

(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
2011年2月10日(10.02.2011)

(10) 国際公開番号
WO 2011/016296 A1

- (51) 国際特許分類:
B23K 26/06 (2006.01) B23K 26/40 (2006.01)
B23K 26/00 (2006.01) H01L 21/301 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/060666
- (22) 国際出願日: 2010年6月23日(23.06.2010)
- (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 2009-181003 2009年8月3日(03.08.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 浜松ホトニクス株式会社(HAMAMATSU PHOTONICS K.K.) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 Shizuoka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 渥美 一弘 (ATSUMI Kazuhiro) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 星川 雅春 (HOSHIKAWA Masaharu) [JP/JP]; 〒4358558 静岡

県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 岩城 浩之(IWAKI Hiroyuki) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 中野 誠 (NAKANO Makoto) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP).

(74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA, Yoshiaki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目1番1号 丸の内 MY PLAZA (明治安田生命ビル) 9階 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).

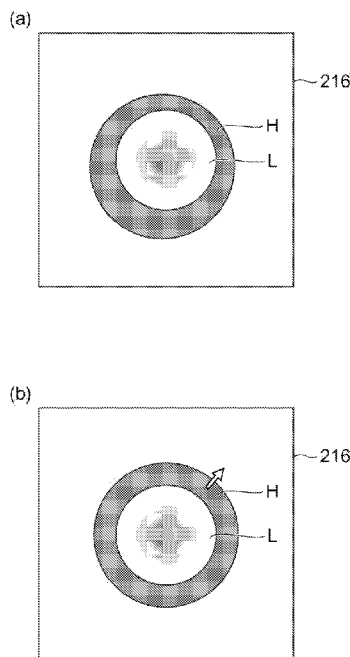
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK,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

[続葉有]

(54) Title: LASER MACHINING METHOD

(54) 発明の名称: レーザ加工方法

[図12]



(57) Abstract: Provided is a laser machining method by which a precisely modified region can be stably formed in an object to be machined. The laser beam (L) is modulated by a spatial light modulator and is converged onto the object to be machined. Upon convergence, the position of the laser beam (L) is detected and the position of a modulation pattern (H) in the spatial light modulator is changed on the basis of the detected position of the laser beam (L). Therefore, even if the position of the laser beam (L) incident upon the spatial light modulator is deviated, or the like, it is possible to change the position of the modulation pattern (H) in accordance with the deviation, so that the laser beam (L) can be always appropriately modulated by the spatial light modulator. Thus, it is possible to stably suppress aberrations of the laser beam (L) converged onto the object to be machined.

(57) 要約: 【課題】加工対象物に精度よい改質領域を安定して形成することができるレーザ加工方法を提供する。本実施形態では、レーザ光Lを空間光変調器で変調し、このレーザ光Lを加工対象物に集光させる。このとき、レーザ光Lの位置を検出すると共に、検出したレーザ光Lの位置に基づいて空間光変調器における変調パターンHの位置を変化させる。そのため、例えば空間光変調器に入射するレーザ光Lの位置がズレた場合等においても、かかるズレに応じて変調パターンHの位置を変化させることができ、空間光変調器でレーザ光Lを常に好適に変調させることが可能となる。よって、加工対象物に集光されるレーザ光Lの収差を安定して抑制することが可能となる。



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, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, 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

技術分野

[0001] 本発明は、加工対象物に改質領域を形成するためのレーザ加工方法に関する。

背景技術

[0002] 従来のレーザ加工方法としては、加工対象物の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射することにより、加工対象物に改質領域を形成するものが知られている（例えば、特許文献 1， 2 参照）。このようなレーザ加工方法では、レーザ光源で出射されたレーザ光を反射型空間光変調器で変調することが図られている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：国際公開第 2 0 0 5 / 1 0 6 5 6 4 号パンフレット

特許文献2：特開 2 0 0 6 - 6 8 7 6 2 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、上述したような従来技術では、例えばレーザ加工装置間の機差（いわゆる装置間機差）に起因する光学系のズレ等によって、加工対象物に精度よい改質領域を安定して形成することが困難となるおそれがある。

[0005] そこで、本発明は、加工対象物に精度よい改質領域を安定して形成することができるレーザ加工方法を提供することを課題とする。

課題を解決するための手段

[0006] 上記課題を解決するために、本発明に係るレーザ加工方法は、加工対象物の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射することにより、加工対象物に改質領域を形成するレーザ加工方法であって、レーザ光を空間光変調器で変調する変調工程と、変調したレーザ光を加工対象物に集光させる集光工程と、

レーザ光の位置を検出する検出工程と、を含み、変調工程においては、空間光変調器の表示部に表示した変調パターンにレーザ光を入射させ、該レーザ光に変調パターンに応じた変調を与えると共に、検出工程で検出したレーザ光の位置に基づいて、変調パターンの位置を変化させることを特徴とする。

[0007] このレーザ加工方法では、空間光変調器における変調パターンの位置がレーザ光の位置に基づいて変化される。そのため、例えば空間光変調器に入射するレーザ光の位置がズレた場合等においても、かかるズレに応じて変調パターンの位置を変化させることが可能となる。よって、空間光変調器でレーザ光を常に好適に変調でき、加工対象物に集光されるレーザ光の収差を安定して抑制できる。すなわち、加工対象物に精度よい改質領域を安定して形成することが可能となる。

[0008] また、検出工程では、レーザ光が基準位置に対して変化した位置変化量を検出し、変調工程では、検出工程で検出したレーザ光の位置変化量に基づいて、レーザ光と変調パターンとが所定位置関係となるよう変調パターンの位置を変化させることが好ましい。この場合、加工対象物に精度よい改質領域を安定して形成するという上記効果を好適に発揮させることができる。

[0009] このとき、変調工程では、レーザ光の位置変化量に関連付けられた変調パターンの位置変化量に関するデータテーブルを用いて、変調パターンの位置を変化させる場合がある。また、変調工程では、レーザ光の位置変化量に基づいて変調パターンの位置変化量を算出し、算出した変調パターンの位置変化量に応じて変調パターンの位置を変化させる場合がある。

[0010] また、上記作用効果を好適に奏する構成として、具体的には、変調パターンは、表示部の複数の画素毎の屈折率を表しており、変調工程では、変調パターンを所定位置に移動させ、移動させた変調パターンに応じて複数の画素の屈折率を演算し、この演算した値に応じた屈折率となるよう画素の屈折率を制御する構成が挙げられる。

[0011] このとき、変調パターンを移動させる移動量は、表示部の1画素サイズ以下である場合がある。

発明の効果

[0012] 本発明によれば、加工対象物に精度よい改質領域を安定して形成することができる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]改質領域の形成に用いられるレーザ加工装置の概略構成図である。

[図2]改質領域の形成の対象となる加工対象物の平面図である。

[図3]図2の加工対象物のIII-III線に沿っての断面図である。

[図4]レーザ加工後の加工対象物の平面図である。

[図5]図4の加工対象物のV-V線に沿っての断面図である。

[図6]図4の加工対象物のVI-VI線に沿っての断面図である。

[図7]本発明の一実施形態に係るレーザ加工装置を示す概略構成図である。

[図8]反射型空間光変調器の部分断面図である。

[図9]レーザ加工方法の手順を示すフローチャートである。

[図10]PSDにより検出されたレーザ光の位置情報の一例を示す概念図である。

[図11]レーザ光の座標値と変調パターンの位置変化量とに関するデータテーブルを示す図である。

[図12]液晶層に表示された変調パターンと液晶層に入射したレーザ光との関係を示す概念図である。

[図13]加工対象物に改質領域を形成して切断した際の切断面状態を示す拡大写真図である。

[図14]図7のレーザ加工装置の他の例を示す概略構成図である。

[図15]1ピクセル以下の変調パターンの移動を説明するための図である。

発明を実施するための形態

[0014] 以下、本発明の好適な実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。なお、各図において同一又は相当要素には同一符号を付し、重複する説明を省略する。また、「上」「下」「左」「右」の語は、図面に示される状態に基づいており便宜的なものである。

- [0015] 本実施形態に係るレーザ加工装置では、加工対象物の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射することにより加工対象物に改質領域を形成する。そこで、まず、本実施形態のレーザ加工装置による改質領域の形成について、図1～図6を参照して説明する。
- [0016] 図1に示すように、レーザ加工装置100は、レーザ光Lをパルス発振するレーザ光源101と、レーザ光Lの光軸（光路）の向きを90°変えるように配置されたダイクロイックミラー103と、レーザ光Lを集光するための集光用レンズ105と、を備えている。また、レーザ加工装置100は、集光用レンズ105で集光されたレーザ光Lが照射される加工対象物1を支持するための支持台107と、支持台107をX、Y、Z軸方向に移動させるためのステージ111と、レーザ光Lの出力やパルス幅等を調節するためにレーザ光源101を制御するレーザ光源制御部102と、ステージ111の移動を制御するステージ制御部115と、を備えている。
- [0017] このレーザ加工装置100では、レーザ光源101から出射されたレーザ光Lは、ダイクロイックミラー103によってその光軸の向きを90°変えられ、支持台107上に載置された加工対象物1の内部に集光用レンズ105によって集光される。これと共に、ステージ111が移動させられ、加工対象物1がレーザ光Lに対して切断予定ライン5に沿って相対移動させられる。これにより、切断予定ライン5に沿った改質領域が加工対象物1に形成されることとなる。
- [0018] 加工対象物1は、半導体材料や圧電材料等が用いられ、図2に示すように、加工対象物1には、加工対象物1を切断するための切断予定ライン5が設定されている。切断予定ライン5は、直線状に延びた仮想線である。加工対象物1の内部に改質領域を形成する場合、図3に示すように、加工対象物1の内部に集光点Pを合わせた状態で、レーザ光Lを切断予定ライン5に沿って（すなわち、図2の矢印A方向に）相対的に移動させる。これにより、図4～図6に示すように、改質領域7が切断予定ライン5に沿って加工対象物1の内部に形成され、切断予定ライン5に沿って形成された改質領域7が切

断起点領域 8 となる。

[0019] なお、集光点 P とは、レーザ光 L が集光する箇所のことである。また、切断予定ライン 5 は、直線状に限らず曲線状であってもよいし、仮想線に限らず加工対象物 1 の表面 3 に実際に引かれた線であってもよい。また、改質領域 7 は、連続的に形成される場合もあるし、断続的に形成される場合もある。また、改質領域 7 は列状でも点状でもよく、要は、改質領域 7 は少なくとも加工対象物 1 の内部に形成されていればよい。また、改質領域 7 を起点に亀裂が形成される場合があり、亀裂及び改質領域 7 は、加工対象物 1 の外表面（表面、裏面、若しくは外周面）に露出していてもよい。

[0020] ちなみに、ここでは、レーザ光 L が、加工対象物 1 を透過すると共に加工対象物 1 の内部の集光点近傍にて特に吸収され、これにより、加工対象物 1 に改質領域 7 が形成される（すなわち、内部吸収型レーザ加工）。よって、加工対象物 1 の表面 3 ではレーザ光 L が殆ど吸収されないので、加工対象物 1 の表面 3 が溶融することはない。一般的に、表面 3 から溶融され除去されて穴や溝等の除去部が形成される（表面吸収型レーザ加工）場合、加工領域は表面 3 側から徐々に裏面側に進行する。

[0021] ところで、本実施形態に係るレーザ加工装置で形成される改質領域は、密度、屈折率、機械的強度やその他の物理的特性が周囲とは異なる状態になった領域をいう。改質領域としては、例えば、溶融処理領域、クラック領域、絶縁破壊領域、屈折率変化領域等があり、これらが混在した領域もある。さらに、改質領域としては、加工対象物の材料において改質領域の密度が非改質領域の密度と比較して変化した領域や、格子欠陥が形成された領域がある（これらをまとめて高密転移領域ともいう）。

[0022] また、溶融処理領域や屈折率変化領域、改質領域の密度が非改質領域の密度と比較して変化した領域、格子欠陥が形成された領域は、さらにそれら領域の内部や改質領域と非改質領域との界面に亀裂（割れ、マイクロクラック）を内包している場合がある。内包される亀裂は、改質領域の全面に渡する場合や一部分のみや複数部分に形成される場合がある。加工対象物 1 としては

、例えばシリコン、ガラス、 LiTaO_3 又はサファイア (Al_2O_3) を含む、又はこれらからなるものが挙げられる。

[0023] 次に、本発明の一実施形態について詳細に説明する。

[0024] 図7は、本発明の一実施形態に係るレーザ加工方法を実施するレーザ加工装置を示す概略構成図である。図7に示すように、レーザ加工装置200は、レーザ光源202、反射型空間光変調器203、4f光学系241及び集光光学系204を筐体231内に備えている。

[0025] レーザ光源202は、レーザ光Lを出射するものである。レーザ光源202としては、例えばファイバレーザが用いられている。ここでのレーザ光源202は、水平方向(X方向)にレーザ光を出射するように、筐体231の天板236にねじ等で固定されている。

[0026] 反射型空間光変調器203は、レーザ光源202から出射されたレーザ光Lを変調するものである。反射型空間光変調器203としては、例えば反射型液晶(LCOS: Liquid Crystal on Silicon)の空間光変調器(SLM: Spatial Light Modulator)が用いられている。この反射型空間光変調器203は、水平方向から入射するレーザ光Lを、水平方向に対し斜め上方に反射しつつ、加工対象物1の内部に集光されるレーザ光L(つまり、集光位置でのレーザ光L)の収差が所定収差以下(理想的には、略ゼロ)となるように変調する。

[0027] 図8は、図7のレーザ加工装置の反射型空間光変調器の部分断面図である。図8に示すように、反射型空間光変調器203は、シリコン基板213、駆動回路層914、複数の画素電極214、誘電体多層膜ミラー等の反射膜215、配向膜999a、液晶層(表示部)216、配向膜999b、透明導電膜217、及びガラス基板等の透明基板218を備え、これらがこの順に積層されている。

[0028] 透明基板218は、XY平面に沿った表面218aを有しており、該表面218aは反射型空間光変調器203の表面を構成する。透明基板218は、例えばガラス等の光透過性材料を主に含んでいる。透明基板218は、反

射型空間光変調器 203 の表面 218 a から入射した所定波長のレーザ光 L を、反射型空間光変調器 203 の内部へ透過する。透明導電膜 217 は、透明基板 218 の裏面 218 a 上に形成されており、レーザ光 L を透過する導電性材料（例えばITO）を主に含んで構成されている。

[0029] 複数の画素電極 214 は、複数の画素の配列に従って二次元状に配列されており、透明導電膜 217 に沿ってシリコン基板 213 上に配列されている。複数の画素電極 214 は、例えばアルミニウム等の金属材料で形成されている。また、電極 214 の表面 214 a は、平坦且つ滑らかに加工されている。複数の画素電極 214 は、駆動回路層 914 に設けられたアクティブ・マトリクス回路によって駆動される。

[0030] アクティブ・マトリクス回路は、複数の画素電極 214 とシリコン基板 213 との間に設けられ、反射型空間光変調器 203 から出力しようとする光像に応じて各画素電極 214 への印加電圧を制御する。このようなアクティブ・マトリクス回路は、例えば図示しない X 軸方向に並んだ各画素列の印加電圧を制御する第 1 のドライバ回路と、Y 軸方向に並んだ各画素列の印加電圧を制御する第 2 のドライバ回路とを有している。アクティブ・マトリクス回路は、制御部 250 によって双方のドライバ回路で指定された画素の画素電極 214 に所定電圧が印加されるよう構成されている。

[0031] なお、配向膜 999 a, 999 b は、液晶層 216 の両端面に配置されており、液晶分子群を一定方向に配列させる。配向膜 999 a, 999 b は、例えばポリイミドといった高分子材料により形成されている。配向膜 999 a, 999 b としては、液晶層 216 との接触面にラビング処理等が施されたものが適用される。

[0032] 液晶層 216 は、複数の画素電極 214 と透明導電膜 217 との間に配置されており、各画素電極 214 と透明導電膜 217 とにより形成される電界に応じてレーザ光 L を変調する。すなわち、アクティブ・マトリクス回路によって或る画素電極 214 に電圧が印加されると、透明導電膜 217 と該画素電極 214 との間に電界が形成される。

[0033] この電界は、反射膜 215 及び液晶層 216 のそれぞれに対し、各々の厚さに応じた割合で印加される。そして、液晶層 216 に印加された電界の大きさに応じて液晶分子 216a の配列方向が変化する。レーザ光 L が透明基板 218 及び透明導電膜 217 を透過して液晶層 216 に入射すると、このレーザ光 L は液晶層 216 を通過する間に液晶分子 216a によって変調され、反射膜 215 において反射した後、再び液晶層 216 により変調されてから取り出されることとなる。

[0034] このとき、制御部 250（後述）によって透明導電膜 217 と対向する各画素電極部 214a 毎に電圧が印加され、その電圧に応じて、液晶層 216 において透明導電膜 217 と対向する各画素電極部 214a に挟まれた部分の屈折率が変化される（各画素に対応した位置の液晶層 216 の屈折率が変化する）。かかる屈折率の変化により、印加した電圧に応じて、レーザ光 L の位相を液晶層 216 の画素毎に変化させることができる。つまり、ホログラムパターンに応じた位相変調を画素毎に液晶層 216 によって与えることができる（すなわち、変調を付与するホログラムパターンとしての変調パターンが空間光変調器 203 に表示される）。その結果、反射型空間光変調器 203 に入射し変調されて反射するレーザ光 L の波面が調整され、該レーザ光 L を構成する各光線において進行方向に直交する所定方向の成分の位相にずれが生じ、該レーザ光 L の強度、振幅、位相、偏光等の少なくとも 1 つが調整されることになる。

[0035] 図 7 に戻り、4f 光学系 241 は、反射型空間光変調器 203 によって変調されたレーザ光 L の波面形状を調整するものである。この 4f 光学系 241 は、第 1 レンズ 241a 及び第 2 レンズ 241b を有している。

[0036] レンズ 241a, 241b は、次の構成となるようにして反射型空間光変調器 203 と集光光学系 204 との間に配置されている。すなわち、レンズ 241a, 241b にあつては、反射型空間光変調器 203 と第 1 レンズ 241a との距離が第 1 レンズ 241a の焦点距離 f_1 となり、集光光学系 204 と第 2 レンズ 241b との距離がレンズ 241b の焦点距離 f_2 となり

、第1レンズ241aと第2レンズ241bとの距離が $f_1 + f_2$ となり、且つ第1レンズ241aと第2レンズ241bとが両側テレセントリック光学系となるように、反射型空間光変調器203と集光光学系204との間に配置されている。

[0037] この4f光学系241では、反射型空間光変調器203で変調されたレーザ光Lが空間伝播によって波面形状が変化し収差が増大するのを抑制することができる。ここでの4f光学系241においては、集光光学系204に入射するレーザ光Lが平行光となるようにレーザ光Lが調整される。

[0038] 集光光学系204は、4f光学系241によって変調されたレーザ光Lを加工対象物1の内部に集光するものである。この集光光学系204は、複数のレンズを含んで構成されており、圧電素子等を含んで構成された駆動ユニット232を介して筐体231の底板233に設置されている。

[0039] また、レーザ加工装置200は、加工対象物1の表面3を観察するための表面観察ユニット211と、集光光学系204と加工対象物1との距離を微調整するためのAF (AutoFocus) ユニット212と、を筐体231内に備えている。

[0040] 表面観察ユニット211は、可視光VL1を出射する観察用光源211aと、加工対象物1の表面3で反射された可視光VL1の反射光VL2を受光して検出する検出器211bと、を有している。表面観察ユニット211では、観察用光源211aから出射された可視光VL1が、ミラー208及びダイクロイックミラー209、210、238で反射・透過され、集光光学系204で加工対象物に向けて集光される。そして、表面観察ユニット211では、加工対象物1の表面2で反射された反射光VL2が、集光光学系204で集光されてダイクロイックミラー238、210で透過・反射された後、ダイクロイックミラー209を透過して検出器211bで受光される。

[0041] AFユニット212は、AF用レーザ光LB1を出射し、加工対象物1の表面3で反射されたAF用レーザ光LB1の反射光LB2を受光し検出することで、切断予定ライン5に沿った表面3の変位データを取得する。そして

、ＡＦユニット２１２は、改質領域７を形成する際、取得した変位データに基づいて駆動ユニット２３２を駆動させ、加工対象物１の表面３のうねりに沿うように集光光学系２０４をその光軸方向に往復移動させる。

[0042] さらにまた、レーザ加工装置２００は、該レーザ加工装置２００を制御するためのものとして、ＣＰＵ、ＲＯＭ、ＲＡＭ等からなる制御部２５０を備えている。制御部２５０は、レーザ光源２０２を制御し、レーザ光源２０２から出射されるレーザ光Ｌの出力やパルス幅等を調節する。また、制御部２５０は、改質領域７を形成する際、レーザ光Ｌの集光点Ｐが加工対象物１の表面３から所定距離に位置し且つ切断予定ライン５に沿って相対的に移動するように、筐体２３１やステージ１１１の位置、及び駆動ユニット２３２の駆動を制御する。

[0043] また、制御部２５０は、改質領域７を形成する際、反射型空間光変調器２０３における画素電極２１４の各電極部２１４ａと透明電極膜２１７に所定電圧を印加することで、反射型空間光変調器２０３における液晶層２１６の各素子の屈折率を変化し、液晶層２１６に所定の変調パターンを表示させる。その結果、反射型空間光変調器２０３から出射され加工対象物１の内部に集光されるレーザ光Ｌの収差が、所定収差以下となるよう制御されることとなる（詳しくは、後述）。

[0044] 以上のように構成されたレーザ加工装置２００を用いて加工対象物１を切断する場合、まず、加工対象物１の裏面に、例えばエキスパンドテープを貼り付けて当該加工対象物１をステージ１１１上に載置する。

[0045] 続いて、加工対象物１の表面３からシリコンウェハ１１の内部に集光点を合わせ、レーザ光源２０２からレーザ光Ｌを照射する（図９のＳ１）。出射されたレーザ光Ｌは、筐体２３１内において水平方向に進行した後、ミラー２０５ａによって下方に反射され、アッテネータ２０７によって光強度が調整される。そして、レーザ光Ｌは、ミラー２０５ｂによって水平方向に反射され、ビームホモジナイザ２６０によって強度分布が均一化されて反射型空間光変調器２０３に入射する。

[0046] 反射型空間光変調器 203 に入射したレーザ光 L は、所定収差以下の収差で加工対象物 1 の内部に集光されるよう変調される (S4)。具体的には、入射したレーザ光 L は、液晶層 216 に表示された変調パターンを透過して該変調パターンに応じて変調され、水平方向に対し斜め上方に出射される。そして、レーザ光 L は、ミラー 206a によって上方に反射された後、 $\lambda/2$ 波長板 228 によって偏光方向が切断予定ライン 5 に沿う方向となるよう変更され、ミラー 206b によって水平方向に反射されて 4f 光学系 241 に入射する。

[0047] 4f 光学系 241 に入射したレーザ光 L は、平行光で集光光学系 204 に入射するよう波面形状が調整される (S5)。具体的には、レーザ光 L は、第 1 レンズ 241a を透過し収束され、ミラー 219 によって下方へ反射され、共焦点 O を経て発散すると共に、第 2 レンズ 241b を透過し、平行光となるように再び収束される。

[0048] その後、レーザ光 L は、ダイクロイックミラー 210, 218 を順次透過して集光光学系 204 に入射し、ステージ 111 上に載置された加工対象物 1 の内部に集光光学系 204 によって集光される (S6)。これにより、切断予定ライン 5 に沿って、加工対象物 1 の内部に改質領域 7 が形成される。そして、エキスパンドテープを拡張することで、改質領域 7 を切断の起点として、加工対象物 1 を切断予定ライン 5 に沿って切断し、複数の半導体チップとして互いに離間させる。

[0049] ここで、本実施形態のレーザ加工装置 200 は、レーザ光 L の位置 (ポインティング) を検出する光センサとして、PSD (Position Sensitive Detector : 半導体位置検出素子) 270a, 270b を備えている。これら PSD 270a, 270b は、制御部 250 に接続されており、検出したレーザ光 L の位置情報を制御部 250 へ出力する。

[0050] PSD 270a は、レーザ光 L の光路においてミラー 205a とアッテネータ 207 との間に接続されている。ここでは、PSD 270a は、ミラー 205a で反射されたレーザ光 L を、ミラー 271, 272 で順に反射させ

てPSD270aへと導光している。これにより、PSD270aは、アッテネータ207で光強度が調整される前のレーザ光Lのスポットにおける重心位置（中心位置）を、座標値として2次元的に検出する。

[0051] PSD270bは、レーザ光Lの光路においてミラー205bとビームホモジナイザ260との間に接続されている。ここでは、PSD270bは、ミラー205bで反射されたレーザ光Lを、ミラー273、274で順に反射させてPSD270bへと導光している。これにより、PSD270bは、ビームホモジナイザ260で強度分布が均一化される前のレーザ光Lのスポットにおける重心位置を、座標値として2次元的に検出する。

[0052] 図10は、PSDにより検出されたレーザ光の位置情報の一例を示す概念図である。図中の例では、検出されるレーザ光Lの座標値Qが、初期状態（初期調整時）のレーザ光Lの重心位置を原点（基準位置）とした座標軸にて設定されている。図10に示すように、PSD270a、270bによれば、レーザ光Lの座標値が検出される、つまり、レーザ光Lの基準値（初期値）に対する位置変化量が検出されることになる。

[0053] そこで、本実施形態においては、レーザ光源202から出射され反射型空間光変調器203に入射する前のレーザ光Lの座標値Qを、PSD270a、270bによって常時モニタする（S2）。そして、PSD270a、270bの少なくとも一方から入力されたレーザ光Lの座標値Qに基づいて、反射型空間光変調器203の電極部214a及び透明導電膜217に印加する電圧を制御部250によって制御し、液晶層216に表示する変調パターンの位置を自動的に変化（補正）させる（S3）。

[0054] 具体的には、レーザ光Lの座標値に関連付けられた変調パターンの位置変化量に関するデータテーブルを、制御部250に予め格納しておく。図11に示すように、ここでのデータテーブルTbでは、レーザ光Lと変調パターンとが所定位置関係を保つように（例えば、互いの重心が一致するように）、レーザ光Lの座標値Qと変調パターンの位置変化量とがX及びY座標（図8参照）毎に関連付けられている。そして、このデータテーブルTbを用い

て、PSD 270 a, 270 bで検出されたレーザ光Lの座標値から変調パターンの位置変化量を導出し、この位置変化量だけ変調パターンの位置を変化させる。

[0055] 或いは、レーザ光Lの座標値に基づいて、下式(1)によって変調パターンの位置変化量を算出し、この位置変化量だけ変調パターンの位置を変化させてもよい。

$$\Delta X = PSD_x \times a$$

$$\Delta Y = PSD_y \times b \quad \cdots (1)$$

但し、 ΔX : 変調パターンの位置変化量(X座標)、

ΔY : 変調パターンの位置変化量(Y座標)、

PSD_x : レーザ光Lの座標値(X座標)

PSD_y : レーザ光Lの座標値(Y座標)

a, b : 所定の設定値

[0056] これにより、液晶層216に入射されるレーザ光Lと液晶層216に表示される変調パターンHとの位置関係が、1ピクセル程度の高い精度で所定位置関係に合わせ込まれる。その結果、反射型空間光変調器203では、加工対象物1の内部に集光されるレーザ光Lの収差が所定収差以下となるように、レーザ光Lが確實且つ精度よく変調されることとなる。

[0057] 図12は、液晶層に表示された変調パターンと液晶層に入射したレーザ光との関係を示す概念図である。図12では、Z軸方向(図8参照)から見たときの液晶層216を示しており、変調パターンHを円形状のものとしている。図12(a)に示すように、例えば光学系のズレ等によって、表示された変調パターンHの重心と入射したレーザ光Lとの重心とが互いにズレて不一致となる場合でも、図12(b)に示すように、レーザ光Lの座標値に基づき変調パターンHの位置が自動的に移動され、変調パターンHの重心とレーザ光Lとの重心とが一致することになる。

[0058] 以上、本実施形態では、反射型空間光変調器203における変調パターンHの位置がレーザ光Lの位置に基づいて変化され、レーザ光Lと変調パター

ンHとの位置関係が1ピクセル程度の高い精度で合わせ込まれている。よって、反射型空間光変調器203でレーザ光Lを常に好適に変調させることができ、加工対象物1に集光されるレーザ光Lの収差を安定して抑制することが可能となる。

[0059] 従って、本実施形態によれば、加工対象物1に精度よい改質領域7を安定して形成することが可能となる。その結果、装置間機差を抑制することができ、加工品質を常に高く維持することが可能となる。

[0060] 図13は、加工対象物に改質領域を形成して切断した際の切断面状態を示す拡大写真図である。なお、反射型空間光変調器203の画素サイズ（ピクセルサイズ）は $20\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$ とされ、画素数（ピクセル数）は横（X）方向に792、縦（Y）方向に600の 792×600 とされている。図中では、液晶層216において変調パターンである収差補正パターンHの位置をX方向に沿って変化させたときのものを示している。

[0061] 図13に示す例では、変調パターンHの位置変化量が0（基準位置）のとき及び $+4\mu\text{m}$ のとき、レーザ光Lと変調パターンHとの位置関係が所定位置関係となり、切断面の品質が良好とされることがわかる。また、変調パターンHの位置変化量が $+24\mu\text{m}$ のとき、切断面の品質が不良とされ、それ以外のとき、切断面の品質が通常とされることがわかる。また、図13に示す例により、精度よい改質領域7を形成する場合、レーザ光Lと変調パターンHとの位置関係に高精度の合わせ込みが要されることがわかる。

[0062] また、1ピクセル以下の移動量（つまり、縦及び横方向それぞれの画素サイズ以下の移動量）で十分な効果が現れている。この1ピクセル以内の範囲内の移動によって好ましい加工品質が得られない場合には、光学系のセッティングを再調整することが望ましい。

[0063] 1ピクセル以下の変調パターンの移動について説明する。図15は、1ピクセル以下の変調パターンの移動を説明するための図である。この図15では、所定のX方向である一方向の各画素（液晶）における変調パターン（例えば収差補正等に関する）に応じた屈折率が棒グラフで示されている。つまり

、変調パターンを、複数の画素毎の屈折率で表している。ここでは、説明のため、2次元パターンを1次元パターンで簡略化して説明する。

[0064] まず、図15(a)に示すように、各画素の屈折率を表す変調パターン曲線(図13の場合、収差補正パターン曲線)W1が設定されている。なお、1次元で説明するため、各画素の屈折率が変調パターン曲線として表現されるが、2次元の場合、この変調パターン曲線は、各画素毎の屈折率を表す変調パターンである。

[0065] そして、図15(b)に示すように、変調パターン曲線W1を所定の移動量(図13の場合ように、例えば $+4\mu\text{m}$)だけ右方向にシフトする。次に、シフトした変調パターン曲線W2に応じた各画素の屈折率(W2における丸印)を再計算する。次に、再計算した値に応じた屈折率を各画素に与える。例えば図13に示す例の場合には、各画素に応じて与えられる屈折率は、8bit(256階調)とされている。

[0066] 以上のように変調パターンHのシフトが行われる。従って、1ピクセル以下のシフトでも補正することが可能であり、より精密に変調パターン(収差補正パターン)をシフトさせることが可能である。

[0067] 以上、本発明の好適な実施形態について説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではない。例えば、上記実施形態は、レーザ光の位置を検出するものとしてPSD270a, 270bを備えているが、これらの何れか一方のみを備えていてもよい。

[0068] さらに、PSD270a, 270bに代えて若しくは加えて、他のPSDを備えていてもよく、例えば、図14に示すように、レーザ光Lの光路においてダイクロイックミラー238と集光光学系204との間にPSD370が接続されていてもよい。この場合、ダイクロイックミラー238を透過したレーザ光Lが、ミラー371, 372で順に反射されてPSD370へと導光される。そのため、加工対象物1に集光する直前のレーザ光Lの位置が検出される。よって、レーザ光Lに係る光学系にズレ等が生じた場合、レーザ光Lの位置のズレとして必ず検出されて変調パターンHの位置が変化され

、レーザ光Lと変調パターンHとの位置関係が適正なものとなる。

[0069] また、上記実施形態では、ビームホモジナイザ260を備え、ビームホモジナイザ260で強度分布を均一化したレーザ光Lを反射型空間光変調器203に入射させたが、これに代えて、ビームエキスパンダを備え、ビームエキスパンダでビーム径を拡大したレーザ光Lを反射型空間光変調器203に入射させてもよい。この場合、レーザ光Lの位置検出を高精度化するため、ビームエキスパンダでビーム径が拡大される前のレーザ光Lの位置をPSDで検出することが好ましい。

[0070] また、改質領域7を形成する際におけるレーザ光入射面は、加工対象物1の表面3に限定されず、加工対象物1の裏面であってもよい。また、上記実施形態では、切断予定ライン5に沿って複数列の改質領域7を形成しても勿論よい。

産業上の利用可能性

[0071] 本発明によれば、加工対象物に精度よい改質領域を安定して形成することができる。

符号の説明

[0072] 1…加工対象物、7…改質領域、203…反射型空間光変調器（空間光変調器）、216…液晶層（表示部）、H…変調パターン、L…レーザ光、P…集光点。

請求の範囲

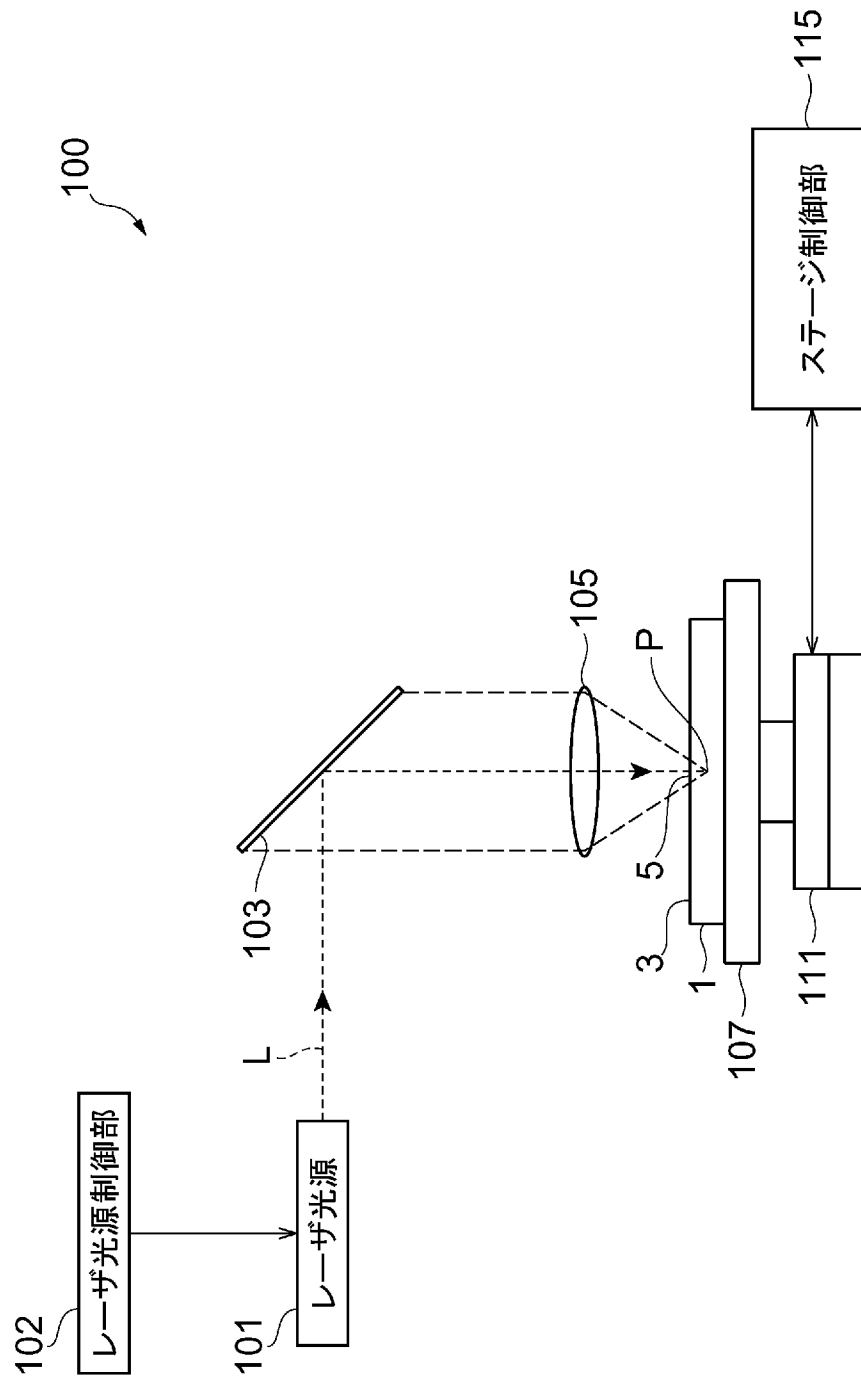
- [請求項1] 加工対象物の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射することにより、前記加工対象物に改質領域を形成するレーザ加工方法であって、
前記レーザ光を空間光変調器で変調する変調工程と、
変調した前記レーザ光を前記加工対象物に集光させる集光工程と、
前記レーザ光の位置を検出する検出工程と、を含み、
前記変調工程においては、
前記空間光変調器の表示部に表示した変調パターンに前記レーザ光を入射させ、該レーザ光に前記変調パターンに応じた変調を与えると共に、
前記検出工程で検出した前記レーザ光の位置に基づいて、前記変調パターンの位置を変化させることを特徴とするレーザ加工方法。
- [請求項2] 前記検出工程では、前記レーザ光が基準位置に対して変化した位置変化量を検出し、
前記変調工程では、前記検出工程で検出した前記レーザ光の位置変化量に基づいて、前記レーザ光と前記変調パターンとが所定位置関係となるよう前記変調パターンの位置を変化させることを特徴とする請求項1記載のレーザ加工方法。
- [請求項3] 前記変調工程では、前記レーザ光の位置変化量に関連付けられた前記変調パターンの位置変化量に関するデータテーブルを用いて、前記変調パターンの位置を変化させることを特徴とする請求項2記載のレーザ加工方法。
- [請求項4] 前記変調工程では、前記レーザ光の位置変化量に基づいて前記変調パターンの位置変化量を算出し、算出した前記変調パターンの位置変化量に応じて前記変調パターンの位置を変化させることを特徴とする請求項2記載のレーザ加工方法。
- [請求項5] 前記変調パターンは、前記表示部の複数の画素毎の屈折率を表しており、

前記変調工程では、前記変調パターンを所定位置に移動させ、移動させた前記変調パターンに応じて前記複数の画素の屈折率を演算し、この演算した値に応じた屈折率となるよう前記画素の屈折率を制御することを特徴とする請求項 1 又は 2 記載のレーザ加工方法。

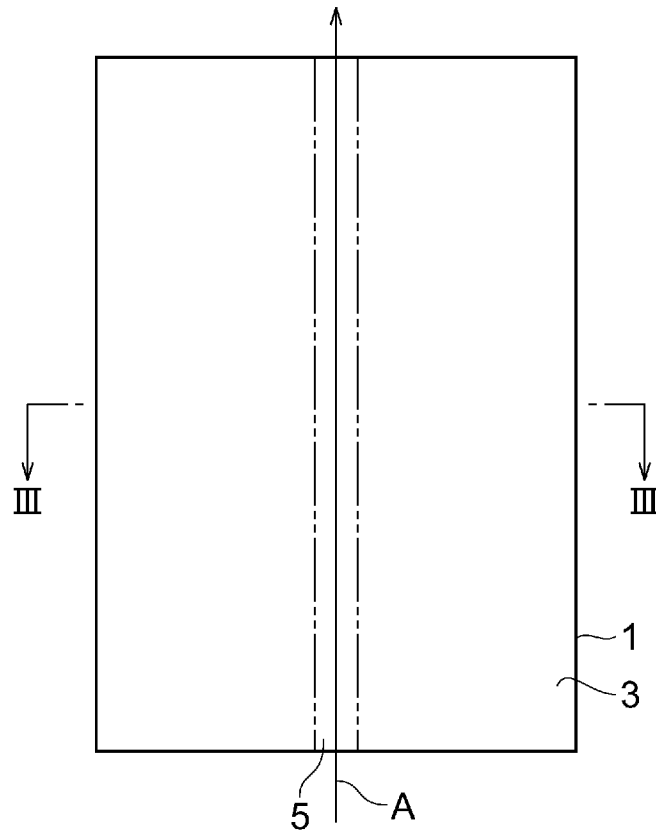
[請求項6]

前記変調パターンを移動させる移動量は、前記表示部の 1 画素サイズ以下であることを特徴とする請求項 5 記載のレーザ加工方法。

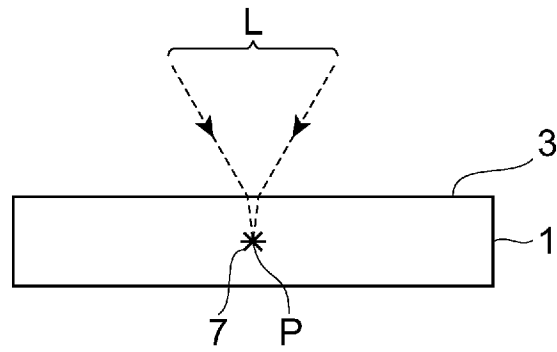
[図1]



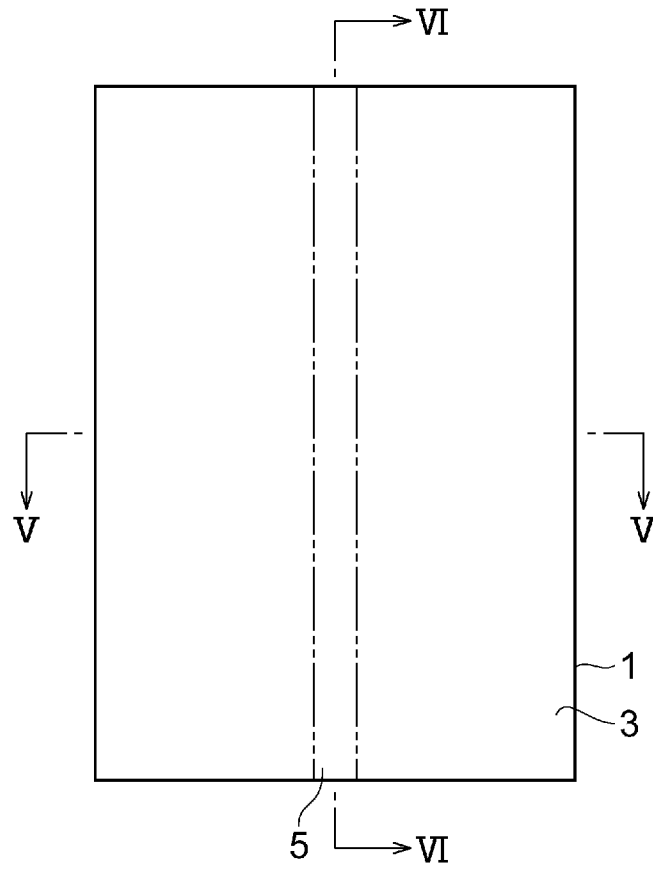
[図2]



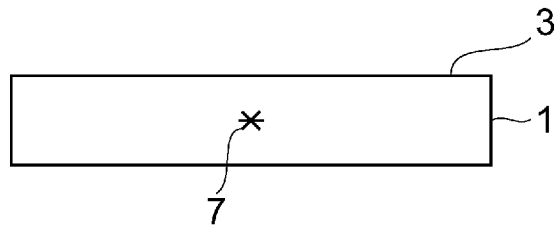
[図3]



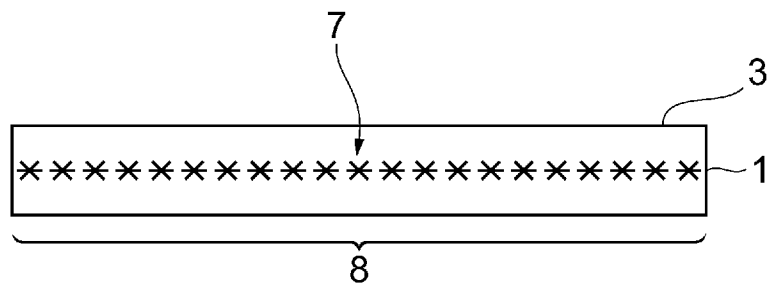
[図4]



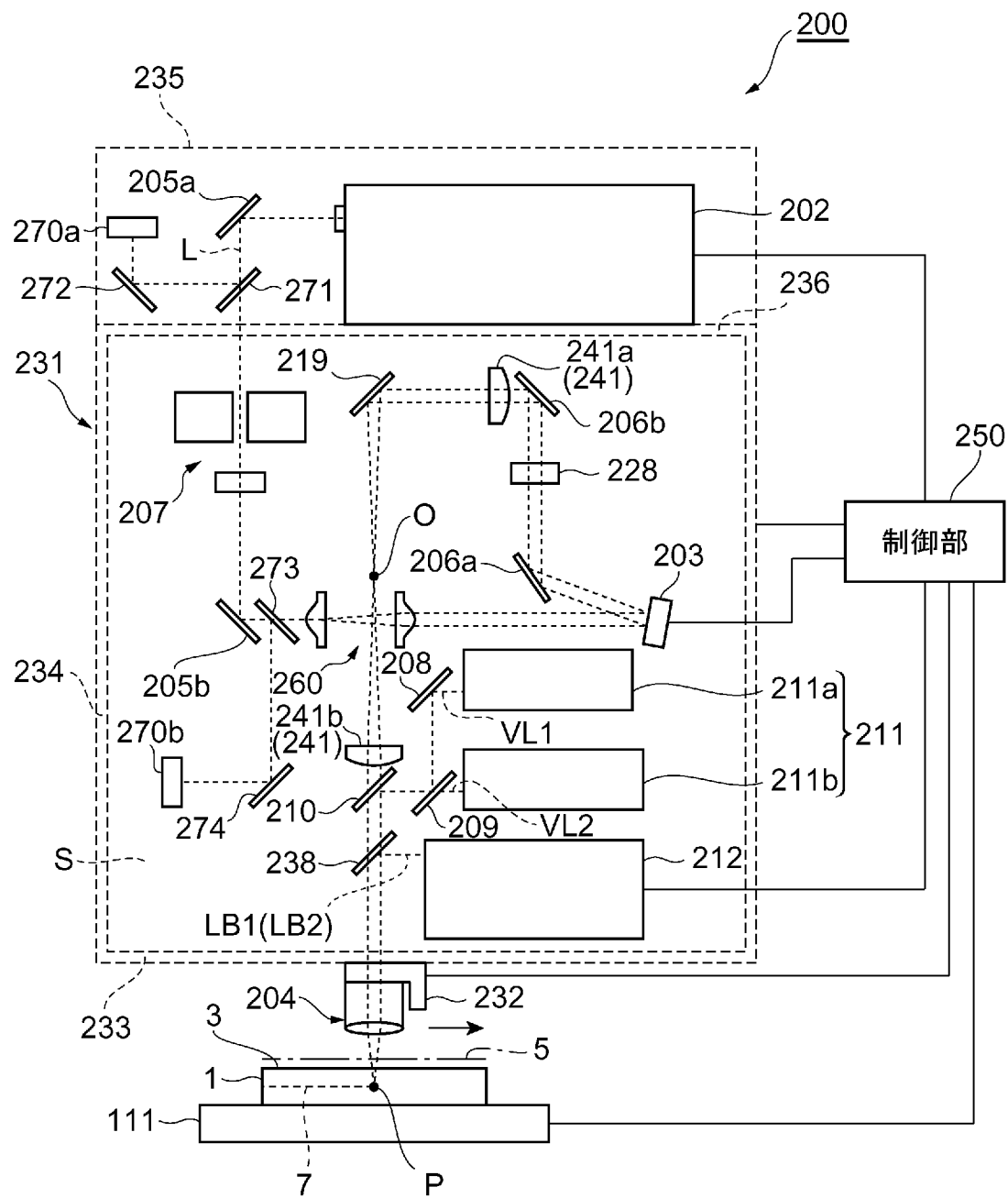
[図5]



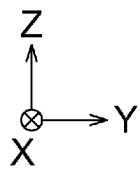
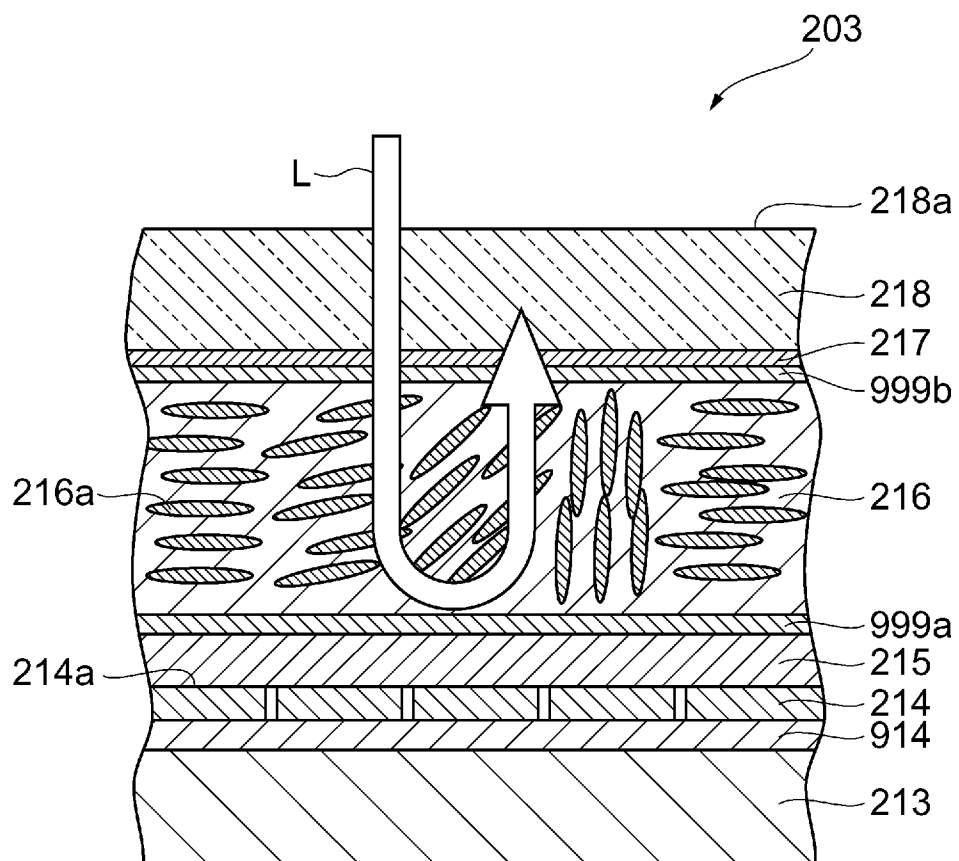
[図6]



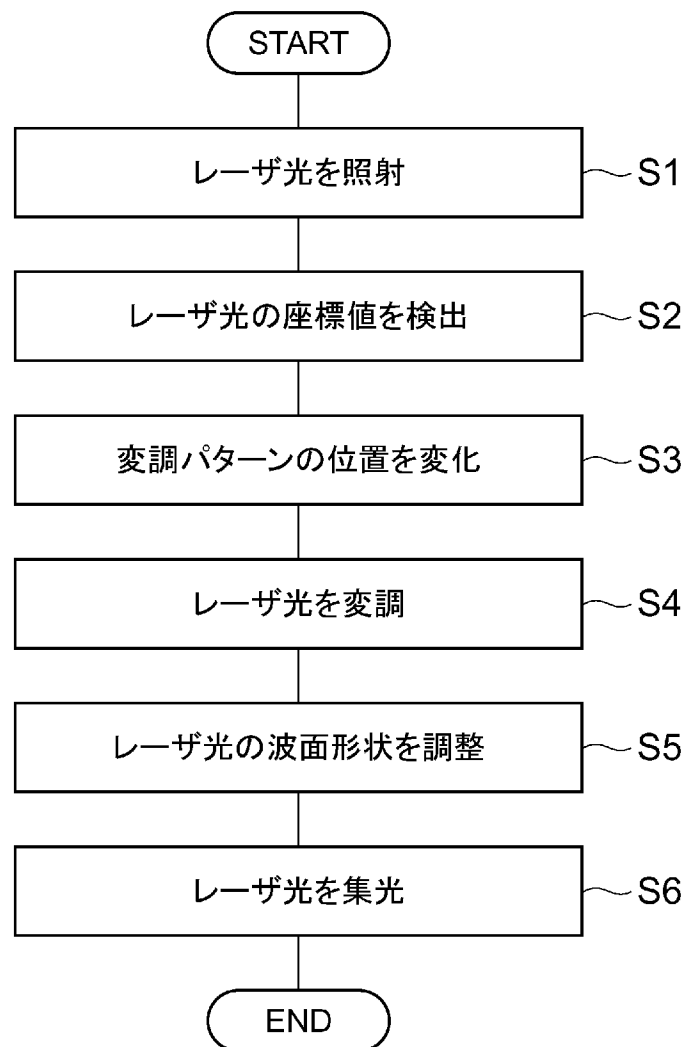
[図7]



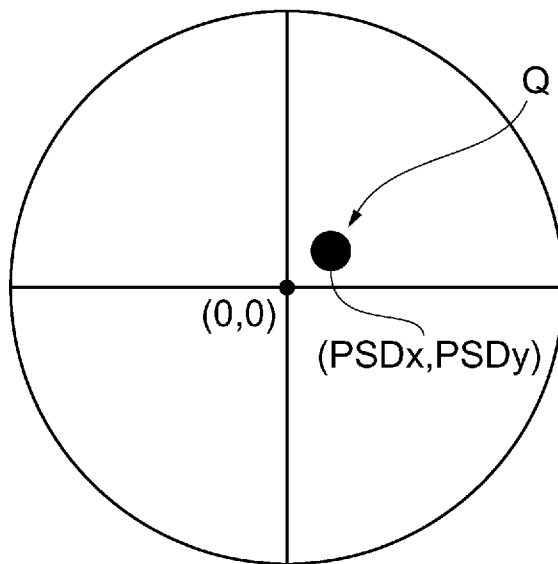
[図8]



[図9]



[図10]



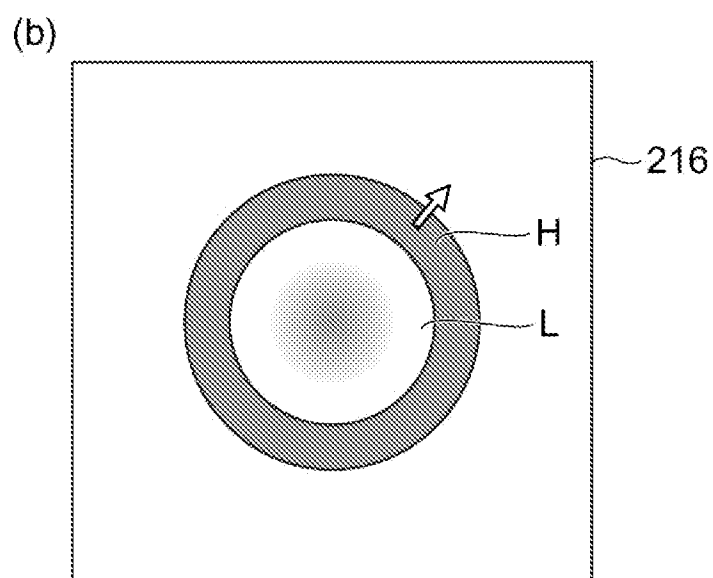
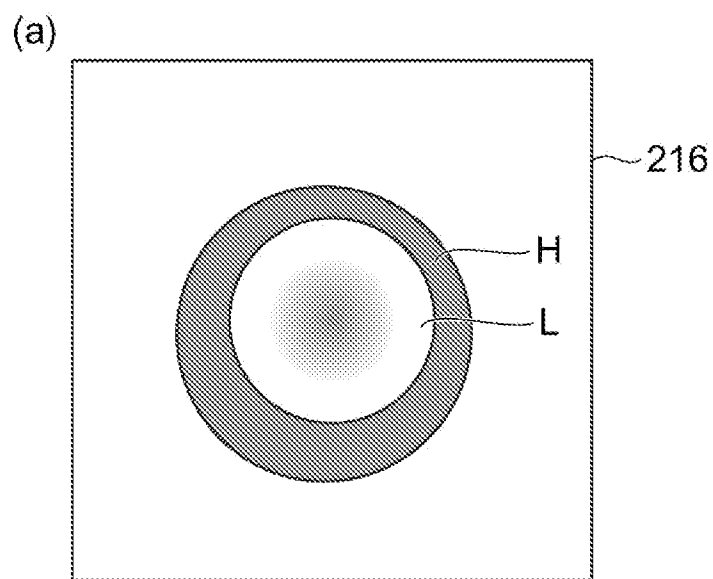
[図11]

Tb

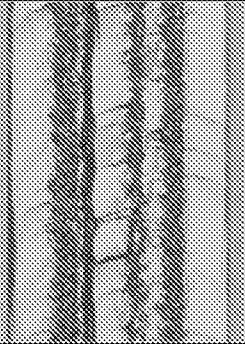
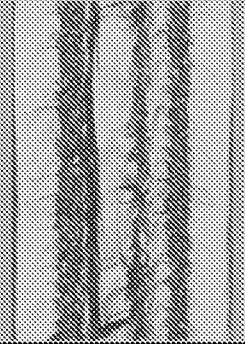
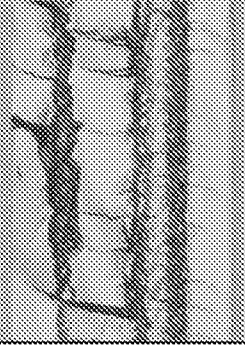
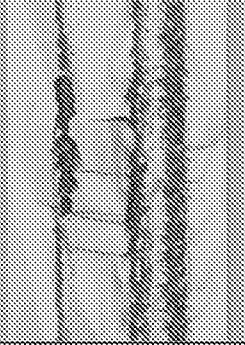
レーザ光の座標値 (X座標)	変調パターンの位置変化量 (X座標)
PSDx1	Δx_1
PSDx2	Δx_2
PSDx3	Δx_3
$\vdots$	$\vdots$
PSDxn	Δx_n

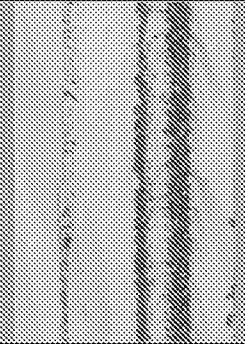
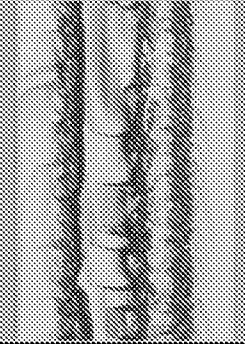
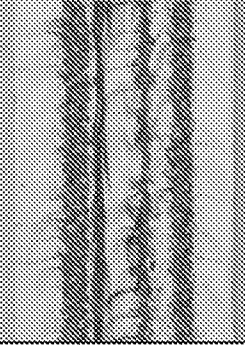
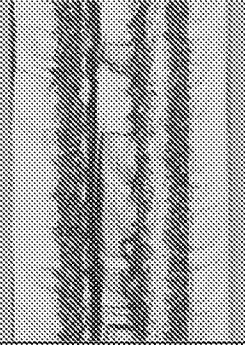
レーザ光の座標値 (Y座標)	変調パターンの位置変化量 (Y座標)
PSDy1	Δy_1
PSDy2	Δy_2
PSDy3	Δy_3
$\vdots$	$\vdots$
PSDyn	Δy_n

[図12]

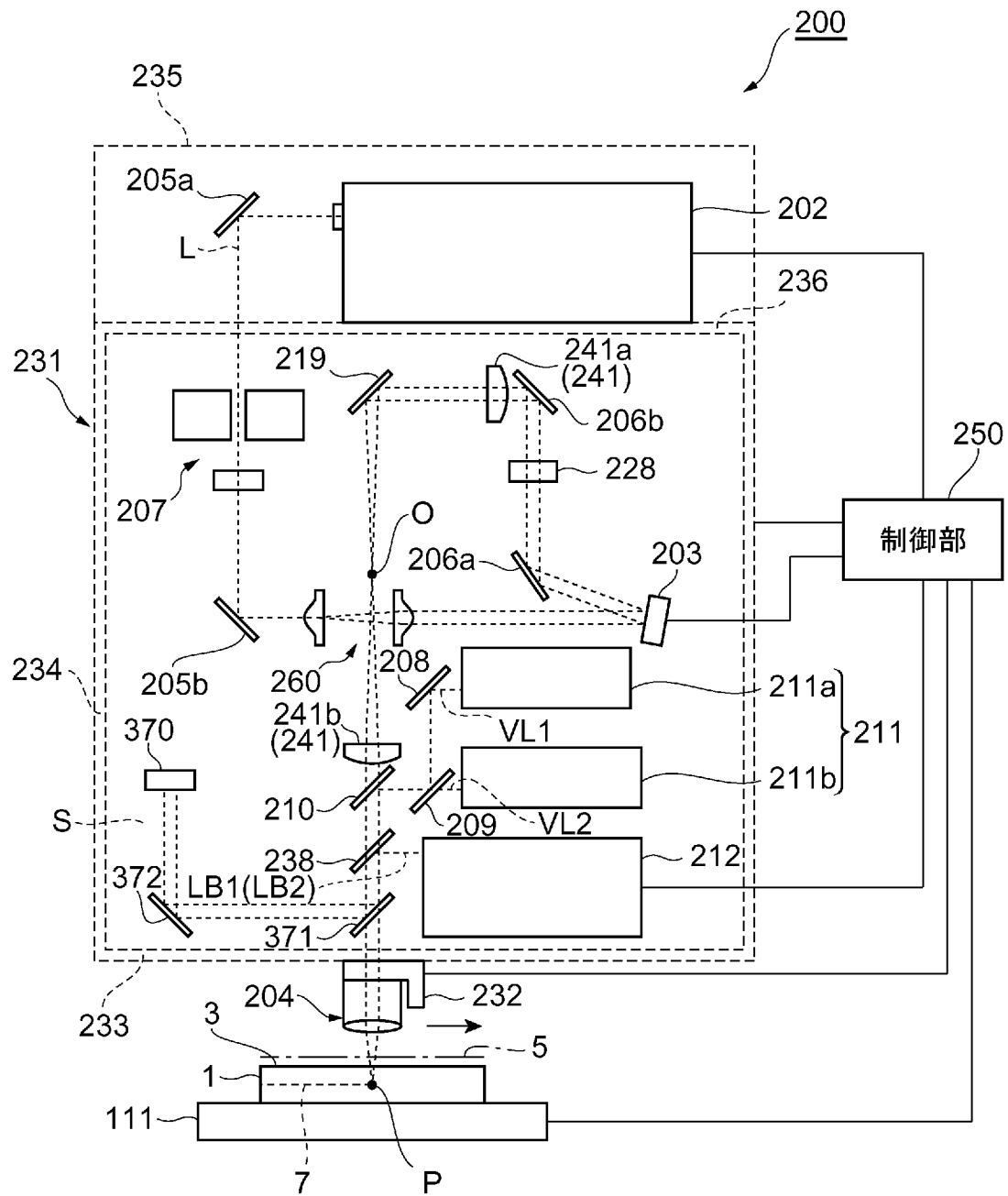


[図13]

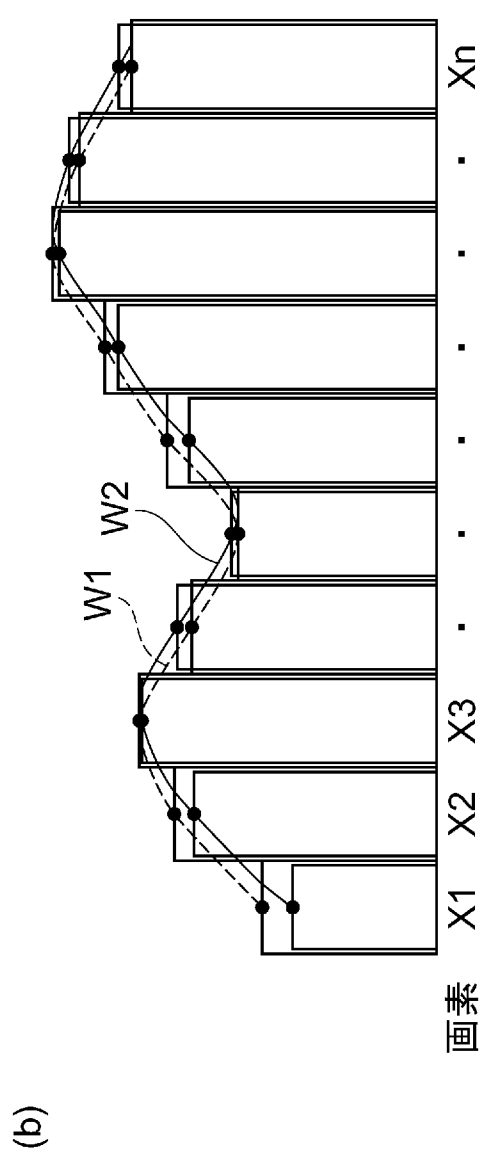
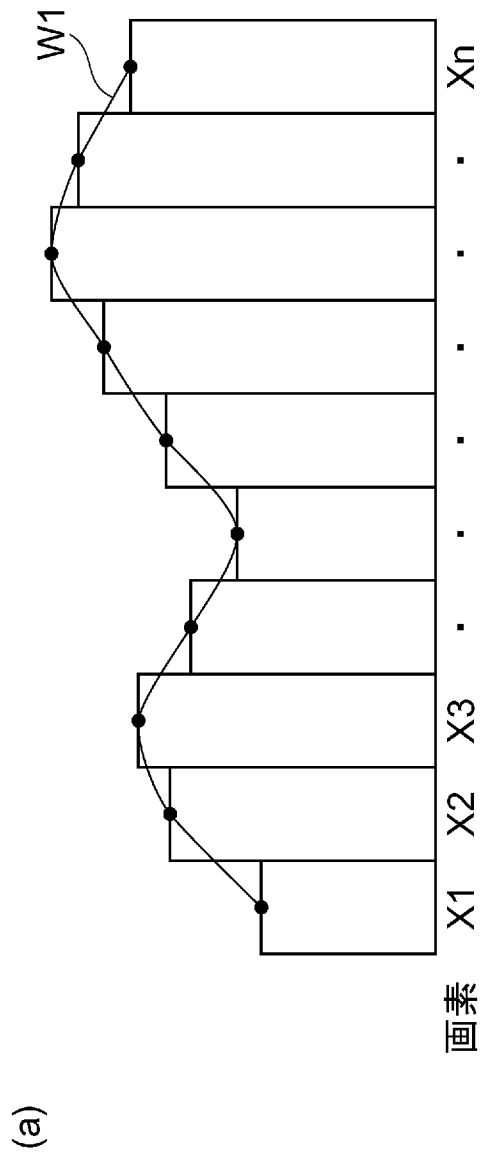
変調パターンの 位置変化量	+24 μm	+12 μm	+8 μm	+4 μm
拡大写真図				
品質	×	△	△	○

変調パターンの 位置変化量	±0 μm (基準)	-4 μm	-8 μm	-12 μm
拡大写真図				
品質	○	△	△	△

[図14]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/060666

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B23K26/06(2006.01)i, B23K26/00(2006.01)i, B23K26/40(2006.01)i, H01L21/301(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B23K26/06, B23K26/00, B23K26/40, H01L21/301

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	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

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 2002-49002 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 15 February 2002 (15.02.2002), entire text; drawings (Family: none)	1-6
A	JP 2002-273583 A (The Institute of Physical and Chemical Research, Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 25 September 2002 (25.09.2002), entire text; drawings & US 2002/0130245 A1 & EP 1252965 A2 & DE 60222203 D	1-6



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
16 September, 2010 (16.09.10)

Date of mailing of the international search report
28 September, 2010 (28.09.10)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/060666

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2003-25085 A (Seiko Epson Corp.), 28 January 2003 (28.01.2003), entire text; drawings (Family: none)	1-6
A	JP 2009-34723 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 19 February 2009 (19.02.2009), entire text; drawings & EP 2186596 A1 & WO 2009/020004 A1 & KR 10-2010-0044791 A	1-6
A	JP 2009-82966 A (Olympus Corp.), 23 April 2009 (23.04.2009), entire text; drawings & CN 101403822 A & KR 10-2009-0033817 A	1-6
A	JP 2009-169021 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 30 July 2009 (30.07.2009), entire text; drawings (Family: none)	1-6

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. B23K26/06 (2006.01) i, B23K26/00 (2006.01) i, B23K26/40 (2006.01) i, H01L21/301 (2006.01) i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. B23K26/06, B23K26/00, B23K26/40, H01L21/301

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 0 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 0 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 0 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 2002-49002 A (浜松ホトニクス株式会社) 2002.02.15, 全文及び図面 (ファミリーなし)	1-6
A	JP 2002-273583 A (理化学研究所、浜松ホトニクス株式会社) 2002.09.25, 全文及び図面 & US 2002/0130245 A1 & EP 1252965 A2 & DE 60222203 D	1-6
A	JP 2003-25085 A (セイコーエプソン株式会社) 2003.01.28, 全文及び図面 (ファミリーなし)	1-6

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 6 . 0 9 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

2 8 . 0 9 . 2 0 1 0

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 1 0 0 - 8 9 1 5
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)

松本 公一

3 P

3 5 0 6

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 6 4

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 2009-34723 A (浜松ホトニクス株式会社) 2009. 02. 19, 全文及び図面 & EP 2186596 A1 & WO 2009/020004 A1 & KR 10-2010-0044791 A	1-6
A	JP 2009-82966 A (オリンパス株式会社) 2009. 04. 23, 全文及び図面 & CN 101403822 A & KR 10-2009-0033817 A	1-6
A	JP 2009-169021 A (浜松ホトニクス株式会社) 2009. 07. 30, 全文及び図面 (ファミリーなし)	1-6