ521と、レンズ522とを有する。レンズ521は、集光光学系580のレンズ580aの平坦な面または、面の一部に固定されている。具体的には、レンズ521は、図30に示すように、レンズ580aの回転中心の短パルスレーザL2が通過する領域に配置されている。また、レンズ521は、短パルスレーザL2よりも回転中心から離れた位置を通過するファイバレーザL1が通過する領域よりも内側に配置されている。つまり、レンズ521は、ファイバレーザL1が通過する領域には配置されていない。本実施形態のレンズ521は、図31に示すようなレンズであり、入射した短パルスレーザL2の焦点位置を調整する。また、レンズ522は、集光光学系580のレンズ580bの平坦な面に固定されている。レンズ522は、配置位置が異なるのみでレンズ521と同様の配置位置で同様の機能を備えている。

[0111] レーザ加工ヘッド560は、軌道調整機構520を設け、短パルスレーザL2を通過させ、ファイバレーザL1を通過させないことで、レーザ旋回部76の第1プリズムユニット82と第2プリズムユニット84との相対位相を同じ位置としても、図32に示すように、短パルスレーザL2とファイバレーザL1の焦点位置をずらすことができる。本実施形態では、短パルスレーザL2の焦点位置を面590とし、ファイバレーザL1の焦点位置を加工対象物100の面上とする。このように焦点位置をずらすことで、具体的には、短パルスレーザL2の焦点位置をファイバレーザL1の焦点位置よりも手前側とすることで、加工対象物100に照射される位置において、短パルスレーザL2をファイバレーザL1よりも回転中心から離れた位置に照射させることができる。これにより、短パルスレーザL2による加工と、ファイバレーザL1による加工と、を切り換える際に、第1プリズムユニット82と第2プリズムユニット84との相対位相をずらして、レーザの旋回径を変更する制御を実行せずに、短パルスレーザL2をファイバレーザL1よりも外側に照射させることができる。したがって、短パルスレーザL2とファイバレーザL1の両方を用いた加工をより短時間で実行することができ、加工

対象物 100 の加工速度を向上させることができる。また、軌道調整機構 520 を、集光光学系 580 に設けることで、装置を大型化せずに、短パルスレーザ L2 とファイバレーザ L1 とが通過する光学系を異なる光学系とし、照射位置をずらすことができる。

[0112] また、本実施形態では、短パルスレーザ L2 を回転中心側に入射させたため、軌道調整機構 520 を回転中心近傍に配置したが、レーザ加工ヘッド 360 のように、短パルスレーザ L2 を回転中心よりも外側に入射させる場合、軌道調整機構 520 をリング形状とし、短パルスレーザ L2 が通過する領域に軌道調整機構 520 を配置し、ファイバレーザ L1 が通過する領域に軌道調整機構 520 を配置しない構造とすればよい。

[0113] 次に、図 33 を用いて、レーザ加工装置の他の実施形態を説明する。図 33 は、他の実施形態に係るレーザ加工装置の概略構成を示す模式図である。図 33 に示すレーザ加工装置のレーザ加工ヘッドは、軌道調整機構に加えて、照射位置調整機構を備えている以外、基本的に、図 23 に示すレーザ加工ヘッドと同様である。以下、図 33 に示すレーザ加工ヘッドに特有の点を説明する。

[0114] 図 33 に示すレーザ加工ヘッド 660 は、照射位置調整機構として、ピント調整機構 624 と、傾斜調整機構 626 と、を有する。ピント調整機構 624 と、傾斜調整機構 626 とは、短パルスレーザ L2 が通過する経路（光路）上のコリメート光学系 70 と部分反射板 478 との間に配置されている。つまり、ピント調整機構 624 と、傾斜調整機構 626 と、短パルスレーザ L2 の経路のみ、短パルスレーザ L2 が通過しファイバレーザ L1 が通過しない位置に設けられている。ピント調整機構 624 は、短パルスレーザ L2 の焦点位置を調整する機構であり、ピント調整機構 624 は、複数のレンズを組み合わせた光学系を用いることができる。傾斜調整機構 626 は、短パルスレーザ L2 の角度、具体的には、レーザ旋回部 76 の旋回軸（旋回中心）に対する角度を調整する。

[0115] 図 34 A 及び図 34 B は、それぞれレーザ加工装置の動作を説明するため

の説明図である。レーザ加工ヘッド 660 は、ピント調整機構 624 を備えることで、図 34 A に示すように、高さ方向（レーザの進行方向）において、ファイバレーザ L1 の焦点位置 630 と、短パルスレーザ L2 の焦点位置 632 とがずれている場合、ピント調整機構 624 で短パルスレーザ L2 の焦点位置 632 を調整することで、図 34 B に示すように短パルスレーザ L2 の焦点位置 632 a の位置を焦点 630 の位置に合わせることができる。

[0116] レーザ加工ヘッド 660 は、ピント調整機構 624 を備えることで、短パルスレーザ L2 の焦点位置を調整することができる。これにより、ファイバレーザ L1 の焦点位置に対する短パルスレーザ L2 の焦点位置を迅速に調整することができ、レーザ加工ヘッド 660 の全体の位置や、レーザ旋回部 76 を調整しなくても、2つのレーザを用いる加工を迅速に切り換えることができる。

[0117] 図 35 A 及び図 35 B は、それぞれレーザ加工装置の動作を説明するための説明図である。レーザ加工ヘッド 660 は、傾斜調整機構 626 を備えることで、図 35 A に示すように、高さ方向（レーザの進行方向）に直交する面において、ファイバレーザ L1 の焦点位置 630 と、短パルスレーザ L2 の焦点位置 634 とがずれている場合、傾斜調整機構 626 で短パルスレーザ L2 の焦点位置 634 を調整することで、図 35 B に示すように短パルスレーザ L2 の焦点位置 634 a の位置を焦点 630 の位置に合わせることができる。

[0118] レーザ加工ヘッド 660 は、傾斜調整機構 626 を備えることで、短パルスレーザ L2 の焦点位置を調整することができる。これにより、ファイバレーザ L1 の焦点位置に対する短パルスレーザ L2 の焦点位置を迅速に調整することができ、レーザ加工ヘッド 660 の全体の位置や、レーザ旋回部 76 を調整しなくても、2つのレーザを用いる加工を迅速に切り換えることができる。

[0119] なお、レーザ加工ヘッド 660 は、ピント調整機構 624 と、傾斜調整機構 626 との一方のみを備えていてもよい。

- [0120] また、上記実施形態において、移動ユニット 14 により加工対象物 100 を Y 軸方向に移動させ、かつレーザ加工ヘッド 60 を X 軸方向、Z 軸方向に移動させたがこれに限定されない。レーザ加工装置 10 は、加工対象物 100 を X 軸 Y 軸 Z 軸の 3 方向に移動させても、レーザ加工ヘッド 60 を X 軸 Y 軸 Z 軸の 3 方向に移動させてもよい。また、レーザ加工装置 10 は、ステージユニット 16 にステージ移動機構を設け、ステージ移動機構により加工対象物 100 の姿勢（向き、回転方向の位置）を調整してもよい。
- [0121] また、上記実施形態のレーザ加工装置 10 は、2 つのレーザ加工ヘッドで 2 種類のレーザを照射させたが、これに限定されない。レーザ加工装置 10 は、少なくとも短パルスレーザを照射することができればよい。また、もう 1 つのレーザを用いる場合、レーザはファイバレーザに限定されず、可能に用いる種々のレーザを用いることができる。また、レーザ加工装置 10 に、短パルスレーザを照射するヘッドと、短パルスレーザ以外のレーザ（ファイバレーザ、CO₂レーザ）を照射するヘッドとを備え、上記短パルスレーザによる加工と、それ以外のレーザ加工を行うようにしてもよい。また、上記短パルスレーザによる加工以外の加工（金属層の加工）を行う手段は、レーザ加工に限定されず、機械加工（ドリル加工、旋盤加工）で切削加工を行ってもよい。
- [0122] 上記実施形態のレーザ加工装置 10 は、上述したように、金属層に保護層が積層された加工対象物を加工する際に好適に用いることができるが、これに限定されない。レーザ加工装置 10 は、他の構造の加工対象物の加工にも用いることができる。

符号の説明

- [0123] 10 レーザ加工装置
 12 フレーム
 14 移動ユニット
 16 ステージユニット
 22 レーザ加工ユニット

- 2 4 制御部
- 3 0 Y軸移動機構
- 3 4 X軸移動機構
- 3 8 Z軸移動機構
- 3 9 θ Y回転機構
- 6 0 レーザ加工ヘッド
- 6 2 ファイバレーザ光源
- 6 4 短パルスレーザ光源
- 7 6 レーザ旋回部
- 8 0 集光光学系
- 8 1 ノズル
- 8 2 第1プリズムユニット
- 8 4 第2プリズムユニット
- 8 6 アシストガス供給源
- 1 0 0 加工対象物

請求の範囲

- [請求項1] 加工対象物を加工する短パルスレーザを少なくとも照射するレーザ加工ヘッドを用いて、前記加工対象物を加工するレーザ加工方法であって、
- 前記加工対象物は、金属層に保護層が形成された積層構造であり、
- 前記保護層に短パルスレーザを照射し、前記保護層を切削する短パルスレーザ加工工程と、
- 前記短パルスレーザ加工工程で切削した領域の前記金属層を切削する金属層加工工程と、を含むレーザ加工方法。
- [請求項2] 前記短パルスレーザ加工工程は、前記金属層の表面に直交する方向において、前記金属層を0.001mm以上、かつ、前記金属層の厚みの50%以下の深さに切削する請求項1に記載のレーザ加工方法。
- [請求項3] 前記短パルスレーザ加工工程は、前記短パルスレーザが照射される方向において、前記金属層を0.001mm以上、かつ、前記金属層の厚みの50%以下の深さに切削する請求項1に記載のレーザ加工方法。
- [請求項4] 少なくとも加工対象物を加工するレーザを照射するレーザ加工ヘッドを用いて、前記加工対象物を加工するレーザ加工方法であって、
- 前記加工対象物は、金属層に保護層が形成された積層構造であり、
- 前記保護層と前記金属層とを一括して切削する金属層加工工程と、
- 前記金属層加工工程で切削した領域の端面を含む前記保護層に短パルスレーザを照射し、前記保護層を切削する短パルスレーザ加工工程と、
- を含むレーザ加工方法。
- [請求項5] 少なくとも加工対象物を加工するレーザを照射するレーザ加工ヘッドを用いて、前記加工対象物を加工するレーザ加工方法であって、
- 前記加工対象物は、金属層に保護層が形成された積層構造であり、
- 前記保護層が形成されていない前記加工対象物の前記金属層を切削

する金属層加工工程と、

前記金属層加工工程で切削された前記加工対象物に前記保護層を積層する積層工程と、

前記積層工程で前記保護層が積層された前記加工対象物の前記金属層加工工程で切削した領域と重なる領域に短パルスレーザを照射し、前記保護層を切削する短パルスレーザ加工工程と、

を含むレーザ加工方法。

[請求項6] 前記短パルスレーザ加工工程及び前記金属層加工工程は、前記加工対象物に穴を形成する加工であり、

前記短パルスレーザ加工工程は、前記金属層加工工程が前記金属層に形成する穴より径が大きい穴を前記保護層に形成する請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載のレーザ加工方法。

[請求項7] 前記短パルスレーザ加工工程は、前記保護層にリング形状の開口を形成する加工であり、

前記金属層加工工程は、前記加工対象物に穴を形成する加工であり、

前記短パルスレーザ加工工程は、前記金属層加工工程が前記金属層に形成する穴より外径が大きいリング形状を前記保護層に形成する請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載のレーザ加工方法。

[請求項8] 前記金属層加工工程は、前記短パルスレーザ加工工程で切削した領域にファイバレーザを照射し、前記金属層を切削する請求項 1 から 7 のいずれか一項にレーザ加工方法。

[請求項9] 前記保護層は、耐熱性材料もしくは、耐摩耗性材料で形成される請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載のレーザ加工方法。

[請求項10] 前記レーザ加工ヘッドは、前記短パルスレーザを前記加工対象物に対して回転させるレーザ回転部と、前記レーザ回転部で回転された前記短パルスレーザを集光させる集光光学系と、を有し、

前記短パルスレーザ加工工程は、前記レーザ回転部で、前記レーザ

が前記加工対象物に照射される位置を回転させる請求項 1 から 9 のいずれか一項に記載のレーザ加工方法。

- [請求項11] 加工対象物を支持するステージを含むステージユニットと、
 ファイバレーザを出力するファイバレーザ光源、短パルスレーザを出力する短パルスレーザ光源及び前記加工対象物を加工するレーザを照射するレーザ加工ヘッドを含むレーザ加工ユニットと、
 前記レーザ加工ヘッドと前記ステージとを Y 軸方向に相対移動させる Y 軸移動機構、前記 Y 軸移動機構に対して、前記レーザ加工ヘッドを X 軸方向に相対移動させる X 軸移動機構及び前記 X 軸移動機構に固定され、前記レーザ加工ヘッドを Z 軸方向に相対移動させる Z 軸移動機構を有する移動ユニットと、
 各部の動作を制御する制御部と、を含み、
 前記レーザ加工ヘッドは、前記ファイバレーザをレーザ旋回部に入射させる状態と、前記短パルスレーザを前記レーザ旋回部に入射させる状態と、を切り換える切換機構と、前記レーザを前記加工対象物に対して回転させるレーザ旋回部と、前記レーザ旋回部で回転されたレーザを集光させる集光光学系と、を有し、前記レーザ旋回部で、前記レーザが前記加工対象物に照射される位置を回転させるレーザ加工装置。
- [請求項12] 前記短パルスレーザの経路に配置され、前記短パルスレーザの照射位置を、前記レーザの旋回する経路の中心よりも外側にオフセットし、前記ファイバレーザが入射しない軌道に調整する軌道調整機構をさらに備える請求項 1 1 に記載のレーザ加工装置。
- [請求項13] 前記軌道調整機構は、前記レーザ旋回部に設置されたプリズムである請求項 1 2 に記載のレーザ加工装置。
- [請求項14] 前記軌道調整機構は、前記集光光学系に設置されたレンズである請求項 1 2 に記載のレーザ加工装置。
- [請求項15] 前記短パルスレーザの経路に配置され、前記短パルスレーザの照射

位置を、調整する照射位置調整機構をさらに備え、

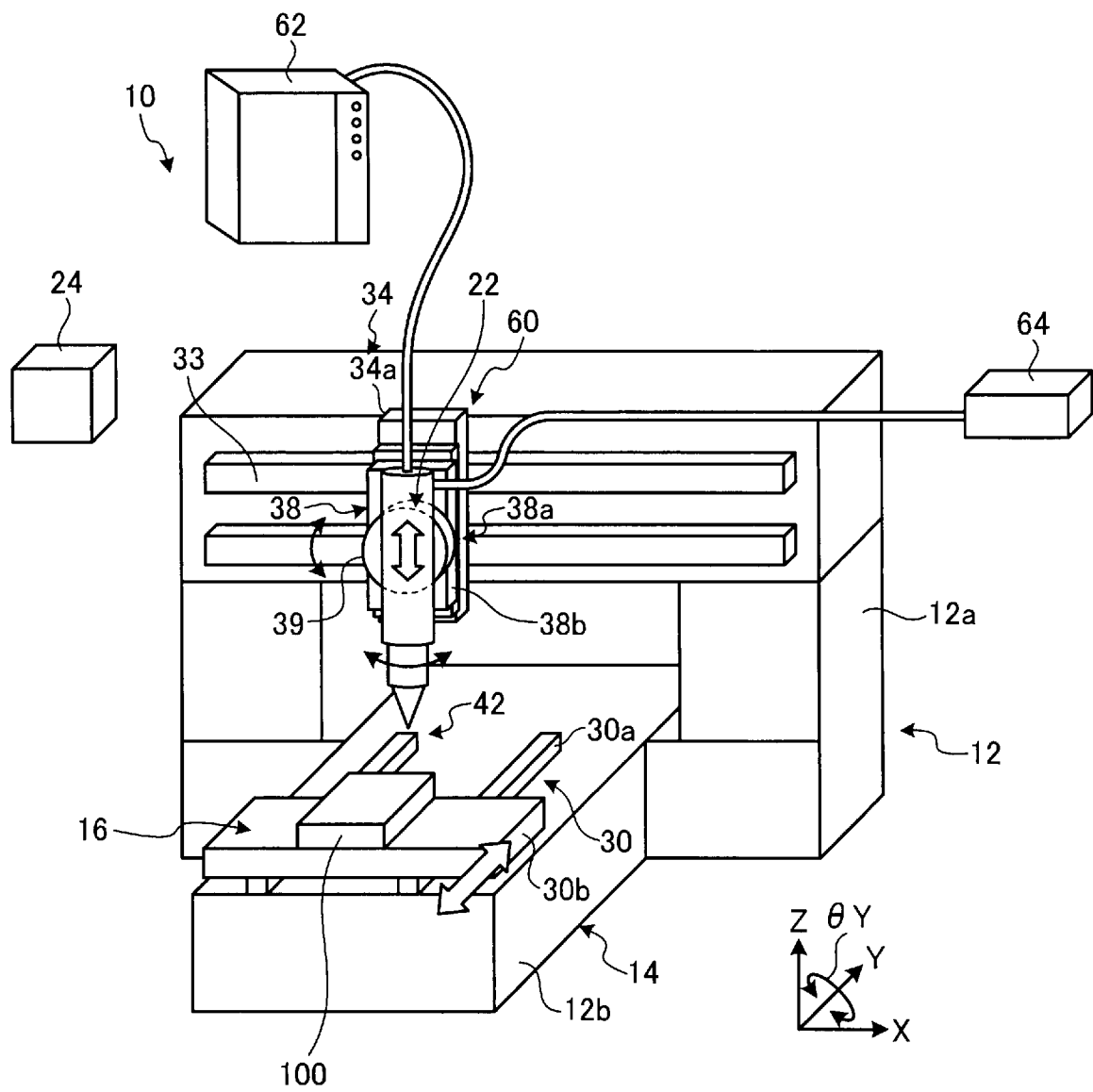
前記制御部は、前記ファイバレーザの照射位置に基づいて、前記照射位置調整機構により前記短パルスレーザの照射位置を調整する請求項 11 から 14 のいずれか一項に記載のレーザ加工装置。

[請求項16]

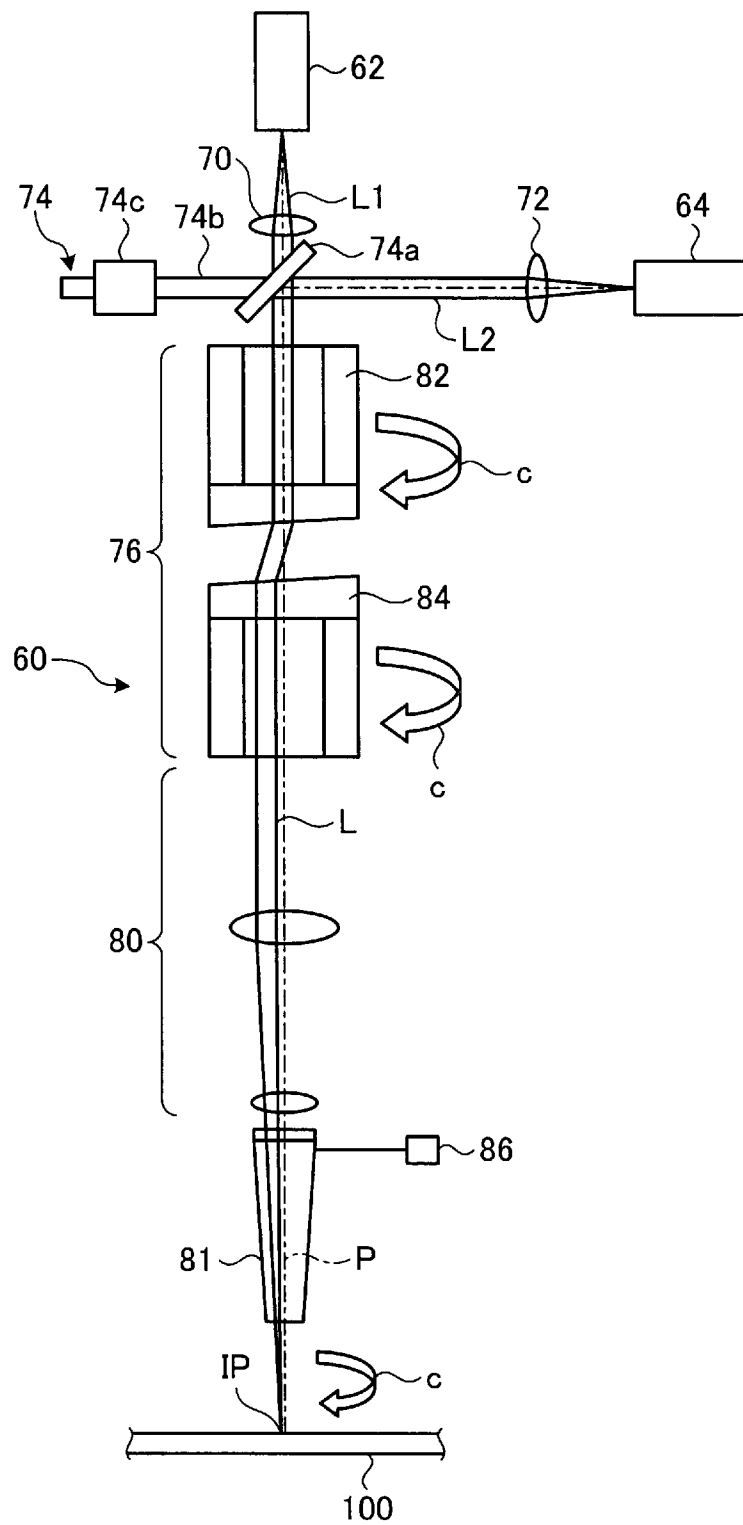
前記加工対象物は、金属層に保護層が形成された積層構造であり、

前記制御部は、前記レーザ加工ユニットから前記加工対象物に前記短パルスレーザを照射して、前記保護層を切削する請求項 11 から 15 のいずれか一項に記載のレーザ加工装置。

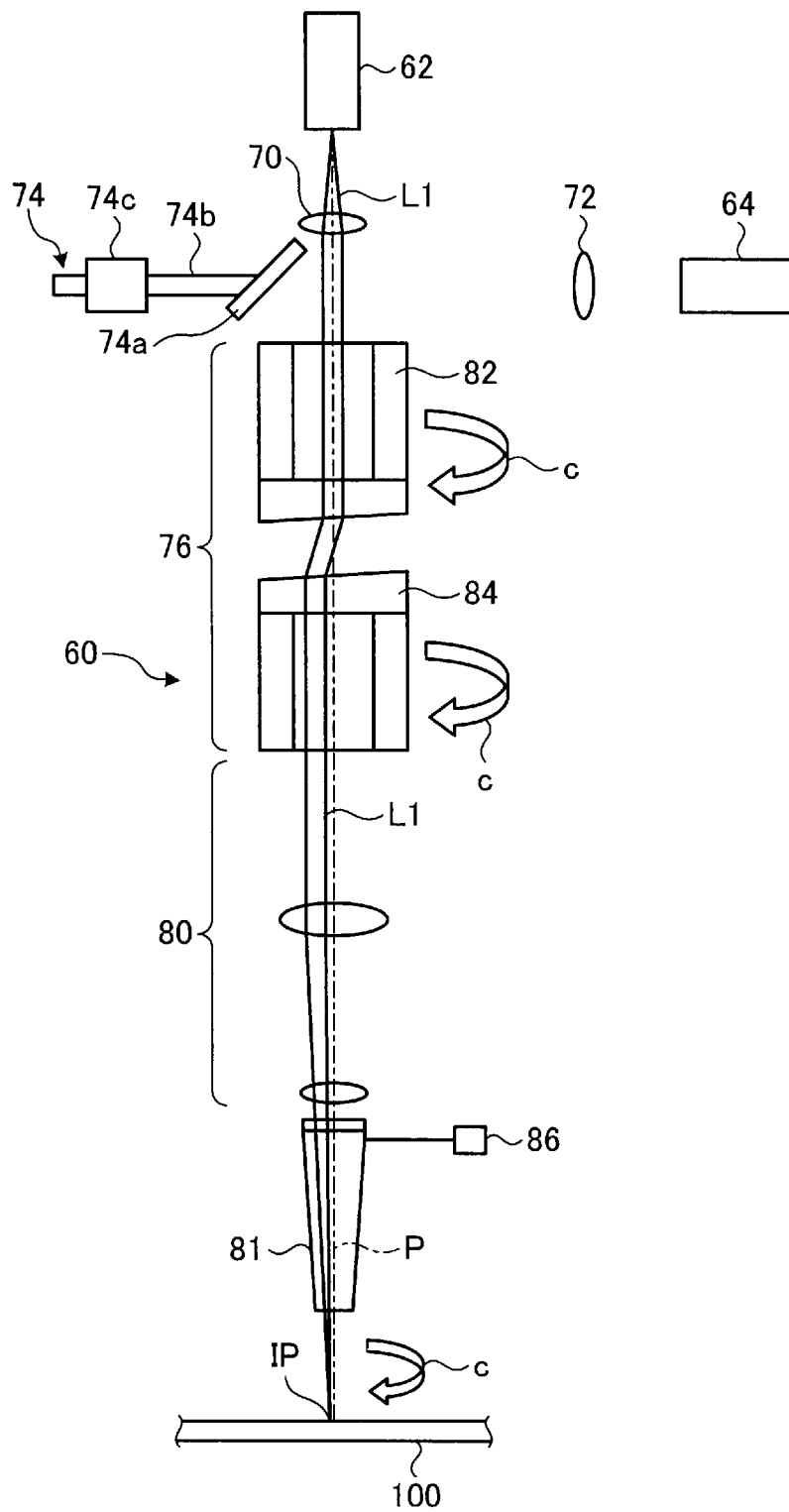
[図1]



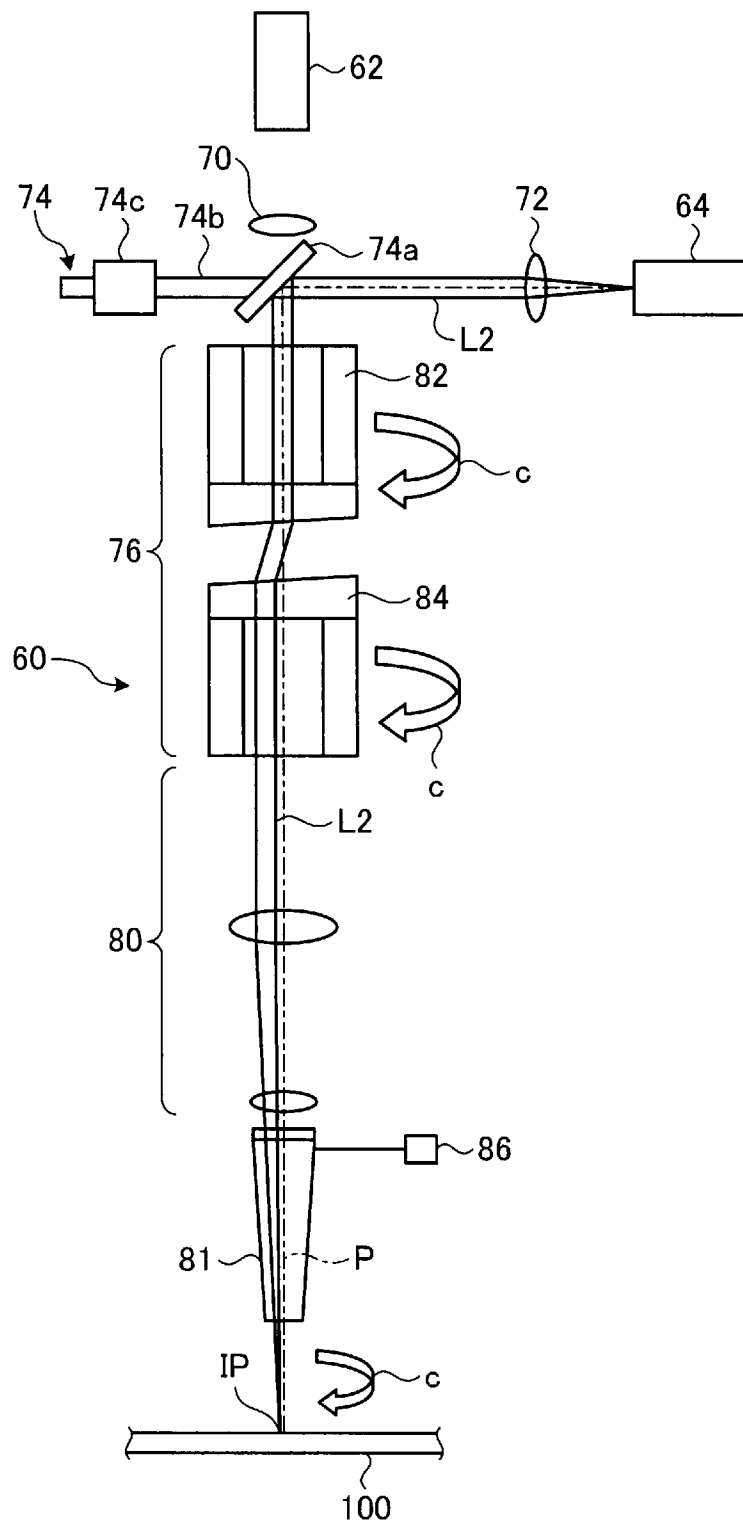
[図2]



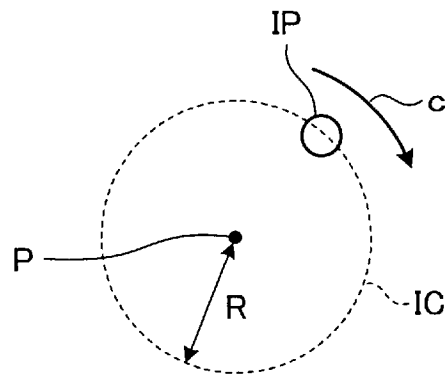
[図3]



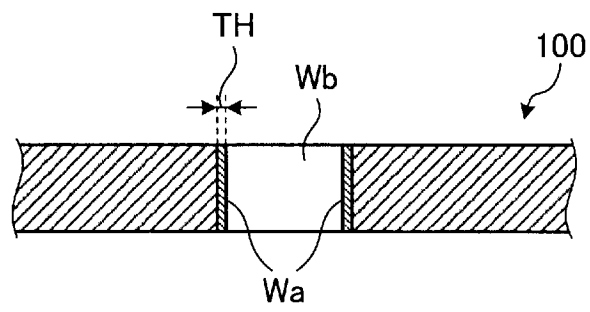
[図4]



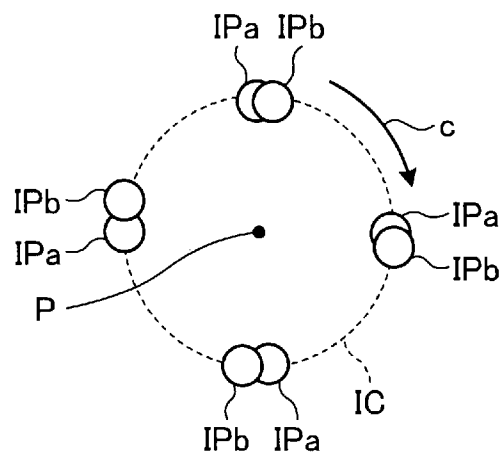
[図5]



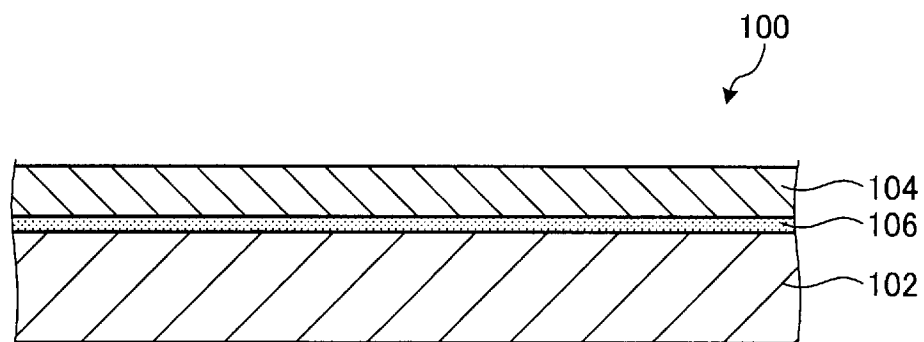
[図6]



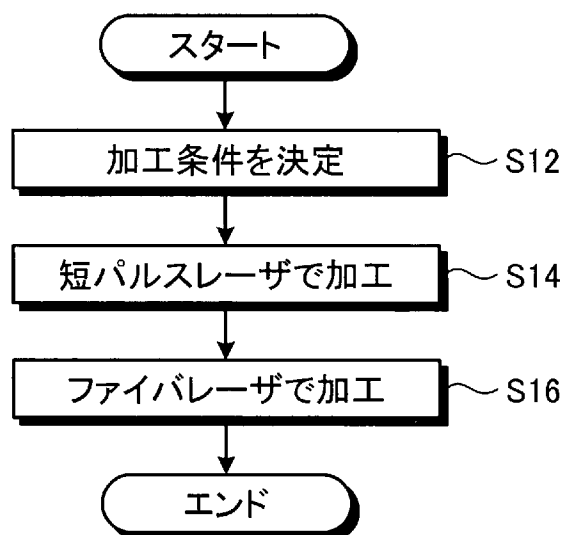
[図7]



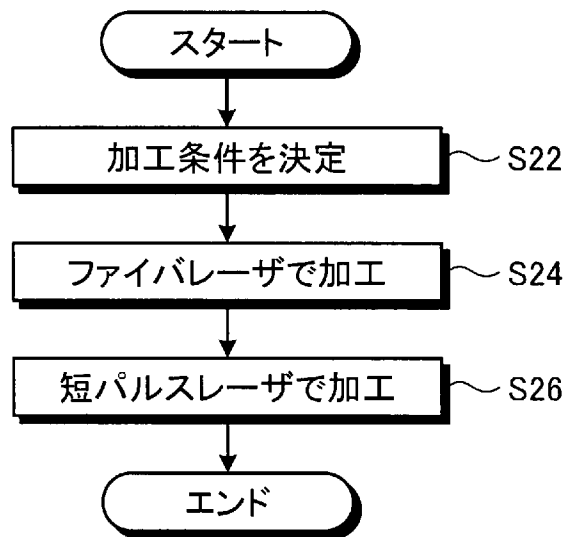
[図8]



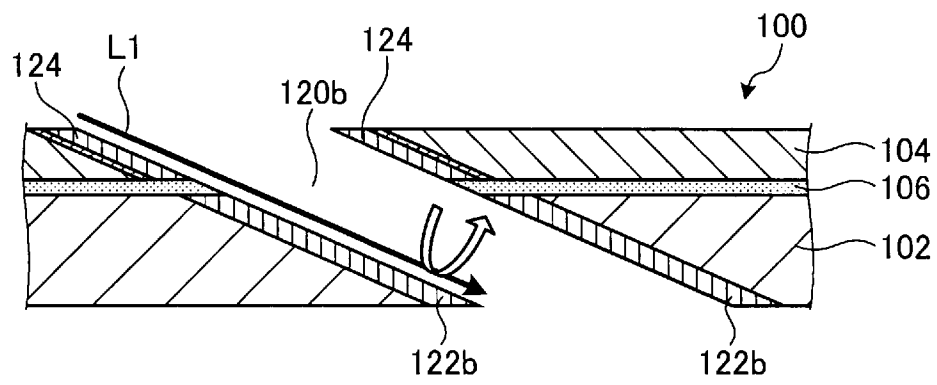
[図9]



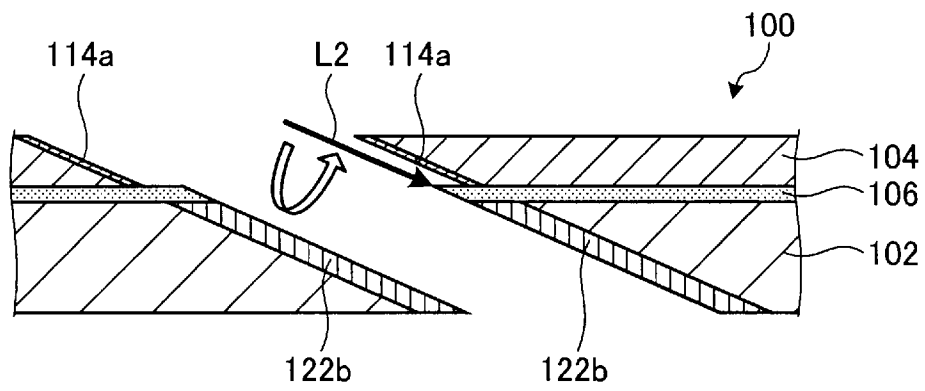
[図13]



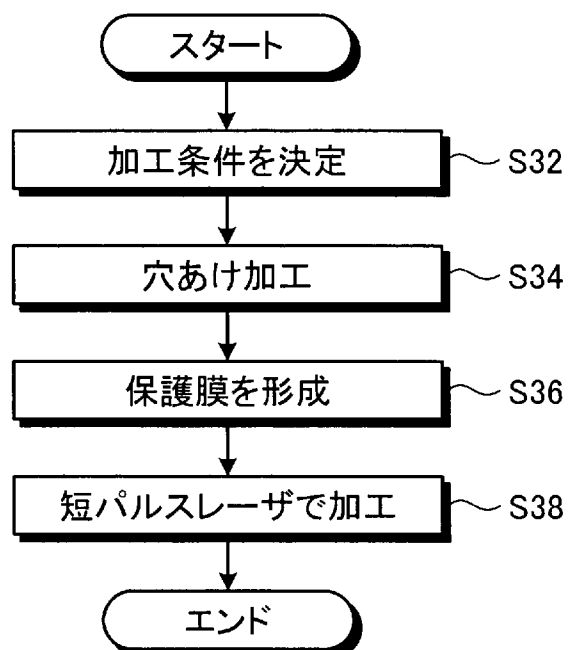
[図14A]



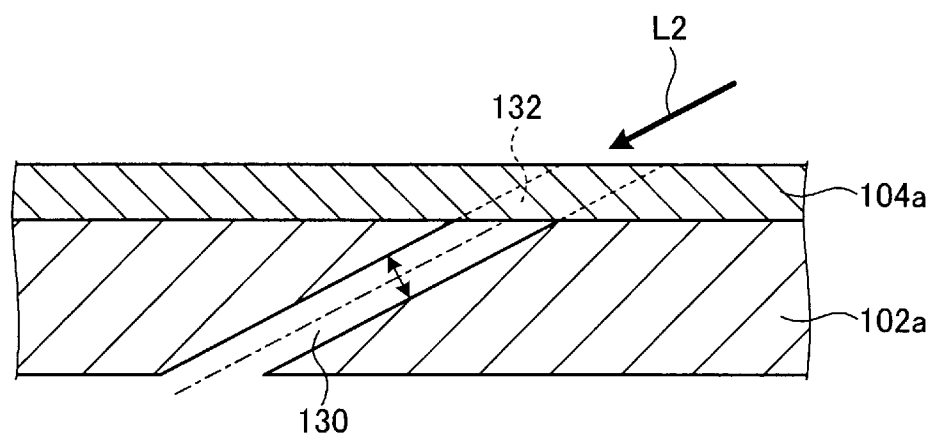
[図14B]



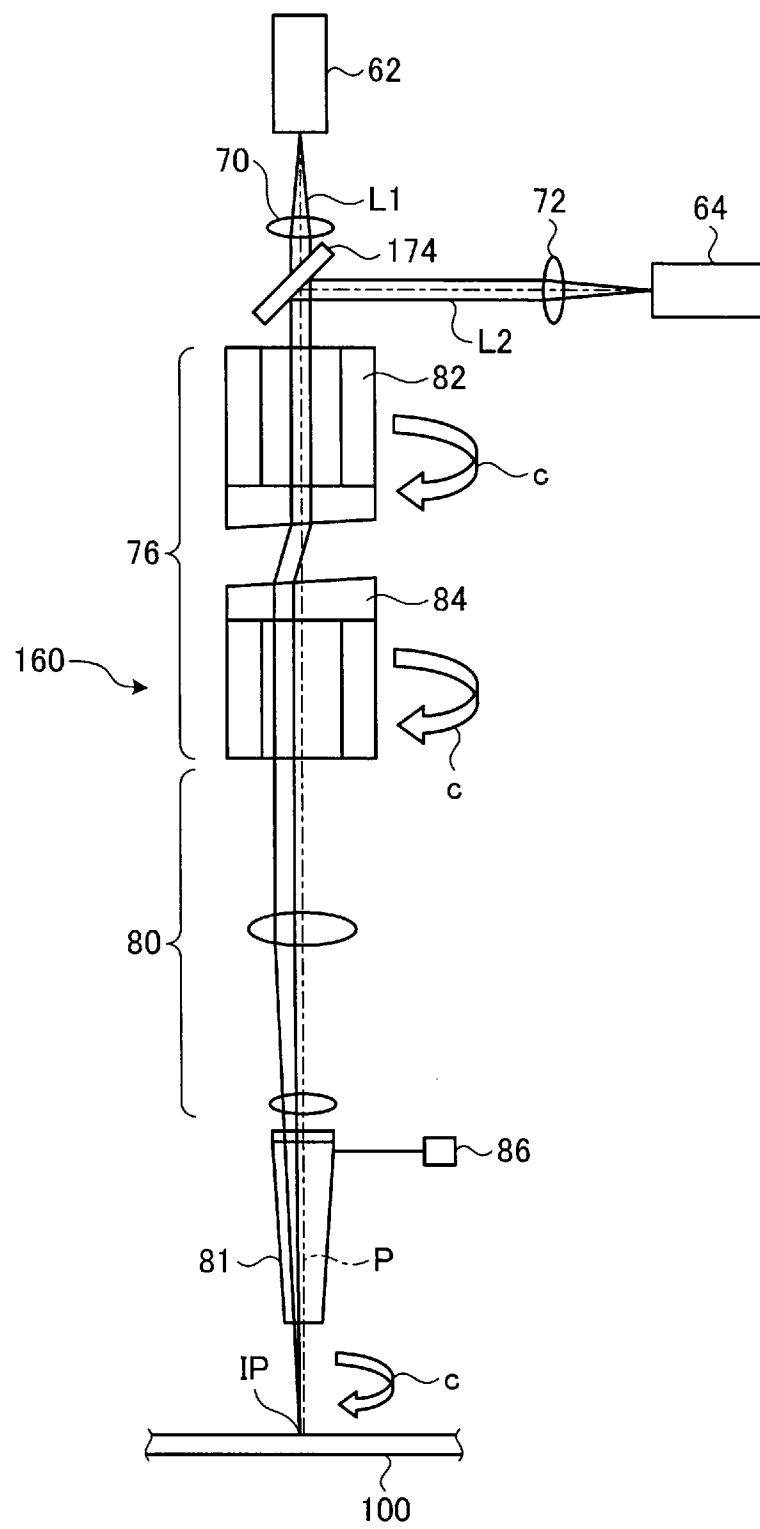
[図15]



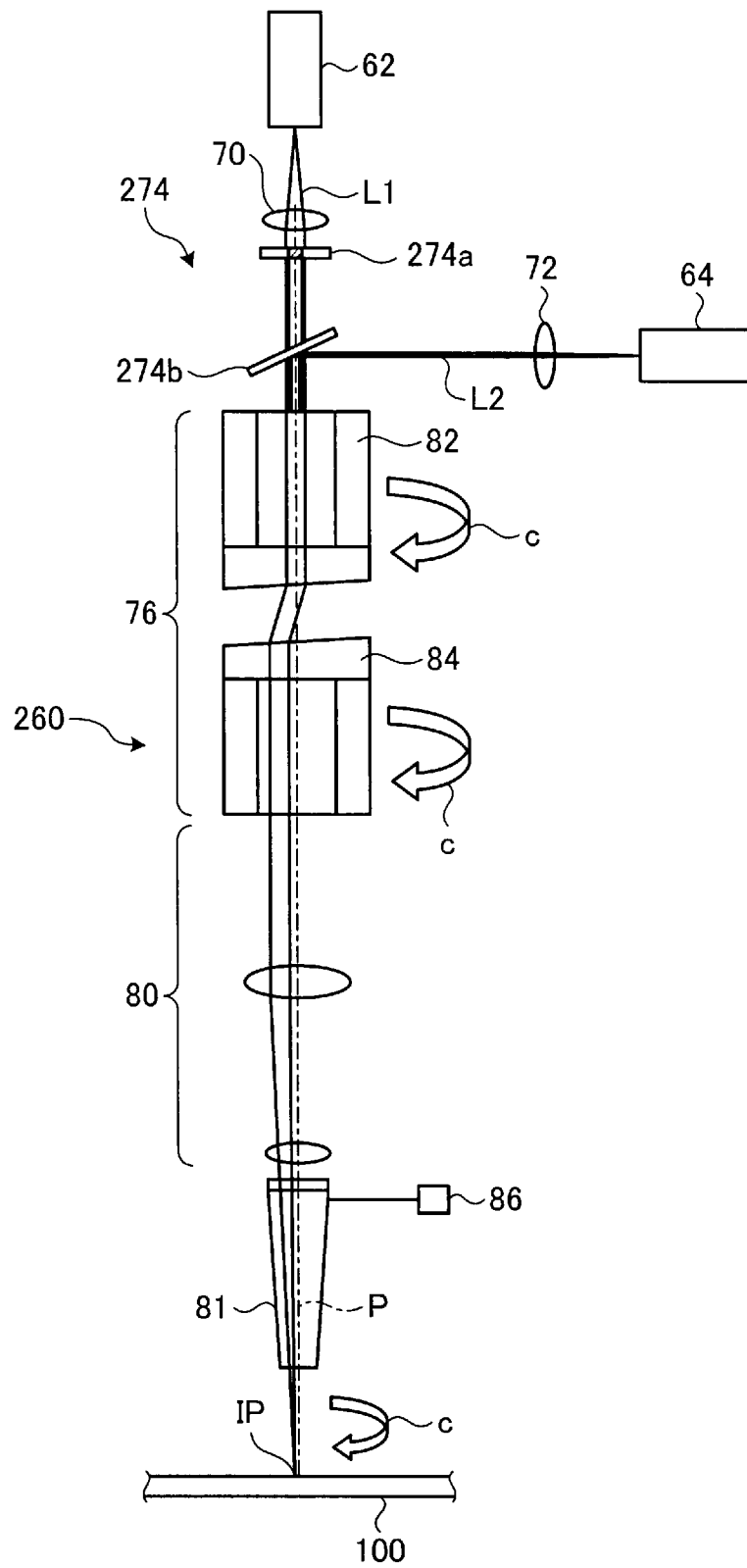
[図16]



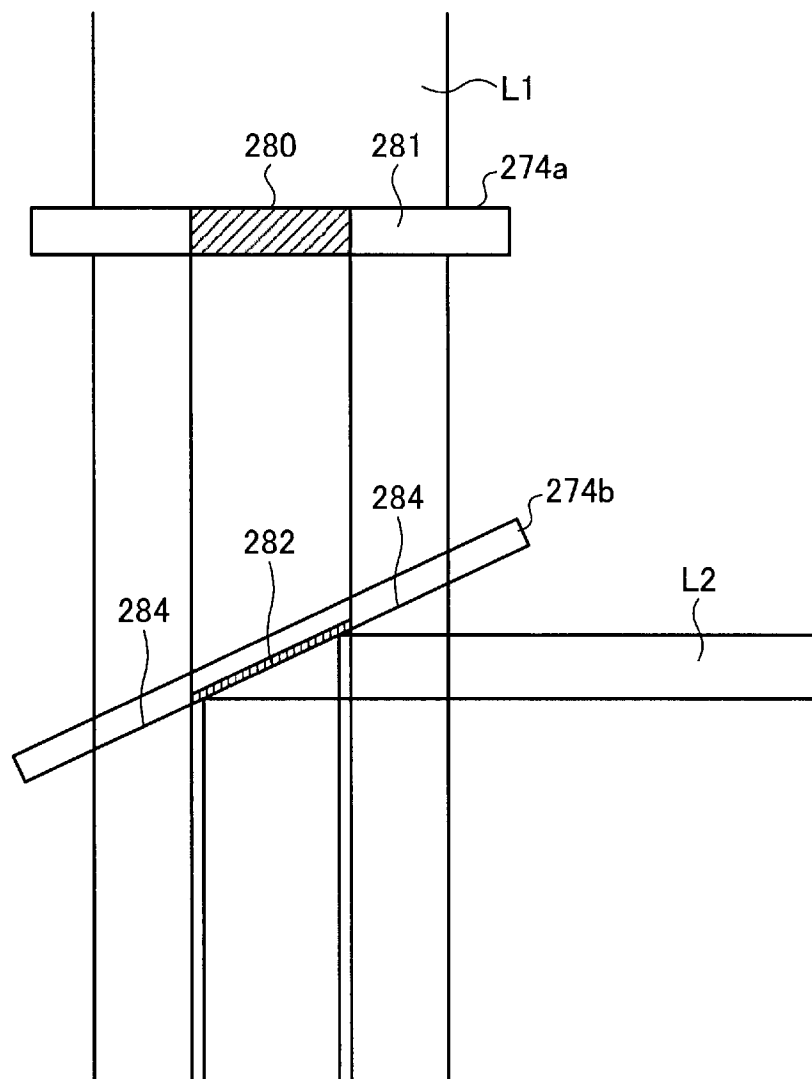
[図17]



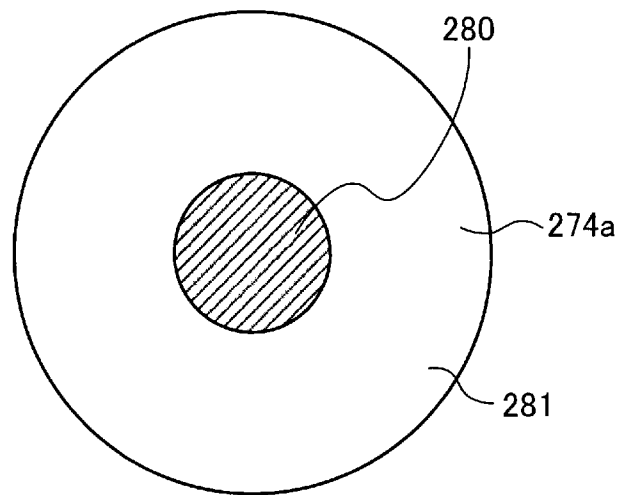
[図18]



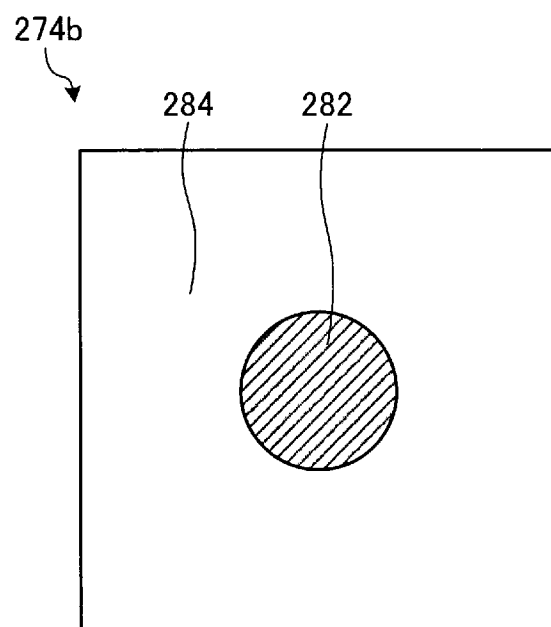
[図19]

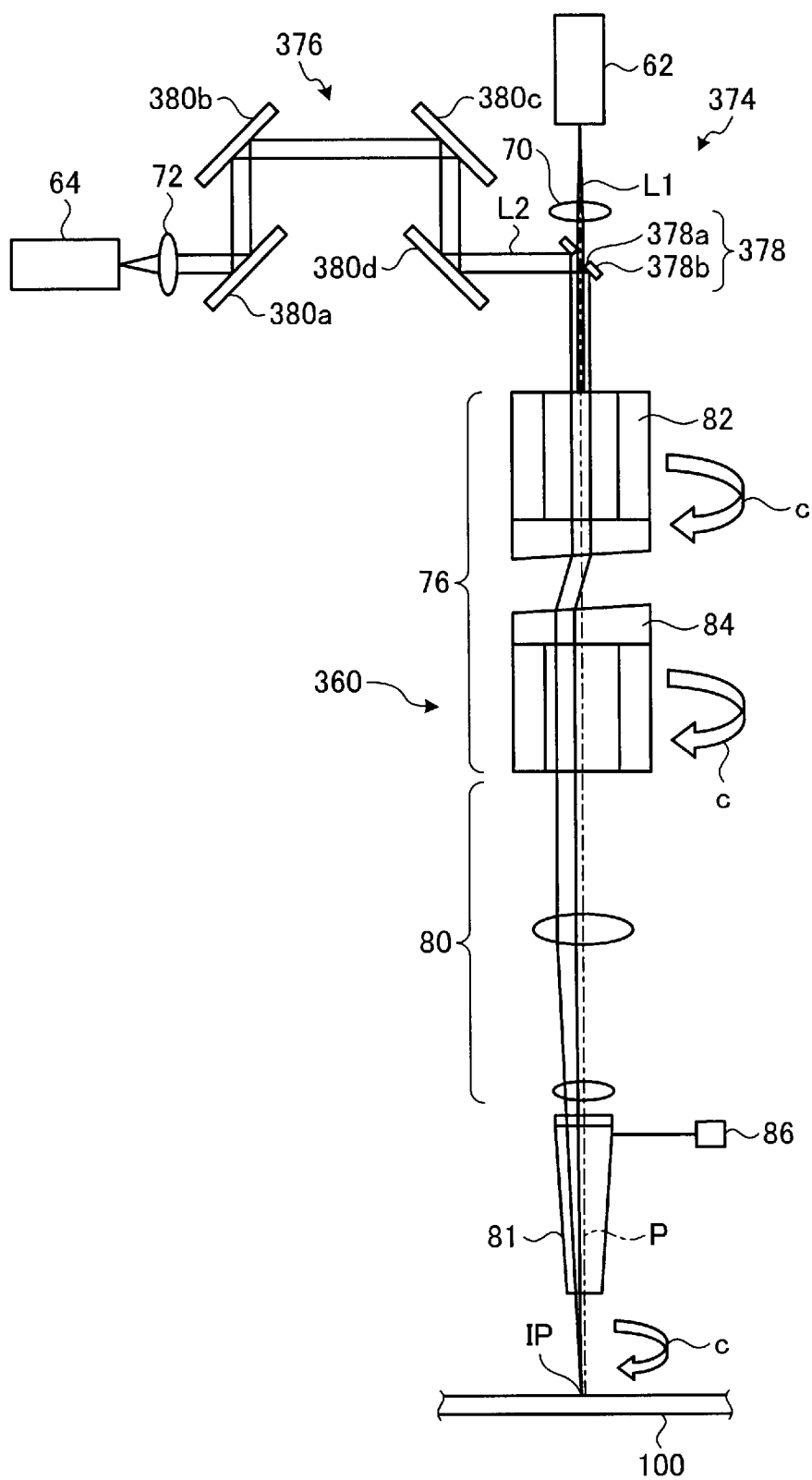


[図20]

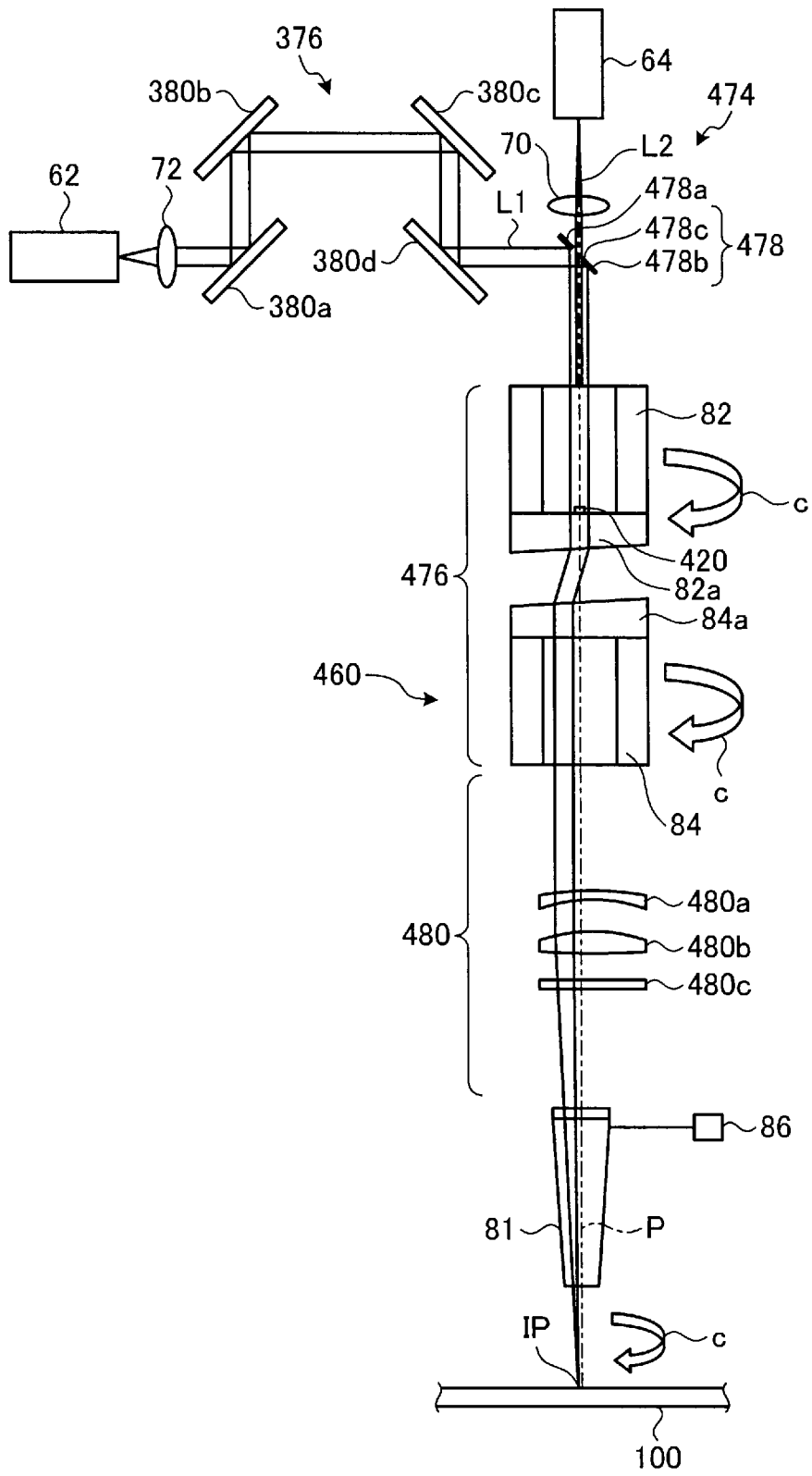


[図21]

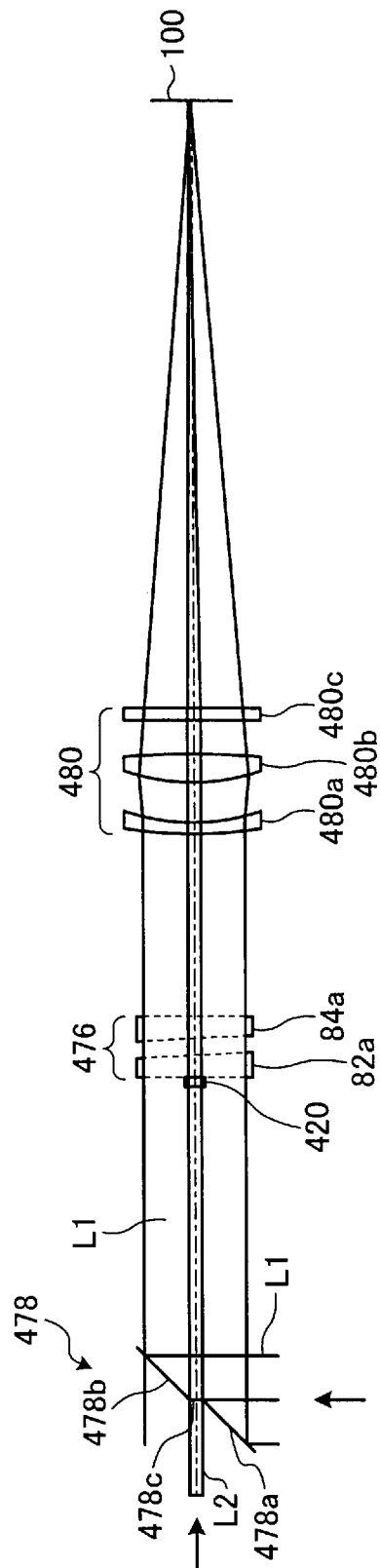




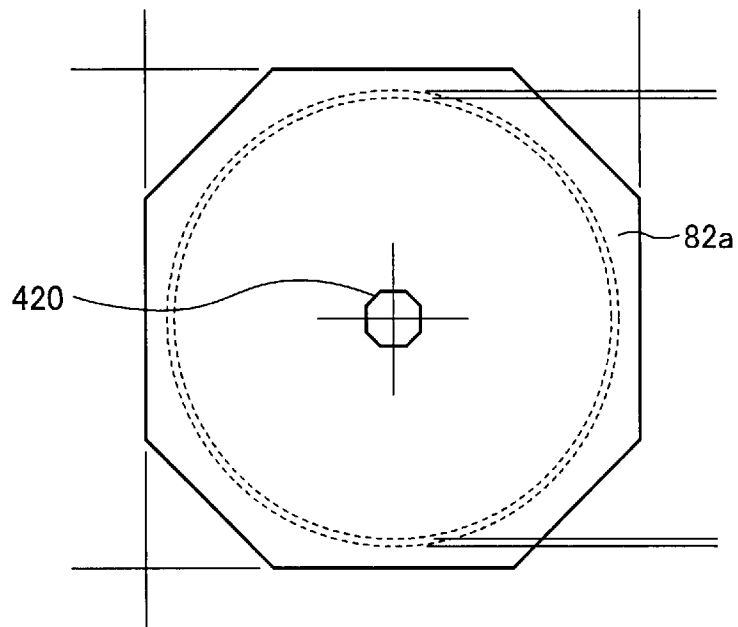
[図23]



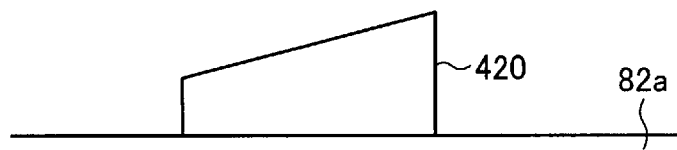
[図24]



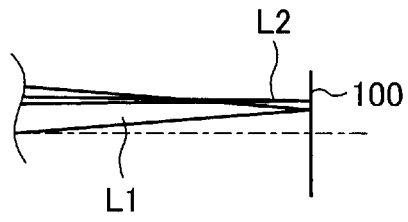
[図25]



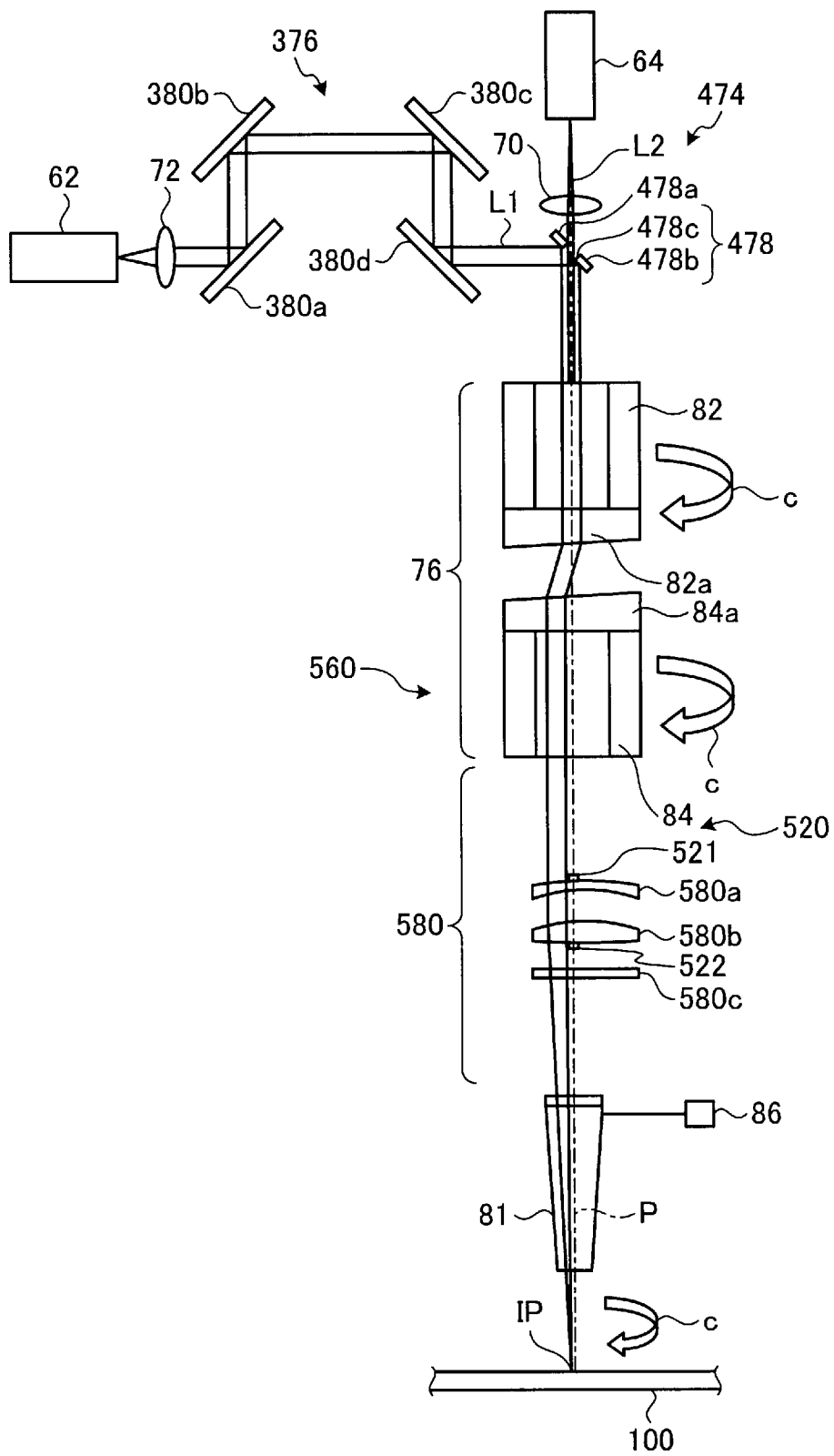
[図26]



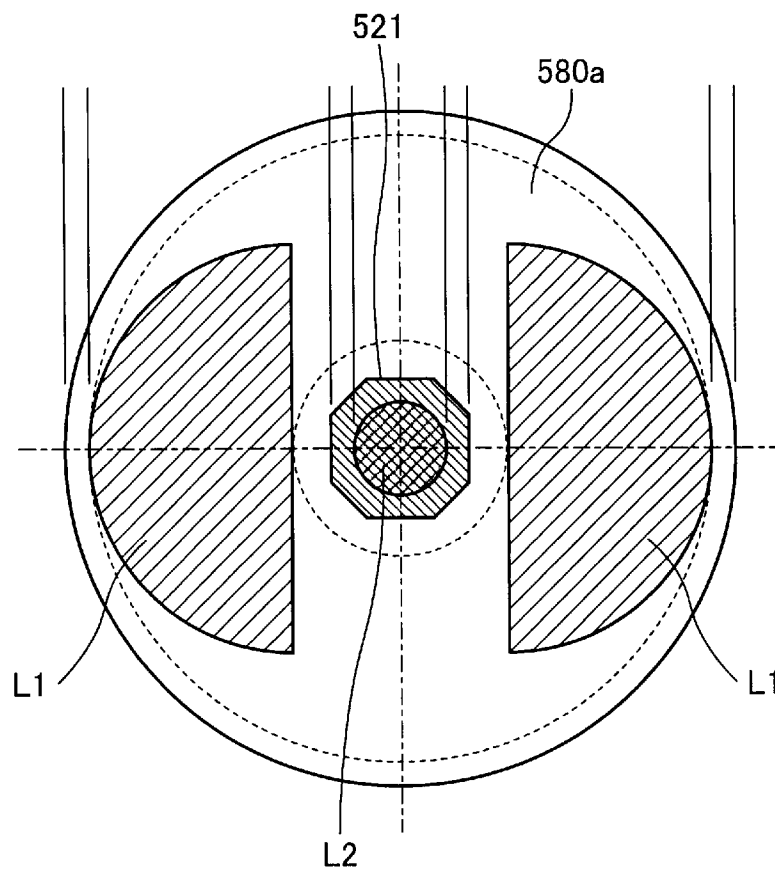
[図27]



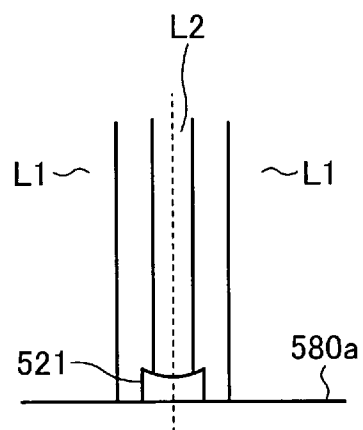
[図28]



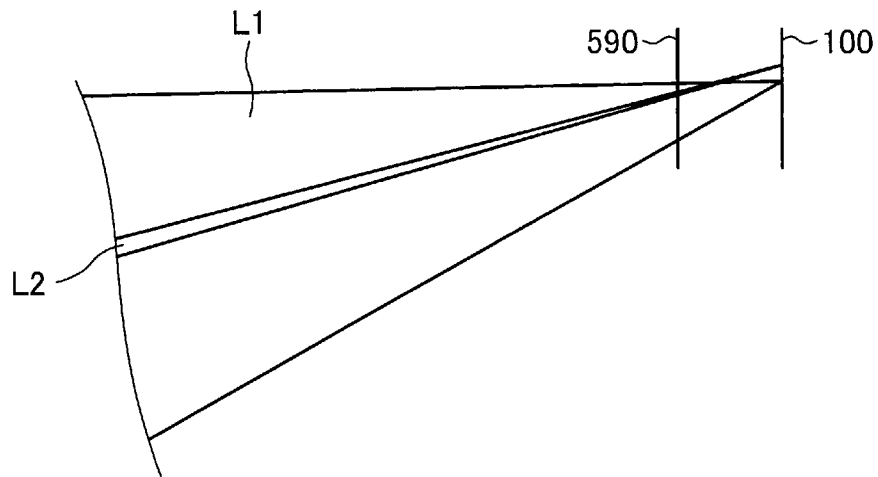
[図30]



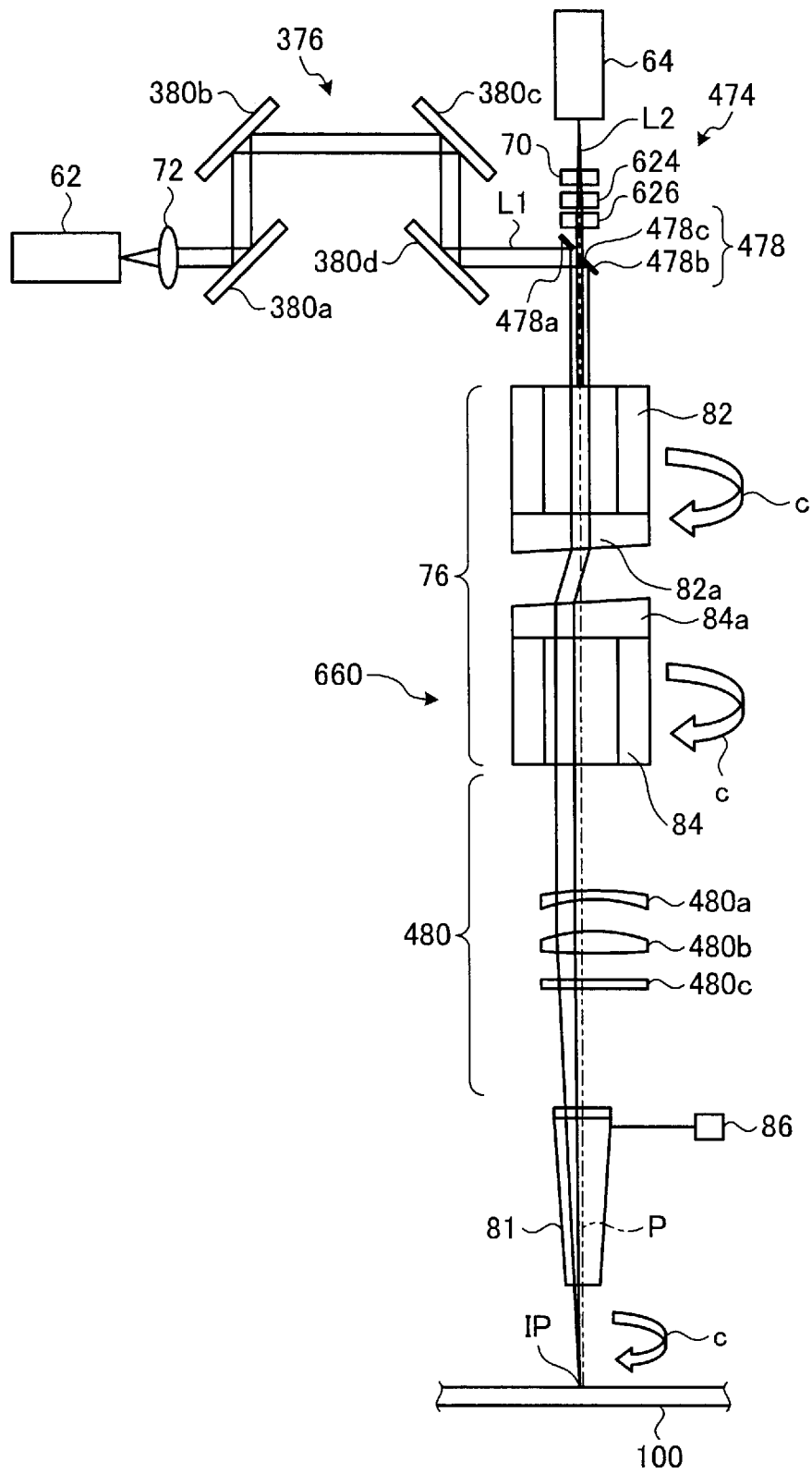
[図31]



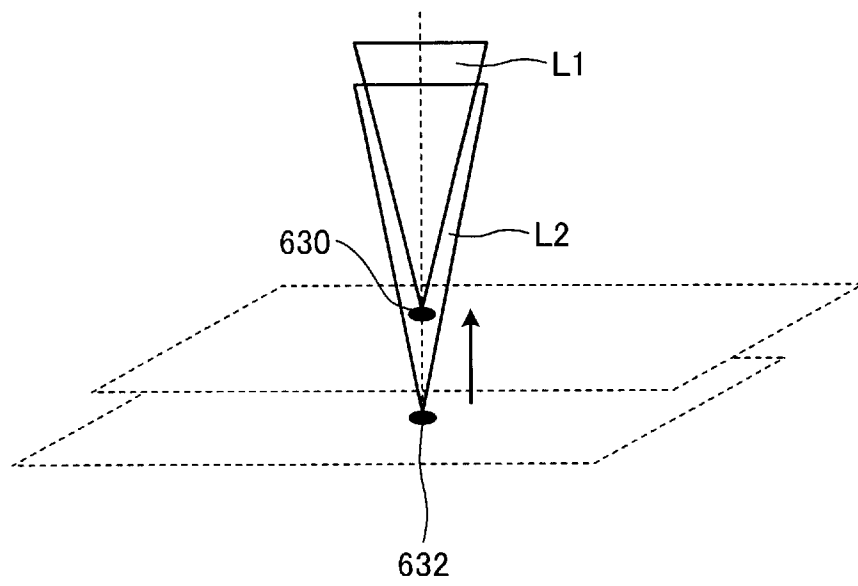
[図32]



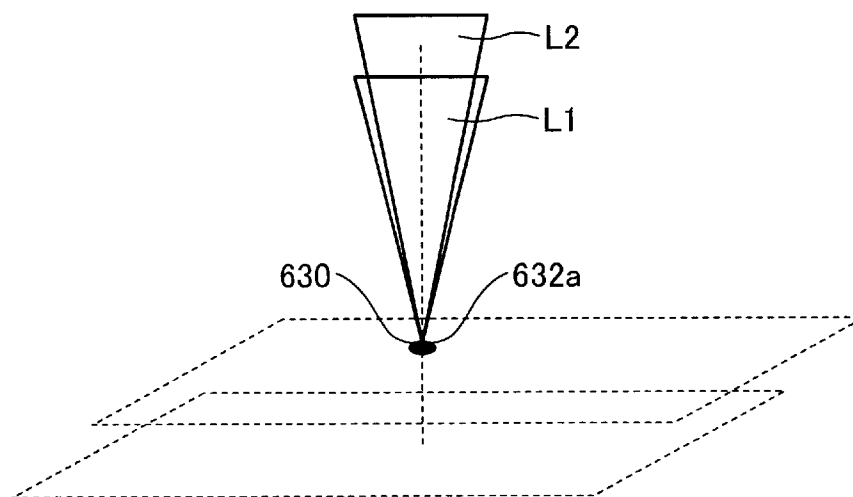
[図33]



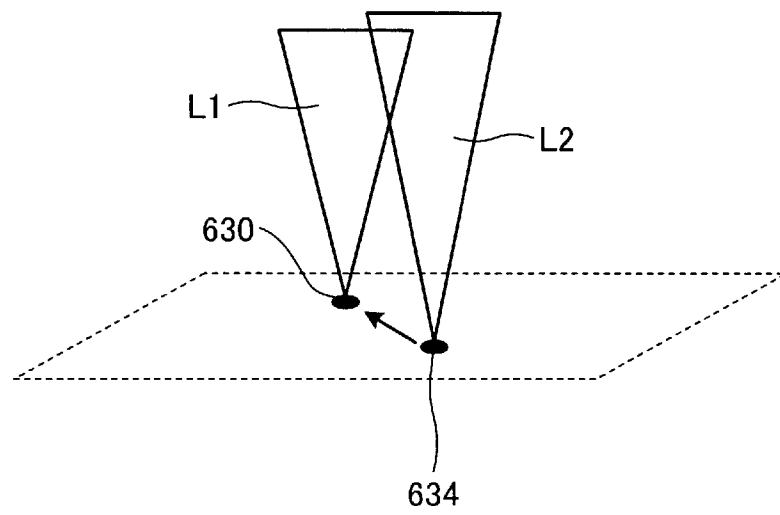
[図34A]



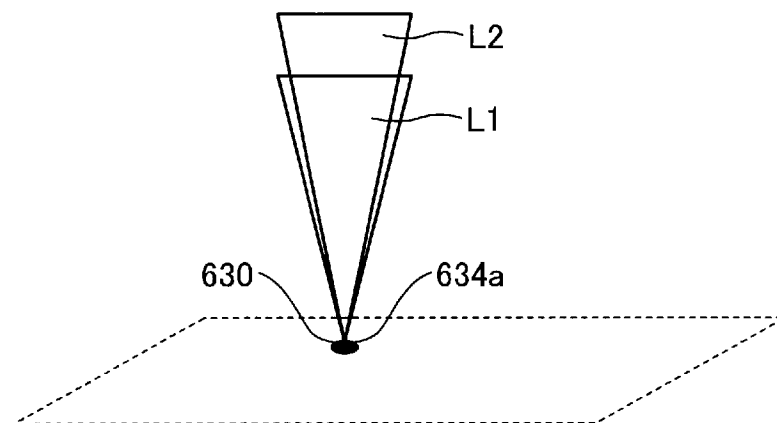
[図34B]



[図35A]



[図35B]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/052072

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B23K26/388(2014.01)i, B23K26/064(2014.01)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)

B23K26/388, B23K26/064

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	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2009-510302 A (Siemens AG.), 12 March 2009 (12.03.2009), paragraphs [0030] to [0033]; fig. 2 to 4 & US 2009/0220349 A1 & WO 2007/036437 A1 & EP 1767743 A1	1-16
A	JP 2007-98475 A (General Electric Co.), 19 April 2007 (19.04.2007), paragraphs [0032] to [0041]; fig. 1 to 2 & EP 1772210 A2	1-16
A	JP 2008-55478 A (Honda Motor Co., Ltd.), 13 March 2008 (13.03.2008), paragraphs [0024] to [0051]; fig. 1 (Family: none)	1-16

☒ 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
13 April 2015 (13.04.15)

Date of mailing of the international search report
21 April 2015 (21.04.15)

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/JP2015/052072

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2013/0175243 A1 (THE EX ONE COMPANY, LLC), 11 July 2013 (11.07.2013), paragraphs [0016] to [0026]; fig. 1 (Family: none)	1-16

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））
Int.Cl. B23K26/388(2014.01)i, B23K26/064(2014.01)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（I P C））

Int.Cl. B23K26/388, B23K26/064

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2009-510302 A（シーメンス アクチエンゲゼルシャフト） 2009.03.12, 段落【0030】－【0033】、【図2】－【図4】 & US 2009/0220349 A1 & WO 2007/036437 A1 & EP 1767743 A1	1－16
A	JP 2007-98475 A（ゼネラル・エレクトリック・カンパニー） 2007.04.19, 段落【0032】－【0041】、【図1】－【図2】 & EP 1772210 A2	1－16

☒ 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	の日の後に公表された文献
「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	「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
「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	「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
「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）	「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
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日

1 3 . 0 4 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

2 1 . 0 4 . 2 0 1 5

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

青木 正博

3 P

3 9 3 5

電話番号 03-3581-1101 内線 3364

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 2008-55478 A (本田技研工業株式会社) 2008.03.13, 段落 【0024】－【0051】, 【図1】 (ファミリーなし)	1－16
A	US 2013/0175243 A1 (THE EX ONE COMPANY, LLC) 2013.07.11, 段落 【0016】－【0026】, 【FIG.1】 (ファミリーなし)	1－16