

(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10月8日(08.10.2015)



(10) 国際公開番号

WO 2015/152156 A1

- (51) 国際特許分類:
B23K 26/064 (2014.01) H01L 21/301 (2006.01)
B23K 26/53 (2014.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/059937
- (22) 国際出願日: 2015年3月30日(30.03.2015)
- (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 2014-077537 2014年4月4日(04.04.2014) JP
- (71) 出願人: 浜松ホトニクス株式会社(HAMAMATSU PHOTONICS K.K.) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 Shizuoka (JP).
- (72) 発明者: 坂本 剛志(SAKAMOTO Takeshi); 〒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).
荻原 孝文(OGIWARA Takafumi); 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP).
- (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA Yoshiki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目1番1号丸の内 MY PLAZA (明治安田生命ビル) 9階 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, 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), ユーロピア (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,

[続葉有]

(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

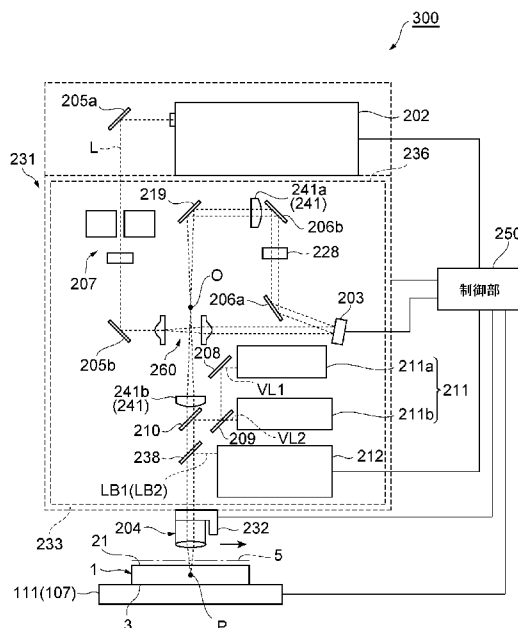


FIG. 7:
250 Control unit

(57) Abstract: A laser processing device (300) is provided with a laser light source (202), a light collection optical system (204), a control unit (250), and a reflective spatial light modulator (203). The control unit (250) and the reflective spatial light modulator (203) adjust aberration such that when, using, as a reference aberration, an aberration generated when light is collected at a light collection position with an aberration correction amount in a state where an ideal light collection position is shifted by a predetermined distance to the incident side of laser light (L) from the light collection position along the optical axis of the laser light (L), a modified region is formed in a first region that is closest to the surface (3) of an object to be processed (1) or a first region the distance of which from the surface (3) of the object to be processed (1) is the predetermined distance or less, a first light collection length longer than the reference light collection length of the reference aberration and a first light collection intensity lower than the reference light collection intensity of the reference aberration are obtained.

(57) 要約: レーザ加工装置300は、レーザ光源202と、集光光学系204と、制御部250及び反射型空間光変調器203と、を備える。制御部250及び反射型空間光変調器203は、集光位置からレーザ光Lの光軸に沿ってレーザ光Lの入射側に所定距離だけ理想集光位置をずらした状態での収差補正量で当該集光位置に集光した場合に発生する収差を基準収差として、加工対象物1の表面3に最も近い第1領域又は加工対象物1の表面3からの距離が所定距離以下の第1領域に改質領域を形成する場合には、基準収差の基準集光長さよりも長い第1集光長さとなり且つ基準収差の基準集光強度よりも弱い第1集光強度となるように収差を調整する。



MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, 添付公開書類:
TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, — 国際調査報告 (条約第 21 条(3))
KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

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] 本発明は、加工対象物にレーザ光を集光することにより、切断予定ラインに沿って加工対象物に改質領域を形成するレーザ加工装置及びレーザ加工方法に関する。

背景技術

[0002] 上記技術分野における従来のレーザ加工装置として、加工対象物にレーザ光を集光することに起因して集光位置で発生する球面収差を補正して、加工対象物にレーザ光を集光するものが知られている（例えば、特許文献 1 参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開 2 0 1 1 - 1 5 2 5 6 2 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] ところで、表面に複数の機能素子が設けられた加工対象物については、隣り合う機能素子の間の領域を通るように切断予定ラインを設定し、裏面から加工対象物にレーザ光を入射させて、切断予定ラインに沿って加工対象物に改質領域を形成する場合がある。しかしながら、そのような場合に、レーザ光の集光位置で発生する球面収差を補正すると、レーザ光の入射側とは反対側の加工対象物の表面において切断予定ラインから外れた部分（例えば、機能素子に含まれる配線等）にダメージが発生するおそれがあることが分かった。

[0005] そこで、本発明は、レーザ光の入射側とは反対側の加工対象物の表面において切断予定ラインから外れた部分にダメージが発生するのを抑制することができるレーザ加工装置及びレーザ加工方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明の一側面のレーザ加工装置は、加工対象物にレーザ光を集光することにより、切断予定ラインに沿って加工対象物に改質領域を形成するレーザ加工装置であって、レーザ光を出射するレーザ光源と、レーザ光源により出射されたレーザ光を加工対象物に集光する集光光学系と、加工対象物にレーザ光を集光することに起因して集光位置で発生する収差を調整する収差調整部と、を備え、収差調整部は、集光位置からレーザ光の光軸に沿ってレーザ光の入射側に所定距離だけ理想集光位置をずらした状態での収差補正量で当該集光位置に集光した場合に発生する収差を基準収差として、レーザ光の入射側とは反対側の加工対象物の第1表面に最も近い第1領域に改質領域を形成する場合には、基準収差の基準集光長さよりも長い第1集光長さとなり且つ基準収差の基準集光強度よりも弱い第1集光強度となるように収差を調整し、レーザ光の入射側の加工対象物の第2表面に第1領域よりも近い第2領域に改質領域を形成する場合には、基準集光長さよりも短い第2集光長さとなり且つ基準集光強度よりも強い第2集光強度となるように収差を調整する。

[0007] 本発明の一側面のレーザ加工方法は、加工対象物にレーザ光を集光することにより、切断予定ラインに沿って加工対象物に改質領域を形成するレーザ加工方法であって、加工対象物にレーザ光を集光することに起因して集光位置で発生する収差を調整して、加工対象物にレーザ光を集光することにより、レーザ光の入射側とは反対側の加工対象物の第1表面に最も近い第1領域に改質領域を形成する第1工程と、集光位置で発生する収差を調整して、加工対象物にレーザ光を集光することにより、レーザ光の入射側の加工対象物の第2表面に第1領域よりも近い第2領域に改質領域を形成する第2工程と、を含み、第1工程においては、集光位置からレーザ光の光軸に沿ってレーザ光の入射側に所定距離だけ理想集光位置をずらした状態での収差補正量で当該集光位置に集光した場合に発生する基準収差の基準集光長さよりも長い第1集光長さとなり且つ基準収差の基準集光強度よりも弱い第1集光強度と

なるように収差を調整し、第2工程においては、基準集光長さよりも短い第2集光長さとなり且つ基準集光強度よりも強い第2集光強度となるように収差を調整する。

[0008] これらのレーザ加工装置及びレーザ加工方法では、集光位置からレーザ光の光軸に沿ってレーザ光の入射側に所定距離だけ理想集光位置をずらした状態での収差補正量で当該集光位置に集光した場合に発生する収差を基準収差とし、基準収差の基準集光長さよりも長い第1集光長さとなり且つ基準収差の基準集光強度よりも弱い第1集光強度となるように収差を調整して、加工対象物にレーザ光を集光することにより、レーザ光の入射側とは反対側の加工対象物の第1表面に最も近い第1領域に改質領域を形成する。これにより、レーザ光の入射側とは反対側の加工対象物の表面（すなわち、第1表面）において切断予定ラインから外れた部分にダメージが発生するのを抑制することができる。なお、本発明の一側面のレーザ加工方法では、第1工程を実施した後に第2工程を実施してもよいし、第2工程を実施した後に第1工程を実施してもよいし、第1工程と第2工程とを同時に実施してもよい。

[0009] 本発明の一側面のレーザ加工装置及びレーザ加工方法では、第1表面には、配線を含む複数の機能素子が設けられており、切断予定ラインは、隣り合う機能素子の間の領域を通るように設定されてもよい。この場合、機能素子に含まれる配線にダメージが発生するのを抑制することができる。

[0010] 本発明の一側面のレーザ加工装置及びレーザ加工方法では、第1領域は、第1表面からの距離が $60\mu\text{m}$ 以下の領域に設定されてもよい。この場合、第1表面において切断予定ラインから外れた部分にダメージが発生するのをより確実に抑制することができると共に、第1領域に形成された改質領域から第1表面側に伸展する亀裂を切断予定ラインに沿って精度良く第1表面に到達させることができる。

[0011] 本発明の一側面のレーザ加工装置及びレーザ加工方法では、第2領域は、第1表面からの距離が $40\mu\text{m}$ 以上の領域に設定されてもよい。この場合、第1表面において切断予定ラインから外れた部分にダメージが発生するのを

より確実に抑制することができると共に、第2領域に形成された改質領域から第1表面側及び第2表面側に伸展する亀裂の長さを長くすることができる。

[0012] 本発明の一側面のレーザ加工装置及びレーザ加工方法では、所定距離は、 $110\mu\text{m}$ 以上 $140\mu\text{m}$ 以下であってもよい。この場合、集光位置からレーザ光の光軸に沿ってレーザ光の入射側に所定距離だけ理想集光位置をずらした状態での収差補正量で当該集光位置に集光した場合に発生する収差を基準収差として適切に設定することができる。

[0013] 本発明の一側面のレーザ加工方法では、第1工程を実施した後に第2工程を実施する場合には、第1領域は、第1工程において改質領域からレーザ光の入射側とは反対側に伸展する亀裂が第1表面に到達しないように設定されてもよい。本発明の一側面のレーザ加工方法では、第1工程を実施した後に第2工程を実施する場合には、第2領域は、第1工程において改質領域からレーザ光の入射側に伸展した亀裂と重ならないように設定されてもよい。これらの場合、第2領域に改質領域を形成する際に、第1表面において切断予定ラインから外れた部分にダメージが発生するのをより確実に抑制することができる。

[0014] 本発明の一側面のレーザ加工装置は、加工対象物にレーザ光を集光することにより、切断予定ラインに沿って加工対象物に改質領域を形成するレーザ加工装置であって、レーザ光を出射するレーザ光源と、レーザ光源により出射されたレーザ光を加工対象物に集光する集光光学系と、加工対象物にレーザ光を集光することに起因して集光位置で発生する収差を調整する収差調整部と、を備え、収差調整部は、集光位置からレーザ光の光軸に沿ってレーザ光の入射側に所定距離だけ理想集光位置をずらした状態での収差補正量で当該集光位置に集光した場合に発生する収差を基準収差として、レーザ光の入射側とは反対側の加工対象物の第1表面からの距離が所定距離以下の第1領域に改質領域を形成する場合には、基準収差の基準集光長さよりも長い第1集光長さとなり且つ基準収差の基準集光強度よりも弱い第1集光強度となる

ように収差を調整する。

[0015] 本発明の一側面のレーザ加工方法は、加工対象物にレーザ光を集光することにより、切断予定ラインに沿って加工対象物に改質領域を形成するレーザ加工方法であって、加工対象物にレーザ光を集光することに起因して集光位置で発生する収差を調整して、加工対象物にレーザ光を集光することにより、レーザ光の入射側とは反対側の加工対象物の第1表面からの距離が所定距離以下の第1領域に改質領域を形成する第1工程を含み、第1工程においては、集光位置からレーザ光の光軸に沿ってレーザ光の入射側に所定距離だけ理想集光位置をずらした状態での収差補正量で当該集光位置に集光した場合に発生する基準収差の基準集光長さよりも長い第1集光長さとなり且つ基準収差の基準集光強度よりも弱い第1集光強度となるように収差を調整する。

[0016] これらのレーザ加工装置及びレーザ加工方法では、集光位置からレーザ光の光軸に沿ってレーザ光の入射側に所定距離だけ理想集光位置をずらした状態での収差補正量で当該集光位置に集光した場合に発生する収差を基準収差とし、基準収差の基準集光長さよりも長い第1集光長さとなり且つ基準収差の基準集光強度よりも弱い第1集光強度となるように収差を調整して、加工対象物にレーザ光を集光することにより、レーザ光の入射側とは反対側の加工対象物の第1表面からの距離が所定距離以下の第1領域に改質領域を形成する。これにより、レーザ光の入射側とは反対側の加工対象物の表面（すなわち、第1表面）において切断予定ラインから外れた部分にダメージが発生するのを抑制することができる。

発明の効果

[0017] 本発明によれば、レーザ光の入射側とは反対側の加工対象物の表面において切断予定ラインから外れた部分にダメージが発生するのを抑制することができるレーザ加工装置及びレーザ加工方法を提供することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0018] [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のレーザ加工装置の概略構成図である。

[図8]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9]本発明の一実施形態のレーザ加工方法の対象となる加工対象物の(a)平面図及び(b)一部拡大平面図である。

[図10]レーザ光の集光位置で発生する収差の補正状態と改質領域から伸展する亀裂の長さとの関係を示す図である。

[図11]レーザ光の入射側とは反対側の加工対象物の表面にダメージが発生したことを示す図である。

[図12]レーザ光の抜け光の幅とダメージの発生位置との関係を示す図である。

[図13]レーザ光の入射側とは反対側の加工対象物の表面にダメージが発生したことを示す図である。

[図14]加工対象物に予め形成された亀裂の有無とダメージの発生量との関係を示す図である。

[図15]レーザ光における集光位置と理想集光位置との関係を示す図である。

[図16]レーザ光におけるずれ量とダメージの幅との関係を示す図である。

[図17]レーザ光におけるずれ量とダメージの幅との関係を示す図である。

[図18]レーザ光における集光長さと集光強度との関係を示す図である。

[図19]レーザ光における集光位置と加工条件との関係を示す図である。

[図20]本発明の一実施形態のレーザ加工方法の各工程を示す図である。

[図21]レーザ光における集光長さと集光強度との関係を示す図である。

[図22]球面収差補正パターンを利用した実施例の結果と球面収差補正パターンを利用しなかった比較例の結果との対比を示す図である。

[図23]アキシコンレンズパターンを利用した実施例の結果とアキシコンレン

ズパターンを利用しなかった比較例の結果との対比を示す図である。

[図24]加工エネルギーを調整した参考例の結果を示す図である。

[図25]改質領域の形成順序を示す図である。

[図26]改質領域の形成順序を示す図である。

[図27]改質領域の形成順序を示す図である。

[図28]改質領域の形成順序を示す図である。

発明を実施するための形態

[0019] 以下、本発明の実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。なお、各図において同一又は相当部分には同一符号を付し、重複する説明を省略する。

[0020] 本発明の一実施形態のレーザ加工装置及びレーザ加工方法では、加工対象物にレーザ光を集光することにより、切断予定ラインに沿って加工対象物に改質領域を形成する。そこで、まず、改質領域の形成について、図1～図6を参照して説明する。

[0021] 図1に示されるように、レーザ加工装置100は、レーザ光Lをパルス発振するレーザ光源101と、レーザ光Lの光軸（光路）の向きを90°変えるように配置されたダイクロイックミラー103と、レーザ光Lを集光するための集光用レンズ105と、を備えている。また、レーザ加工装置100は、集光用レンズ105で集光されたレーザ光Lが照射される加工対象物1を支持するための支持台107と、支持台107を移動させるためのステージ111と、レーザ光Lの出力やパルス幅、パルス波形等を調節するためにレーザ光源101を制御するレーザ光源制御部102と、ステージ111の移動を制御するステージ制御部115と、を備えている。

[0022] このレーザ加工装置100においては、レーザ光源101から出射されたレーザ光Lは、ダイクロイックミラー103によってその光軸の向きを90°変えられ、支持台107上に載置された加工対象物1の内部に集光用レンズ105によって集光される。これと共に、ステージ111が移動させられ、加工対象物1がレーザ光Lに対して切断予定ライン5に沿って相対移動さ

せられる。これにより、切断予定ライン5に沿った改質領域が加工対象物1に形成される。なお、ここでは、レーザ光Lを相対的に移動させるためにステージ111を移動させたが、集光用レンズ105を移動させてもよいし、或いはこれらの両方を移動させてもよい。

[0023] 加工対象物1としては、半導体材料で形成された半導体基板や圧電材料で形成された圧電基板等を含む板状の部材（例えば、基板、ウェハ等）が用いられる。図2に示されるように、加工対象物1には、加工対象物1を切断するための切断予定ライン5が設定されている。切断予定ライン5は、直線状に延びた仮想線である。加工対象物1の内部に改質領域を形成する場合、図3に示されるように、加工対象物1の内部に集光点（集光位置）Pを合わせた状態で、レーザ光Lを切断予定ライン5に沿って（すなわち、図2の矢印A方向に）相対的に移動させる。これにより、図4、図5及び図6に示されるように、改質領域7が切断予定ライン5に沿って加工対象物1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。

[0024] 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、これらが組み合わされた3次元状であってもよいし、座標指定されたものであってもよい。また、切断予定ライン5は、仮想線に限らず加工対象物1の表面3に実際に引かれた線であってもよい。改質領域7は、連続的に形成される場合もあるし、断続的に形成される場合もある。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3、裏面21、若しくは外周面）に露出していてもよい。また、改質領域7を形成する際のレーザ光入射面は、加工対象物1の表面3に限定されるものではなく、加工対象物1の裏面21であってもよい。

[0025] ちなみに、ここでのレーザ光Lは、加工対象物1を透過すると共に加工対

象物 1 の内部の集光点 P 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。

[0026] ところで、本実施形態で形成される改質領域 7 は、密度、屈折率、機械的強度やその他の物理的特性が周囲とは異なる状態になった領域をいう。改質領域 7 としては、例えば、溶融処理領域（一旦溶融後再固化した領域、溶融状態中の領域及び溶融から再固化する状態中の領域のうち少なくとも何れか一つを意味する）、クラック領域、絶縁破壊領域、屈折率変化領域等があり、これらが混在した領域もある。更に、改質領域 7 としては、加工対象物 1 の材料において改質領域 7 の密度が非改質領域の密度と比較して変化した領域や、格子欠陥が形成された領域がある（これらをまとめて高密転移領域ともいう）。

[0027] また、溶融処理領域や屈折率変化領域、改質領域 7 の密度が非改質領域の密度と比較して変化した領域、格子欠陥が形成された領域は、更に、それら領域の内部や改質領域 7 と非改質領域との界面に亀裂（割れ、マイクロクラック）を内包している場合がある。内包される亀裂は、改質領域 7 の全面に渡る場合や一部分のみや複数部分に形成される場合がある。加工対象物 1 としては、例えばシリコン（Si）、ガラス、シリコンカーバイド（SiC）、 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。

[0028] また、本実施形態においては、切断予定ライン 5 に沿って改質スポット（加工痕）を複数形成することによって、改質領域 7 を形成している。改質スポットとは、パルスレーザ光の 1 パルスのショット（つまり 1 パルスのレーザ照射：レーザショット）で形成される改質部分であり、改質スポットが集まることにより改質領域 7 となる。改質スポットとしては、クラックスポット

ト、熔融処理スポット若しくは屈折率変化スポット、又はこれらの少なくとも1つが混在するもの等が挙げられる。この改質スポットについては、要求される切断精度、要求される切断面の平坦性、加工対象物1の厚さ、種類、結晶方位等を考慮して、その大きさや発生する亀裂の長さを適宜制御することができる。

[0029] 次に、本発明の一実施形態のレーザ加工装置及びレーザ加工方法について説明する。図7に示されるように、レーザ加工装置300は、レーザ光源202、反射型空間光変調器（収差調整部）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。レーザ加工装置300は、加工対象物1にレーザ光Lを集光することにより、切断予定ライン5に沿って加工対象物1に改質領域7を形成する。

[0030] レーザ光源202は、例えば1000nm～1500nmの波長を有するレーザ光Lを出射するものであり、例えばファイバレーザである。ここでのレーザ光源202は、水平方向にレーザ光L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。

[0031] 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り、例えば反射型液晶（LCOS: Liquid Crystal on Silicon）の空間光変調器（SLM: Spatial Light Modulator）である。ここで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を変調すると共に、水平方向に対し斜め上方に反射する。

[0032] 図8に示されるように、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216、配向膜999b、透明導電膜217、及びガラス基板等の透明基板218がこの順に積層されることで構成されている。

[0033] 透明基板218は、XY平面に沿った表面218aを有しており、この表面218aは、反射型空間光変調器203の表面を構成している。透明基板218は、例えばガラス等の光透過性材料からなり、反射型空間光変調器2

03の表面218aから入射した所定波長のレーザ光Lを、反射型空間光変調器203の内部へ透過する。透明導電膜217は、透明基板218の裏面上に形成されており、レーザ光Lを透過する導電性材料（例えばITO）からなる。

[0034] 複数の画素電極214は、透明導電膜217に沿ってシリコン基板213上にマトリックス状に配列されている。各画素電極214は、例えばアルミニウム等の金属材料からなり、これらの表面214aは、平坦且つ滑らかに加工されている。複数の画素電極214は、駆動回路層914に設けられたアクティブ・マトリクス回路によって駆動される。

[0035] アクティブ・マトリクス回路は、複数の画素電極214とシリコン基板213との間に設けられており、反射型空間光変調器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ドライバ回路と、Y軸方向に並んだ各画素列の印加電圧を制御する第2ドライバ回路とを有しており、制御部250（図7参照）によって双方のドライバ回路で指定された画素の画素電極214に所定電圧が印加されるように構成されている。

[0036] 配向膜999a, 999bは、液晶層216の両端面に配置されており、液晶分子群を一定方向に配列させる。配向膜999a, 999bは、例えばポリイミド等の高分子材料からなり、液晶層216との接触面にラビング処理等が施されている。

[0037] 液晶層216は、複数の画素電極214と透明導電膜217との間に配置されており、各画素電極214と透明導電膜217とにより形成される電界に応じてレーザ光Lを変調する。すなわち、駆動回路層914のアクティブ・マトリクス回路によって各画素電極214に電圧が印加されると、透明導電膜217と各画素電極214との間に電界が形成され、液晶層216に形成された電界の大きさに応じて液晶分子216aの配列方向が変化する。そして、レーザ光Lが透明基板218及び透明導電膜217を透過して液晶層

216に入射すると、このレーザ光Lは、液晶層216を通過する間に液晶分子216aによって変調され、反射膜215において反射した後、再び液晶層216により変調されて、出射する。

[0038] このとき、制御部250（図7参照）によって各画素電極214に印加される電圧が制御され、その電圧に応じて、液晶層216において透明導電膜217と各画素電極214とに挟まれた部分の屈折率が変化する（各画素に対応した位置の液晶層216の屈折率が変化する）。この屈折率の変化により、印加した電圧に応じて、レーザ光Lの位相を液晶層216の画素ごとに变化させることができる。つまり、ホログラムパターンに応じた位相変調を画素ごとに液晶層216によって与える（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を反射型空間光変調器203の液晶層216に表示させる）ことができる。その結果、変調パターンに入射し透過するレーザ光Lは、その波面が調整され、そのレーザ光Lを構成する各光線において進行方向に直交する所定方向の成分の位相にずれが生じる。したがって、反射型空間光変調器203に表示させる変調パターンを適宜設定することにより、レーザ光Lが変調（例えば、レーザ光Lの強度、振幅、位相、偏光等が変調）可能となる。

[0039] 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り、第1レンズ241a及び第2レンズ241bを有している。レンズ241a、241b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、且つ集光光学系204とレンズ241bとの距離がレンズ241bの焦点距離 f_2 となり、且つ第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。この4f光学系241によれば、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。

- [0040] 集光光学系204は、レーザ光源202により出射されて反射型空間光変調器203により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。
- [0041] 以上のように構成されたレーザ加工装置300では、レーザ光源202から出射されたレーザ光Lは、筐体231内に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、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によってレーザ光Lの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。
- [0042] 反射型空間光変調器203に入射したレーザ光Lは、液晶層216に表示された変調パターンを透過することにより当該変調パターンに応じて変調され、その後、ミラー206aによって上方に反射され、 $\lambda/2$ 波長板228によって偏光方向が変更され、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。
- [0043] 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。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。そして、レーザ光Lは、ダイクロイックミラー210、238を順次透過して集光光学系204に入射し、ステージ111上に設置された加工対象物1内に集光光学系204によって集光される。
- [0044] また、レーザ加工装置300は、加工対象物1のレーザ光入射面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。
- [0045] 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 のレーザ光入射面で反射された可視光 V L 1 の反射光 V L 2 を受光して検出する検出器 2 1 1 b と、を有している。表面観察ユニット 2 1 1 では、観察用光源 2 1 1 a から出射された可視光 V L 1 が、ミラー 2 0 8 及びダイクロイックミラー 2 0 9, 2 1 0, 2 3 8 で反射・透過され、集光光学系 2 0 4 で加工対象物 1 に向けて集光される。そして、加工対象物 1 のレーザ光入射面で反射された反射光 V L 2 が、集光光学系 2 0 4 で集光されてダイクロイックミラー 2 3 8, 2 1 0 で透過・反射された後、ダイクロイックミラー 2 0 9 を透過して検出器 2 1 1 b にて受光される。

[0046] A F ユニット 2 1 2 は、A F 用レーザ光 L B 1 を出射し、レーザ光入射面で反射された A F 用レーザ光 L B 1 の反射光 L B 2 を受光し検出することで、切断予定ライン 5 に沿ったレーザ光入射面の変位データを取得する。そして、A F ユニット 2 1 2 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 2 3 2 を駆動させ、レーザ光入射面のうねりに沿うように集光光学系 2 0 4 をその光軸方向に往復移動させる。

[0047] 更に、レーザ加工装置 3 0 0 は、当該レーザ加工装置 3 0 0 を制御するためのものとして、C P U、R O M、R A M 等からなる制御部 2 5 0 を備えている。この制御部 2 5 0 は、レーザ光源 2 0 2 を制御し、レーザ光源 2 0 2 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 2 5 0 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 又は裏面 2 1 から所定距離に位置し且つレーザ光 L の集光点 P が切断予定ライン 5 に沿って相対的に移動するように、筐体 2 3 1、ステージ 1 1 1 の位置、及び駆動ユニット 2 3 2 の駆動の少なくとも 1 つを制御する。

[0048] また、制御部 2 5 0 は、改質領域 7 を形成する際、反射型空間光変調器 2 0 3 における各画素電極 2 1 4 に所定電圧を印加し、液晶層 2 1 6 に所定の変調パターンを表示させ、これにより、レーザ光 L を反射型空間光変調器 2 0 3 で所望に変調させる。ここで、液晶層 2 1 6 に表示される変調パターンは、例えば、改質領域 7 を形成しようとする位置、照射するレーザ光 L の波長、加工対象物 1 の材料、及び集光光学系 2 0 4 や加工対象物 1 の屈折率等

に基づいて予め導出され、制御部 250 に記憶されている。この変調パターンは、レーザ加工装置 300 に生じる個体差（例えば、反射型空間光変調器 203 の液晶層 216 に生じる歪）を補正するための個体差補正パターン、球面収差を補正するための球面収差補正パターン等を含んでいる。このように、制御部 250 及び反射型空間光変調器 203 は、加工対象物 1 にレーザ光 L を集光することに起因して集光位置で発生する収差を調整する収差調整部として機能する。

[0049] 以上のように構成されたレーザ加工装置 300 において実施されるレーザ加工方法の対象となる加工対象物 1 は、図 9 に示されるように、例えばシリコン等からなる基板 11 と、基板 11 の表面 11a に形成された複数の機能素子 15 と、を備えている。複数の機能素子 15 は、基板 11 の表面 11a にマトリックス状に配列されており、配線 16 を含んでいる。このように、加工対象物 1 は、その表面（第 1 表面）3 に、配線 16 を含む複数の機能素子 15 が設けられたものである。なお、機能素子 15 は、フォトダイオード等の受光素子、レーザダイオード等の発光素子、或いは回路として形成された回路素子等である。

[0050] レーザ加工装置 300 において実施されるレーザ加工方法は、加工対象物 1 を機能素子 15 ごとに切断することにより複数のチップを製造するチップの製造方法として用いられる。そのため、当該レーザ加工方法では、加工対象物 1 に対して、隣り合う機能素子 15 の間のストリート領域（領域）17 を通るように（加工対象物 1 の厚さ方向から見た場合に、ストリート領域 17 の幅の中心を通るように）複数の切断予定ライン 5 が格子状に設定される。そして、基板 11 の裏面 11b である加工対象物 1 の裏面（第 2 表面）21 から入射させられたレーザ光 L が加工対象物 1 に集光され、各切断予定ライン 5 に沿って加工対象物 1 に改質領域 7 が形成される。

[0051] 以下、レーザ加工装置 300 において実施されるレーザ加工方法について、その背景から説明する。図 10（a）の上段に示されるように、レーザ光 L の集光位置（改質領域の形成を予定する位置）で発生する収差を補正しな

いと、球面収差によってレーザ光Lの光軸に沿って集光領域（レーザ光Lを構成する各光線が集光される領域）が長くなる。一方、図10（b）の上段に示されるように、制御部250及び反射型空間光変調器203を用いてレーザ光Lの集光位置で発生する収差を補正すると、レーザ光Lは集光点Pに集光する。そして、図10（a）及び（b）の下段の加工対象物1の断面写真に示されるように、改質領域の形成時に改質領域からレーザ光Lの入射側及びその反対側に伸展する亀裂の長さは、収差を補正しない場合に比べて収差を補正した場合のほうが長くなる。当該亀裂の長さが長くなることは、加工対象物1を切断するために1本の切断予定ライン5に対して形成すべき改質領域の列数を減らすことができるので、加工に要する時間の短縮化を図る上で有利である。

[0052] しかしながら、レーザ光Lの集光位置で発生する収差を補正すると、図11（a）及び（b）の加工対象物1の平面写真に示されるように、レーザ光Lの入射側とは反対側の加工対象物1の表面3において切断予定ライン5から外れた部分にダメージDが発生する場合があることが分かった。図11（a）及び（b）の加工対象物1の平面写真を得たときの実験条件は、次のとおりである。

1. 加工対象物

（1）厚さ250 μ m、結晶方位（100）のシリコン基板の表面に、厚さ300ÅのAu膜を形成した。

（2）（a）では、切断予定ライン5を覆うようにAu膜を形成し、（b）では、切断予定ライン5に沿って幅15 μ mのストリート領域が形成されるようにAu膜を形成した。

2. レーザ光の照射条件

（1）シリコン基板の裏面をレーザ光入射面として、レーザ光の集光点をシリコン基板の表面（すなわち、シリコン基板とAu膜との界面近傍）に合せ、波長1080nm、繰り返し周波数80kHz、パルス幅500ns、出口出力1.2W、スキャン速度（切断予定ライン5に沿っての集光点の相対

的移動速度) 300 mm/s の条件でレーザ光 L を照射した。

[0053] このようなダメージ D の発生要因を検討する。まず、図 12 に示されるように、ダメージ D は、レーザ光 L の抜け光の幅を超える領域（抜け光の幅の外側の領域）で発生した。このことから、レーザ光 L の抜け光は、ダメージ D の発生要因ではないと考えられる。なお、図 12 の下段は、加工対象物 1 の平面写真である。

[0054] また、図 13 の加工対象物 1 の平面写真に示されるように、改質領域の形成時に改質領域から伸展した亀裂が加工対象物 1 の表面 3 に到達している場合に、多くのダメージ D が発生した。しかも、当該亀裂が加工対象物 1 の表面 3 で蛇行していると、当該亀裂の蛇行に沿ってダメージ D が発生した。これらのことから、改質領域から伸展した亀裂は、ダメージ D の発生要因の 1 つであると考えられる。図 13 の加工対象物 1 の平面写真を得たときの実験条件は、次のとおりである。

1. 加工対象物

(1) 厚さ 250 μm 、結晶方位 (100)、抵抗値 1 $\Omega \cdot \text{cm}$ のシリコン基板の表面に、厚さ 300 $\text{\AA}$ の Au 膜を形成した。

(2) 切断予定ライン 5 を覆うように Au 膜を形成した。

2. レーザ光の照射条件

(1) シリコン基板の裏面をレーザ光入射面として、レーザ光の集光点をシリコン基板の表面（すなわち、シリコン基板と Au 膜との界面近傍）に合せ、波長 1342 nm、繰り返し周波数 90 kHz、パルス幅 90 ns、出口出力 1.27 W、スキャン速度 340 mm/s の条件でレーザ光 L を照射した。

[0055] 更に、図 14 (a) 及び (b) の上段の加工対象物 1 の断面写真に示されるように、切断予定ライン 5 に沿って予め亀裂が形成されていない加工対象物 1、及び切断予定ライン 5 に沿って予め亀裂が形成されている加工対象物 1 を準備し、レーザ光 L の集光位置で発生する収差を補正せずに、切断予定ライン 5 に沿ってそれぞれの加工対象物 1 にレーザ光 L を照射した。その結

果、図14(a)及び(b)の下段の加工対象物1の平面写真に示されるように、加工対象物1に予め亀裂が形成されていない場合に比べて加工対象物1に予め亀裂が形成されている場合のほうが、多くのダメージDが発生した。

[0056] 以上のことから、ダメージDの発生要因として、以下の1～3が挙げられる。

1. 1本の切断予定ライン5に沿って1列の改質領域を形成した後に、当該1本の切断予定ライン5に沿って他の1列の改質領域を形成する場合に、形成済みの1列の改質領域又は当該改質領域から伸展した亀裂に、レーザ光Lの集光位置が重なっていると、レーザ光Lの照射時に、形成済みの1列の改質領域又は当該改質領域から伸展した亀裂が鏡面のように作用し、レーザ光Lの一部について、反射、干涉、回折、散乱等が起こって、当該レーザ光Lの一部が、レーザ光Lの抜け光の幅を超える領域に照射され、その結果、当該レーザ光Lの一部が機能素子15の配線16等で吸収されて、配線16等に溶融が発生する。

2. 前回の1パルスのレーザ照射で形成された改質領域又は当該改質領域から伸展した亀裂に、今回の1パルスのレーザ照射の集光位置が重なっていると、今回の1パルスのレーザ照射時に、前回の1パルスのレーザ照射で形成された改質領域又は当該改質領域から伸展した亀裂が鏡面のように作用し、今回の1パルスのレーザ照射のレーザ光Lの一部について、反射、干涉、回折、散乱等が起こって、当該レーザ光Lの一部が、レーザ光Lの抜け光の幅を超える領域に照射され、その結果、当該レーザ光Lの一部が機能素子15の配線16等で吸収されて、配線16等に溶融が発生する。

3. 前回の1パルスのレーザ照射で形成された改質領域から伸展した亀裂が加工対象物1の表面3又は裏面21に到達した状態で、当該亀裂に集光位置が重なるように、今回の1パルスのレーザ照射が行われると、今回の1パルスのレーザ照射時に、前回の1パルスのレーザ照射で加工対象物1の表面3又は裏面21に到達した亀裂が鏡面のように作用し、今回の1パルスのレー

ザ照射のレーザ光Lの一部について、反射、干渉、回折、散乱等が起こって、当該レーザ光Lの一部が、レーザ光Lの抜け光の幅を超える領域に照射され、その結果、当該レーザ光Lの一部が機能素子15の配線16等で吸収されて、配線16等に溶融が発生する。

[0057] そこで、レーザ加工装置300において実施されるレーザ加工方法では、図15に示されるように、集光位置CP1からレーザ光Lの光軸に沿ってレーザ光Lの入射側に所定距離だけずらした位置CP0で理想集光となるように収差補正した状態（この場合、CP0は理想集光位置となる）で集光位置CP1に集光した際に発生する収差を基準収差として決定する。つまり、集光位置CP1からレーザ光Lの光軸に沿ってレーザ光Lの入射側に所定距離だけ理想集光位置CP0をずらした状態での収差補正量で当該集光位置CP1に集光した場合に発生する収差を基準収差として決定する。この基準収差は、制御部250に設定される。なお、集光位置CP1とは、改質領域の形成を予定する位置であり、例えば、形成を予定する改質領域のうちレーザ光Lの入射側とは反対側の端部の位置に対応する。理想集光位置CP0は、理想集光（すなわち、媒質が無いと仮定した場合の集光状態に近くなるまで収差が軽減された集光状態のこと）をしたレーザ光Lの集光点の位置である。

[0058] そして、レーザ加工装置300において実施されるレーザ加工方法では、レーザ光Lの入射側とは反対側の加工対象物1の表面3に最も近い第1領域に改質領域を形成する場合には、基準収差の基準集光長さよりも長い第1集光長さとなり且つ基準収差の基準集光強度よりも弱い第1集光強度となるように、集光位置CP1で発生する収差を調整する。また、当該レーザ加工方法では、レーザ光Lの入射側の加工対象物1の裏面21に第1領域よりも近い第2領域に改質領域を形成する場合には、基準収差の基準集光長さよりも短い第2集光長さとなり且つ基準収差の基準集光強度よりも強い第2集光強度となるように、集光位置CP1で発生する収差を調整する。これらの収差の調整は、制御部250及び反射型空間光変調器203によって行われる。なお、集光長さとは、レーザ光Lの光軸に沿った集光領域（レーザ光Lを構

成する各光線が集光される領域)の長さである。また、集光強度とは、集光領域における単位面積当たりのレーザ光の強度である。

[0059] 上述した基準収差を実験により検討した。実験条件は、次のとおりである。

1. 加工対象物

(1) 厚さ $250\ \mu\text{m}$ 、結晶方位 (100)、抵抗値 $1\ \Omega \cdot \text{cm}$ のシリコン基板を準備した。

2. レーザ光の照射条件

(1) 下記の表1の条件でレーザ光Lにおける集光位置CP1及び理想集光位置CP0を調整し、波長 $1080\ \text{nm}$ 、繰り返し周波数 $80\ \text{kHz}$ 、パルス幅 $500\ \text{ns}$ 、出口出力 $1.2\ \text{W}$ 、スキャン速度 $300\ \text{mm/s}$ の条件でレーザ光Lを照射した。なお、表1において、「表面」とは、レーザ光Lの入射側とは反対側の加工対象物1の表面3であり、「裏面」とは、レーザ光Lの入射側の加工対象物1の裏面21である。また、「ずれ量」とは、集光位置(すなわち、改質領域を形成するために集光したい位置)から理想集光位置(すなわち、収差補正により理想集光となる集光位置)までの距離であり、集光位置CP1を基準として、理想集光位置CP0がレーザ光Lの入射側にずれている場合を「-」の数値で表し、理想集光位置CP0がレーザ光Lの入射側とは反対側にずれている場合を「+」の数値で表した。

[表1]

No.	裏面から集光位置 までの距離 (μm)	表面から集光位置 までの距離 (μm)	裏面から理想集光位置 までの距離 (μm)	ずれ量 (μm)
1	230	20	58	-172
2	230	20	90	-140
3	230	20	120	-110
4	230	20	158	72
5	230	20	197	-33
6	230	20	235	+5

[0060] この実験の結果、図16及び図17に示されるように、理想集光位置CP0がレーザ光Lの入射側にずれている場合において、ずれ量の絶対値が $110\ \mu\text{m}$ よりも小さくなると、ダメージDの幅が大きくなり、ずれ量の絶対値

が $140\mu\text{m}$ よりも大きくなると、ダメージDの幅が小さくなることが分かった。なお、図17は、加工対象物1の平面写真であり、それぞれ、表1のNo. 1～No. 6の場合の結果である。

[0061] したがって、この場合には、集光位置CP1からレーザ光Lの光軸に沿ってレーザ光Lの入射側に理想集光位置CP0をずらした状態において、ずれ量の絶対値が $110\mu\text{m}$ 以上 $140\mu\text{m}$ 以下になる収差を基準収差として決定すればよい。そして、レーザ光Lの入射側とは反対側の加工対象物1の表面3に最も近い第1領域に改質領域を形成する場合には、基準収差の基準集光長さよりも長い第1集光長さとなり且つ基準収差の基準集光強度よりも弱い第1集光強度となるように、集光位置CP1で発生する収差を調整すればよい。また、レーザ光Lの入射側の加工対象物1の裏面21に第1領域よりも近い第2領域に改質領域を形成する場合には、基準収差の基準集光長さよりも短い第2集光長さとなり且つ基準収差の基準集光強度よりも強い第2集光強度となるように、集光位置CP1で発生する収差を調整すればよい。

[0062] また、図18に示されるように、集光位置CP1からレーザ光Lの光軸に沿ってレーザ光Lの入射側に理想集光位置CP0をずらした状態において、レーザ光Lにおける集光長さは、ずれ量の絶対値が大きくなるほど長くなり、レーザ光Lにおける集光強度は、ずれ量の絶対値が大きくなるほど弱くなる。このことから、レーザ光Lの入射側とは反対側の加工対象物1の表面3に最も近い第1領域に改質領域を形成する場合には、基準収差の基準ずれ量よりも長い第1ずれ量となるように、集光位置CP1で発生する収差を調整すればよいともいえる。また、レーザ光Lの入射側の加工対象物1の裏面21に第1領域よりも近い第2領域に改質領域を形成する場合には、基準収差の基準ずれ量よりも短い第2ずれ量となるように、集光位置CP1で発生する収差を調整すればよいともいえる。

[0063] 次に、上述した第1領域及び第2領域を実験により検討した。実験条件は、次のとおりである。

1. 加工対象物

(1) 厚さ $250\text{ }\mu\text{m}$ 、結晶方位 (100)、抵抗値 $1\text{ }\Omega\cdot\text{cm}$ のシリコン基板を準備した。

2. レーザ光の照射条件

(1) 図19に示される条件でレーザ光Lにおける集光位置CP1及び理想集光位置CP0を調整し、波長 1080 nm 、繰り返し周波数 80 kHz 、パルス幅 500 ns 、出口出力 1.2 W 、スキャン速度 300 mm/s の条件でレーザ光Lを照射した。なお、図19において、「表面」とは、レーザ光Lの入射側とは反対側の加工対象物1の表面3である。また、「第1加工条件」とは、基準収差の基準集光長さよりも長い第1集光長さとなり且つ基準収差の基準集光強度よりも弱い第1集光強度となるように、集光位置CP1で発生する収差を調整した条件であり、「第2加工条件」とは、基準収差の基準集光長さよりも短い第2集光長さとなり且つ基準収差の基準集光強度よりも強い第2集光強度となるように、集光位置CP1で発生する収差を調整した条件である。

[0064] この実験の結果、図19に示されるように、第2加工条件では、加工対象物1の表面3から集光位置CP1までの距離が $0\text{ }\mu\text{m}$ の場合、及び当該距離が $20\text{ }\mu\text{m}$ の場合には、ダメージD（すなわち、加工対象物1の表面3において切断予定ライン5から外れた部分に発生するダメージ）が発生し、加工対象物1の表面3から集光位置CP1までの距離が $60\text{ }\mu\text{m}$ の場合には、ダメージDが発生しなかった。また、第1加工条件では、いずれの場合にも、ダメージDが発生しなかった。なお、図19は、加工対象物1の平面写真である。

[0065] したがって、レーザ光Lの入射側とは反対側の加工対象物1の表面3に最も近い第1領域に改質領域を形成する場合には、第1加工条件（すなわち、基準収差の基準集光長さよりも長い第1集光長さとなり且つ基準収差の基準集光強度よりも弱い第1集光強度となるように、集光位置CP1で発生する収差を調整した条件）を採用し、第1領域を、加工対象物1の表面3からの距離が $60\text{ }\mu\text{m}$ 以下の領域に設定すればよい。また、レーザ光Lの入射側の

加工対象物 1 の裏面 2 1 に第 1 領域よりも近い第 2 領域に改質領域を形成する場合には、第 2 加工条件（すなわち、基準収差の基準集光長さよりも短い第 2 集光長さとなり且つ基準収差の基準集光強度よりも強い第 2 集光強度となるように、集光位置 C P 1 で発生する収差を調整した条件）を採用し、第 2 領域を、加工対象物 1 の表面 3 からの距離が $40\ \mu\text{m}$ 以上の領域に設定すればよい。

[0066] 以上により、レーザ加工装置 300 において実施されるレーザ加工方法では、まず、図 20 (a) に示されるように、基準収差の基準集光長さよりも長い第 1 集光長さとなり且つ基準収差の基準集光強度よりも弱い第 1 集光強度となるように収差を調整して、加工対象物 1 にレーザ光 L を集光することにより、レーザ光 L の入射側とは反対側の加工対象物 1 の表面 3 に最も近い第 1 領域に改質領域 7 を形成する（第 1 工程）。続いて、図 20 (b) に示されるように、基準収差の基準集光長さよりも短い第 2 集光長さとなり且つ基準収差の基準集光強度よりも強い第 2 集光強度となるように収差を調整して、加工対象物 1 にレーザ光 L を集光することにより、レーザ光 L の入射側の加工対象物 1 の裏面 2 1 に第 1 領域よりも近い第 2 領域に改質領域 7 を形成する（第 2 工程）。

[0067] なお、第 1 領域は、第 1 領域に改質領域 7 を形成した際に当該改質領域 7 からレーザ光 L の入射側とは反対側に伸展する亀裂が加工対象物 1 の表面 3 に到達しないように設定される。また、第 2 領域は、第 1 領域に改質領域 7 を形成した際に当該改質領域 7 からレーザ光 L の入射側に伸展した亀裂と重ならないように設定される。

[0068] その後、加工対象物 1 の裏面 2 1 にエキスパンドテープを貼り付け、当該エキスパンドテープを拡張させる。これにより、切断予定ライン 5 に沿って形成された改質領域 7 から加工対象物 1 の厚さ方向に伸展した亀裂を、加工対象物 1 の表面 3 及び裏面 2 1 に到達させて、切断予定ライン 5 に沿って加工対象物 1 を機能素子 15 ごとに切断することにより、複数のチップを得る。

- [0069] 以上、説明したように、レーザ加工装置300、及びレーザ加工装置300において実施されるレーザ加工方法では、集光位置CP1からレーザ光Lの光軸に沿ってレーザ光Lの入射側に所定距離だけ理想集光位置CP0をずらした状態において当該集光位置CP1で発生する収差を基準収差とし、基準収差の基準集光長さよりも長い第1集光長さとなり且つ基準収差の基準集光強度よりも弱い第1集光強度となるように収差を調整して、加工対象物1にレーザ光を集光することにより、レーザ光Lの入射側とは反対側の加工対象物1の表面3に最も近い第1領域に改質領域7を形成する。これにより、レーザ光Lの入射側とは反対側の加工対象物1の表面3において切断予定ライン5から外れた部分にダメージDが発生するのを抑制することができる。
- [0070] また、基準収差の基準集光長さよりも短い第2集光長さとなり且つ基準収差の基準集光強度よりも強い第2集光強度となるように収差を調整して、加工対象物1にレーザ光を集光することにより、レーザ光Lの入射側の加工対象物1の裏面21に第1領域よりも近い第2領域に改質領域7を形成する。これにより、第2領域に形成された改質領域7から表面3側及び裏面21側に伸展する亀裂の長さを長くして、加工に要する時間の短縮化を図ることができる。
- [0071] また、加工対象物1の表面3に、配線16を含む複数の機能素子15が設けられており、切断予定ライン5が、隣り合う機能素子15の間のストリート領域17を通るように設定されている。これにより、機能素子15に含まれる配線16にダメージDが発生するのを抑制することができる。
- [0072] また、基準収差の基準集光長さよりも長い第1集光長さとなり且つ基準収差の基準集光強度よりも弱い第1集光強度となるように収差が調整される第1領域が、加工対象物1の表面3からの距離が60 μ m以下の領域に設定される。これにより、加工対象物1の表面3において切断予定ライン5から外れた部分にダメージDが発生するのをより確実に抑制することができると共に、第1領域に形成された改質領域7から加工対象物1の表面3側に伸展する亀裂を切断予定ライン5に沿って精度良く加工対象物1の表面3に到達さ

せることができる。

[0073] また、基準収差の基準集光長さよりも短い第2集光長さとなり且つ基準収差の基準集光強度よりも強い第2集光強度となるように収差が調整される第2領域が、加工対象物1の表面3からの距離が40 μm 以上の領域に設定される。これにより、加工対象物1の表面3において切断予定ライン5から外れた部分にダメージDが発生するのをより確実に抑制することができると共に、第2領域に形成された改質領域7から表面3側及び裏面21側に伸展する亀裂の長さを長くすることができる。

[0074] また、集光位置CP1からレーザ光Lの光軸に沿ってレーザ光Lの入射側に所定距離だけ理想集光位置CP0をずらした状態での収差補正量で当該集光位置CP1に集光した場合に発生する収差を基準収差として決定する際に、当該所定距離を110 μm 以上140 μm 以下とする。これにより、基準収差を適切に設定することができる。

[0075] また、第1領域に改質領域7を形成した際に当該改質領域7からレーザ光Lの入射側とは反対側に伸展する亀裂が加工対象物1の表面3に到達しないように、第1領域が設定される。また、第1領域に改質領域7を形成した際に当該改質領域7からレーザ光Lの入射側に伸展した亀裂と重ならないように、第2領域が設定される。これらにより、第2領域に改質領域7を形成する際に、形成済みの亀裂が鏡面のように作用することが抑制されるため、加工対象物1の表面3において切断予定ライン5から外れた部分にダメージDが発生するのをより確実に抑制することができる。

[0076] なお、反射型空間光変調器203の液晶層216に変調パターンとしてアキシコンレンズパターンを表示させてレーザ光Lを変調しても、図21に示されるように、ずれ量（すなわち、集光位置CP1からレーザ光Lの光軸に沿ってレーザ光Lの入射側に理想集光位置CP0をずらした状態における「集光位置から理想集光位置までの距離」）を長くする場合と同様、基準収差の基準集光長さよりも長い第1集光長さとなり且つ基準収差の基準集光強度よりも弱い第1集光強度となるように収差を調整することができる。

[0077] 図22は、球面収差補正パターンを利用した実施例の結果と球面収差補正パターンを利用しなかった比較例の結果との対比を示す図である。図22(a)の上段が実施例による加工対象物1の断面写真であり、図22(a)の下段が実施例による加工対象物1の平面写真である。また、図22(b)の上段が比較例による加工対象物1の断面写真であり、図22(b)の下段が比較例による加工対象物1の平面写真である。実験条件は、次のとおりである。

1. 加工対象物

(1) 厚さ250 μ mのシリコン基板を準備した。

2. レーザ光の照射条件

(1) 下記の表2に示される条件でレーザ光Lにおける集光位置CP1及び理想集光位置CP0を調整し、波長1080nm、繰り返し周波数92kHz、パルス幅500ns、加工エネルギー15 μ J、スキャン速度345mm/sの条件でレーザ光Lを照射した。なお、表2において、「裏面」とは、レーザ光Lの入射側の加工対象物1の裏面21である。また、「ずれ量」とは、集光位置から理想集光位置までの距離であり、集光位置CP1を基準として、理想集光位置CP0がレーザ光Lの入射側にずれている場合を「-」の数値で表し、理想集光位置CP0がレーザ光Lの入射側とは反対側にずれている場合を「+」の数値で表した。

[表2]

	改質領域	裏面から集光位置までの距離 (μ m)	裏面から理想集光位置までの距離 (μ m)	ずれ量 (μ m)
実施例	SD3	70	70	0
	SD2	190	190	0
	SD1	230	58	-172
比較例	SD3	70	70	0
	SD2	190	190	0
	SD1	230	230	0

[0078] この実験の結果、球面収差補正パターンを利用した実施例では、図22(a)の下段に示されるように、加工対象物1の表面3において切断予定ライン5から外れた部分にダメージDが発生しなかった。一方、球面収差補正パ

ターンを利用しなかった比較例では、図 2 2 (b) の下段に示されるように、加工対象物 1 の表面 3 において切断予定ライン 5 から外れた部分にダメージ D が発生した。

[0079] 図 2 3 は、アキシコンレンズパターンを利用した実施例の結果とアキシコンレンズパターンを利用しなかった比較例の結果との対比を示す図である。図 2 3 (a) の上段が実施例による加工対象物 1 の断面写真であり、図 2 3 (a) の下段が実施例による加工対象物 1 の平面写真である。また、図 2 3 (b) の上段が比較例による加工対象物 1 の断面写真であり、図 2 3 (b) の下段が比較例による加工対象物 1 の平面写真である。実験条件は、次のとおりである。

1. 加工対象物

(1) 厚さ $250\ \mu\text{m}$ のシリコン基板を準備した。

2. レーザ光の照射条件

(1) 下記の表 3 に示される条件でレーザ光 L における集光位置 CP1 及び理想集光位置 CP0 を調整し、波長 $1080\ \text{nm}$ 、繰り返し周波数 $92\ \text{kHz}$ 、パルス幅 $500\ \text{ns}$ 、加工エネルギー $15\ \mu\text{J}$ 、スキャン速度 $345\ \text{mm/s}$ の条件でレーザ光 L を照射した。なお、表 3 において、「裏面」とは、レーザ光 L の入射側の加工対象物 1 の裏面 21 である。また、「ずれ量」とは、集光位置から理想集光位置までの距離である。

[表3]

	改質領域	裏面から集光位置 までの距離 (μm)	裏面から理想集光位置 までの距離 (μm)	ずれ量 (μm)
実施例	SD3	70	70	0
	SD2	190	190	0
	SD1	230	230	0 ※ただし、アキシコン レンズパターンを利用
比較例	SD3	70	70	0
	SD2	190	190	0
	SD1	230	230	0

[0080] この実験の結果、アキシコンパターンを利用した実施例では、図 2 3 (a) の下段に示されるように、加工対象物 1 の表面 3 において切断予定ライン

5 から外れた部分にダメージDが発生しなかった。一方、球面収差補正パターンを利用しなかった比較例では、図23 (b) の下段に示されるように、加工対象物1の表面3において切断予定ライン5から外れた部分にダメージDが発生した。

[0081] 図24は、エネルギーを調整した参考例の結果を示す図であり、加工対象物1の断面写真である。実験条件は、次のとおりである。

1. 加工対象物

(1) 厚さ300 μm のシリコン基板を準備した。

2. レーザ光の照射条件

(1) 下記の表4に示される条件でレーザ光Lにおける集光位置CP1及び理想集光位置CP0並びに加工エネルギーを調整し、波長1342 nm、繰り返し周波数60 kHz、パルス幅60 ns、スキャン速度340 mm/sの条件でレーザ光Lを照射した。なお、表4において、「裏面」とは、レーザ光Lの入射側の加工対象物1の裏面21である。また、「ずれ量」とは、集光位置から理想集光位置までの距離である。

[表4]

	改質領域	裏面から集光位置 までの距離 (μm)	裏面から理想集光位置 までの距離 (μm)	ずれ量 (μm)	加工エネルギー (μJ)
参考例1	SD3	100	100	0	10
	SD2	180	180	0	10
	SD1	260	260	0	10

[0082] この実験の結果、加工対象物1の表面3において切断予定ライン5から外れた部分にダメージDが発生するのを抑制するためには、以下の事項が有効であるといえる。

(1) 第1領域（レーザ光Lの入射側とは反対側の加工対象物1の表面3に最も近い第1領域）に改質領域7を形成するための加工エネルギーを、第2領域（レーザ光Lの入射側の加工対象物1の裏面21に第1領域よりも近い第2領域）に改質領域7を形成するための加工エネルギーに比べ、小さくすること。

(2) 第1領域に改質領域7を形成するための加工エネルギーを10 μm 以

下にすること。

(3) 第1領域に形成された改質領域7と第2領域に形成された改質領域7との間に黒筋が形成されること(図24参照)。

(4) 第1領域に形成された改質領域7と第2領域に形成された改質領域7とが60 μ m以上離れること。

(5) 第1領域に改質領域7を形成した際に、当該改質領域7から伸展した亀裂が加工対象物1の表面3に到達せず、第2領域に改質領域7を形成した際に、亀裂が加工対象物1の表面3に到達すること。

[0083] 最後に、改質領域7の形成順序について説明する。図25(a)に示されるように、切断予定ライン5に沿って第1領域に改質領域7を形成し、その後、図25(b)に示されるように、切断予定ライン5に沿って第2領域に改質領域7を形成し、その後、加工対象物1の裏面21に貼り付けられたエキスパンドテープを拡張させることにより、図25(c)に示されるように、切断予定ライン5に沿って形成された改質領域7から加工対象物1の厚さ方向に伸展した亀裂を、加工対象物1の表面3及び裏面21に到達させてもよい。この場合、第2領域に改質領域7を形成した時点では、第1領域に形成された改質領域から伸展した亀裂と、第2領域に形成された改質領域から伸展した亀裂とが繋がっていない。なお、改質領域7から加工対象物1の厚さ方向に伸展した亀裂は、第2領域に改質領域7を形成している最中からエキスパンドテープを拡張させる前までに、加工対象物1の表面3及び裏面21に到達する場合がある。

[0084] また、図26(a)に示されるように、切断予定ライン5に沿って第1領域に改質領域7を形成し、その後、図26(b)に示されるように、切断予定ライン5に沿って第2領域に改質領域7を形成し、その後、加工対象物1の裏面21に貼り付けられたエキスパンドテープを拡張させることにより、図26(c)に示されるように、切断予定ライン5に沿って形成された改質領域7から加工対象物1の厚さ方向に伸展した亀裂を、加工対象物1の表面3及び裏面21に到達させてもよい。この場合、第2領域に改質領域7を形成

した時点で、第1領域に形成された改質領域から伸展した亀裂と、第2領域に形成された改質領域から伸展した亀裂とが繋がっている。なお、改質領域7から加工対象物1の厚さ方向に伸展した亀裂は、第2領域に改質領域7を形成している最中からエキスパンドテープを拡張させる前までに、加工対象物1の表面3及び裏面21に到達する場合がある。

[0085] また、反射型空間光変調器203を用いて、レーザ光Lを第1領域と第2領域とに分けて同時に集光し、図27(a)に示されるように、切断予定ライン5に沿って第1領域及び第2領域に改質領域7を同時に形成し、その後、加工対象物1の裏面21に貼り付けられたエキスパンドテープを拡張させることにより、図27(b)に示されるように、切断予定ライン5に沿って形成された改質領域7から加工対象物1の厚さ方向に伸展した亀裂を、加工対象物1の表面3及び裏面21に到達させてもよい。この場合、第1領域及び第2領域に改質領域7を形成した時点では、第1領域に形成された改質領域から伸展した亀裂と、第2領域に形成された改質領域から伸展した亀裂とが繋がっていない。なお、改質領域7から加工対象物1の厚さ方向に伸展した亀裂は、第1領域及び第2領域に改質領域7を形成している最中からエキスパンドテープを拡張させる前までに、加工対象物1の表面3及び裏面21に到達する場合がある。

[0086] また、反射型空間光変調器203を用いて、レーザ光Lを第1領域と第2領域とに分けて同時に集光し、図28(a)に示されるように、切断予定ライン5に沿って第1領域及び第2領域に改質領域7を同時に形成し、その後、加工対象物1の裏面21に貼り付けられたエキスパンドテープを拡張させることにより、図28(b)に示されるように、切断予定ライン5に沿って形成された改質領域7から加工対象物1の厚さ方向に伸展した亀裂を、加工対象物1の表面3及び裏面21に到達させてもよい。この場合、第1領域及び第2領域に改質領域7を形成した時点で、第1領域に形成された改質領域から伸展した亀裂と、第2領域に形成された改質領域から伸展した亀裂とが繋がっている。なお、改質領域7から加工対象物1の厚さ方向に伸展した亀裂

は、第1領域及び第2領域に改質領域7を形成している最中からエキスパンドテープを拡張させる前までに、加工対象物1の表面3及び裏面21に到達する場合がある。

[0087] 以上、本発明の一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、1本の切断予定ライン5に対して1列の改質領域7を形成する場合であっても、レーザ光Lの入射側とは反対側の加工対象物の表面3からの距離が所定距離以下の第1領域に改質領域7を形成するときには、基準収差の基準集光長さよりも長い第1集光長さとなり且つ基準収差の基準集光強度よりも弱い第1集光強度となるように収差を調整すれば、加工対象物1の表面3において切断予定ライン5から外れた部分にダメージDが発生するのを抑制することができる。

[0088] また、加工対象物1の構成及び材料は、上述したものに限定されない。一例として、基板11は、シリコン基板以外の半導体基板、サファイア基板、SiC基板、ガラス基板（強化ガラス基板）、透明絶縁基板等であってもよい。

産業上の利用可能性

[0089] 本発明によれば、レーザ光の入射側とは反対側の加工対象物の表面において切断予定ラインから外れた部分にダメージが発生するのを抑制することができるレーザ加工装置及びレーザ加工方法を提供することが可能となる。

符号の説明

[0090] 1…加工対象物、3…表面（第1表面）、5…切断予定ライン、7…改質領域、15…機能素子、16…配線、17…ストリート領域（領域）、21…裏面（第2表面）、202…レーザ光源、203…反射型空間光変調器（収差調整部）、204…集光光学系、250…制御部（収差調整部）、300…レーザ加工装置、L…レーザ光、CP1…集光位置、CP0…理想集光位置。

請求の範囲

- [請求項1] 加工対象物にレーザ光を集光することにより、切断予定ラインに沿って前記加工対象物に改質領域を形成するレーザ加工装置であって、
 前記レーザ光を出射するレーザ光源と、
 前記レーザ光源により出射された前記レーザ光を前記加工対象物に集光する集光光学系と、
 前記加工対象物に前記レーザ光を集光することに起因して集光位置で発生する収差を調整する収差調整部と、を備え、
 前記収差調整部は、
 前記集光位置から前記レーザ光の光軸に沿って前記レーザ光の入射側に所定距離だけ理想集光位置をずらした状態での収差補正量で当該集光位置に集光した場合に発生する前記収差を基準収差として、
 前記レーザ光の入射側とは反対側の前記加工対象物の第1表面に最も近い第1領域に前記改質領域を形成する場合には、前記基準収差の基準集光長さよりも長い第1集光長さとなり且つ前記基準収差の基準集光強度よりも弱い第1集光強度となるように前記収差を調整し、
 前記レーザ光の入射側の前記加工対象物の第2表面に前記第1領域よりも近い第2領域に前記改質領域を形成する場合には、前記基準集光長さよりも短い第2集光長さとなり且つ前記基準集光強度よりも強い第2集光強度となるように前記収差を調整する、レーザ加工装置。
- [請求項2] 前記第1表面には、配線を含む複数の機能素子が設けられており、
 前記切断予定ラインは、隣り合う前記機能素子の間の領域を通るように設定される、請求項1記載のレーザ加工装置。
- [請求項3] 前記第1領域は、前記第1表面からの距離が $60\mu\text{m}$ 以下の領域に設定される、請求項1又は2記載のレーザ加工装置。
- [請求項4] 前記第2領域は、前記第1表面からの距離が $40\mu\text{m}$ 以上の領域に設定される、請求項1又は2記載のレーザ加工装置。
- [請求項5] 前記所定距離は、 $110\mu\text{m}$ 以上 $140\mu\text{m}$ 以下である、請求項1

～4のいずれか一項記載のレーザ加工装置。

[請求項6]

加工対象物にレーザ光を集光することにより、切断予定ラインに沿って前記加工対象物に改質領域を形成するレーザ加工装置であって、

前記レーザ光を出射するレーザ光源と、

前記レーザ光源により出射された前記レーザ光を前記加工対象物に集光する集光光学系と、

前記加工対象物に前記レーザ光を集光することに起因して集光位置で発生する収差を調整する収差調整部と、を備え、

前記収差調整部は、

前記集光位置から前記レーザ光の光軸に沿って前記レーザ光の入射側に所定距離だけ理想集光位置をずらした状態での収差補正量で当該集光位置に集光した場合に発生する前記収差を基準収差として、

前記レーザ光の入射側とは反対側の前記加工対象物の第1表面からの距離が所定距離以下の第1領域に前記改質領域を形成する場合には、前記基準収差の基準集光長さよりも長い第1集光長さとなり且つ前記基準収差の基準集光強度よりも弱い第1集光強度となるように前記収差を調整する、レーザ加工装置。

[請求項7]

加工対象物にレーザ光を集光することにより、切断予定ラインに沿って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、

前記加工対象物に前記レーザ光を集光することに起因して集光位置で発生する収差を調整して、前記加工対象物に前記レーザ光を集光することにより、前記レーザ光の入射側とは反対側の前記加工対象物の第1表面に最も近い第1領域に前記改質領域を形成する第1工程と、

前記集光位置で発生する前記収差を調整して、前記加工対象物に前記レーザ光を集光することにより、前記レーザ光の入射側の前記加工対象物の第2表面に前記第1領域よりも近い第2領域に前記改質領域を形成する第2工程と、を含み、

前記第1工程においては、前記集光位置から前記レーザ光の光軸に

沿って前記レーザ光の入射側に所定距離だけ理想集光位置をずらした状態での収差補正量で当該集光位置に集光した場合に発生する基準収差の基準集光長さよりも長い第1集光長さとなり且つ前記基準収差の基準集光強度よりも弱い第1集光強度となるように前記収差を調整し、

前記第2工程においては、前記基準集光長さよりも短い第2集光長さとなり且つ前記基準集光強度よりも強い第2集光強度となるように前記収差を調整する、レーザ加工方法。

[請求項8] 前記第1表面には、配線を含む複数の機能素子が設けられており、前記切断予定ラインは、隣り合う前記機能素子の間の領域を通るように設定される、請求項7記載のレーザ加工方法。

[請求項9] 前記第1領域は、前記第1表面からの距離が $60\mu\text{m}$ 以下の領域に設定される、請求項7又は8記載のレーザ加工方法。

[請求項10] 前記第2領域は、前記第1表面からの距離が $40\mu\text{m}$ 以上の領域に設定される、請求項7又は8記載のレーザ加工方法。

[請求項11] 前記所定距離は、 $110\mu\text{m}$ 以上 $140\mu\text{m}$ 以下である、請求項7～10のいずれか一項記載のレーザ加工方法。

[請求項12] 前記第1工程を実施した後に前記第2工程を実施する場合には、前記第1領域は、前記第1工程において前記改質領域から前記レーザ光の入射側とは反対側に伸展する亀裂が前記第1表面に到達しないように設定される、請求項7～11のいずれか一項記載のレーザ加工方法。

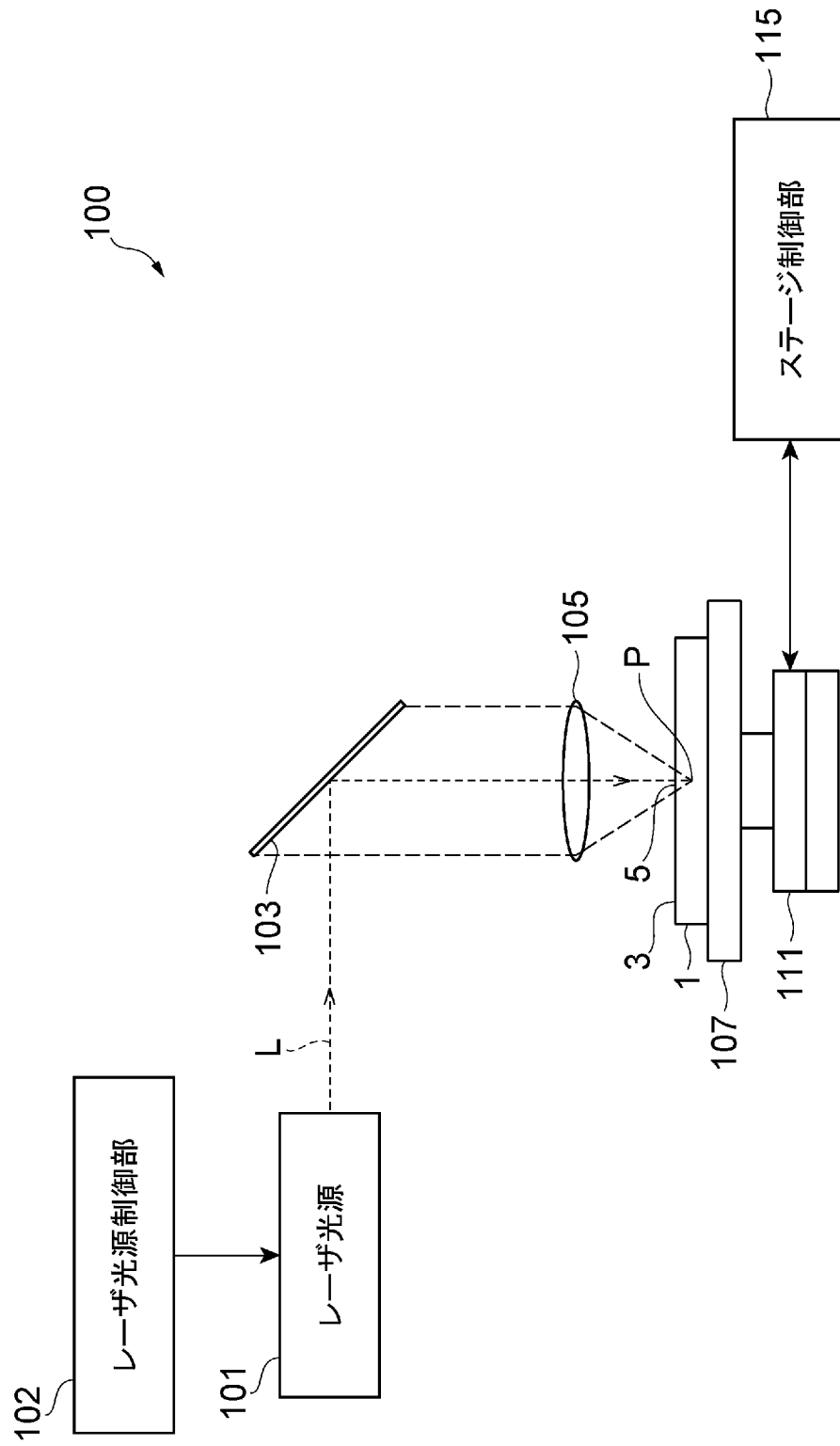
[請求項13] 前記第1工程を実施した後に前記第2工程を実施する場合には、前記第2領域は、前記第1工程において前記改質領域から前記レーザ光の入射側に伸展した亀裂と重ならないように設定される、請求項7～12のいずれか一項記載のレーザ加工方法。

[請求項14] 加工対象物にレーザ光を集光することにより、切断予定ラインに沿って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、

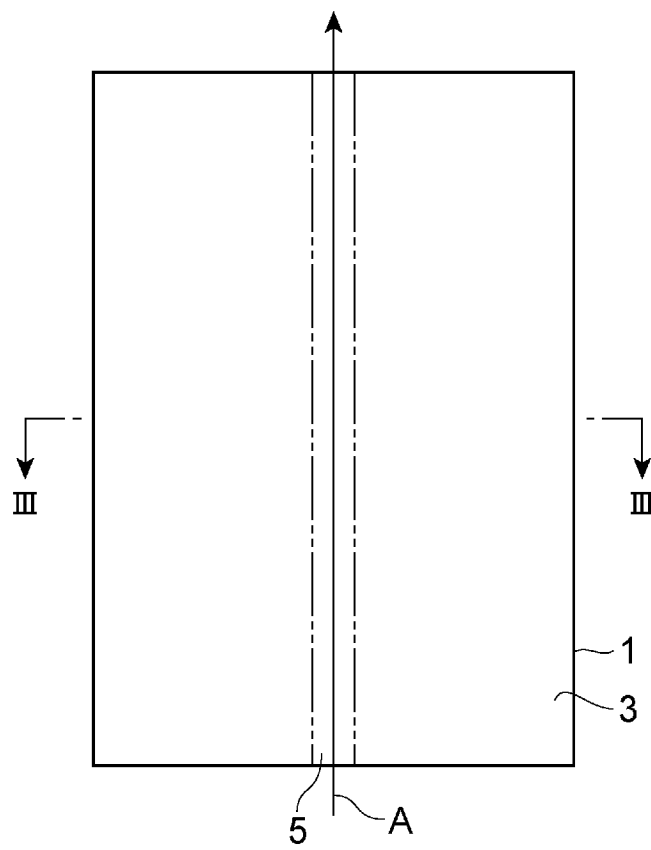
前記加工対象物に前記レーザ光を集光することに起因して集光位置で発生する収差を調整して、前記加工対象物に前記レーザ光を集光することにより、前記レーザ光の入射側とは反対側の前記加工対象物の第1表面からの距離が所定距離以下の第1領域に前記改質領域を形成する第1工程を含み、

前記第1工程においては、前記集光位置から前記レーザ光の光軸に沿って前記レーザ光の入射側に所定距離だけ理想集光位置をずらした状態での収差補正量で当該集光位置に集光した場合に発生する基準収差の基準集光長さよりも長い第1集光長さとなり且つ前記基準収差の基準集光強度よりも弱い第1集光強度となるように前記収差を調整する、レーザ加工方法。

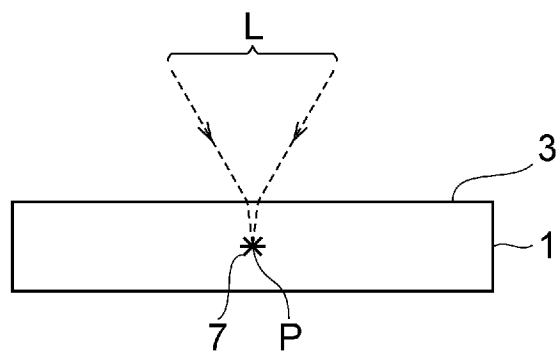
[図1]



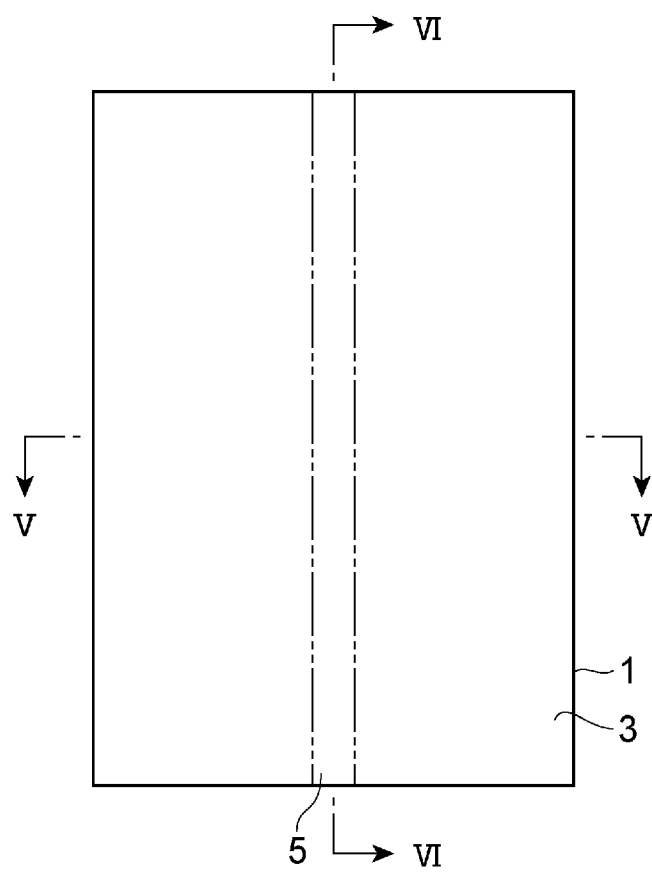
[図2]



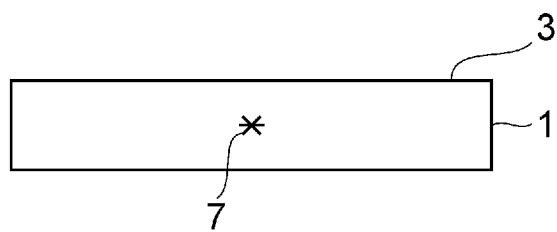
[図3]



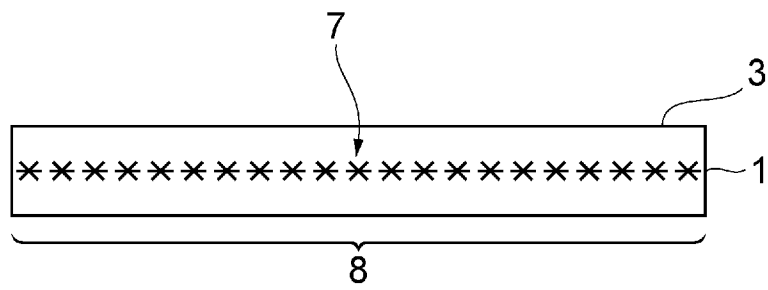
[図4]



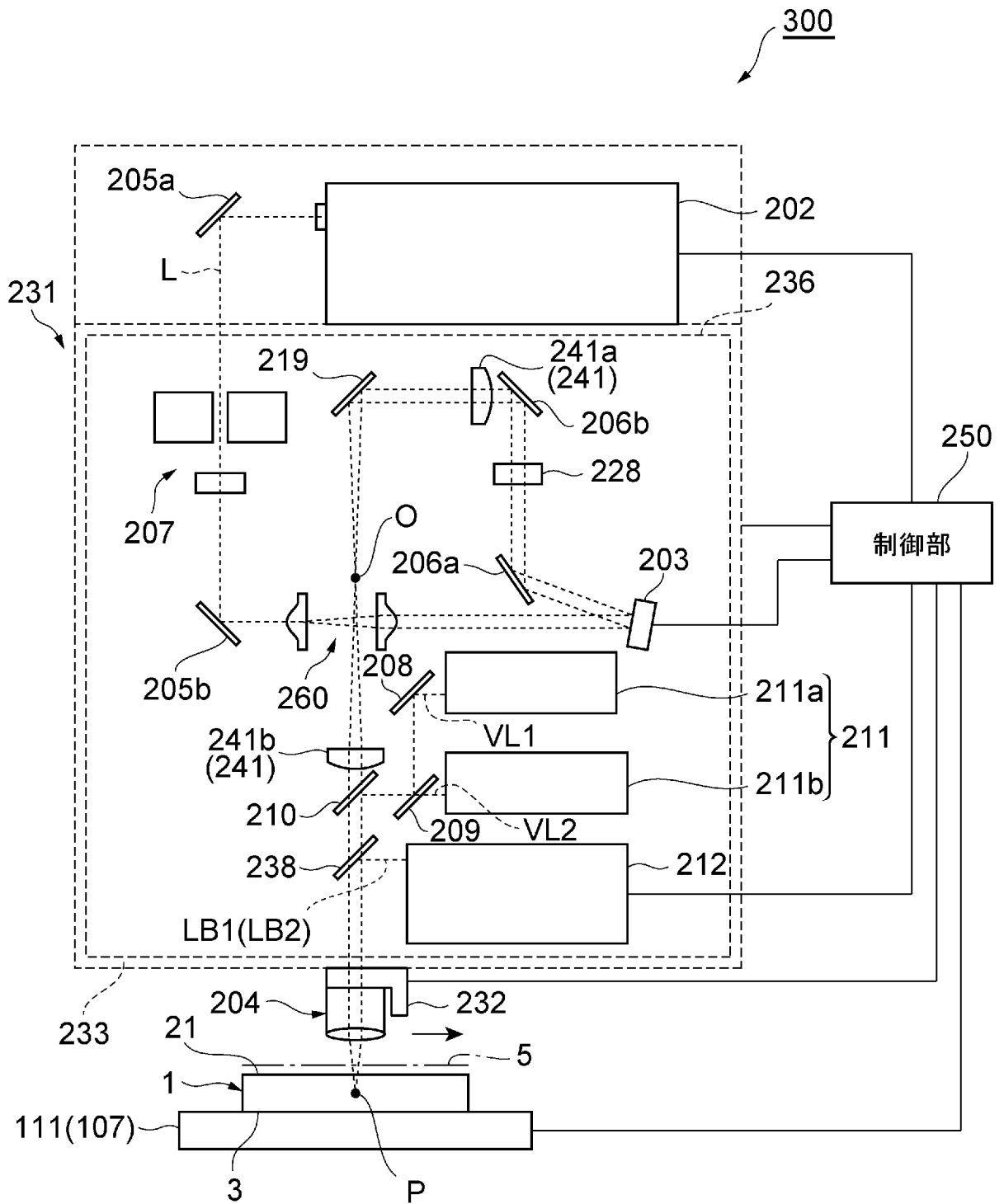
[図5]



[図6]



[図7]



[図8]

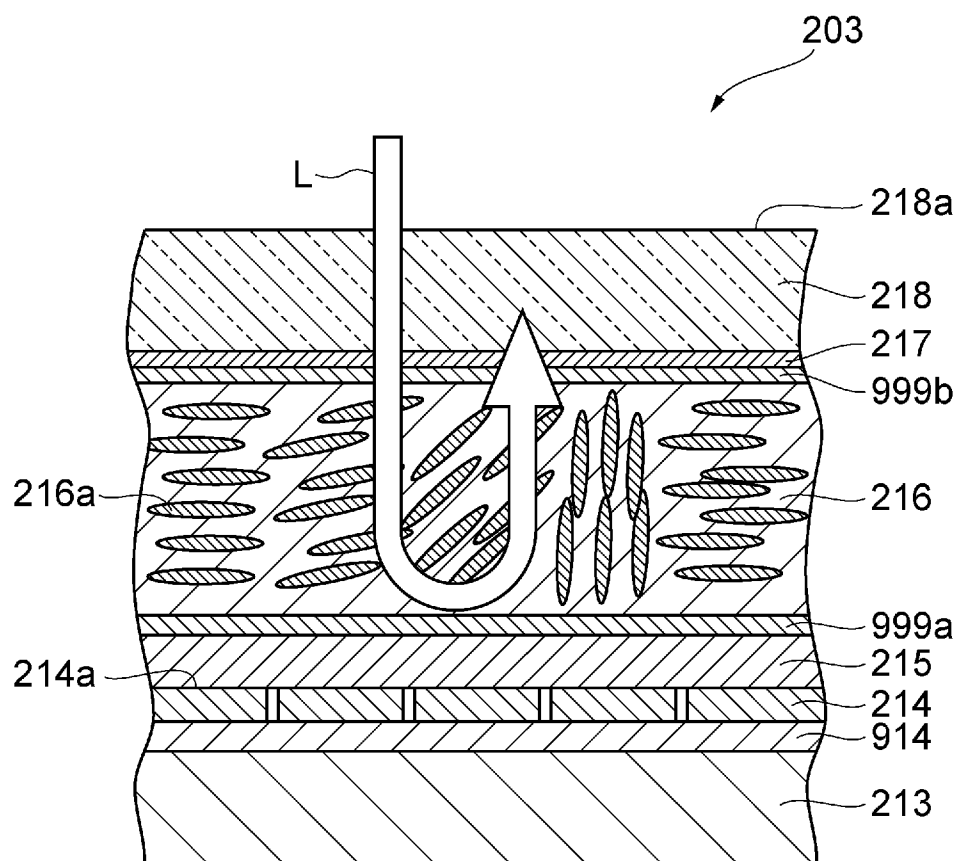
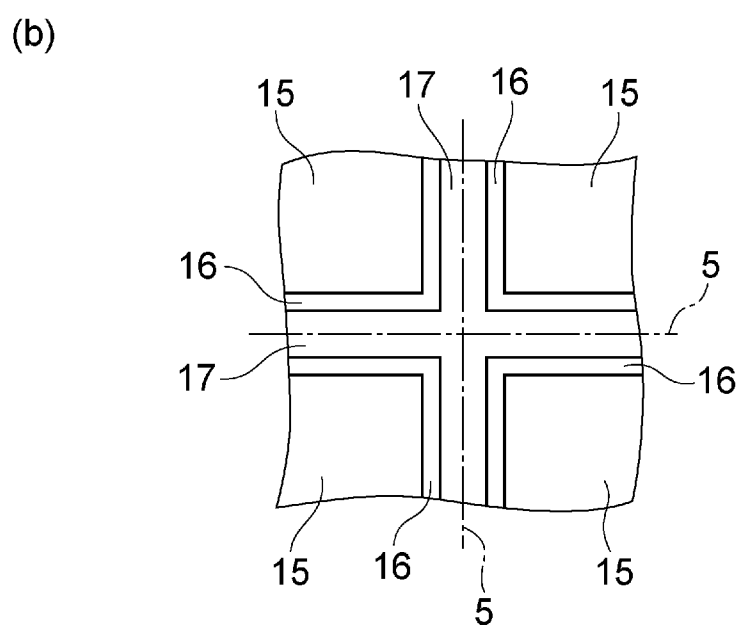
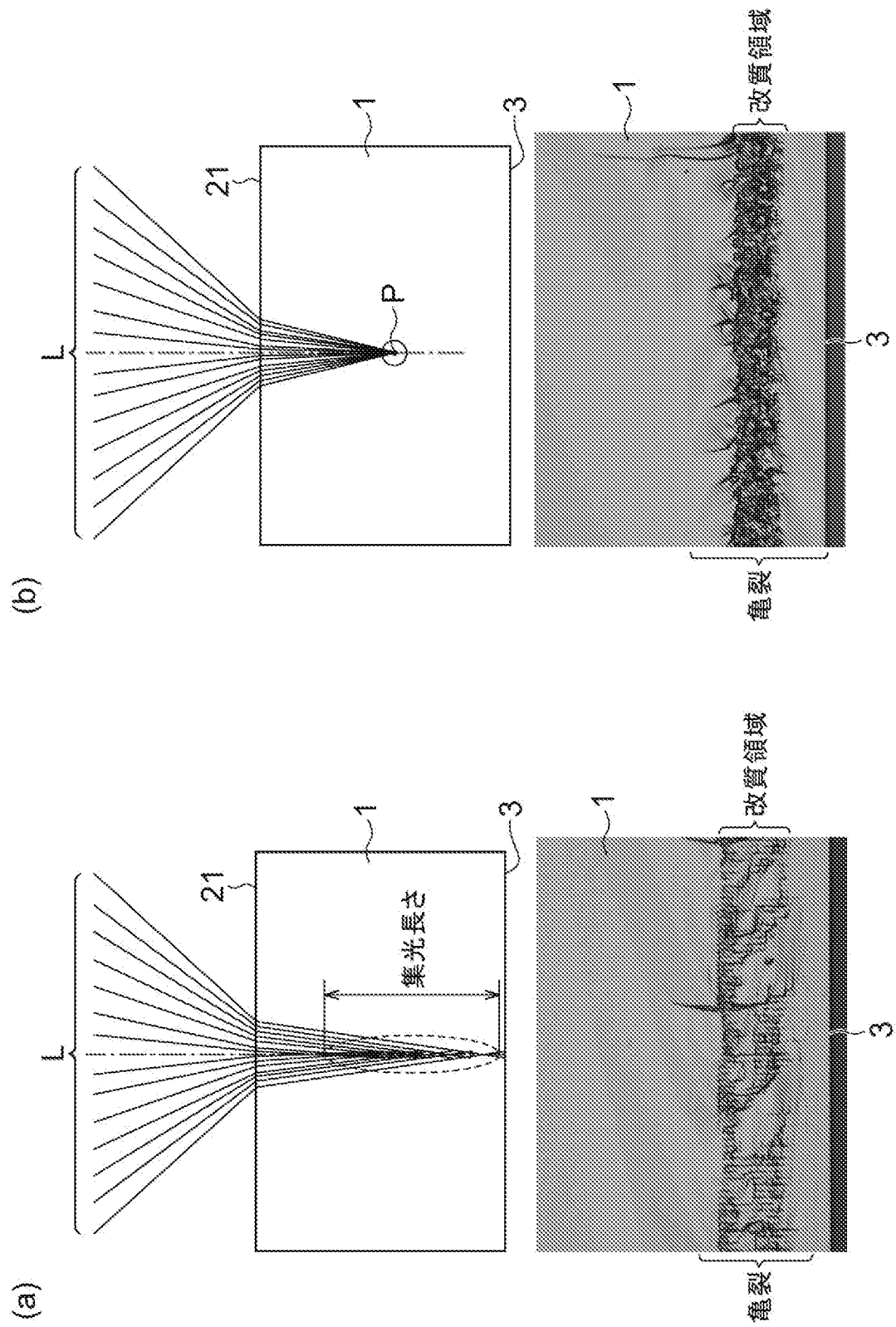


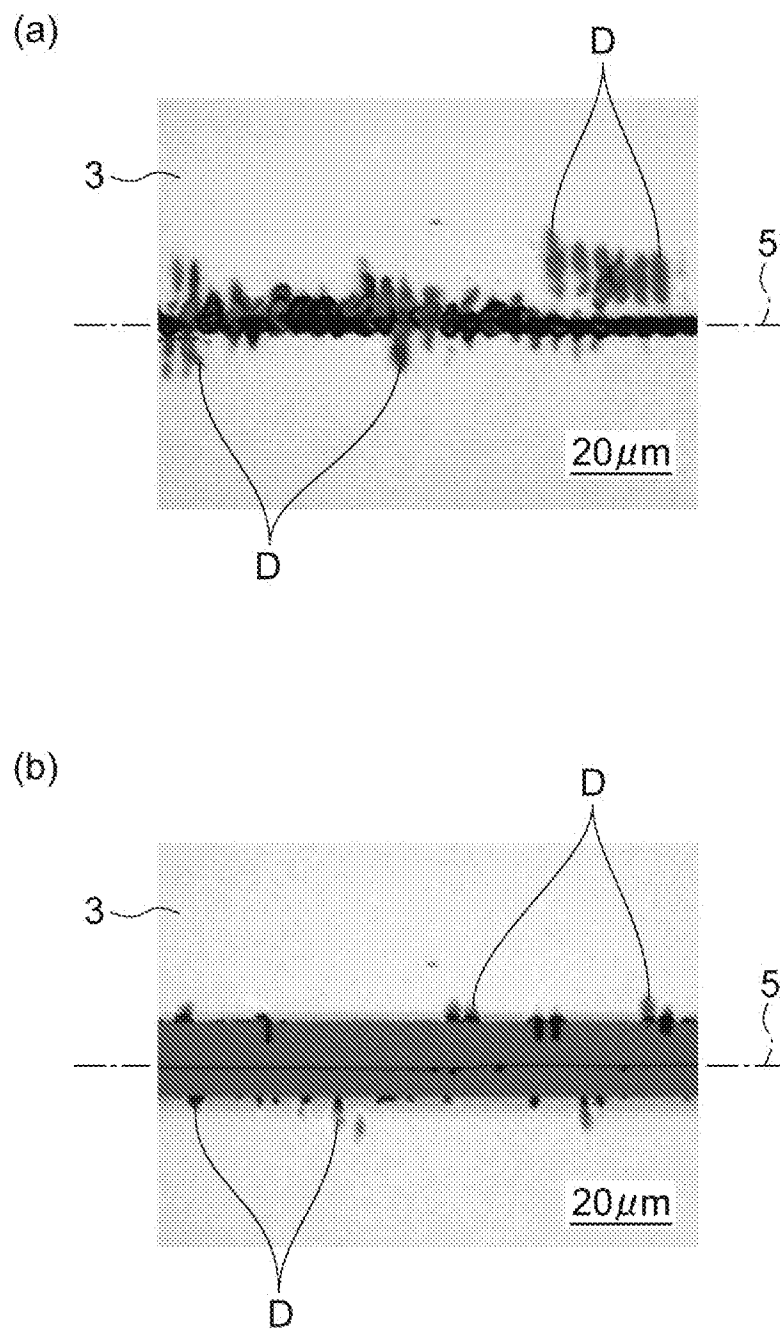
Figure 1(a) is a schematic diagram of a circular device 1. The device has a circular outer boundary 3 and a grid-like internal structure 11. A dashed line 5 indicates a cross-section or internal layer. A dashed line 15 indicates a specific region or feature. A dashed line 21(11b) indicates another specific region or feature. A dashed line 11a indicates a specific region or feature.



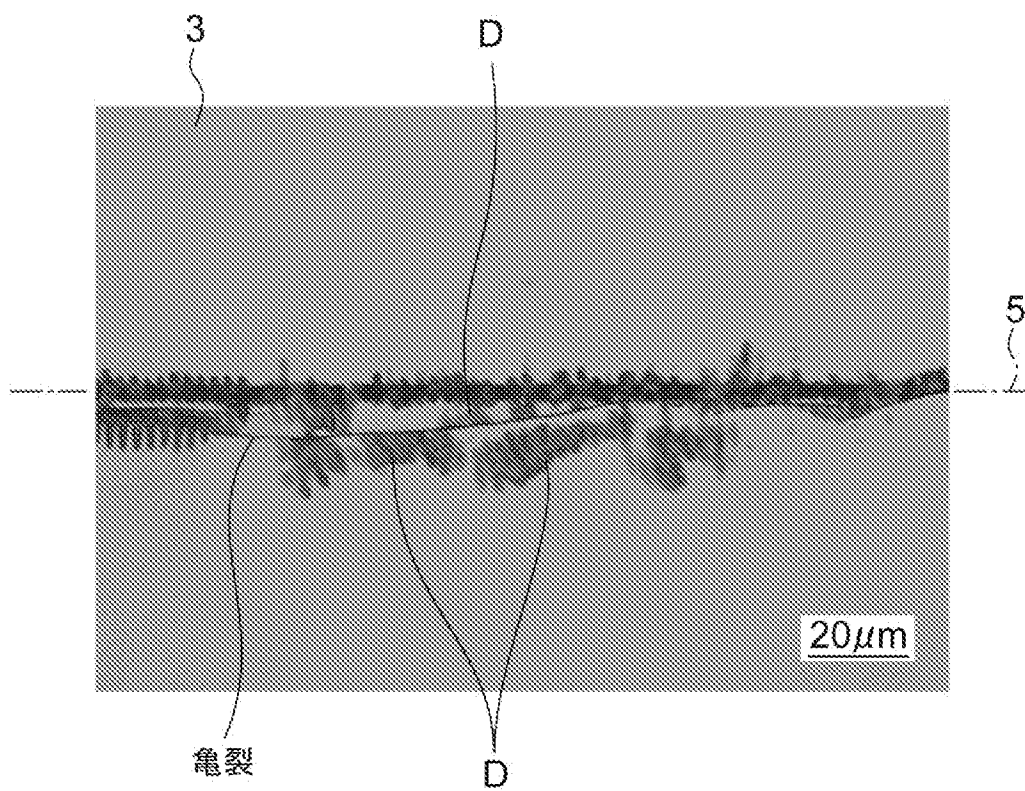
[図10]



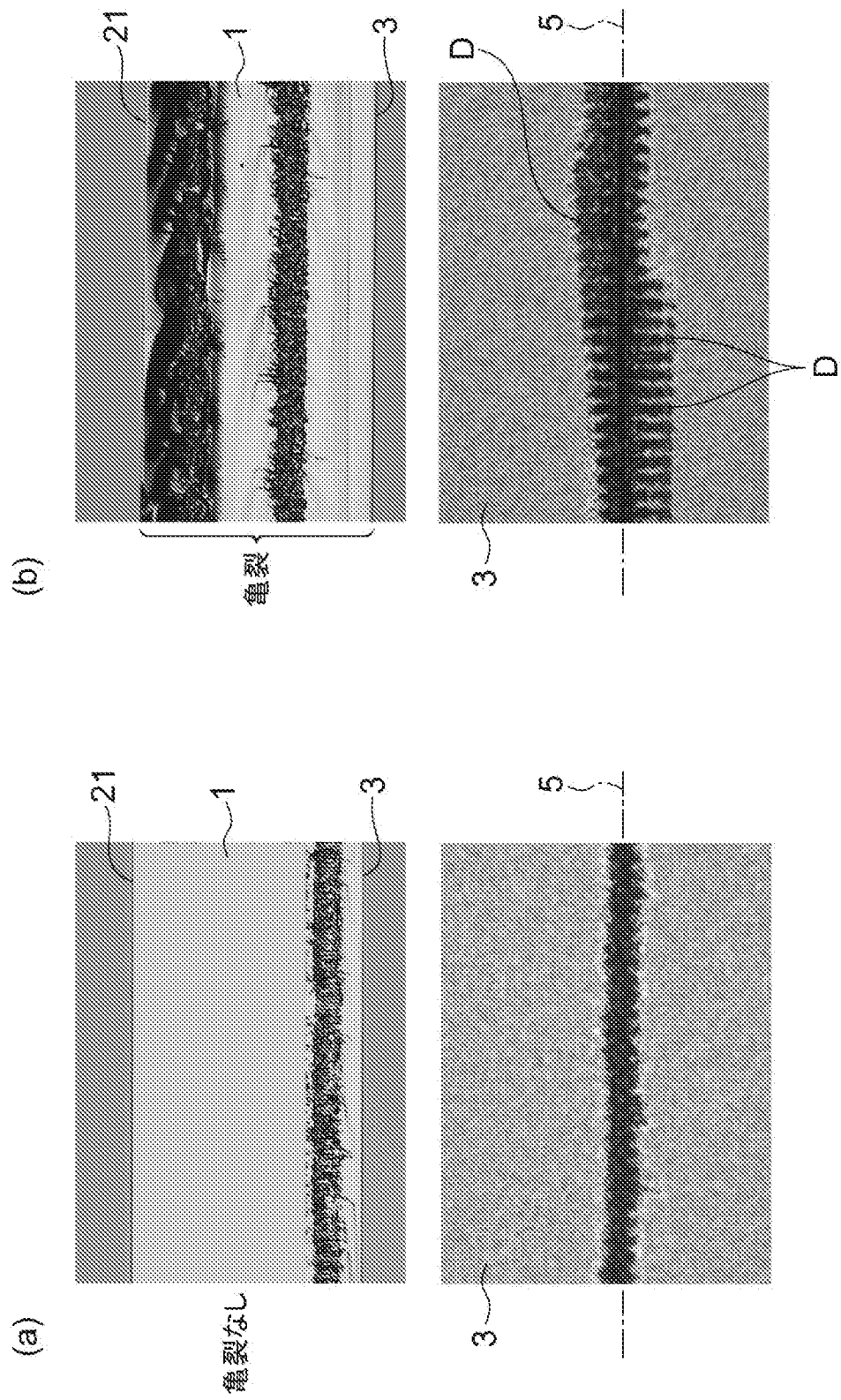
[図11]



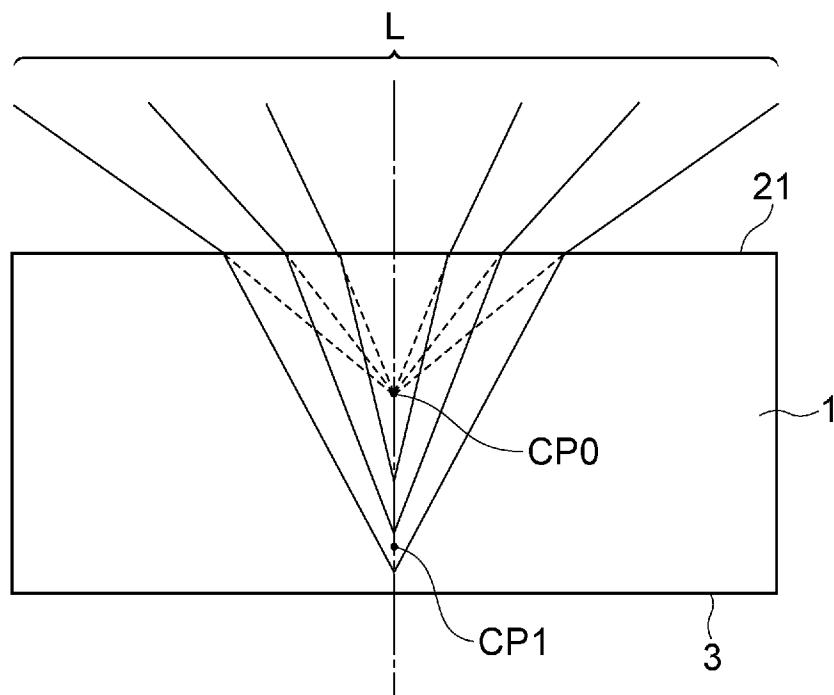
[図13]



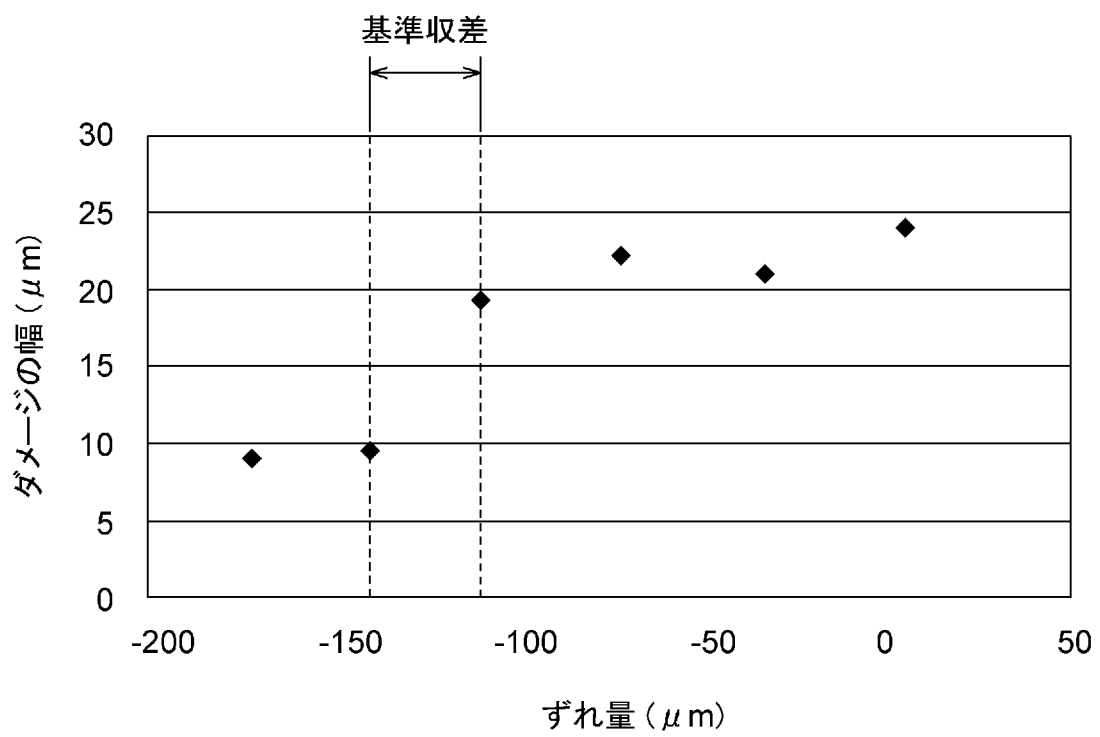
[図14]



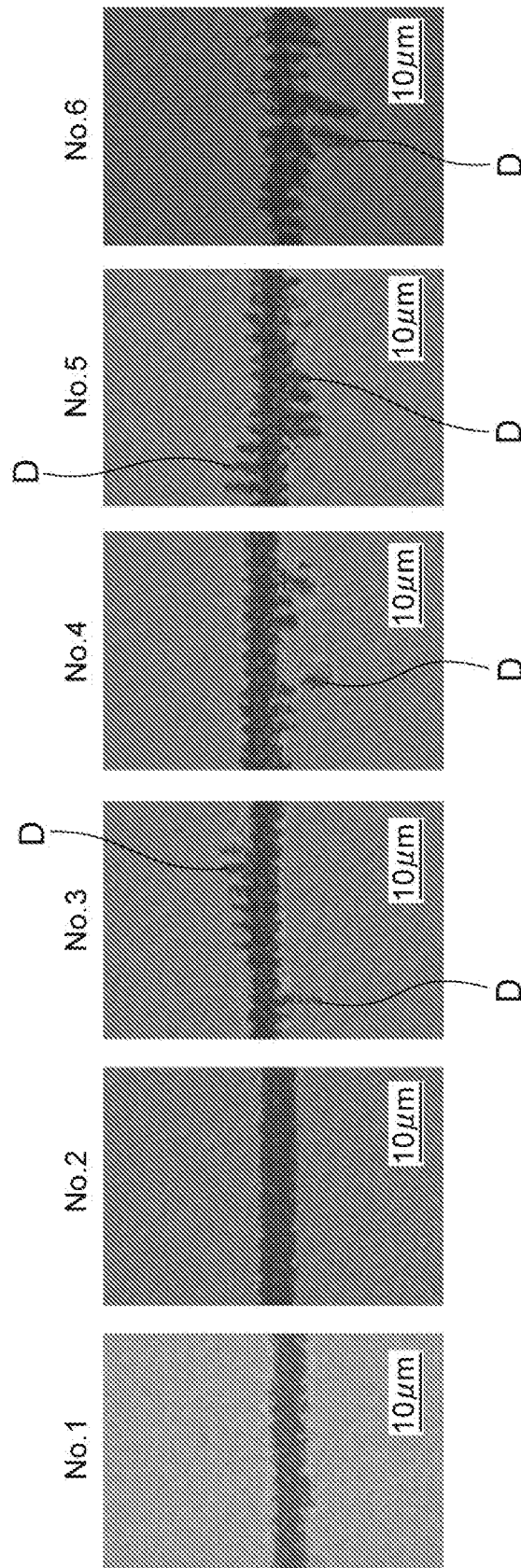
[図15]



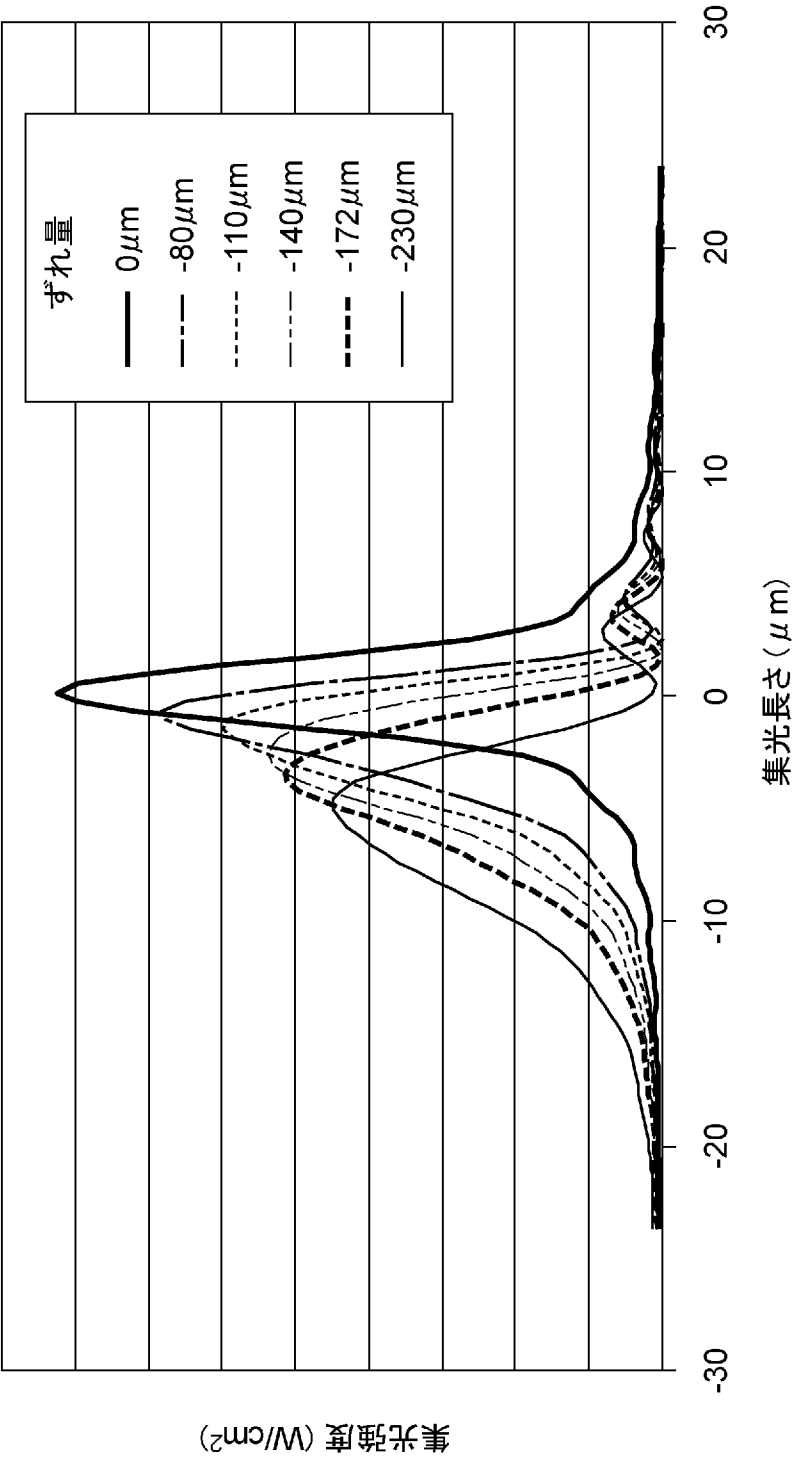
[図16]



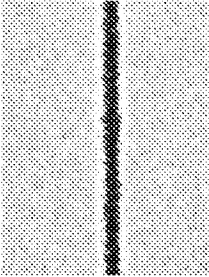
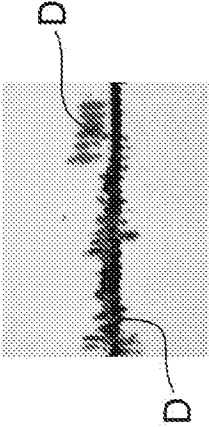
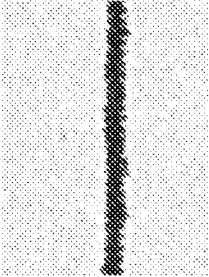
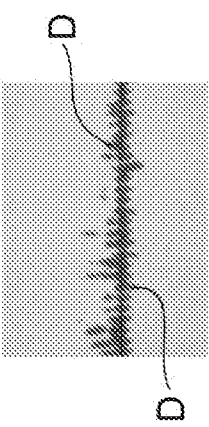
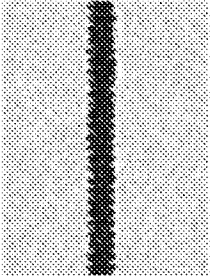
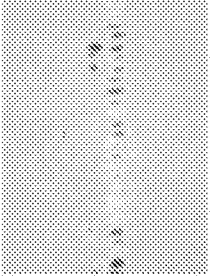
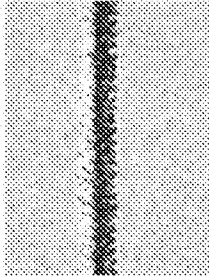
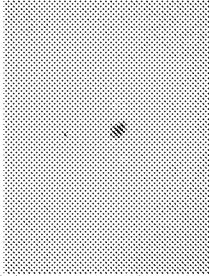
[図17]



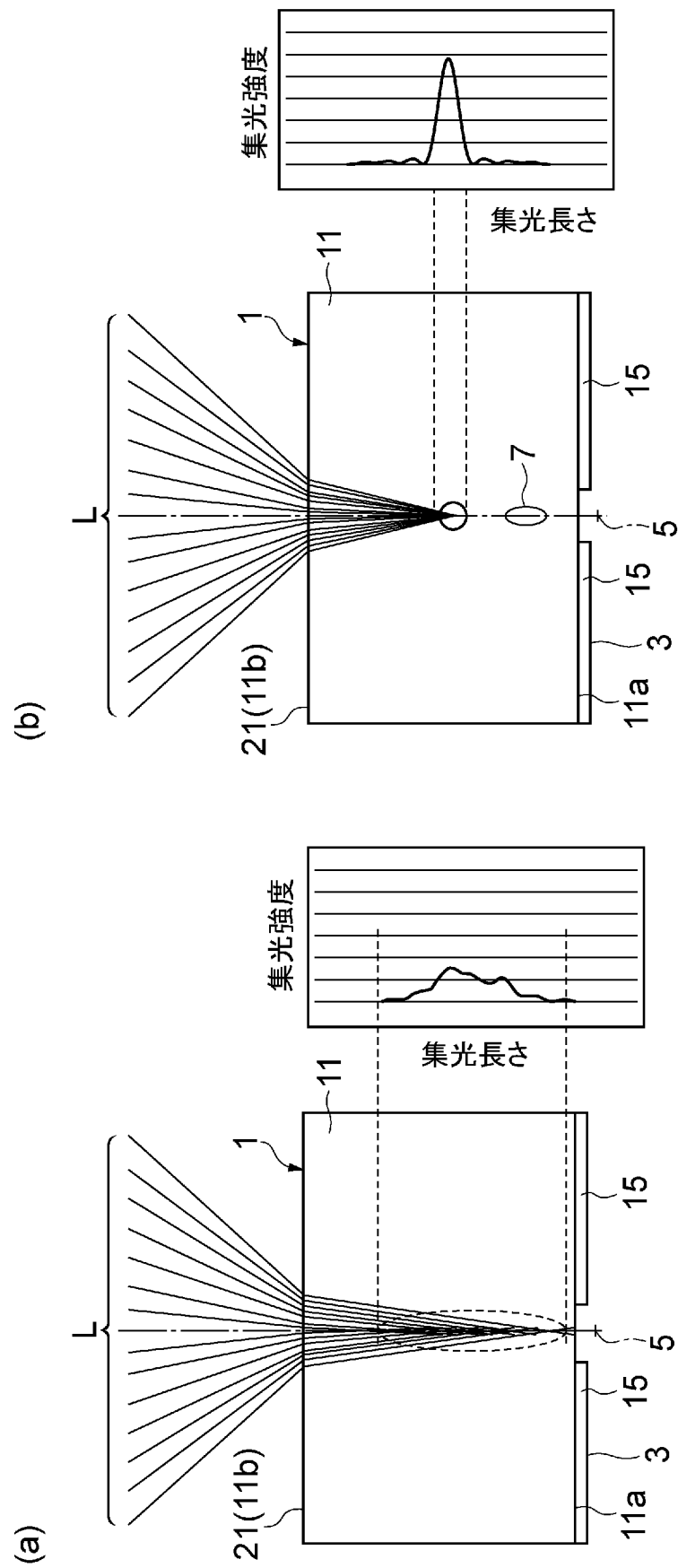
[図18]



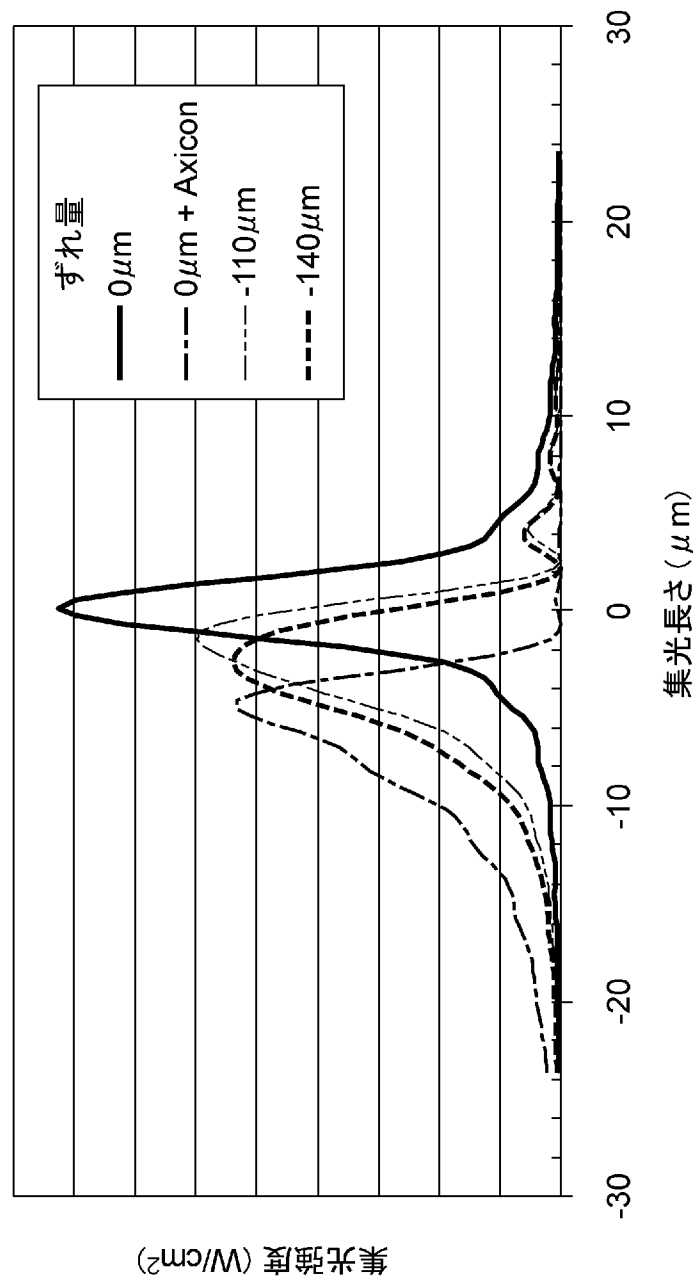
[図19]

表面から集光位置までの距離	第1加工条件	第2加工条件
0 μ m		
20 μ m		
40 μ m		
60 μ m		

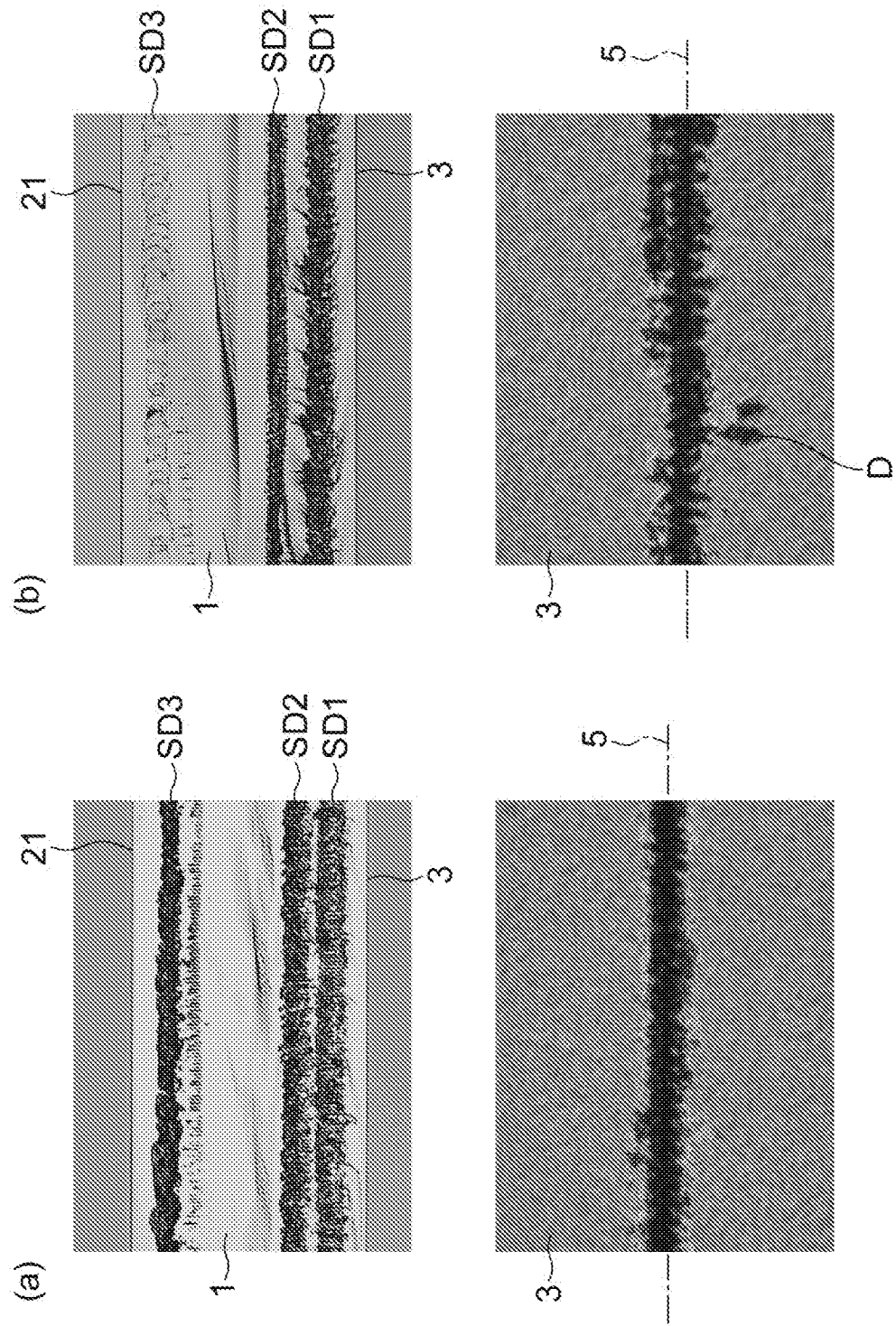
[図20]



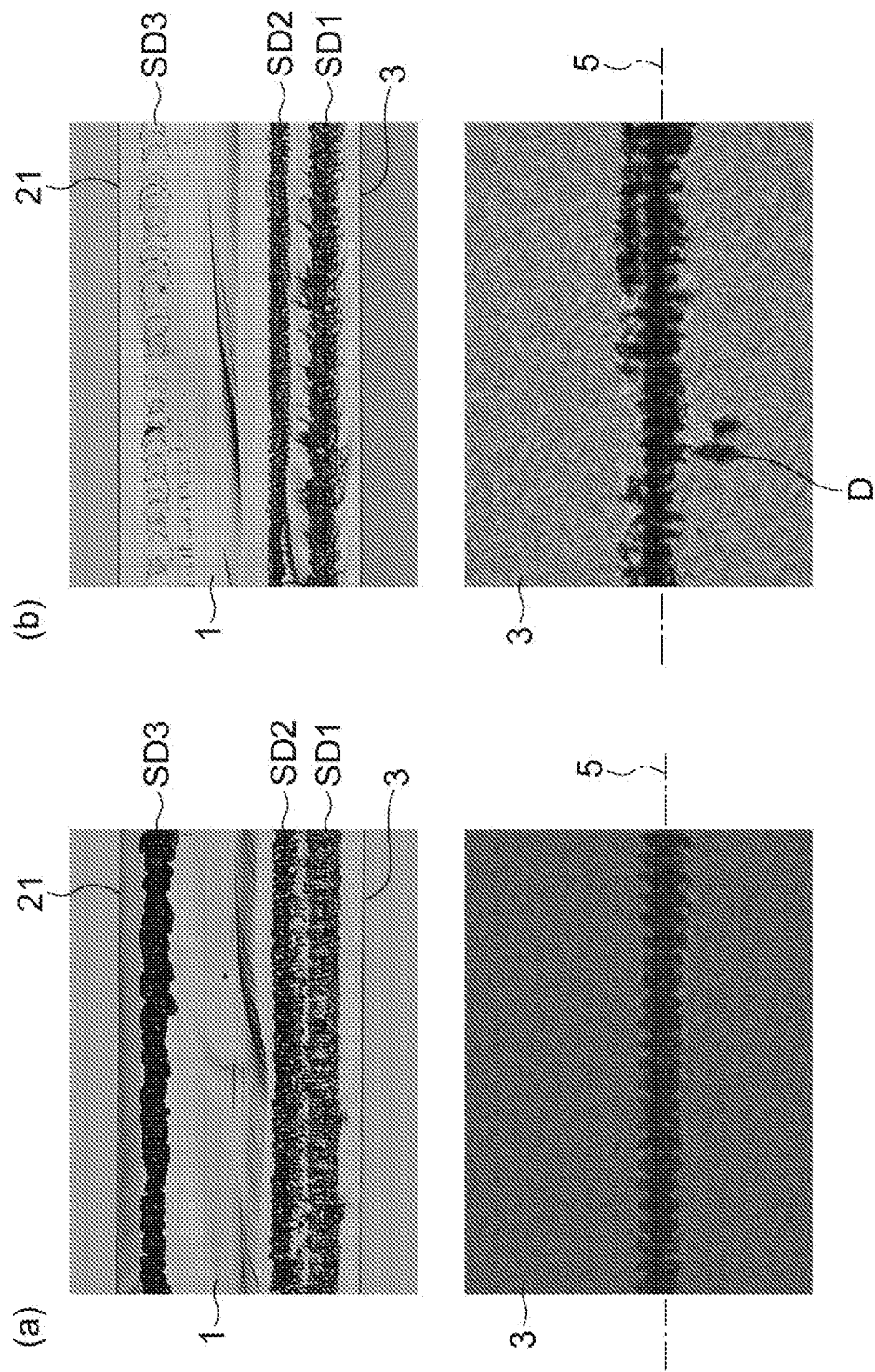
[図21]



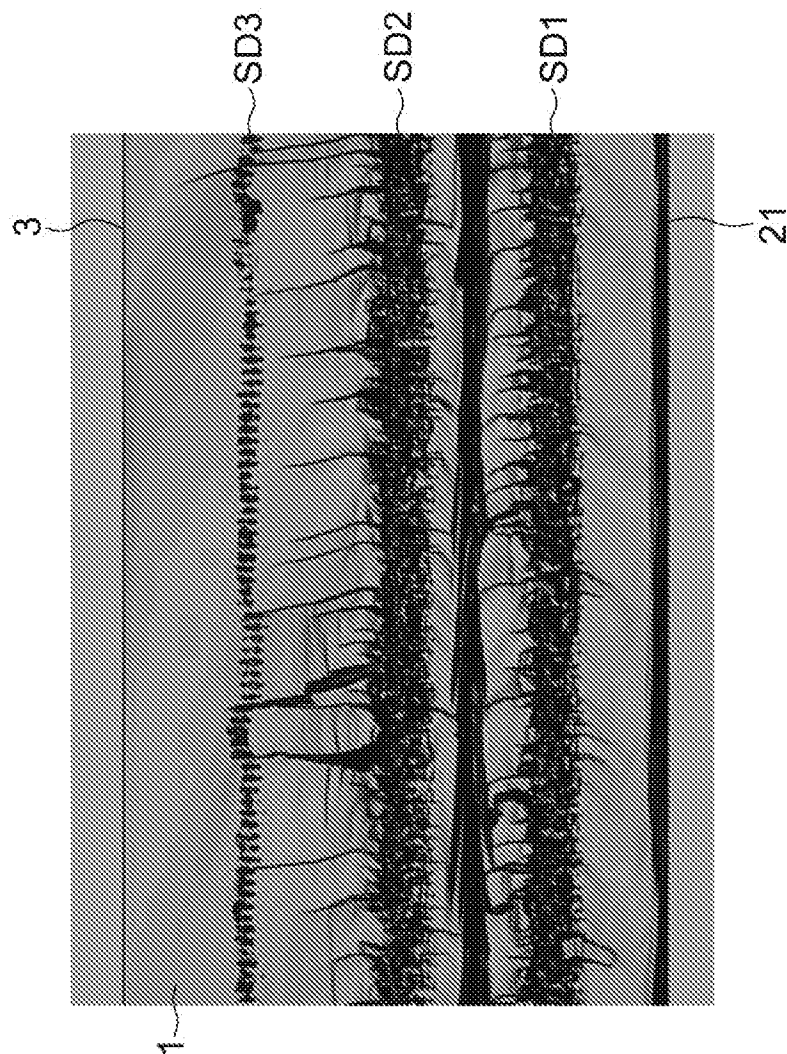
[図22]



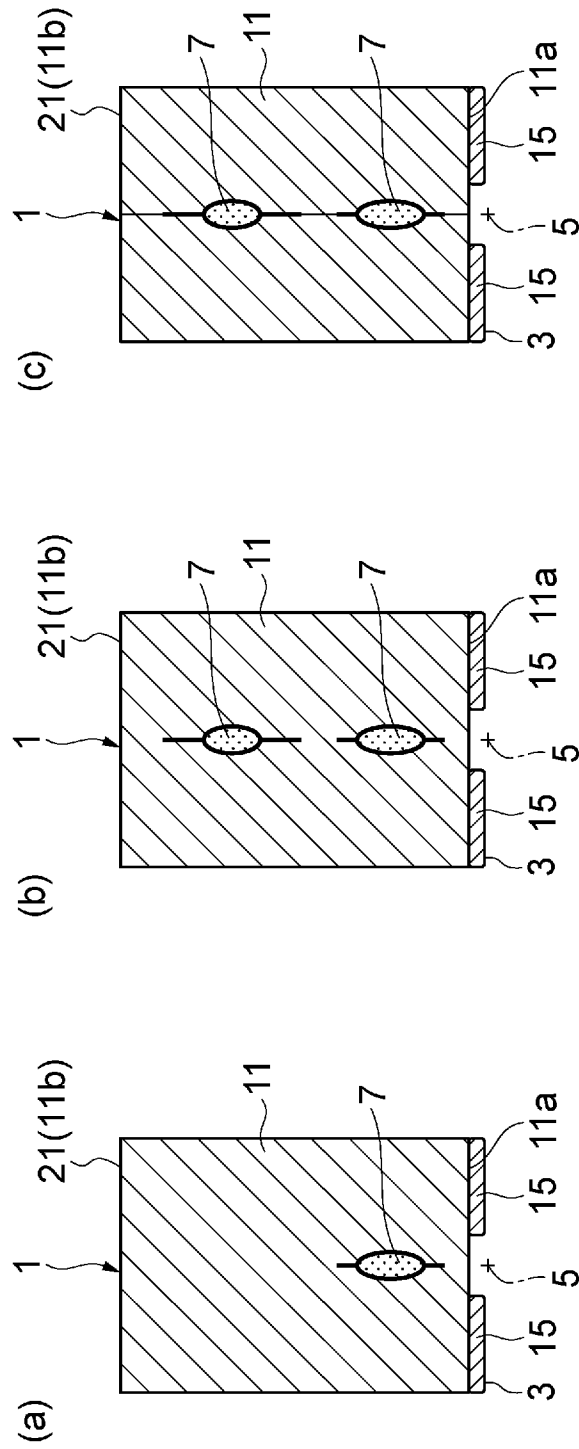
[図23]



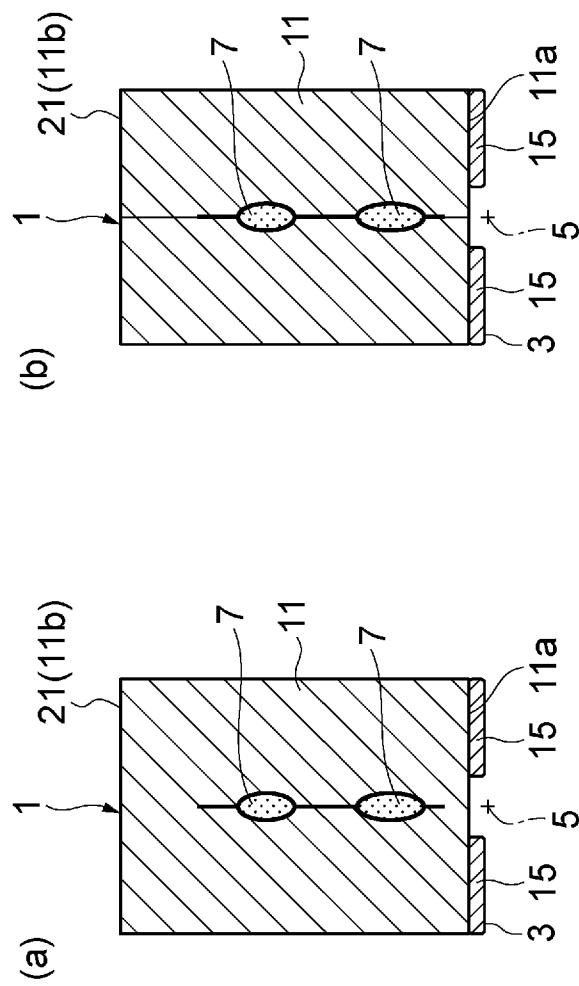
[図24]



[図25]



[図28]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/059937

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B23K26/064(2014.01)i, B23K26/53(2014.01)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)

B23K26/064, B23K26/53, 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	1996-2015
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.
Y A	JP 2013-128088 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 27 June 2013 (27.06.2013), paragraphs [0060] to [0064]; fig. 7, 13 (Family: none)	1-11, 14 12, 13
Y	JP 2007-284310 A (Seiko Epson Corp.), 01 November 2007 (01.11.2007), paragraphs [0019], [0058], [0067] (Family: none)	1-11, 14
Y	JP 2007-61855 A (Seiko Epson Corp.), 15 March 2007 (15.03.2007), paragraphs [0045] to [0046]; fig. 2 (Family: none)	1-11, 14

☒ 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
08 June 2015 (08.06.15)

Date of mailing of the international search report
16 June 2015 (16.06.15)

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/JP2015/059937

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2011-517299 A (Imra America, Inc.), 02 June 2011 (02.06.2011), paragraphs [0064] to [0068] & US 2010/0025387 A1 & KR 10-2010-0120297 A & CN 101965242 A	1-14

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. B23K26/064 (2014.01)i, B23K26/53 (2014.01)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. B23K26/064, B23K26/53, 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 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
Y A	JP 2013-128088 A（浜松ホトニクス株式会社）2013.06.27, 段落 [0060]-[0064], 図 7, 13（ファミリーなし）	1-11, 14 12, 13
Y	JP 2007-284310 A（セイコーエプソン株式会社）2007.11.01, 段落 [0019], [0058], [0067]（ファミリーなし）	1-11, 14
Y	JP 2007-61855 A（セイコーエプソン株式会社）2007.03.15, 段落 [0045]-[0046], 図 2（ファミリーなし）	1-11, 14

☒ 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

0 8 . 0 6 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

1 6 . 0 6 . 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 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）

内田 正和

5 0

9 0 6 5

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 5 9

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 2011-517299 A (イムラ アメリカ インコーポレイテッド) 2011.06.02, 段落[0064]-[0068] & US 2010/0025387 A1 & KR 10-2010-0120297 A & CN 101965242 A	1-14