

(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  
2021年10月14日(14.10.2021)

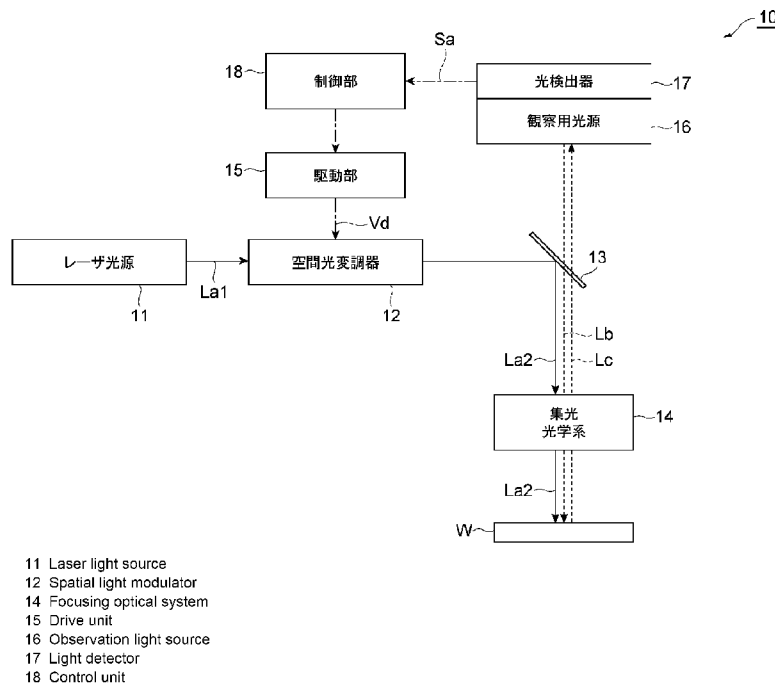


(10) 国際公開番号  
**WO 2021/205756 A1**

- (51) 国際特許分類:  
*B23K 26/067* (2006.01)    *B23K 26/53* (2014.01)  
*B23K 26/00* (2014.01)    *G02F 1/01* (2006.01)
- (21) 国際出願番号:                    PCT/JP2021/005956
- (22) 国際出願日:                    2021年2月17日(17.02.2021)
- (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 2020-070002    2020年4月8日(08.04.2020)    JP
- (71) 出願人: 浜松 ホ ト ニ ク ス 株 式 会 社 (HAMAMATSU PHOTONICS K.K.) [JP/JP];
- 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 Shizuoka (JP).
- (72) 発明者: 栗 田 隆 史 (KURITA Takashi);  
 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 瀧口 優(TAKIGUCHI Yuu); 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP).
- (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA Yoshiki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目 1 番 1 号丸の内 M Y P L A Z A (明治安田生命ビル) 9 階 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).

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

(54) 発明の名称: レーザ加工装置及びレーザ加工方法



(57) Abstract: A laser processing device 10 that comprises: a spatial light modulator 12 that receives laser light La1 outputted from a laser light source 11 as an input and outputs laser light La2 that has been phase-modulated by a hologram; and a control unit 18 that presents the spatial light modulator 12 with a hologram for focusing the phase-modulated laser light La2 outputted from the spatial light modulator 12 onto a plurality of irradiation points SP on a workpiece W by means of a focusing optical system 14. The control unit 18 differentiates the sizes and/or shapes of a processing area A demarcated



WO 2021/205756 A1

(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, IT, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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))

---

by a plurality of irradiation points SP within a first plane that intersects the optical axis of the laser light La2 with which the workpiece W is irradiated and a processing area A demarcated by a plurality of irradiation points SP within a second plane that intersects the optical axis and is separated from the first plane in the direction of the optical axis. The present invention thereby allows for more complex processing by a laser processing device that uses a spatial light modulator to phase-modulate laser light and thereby simultaneously irradiates a plurality of irradiation points with focused light.

(57) 要約 : レーザ加工装置 1 0 は、レーザ光源 1 1 から出力されたレーザ光 L a 1 を入力し、ホログラムにより位相変調した後のレーザ光 L a 2 を出力する空間光変調器 1 2 と、空間光変調器 1 2 から出力された位相変調後のレーザ光 L a 2 を集光光学系 1 4 により被加工物 W の複数の照射点 S P に集光させるホログラムを空間光変調器 1 2 に呈示させる制御部 1 8 とを備える。制御部 1 8 は、被加工物 W に照射されるレーザ光 L a 2 の光軸と交差する第 1 の面内において複数の照射点 S P により画成される被加工領域 A と、光軸と交差し第 1 の面から光軸の方向に離れている第 2 の面内において複数の照射点 S P により画成される被加工領域 A との、形状及び大きさのうち少なくとも一方を互いに異ならせる。これにより、空間光変調器を用いてレーザ光を位相変調することにより複数の照射点に同時に集光照射を行うレーザ加工装置において、より複雑な加工を行うことが可能となる。

## 明 細 書

発明の名称： レーザ加工装置及びレーザ加工方法

### 技術分野

[0001] 本開示は、レーザ加工装置及びレーザ加工方法に関するものである。

### 背景技術

[0002] 特許文献1には、レーザアブレーションによるレーザ加工方法に関する技術が開示されている。このレーザ加工方法では、ビームプロファイルを変換とするビーム成形装置を用い、被加工物の厚さ方向に並ぶ複数の処理面のそれぞれに対し、互いに異なる幾何学形状のビームプロファイルを有するレーザビームを照射する。

[0003] 特許文献2には、レーザ加工装置及びレーザ加工方法に関する技術が開示されている。このレーザ加工方法では、レーザ光源から出射されたレーザ光を空間位相変調素子により位相変調して結像光学系に導き、該結像光学系によりレーザ光を被加工物に照射して、該被加工物を加工する。空間位相変調素子に入力される入力データとして、被加工物の加工形状を再生する像再生ホログラムデータと、所定加工位置に像再生を行う位置移動ホログラムデータとからなる合成データを用いる。そして、該合成データを順次変化させながら、被加工物にレーザ加工を行う。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0004] 特許文献1：特表2015-521108号公報

特許文献2：特開2006-119427号公報

#### 非特許文献

[0005] 非特許文献1：F. Mezzapesa et al., "High-resolution monitoring of the hole depth during ultrafast laser ablation drilling by diode laser self-mixing interferometry", Opt. Lett. Vol.36, pp.822-824 (2011)

### 発明の概要

## 発明が解決しようとする課題

- [0006] レーザ光源から出力されたレーザ光を集光光学系により集光して加工対象物に照射することにより該加工対象物を加工することができる。単にレンズを用いてレーザ光を集光する場合、レーザ光の集光位置を走査することによって、加工対象物を所望の形状に加工することができる。しかしながら、この場合には加工に長時間を要する。
- [0007] 加工時間を短縮するために、例えば複数の照射点に対しレーザ光を同時に集光照射して多点同時加工を行うことが考えられる。そのための手法として、位相変調型の空間光変調器にホログラムを呈示して、単一のレーザ光源から出力されたレーザ光を空間光変調器により位相変調し、その位相変調されたレーザ光を集光光学系により複数の照射点に同時に集光照射する手法がある。この場合、空間光変調器に呈示されるホログラムは、集光光学系により複数の照射点にレーザ光が集光されるような位相変調分布を有する。
- [0008] 上記のような手法においては、照射点の位置を自在に制御し、より複雑な加工を行うことが望まれている。
- [0009] 本発明は、空間光変調器を用いてレーザ光を位相変調することにより複数の照射点に同時に集光照射を行うレーザ加工装置及びレーザ加工方法において、より複雑な加工を行うことを目的とする。

## 課題を解決するための手段

- [0010] 本発明の実施形態は、レーザ加工装置である。レーザ加工装置は、レーザ光源から出力されたレーザ光を入力し、二次元配列された複数の画素それぞれにおいてレーザ光の位相を変調するホログラムを呈示して、ホログラムにより位相変調した後のレーザ光を出力する空間光変調器と、空間光変調器の後段に設けられた集光光学系と、空間光変調器から出力された位相変調後のレーザ光を集光光学系により被加工物の複数の照射点に集光させるホログラムを空間光変調器に呈示させる制御部と、を備え、制御部は、被加工物に照射される位相変調後のレーザ光の光軸と交差する第1の面内において複数の照射点により画成される被加工領域と、光軸と交差し第1の面から光軸の方

向に離れた第2の面内において複数の照射点により画成される被加工領域との、形状及び大きさのうち少なくとも一方を互いに異ならせる。

[0011] 本発明の実施形態は、レーザ加工方法である。レーザ加工方法は、二次元配列された複数の画素それぞれにおいて光の位相を変調するホログラムを空間光変調器に呈示させる制御ステップと、レーザ光源から出力されたレーザ光を空間光変調器に入力し、ホログラムによりレーザ光の位相変調を行う光変調ステップと、位相変調後のレーザ光を集光する集光ステップと、を繰り返し行い、制御ステップにおいて、位相変調後のレーザ光を集光ステップにより被加工物の複数の照射点に集光させるホログラムを空間光変調器に呈示させ、被加工物に照射される位相変調後のレーザ光の光軸と交差する第1の面内において複数の照射点により画成される被加工領域と、光軸と交差し第1の面から光軸の方向に離れた第2の面内において複数の照射点により画成される被加工領域との、形状及び大きさのうち少なくとも一方を互いに異ならせる。

[0012] 上記のレーザ加工装置及びレーザ加工方法では、互いに光軸方向に離れている第1及び第2の面内において複数の照射点により画成される被加工領域の、形状及び大きさのうち少なくとも一方が互いに異なる。このように、光軸方向に離れた複数の面毎に被加工領域の形状及び／又は大きさを変化させることにより、光軸方向に垂直な断面の形状を自在に設定するような、従来より複雑な加工を行うことが可能となる。

### 発明の効果

[0013] 本発明の実施形態によれば、空間光変調器を用いてレーザ光を位相変調することにより複数の照射点に同時に集光照射を行うレーザ加工装置及びレーザ加工方法において、より複雑な加工を行うことが可能となる。

### 図面の簡単な説明

[0014] [図1]図1は、一実施形態に係るレーザ加工装置10の構成を示すブロック図である。

[図2]図2は、(a)集光光学系14を介して被加工物Wに照射された位相変

調後のレーザ光 $L a 2$ を示す平面図、及び（b）（a）の一部を拡大して示す図である。

[図3]図3は、（a）～（e）被加工領域Aの平面形状の例を示す図である。

[図4]図4は、制御部18のハードウェア構成例を示すブロック図である。

[図5]図5は、（a）材質が互いに異なる複数の領域 $W a$ 、 $W b$ 、 $W c$ を含む被加工物 $W$ に対してレーザ光 $L a 2$ を照射する様子を示す断面図、及び（b）被加工物 $W$ のレーザ照射面を示す平面図である。

[図6]図6は、（a）材質が互いに異なる複数の領域 $W a$ 、 $W b$ 、 $W c$ を含む被加工物 $W$ に対してレーザ光 $L a 2$ を照射する様子を示す断面図、及び（b）被加工物 $W$ のレーザ照射面を示す平面図である。

[図7]図7は、（a）材質が互いに異なる複数の領域 $W d$ 、 $W e$ を含む被加工物 $W$ に対してレーザ光 $L a 2$ を照射する様子を示す断面図、及び（b）～（d）（a）の $V \parallel b - V \parallel b$ 線、 $V \parallel c - V \parallel c$ 線及び $V \parallel d - V \parallel d$ 線に沿った断面図である。

[図8]図8は、（a）被加工物 $W$ に対してレーザ光 $L a 2$ を照射する様子を示す断面図、及び（b）被加工物 $W$ に形成された孔 $H a$ を示す断面図である。

[図9]図9は、（a）～（c）図8（a）に示される $I X a - I X a$ 線、 $I X b - I X b$ 線、及び $I X c - I X c$ 線のそれぞれに沿った断面内の照射点 $S P$ の配置例を模式的に示す図である。

[図10]図10は、（a）～（c）各断面内の照射点 $S P$ の別の配置例を模式的に示す図である。

[図11]図11は、（a）被加工物 $W$ に対してレーザ光 $L a 2$ を照射する様子を示す断面図、及び（b）被加工物 $W$ に形成された孔 $H b$ を示す断面図である。

[図12]図12は、（a）被加工物 $W$ に対してレーザ光 $L a 2$ を照射する様子を示す断面図、及び（b）被加工物 $W$ に形成された孔 $H c$ を示す断面図である。

[図13]図13は、（a）被加工物 $W$ に対してレーザ光 $L a 2$ を照射する様子

を示す断面図、及び（b）被加工物Wに形成された孔H c, H dを示す断面図である。

[図14]図14は、（a）被加工物Wに対してレーザ光L a 2を照射する様子を示す断面図、及び（b）被加工物Wに形成された孔H c, H d, H eを示す断面図である。

[図15]図15は、（a）2つの被加工領域Aの輪郭が曲率を有する場合に形成される貫通孔H fの断面形状を示す図、及び（b）1つの被加工領域Aの輪郭が曲率を有する場合に形成される貫通孔H gの断面形状を示す図である。

[図16]図16は、（a）レーザ光L a 2の照射により形成された孔H hを示す断面図、（b）被加工物Wの一方の面W 1における孔H hの形状を示す平面図、及び（c）被加工物Wの他方の面W 2における孔H hの形状を示す平面図である。

[図17]図17は、孔H hを形成するための、レーザ光L a 2の光軸方向における被加工領域Aの形状の変化を概念的に示す図であって、（a）被加工物Wにレーザ光L a 2を照射するための構成の概略と、レーザ光L a 2の光軸方向における被加工物Wの断面とを示し、（b）～（e）被加工物Wにおいて互いに異なる深さに位置する各面内の被加工領域Aの形状と、各面内の複数の照射点S Pとを示している。

[図18]図18は、図17（b）に示された面に対応するホログラムの例を示す図であって、（a）図17（b）に示された複数の照射点S Pを示し、（b）～（d）（a）に示される複数の照射点S Pを実現するためのホログラムの例を示している。

[図19]図19は、図17（c）に示された面に対応するホログラムの例を示す図であって、（a）図17（c）に示された複数の照射点S Pを示し、（b）～（d）（a）に示される複数の照射点S Pを実現するためのホログラムの例を示している。

[図20]図20は、図17（d）に示された面に対応するホログラムの例を示

す図であって、(a) 図17(d)に示された複数の照射点SPを示し、(b)～(d)(a)に示される複数の照射点SPを実現するためのホログラムの例を示している。

[図21]図21は、図17(e)に示された面に対応するホログラムの例を示す図であって、(a) 図17(e)に示された複数の照射点SPを示し、(b)～(d)(a)に示される複数の照射点SPを実現するためのホログラムの例を示している。

[図22]図22は、レーザ光La2の照射点SPを被加工物Wよりもさらに遠くへ形成する様子を示す図である。

[図23]図23は、一実施形態に係るレーザ加工方法を示すフローチャートである。

[図24]図24は、記憶ステップS0を制御ステップS1の前に行う場合を示すフローチャートである。

[図25]図25は、特許文献1に記載されたレーザ加工方法を説明するための図である。

[図26]図26は、(a)～(e)特許文献2に記載されたレーザ加工方法を説明するための図である。

[図27]図27は、特許文献2に記載されたレーザ加工方法を説明するための図である。

### 発明を実施するための形態

[0015] 以下、添付図面を参照しながら、レーザ加工装置及びレーザ加工方法の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。また、本発明はこれらの例示に限定されるものではない。

[0016] 図1は、一実施形態に係るレーザ加工装置10の構成を示すブロック図である。図1に示すように、本実施形態のレーザ加工装置10は、レーザ光源11と、空間光変調器12と、ダイクロイックミラー13と、集光光学系14と、駆動部15と、観察用光源16と、光検出器17と、制御部(PC等

) 18とを備える。

[0017] レーザ光源11は、1ピコ秒以下（例えば数フェムト秒）の時間幅を有するパルス状のレーザ光La1を出力する。レーザ光源11から出力されるレーザ光La1の波長は、例えば250nm以上2500nm以下であって、一実施例では1030nmである。また、レーザ光源11から出力されるレーザ光La1のパワーは、例えば0.01W以上1000W以下であって、一実施例では1Wである。レーザ光源11は、例えばYb:YAG結晶やYb:KGW結晶をレーザ媒質として有する固体レーザ、又は半導体レーザにより励起されたYb添加光ファイバーレーザーである。

[0018] 空間光変調器12は、レーザ光源11と光学的に結合されており、レーザ光源11から出力されたレーザ光La1を入力する。空間光変調器12とレーザ光源11との光学的な結合は、例えば空間的な結合である。空間光変調器12は、二次元配列された複数の画素を有し、該複数の画素にホログラムを呈示することにより、各画素ごとに独立してレーザ光La1の位相を変調する。

[0019] 空間光変調器12は、例えば液晶型の構成を有する。空間光変調器12が液晶型である場合、二次元配列された複数の画素電極に対し、ホログラムを構成する個別の電圧を印加する。これにより、液晶層にかかる電界の大きさを画素電極ごとに制御する。各画素の液晶層における光路長は、電界の大きさに応じて変化する。故に、各画素ごとに独立してレーザ光La1の位相を変調することができる。

[0020] 空間光変調器12は、透過型であってもよく、反射型であってもよい。また、空間光変調器12の方式は液晶型に限られず、種々の方式の空間光変調器を適用してよい。空間光変調器12は、ホログラムにより位相変調した後のレーザ光La2を出力する。

[0021] ダイクロイックミラー13は、或る波長範囲に含まれる光を透過し、別の波長範囲に含まれる光を反射する光学素子である。ダイクロイックミラー13の一方の面は、空間光変調器12と光学的に結合されている。空間光変調

器 1 2 からダイクロイックミラー 1 3 に到達した変調後のレーザ光 L a 2 は、ダイクロイックミラー 1 3 により反射（または透過）し、被加工物 W へ向かう。ダイクロイックミラー 1 3 は、例えばショートパスダイクロイックミラーである。

[0022] レーザ光 L a 2 は、空間光変調器 1 2 の後段（より正確にはダイクロイックミラー 1 3 の後段）に設けられた集光光学系 1 4 を通過して、被加工物 W に達する。集光光学系 1 4 は、例えばガラス製のレンズであって、ダイクロイックミラー 1 3 を介して空間光変調器 1 2 と光学的に結合されている。空間光変調器 1 2、ダイクロイックミラー 1 3 及び集光光学系 1 4 の光学的な結合は、例えば空間的な結合である。集光光学系 1 4 は、ダイクロイックミラー 1 3 と被加工物 W との間の光路上に配置されている。

[0023] 駆動部 1 5 は、空間光変調器 1 2 の各画素電極と電氣的に接続されており、ホログラムを空間光変調器 1 2 に呈示させるための駆動電圧 V d を各画素電極に提供する。駆動部 1 5 は、各画素電極に電氣的に接続された複数の電圧発生回路を有する。各電圧発生回路は、トランジスタを含む増幅回路を有する。

[0024] 制御部 1 8 は、駆動部 1 5 と電氣的に接続されている。制御部 1 8 は、ホログラムを作成するか又は記憶部から読み出し、ホログラムの 2 次元データを駆動部 1 5 に提供する。駆動部 1 5 は、該ホログラムに基づくアナログ信号である駆動信号を画素毎に生成する。駆動部 1 5 の各増幅回路は、駆動信号を増幅することにより駆動電圧 V d を生成する。

[0025] 図 2 ( a ) は、集光光学系 1 4 を介して被加工物 W に照射された位相変調後のレーザ光 L a 2 を示す平面図である。また、図 2 ( b ) は、図 2 ( a ) の一部を拡大して示す図である。図 2 ( a ) に示すように、制御部 1 8 は、空間光変調器 1 2 から出力された位相変調後のレーザ光 L a 2 を、集光光学系 1 4 により被加工物 W の複数の照射点 S P に集光させるためのホログラムを生成し、該ホログラムを空間光変調器 1 2 に呈示させる。

[0026] 複数の照射点 S P は、被加工物 W における被加工領域 A を画成する。すな

わち、複数の照射点 S P は、閉じた仮想線 B 上において間隔をあけて並んでおり、被加工領域 A は、仮想線 B によって画定される。また、制御部 1 8 は、仮想線 B に沿って各照射点 S P の位置を変更する複数のホログラムを、空間光変調器 1 2 に順次呈示させる。これにより、図 2 ( b ) に示すように、各照射点 S P は仮想線 B 上を離散的に移動する。

[0027] 複数の照射点 S P によって画成される被加工領域 A の平面形状（レーザ光 L a 2 の光軸に垂直な平面内での形状）は、加工の目的等に応じて様々に設定される。図 3 は、被加工領域 A の平面形状の例を示す図である。被加工領域 A は、図 3 ( a ) に示すように円形であってもよく、図 3 ( b ) に示すように楕円形であってもよい。また、被加工領域 A は、図 3 ( c ) に示すように三角形であってもよく、図 3 ( d ) に示すように四角形であってもよく、図 3 ( e ) に示すように任意の多角形であってもよい。

[0028] 制御部 1 8 は、複数の照射点 S P に含まれる少なくとも 2 つの照射点 S P の光強度（単位： $W/cm^2$ 、エネルギー密度（単位： $J/cm^2$ ）と言い換えてもよい）を、互いに独立して制御する。一例では、制御部 1 8 は、全ての照射点 S P の光強度をそれぞれ独立して制御する。各照射点 S P の光強度は、例えば各照射点 S P における被加工物 W の材質の加工速度及び／または他の要因によって決定される。

[0029] 例えば、レーザ光 L a 2 に対して加工速度が速い（すなわち加工容易な）材質の場合は、光強度を小さくして加工速度を遅くする。また、レーザ光 L a 2 に対して加工速度が遅い（すなわち加工が難しい）材質の場合は、光強度を大きくして加工速度を速める。こうして、加工速度が異なる材質が被加工物 W の光照射表面内又は断面内に混在している場合であっても、複数の照射点 S P において加工速度を揃えることができる。或いは、熱による影響が大きい材質に対しては、光強度を小さくして熱の影響が及ぶ領域を最小化することができる。

[0030] また、制御部 1 8 は、複数の照射点 S P の光強度及び照射時間（言い換えると、ホログラム呈示時間）のうち少なくとも一方を、被加工物 W における

複数の照射点 S P の深さ位置に応じて制御する。

[0031] 例えば、被加工物 W の光照射表面を加工する場合に比べて深い部分を加工する時には、その直前のレーザ光 L a 2 の照射の際に残存したデブリ等がレーザ光 L a 2 の照射を妨げるので、加工速度が低下する。したがって、被加工物 W における深い部分ほど複数の照射点 S P の光強度を大きくし、及び／又は照射時間を長くすることにより、加工速度及び加工品質が向上する。また、被加工物 W が、互いに材質が異なる複数の層から構成されている場合（例えば半導体やプリント配線基板など）には、ホログラムの変更周期や呈示時間を制御することにより、各層に適した条件でレーザ加工を行うことができる。

[0032] なお、本実施形態において加工対象となる被加工物 W は、例えば、ガラス、半導体、金属（鉄鋼材料、非鉄金属、合金など）、複合材（炭素繊維強化プラスチック CFRP など）といった種々の物質により構成され得る。

[0033] 再び図 1 を参照する。観察用光源 1 6 は、観察光 L b を被加工物 W に照射するためのレーザ光源である。観察用光源 1 6 から出力される観察光 L b の波長は、レーザ光 L a 1 及び L a 2 の波長とは異なる。観察光 L b の波長は、例えば 800 nm 以上 980 nm 以下であって、一実施例では 808 nm である。観察用光源 1 6 は、例えば Al (In) Ga As 系、又は In Ga As P 系の半導体レーザである。

[0034] 観察用光源 1 6 は、ダイクロイックミラー 1 3 の他方の面と光学的に結合されている。観察用光源 1 6 からダイクロイックミラー 1 3 に到達した観察光 L b は、ダイクロイックミラー 1 3 を透過（または反射）し、レーザ光 L a 2 と平行な光路でもって被加工物 W へ向かい、被加工物 W に照射される。

[0035] なお、図では観察光 L b の光軸とレーザ光 L a 2 の光軸とが並んで描かれているが、観察光 L b の光軸とレーザ光 L a 2 の光軸とは互いに一致していてもよい。被加工物 W における観察光 L b の照射領域は、例えば、図 2 (a) に示された被加工領域 A を内含する。

[0036] 観察光 L b の一部は、被加工物 W に到達すると反射光 L c となり、被加工

物Wから出射する。反射光L cの波長は観察光L bの波長と同じであるため、反射光L cはダイクロイックミラー13を透過する。光検出器17は、ダイクロイックミラー13の他方の面と光学的に結合されており、反射光L cを、ダイクロイックミラー13を介して検出する。

- [0037] 光検出器17は、2次元画像検出器や3次元情報を取得する検出器である。後者の場合、光検出器17は例えば干渉計測光学系を有する。その場合、光検出器17は、観察用光源16から出力された観察光L bの一部を分岐して（或いは観察用光源16としての半導体レーザの背面光を）取得し、該観察光L bの一部（若しくは背面光）と反射光L cとを互いに干渉させることにより干渉光像を検出する。
- [0038] 光検出器17は、制御部18と電氣的に接続されており、検出結果に関する電氣的な信号S aを制御部18に提供する。なお、本実施形態において用いられる干渉計測の例に関しては、非特許文献1（F. Mezzapesa et al., Opt. Lett. Vol.36, pp.822-824 (2011)）に記載されている。
- [0039] 制御部18は、光検出器17からの検出結果に基づいて、各照射点S Pにおける加工状態を判断する。そして、制御部18は、空間光変調器12に呈示させるホログラムを、加工状態に応じて制御する。ここでいうホログラムの制御とは、例えばホログラムの呈示時間の制御、適切なホログラムへの変更等である。
- [0040] 図4は、制御部18のハードウェア構成例を示すブロック図である。図4に示すように、制御部18は、CPU181、RAM182、ROM183、入力装置184、デジタル／アナログ変換器185、補助記憶装置186、及びディスプレイ出力装置187等のハードウェアを備えるコンピュータを含むものとして構成される。制御部18は、補助記憶装置186に予め記憶されたプログラム等によりこれらの構成要素が動作することによって、上述した機能を実現する。
- [0041] 以下、本実施形態のレーザ加工装置10による加工の例について説明する。図5（a）及び図6（a）は、材質が互いに異なる複数の領域W a, W b

、 $W_c$ を含む被加工物 $W$ に対してレーザ光 $L_{a2}$ を照射する様子を示す断面図であって、レーザ光 $L_{a2}$ の光軸に沿った（言い換えると、被加工物 $W$ の厚み方向に沿った）断面を示している。図5（b）及び図6（b）は、被加工物 $W$ の光照射表面を示す平面図である。

[0042] これらの例では、領域 $W_a$ 、 $W_b$ 、 $W_c$ がレーザ光 $L_{a2}$ の光軸方向（被加工物 $W$ の厚み方向）と交差する方向に並んでおり、領域 $W_a$ 、 $W_b$ 、 $W_c$ の境界線が光照射表面に露出している。同一の光強度のレーザ光 $L_{a2}$ に対する、各領域 $W_a$ 、 $W_b$ 、 $W_c$ の材質の加工速度はそれぞれ異なる。具体的には、同一の光強度のレーザ光 $L_{a2}$ に対して、領域 $W_a$ の加工速度が最も遅く、領域 $W_c$ の加工速度が最も速い。

[0043] 図5に示す例では、各領域 $W_a$ 、 $W_b$ 、 $W_c$ のそれぞれに対して互いに独立した3つの被加工領域 $A$ を設定している。そして、1つの被加工領域 $A$ を画定する複数の照射点 $SP$ を領域 $W_a$ に形成し、別の被加工領域 $A$ を画定する複数の照射点 $SP$ を領域 $W_b$ に形成し、更に別の被加工領域 $A$ を画定する複数の照射点 $SP$ を領域 $W_c$ に形成する。

[0044] 図6に示す例では、領域 $W_a$ 及び $W_b$ を跨ぐ被加工領域 $A$ と、領域 $W_b$ 及び $W_c$ を跨ぐ別の被加工領域 $A$ とを設定している。そして、一方の被加工領域 $A$ の一部を画定する複数の照射点 $SP$ を領域 $W_a$ に形成し、一方の被加工領域 $A$ の残部を画定する複数の照射点 $SP$ と、他方の被加工領域 $A$ の一部を画定する複数の照射点 $SP$ とを領域 $W_b$ に形成し、他方の被加工領域 $A$ の残部を画定する複数の照射点 $SP$ を領域 $W_c$ に形成する。

[0045] この場合、図5（b）及び図6（b）に示すように、領域 $W_a$ に形成される照射点 $SP$ の光強度が最も大きく、領域 $W_c$ に形成される照射点 $SP$ の光強度が最も小さくなるように、空間光変調器12に呈示するホログラムを制御部18が制御する。なお、図5（b）及び図6（b）において、各照射点 $SP$ の光強度を、色の濃淡により表現している。色が濃いほど光強度が大きく、色が淡いほど光強度が小さい。

[0046] これにより、各領域 $W_a$ 、 $W_b$ 、 $W_c$ における照射点 $SP$ の加工速度を互

いに近づけ、加工深さを均一にすることができる。理想的には、各照射点S Pにおける加工速度が互いに等しくなるように、各照射点S Pの光強度の相対関係が調整される。

[0047] 図5及び図6に示した例では、図1に示した光検出器17における検出結果に基づいて、各照射点S Pにおける材質を制御部18が検出してもよい。観察光L bに対する反射率は材質に依存するので、観察光L bと反射光L cとの強度比に基づいて、各照射点S Pにおける材質を知ることができる。したがって、領域W a, W b, W cの境界を検出することができる。

[0048] そして、領域W a, W b, W cのそれぞれに対応する照射点S Pの各光強度を実現するプログラムを、空間光変調器12に呈示させるとよい。言い換えると、この例では、各照射点S Pの光強度を互いに独立して設定するためのプログラムを、光検出器17における検出結果に基づいて制御部18が生成するとよい。

[0049] また、領域W a, W b, W cの分布に応じた、各照射点S Pの光強度に関するデータを、記憶部（例えば図4に示したROM183又は補助記憶装置186）に予め記憶させてもよい。この場合、制御部18は、各照射点S Pの光強度を、当該データに基づいて制御することができる。

[0050] 図7(a)は、材質が互いに異なる複数の領域W d, W eを含む被加工物Wに対してレーザ光L a 2を照射する様子を示す断面図であって、レーザ光L a 2の光軸に沿った（言い換えると、被加工物Wの厚み方向に沿った）断面を示している。図7(b)、(c)、(d)は、それぞれ図7(a)のV | | b - V | | b線、V | | c - V | | c線及びV | | d - V | | d線に沿った断面図であって、レーザ光L a 2の光軸に垂直な断面を示している。

[0051] この例では、領域W d, W eがレーザ光L a 2の光軸方向に並んでおり、且つ、領域W d, W eの境界面は、レーザ光L a 2の光軸方向に垂直な仮想平面に対して傾斜している。同一の光強度のレーザ光L a 2に対する、各領域W d, W eの材質の加工速度はそれぞれ異なる。具体的には、同一の光強度のレーザ光L a 2に対して、領域W dの加工速度は、領域W eの加工速度

よりも遅い。

[0052] この例では、被加工物Wに対して被加工領域Aを設定し、被加工領域Aを画定する複数の照射点SPを被加工物Wに形成する。なお、図7(b)、(c)、(d)においても、各照射点SPの光強度を、色の濃淡により表現している。色が濃いほど光強度が大きく、色が淡いほど光強度が小さい。

[0053] 最初、図7(b)に示すタイミングでは、領域Wdにおける各照射点SPの加工速度が任意の速度になるように、空間光変調器12に呈示するホログラムを制御部18が制御する。或る深さまで加工が進むと、図7(c)に示すように、被加工領域Aが領域Wdと領域Weとを跨ぐ。このとき、領域We内に位置する照射点SPの光強度が、領域Wd内に位置する照射点SPの光強度よりも小さくなるように、空間光変調器12に呈示するホログラムを制御部18が制御する。

[0054] 更に加工が進むと、被加工領域Aにおいて領域Weが占める割合が次第に大きくなり、最終的に、図7(d)に示すように、被加工領域Aには領域Weのみが含まれる。このとき、領域Weにおける各照射点SPの加工速度が任意の速度になるように、空間光変調器12に呈示するホログラムを制御部18が制御する。

[0055] この例では、領域Wdに形成される照射点SPの光強度が、領域Weに形成される照射点SPの光強度よりも大きくなるように、制御部18がホログラムを制御する。これにより、被加工領域A内に領域Wd、Weが混在するタイミング(図7(c))において、各領域Wd、Weにおける照射点SPの加工速度を互いに近づけ、加工深さを均一にすることができる。理想的には、各照射点SPにおける加工速度が深さ方向に均等になるように、各照射点SPの光強度が調整される。

[0056] 図7に示した例では、図1に示した光検出器17における検出結果に基づいて、各照射点SPにおける材質の変化を制御部18が検出してもよい。観察光Lbに対する反射率は材質に依存するので、各照射点SPにおける材質が変化すると、観察光Lbと反射光Lcとの強度比が変化する。したがって

、領域W<sub>d</sub>から領域W<sub>e</sub>への材質の変化を検出することができる。

[0057] そして、この変化のタイミングにおいて、領域W<sub>d</sub>から領域W<sub>e</sub>へ変化した照射点S<sub>P</sub>について光強度を変更するホログラムを、空間光変調器12に呈示させるとよい。言い換えると、この例では、各照射点S<sub>P</sub>の光強度を変更するためのホログラムの変更タイミングを、光検出器17における検出結果に基づいて判断するとよい。

[0058] また、被加工物Wの材質分布に応じた、各照射点S<sub>P</sub>の光強度に関するデータを、記憶部（例えば図4に示したROM183又は補助記憶装置186）に予め記憶させてもよい。この場合、制御部18は、各照射点S<sub>P</sub>の光強度を当該データに基づいて制御することができる。

[0059] 図8(a)は、被加工物Wに対してレーザ光L<sub>a2</sub>を照射する様子を示す断面図であって、レーザ光L<sub>a2</sub>の光軸に沿った断面を示している。図8(b)は、被加工物Wに形成された孔H<sub>a</sub>を示す断面図である。図8に示す例では、被加工領域Aの大きさが、被加工物Wの光照射表面W<sub>1</sub>からその反対側の面W<sub>2</sub>にわたって、レーザ光L<sub>a2</sub>の光軸方向に連続的に変化している。被加工領域Aの大きさが連続的に変化するとは、レーザ光L<sub>a2</sub>の光軸方向に沿った断面において被加工領域Aの輪郭に段差が生じないことをいう。

[0060] この例では、レーザ光L<sub>a2</sub>の光軸方向（被加工物Wの深さ方向）に加工が進むにしたがって、ホログラムを順次切り換える。各ホログラムは、レーザ光L<sub>a2</sub>の光軸と交差する面内における被加工領域Aの大きさ及び形状を実現するためのホログラムと、当該面の光軸方向位置に関するホログラムとが重畳されて成る。

[0061] 図9(a)、(b)、(c)は、図8(a)に示される|X<sub>a</sub>-|X<sub>a</sub>線、|X<sub>b</sub>-|X<sub>b</sub>線、及び|X<sub>c</sub>-|X<sub>c</sub>線のそれぞれに沿った断面内の照射点S<sub>P</sub>の配置例を模式的に示している。この例では、レーザ光L<sub>a2</sub>の光軸方向と垂直な断面における被加工領域Aの形状が円形とされている。

[0062] また、図10(a)、(b)、(c)は、当該各断面内の照射点S<sub>P</sub>の別の配置例を模式的に示している。この例では、レーザ光L<sub>a2</sub>の光軸方向と

垂直な断面における被加工領域Aの形状が任意の複雑な多角形とされている。

[0063] 図9及び図10に示される各照射点SPは、図8(a)に示される被加工領域Aを画定する。なお、レーザ光La2の光軸方向と垂直な断面における被加工領域Aの形状は、図9及び図10の例に限られず、他の様々な形状とすることが可能である。

[0064] 図8に示した例において見方を変えると、制御部18は、光軸の方向に互いに離れているIXa-IXa断面及びIXb-IXb断面において、被加工領域Aの大きさを互いに異ならせる。この場合、IXa-IXa断面及びIXb-IXb断面のうち一方が本実施形態における第1の面に相当し、他方が本実施形態における第2の面に相当する。

[0065] また、別の見方をすると、制御部18は、光軸の方向に互いに離れているIXb-IXb断面及びIXc-IXc断面において、被加工領域Aの大きさを互いに異ならせる。この場合、IXb-IXb断面及びIXc-IXc断面のうち一方が本実施形態における第1の面に相当し、他方が本実施形態における第2の面に相当する。

[0066] なお、この例においても、制御部18は、各断面において、被加工領域Aを画定する仮想線B(図2(b)を参照)に沿って各照射点SPの位置を変更する複数のホログラムを、空間光変調器12に順次呈示させる。これにより、各照射点SPは被加工領域Aの輪郭線上を離散的に移動する。

[0067] 制御部18は、光検出器17による検出結果に基づいて各照射点SPにおける加工状態を判断し、上記各断面におけるホログラムの呈示時間を、該加工状態に応じて制御してもよい。加工状態とは、例えば、各照射点SPにおける加工速度(言い換えると、加工の進み具合)等である。

[0068] 被加工物Wがレーザ光La2に対して光透過性を有する場合、図8に示すように、被加工物Wの光照射表面W1に対して逆テーパ状の(面W2に対してテーパ状の)被加工領域Aを設定してもよい。言い換えると、IXa-IXa断面及びIXb-IXb断面(またはIXb-IXb断面及びIXc-

l X c 断面) のうち被加工物Wの光照射表面W 1 からの距離が遠い一方の断面における被加工領域Aの面積が、他方の断面における被加工領域Aの面積よりも大きくてもよい。

[0069] この場合、各照射点S Pにレーザ光L a 2を集光するプログラムを制御部1 8が空間光変調器1 2に呈示させることにより、被加工領域Aの輪郭部分が切断され、被加工領域Aが被加工物Wから下方へ抜け落ちる。これにより、図8 (b) に示すように、光照射表面W 1 に対して逆テーパ状の貫通孔である孔H a が被加工物Wに形成される。

[0070] 被加工物Wが、レーザ光L a 2に対して光透過性を有する例えばガラスといった材料からなる場合、被加工物Wの光照射表面W 1 とは反対側の面W 2 の側から光照射表面W 1 に向かって順次加工するとよい。レーザ光L a 2の集光点においてのみ光強度を加工閾値より大きくし、被加工物Wにおける他の領域(光照射表面W 1 と集光点との間の領域)においては光強度を加工閾値より小さくすることによって、このような加工が可能である。

[0071] この場合、レーザ加工により生じる剰余物(デブリや破片)を、下方に落下させながらレーザ加工を行うことができるので、剰余物によりレーザ光L a 2の照射が妨げられる程度が低減される。

[0072] 図1 1 (a) は、被加工物Wに対してレーザ光L a 2を照射する様子を示す断面図であって、レーザ光L a 2の光軸に沿った断面を示している。図1 1 (b) は、被加工物Wに形成された孔H bを示す断面図である。図1 1 に示す例では、図8に示す例と同様に、レーザ光L a 2の光軸に垂直な断面における被加工領域Aの大きさが、被加工物Wの光照射表面W 1 からその反対側の面W 2 にわたって、レーザ光L a 2の光軸方向に連続的に変化している。

[0073] 具体的には、当該断面における被加工領域Aの大きさが、光照射表面W 1 から離れるほど次第に大きくなっている。但し、図1 1 に示す例では、レーザ光L a 2の光軸に沿った断面における被加工領域Aの輪郭が、図8のような直線状ではなく、内側に凸の曲率を有する形状(例えば円弧状)となっている。

いる。

[0074] この場合においても、各照射点SPにレーザ光La2を集光するプログラムを制御部18が空間光変調器12に呈示させることにより、被加工領域Aの輪郭部分が切断され、被加工領域Aが被加工物Wから下方へ抜け落ちる。これにより、図11(b)に示すように、光照射表面W1に対して逆テーパ状の貫通孔である孔Hbが被加工物Wに形成される。

[0075] 図12～図14の(a)は、被加工物Wに対してレーザ光La2を照射する様子を示す断面図であって、レーザ光La2の光軸に沿った断面を示している。図12～図14の(b)は、被加工物Wに形成された孔Hc, Hd, Heを示す断面図である。

[0076] この例では、まず、図12(a)に示されるように、レーザ光La2の光軸方向における被加工物Wの略中心部から一方の面W3に達するテーパ状の被加工領域Aを設定する。そして、面W3とは反対側の他方の面W4からレーザ光La2を照射し、図8に示された例と同様にして被加工領域Aの輪郭部分を切断することにより、図12(b)に示される孔Hcを形成する。孔Hcは、被加工物Wの略中心部から一方の面W3に達するテーパ状(すり鉢状)の凹部である。

[0077] 次に、図13(a)に示されるように、被加工物Wを上下反転し、レーザ光La2の光軸方向における被加工物Wの略中心部から他方の面W4に達するテーパ状の別の被加工領域Aを設定する。そして、一方の面W3からレーザ光La2を照射し、図8に示された例と同様にして当該被加工領域Aの輪郭部分を切断することにより、図13(b)に示される孔Hdを形成する。孔Hdは、被加工物Wの略中心部から他方の面W4に達するテーパ状(すり鉢状)の凹部である。

[0078] 最後に、図14(a)に示されるように、孔Hcと孔Hdとを繋ぐ更に別の被加工領域Aを設定する。そして、面W3又はW4からレーザ光La2を照射し、図8に示された例と同様にして当該被加工領域Aの輪郭部分を切断することにより、図14(b)に示される孔Heを形成する。こうして、被

加工物Wの一方の面W3と他方の面W4との間を貫通する孔が形成される。

[0079] なお、上記の例では、レーザ光L a 2の光軸に沿った断面における各被加工領域Aの輪郭が直線状とされているが、これらのうち少なくとも1つが曲率を有してもよい。図15(a)は、2つの被加工領域Aが曲率を有する場合に形成される貫通孔H fの断面形状を示している。貫通孔H fは、被加工物Wの略中心部から面W3に達する孔H f aと、被加工物Wの略中心部から面W4に達する孔H f bとが連通して成る。

[0080] レーザ光L a 2の光軸に垂直な断面における孔H f aの大きさは、被加工物Wの略中心部から面W3に近づくにつれて次第に大きくなる。レーザ光L a 2の光軸に垂直な断面における孔H f bの大きさは、被加工物Wの略中心部から面W4に近づくにつれて次第に大きくなる。そして、これらの孔H f a, H f bの側面は、被加工物Wの厚さ方向に沿った断面において内側に凸の曲率を有する。

[0081] また、図15(b)は、1つの被加工領域Aの輪郭が曲率を有する場合に形成される貫通孔H gの断面形状を示している。貫通孔H gは、被加工物Wの略中心部から面W3に達する孔H g aと、被加工物Wの略中心部から面W4に達する孔H g bとが連通して成る。

[0082] レーザ光L a 2の光軸に垂直な断面における孔H g aの大きさは、被加工物Wの略中心部から面W3に近づくにつれて次第に大きくなる。そして、孔H g aの側面は、被加工物Wの厚さ方向に沿った断面において内側に凸の曲率を有する。孔H g bは、図12に示された孔H c、及び図13に示された孔H dと同様に、面W4から見てテーパ状（すり鉢状）を呈している。

[0083] 図16(a)は、レーザ光L a 2の照射により形成された孔H hを示す断面図であって、被加工物Wの厚さ方向に沿った断面を示している。図16(b)は、被加工物Wの光照射表面W1における孔H hの形状を示す平面図であり、図16(c)は、被加工物Wの光照射表面W1とは反対側の面W2における孔H hの形状を示す平面図である。

[0084] この例では、光照射表面W1（レーザ光L a 2の光軸と交差する第1の面

）における孔H hの形状と、光照射表面W 1とは反対側の面W 2（第1の面から光軸の方向に離れた第2の面）における孔H hの形状とが互いに異なる。図示例では、光照射表面W 1における孔H hの形状は円形であり、反対側の面W 2における孔H hの形状は正三角形である。

[0085] このような孔H hは、制御部1 8が、光照射表面W 1及び面W 2の各面内において複数の照射点により画成される被加工領域Aの形状を互いに異ならせることにより好適に形成され得る。一例では、被加工物Wの厚さ方向に垂直な孔H hの断面形状は、被加工物Wの厚さ方向に沿って連続的に変化する。

[0086] 図1 7は、図1 6に示された孔H hを形成するための、レーザ光L a 2の光軸方向における被加工領域Aの形状の変化を概念的に示す図である。図1 7（a）は、被加工物Wにレーザ光L a 2を照射するための構成の概略と、レーザ光L a 2の光軸方向における被加工物Wの断面とを示している。図1 7（b）、（c）、（d）、（e）は、被加工物Wにおいて互いに異なる深さに位置する各面内の被加工領域Aの形状と、各面内の複数の照射点S Pとを示している。

[0087] 図1 7（b）に示されるように光照射表面W 1における被加工領域Aの形状は円形であるが、図1 7（c）～（e）に示されるように、光照射表面W 1から光軸方向に離れるに従い、被加工領域Aの形状は次第に円形から三角形に近づく。最終的に、面W 2における被加工領域Aの形状は三角形となる。なお、前述したように、被加工物Wが光透過性を有する場合には、面W 2側から光照射表面W 1に向かって加工を行うとよい。

[0088] 図1 8～図2 1は、図1 7（b）～（e）に示された各面に対応するホログラムの例を示す図である。図1 8～図2 1の（a）は、それぞれ図1 7（b）～（e）に示された複数の照射点S Pを示している。図1 8～図2 1の（b）、（c）、（d）は、それぞれの（a）に示される複数の照射点S Pを実現するためのホログラムの例を示している。なお、図1 8～図2 1の（b）、（c）、（d）においては、位相の大きさを色の濃淡で示し、色が濃

いほど位相が小さく（0ラジアンに近く）、色が淡いほど位相が大きい（ $2\pi$ ラジアンに近い）。

[0089] また、図18～図21の各図において、(b)、(c)、(d)は、被加工領域Aの輪郭線（図2に示された仮想線B）に沿って各照射点SPの位置を変更するための複数のホログラムを示している。図中の矢印により示されるように、制御部18は、(b)、(c)、(d)に示された各ホログラムを空間光変調器12に対して周期的に繰り返し呈示させることによって、各照射点SPの位置を被加工領域Aの輪郭線に沿って移動させつつ加工を行う。

[0090] 図7～図17に示された各加工例においては、レーザ加工の途中においてホログラムの変更が必要となる。そして、ホログラムを変更する際、次に呈示するホログラムを記憶部（例えば図4に示したROM183又は補助記憶装置186）から呼び出したり、あるいは光検出器17における検出結果に基づいて次に呈示するホログラムを計算により生成するための時間が必要となる。

[0091] 制御部18は、或るホログラムを消去してから別のホログラムを呈示するまでの間、レーザ光La2の光強度を被加工物Wのいずれの部位においても加工閾値未満とするホログラムを空間光変調器12に呈示させる。例えば、図22に示されるように、制御部18は、レーザ光La2の照射点SPを被加工物Wよりもさらに遠くへ形成するようなホログラムを、空間光変調器12に呈示させてもよい。これにより、レーザ光源11がオフ状態とされたのと等価な作用を実現することができる。

[0092] また、図8～図17に示された各加工例にてレーザ光La2の光軸方向に並ぶ各面内においても、図5～図7に示された各加工例と同様に、制御部18が、複数の照射点SPの光強度を、照射点SP毎に独立して制御してもよい。また、制御部18は、光軸方向に並ぶ各面内における照射点SPの光強度を、各面ごとに独立して制御してもよい。

[0093] 例えば、図8～図10に示した例において、 $|Xa - |Xa$ 断面、 $|Xb$

—  $1 \times b$  断面及び  $1 \times c - 1 \times c$  断面における照射点  $SP$  の光強度は、各断面における材質（又は加工速度）に応じて、各断面毎に独立して設定されてもよい。また、各断面毎の照射時間も独立に設定されてもよい。

[0094] 図 23 は、本実施形態に係るレーザ加工方法を示すフローチャートである。このレーザ加工方法は、上述したレーザ加工装置 10 を用いて行うことができる。図 23 に示されるように、まず、制御ステップ  $S1$  として、二次元配列された複数の画素それぞれにおいて光の位相を変調するホログラムを空間光変調器 12 に呈示させる。次に、光変調ステップ  $S2$  として、レーザ光源 11 から出力されたレーザ光  $La1$  を空間光変調器 12 に入力し、ホログラムによりレーザ光  $La1$  の位相変調を行う。そして、集光ステップ  $S3$  として、位相変調後のレーザ光  $La2$  を、集光光学系 14 を用いて集光する。

[0095] 先の制御ステップ  $S1$  では、位相変調後のレーザ光  $La2$  を集光ステップ  $S3$  により被加工物  $W$  の複数の照射点  $SP$  に集光させるホログラムを、空間光変調器 12 に呈示させる。これにより、被加工物  $W$  に対して複数の照射点  $SP$  が形成され、各照射点  $SP$  において被加工物  $W$  の加工（溶融、クラックの発生、切断等）が進行する。そして、光検出ステップ  $S4$  として、レーザ光  $La2$  の波長とは異なる波長を有する観察光  $Lb$  を被加工物  $W$  に照射し、被加工物  $W$  において反射した観察光（反射光  $Lc$ ）を検出する。

[0096] 以降、ホログラムを変更しながら、ステップ  $S1 \sim S4$  を繰り返し行う。制御ステップ  $S1$  では、図 2 に示したように、被加工領域  $A$  を画定する仮想線  $B$  に沿って各照射点  $SP$  の位置を変更する複数のホログラムを、空間光変調器 12 に順次呈示させる。また、照射点  $SP$  の光強度の設定目標値と観察光の検出結果との差が目標誤差より大きい場合は（ステップ  $S5 : NO$ ）、ホログラムを補正してもよい（ステップ  $S6$ ）。

[0097] 図 5～図 7 に示されたように、制御ステップ  $S1$  では、複数の照射点  $SP$  の光強度を、照射点  $SP$  毎に独立して制御する。または、図 8～図 17 に示されたように、制御ステップ  $S1$  では、複数の照射点  $SP$  により画成される被加工領域  $A$  の形状を、レーザ光  $La2$  の光軸と交差する複数の面毎に異な

らせる。或いは、制御ステップS 1では、複数の照射点S Pの光強度を照射点S P毎に独立して制御するとともに、複数の照射点S Pにより画成される被加工領域Aの形状を、レーザ光L a 2の光軸と交差する複数の面毎に異ならせる。

[0098] 照射点S P毎に光強度を独立して制御する場合、制御ステップS 1において、先の光検出ステップS 4による検出結果に基づいて各照射点S Pにおける材質の変化を検出し、各照射点S Pの光強度を材質の変化に応じて変更する。

[0099] 或いは、図24に示されるように、記憶ステップS 0を制御ステップS 1の前に行い、記憶ステップS 0において、被加工物Wの材質分布に応じた、各照射点S Pの光強度に関するデータを記憶部（例えば図4に示したROM 183又は補助記憶装置186）に予め記憶させる。そして、制御ステップS 1において、各照射点S Pの光強度を該データに基づいて制御する。また、照射点S Pの光強度の設定目標値と観察光の検出結果との差が目標誤差より大きい場合は（ステップS 5：NO）、ホログラムを補正してもよい（ステップS 6）。

[0100] また、レーザ光L a 2の光軸と交差する複数の面毎に被加工領域Aの形状を異ならせる場合、図8～図15に示されたように、被加工領域Aの形状を、レーザ光L a 2の光軸方向において連続的に変化させることも可能である。被加工物Wがレーザ光L a 2に対して光透過性を有する場合には、図8～図15に示されたように、被加工物Wの光照射表面W 1からの距離が遠い面における被加工領域Aの面積を、光照射表面W 1からの距離が近い面における被加工領域Aの面積より大きくすることも可能である。

[0101] 光検出ステップS 4における検出結果に基づいて各照射点S Pにおける加工状態を判断し、各面に対するホログラムの呈示時間を加工状態に応じて制御することも可能である。複数の照射点S Pの光強度を各面ごとに独立して制御することも可能である。

[0102] また、制御ステップS 1においてホログラムを変更する際には、或るホロ

グラムを消去してから別のホログラムを呈示するまでの間、レーザ光  $L a 2$  の光強度を被加工物  $W$  のいずれの部位においても加工閾値未満とするホログラムを、空間光変調器 12 に呈示させる。

- [0103] 以上に説明した本実施形態のレーザ加工装置 10 及びレーザ加工方法によって得られる効果について説明する。
- [0104] 本実施形態のレーザ加工装置 10 及びレーザ加工方法では、互いに光軸方向に離れている少なくとも 2 つの面内において、被加工領域  $A$  の形状及び大きさのうち少なくとも一方が面毎に異なる。このように、光軸方向に離れた複数の面毎に被加工領域  $A$  の形状及び／又は大きさを変化させることにより、光軸方向に垂直な断面の形状を自在に設定するような、従来より複雑な加工を行うことが可能となる。
- [0105] また、本実施形態によれば、各照射点  $S P$  の光強度の調整、各照射点  $S P$  のオン／オフ、及び仮想線  $B$  に沿った各照射点  $S P$  の移動を、機構部を全く用いることなく実現することができる。したがって、レーザ加工装置 10 の装置構成を大幅に単純化することができ、また、高速かつ高精度に加工処理を実施することができる。
- [0106] 本実施形態のように、被加工物  $W$  が位相変調後のレーザ光  $L a 2$  に対して光透過性を有し、被加工物  $W$  の光照射表面  $W 1$  からの距離が遠い面における被加工領域  $A$  の面積が、該距離が近い面における被加工領域  $A$  の面積より大きくてもよい。この場合、例えば被加工物  $W$  の光照射表面  $W 1$  から遠ざかるにつれて孔径が広がる逆テーパ形状の孔の形成といった複雑な加工をも容易に行うことができる。
- [0107] 本実施形態のように、制御部 18 は（制御ステップ  $S 1$  では）、被加工領域  $A$  の形状及び大きさの少なくとも一方を、レーザ光  $L a 2$  の光軸方向において連続的に変化させてもよい。この場合、光軸方向に垂直な断面の形状が光軸方向において滑らかに変形する孔等の加工を容易に行うことができる。
- [0108] 本実施形態のように、制御部 18 は（制御ステップ  $S 1$  では）、光軸方向に並ぶ複数の面のそれぞれにおいて、被加工領域  $A$  を画定する仮想線  $B$  に沿

って各照射点SPの位置を変更する複数のホログラムを空間光変調器12に順次呈示させてもよい。この場合、各照射点SPに対して十分な光強度を与えつつ、単一のホログラムによりレーザ光La2を一度に照射する場合と比較してレーザ光源11に必要な出力パワーを低減でき、レーザ光源11の小型化に寄与できる。

[0109] 本実施形態のように、レーザ加工装置10は、観察光Lbを被加工物Wに照射する観察用光源16と、被加工物Wにおいて反射した観察光である反射光Lcを検出する光検出器17と、を備えてもよい。また、レーザ加工方法は、観察光Lbを被加工物Wに照射し、被加工物Wからの反射光Lcを検出する光検出ステップS4を更に含んでもよい。

[0110] そして、制御部18は（制御ステップS1では）、光検出器17（光検出ステップS4）による検出結果に基づいて各照射点SPにおける加工状態を判断し、各面に対するホログラムの呈示時間を加工状態に応じて制御してもよい。或いは、制御部18は（制御ステップS1では）、光検出器17による検出結果に基づいて各照射点SPにおける材質の変化を検出し、各照射点SPの光強度を材質の変化に応じて変更してもよい。これらの場合、加工精度をより高めることができる。

[0111] 本実施形態のように、制御部18は（制御ステップS1では）、各面内において複数の照射点SPに含まれる少なくとも2つの照射点SPの光強度を互いに独立して制御してもよい。この場合、被加工物Wの部位による材質の違い、すなわち同一強度のレーザ光La2に対する加工速度の違いが存在するときに、各部位に対応する各照射点SPにおいて適切な光強度でもってレーザ光La2を照射することができる。したがって、2種類以上の材質からなる被加工物Wを複雑な形状に加工することが容易にできる。

[0112] 本実施形態のように、制御部18は（制御ステップS1では）、少なくとも2つの面内における照射点SPの光強度を、各面毎に独立して制御してもよい。この場合、各面をそれぞれ構成する材質の違い、すなわち同一強度のレーザ光La2に対する加工速度の違いが存在するときに、各面の材質に応

じて適切な光強度でもってレーザ光L a 2を照射することができる。

[0113] 本実施形態のように、制御部18は（制御ステップS1では）、ホログラムを変更する際に、或るホログラムを消去してから別のホログラムを呈示するまでの間、レーザ光L a 2の光強度を被加工物Wのいずれの部位においても加工閾値未満とするホログラムを空間光変調器12に呈示させてもよい。この場合、シャッタ等の機械的手段によりレーザ光L a 2を遮断する場合と比較して、機械的シャッタ自体や機械的シャッタを動作させるために必要な高電圧装置等が不要になるので、レーザ加工装置10の構成を簡素化し、レーザ加工装置10の小型化及びコスト低減に寄与することができる。

[0114] 本実施形態のように、レーザ加工装置10は、被加工物Wの材質分布に応じた、各照射点SPの光強度に関するデータを予め記憶する記憶部を備え、制御部18は、各照射点SPの光強度を当該データに基づいて制御してもよい。また、レーザ加工方法は、制御ステップS1の前に、被加工物Wの材質分布に応じた、各照射点SPの光強度に関するデータを予め記憶する記憶ステップS0を含み、制御ステップS1において、各照射点SPの光強度を当該データに基づいて制御してもよい。これらの場合、各照射点SPに必要な光強度を素早く得ることができるので、ホログラムの変更時間を短縮できる。

[0115] 従来のレーザ加工方法の例について説明する。図25は、特許文献1に記載されたレーザ加工方法を説明するための図である。このレーザ加工方法は、処理面112を有するワークピース（被加工物）110をレーザアブレーションにより加工する方法であって、三次元の幾何学的形状114をワークピース110内に形成する。

[0116] 図25には、3つの異なるビームプロファイル116、118および120が示されている。各ビームプロファイル116、118、120において、縦軸は光強度を表し、横軸は位置を表す。各ビームプロファイル116、118、120において、レーザビームは、処理面112の箇所において、照射領域122と非照射領域124とのパターンを有する。照射領域122

においては、光強度がアブレーション閾値を上回っている。非照射領域 1 2 4 においては、光強度がワークピース 1 1 0 の材料の溶解閾値を下回っている。

[0117] 各ビームプロファイル 1 1 6, 1 1 8, 1 2 0 は、その直径、等価直径、及び／又は幾何学的形状に関して、互いに相違している。すなわち、ビームプロファイル 1 1 6, 1 1 8, 1 2 0 は、この順番で、小さくなる直径又は等価直径を有する。更に、ワークピース 1 1 0 の一部切欠き断面図には、これらのビームプロファイル 1 1 6, 1 1 8, 1 2 0 が互いに異なる幾何学的形状を有し得ることが示されている。したがって、ワークピース 1 1 0 には階段状の幾何学的形状が生じる。

[0118] しかしながら、特許文献 1 に記載された方法では、一度にレーザ光を照射する領域が大きいため、全領域にわたってアブレーション閾値を上回るためには、極めて大きな出力パワーを有するレーザ光源が必要となる。したがって、レーザ光源が大型化してしまう。また、基本的には加工が進むほどビームプロファイルの直径が小さくなるので、形成可能な形状には制限がある。更には、加工速度がそれぞれ異なる複数の材質がワークピース 1 1 0 に混在している場合、各材質の性質に応じて光強度及び照射時間を設定することは困難である。

[0119] これらの課題に対し、本実施形態のレーザ加工装置 1 0 及びレーザ加工方法によれば、複数の照射点 S P にレーザ光 L a 2 を集光させて加工を行うので、レーザ光源 1 1 の出力パワーは比較的小さくて済み、レーザ光源 1 1 の小型化に寄与できる。また、例えば図 8 に示されるような逆テーパ状の孔 H a や、図 1 6 に示される孔 H h といった複雑な形状の加工も容易である。

[0120] 更には、照射点 S P 毎に光強度及び照射時間を独立して制御するので、被加工領域に複数の材質が混在している場合でも各材質の性質に応じて光強度及び照射時間を容易に設定することができる。また、光強度を調整するための  $\lambda/2$  板や偏光ビームスプリッタといった光学部品が不要となり、レーザ加工装置の構成を更に簡素化できる。

- [0121] 図26及び図27は、特許文献2に記載されたレーザ加工方法を説明するための図である。このレーザ加工方法では、複数個の像再生プログラムデータを準備してレーザ加工を行う。具体的には、図26(a)に示すように、被加工面200を複数個のセル201に分割し、1つのセル201に対して1個の照射点202を対応させ、各セル201に対して照射点202を形成するか否かを自由に選択する。
- [0122] この像再生プログラムデータに位置移動プログラムデータを重畳する。そして、位置移動プログラムデータを変化させながら、図26(b)～(e)に示す離散的な点像を被加工面200に加工形成することにより、図27に示す複雑形状の加工形状203を得る。
- [0123] しかしながら、特許文献2に記載された方法では、各照射点202の光強度を個別に制御していないため、加工速度がそれぞれ異なる複数の材質が被加工面200に混在している場合、各材質の性質に応じて光強度及び照射時間を設定することは困難である。
- [0124] これに対し、本実施形態のレーザ加工装置10及びレーザ加工方法によれば、照射点SP毎に光強度及び照射時間を独立して制御するので、被加工領域に複数の材質が混在している場合でも各材質の性質に応じて光強度及び照射時間を容易に設定することができる。
- [0125] レーザ加工装置及びレーザ加工方法は、上述した実施形態及び構成例に限られるものではなく、他に様々な変形が可能である。例えば、上記実施形態では、複数の材質が被加工領域Aに含まれている場合に、照射点SP毎に独立して光強度を制御することによって各材質の性質に応じた光強度での加工が可能になることを述べた。このような例に限られず、例えば被加工領域Aが単一の材質からなる場合であっても、照射点SP毎に独立して光強度を制御することによって、被加工物Wの除去率（除去量）を被加工領域Aの部分毎に独立して制御でき、より複雑な形状を実現できる。
- [0126] また、上記実施形態では、複数の照射点SPの光強度をそれぞれ独立して制御する場合について例示したが、必ずしも全ての照射点SPを独立して制

御する必要がない場合には、複数の照射点 S P のうち少なくとも 2 つの照射点 S P の光強度を互いに独立して制御してもよい。その場合であっても、上記実施形態の効果を奏することができる。

[0127] 上記実施形態によるレーザ加工装置は、レーザ光源から出力されたレーザ光を入力し、二次元配列された複数の画素それぞれにおいてレーザ光の位相を変調するホログラムを呈示して、ホログラムにより位相変調した後のレーザ光を出力する空間光変調器と、空間光変調器の後段に設けられた集光光学系と、空間光変調器から出力された位相変調後のレーザ光を集光光学系により被加工物の複数の照射点に集光させるホログラムを空間光変調器に呈示させる制御部と、を備え、制御部は、被加工物に照射される位相変調後のレーザ光の光軸と交差する第 1 の面内において複数の照射点により画成される被加工領域と、光軸と交差し第 1 の面から光軸の方向に離れている第 2 の面内において複数の照射点により画成される被加工領域との、形状及び大きさのうち少なくとも一方を互いに異ならせる構成としている。

[0128] 上記実施形態によるレーザ加工方法は、二次元配列された複数の画素それぞれにおいて光の位相を変調するホログラムを空間光変調器に呈示させる制御ステップと、レーザ光源から出力されたレーザ光を空間光変調器に入力し、ホログラムによりレーザ光の位相変調を行う光変調ステップと、位相変調後のレーザ光を集光する集光ステップと、を繰り返し行い、制御ステップにおいて、位相変調後のレーザ光を集光ステップにより被加工物の複数の照射点に集光させるホログラムを空間光変調器に呈示させ、被加工物に照射される位相変調後のレーザ光の光軸と交差する第 1 の面内において複数の照射点により画成される被加工領域と、光軸と交差し第 1 の面から光軸の方向に離れている第 2 の面内において複数の照射点により画成される被加工領域との、形状及び大きさのうち少なくとも一方を互いに異ならせる構成としている。

[0129] 上記のレーザ加工装置において、被加工物が位相変調後のレーザ光に対して光透過性を有し、第 1 及び第 2 の面のうち被加工物の光照射表面からの距

離が遠い一方の面における被加工領域の面積が、他方の面における被加工領域の面積よりも大きい構成としてもよい。

[0130] 上記のレーザ加工方法において、被加工物が位相変調後のレーザ光に対して光透過性を有し、制御ステップにおいて、第1及び第2の面のうち被加工物の光照射表面からの距離が遠い一方の面における被加工領域の面積を、他方の面における被加工領域の面積よりも大きくする構成としてもよい。

[0131] このような構成によれば、例えば被加工物の光照射表面から遠ざかるにつれて孔径が広がる逆テーパ形状の孔の形成といった複雑な加工をも容易に行うことができる。

[0132] 上記のレーザ加工装置において、制御部は、被加工領域の形状及び大きさの少なくとも一方を、光軸の方向において連続的に変化させる構成としてもよい。

[0133] 上記のレーザ加工方法では、制御ステップにおいて、被加工領域の形状及び大きさの少なくとも一方を、光軸の方向において連続的に変化させる構成としてもよい。

[0134] このような構成によれば、光軸方向に垂直な断面の形状が光軸方向において滑らかに変形する孔等の加工を容易に行うことができる。

[0135] 上記のレーザ加工装置において、制御部は、第1及び第2の面のそれぞれにおいて、被加工領域を画定する仮想線に沿って各照射点の位置を変更する複数のホログラムを空間光変調器に順次呈示させる構成としてもよい。

[0136] 上記のレーザ加工方法では、制御ステップにおいて、第1及び第2の面のそれぞれにおいて、被加工領域を画定する仮想線に沿って各照射点の位置を変更する複数のホログラムを空間光変調器に順次呈示させる構成としてもよい。

[0137] このような構成によれば、各照射点に対して十分な光強度を与えつつ、単一のホログラムによりレーザ光を一度に照射する場合と比較してレーザ光源に必要な出力パワーを低減でき、レーザ光源の小型化に寄与できる。

[0138] 上記のレーザ加工装置は、観察光を被加工物に照射する観察用光源と、被

加工物において反射した観察光を検出する光検出器と、を更に備え、制御部は、光検出器による検出結果に基づいて各照射点における加工状態を判断し、第1及び第2の面に対するホログラムの呈示時間を加工状態に応じて制御する構成としてもよい。

[0139] 上記のレーザ加工方法は、観察光を被加工物に照射し、被加工物において反射した観察光を検出する光検出ステップを更に含み、制御ステップにおいて、光検出ステップにおける検出結果に基づいて各照射点における加工状態を判断し、第1及び第2の面に対するホログラムの呈示時間を加工状態に応じて制御する構成としてもよい。

[0140] このような構成によれば、加工精度をより高めることができる。

[0141] 上記のレーザ加工装置において、制御部は、各面内において複数の照射点に含まれる少なくとも2つの照射点の光強度を互いに独立して制御する構成としてもよい。

[0142] 上記のレーザ加工方法では、制御ステップにおいて、各面内において複数の照射点に含まれる少なくとも2つの照射点の光強度を互いに独立して制御する構成としてもよい。

[0143] このような構成によれば、被加工物の部位による材質の違い、すなわち同一強度のレーザ光に対する加工速度の違いが存在するときに、各部位に対応する各照射点において適切な光強度でもってレーザ光を照射することができる。したがって、2種類以上の材質からなる被加工物を複雑な形状に加工することが容易にできる。また、被加工領域が単一の材質からなる場合であっても、照射点毎に独立して光強度を制御することによって、被加工物の除去率（除去量）を被加工領域の部分毎に独立して制御でき、より複雑な形状を実現できる。

[0144] 上記のレーザ加工装置において、制御部は、第1の面内における複数の照射点の光強度と、第2の面内における複数の照射点の光強度とを互いに独立して制御する構成としてもよい。

[0145] 上記のレーザ加工方法では、制御ステップにおいて、第1の面内における

複数の照射点の光強度と、第2の面内における複数の照射点の光強度とを互いに独立して制御する構成としてもよい。

[0146] このような構成によれば、第1及び第2の面をそれぞれ構成する材質の違い、すなわち同一強度のレーザ光に対する加工速度の違いが存在するときに、各面の材質に応じて適切な光強度でもってレーザ光を照射することができる。

[0147] 上記のレーザ加工装置において、制御部は、ホログラムを変更する際に、或るホログラムを消去してから別のホログラムを呈示するまでの間、レーザ光の光強度を被加工物のいずれの部位においても加工閾値未満とするホログラムを空間光変調器に呈示させる構成としてもよい。

[0148] 上記のレーザ加工方法では、制御ステップにおいて、ホログラムを変更する際に、或るホログラムを消去してから別のホログラムを呈示するまでの間、レーザ光の光強度を被加工物のいずれの部位においても加工閾値未満とするホログラムを空間光変調器に呈示させる構成としてもよい。

[0149] このような構成によれば、シャッタ等の機械的手段によりレーザ光を遮断する場合と比較して、レーザ加工装置の構成を簡素化することができる。

### 産業上の利用可能性

[0150] 本発明は、空間光変調器を用いてレーザ光を位相変調することにより複数の照射点に同時に集光照射を行う構成において、より複雑な加工を行うことが可能なレーザ加工装置及びレーザ加工方法として利用可能である。

### 符号の説明

[0151] 10…レーザ加工装置、11…レーザ光源、12…空間光変調器、13…ダイクロイックミラー、14…集光光学系、15…駆動部、16…観察用光源、17…光検出器、18…制御部、110…ワークピース、112…処理面、114…幾何学的形状、116, 118, 120…ビームプロファイル、122…照射領域、124…非照射領域、181…CPU、182…RAM、183…ROM、184…入力装置、185…デジタル／アナログ変換器、186…補助記憶装置、200…被加工面、201…セル、202…

照射点、203…加工形状、A…被加工領域、B…仮想線、Ha, Hb, Hc, Hd, He, Hh…孔、Hf, Hg…貫通孔、Hfa, Hfb, Hga, Hgb…孔、La1, La2…レーザー光、Lb…観察光、Lc…反射光、Sa…信号、SP…照射点、Vd…駆動電圧、W…被加工物、W1…光照射表面、W2, W3, W4…面、Wa, Wb, Wc, Wd, We…領域。

## 請求の範囲

- [請求項1] レーザ光源から出力されたレーザ光を入力し、二次元配列された複数の画素それぞれにおいて前記レーザ光の位相を変調するホログラムを呈示して、前記ホログラムにより位相変調した後のレーザ光を出力する空間光変調器と、
- 前記空間光変調器の後段に設けられた集光光学系と、
- 前記空間光変調器から出力された位相変調後の前記レーザ光を前記集光光学系により被加工物の複数の照射点に集光させるホログラムを前記空間光変調器に呈示させる制御部と、
- を備え、
- 前記制御部は、前記被加工物に照射される位相変調後の前記レーザ光の光軸と交差する第1の面内において前記複数の照射点により画成される被加工領域と、前記光軸と交差し前記第1の面から前記光軸の方向に離れている第2の面内において前記複数の照射点により画成される被加工領域との、形状及び大きさのうち少なくとも一方を互いに異ならせる、レーザ加工装置。
- [請求項2] 前記被加工物が位相変調後の前記レーザ光に対して光透過性を有し、
- 、
- 前記第1及び第2の面のうち前記被加工物の光照射表面からの距離が遠い一方の面における前記被加工領域の面積が、他方の面における前記被加工領域の面積よりも大きい、請求項1に記載のレーザ加工装置。
- [請求項3] 前記制御部は、前記被加工領域の形状及び大きさのうち少なくとも一方を、前記光軸の方向において連続的に変化させる、請求項1又は2に記載のレーザ加工装置。
- [請求項4] 前記制御部は、前記第1及び第2の面のそれぞれにおいて、前記被加工領域を画定する仮想線に沿って各照射点の位置を変更する複数のホログラムを前記空間光変調器に順次呈示させる、請求項1～3のい

ずれか1項に記載のレーザ加工装置。

[請求項5]

観察光を前記被加工物に照射する観察用光源と、  
前記被加工物において反射した前記観察光を検出する光検出器と、  
を更に備え、

前記制御部は、前記光検出器による検出結果に基づいて各照射点における加工状態を判断し、前記第1及び第2の面に対するホログラムの呈示時間を前記加工状態に応じて制御する、請求項1～4のいずれか1項に記載のレーザ加工装置。

[請求項6]

前記制御部は、各面内において前記複数の照射点に含まれる少なくとも2つの前記照射点の光強度を互いに独立して制御する、請求項1～5のいずれか1項に記載のレーザ加工装置。

[請求項7]

前記制御部は、前記第1の面内における前記複数の照射点の光強度と、前記第2の面内における前記複数の照射点の光強度とを互いに独立して制御する、請求項1～6のいずれか1項に記載のレーザ加工装置。

[請求項8]

前記制御部は、ホログラムを変更する際に、或るホログラムを消去してから別のホログラムを呈示するまでの間、前記レーザ光の光強度を前記被加工物のいずれの部位においても加工閾値未満とするホログラムを前記空間光変調器に呈示させる、請求項1～7のいずれか1項に記載のレーザ加工装置。

[請求項9]

二次元配列された複数の画素それぞれにおいて光の位相を変調するホログラムを空間光変調器に呈示させる制御ステップと、

レーザ光源から出力されたレーザ光を前記空間光変調器に入力し、前記ホログラムにより前記レーザ光の位相変調を行う光変調ステップと、

位相変調後の前記レーザ光を集光する集光ステップと、  
を繰り返し行い、

前記制御ステップにおいて、位相変調後の前記レーザ光を前記集光

ステップにより被加工物の複数の照射点に集光させる前記ホログラムを前記空間光変調器に呈示させ、

前記被加工物に照射される位相変調後の前記レーザ光の光軸と交差する第1の面内において前記複数の照射点により画成される被加工領域と、前記光軸と交差し前記第1の面から前記光軸の方向に離れている第2の面内において前記複数の照射点により画成される被加工領域との、形状及び大きさのうち少なくとも一方を互いに異ならせる、レーザ加工方法。

[請求項10] 前記被加工物が位相変調後の前記レーザ光に対して光透過性を有し、

前記制御ステップにおいて、前記第1及び第2の面のうち前記被加工物の光照射表面からの距離が遠い一方の面における前記被加工領域の面積を、他方の面における前記被加工領域の面積よりも大きくする、請求項9に記載のレーザ加工方法。

[請求項11] 前記制御ステップにおいて、前記被加工領域の形状及び大きさのうち少なくとも一方を、前記光軸の方向において連続的に変化させる、請求項9又は10に記載のレーザ加工方法。

[請求項12] 前記制御ステップにおいて、前記第1及び第2の面のそれぞれにおいて、前記被加工領域を画定する仮想線に沿って各照射点の位置を変更する複数のホログラムを前記空間光変調器に順次呈示させる、請求項9～11のいずれか1項に記載のレーザ加工方法。

[請求項13] 観察光を前記被加工物に照射し、前記被加工物において反射した前記観察光を検出する光検出ステップを更に含み、

前記制御ステップにおいて、前記光検出ステップにおける検出結果に基づいて各照射点における加工状態を判断し、前記第1及び第2の面に対するホログラムの呈示時間を前記加工状態に応じて制御する、請求項9～12のいずれか1項に記載のレーザ加工方法。

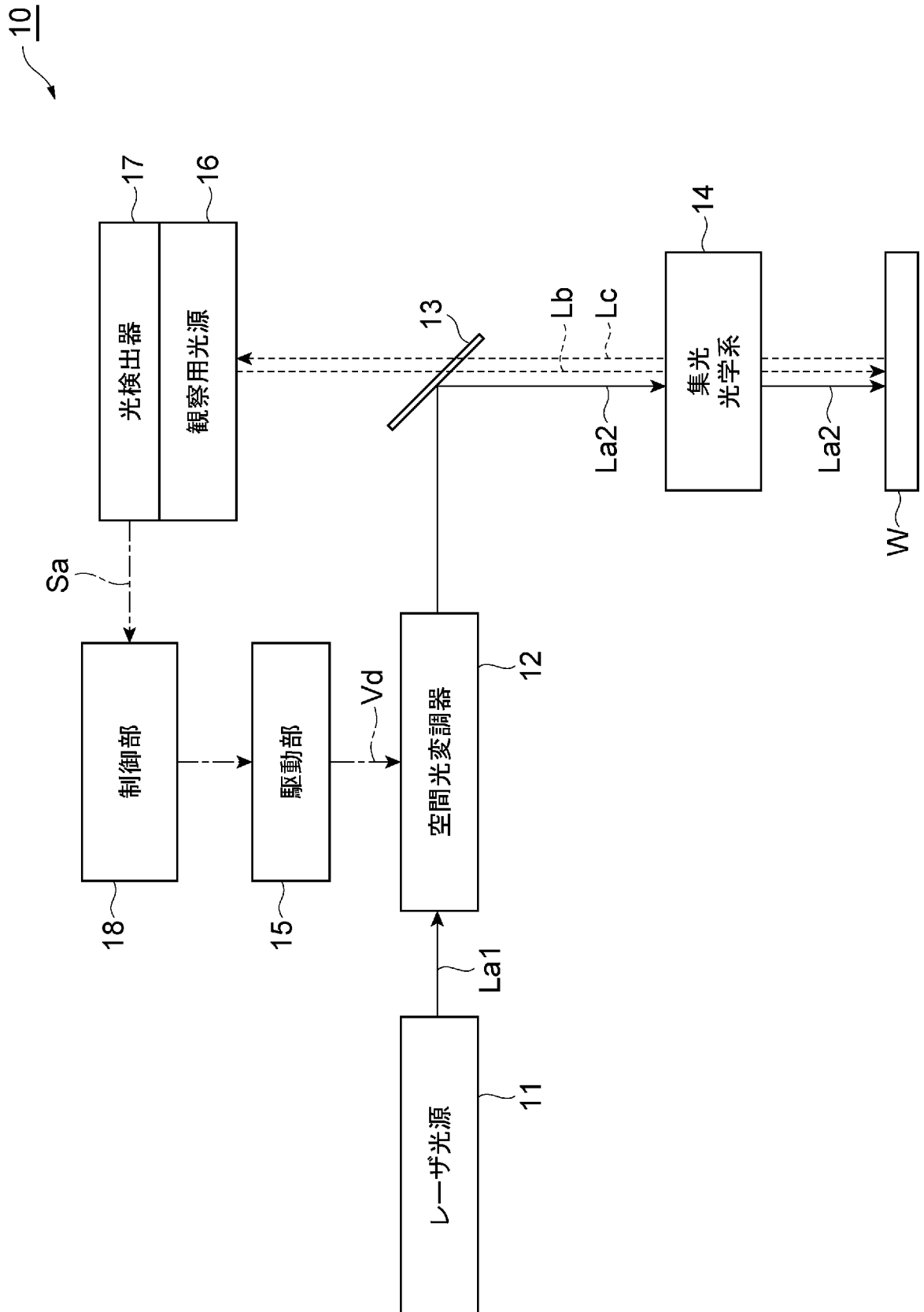
[請求項14] 前記制御ステップにおいて、各面内において前記複数の照射点に含

まれる少なくとも2つの前記照射点の光強度を互いに独立して制御する、請求項9～13のいずれか1項に記載のレーザ加工方法。

[請求項15] 前記制御ステップにおいて、前記第1の面内における前記複数の照射点の光強度と、前記第2の面内における前記複数の照射点の光強度とを互いに独立して制御する、請求項9～14のいずれか1項に記載のレーザ加工方法。

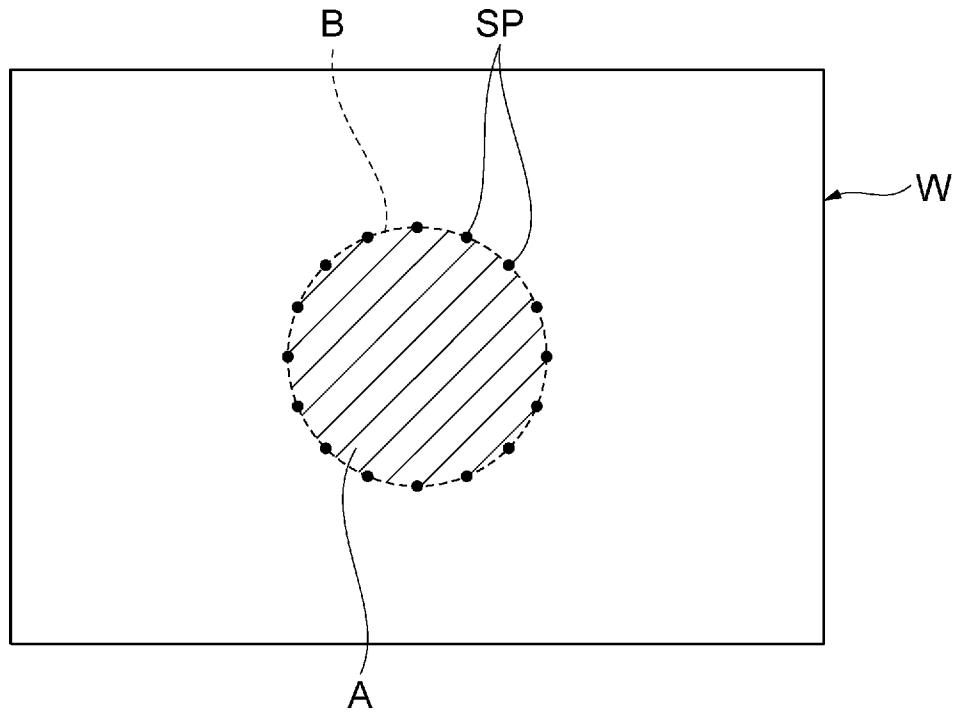
[請求項16] 前記制御ステップにおいて、ホログラムを変更する際に、或るホログラムを消去してから別のホログラムを呈示するまでの間、前記レーザ光の光強度を前記被加工物のいずれの部位においても加工閾値未満とするホログラムを前記空間光変調器に呈示させる、請求項9～15のいずれか1項に記載のレーザ加工方法。

[図1]

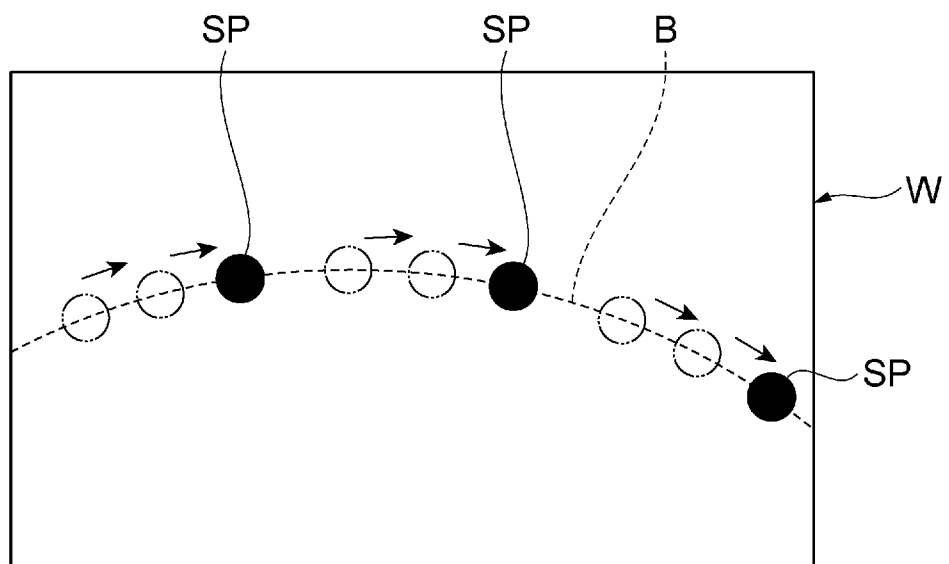


[図2]

(a)

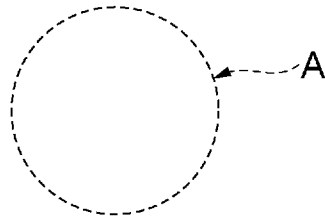


(b)

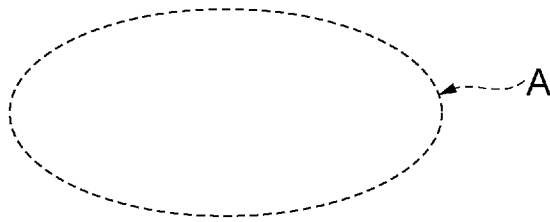


[図3]

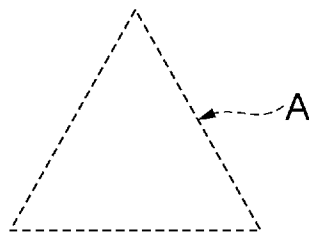
(a)



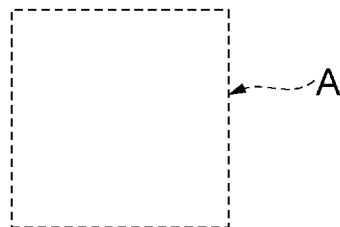
(b)



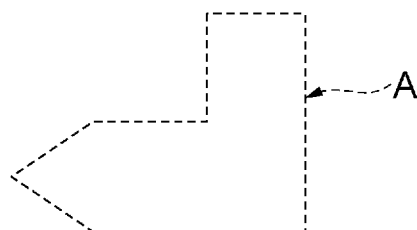
(c)



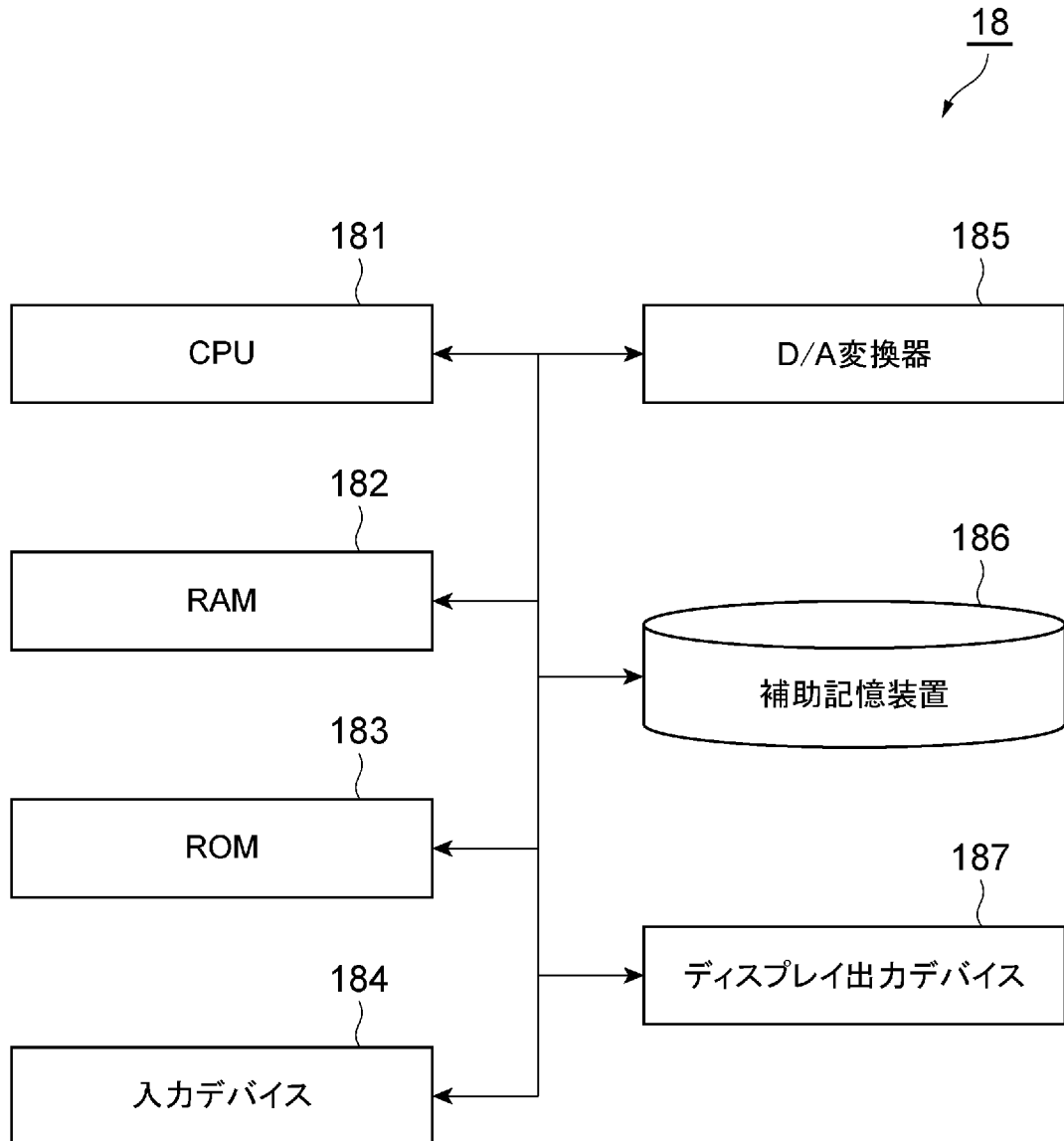
(d)



(e)

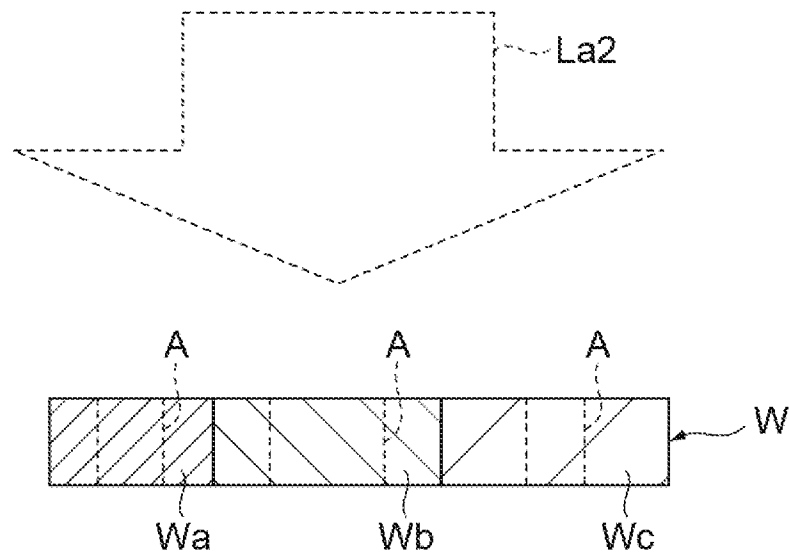


[図4]

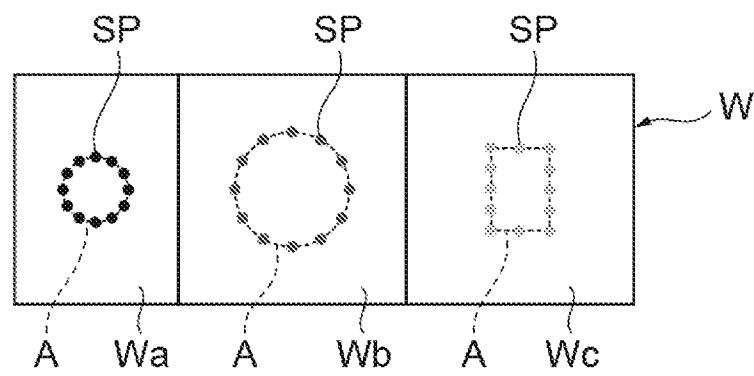


[図5]

(a)

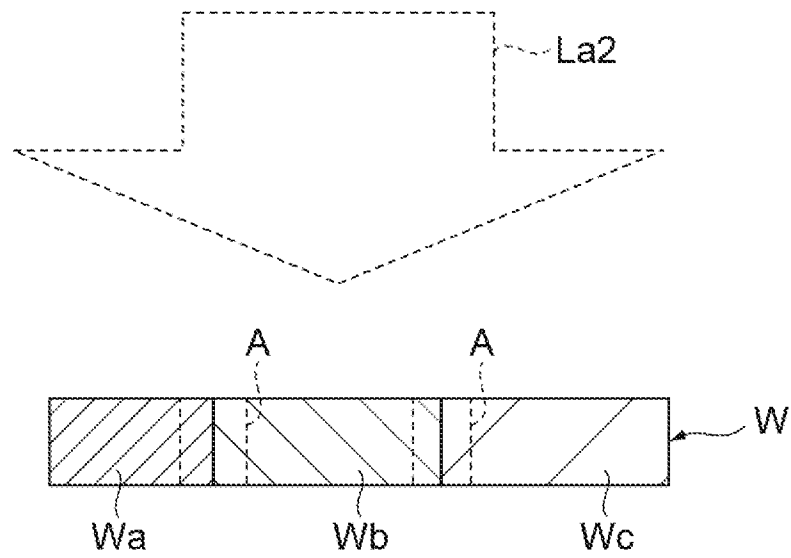


(b)

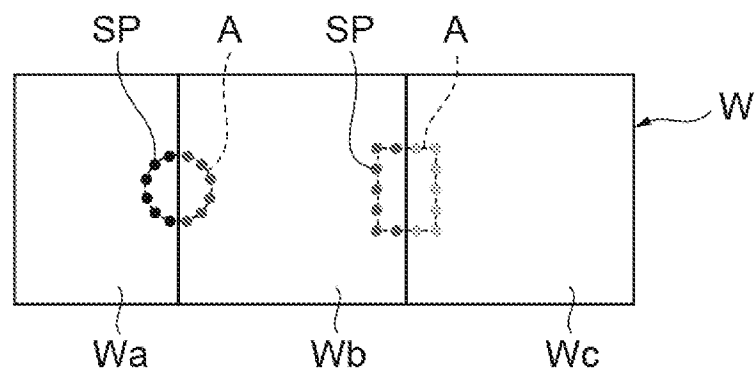


[図6]

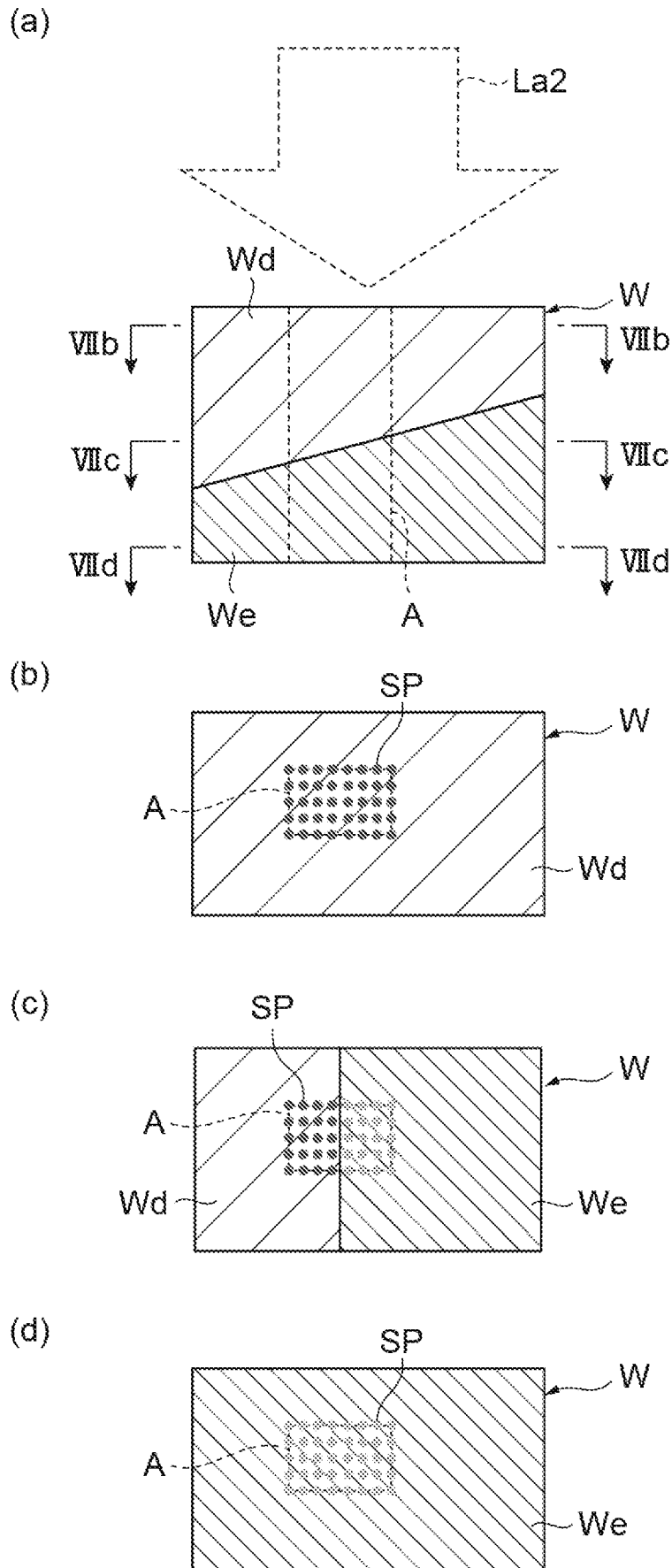
(a)



(b)

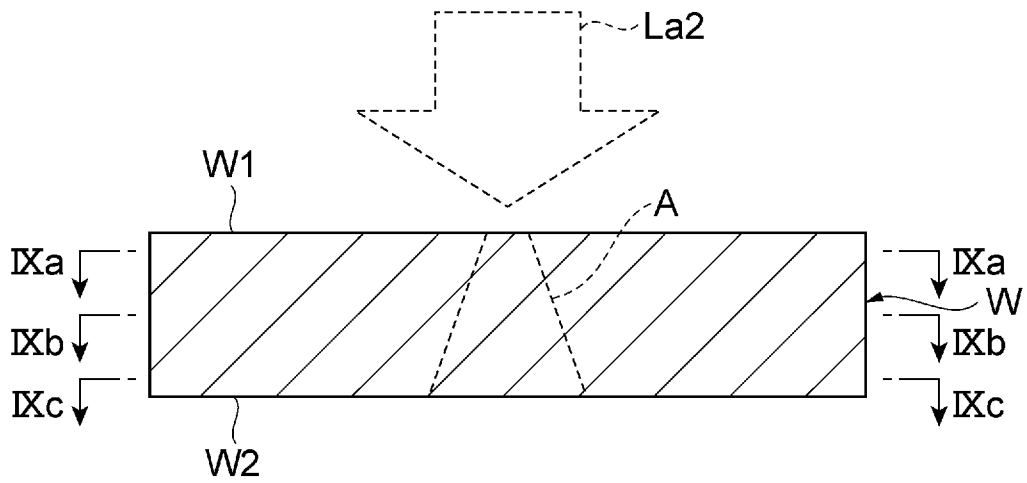


[図7]

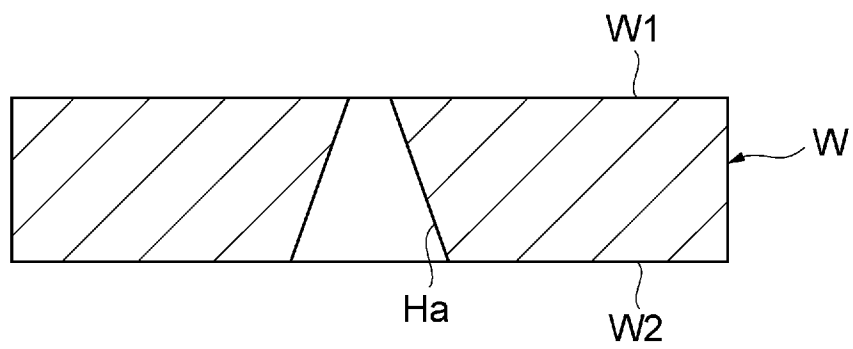


[図8]

(a)

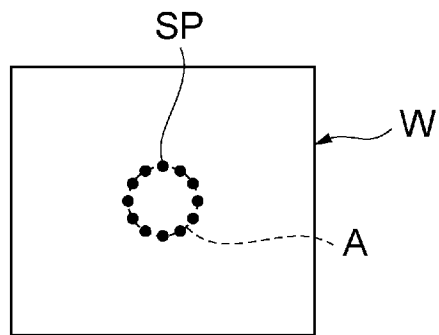


(b)

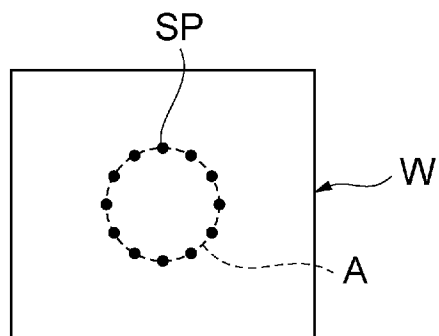


[図9]

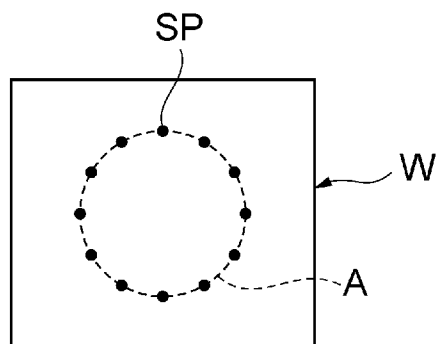
(a)



(b)



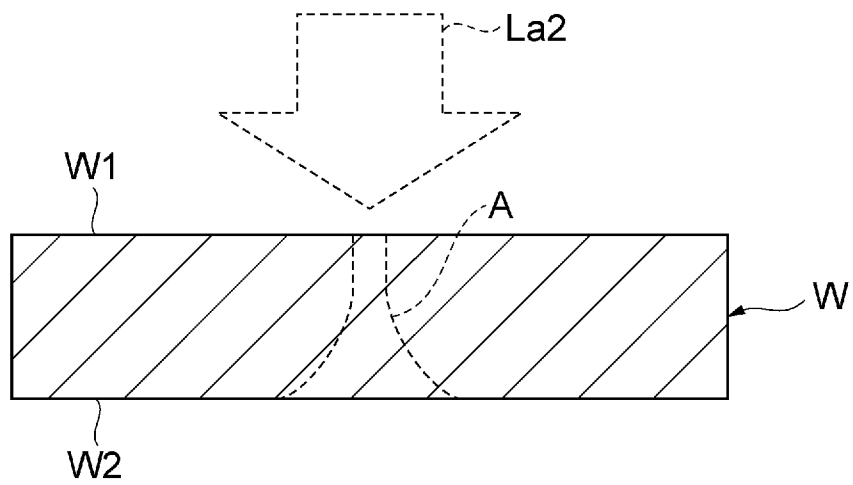
(c)



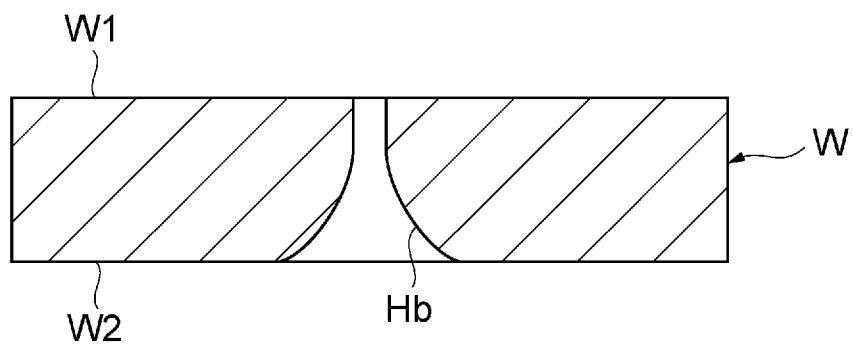


[図11]

(a)

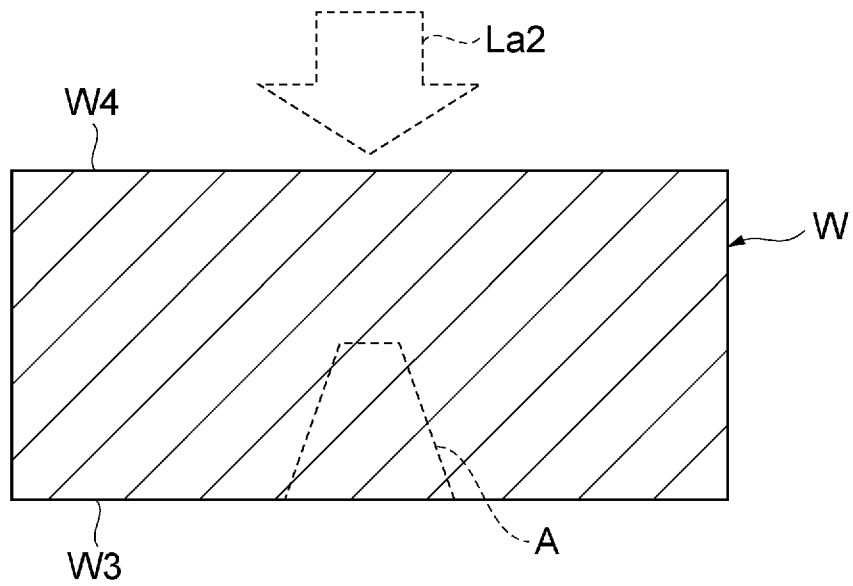


(b)

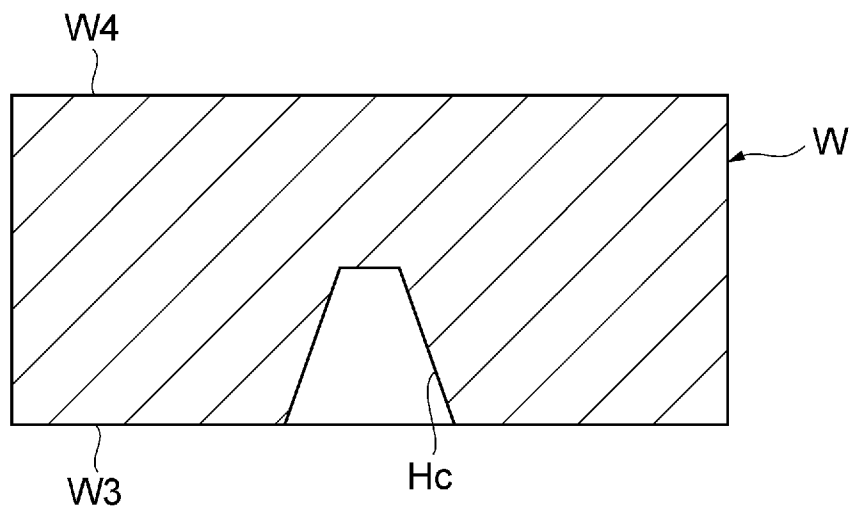


[図12]

(a)

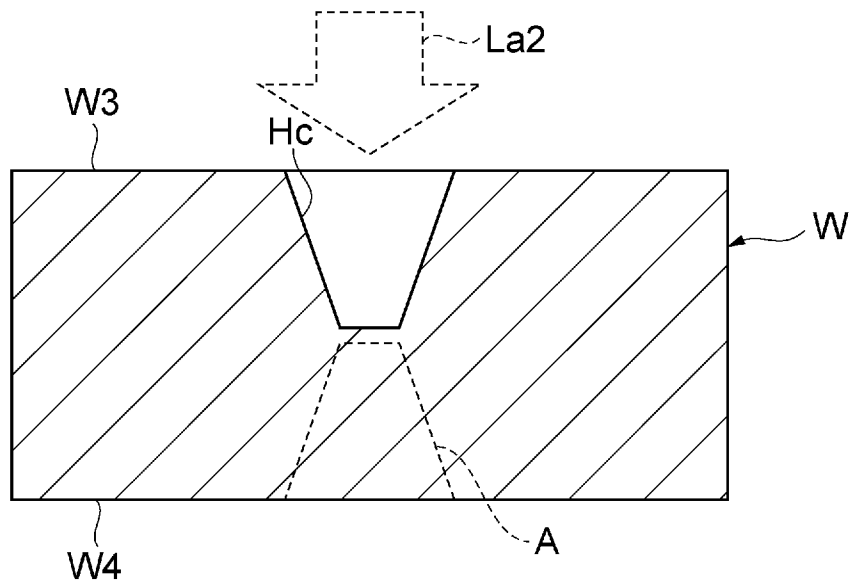


(b)

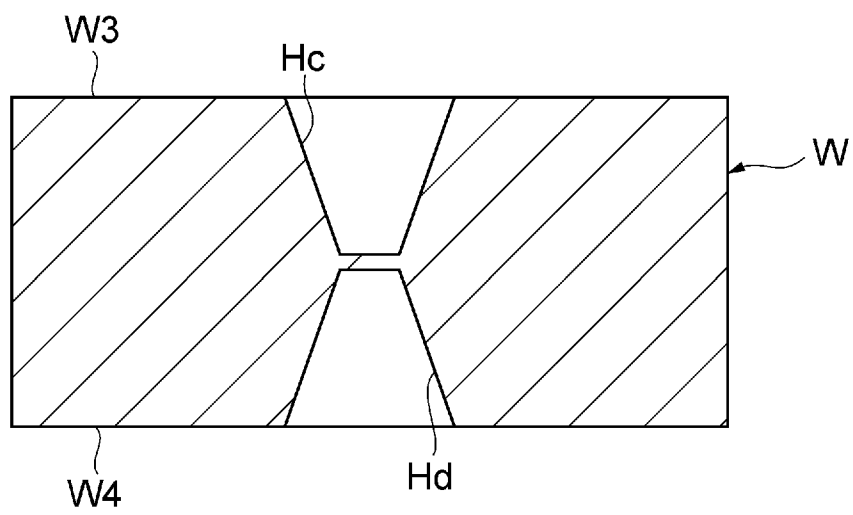


[図13]

(a)

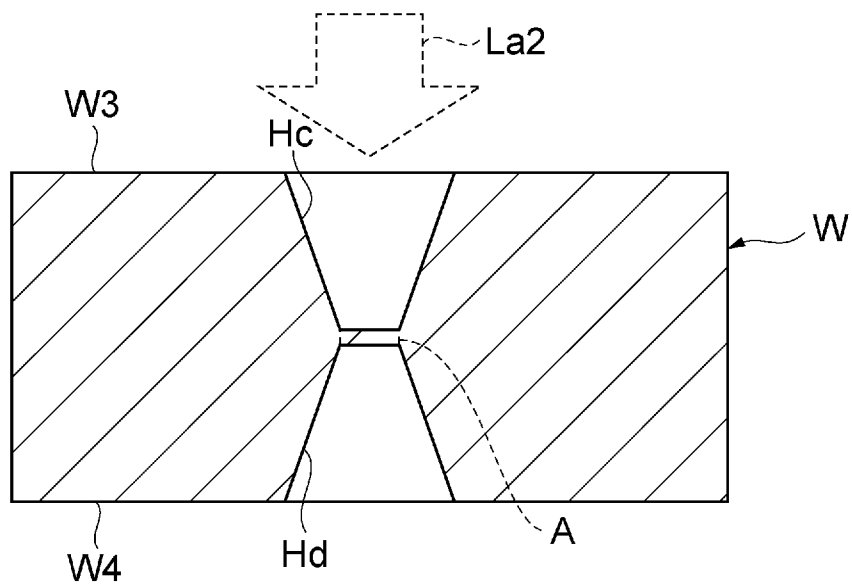


(b)

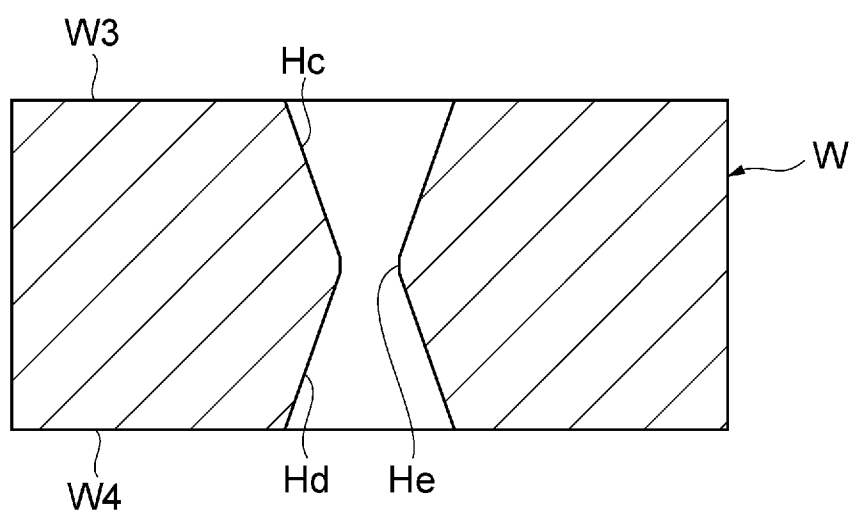


[図14]

(a)

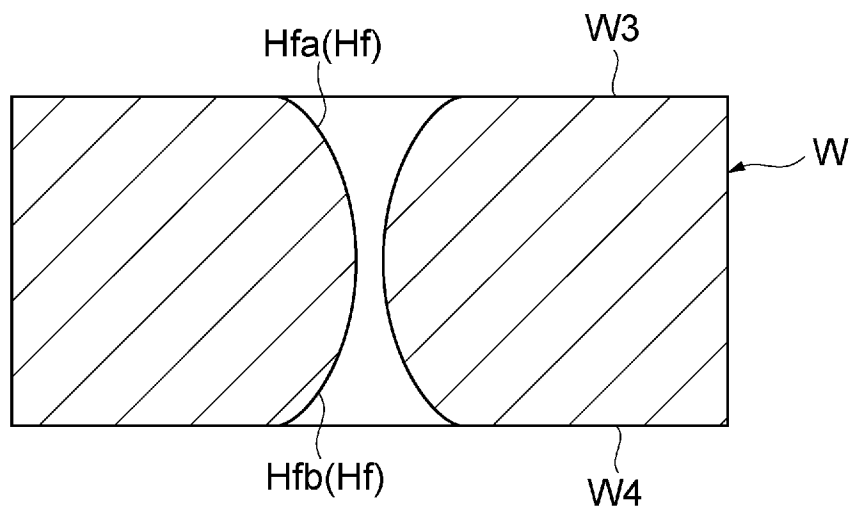


(b)

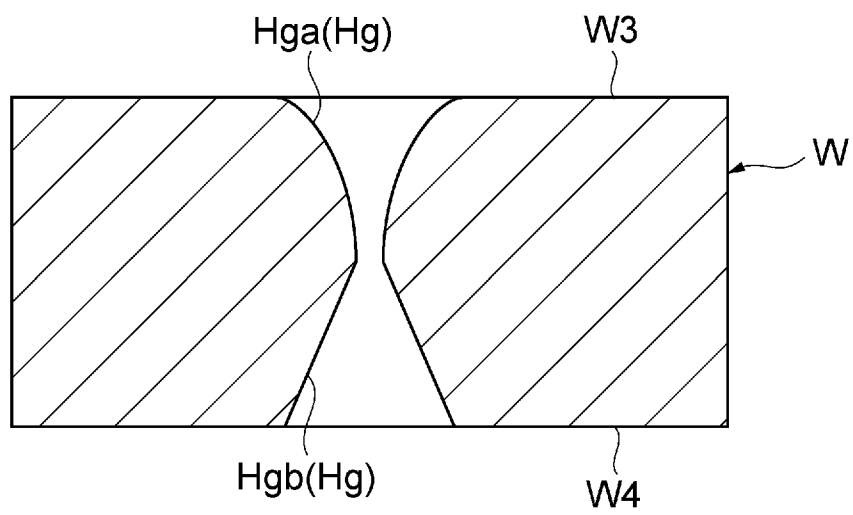


[図15]

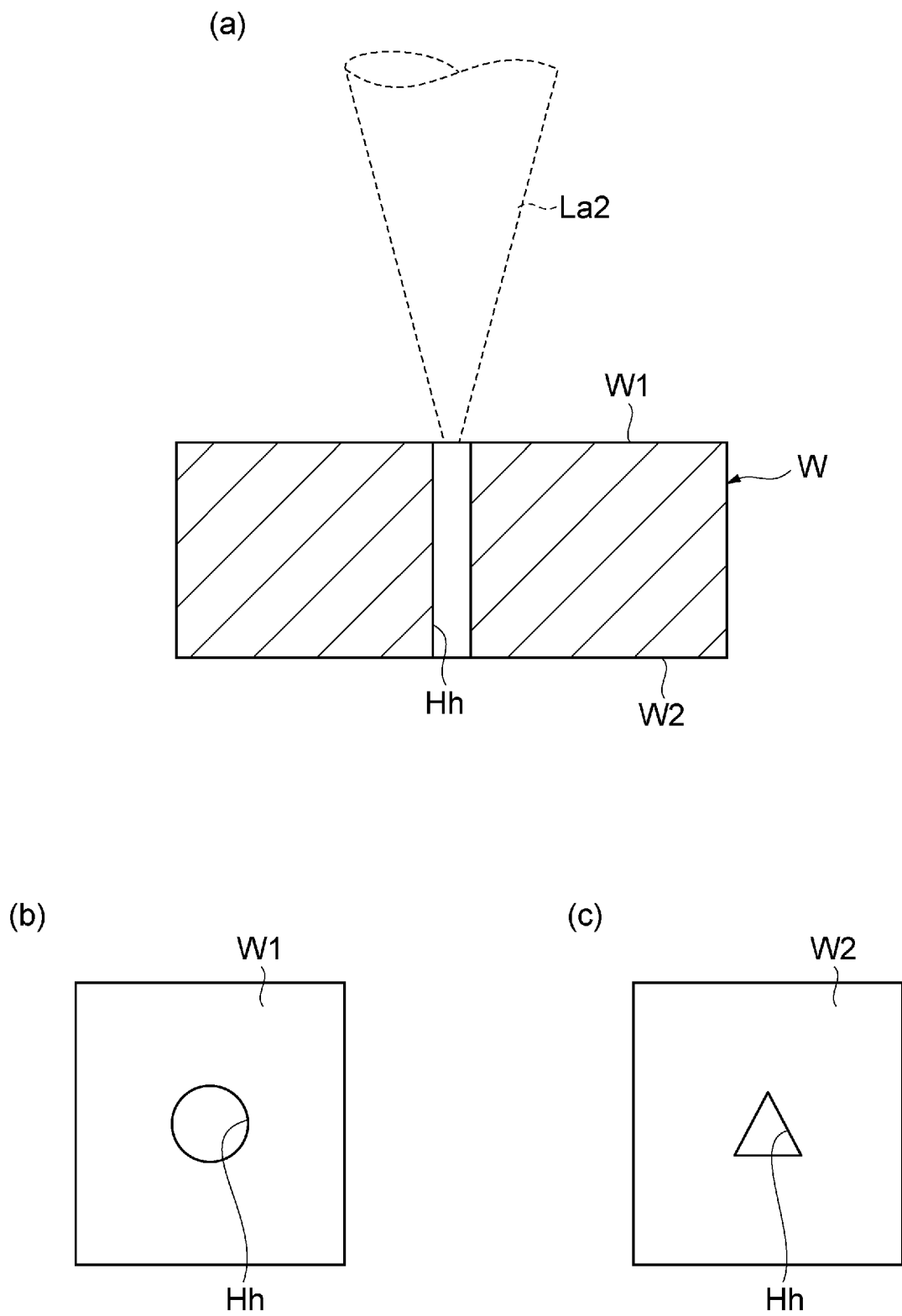
(a)



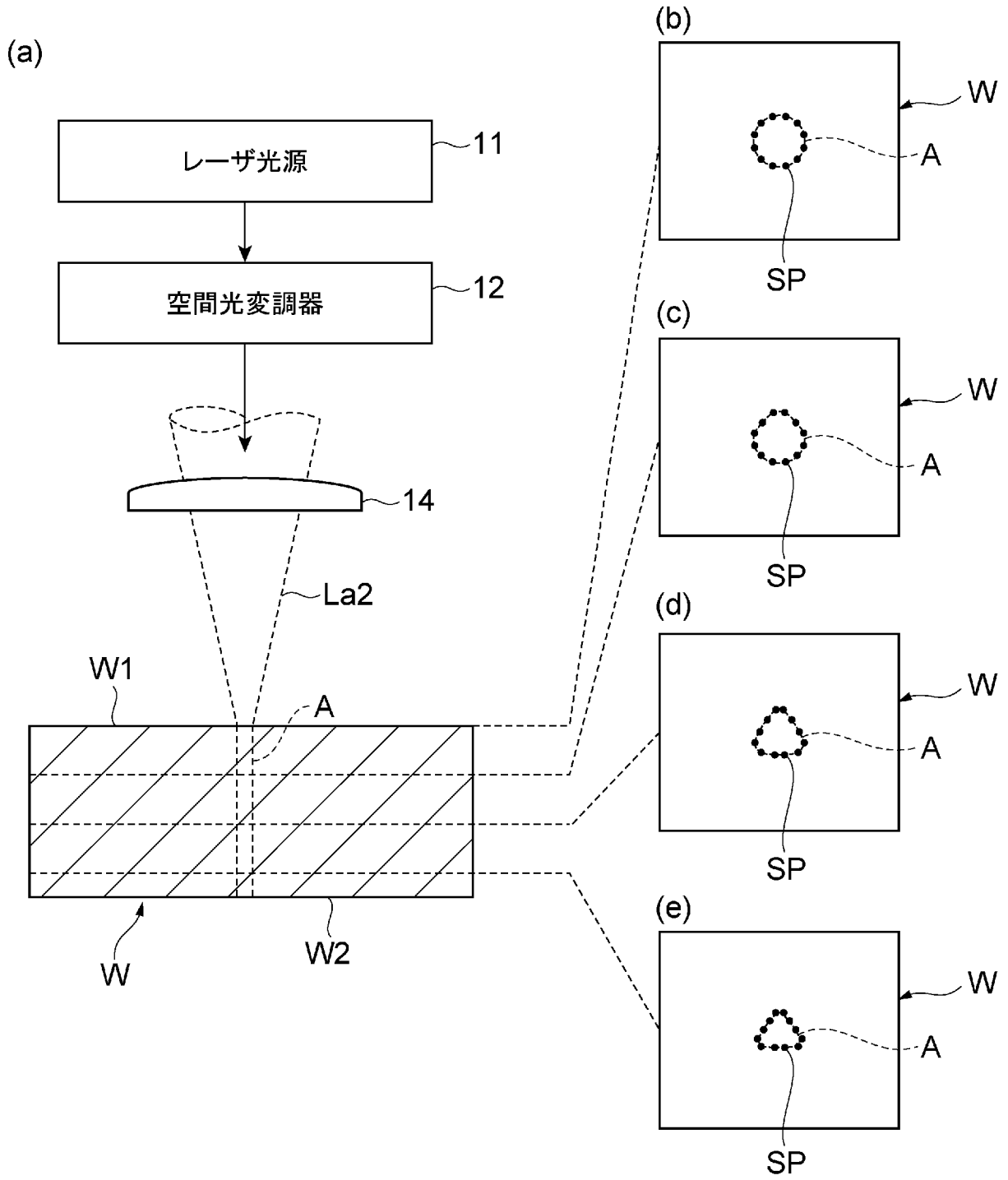
(b)



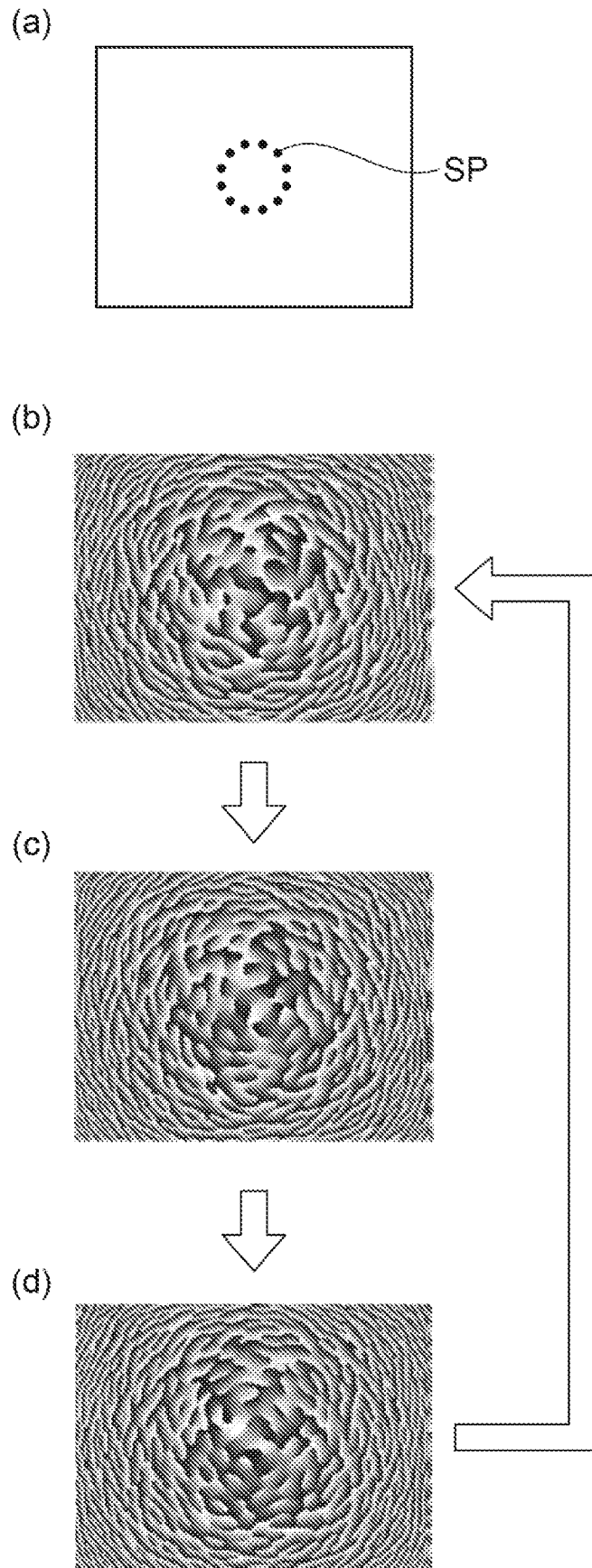
[図16]



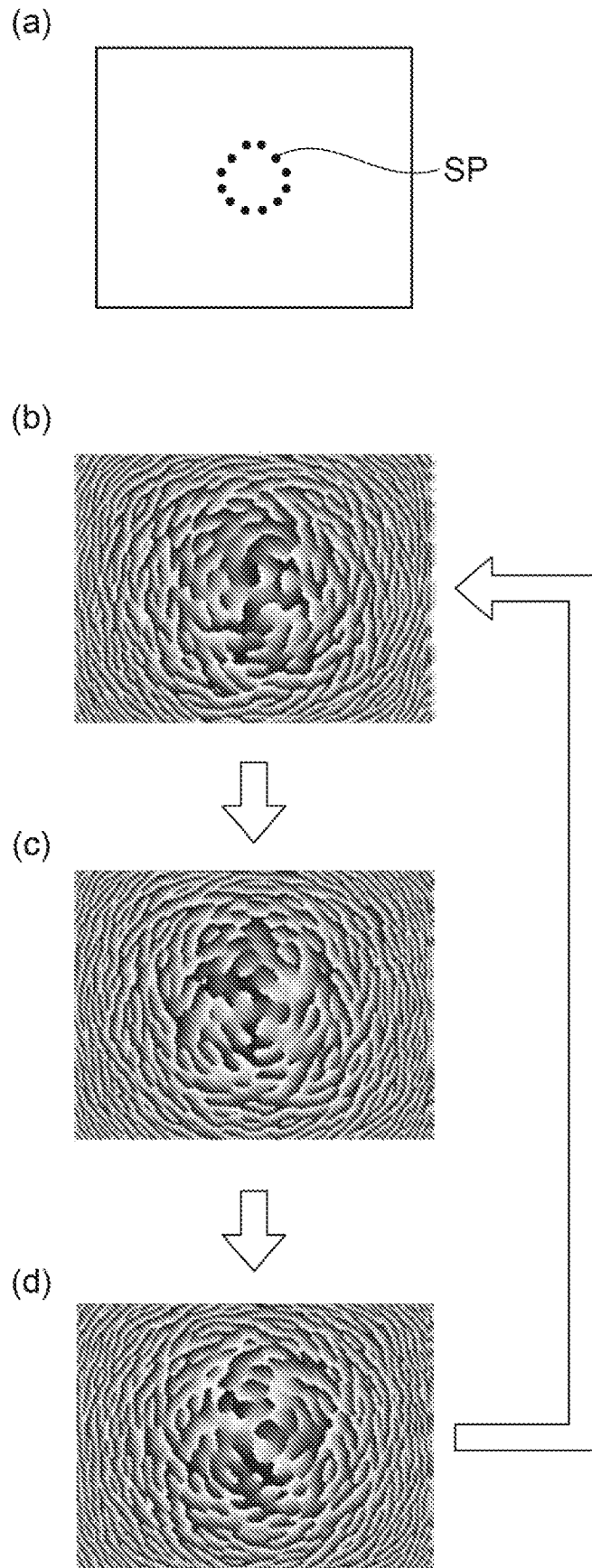
[図17]



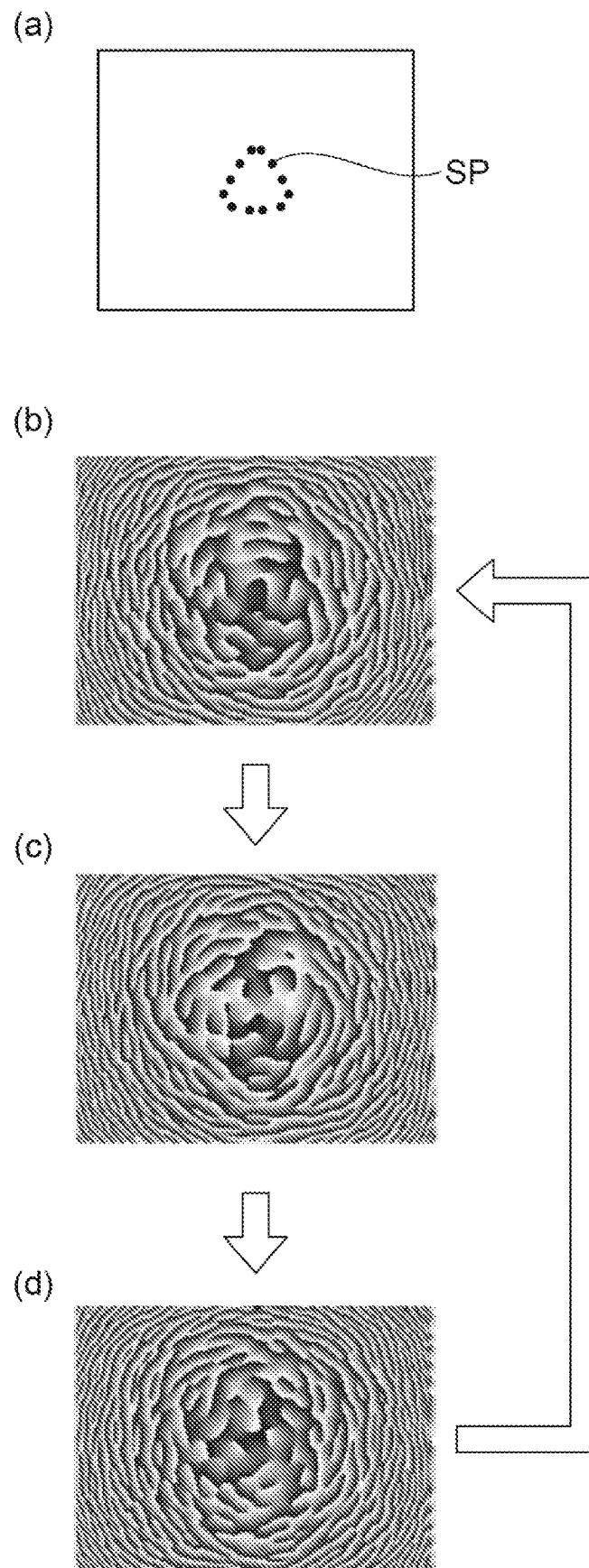
[図18]



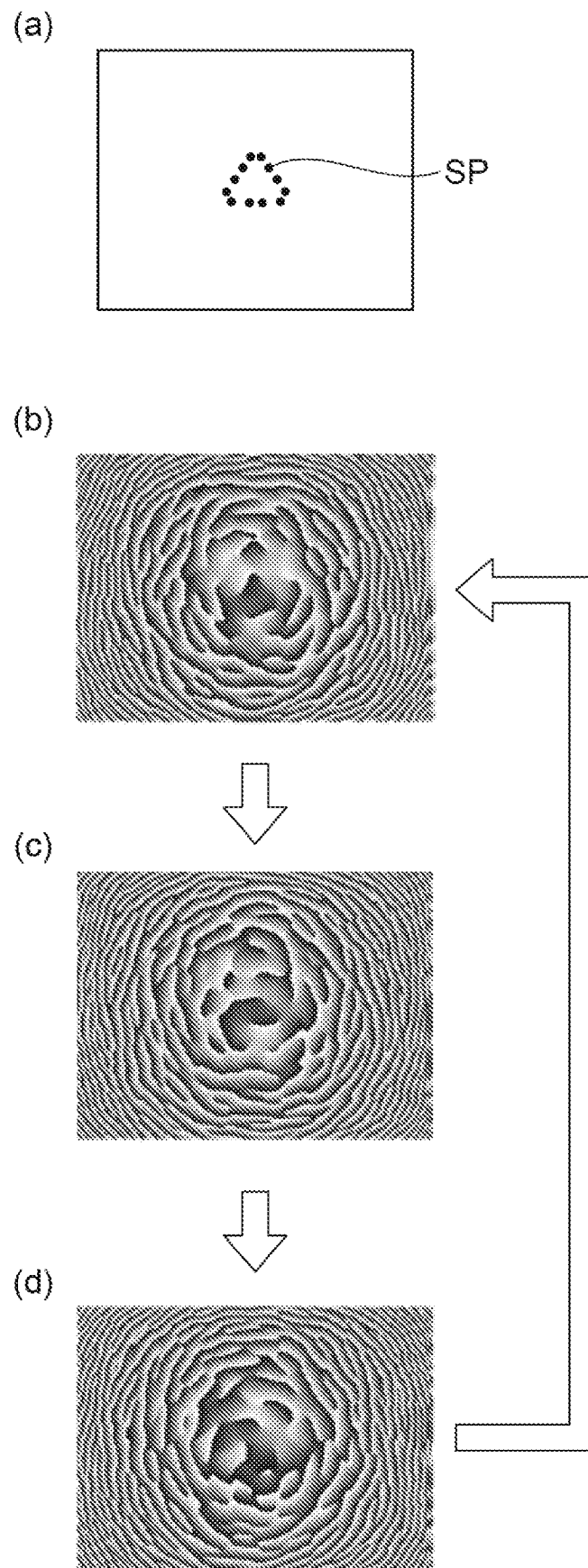
[図19]



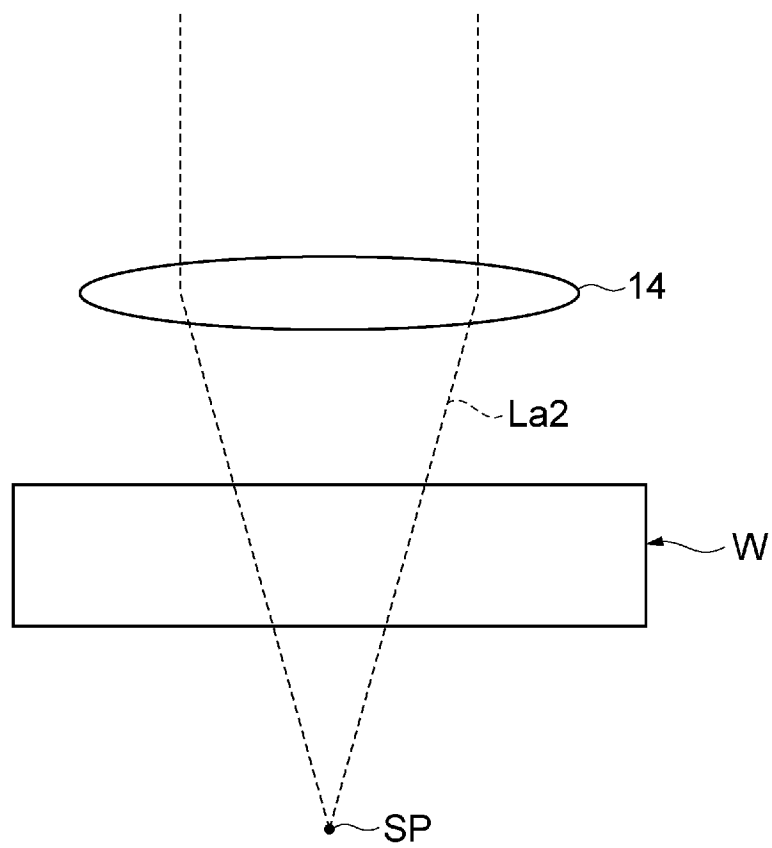
[図20]



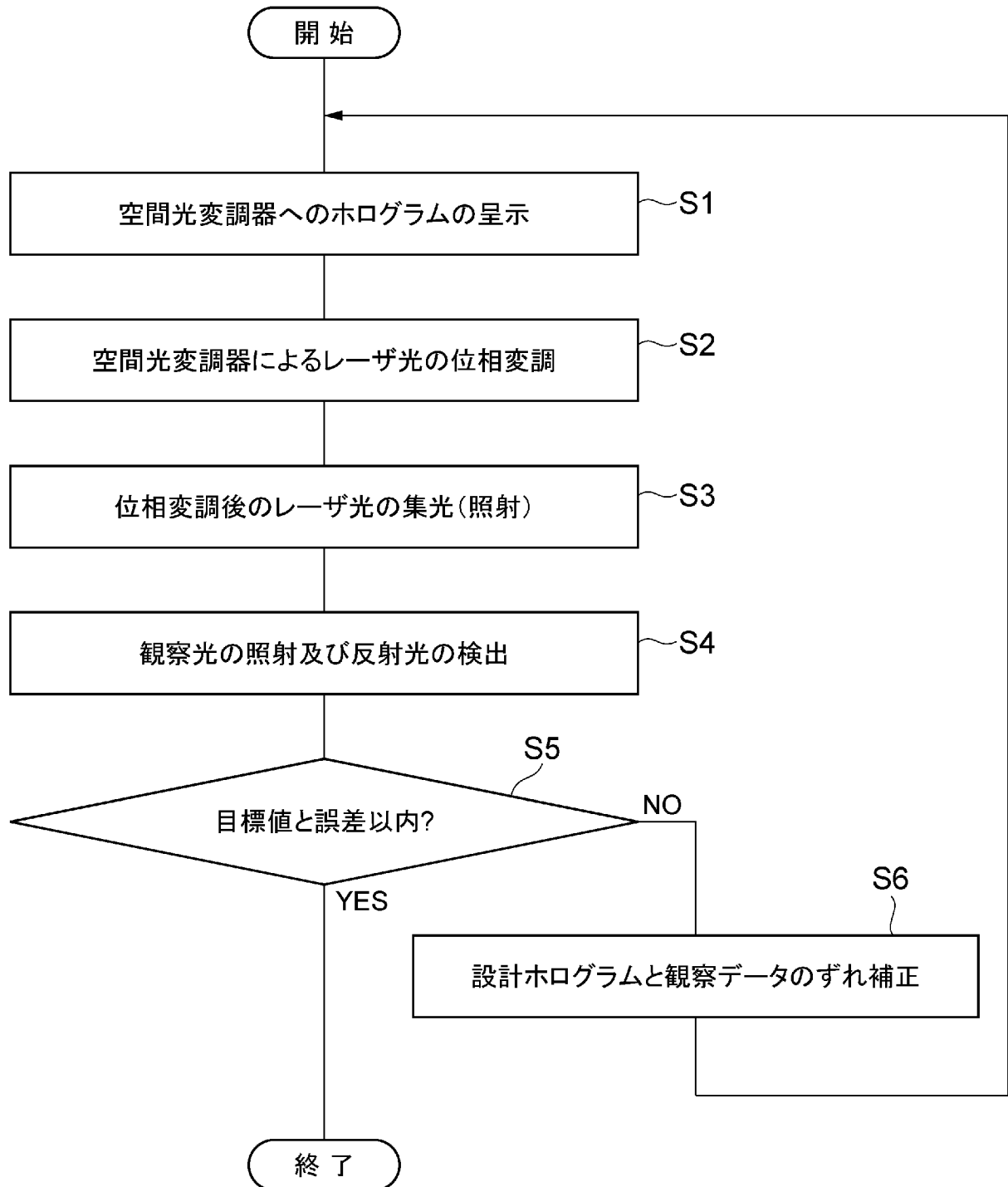
[図21]



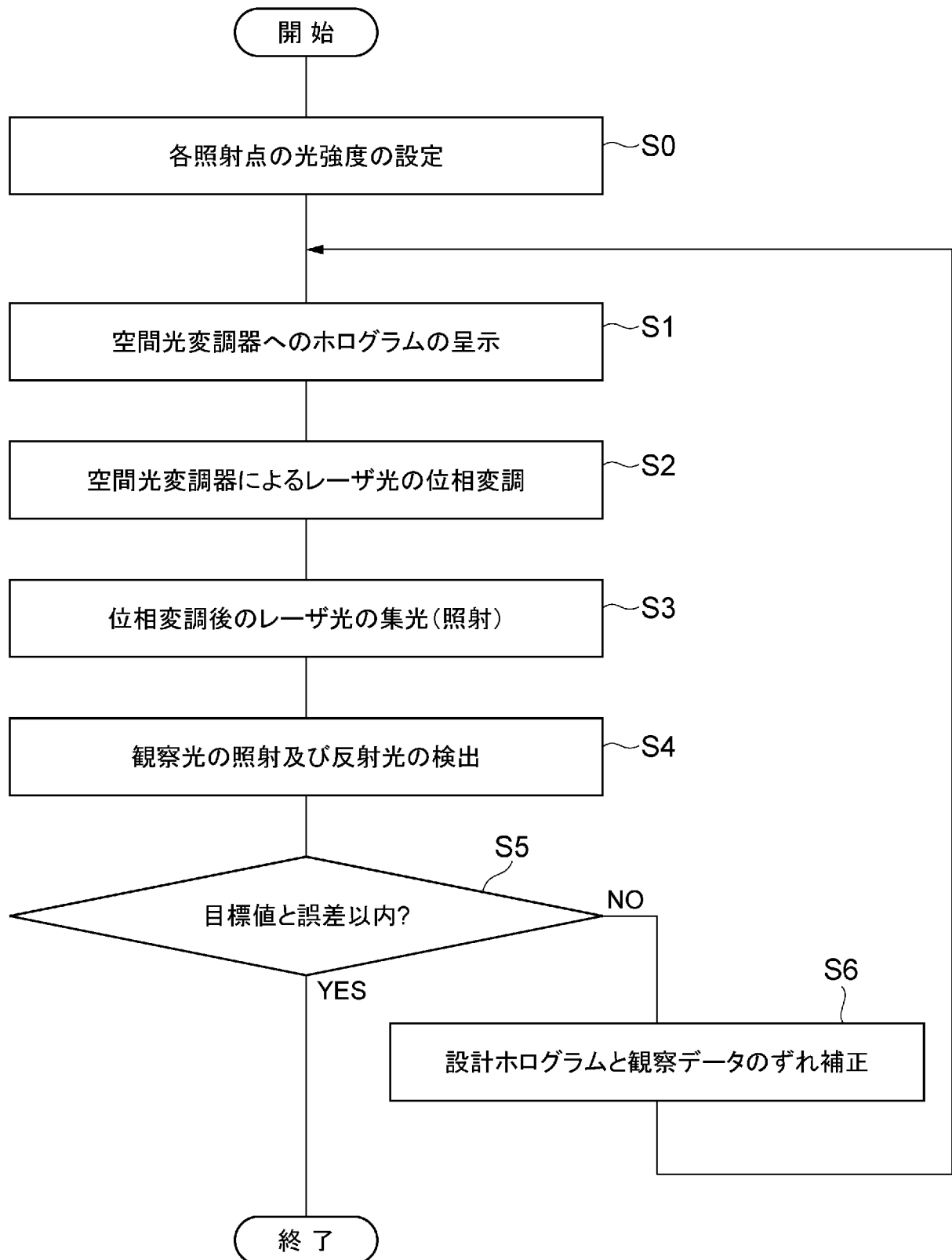
[図22]



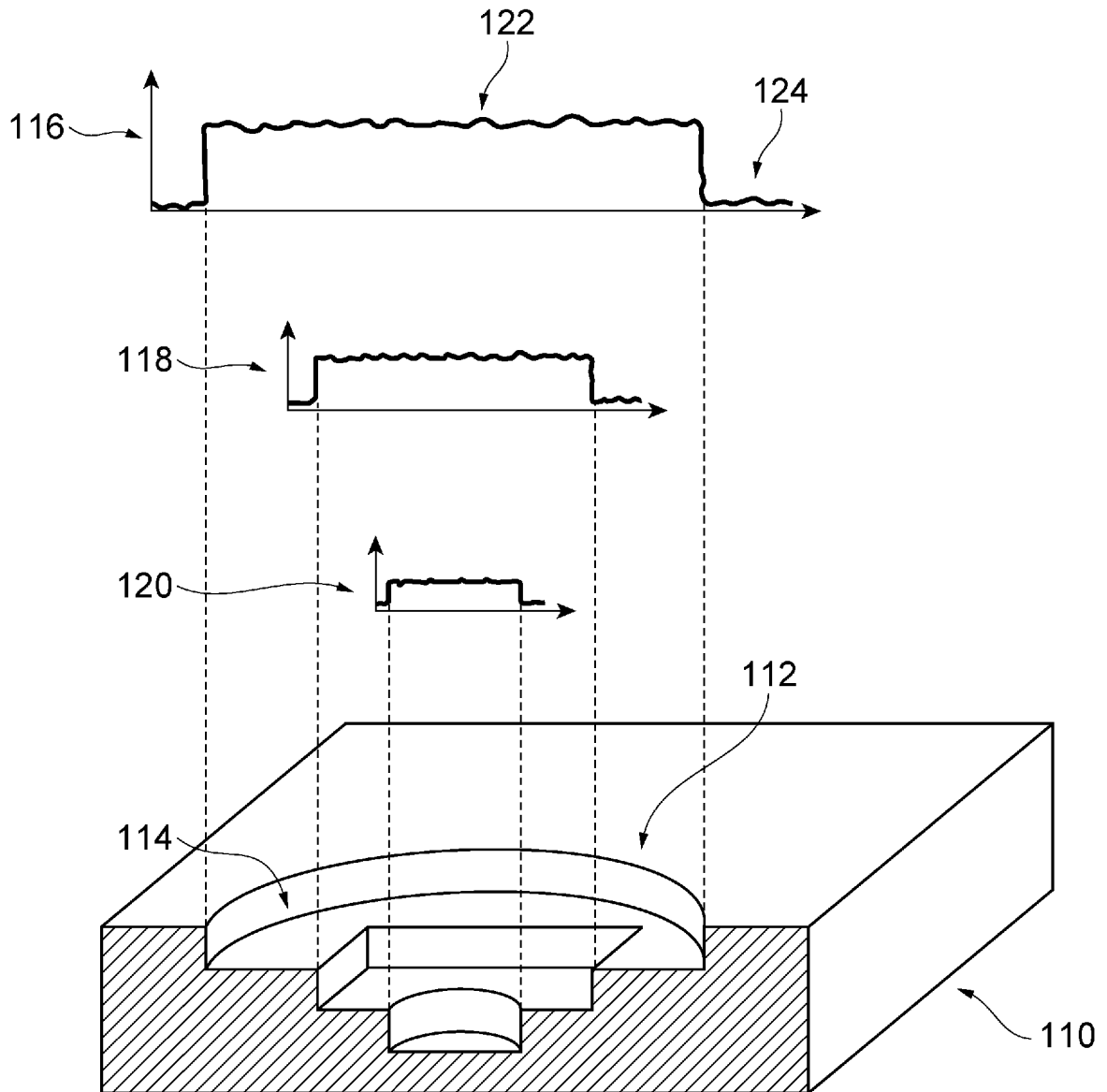
[図23]



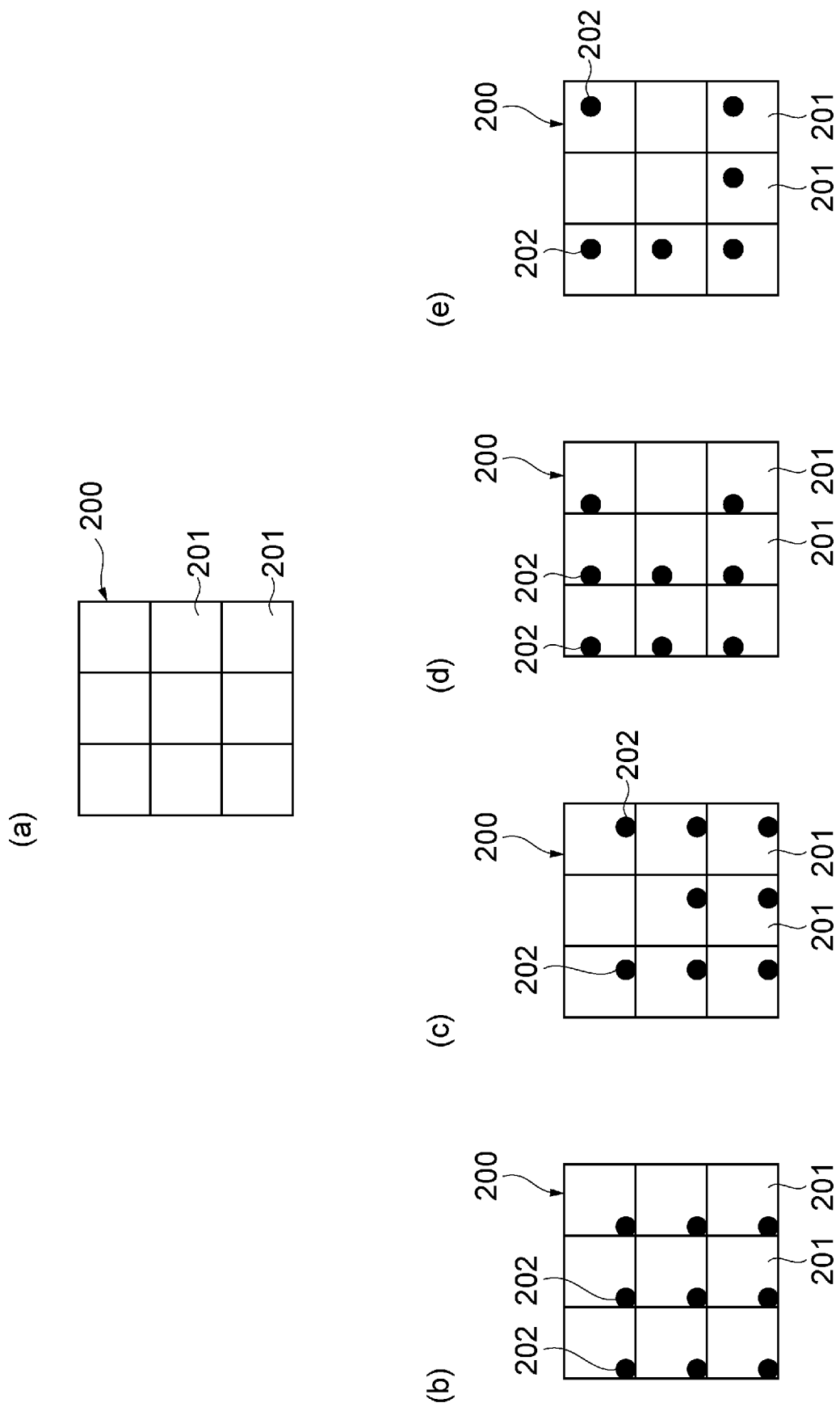
[図24]



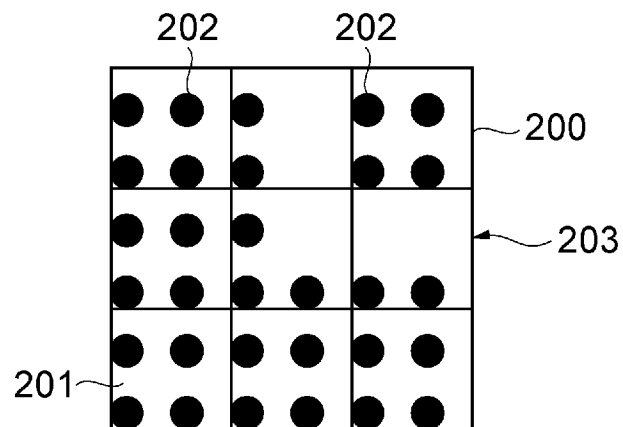
[図25]



[図26]



[図27]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2021/005956

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

Int. Cl. B23K26/067(2006.01) i, B23K26/00(2014.01) i, B23K26/53(2014.01) i, G02F1/01(2006.01) i

FI: B23K26/067, B23K26/53, B23K26/00 P, G02F1/01 D, G02F1/01 B

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

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl. B23K26/067, B23K26/00, B23K26/53, G02F1/01

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 1971-2021

Registered utility model specifications of Japan 1996-2021

Published registered utility model applications of Japan 1994-2021

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 2020-6393 A (HAMAMATSU PHOTONICS KABUSHIKI KAISHA) 16 January 2020, entire text, all drawings	1-16
A	JP 2009-56507 A (OLYMPUS CORP.) 19 March 2009, entire text, all drawings	1-16
A	JP 2006-119427 A (RICOH CO., LTD.) 11 May 2006, entire text, all drawings	1-16
A	JP 5355576 B2 (HAMAMATSU PHOTONICS KABUSHIKI KAISHA) 27 November 2013, entire text, all drawings	1-16
A	JP 2017-64746 A (TOKYO SEIMITSU CO., LTD.) 06 April 2017, entire text, all drawings	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  
22.03.2021

Date of mailing of the international search report  
06.04.2021

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**  
Information on patent family members

International application No.  
PCT/JP2021/005956

Patent Documents referred to in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2020-6393 A	16.01.2020	(Family: none)	
JP 2009-56507 A	19.03.2009	CN 101380694 A KR 10-2009-0024076 A	
JP 2006-119427 A	11.05.2006	(Family: none)	
JP 5355576 B2	27.11.2013	US 2011/0181929 A1 entire text, all drawings	
JP 2017-64746 A	06.04.2017	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） B23K 26/067(2006.01)i; B23K 26/00(2014.01)i; B23K 26/53(2014.01)i; G02F 1/01(2006.01)i FI: B23K26/067; B23K26/53; B23K26/00 P; G02F1/01 D; G02F1/01 B		
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）） B23K26/067; B23K26/00; B23K26/53; G02F1/01 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 - 2021年 日本国実用新案登録公報 1996 - 2021年 日本国登録実用新案公報 1994 - 2021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 2020-6393 A（浜松ホトニクス株式会社）16.01.2020（2020 - 01 - 16） 全文,全図	1-16
A	JP 2009-56507 A（オリンパス株式会社）19.03.2009（2009 - 03 - 19） 全文,全図	1-16
A	JP 2006-119427 A（株式会社リコー）11.05.2006（2006 - 05 - 11） 全文,全図	1-16
A	JP 5355576 B2（浜松ホトニクス株式会社）27.11.2013（2013 - 11 - 27） 全文,全図	1-16
A	JP 2017-64746 A（株式会社東京精密）06.04.2017（2017 - 04 - 06） 全文,全図	1-16
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> 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、一般的な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抵触するものではなく、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 22.03.2021	国際調査報告の発送日 06.04.2021	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 岩見 勤 3P 6101 電話番号 03-3581-1101 内線 3363	

国際調査報告  
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/005956

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2020-6393 A	16.01.2020	(ファミリーなし)	
JP 2009-56507 A	19.03.2009	CN 101380694 A KR 10-2009-0024076 A	
JP 2006-119427 A	11.05.2006	(ファミリーなし)	
JP 5355576 B2	27.11.2013	US 2011/0181929 A1 全文,全図	
JP 2017-64746 A	06.04.2017	(ファミリーなし)	