

(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
2017 年 4 月 6 日(06.04.2017)



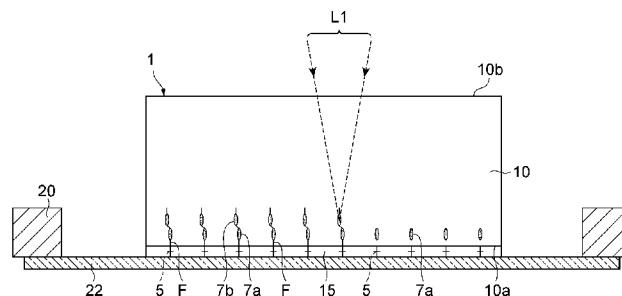
(10) 国際公開番号
WO 2017/056769 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/301 (2006.01) *B23K 26/04* (2014.01)
B23K 26/00 (2014.01) *B23K 26/53* (2014.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/074039
- (22) 国際出願日: 2016 年 8 月 17 日(17.08.2016)
- (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 2015-191092 2015 年 9 月 29 日(29.09.2015) 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: 荻原 孝文(OGIWARA Takafumi); 〒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).
近藤 裕太(KONDOH Yuta); 〒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 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).

[続葉有]

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

(54) 発明の名称: レーザ加工方法及びレーザ加工装置



(57) Abstract: This laser processing method includes: a first step in which a laser beam having a wavelength greater than 1064 nm is focused on an object to be processed, using the rear surface of a silicon substrate as the laser beam incidence surface, and a first focal point of the laser beam is moved along a planned cutting line to form a first modified region along the planned cutting line; and a second step which is performed after the first step, and in which the laser beam having a wavelength greater than 1064 nm is focused on the object to be processed, using the rear surface of the silicon substrate as the laser beam incidence surface, and a second focal point of the laser beam is moved along the planned cutting line, while the second focal point of the laser beam is offset relative to the position corresponding to the first focal point of the laser beam, to form a second modified region along the planned cutting line.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2017/056769 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

レーザ加工方法は、シリコン基板の裏面をレーザ光入射面として、1064 nmよりも大きい波長を有するレーザ光を加工対象物に集光させて、切断予定ラインに沿ってレーザ光の第1集光点を移動させることで、切断予定ラインに沿って第1改質領域を形成する第1工程と、第1工程の後に、シリコン基板の裏面をレーザ光入射面として、1064 nmよりも大きい波長を有するレーザ光を加工対象物に集光させて、レーザ光の第1集光点を合わせた位置に対してレーザ光の第2集光点をオフセットさせつつ、切断予定ラインに沿ってレーザ光の第2集光点を移動させることで、切断予定ラインに沿って第2改質領域を形成する第2工程と、を含む。

明 細 書

発明の名称： レーザ加工方法及びレーザ加工装置

技術分野

[0001] 本開示は、レーザ加工方法及びレーザ加工装置に関する。

背景技術

[0002] 表面に複数の機能素子がマトリックス状に形成されたシリコン基板を含む加工対象物に、シリコン基板の裏面をレーザ光入射面としてレーザ光を照射することで、隣り合う機能素子の間を通るように格子状に設定された切断予定ラインに沿って、シリコン基板における表面近傍に改質領域を形成し、その後に、シリコン基板が所定の厚さとなるようにシリコン基板の裏面を研磨することで、加工対象物を機能素子ごとに切断するレーザ加工方法が知られている（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：国際公開第03／077295号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 上述したようなレーザ加工方法では、1本の切断予定ラインに対するレーザ光のスキャン回数（すなわち、1本の切断予定ラインに対する改質領域の形成列数）を減少させることが、加工効率向上の観点から重要である。そこで、シリコンに対して透過率が高いレーザ光をシリコン基板に集光させることで、改質領域の形成に伴って改質領域からシリコン基板の厚さ方向に亀裂を大きく伸展させる場合がある。しかし、シリコンに対して透過率が高いレーザ光をシリコン基板に集光させると、レーザ光入射面とは反対側のシリコン基板の表面に損傷が生じ、機能素子の特性が劣化する場合がある。

[0005] そこで、本開示の一形態は、レーザ光入射面とは反対側の加工対象物の表面に損傷が生じるのを抑制しつつ、加工効率を向上させることができるレー

ザ加工方法及びレーザ加工装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本開示の一形態に係るレーザ加工方法は、表面に複数の機能素子が形成されたシリコン基板を含む加工対象物に、シリコン基板の裏面をレーザ光入射面として、 1064 nm よりも大きい波長を有するレーザ光を集光させて、シリコン基板の表面とレーザ光の第1集光点との距離を第1距離に維持しつつ、隣り合う機能素子の間を通るように設定された切断予定ラインに沿ってレーザ光の第1集光点を移動させることで、切断予定ラインに沿って第1改質領域を形成する第1工程と、第1工程の後に、加工対象物に、シリコン基板の裏面をレーザ光入射面として、 1064 nm よりも大きい波長を有するレーザ光を集光させて、シリコン基板の表面とレーザ光の第2集光点との距離を第1距離よりも大きい第2距離に維持しつつ、且つ、レーザ光の第1集光点を合わせた位置に対して、シリコン基板の厚さ方向及び切断予定ラインの延在方向の両方向に垂直な方向にレーザ光の第2集光点をオフセットさせつつ、切断予定ラインに沿ってレーザ光の第2集光点を移動させることで、切断予定ラインに沿って第2改質領域を形成する第2工程と、を含む。

[0007] このレーザ加工方法では、 1064 nm よりも大きい波長を有するレーザ光を用いる。これにより、 1064 nm 以下の波長を有するレーザ光を用いる場合に比べ、第1改質領域及び第2改質領域の形成に伴って第1改質領域及び第2改質領域からシリコン基板の厚さ方向に亀裂を大きく伸展させることができる。更に、第2工程では、レーザ光の第1集光点を合わせた位置に対して、シリコン基板の厚さ方向及び切断予定ラインの延在方向の両方向に垂直な方向にレーザ光の第2集光点をオフセットさせる。これにより、レーザ光入射面とは反対側の加工対象物の表面に損傷が生じるのを抑制することができる。よって、このレーザ加工方法によれば、レーザ光入射面とは反対側の加工対象物の表面に損傷が生じるのを抑制しつつ、加工効率を向上させることができる。

[0008] 本開示の一形態に係るレーザ加工方法では、レーザ光は、 $1099\text{ }\mu\text{ m}$ 以

上 $1\ 3\ 4\ 2\ \mu\text{m}$ 以下の波長を有してもよい。この場合、第 1 改質領域及び第 2 改質領域の形成に伴って第 1 改質領域及び第 2 改質領域からシリコン基板の厚さ方向に亀裂をより大きく伸展させることができる。

[0009] 本開示の一形態に係るレーザ加工方法では、レーザ光の第 1 集光点を合わせた位置に対して、シリコン基板の厚さ方向及び切断予定ラインの延在方向の両方向に垂直な方向にレーザ光の第 2 集光点をオフセットさせる距離は、 $2\ 4\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。この場合、第 1 改質領域と第 2 改質領域との間で亀裂を確実に繋げて、第 1 改質領域及び第 2 改質領域の形成に伴って第 1 改質領域及び第 2 改質領域からシリコン基板の厚さ方向に亀裂を確実に伸展させることができる。

[0010] 本開示の一形態に係るレーザ加工方法では、レーザ光の第 1 集光点を合わせた位置に対して、シリコン基板の厚さ方向及び切断予定ラインの延在方向の両方向に垂直な方向にレーザ光の第 2 集光点をオフセットさせる距離は、 $4\ \mu\text{m}$ 以上 $1\ 8\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。この場合、第 1 改質領域と第 2 改質領域との間で亀裂をより確実に繋げて、第 1 改質領域及び第 2 改質領域の形成に伴って第 1 改質領域及び第 2 改質領域からシリコン基板の厚さ方向に亀裂をより確実に伸展させることができる。

[0011] 本開示の一形態に係るレーザ加工方法では、第 1 工程では、切断予定ラインに対して、シリコン基板の厚さ方向及び切断予定ラインの延在方向の両方向に垂直な方向にレーザ光の第 1 集光点をオフセットさせる距離を 0 に維持しつつ、切断予定ラインに沿ってレーザ光の第 1 集光点を移動させてもよい。この場合、第 1 改質領域からシリコン基板の表面側に伸展する亀裂を切断予定ライン上に合わせることができる。

[0012] 本開示の一形態に係るレーザ加工装置は、表面に複数の機能素子が形成されたシリコン基板を含む加工対象物を支持する支持台と、 $1\ 0\ 6\ 4\ \text{nm}$ よりも大きい波長を有するレーザ光を出射するレーザ光源と、シリコン基板の裏面がレーザ光入射面となるように支持台に支持された加工対象物に、レーザ光源から出射されたレーザ光を集光する集光光学系と、支持台、レーザ光源

及び集光光学系の少なくとも1つの動作を制御する制御部と、を備え、制御部は、シリコン基板の表面とレーザ光の第1集光点との距離を第1距離に維持しつつ、隣り合う機能素子の間を通るように設定された切断予定ラインに沿ってレーザ光の第1集光点を移動させ、その後に、シリコン基板の表面とレーザ光の第2集光点との距離を第1距離よりも大きい第2距離に維持しつつ、且つ、レーザ光の第1集光点を合わせた位置に対して、シリコン基板の厚さ方向及び切断予定ラインの延在方向の両方向に垂直な方向にレーザ光の第2集光点をオフセットさせつつ、切断予定ラインに沿ってレーザ光の第2集光点を移動させる。

[0013] このレーザ加工装置によれば、上述したレーザ加工方法と同様の理由により、レーザ光入射面とは反対側の加工対象物の表面に損傷が生じるのを抑制しつつ、加工効率を向上させることができる。

発明の効果

[0014] 本開示の一形態によれば、レーザ光入射面とは反対側の加工対象物の表面に損傷が生じるのを抑制しつつ、加工効率を向上させることができるレーザ加工方法及びレーザ加工装置を提供することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]図1は、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]図2は、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3は、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]図4は、レーザ加工後の加工対象物の平面図である。

[図5]図5は、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6は、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]図7の(a)は、レーザ加工中の加工対象物の切断予定ラインに沿っての断面図である。図7の(b)は、切断後の加工対象物の平面図である。

[図8]図8の(a)は、レーザ加工中の加工対象物の切断予定ラインに沿っての断面図である。図8の(b)は、切断後の加工対象物の平面図である。

[図9]図9の(a)は、レーザ加工中の加工対象物の切断予定ラインに沿っての断面図である。図9の(b)は、切断後の加工対象物の平面図である。

[図10]図10の(a)は、レーザ加工中の加工対象物の切断予定ラインに沿っての断面図である。図10の(b)は、切断後の加工対象物の平面図である。

[図11]図11の(a)は、切断後のシリコン基板の切断予定ラインに平行な面の写真を示す図である。図11の(b)は、切断後のシリコン基板の表面側の写真を示す図である。

[図12]図12の(a)は、第1改質領域及び第2改質領域形成後のシリコン基板の切断予定ラインに平行な面の写真を示す図である。図12の(b)は、第1改質領域及び第2改質領域形成後のシリコン基板の切断予定ラインに垂直な面の写真を示す図である。

[図13]図13の(a)は、第1改質領域及び第2改質領域形成後のシリコン基板の切断予定ラインに平行な面の写真を示す図である。図13の(b)は、第1改質領域及び第2改質領域形成後のシリコン基板の切断予定ラインに垂直な面の写真を示す図である。

[図14]図14は、オフセット量と亀裂の長さとの関係を示すグラフである。

[図15]図15は、オフセット量とスプラッシュの個数との関係を示すグラフである。

[図16]図16の(a)は、切断後のシリコン基板の切断予定ラインに平行な面の写真を示す図である。図16の(b)は、切断後のシリコン基板の表面側の写真を示す図である。

[図17]図17の(a)は、オフセット量 $2\mu\text{m}$ の場合における切断後のシリコン基板の表面側の写真を示す図である。図17の(b)は、オフセット量 $4\mu\text{m}$ の場合における切断後のシリコン基板の表面側の写真を示す図である。図17の(c)は、オフセット量 $6\mu\text{m}$ の場合における切断後のシリコン基板の表面側の写真を示す図である。

[図18]図18の(a)は、オフセット量が小さい場合におけるシリコン基板

の切断予定ラインに垂直な面を示す図である。図18の(b)は、オフセット量が多い場合におけるシリコン基板の切断予定ラインに垂直な面を示す図である。

[図19]図19は、実施形態のレーザ加工方法を用いた半導体チップの製造方法を説明するための断面図である。

[図20]図20は、実施形態のレーザ加工方法を用いた半導体チップの製造方法を説明するための断面図である。

[図21]図21は、実施形態のレーザ加工方法を用いた半導体チップの製造方法を説明するための断面図である。

[図22]図22は、実施形態のレーザ加工方法を用いた半導体チップの製造方法を説明するための断面図である。

[図23]図23は、実施形態のレーザ加工方法を用いた半導体チップの製造方法を説明するための断面図である。

[図24]図24は、実施形態のレーザ加工方法を用いた半導体チップの製造方法を説明するための断面図である。

[図25]図25の(a)研磨前の加工対象物の切断予定ラインに沿っての断面図である。図25の(b)研磨後の加工対象物の切断予定ラインに沿っての断面図である。

[図26]図26の(a)研磨前の加工対象物の切断予定ラインに沿っての断面図である。図26の(b)研磨後の加工対象物の切断予定ラインに沿っての断面図である。

[図27]図27の(a)研磨前の加工対象物の切断予定ラインに沿っての断面図である。図27の(b)研磨後の加工対象物の切断予定ラインに沿っての断面図である。

発明を実施するための形態

[0016] 以下、本開示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。

[0017] 実施形態に係るレーザ加工方法及びレーザ加工装置では、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。

[0018] 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。

[0019] 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。

[0020] 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。

[0021] 集光点Pとは、レーザ光Lが集光する箇所のことである。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。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。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、若しくは外周面）に露出していてもよい。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の裏面であってもよい。

[0022] ちなみに、加工対象物1の内部に改質領域7を形成する場合には、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の内部に位置する集光点P近傍にて特に吸収される。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）。この場合、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。一方、加工対象物1の表面3に改質領域7を形成する場合には、レーザ光Lは、表面3に位置する集光点P近傍にて特に吸収され、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）。

[0023] 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。加工対象物1の材料が単結晶シリコンである場合、改質領域7は、高転位密度領域ともいえる。

[0024] 溶融処理領域、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、及び、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は、結晶構造を有する結晶材料からなる基板を含む。例えば加工対象物1は、窒化ガリウム(GaN)、シリコン(Si)、シリコンカーバイド(SiC)、LiTaO₃、及び、サファイア(Al₂O₃)の少なくとも何れかで形成された基板を含む。換言すると、加工対象物1は、例えば、窒化ガリウム基板、シリコン基板、SiC基板、LiTaO₃基板、又はサファイア基板を含む。結晶材料は、異方性結晶及び等方性結晶の何れであってもよい。また、加工対象物1は、非結晶構造(非晶質構造)を有する非結晶材料からなる基板を含んでいてもよく、例えばガラス基板を含んでいてもよい。

[0025] 実施形態では、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り、改質領域7を形成することができる。この場合、複数の改質スポットが集まることによって改質領域7となる。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る。改質スポットとしては、クラックスポット、溶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。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。また、実施形態では、切断予定ライン5に沿って、改質スポットを改質領域7として形成することができる。

[0026] 次に、スプラッシュに関する検証結果について説明する。なお、「シリコン基板を含む加工対象物を対象として、上述したようなレーザ加工を実施した場合に、レーザ光入射面とは反対側の加工対象物の表面に生じる損傷」を「スプラッシュ」と称する。

[0027] 図7～図10に示されるように、シリコン基板10の表面10aに金属膜11が形成されたものを加工対象物として準備した。金属膜11は、シリコン基板10の表面10aに下地として厚さ20 μ mのCr膜が形成され、そのCr膜上に厚さ50 μ mのAu膜が形成されることで、構成されている。

[0028] 図7の(a)に示されるように、シリコン基板10の裏面10bをレーザ光入射面として、1064nmの波長を有するレーザ光L0をシリコン基板10の内部に集光させて、切断予定ライン5に沿ってレーザ光L0の集光点Pを移動させることで、切断予定ライン5に沿ってシリコン基板10の内部に改質領域7を形成した。このとき、改質領域7の形成に伴って改質領域7からシリコン基板10の厚さ方向に伸展する亀裂F（すなわち、シリコン基板10に外力を作用させなくても、改質領域7の形成に伴って生じる亀裂F）がシリコン基板10の表面10aに到達するように、レーザ光L0の照射条件を調整した。この場合には、図7の(b)に示されるように、金属膜11にスプラッシュが生じなかった。

[0029] 図8の(a)に示されるように、シリコン基板10の裏面10bをレーザ光入射面として、1342nmの波長を有するレーザ光L1をシリコン基板10の内部に集光させて、切断予定ライン5に沿ってレーザ光L1の集光点Pを移動させることで、切断予定ライン5に沿ってシリコン基板10の内部に改質領域7を形成した。このとき、改質領域7から伸展する亀裂Fがシリコン基板10の表面10aに到達するように、レーザ光L1の照射条件を調整した。具体的には、波長が異なることを除いて、レーザ光L1の照射条件を、上述したレーザ光L0の照射条件と同一とした。この場合には、図8の

(b) に示されるように、金属膜 11 にスプラッシュ S が生じた。

[0030] 図 9 の (a) に示されるように、シリコン基板 10 の裏面 10b をレーザ光入射面として、1342 nm の波長を有するレーザ光 L1 をシリコン基板 10 の内部に集光させて、切断予定ライン 5 に沿ってレーザ光 L1 の集光点 P を移動させることで、切断予定ライン 5 に沿ってシリコン基板 10 の内部に改質領域 7 を形成した。このとき、改質領域 7 から伸展する亀裂 F がシリコン基板 10 の表面 10a に到達せず、シリコン基板 10 の内部に収まるように、レーザ光 L1 の照射条件を調整した。具体的には、図 8 の (a) 及び (b) の場合よりもレーザ光 L1 のパルスエネルギーを小さくした。この場合には、図 9 の (b) に示されるように、金属膜 11 にスプラッシュが生じなかった。

[0031] 図 10 の (a) に示されるように、シリコン基板 10 の裏面 10b をレーザ光入射面として、1342 nm の波長を有するレーザ光 L1 をシリコン基板 10 の内部に集光させて、切断予定ライン 5 に沿ってレーザ光 L1 の集光点 P を移動させることで、切断予定ライン 5 に沿ってシリコン基板 10 の内部に第 1 改質領域 7a 及び第 2 改質領域 7b を形成した。このとき、第 1 改質領域 7a を形成しただけでは亀裂 F がシリコン基板 10 の表面 10a に到達せず、第 1 改質領域 7a に対してシリコン基板 10 の裏面 10b 側に第 2 改質領域 7b を形成したときに亀裂 F がシリコン基板 10 の表面 10a に到達するように、レーザ光 L1 の照射条件を調整した。この場合には、図 10 の (b) に示されるように、金属膜 11 にスプラッシュ S が生じた。

[0032] 図 11 の (a) 及び (b) は、図 10 の (a) 及び (b) の場合の条件でシリコン基板 10 の内部に第 1 改質領域 7a 及び第 2 改質領域 7b を形成したときのシリコン基板 10 の写真を示す図である。より具体的には、図 11 の (a) は、切断後のシリコン基板 10 の切断予定ラインに平行な面の写真を示す図であり、図 11 の (b) は、切断後のシリコン基板 10 の表面 10a 側 (金属膜 11) の写真を示す図である。図 11 の (b) を参照すると、金属膜 11 において一点鎖線で囲まれた領域に、黒っぽい部分が存在するこ

とを確認することができる。これが、問題となるスプラッシュSである。

[0033] 1342nmのように1064nmよりも大きい波長を有するレーザ光L1を用いると、1064nm以下の波長を有するレーザ光L0を用いる場合に比べ、改質領域7からシリコン基板10の厚さ方向に亀裂Fを大きく伸展させることができる。また、1342nmのように1064nmよりも大きい波長を有するレーザ光L1を用いると、1064nm以下の波長を有するレーザ光L0を用いる場合に比べ、シリコン基板10のレーザ光入射面から深い位置に改質領域7を形成することができる。これらは、1064nmよりも大きい波長を有するレーザ光L1のほうが、1064nm以下の波長を有するレーザ光L0よりも、シリコンに対して透過率が高いことに起因する。したがって、1本の切断予定ライン5に対するレーザ光Lのスキャン回数（すなわち、1本の切断予定ライン5に対する改質領域7の形成列数）を減少させて、加工効率を向上させる観点からは、1064nmよりも大きい波長を有するレーザ光L1を用いてもよい。

[0034] しかし、上述した図8の（a）及び（b）並びに図10の（a）及び（b）の場合のように、1064nmよりも大きい波長を有するレーザ光L1を用いて亀裂Fをシリコン基板10の表面10aに到達させようとする、金属膜11にスプラッシュSが生じてしまう。レーザ光入射面とは反対側のシリコン基板10の表面10aに機能素子（例えば、結晶成長により形成された半導体動作層、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）が形成されている場合にスプラッシュSが生じると、機能素子の特性が劣化するおそれがある。

[0035] したがって、1064nmよりも大きい波長を有するレーザ光L1を用いて亀裂Fをシリコン基板10の表面10aに到達させる場合に、スプラッシュSの発生を抑制することができれば、技術的に大きな意義がある。

[0036] 本発明者らは、シリコン基板10の表面10aにスプラッシュSが生じるのは、1064nmよりも大きい波長を有するレーザ光L1を用いると、形成済みの改質領域7から大きく伸展した亀裂Fにレーザ光L1を集光させる

ことになり、抜け光（レーザ光L1のうち改質領域7の形成に寄与せずにシリコン基板10の表面10a側に抜ける光）の影響が大きくなることに起因すると考えた。その知見から、本発明者らは、図10の（a）及び（b）の場合において第2改質領域7bを形成する際に、レーザ光L1の集光点Pをオフセットさせれば、スプラッシュSの発生の原因となる抜け光の影響を小さくすることができると考え、以下の検証を行った。なお、第2改質領域7bを形成する際に、「第1改質領域7aを形成する際にレーザ光L1の集光点Pを合わせた位置に対して、シリコン基板10の厚さ方向及び切断予定ライン5の延在方向の両方向に垂直な方向（図10の（a）におけるシリコン基板10の断面に垂直な方向）にレーザ光L1の集光点Pをオフセットさせる」ことを単に「レーザ光L1の集光点Pをオフセットさせる」といい、「レーザ光L1の集光点Pをオフセットさせる距離」を「オフセット量」という。

[0037] まず、第1改質領域7aからシリコン基板10の表面10a側に伸展する亀裂Fの方向について検証した。図12の（a）及び（b）は、第2改質領域7bを形成する際にレーザ光L1の集光点Pをオフセットさせなかった場合のシリコン基板10の写真を示す図である。より具体的には、図12の（a）は、第1改質領域7a及び第2改質領域7b形成後のシリコン基板10の切断予定ラインに平行な面の写真を示す図であり、図12の（b）は、第1改質領域7a及び第2改質領域7b形成後のシリコン基板10の切断予定ラインに垂直な面の写真を示す図である。図12の（b）を参照すると、第2改質領域7bを形成する際にレーザ光L1の集光点Pをオフセットさせなかった場合には、第1改質領域7aからシリコン基板10の表面10a側に真っ直ぐに（シリコン基板10の厚さ方向に沿って）亀裂Fが伸展することを確認することができる。

[0038] 図13の（a）及び（b）は、第2改質領域7bを形成する際にレーザ光L1の集光点Pをオフセットさせた場合（オフセット量8 μ mの場合）のシリコン基板10の写真を示す図である。より具体的には、図13の（a）は

、第1改質領域7 a及び第2改質領域7 b形成後のシリコン基板10の切断予定ラインに平行な面の写真を示す図であり、図13の(b)は、第1改質領域7 a及び第2改質領域7 b形成後のシリコン基板10の切断予定ラインに垂直な面の写真を示す図である。図13の(b)を参照すると、第2改質領域7 bを形成する際にレーザ光L1の集光点Pをオフセットさせた場合にも、第1改質領域7 aからシリコン基板10の表面10 a側に真っ直ぐに（シリコン基板10の厚さ方向に沿って）亀裂Fが伸展することを確認することができる。

[0039] 続いて、第1改質領域7 aからシリコン基板10の表面10 a側に伸展する亀裂Fの長さについて検証した。図14は、オフセット量と亀裂Fの長さとの関係を示すグラフである。亀裂Fの長さは、第1改質領域7 aからシリコン基板10の表面10 a側に伸展した亀裂Fの長さである。図14を参照すると、第2改質領域7 bを形成する際にレーザ光L1の集光点Pをオフセットさせても、オフセットさせなくても（オフセット量0 μm の場合でも）、第1改質領域7 aからシリコン基板10の表面10 a側に伸展する亀裂Fの長さは変わらないことを確認することができる。

[0040] 続いて、スプラッシュSの発生量について検証した。図15は、オフセット量とスプラッシュSの個数との関係を示すグラフである。スプラッシュSの個数は、切断予定ライン5から両側に20 μm 以上離れた領域において生じたスプラッシュSの個数（切断予定ライン5の長さ15 mm当たりの個数）である。図15を参照すると、第2改質領域7 bを形成する際にレーザ光L1の集光点Pをオフセットさせると、オフセットさせない場合（オフセット量0 μm の場合）に比べ、スプラッシュSの個数が減少することを確認することができる。なお、切断予定ライン5から両側に20 μm 以上離れた領域において生じたスプラッシュSの個数をカウントしたのは、特にそのようなスプラッシュSが、シリコン基板10の表面10 aに形成された機能素子の特性を劣化させる問題を引き起こすからである。切断予定ライン5の両側20 μm 以内の領域には、ダイシングストリート（隣り合う機能素子の間の

領域) が設けられることが多いため、当該領域に生じるスプラッシュ S が機能素子の特性を劣化させる問題を引き起こす可能性は低い。

[0041] 図 1 2 の (a) 及び (b)、図 1 3 の (a) 及び (b)、図 1 4 並びに図 1 5 の検証結果から、第 2 改質領域 7 b を形成する際にレーザ光 L 1 の集光点 P をオフセットさせても、第 1 改質領域 7 a からシリコン基板 1 0 の表面 1 0 a 側に真っ直ぐに (シリコン基板 1 0 の厚さ方向に沿って) 亀裂 F が伸展し、また、第 1 改質領域 7 a からシリコン基板 1 0 の表面 1 0 a 側に伸展する亀裂 F の長さが変わらないことが分かった。その一方で、第 2 改質領域 7 b を形成する際にレーザ光 L 1 の集光点 P をオフセットさせると、スプラッシュ S の個数が減少することが分かった。なお、図 1 2 の (a) 及び (b)、図 1 3 の (a) 及び (b)、図 1 4 並びに図 1 5 の検証において、オフセット量以外のレーザ光の照射条件は同一である。

[0042] スプラッシュ S の個数が減少することについての本発明者らの考察は、以下のとおりである。図 1 6 の (a) 及び (b) は、第 2 改質領域 7 b を形成する際にレーザ光 L 1 の集光点 P をオフセットさせた場合のシリコン基板 1 0 の写真を示す図である。より具体的には、図 1 6 の (a) は、切断後のシリコン基板 1 0 の切断予定ライン 5 に平行な面の写真を示す図であり、図 1 6 の (b) は、切断後のシリコン基板 1 0 の表面 1 0 a 側 (金属膜 1 1) の写真を示す図である。図 1 6 の (a) を参照すると、第 2 改質領域 7 b を形成する際にレーザ光 L 1 の集光点 P をオフセットさせたことで、形成済みの第 1 改質領域 7 a 及び第 2 改質領域 7 b から伸展した亀裂 F にレーザ光 L 1 が集光されることが抑制されて、第 2 改質領域 7 b が大きく形成されていることを確認することができる。つまり、第 2 改質領域 7 b の形成に寄与するレーザ光 L 1 の割合が増加し、抜け光の割合が減少したと考えられる。図 1 6 の (b) を参照すると、スプラッシュ S が生じていないことを確認することができる。

[0043] その一方で、第 2 改質領域 7 b を形成する際にレーザ光 L 1 の集光点 P をオフセットさせなかった場合のシリコン基板 1 0 の写真を示す図 1 1 の (a

）を参照すると、第2改質領域7bが小さく形成されていることを確認することができる。これは、形成済みの第1改質領域7a及び第2改質領域7bから伸展した亀裂Fにレーザ光L1が集光されて、抜け光が多くなっていることに起因すると考えられる。なお、図11の(a)及び(b)並びに図16の(a)及び(b)の検証において、オフセット量以外のレーザ光の照射条件は同一である。

[0044] 図17の(a), (b)及び(c)は、切断後のシリコン基板10の表面10a側(金属膜11)の写真を示す図である。より具体的には、図17の(a)は、オフセット量2 μ mの場合であり、図17の(b)は、オフセット量4 μ mの場合であり、図17の(c)は、オフセット量6 μ mの場合である。各場合において、オフセット量以外のレーザ光の照射条件は同一である。図17の(a)及び(b)を参照すると、第2改質領域7bを形成する際にレーザ光L1の集光点Pをオフセットさせた側とは反対側にスプラッシュSが生じていること、及び、オフセット量を大きくするほどスプラッシュSが切断予定ライン5から離れていることを確認することができる。また、図17の(a), (b)及び(c)を参照すると、オフセット量を大きくするほどスプラッシュSの発生領域が減少していることを確認することができる。なお、図17の(a)及び(b)の場合でも、第2改質領域7bを形成する際にレーザ光L1の集光点Pをオフセットさせなかった場合に比べれば、スプラッシュSの発生領域は減少している。

[0045] 図17の(a), (b)及び(c)の結果が得られた理由は、次のように考えられる。図18の(a)は、オフセット量が小さい場合におけるシリコン基板10の切断予定ライン5に垂直な面を示す図であり、図18の(b)は、オフセット量が大きい場合におけるシリコン基板10の切断予定ライン5に垂直な面を示す図である。なお、「第1改質領域7aを形成する際のレーザ光L1の集光点P」を「第1集光点P1といい、「第2改質領域7bを形成する際のレーザ光L1の集光点P」を「第2集光点P2」という。

[0046] 図18の(a)に示されるように、オフセット量が小さい場合には、形成

済みの第1改質領域7a及び第2改質領域7bから伸展した亀裂Fのうち、レーザ光L1の第2集光点P2が合わせられる部分F1が、シリコン基板10の厚さ方向Dに対して小さい角度で傾斜している。そのため、当該部分F1に対するレーザ光L1の入射角 θ が大きくなる。したがって、レーザ光L1のうち第2改質領域7bの形成に寄与しなかった抜け光L2は、シリコン基板10の厚さ方向Dに対して小さい角度で、レーザ光L1の集光点Pをオフセットさせた側とは反対側に進行する。これにより、シリコン基板10の表面10aに到達する抜け光L2の光路長が短くなり、シリコン基板10内での抜け光L2の吸収量及び散乱度合いが小さくなる。なお、「小さい」、「大きい」、「短い」等は、図18の(b)の場合との比較で用いている。

[0047] その一方で、図18の(b)に示されるように、オフセット量が多い場合には、形成済みの第1改質領域7a及び第2改質領域7bから伸展した亀裂Fのうち、レーザ光L1の第2集光点P2が合わせられる部分F1が、シリコン基板10の厚さ方向Dに対して大きい角度で傾斜している。そのため、当該部分F1に対するレーザ光L1の入射角 θ が小さくなる。したがって、レーザ光L1のうち第2改質領域7bの形成に寄与しなかった抜け光L2は、シリコン基板10の厚さ方向Dに対して大きい角度で、レーザ光L1の集光点Pをオフセットさせた側とは反対側に進行する。これにより、シリコン基板10の表面10aに到達する抜け光L2の光路長が長くなり、シリコン基板10内での抜け光L2の吸収量及び散乱度合いが大きくなる。なお、「大きい」、「小さい」、「長い」等は、図18の(a)の場合との比較で用いている。

[0048] 以上の図18の(a)及び(b)の考察から、第2改質領域7bを形成する際にレーザ光L1の集光点Pをオフセットさせた側とは反対側にスプラッシュSが生じ、オフセット量を大きくするほどスプラッシュSが切断予定ライン5から離れ、オフセット量を大きくするほどスプラッシュSの発生領域が減少すると考えられる。

[0049] 次に、実施形態のレーザ加工方法を用いた半導体チップの製造方法につい

て説明する。まず、図19に示されるように、表面10aに機能素子層15が形成されたシリコン基板10を含む加工対象物1を準備し、リング状の保持部材20に保持された保護フィルム22に加工対象物1の機能素子層15側を貼り付ける。機能素子層15は、マトリックス状に配置された複数の機能素子を含んでいる。

[0050] 続いて、隣り合う機能素子の間を通るように格子状に設定された切断予定ライン5のそれぞれに沿って、第1改質領域7aを形成する。より具体的には、シリコン基板10の裏面10bをレーザ光入射面として、1064nmよりも大きい波長を有するレーザ光L1をシリコン基板10に集光させて、シリコン基板10の表面10aとレーザ光L1の第1集光点P1との距離を第1距離に維持しつつ、切断予定ライン5に沿ってレーザ光L1の第1集光点P1を移動させることで、切断予定ライン5に沿って第1改質領域7aを形成する（第1工程）。このとき、切断予定ライン5に対して、シリコン基板10の厚さ方向及び切断予定ライン5の延在方向の両方向に垂直な方向にレーザ光L1の第1集光点P1をオフセットさせる距離を0に維持しつつ、切断予定ライン5に沿ってレーザ光L1の第1集光点P1を移動させる。つまり、シリコン基板10の厚さ方向から見た場合にレーザ光L1の第1集光点P1が切断予定ライン5上に位置した状態を維持しつつ、切断予定ライン5に沿ってレーザ光L1の第1集光点P1を移動させる。これにより、第1改質領域7aは、シリコン基板10の厚さ方向から見た場合に切断予定ライン5上に位置した状態で、切断予定ライン5に沿ってシリコン基板10の内部に形成される。

[0051] 続いて、隣り合う機能素子の間を通るように格子状に設定された切断予定ライン5のそれぞれに沿って、第2改質領域7bを形成する。より具体的には、シリコン基板10の裏面10bをレーザ光入射面として、1064nmよりも大きい波長を有するレーザ光L1をシリコン基板10に集光させて、シリコン基板10の表面10aとレーザ光L1の第2集光点P2との距離を第1距離よりも大きい第2距離に維持しつつ、且つ、レーザ光L1の第2集

光点P 2をオフセットさせつつ、切断予定ライン5に沿ってレーザ光L 1の第2集光点P 2を移動させることで、切断予定ライン5に沿って第2改質領域7 bを形成する（第2工程）。つまり、シリコン基板1 0の厚さ方向から見た場合にレーザ光Lの第2集光点P 2が切断予定ライン5から所定距離だけ離れた状態を維持しつつ、切断予定ライン5に沿って（切断予定ライン5に平行に）レーザ光Lの第2集光点P 2を移動させる。これにより、第2改質領域7 bは、シリコン基板1 0の厚さ方向から見た場合に切断予定ライン5から所定距離だけ離れた状態で、切断予定ライン5に沿って（切断予定ライン5に平行に）シリコン基板1 0の内部に形成される。

[0052] これにより、第1改質領域7 a及び第2改質領域7 bからシリコン基板1 0の厚さ方向に伸展した亀裂Fがシリコン基板1 0の表面1 0 aに到達し、機能素子層1 5が機能素子ごとに切断される。なお、一例として、シリコン基板1 0の厚さは、775 μm であり、第1改質領域7 a及び第2改質領域7 bは、シリコン基板1 0の表面1 0 aから深さ160 μm までの領域に形成される。

[0053] 以上の第1工程及び第2工程は、上述したレーザ加工装置1 00によって実施される。すなわち、支持台1 07が加工対象物1を支持する。レーザ光源1 01が、1064 nmよりも大きい波長を有するレーザ光L 1を出射する。集光用レンズ（集光光学系）1 05が、シリコン基板1 0の裏面1 0 bがレーザ光入射面となるように支持台1 07に支持された加工対象物1に、レーザ光源1 01から出射されたレーザ光L 1を集光する。そして、ステージ制御部（制御部）1 15及びレーザ光源制御部（制御部）1 02が、上述した第1工程及び第2工程が実施されるように、それぞれ、支持台1 07及びレーザ光源1 01の動作を制御する。なお、切断予定ライン5に対するレーザ光Lの第1集光点P 1及び第2集光点P 2の移動は、集光用レンズ1 05側の動作によって実現されてもよいし、支持台1 07側及び集光用レンズ1 05側の両方の動作によって実現されてもよい。

[0054] 続いて、図2 0に示されるように、シリコン基板1 0の裏面1 0 bを研磨

することにより、加工対象物 1 を所定の厚さに薄型化する。これにより、第 1 改質領域 7 a 及び第 2 改質領域 7 b からシリコン基板 1 0 の厚さ方向に伸展した亀裂 F がシリコン基板 1 0 の裏面 1 0 b に到達し、加工対象物 1 が機能素子ごとに切断される。なお、一例として、シリコン基板 1 0 は、厚さ 2 0 0 μm に薄型化される。

[0055] 続いて、図 2 1 に示されるように、拡張フィルム 2 3 をシリコン基板 1 0 の裏面 1 0 b 及び保持部材 2 0 に貼り付ける。続いて、図 2 2 に示されるように、保護フィルム 2 2 を除去する。続いて、図 2 3 に示されるように、拡張フィルム 2 3 に押圧部材 2 4 を押し当てることで、機能素子 1 5 a ごとに切断された加工対象物 1、すなわち、複数の半導体チップ 1 A を互いに離間させる。続いて、図 2 4 に示されるように、拡張フィルム 2 3 に紫外線を照射することで拡張フィルム 2 3 の粘着力を低下させ、各半導体チップ 1 A をピックアップする。

[0056] なお、シリコン基板 1 0 の裏面 1 0 b を研磨する際には、図 2 5 の (a) 及び (b) に示されるように、第 1 改質領域 7 a 及び第 2 改質領域 7 b が残るようにシリコン基板 1 0 の裏面 1 0 b を研磨してもよいし、図 2 6 の (a) 及び (b) に示されるように、第 1 改質領域 7 a が残り第 2 改質領域 7 b が残らないようにシリコン基板 1 0 の裏面 1 0 b を研磨してもよいし、図 2 7 の (a) 及び (b) に示されるように、第 1 改質領域 7 a 及び第 2 改質領域 7 b が残らないようにシリコン基板 1 0 の裏面 1 0 b を研磨してもよい。

[0057] 以上説明したように、実施形態のレーザ加工方法及びレーザ加工装置 1 0 0 では、1 0 6 4 nm よりも大きい波長を有するレーザ光 L 1 を用いる。これにより、1 0 6 4 nm 以下の波長を有するレーザ光 L 0 を用いる場合に比べ、第 1 改質領域 7 a 及び第 2 改質領域 7 b の形成に伴って第 1 改質領域 7 a 及び第 2 改質領域 7 b からシリコン基板 1 0 の厚さ方向に亀裂 F を大きく伸展させることができる。更に、第 2 改質領域 7 b を形成する際にはレーザ光 L 1 の第 2 集光点 P 2 をオフセットさせる。これにより、レーザ光入射面とは反対側の加工対象物 1 の表面 1 0 a にスプラッシュ S が生じるのを抑制

することができる。よって、実施形態のレーザ加工方法及びレーザ加工装置 100 によれば、スプラッシュ S が生じるのを抑制しつつ、加工効率を向上させることができる。

[0058] なお、 $1099\mu\text{m}$ 以上 $1342\mu\text{m}$ 以下の波長を有するレーザ光 L1 を用いると、第1改質領域 7a 及び第2改質領域 7b の形成に伴って第1改質領域 7a 及び第2改質領域 7b からシリコン基板 10 の厚さ方向に亀裂 F をより大きく伸展させることができる。特に $1342\mu\text{m}$ の波長を有するレーザ光 L1 は、当該亀裂 F をより大きく伸展させることができる。

[0059] また、第2改質領域 7b を形成する際にレーザ光 L1 の第2集光点 P2 をオフセットさせるオフセット量を $24\mu\text{m}$ 以下にすると、第1改質領域 7a と第2改質領域 7b との間で亀裂 F を確実に繋げて、第1改質領域 7a 及び第2改質領域 7b の形成に伴って第1改質領域 7a 及び第2改質領域 7b からシリコン基板 10 の厚さ方向に亀裂 F を確実に伸展させることができる。更に、当該オフセット量を $4\mu\text{m}$ 以上 $18\mu\text{m}$ 以下にすると、第1改質領域 7a と第2改質領域 7b との間で亀裂 F をより確実に繋げて、第1改質領域 7a 及び第2改質領域 7b からシリコン基板 10 の厚さ方向に亀裂 F をより確実に伸展させることができる。特に当該オフセット量を $6\mu\text{m}$ 以上 $16\mu\text{m}$ 以下にすると、スプラッシュ S の発生の抑制と亀裂 F の繋がり及び伸展とをバランス良く実現することができる。

[0060] また、実施形態のレーザ加工方法及びレーザ加工装置 100 では、第1改質領域 7a を形成する際に、切断予定ライン 5 に対して、シリコン基板 10 の厚さ方向及び切断予定ライン 5 の延在方向の両方向に垂直な方向にレーザ光 L1 の第1集光点 P1 をオフセットさせる距離を 0 に維持しつつ、切断予定ライン 5 に沿ってレーザ光 L1 の第1集光点 P1 を移動させる。これにより、第1改質領域 7a からシリコン基板 10 の表面 10a 側に伸展する亀裂 F を切断予定ライン 5 上に合わせることができる。

[0061] 以上、本開示の実施形態について説明したが、本開示の一形態は、上記実施形態に限られるものではなく、各請求項に記載した要旨を変更しない範囲

で変形し、又は他のものに適用してもよい。

[0062] 例えば、第1改質領域7aを形成する際に、切断予定ライン5に対して、シリコン基板10の厚さ方向及び切断予定ライン5の延在方向の両方向に垂直な方向における一方の側にレーザ光L1の第1集光点P1をオフセットさせ、第2改質領域7bを形成する際に、切断予定ライン5に対して、シリコン基板10の厚さ方向及び切断予定ライン5の延在方向の両方向に垂直な方向における他方の側にレーザ光L1の第2集光点P2をオフセットさせてもよい。つまり、第1改質領域7aを形成する際に、シリコン基板10の厚さ方向から見た場合にレーザ光Lの第1集光点P1が切断予定ライン5から一方の側に所定距離だけ離れた状態を維持しつつ、切断予定ライン5に沿って（切断予定ライン5に平行に）レーザ光Lの第1集光点P1を移動させ、第2改質領域7bを形成する際に、シリコン基板10の厚さ方向から見た場合にレーザ光Lの第2集光点P2が切断予定ライン5から他方の側に所定距離だけ離れた状態を維持しつつ、切断予定ライン5に沿って（切断予定ライン5に平行に）レーザ光Lの第2集光点P2を移動させてもよい。これにより、第1改質領域7aは、シリコン基板10の厚さ方向から見た場合に切断予定ライン5から一方の側に所定距離だけ離れた状態で、切断予定ライン5に沿って（切断予定ライン5に平行に）シリコン基板10の内部に形成され、第2改質領域7bは、シリコン基板10の厚さ方向から見た場合に切断予定ライン5から他方の側に所定距離だけ離れた状態で、切断予定ライン5に沿って（切断予定ライン5に平行に）シリコン基板10の内部に形成される。この場合、切断予定ライン5に対して一方の側及び他方の側に第1改質領域7a及び第2改質領域7bをバランス良く形成することができる。

[0063] また、本開示の一形態は、格子状に設定された全ての切断予定ライン5に対して第1改質領域7aの形成工程（第1工程）を実施し、その後に、格子状に設定された全ての切断予定ライン5に対して第2改質領域7bの形成工程（第2工程）を実施する例に限定されない。その他の例として、次のように第1改質領域7aの形成工程（第1工程）及び第2改質領域7bの形成工

程（第2工程）を実施してもよい。まず、格子状に設定された全ての切断予定ライン5のうち第1方向に延在する切断予定ライン5に対して第1改質領域7aの形成工程（第1工程）を実施し、その後に、当該第1方向に延在する切断予定ライン5に対して第2改質領域7bの形成工程（第2工程）を実施する。続いて、格子状に設定された全ての切断予定ライン5のうち第2方向（第1方向に垂直な方向）に延在する切断予定ライン5に対して第1改質領域7aの形成工程（第1工程）を実施し、その後に、当該第2方向に延在する切断予定ライン5に対して第2改質領域7bの形成工程（第2工程）を実施する。また、複数本の切断予定ライン5に対して、1本の切断予定ライン5ごとに、第1改質領域7aの形成工程（第1工程）を実施し、その後に、第2改質領域7bの形成工程（第2工程）を実施してもよい。つまり、1本の切断予定ライン5に対して第1改質領域7aの形成工程（第1工程）及び第2改質領域7bの形成工程（第2工程）を実施し、続いて、他の1本の切断予定ライン5に対して第1改質領域7aの形成工程（第1工程）及び第2改質領域7bの形成工程（第2工程）を実施してもよい。

[0064] また、第1改質領域7aの形成工程（第1工程）及び第2改質領域7bの形成工程（第2工程）の後に、シリコン基板10の裏面10bを研磨しなくてもよい。1本の切断予定ライン5あたりに形成される改質領域7の列数に対して加工対象物1の厚さが相対的に小さい場合、或いは、加工対象物1の厚さに対して1本の切断予定ライン5あたりに形成される改質領域7の列数が相対的に多い場合等には、シリコン基板10の裏面10bを研磨しなくても、加工対象物1を切断予定ライン5に沿って切断できることがある。

符号の説明

[0065] 1…加工対象物、5…切断予定ライン、7a…第1改質領域、7b…第2改質領域、10…シリコン基板、10a…表面、10b…裏面、15a…機能素子、100…レーザ加工装置、101…レーザ光源、102…レーザ光源制御部（制御部）、105…集光用レンズ（集光光学系）、107…支持台、115…ステージ制御部（制御部）、L1…レーザ光、P1…第1集光

点、P 2…第2集光点。

請求の範囲

- [請求項1] 表面に複数の機能素子が形成されたシリコン基板を含む加工対象物に、前記シリコン基板の裏面をレーザ光入射面として、 1064 nm よりも大きい波長を有するレーザ光を集光させて、前記シリコン基板の前記表面と前記レーザ光の第1集光点との距離を第1距離に維持しつつ、隣り合う前記機能素子の間を通るように設定された切断予定ラインに沿って前記レーザ光の前記第1集光点を移動させることで、前記切断予定ラインに沿って第1改質領域を形成する第1工程と、
- 前記第1工程の後に、前記加工対象物に、前記シリコン基板の前記裏面をレーザ光入射面として、 1064 nm よりも大きい波長を有する前記レーザ光を集光させて、前記シリコン基板の前記表面と前記レーザ光の第2集光点との距離を前記第1距離よりも大きい第2距離に維持しつつ、且つ、前記レーザ光の前記第1集光点を合わせた位置に対して、前記シリコン基板の厚さ方向及び前記切断予定ラインの延在方向の両方向に垂直な方向に前記レーザ光の前記第2集光点をオフセットさせつつ、前記切断予定ラインに沿って前記レーザ光の前記第2集光点を移動させることで、前記切断予定ラインに沿って第2改質領域を形成する第2工程と、を含む、レーザ加工方法。
- [請求項2] 前記レーザ光は、 $1099\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $1342\text{ }\mu\text{m}$ 以下の波長を有する、請求項1記載のレーザ加工方法。
- [請求項3] 前記レーザ光の前記第1集光点を合わせた位置に対して、前記シリコン基板の前記厚さ方向及び前記切断予定ラインの前記延在方向の両方向に垂直な前記方向に前記レーザ光の前記第2集光点をオフセットさせる距離は、 $24\text{ }\mu\text{m}$ 以下である、請求項1又は2記載のレーザ加工方法。
- [請求項4] 前記レーザ光の前記第1集光点を合わせた位置に対して、前記シリコン基板の前記厚さ方向及び前記切断予定ラインの前記延在方向の両方向に垂直な前記方向に前記レーザ光の前記第2集光点をオフセット

させる前記距離は、 $4\ \mu\text{m}$ 以上 $18\ \mu\text{m}$ 以下である、請求項3記載のレーザ加工方法。

[請求項5] 前記第1工程では、前記切断予定ラインに対して、前記シリコン基板の前記厚さ方向及び前記切断予定ラインの前記延在方向の両方向に垂直な前記方向に前記レーザ光の前記第1集光点をオフセットさせる距離を0に維持しつつ、前記切断予定ラインに沿って前記レーザ光の前記第1集光点を移動させる、請求項1～4のいずれか一項記載のレーザ加工方法。

[請求項6] 表面に複数の機能素子が形成されたシリコン基板を含む加工対象物を支持する支持台と、

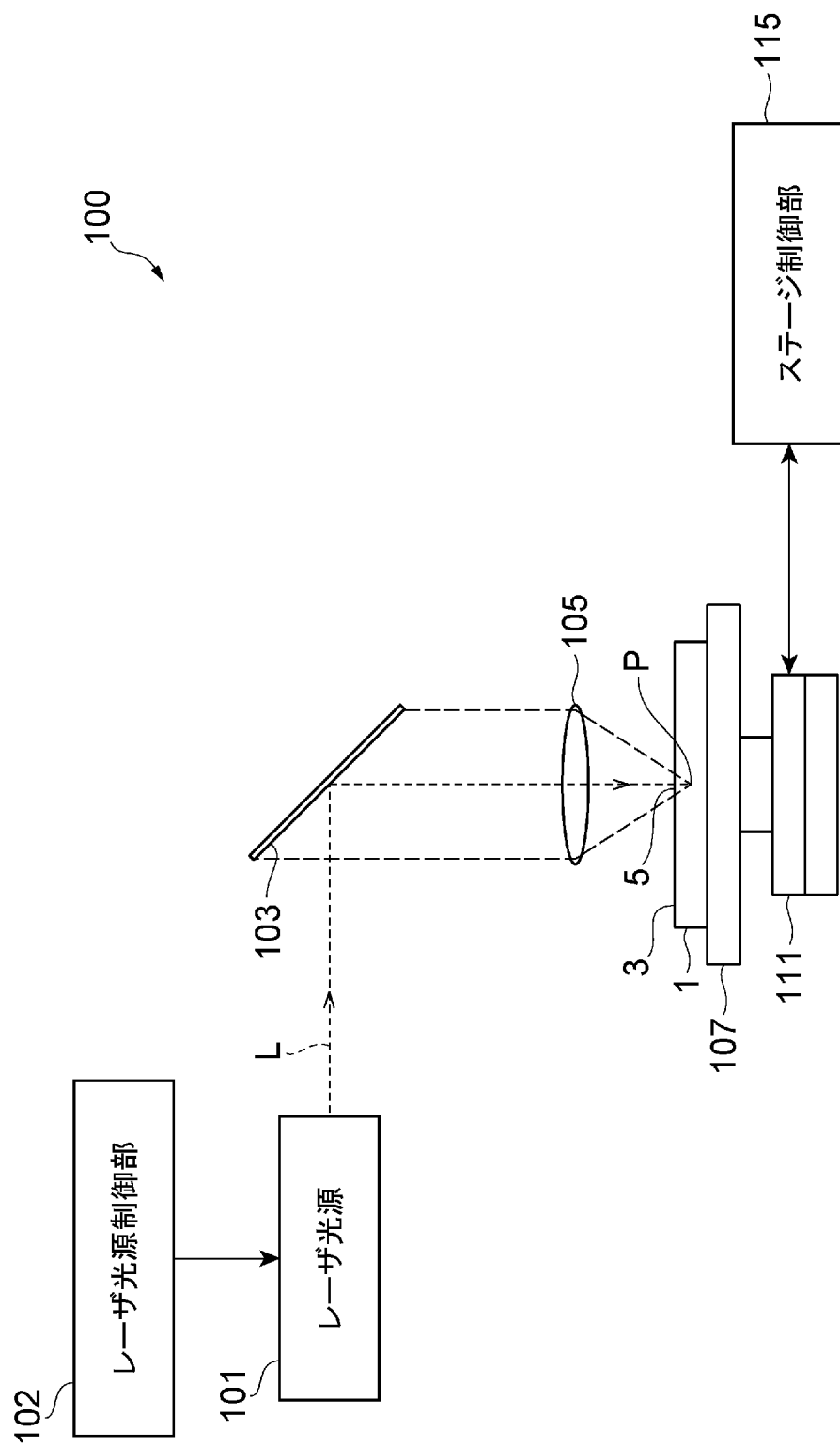
$1064\ \text{nm}$ よりも大きい波長を有するレーザ光を出射するレーザ光源と、

前記シリコン基板の裏面がレーザ光入射面となるように前記支持台に支持された前記加工対象物に、前記レーザ光源から出射された前記レーザ光を集光する集光光学系と、

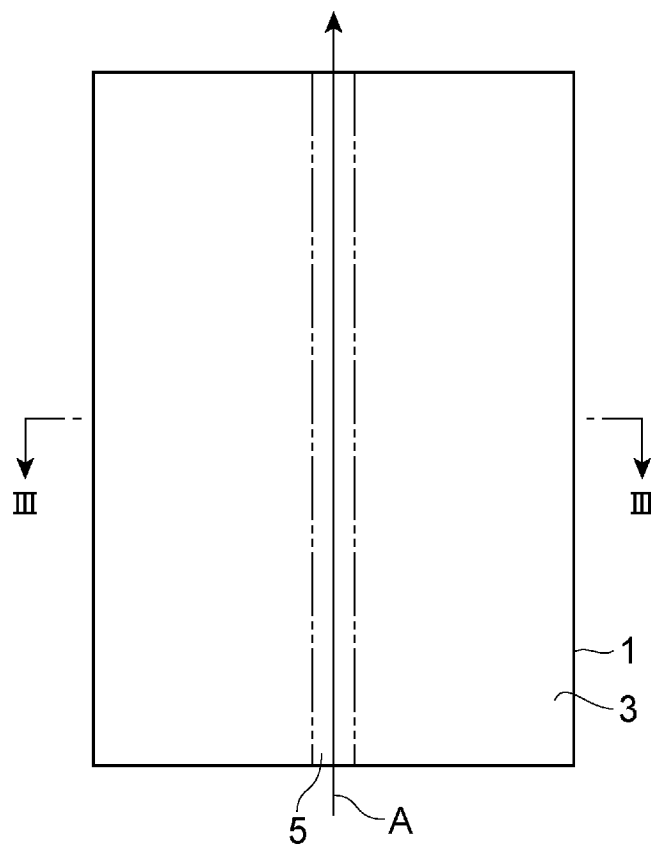
前記支持台、前記レーザ光源及び前記集光光学系の少なくとも1つの動作を制御する制御部と、を備え、

前記制御部は、前記シリコン基板の前記表面と前記レーザ光の第1集光点との距離を第1距離に維持しつつ、隣り合う前記機能素子の間を通るように設定された切断予定ラインに沿って前記レーザ光の前記第1集光点を移動させ、その後に、前記シリコン基板の前記表面と前記レーザ光の第2集光点との距離を前記第1距離よりも大きい第2距離に維持しつつ、且つ、前記レーザ光の前記第1集光点を合わせた位置に対して、前記シリコン基板の厚さ方向及び前記切断予定ラインの延在方向の両方向に垂直な方向に前記レーザ光の前記第2集光点をオフセットさせつつ、前記切断予定ラインに沿って前記レーザ光の前記第2集光点を移動させる、レーザ加工装置。

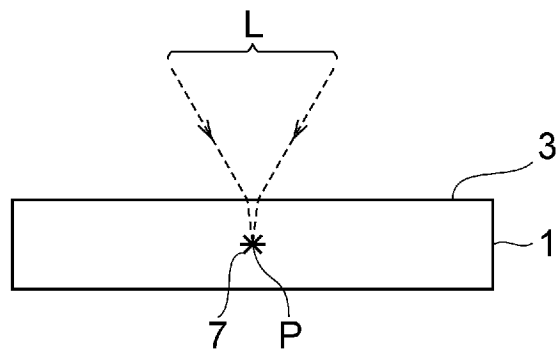
[図1]



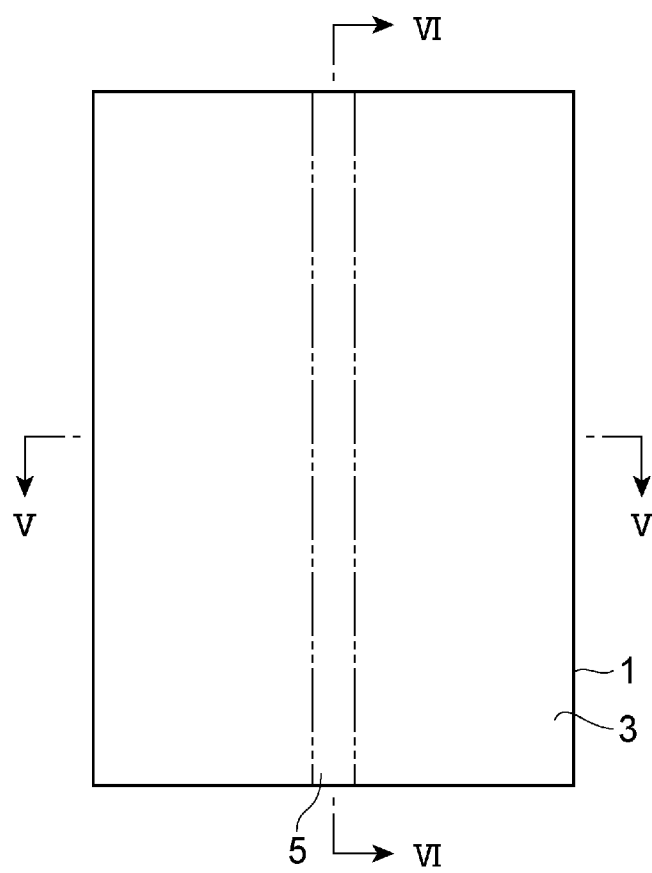
[図2]



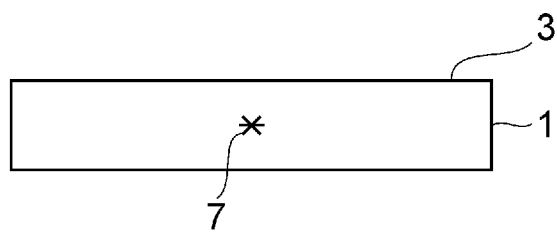
[図3]



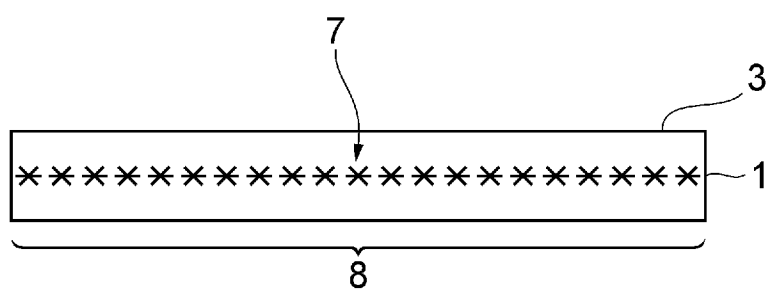
[図4]



[図5]

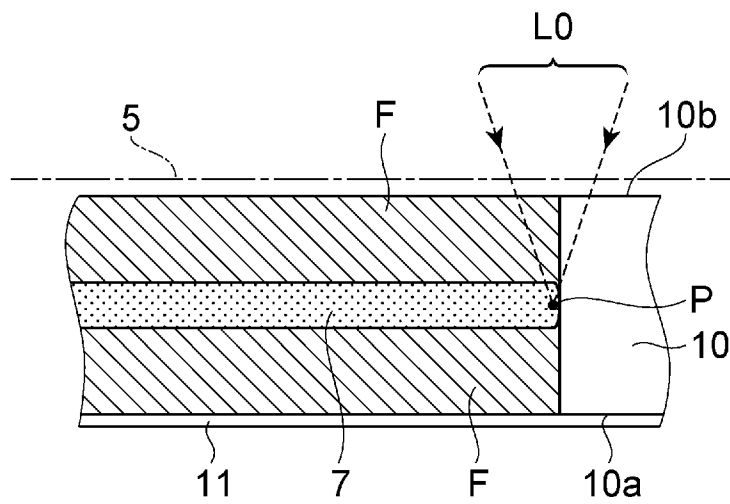


[図6]

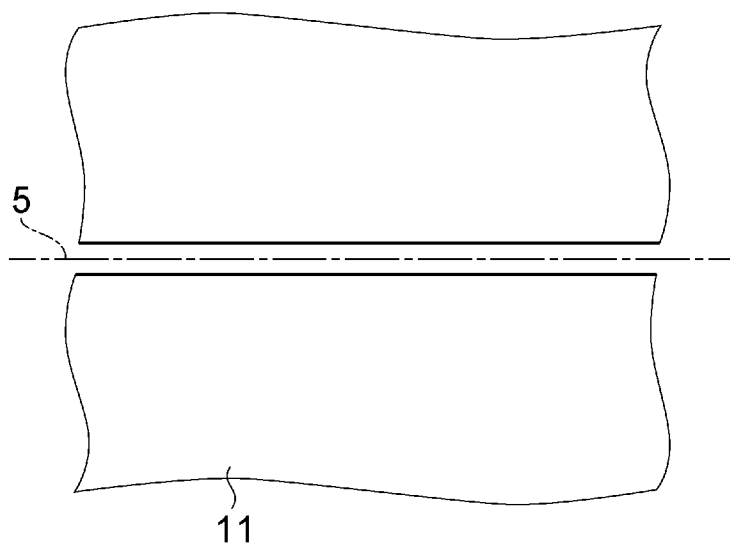


[図7]

(a)

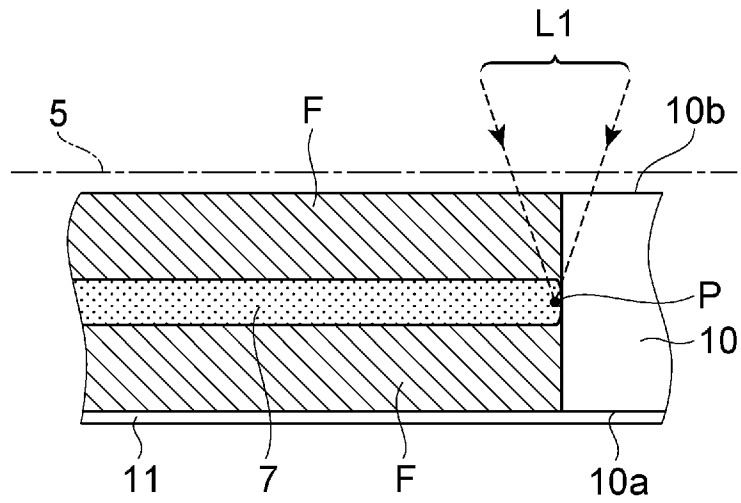


(b)

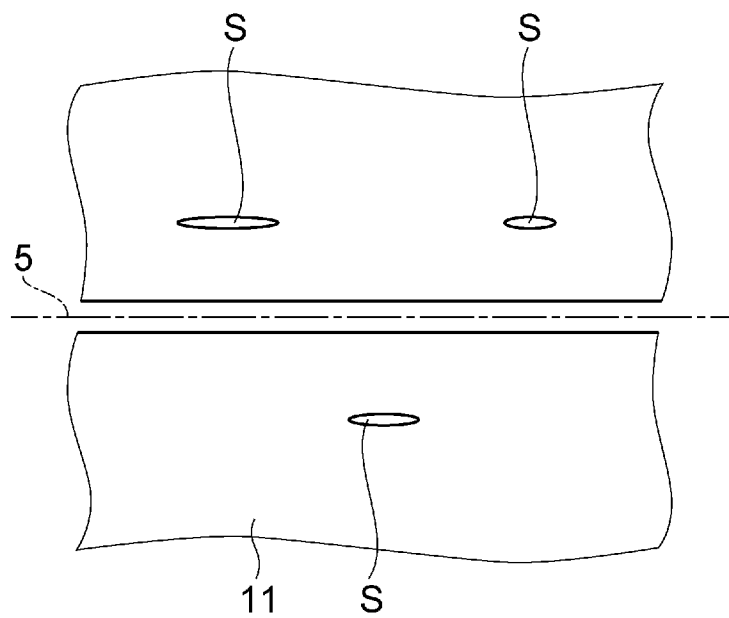


[図8]

(a)

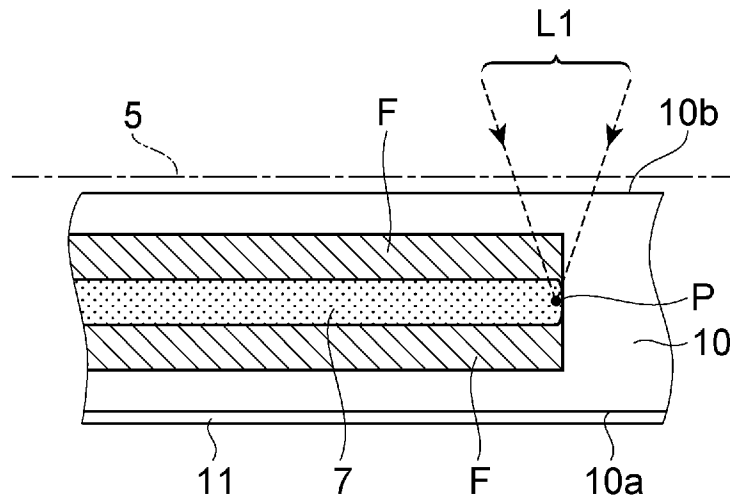


(b)

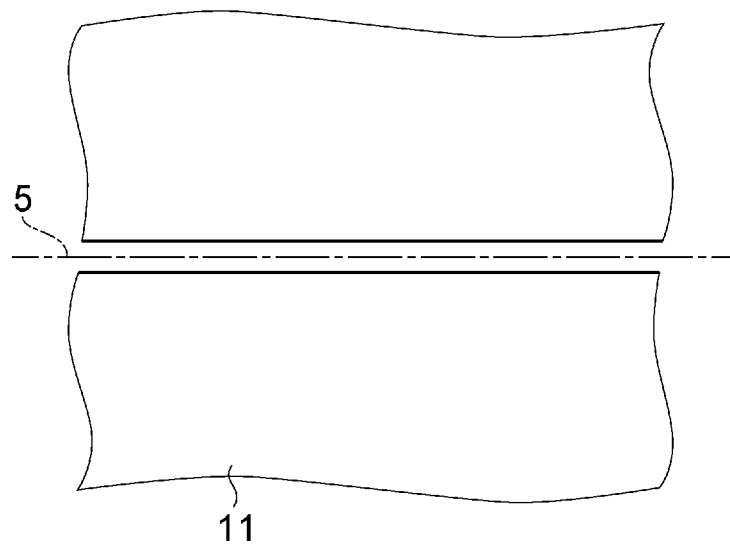


[図9]

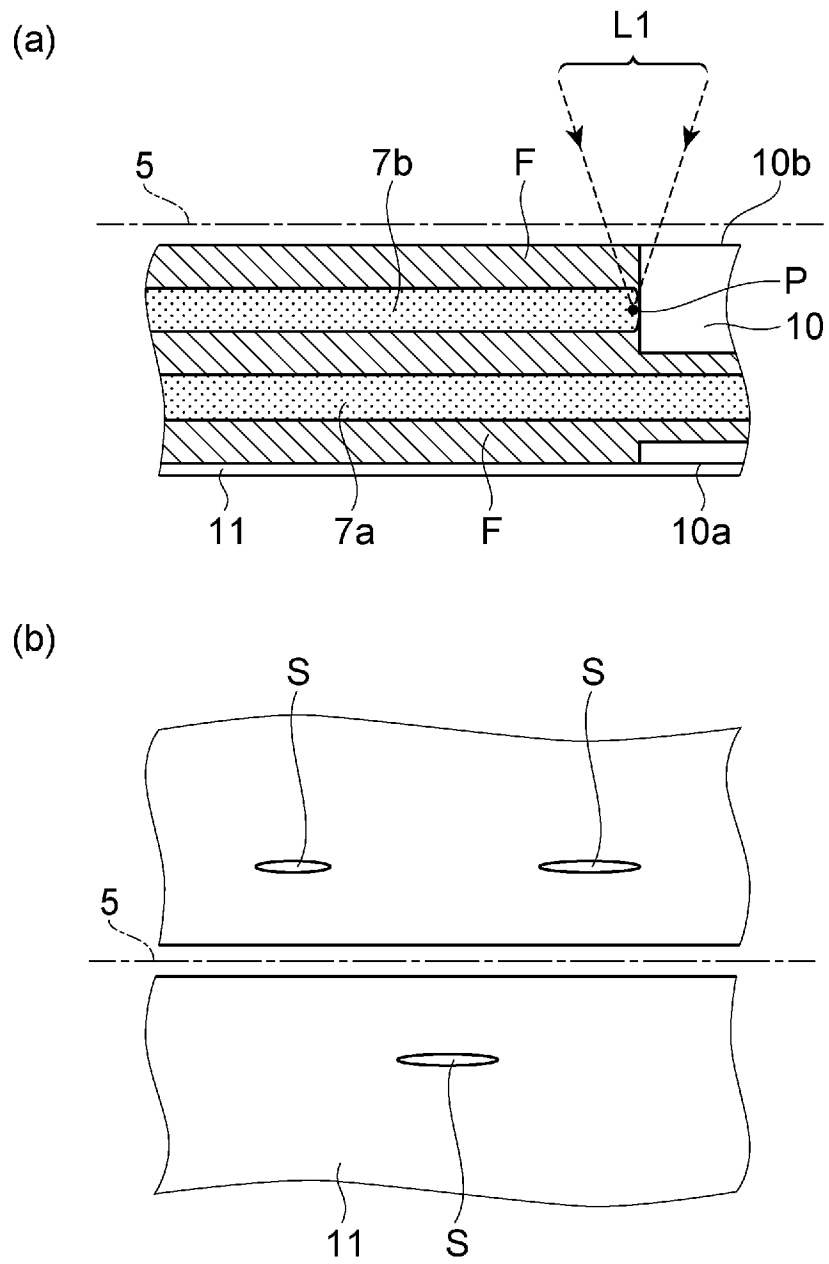
(a)



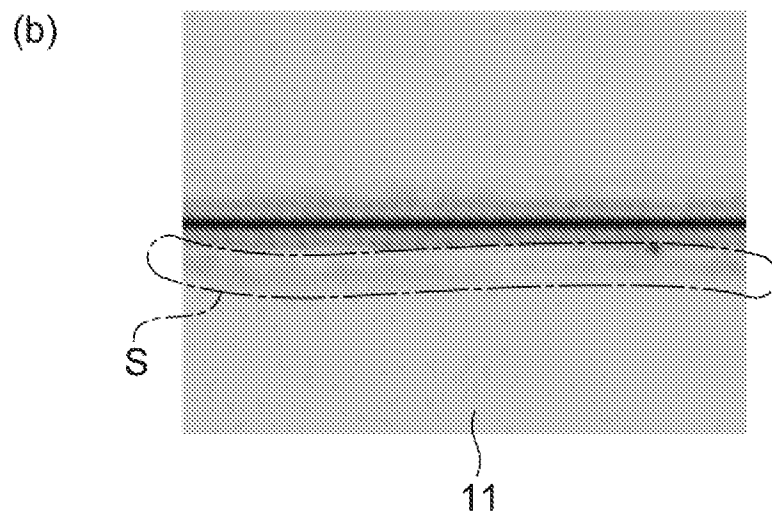
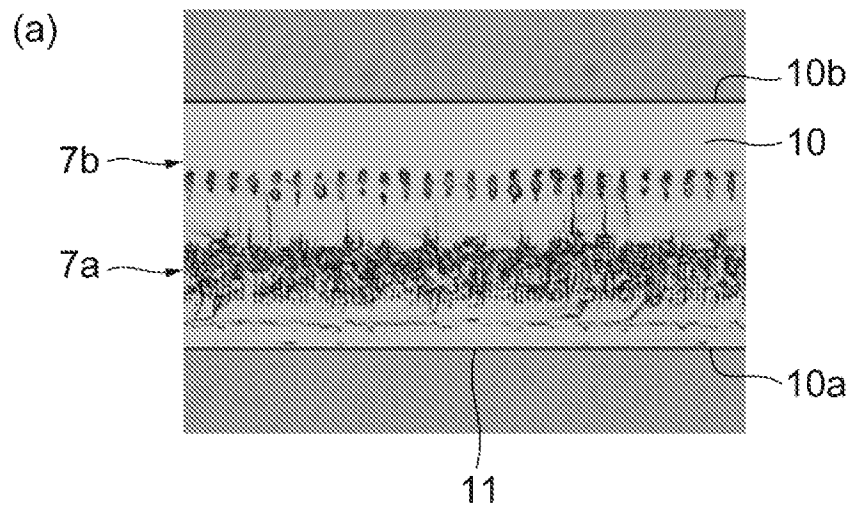
(b)



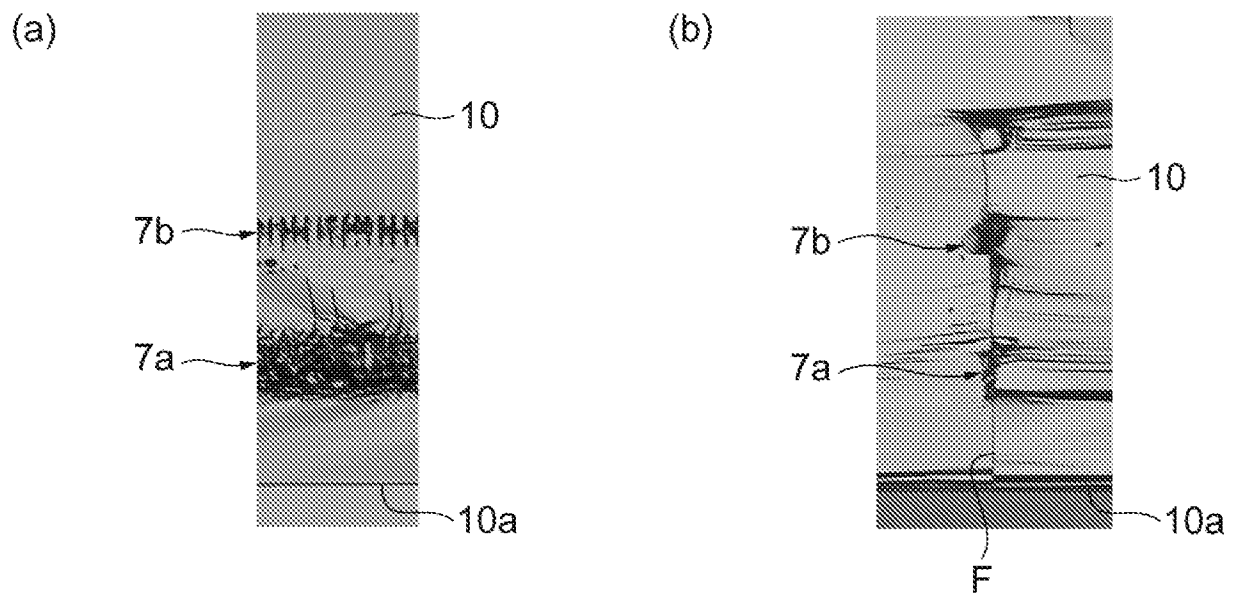
[図10]



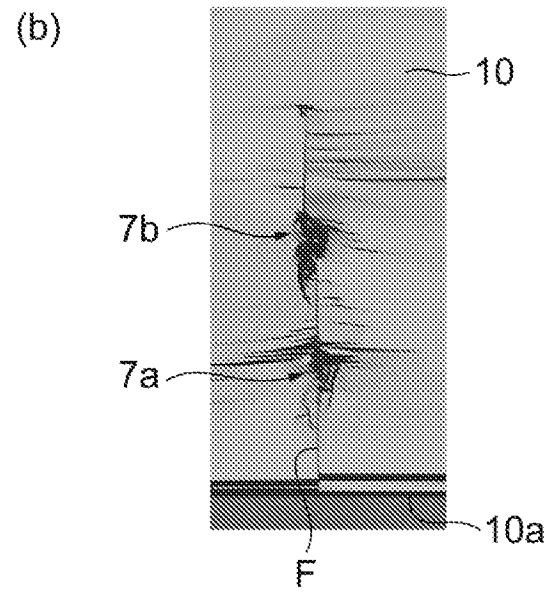
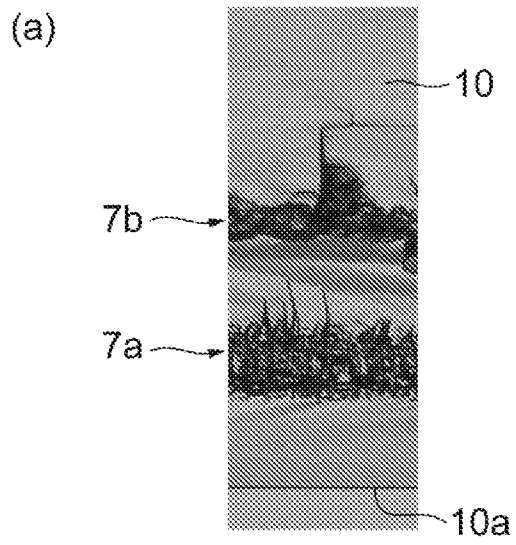
[図11]



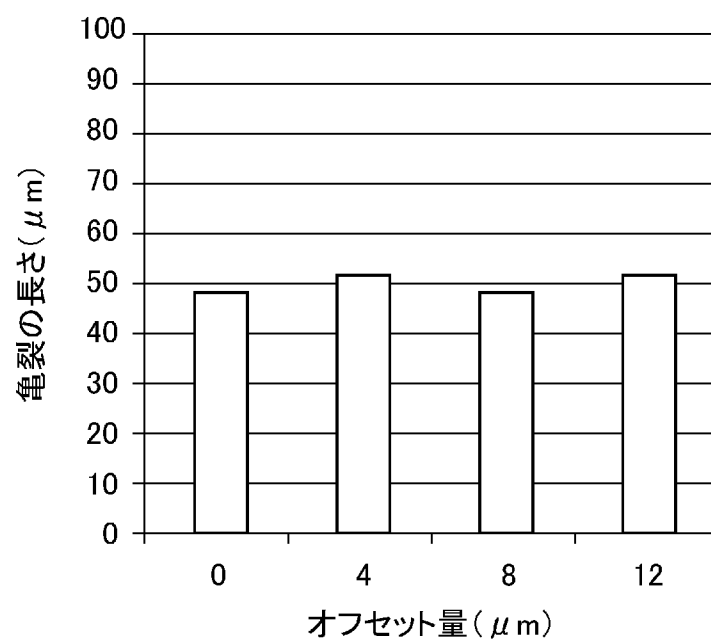
[図12]



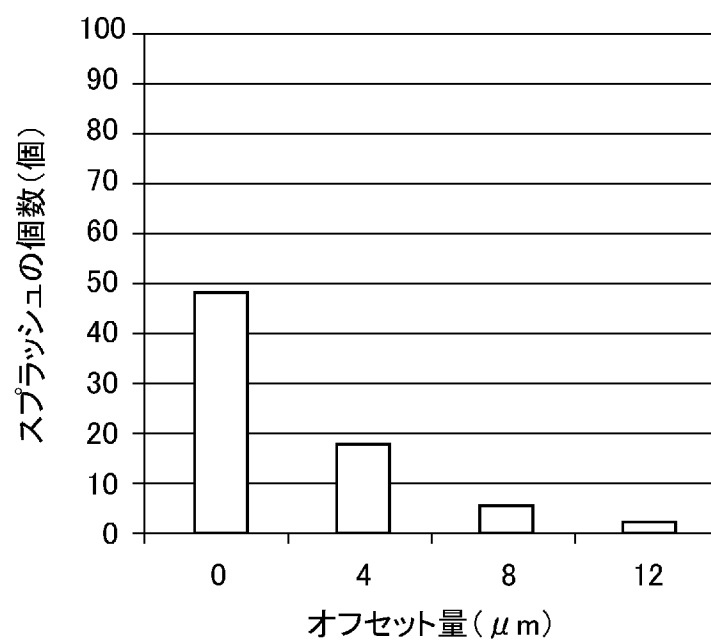
[図13]



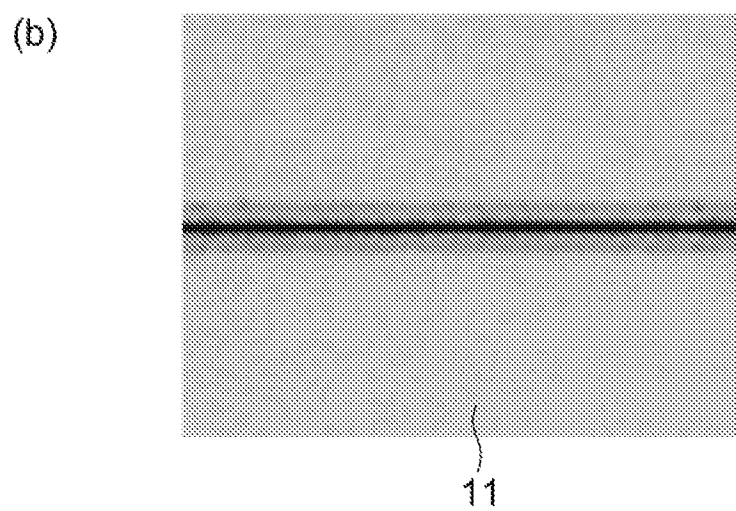
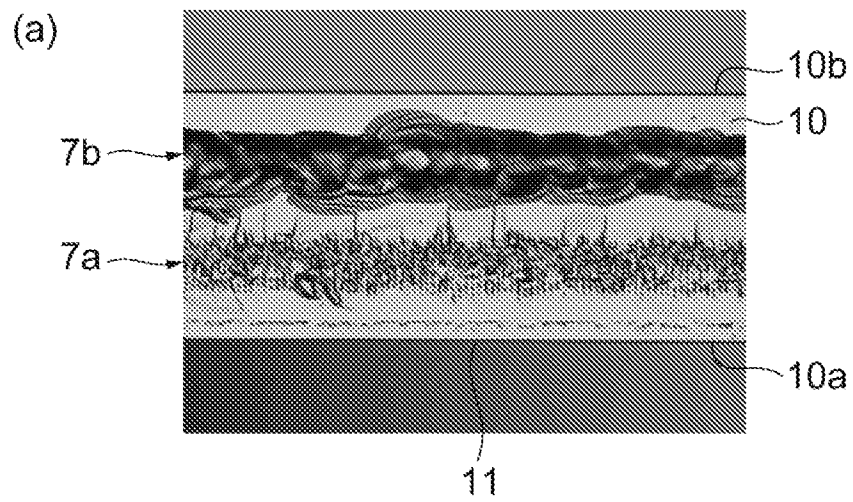
[図14]



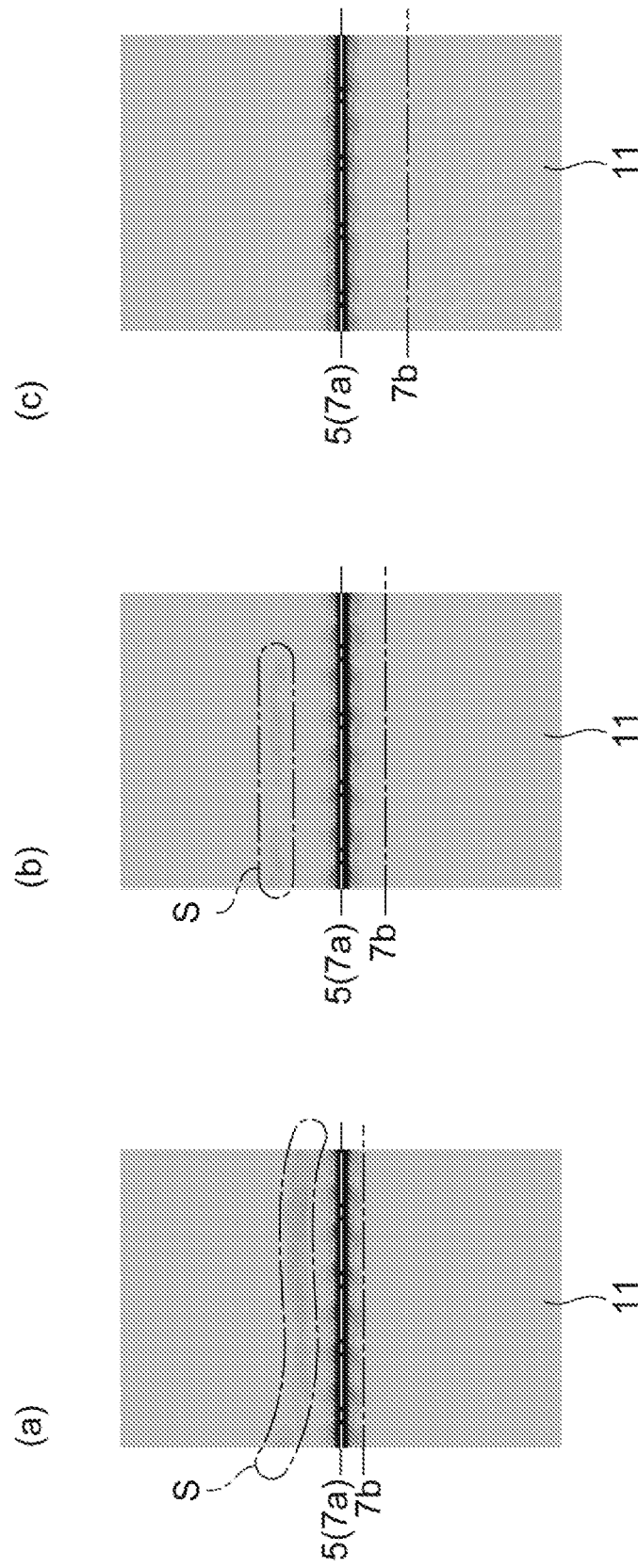
[図15]



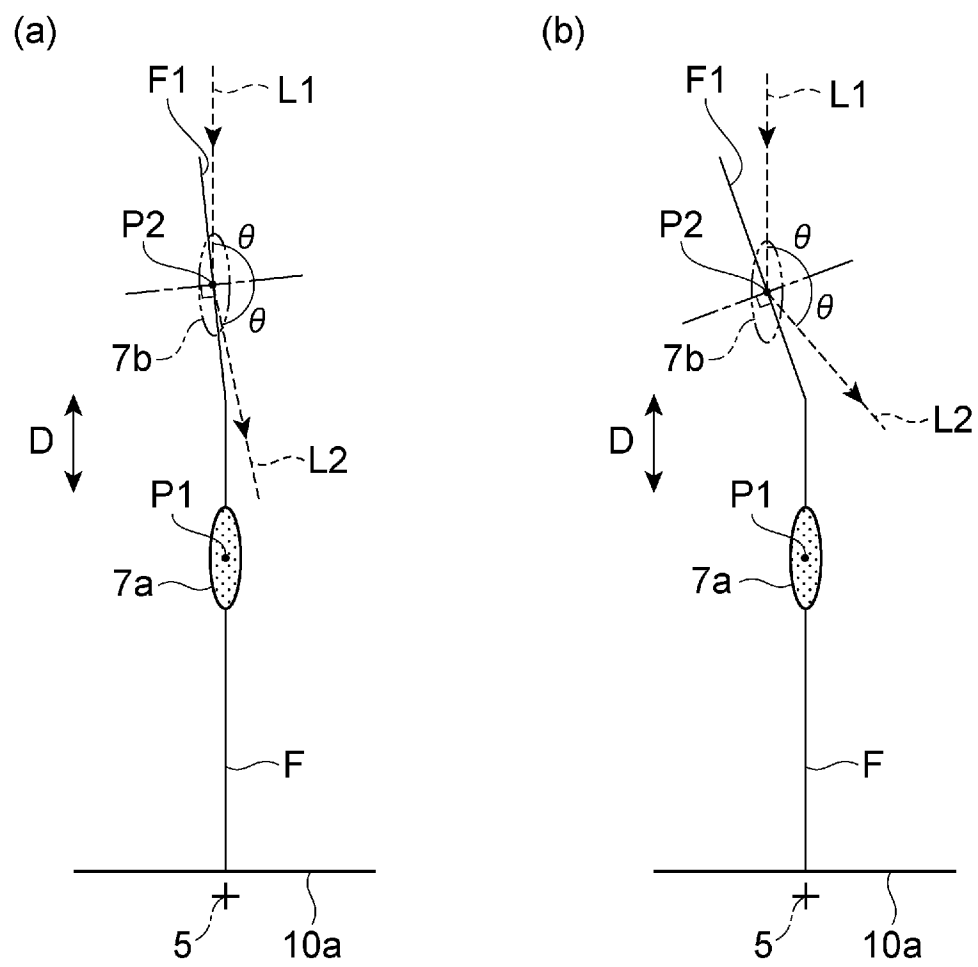
[図16]



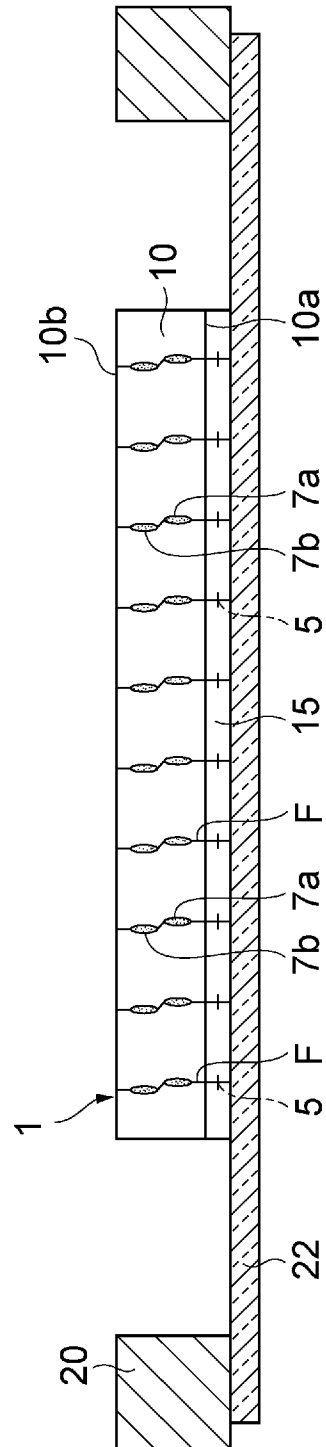
[図17]



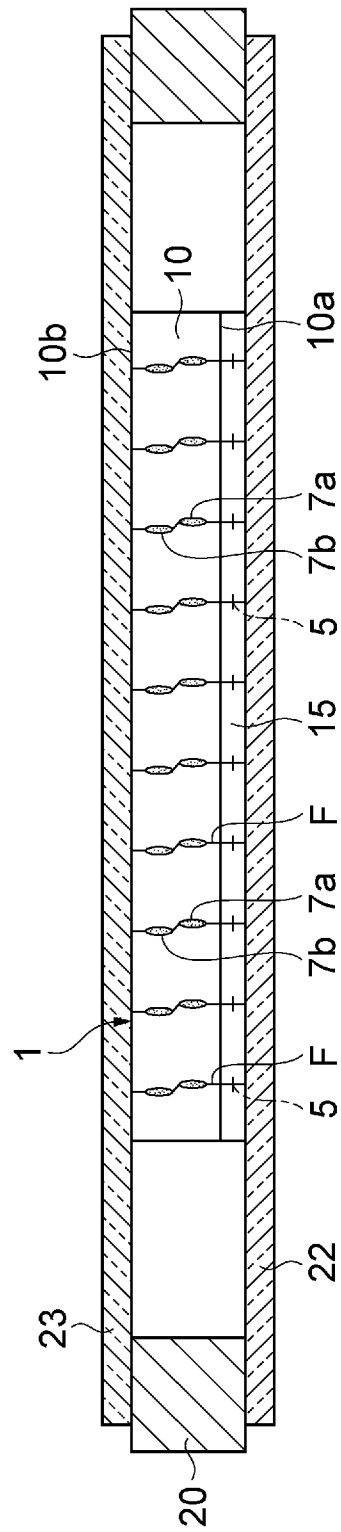
[図18]



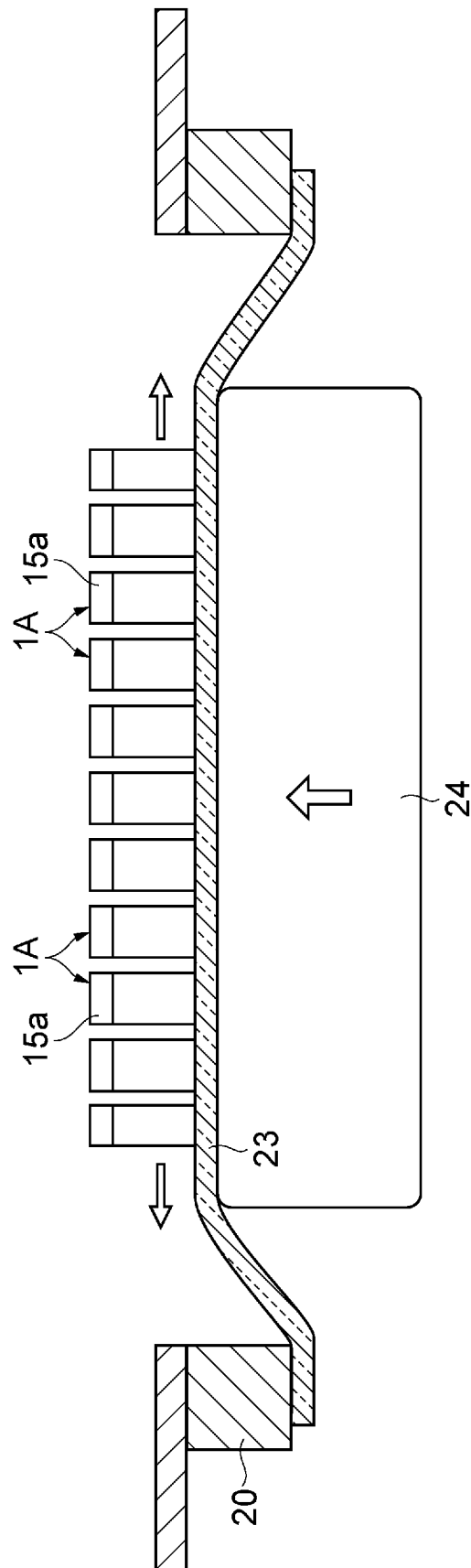
[図20]



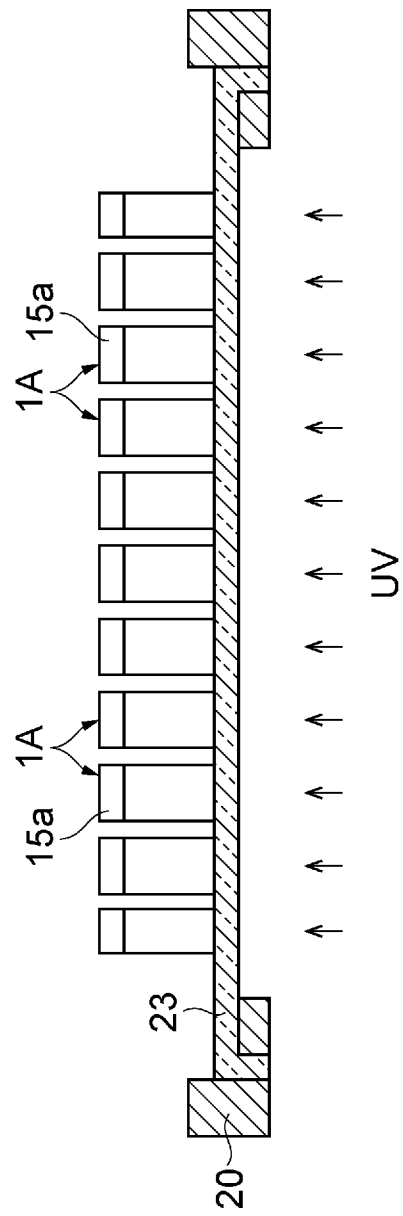
[図21]



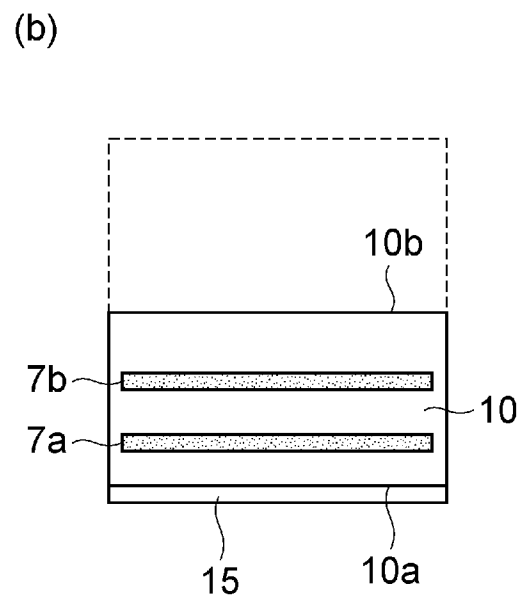
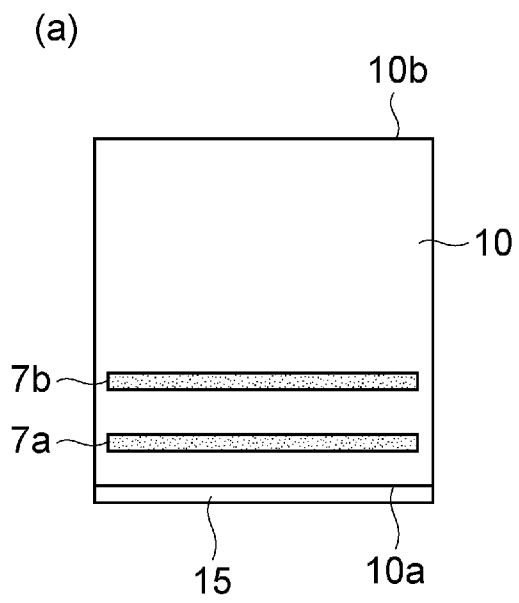
[図23]



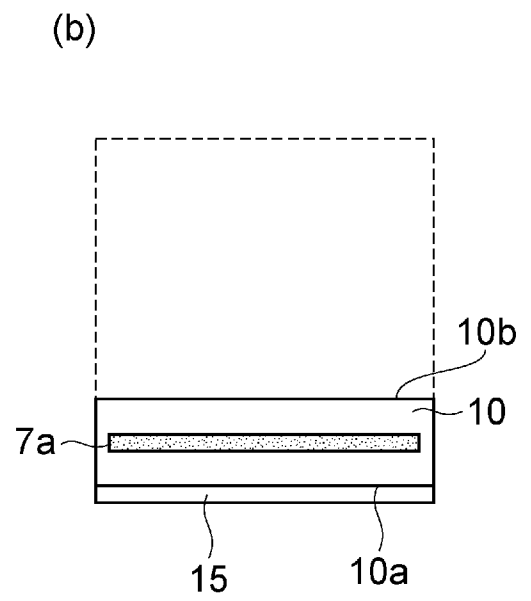
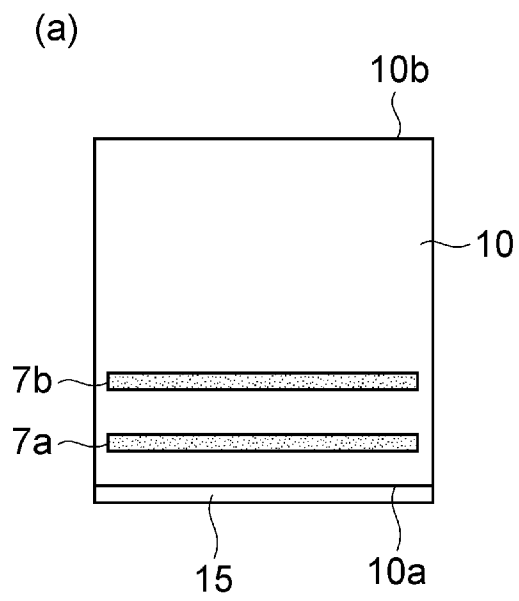
[図24]



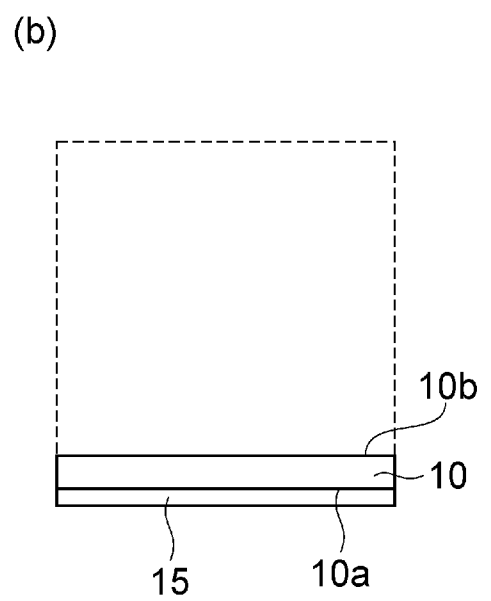
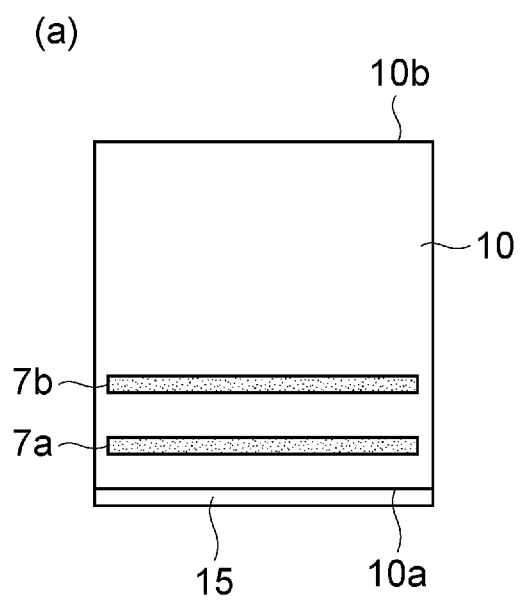
[図25]



[図26]



[図27]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/074039

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/301(2006.01)i, B23K26/00(2014.01)i, B23K26/04(2014.01)i, B23K26/53(2014.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L21/301, B23K26/00, B23K26/04, B23K26/53

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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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.
P, X	JP 2016-54205 A (Disco Inc.), 14 April 2016 (14.04.2016), paragraphs [0018] to [0053] (Family: none)	1-6
A	WO 2014/030519 A1 (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 27 February 2014 (27.02.2014), paragraphs [0030] to [0037] & JP 2014-41924 A & US 2015/0221816 A1 paragraphs [0046] to [0053] & CN 104508800 A & KR 10-2015-0045945 A & TW 201417974 A	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
08 September 2016 (08.09.16)

Date of mailing of the international search report
20 September 2016 (20.09.16)

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/JP2016/074039

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 2013-089714 A (Disco Inc.), 13 May 2013 (13.05.2013), paragraphs [0010] to [0035] (Family: none)	1-6
A	JP 2009-124077 A (Denso Corp.), 04 June 2009 (04.06.2009), paragraphs [0017] to [0027] (Family: none)	1-6
A	JP 2014-078556 A (Disco Inc.), 01 May 2014 (01.05.2014), paragraphs [0011] to [0030] (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. H01L21/301(2006.01)i, B23K26/00(2014.01)i, B23K26/04(2014.01)i, B23K26/53(2014.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H01L21/301, B23K26/00, B23K26/04, B23K26/53

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	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016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
P, X	JP 2016-54205 A (株式会社ディスコ) 2016.04.14, 段落 [0018] - [0053] (ファミリーなし)	1-6
A	W0 2014/030519 A1 (浜松ホトニクス株式会社) 2014.02.27, 段落 [0030] - [0037] & JP 2014-41924 A & US 2015/0221816 A1, 段落 [0046] - [0053] & CN 104508800 A & KR 10-2015-0045945 A & TW 201417974 A	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

08.09.2016

国際調査報告の発送日

20.09.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

中田 剛史

50

2951

電話番号 03-3581-1101 内線 3559

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 2013-089714 A (株式会社ディスコ) 2013.05.13, 段落 [0010] - [0035] (ファミリーなし)	1-6
A	JP 2009-124077 A (株式会社デンソー) 2009.06.04, 段落 [0017] - [0027] (ファミリーなし)	1-6
A	JP 2014-078556 A (株式会社ディスコ) 2014.05.01, 段落 [0011] - [0030] (ファミリーなし)	1-6