

(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 2017/056744 A1

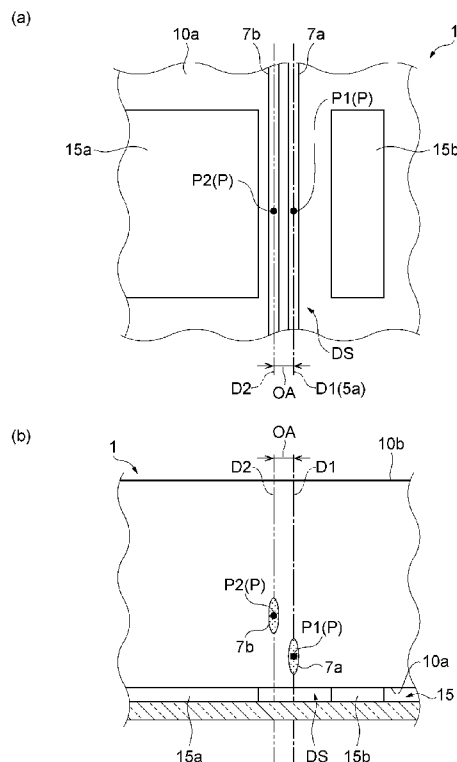
- (51) 国際特許分類:
H01L 21/301 (2006.01) B23K 26/04 (2014.01)
B23K 26/00 (2014.01) B23K 26/53 (2014.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/073468
- (22) 国際出願日: 2016 年 8 月 9 日(09.08.2016)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2015-191096 2015 年 9 月 29 日(29.09.2015) JP
- (71) 出願人: 浜松ホトニクス株式会社(HAMAMATSU 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,

[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

[図 21]



(57) Abstract: This method is provided with: a first step in which a laser beam is focused on an object to be processed having a front surface and a rear surface, using the rear surface as the incidence surface, and a first focal point is moved along a planned cutting line, which is set so as to pass between an effective region and a non-effective region which are adjacent to each other, while the distance between the front surface and the first focal point of the laser beam is maintained at a first distance, to form a first modified region along the planned cutting line; and a second step in which the laser beam is focused on the object to be processed, using the rear surface as the incidence surface, and a second focal point is moved along the planned cutting line, while the distance between the front surface and the second focal point of the laser beam is maintained at a second distance greater than the first distance, to form a second modified region along the planned cutting line.

(57) 要約: 表面及び裏面を有する加工対象物に、裏面を入射面としてレーザ光を集光させ、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、隣り合う有効領域と非有効領域との間を通るように設定された切断予定ラインに沿って第 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、前記加工対象物に、前記裏面を入射面として前記レーザ光を集光させて、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、前記切断予定ラインに沿って前記第 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、を備える方法。



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).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： レーザ加工方法及びレーザ加工装置

技術分野

[0001] 本発明の一側面は、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、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] ところで、加工対象物としては、上記のようなシリコン基板と、シリコン基板上に形成された機能素子を含む有効領域と、シリコン基板上に形成され

た非有効領域と、を含むものがある。有効領域は、加工対象物の切断により機能素子を含むチップとなる領域であり、非有効領域は、加工対象物の切断により不要となる領域である。このような加工対象物の加工に際しては、特に、有効領域においてシリコン基板の表面に損傷が生じることを抑制し、機能素子の特性の劣化を抑制することが重要となる。

[0006] 本発明の一側面は、機能素子の特性の劣化を抑制可能な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

[0007] 本発明の一側面に係るレーザ加工方法は、表面及び裏面を有する半導体基板と、表面上に形成された複数の有効領域と、有効領域の間において表面上に形成された非有効領域と、を有する加工対象物に、裏面を入射面としてレーザ光を集光させ、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、隣り合う有効領域と非有効領域との間を通るように設定された切断予定ラインに沿って第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、裏面を入射面としてレーザ光を集光させて、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、切断予定ラインに沿って第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、を備え、有効領域は、機能素子を含み、第2工程においては、半導体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ついて、第1集光点を合わせた位置よりも有効領域側に第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第2集光点を移動させる。

[0008] このレーザ加工方法においては、第2工程において、レーザ光の第1集光点を合わせた位置に対して、半導体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、レーザ光の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。特に、第2工程においては、第2集光点を、

第1集光点を合せた位置よりも有効領域側にオフセットさせる。これにより、加工対象物の表面に対して損傷が生じ得る位置を、非有効領域側にシフトさせることができる。すなわち、損傷が生じ得る位置を、機能素子を含む有効領域よりも非有効領域側に制御することができる。以上の観点から、このレーザ加工方法によれば、機能素子の特性の劣化を抑制可能である。

[0009] 本発明の一側面に係るレーザ加工方法においては、半導体基板は、シリコン基板であり、レーザ光は、1064nmよりも大きい波長を有してもよい。この場合、1064nm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改質領域から半導体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。よって、加工効率を向上させることができる。

[0010] 本発明の一側面に係るレーザ加工方法においては、レーザ光は、1099 μ m以上1342 μ 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改質領域から半導体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。

[0011] 本発明の一側面に係るレーザ加工方法においては、第1集光点を合せた位置に対して、半導体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第2集光点をオフセットさせる距離は、24 μ 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改質領域から半導体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。

[0012] 本発明の一側面に係るレーザ加工方法においては、第1集光点を合せた位置に対して、半導体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第2集光点をオフセットさせる距離は、2 μ m以上8 μ m以下であってもよい。この場合、第2集光点のオフセットの距離を必要十分な範囲とすることができる。

[0013] 本発明の一側面に係るレーザ加工方法においては、第1工程において、切

断予定ラインに対して、半導体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改質領域から半導体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。

[0014] 本発明の一側面のレーザ加工装置は、表面及び裏面を有する半導体基板と、表面上に形成された複数の有効領域と、有効領域の間において表面上に形成された非有効領域と、を有する加工対象物を支持する支持台と、レーザ光を出射するレーザ光源と、裏面が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、有効領域は、機能素子を含み、制御部は、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、隣り合う有効領域と非有効領域との間を通るように設定された切断予定ラインに沿って第1集光点を移動させ、その後に、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、半導体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ついて第1集光点を合わせた位置よりも有効領域側に第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第2集光点を移動させる。

[0015] 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する共に、損傷が生じ得る位置を、機能素子を含む有効領域よりも非有効領域側に制御することができる。よって、機能素子の特性の劣化を抑制可能である。

発明の効果

[0016] 本発明の一側面によれば、機能素子の特性の劣化を抑制可能な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

[0017] [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] (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。(b) は、切断後の加工対象物の平面図である。

[図8] (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。(b) は、切断後の加工対象物の平面図である。

[図9] (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。(b) は、切断後の加工対象物の平面図である。

[図10] (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。(b) は、切断後の加工対象物の平面図である。

[図11] (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。(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] (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。(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] (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。(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]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]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] (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。(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] (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。(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。(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] (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。(b)は、オフセット量が大き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]実施形態のレーザ加工方法における加工対象物を示す図である。

[図20]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]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]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]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]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]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26]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27] (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。(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28] (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

。(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29] (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

。(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

[0018] 以下、本発明の一側面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。

[0019] 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。

[0020] 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。

[0021] 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。

[0022] 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。

[0023] 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。

[0024] 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）。

[0025] 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。

[0026] 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）、 LiTaO_3 、及び、サファイア（ Al_2O_3 ）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、 LiTaO_3 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。

[0027] 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、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。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。

[0028] 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、「半導体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。また、以下では、半導体基板として、シリコン基板を例示する。

[0029] 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 μm の Cr 膜が形成され、その Cr 膜上に厚さ 50 μm の Au 膜が形成されることで、構成されている。

[0030] 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、1064 nm 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。

[0031] 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。

[0032] 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、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。

[0033] 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、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。

[0034] 図11は、図10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。

[0035] 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を用いることが望ましい。

[0036] しかし、上述した図8及び図10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。

[0037] 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。

[0038] 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。

[0039] 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。

[0040] 図13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13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13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をオフセットさせた場合にも、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。

[0041] 続いて、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7aからシリコン基板10の表面10a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をオフセットさせても、オフセットさせなくても（オフセット量0 μ mの場合でも）、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の長さは変わらないことを確認することができる。

[0042] 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 μ m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15mm当たりの個数）である。図15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をオフセットさせると、オフセットさせない場合（オフセット量0 μ m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 $20\mu\text{m}$ 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10a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 $20\mu\text{m}$ 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。

[0043] 図12～図15の検証結果から、第2改質領域7bを形成する際にレーザ光L1の集光点Pをオフセットさせても、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が伸展し、また、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12～図15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] 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16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16の（a）は、切断後のシリコン基板10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16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16の（a）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ことで、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が集光されることが抑制されて、第2改質領域7b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7bの形成に寄与するレーザ光L1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16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。

[0045] その一方で、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11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及び図16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。

[0046] 図17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。

[0047] 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L 1の集光点P」を「第2集光点P 2」という。

[0048] 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7 a及び第2改質領域7 bから伸展した亀裂Fのうち、レーザ光L 1の第2集光点P 2が合わせられる部分F 1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F 1に対するレーザ光L 1の入射角 θ が大きくなる。したがって、レーザ光L 1のうち第2改質領域7 bの形成に寄与しなかった抜け光L 2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L 1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10 aに到達する抜け光L 2の光路長が短くなり、シリコン基板10内での抜け光L 2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。

[0049] その一方で、図18の(b)に示されるように、オフセット量が大きい場合には、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のうち、レーザ光L 1の第2集光点P 2が合わせられる部分F 1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F 1に対するレーザ光L 1の入射角 θ が小さくなる。したがって、レーザ光L 1のうち第2改質領域7 bの形成に寄与しなかった抜け光L 2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L 1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10 aに到達する抜け光L 2の光路長が長くなり、シリコン基板10内での抜け光L 2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。

[0050] 以上の図18の考察から、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。

[0051] 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、加工対象物1を用意する。加工対象物1は、シリコン基板（半導体基板）10と、機能素子層15と、を有する。シリコン基板10は、表面10aと、表面10aの反対側の裏面10bと、を含む。機能素子層15は、表面10a上に形成されている。機能素子層15は、複数の有効領域15aと、複数の非有効領域15bと、を含む。有効領域15aは、それぞれ、機能素子を含む。したがって、有効領域15aは、加工対象物1の切断により機能素子を含む半導体チップとなる領域である。非有効領域15bは、加工対象物1の切断により不要となる（不要チップとなる）領域である。非有効領域15bは、例えばTEG領域である。

[0052] 有効領域15aは、表面10a上に第1及び第2の方向に沿って2次元状に配列されている。第1の方向と第2の方向とは、互いに交差（直交）している。非有効領域15bは、表面10a上において、互いに隣り合う有効領域15aの間に設けられている。ここでは、非有効領域15bは、第1及び第2の方向のうちの第1の方向のみについて、互いに隣り合う有効領域15aの間に配置されている。なお、第1の方向について、最も加工対象物1の端部側に位置する有効領域15aの外側にも、さらに非有効領域15bが設けられていてもよい。

[0053] 第1の方向について互いに隣り合う有効領域15aと非有効領域15bとの間には、第2の方向に延びるダイシングストリートDSが設けられている。また、第2の方向について互いに隣り合う有効領域15aの間には、第1の方向に延びるダイシングストリートDSが設けられている。ここでは、第2の方向に延びるダイシングストリートDS内に、切断予定ライン5aが設定されている。また、第1の方向に延びるダイシングストリートDS内に、切断予定ライン5bが設定されている。したがって、ここでは、切断予定ライン5は、隣り合う機能素子の間を通るように格子状に設定されている。

[0054] 続いて、図20に示されるように、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。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及び第2改質領域7bを形成する。この工程について、より詳細に説明する。

[0055] この工程では、図20及び図21に示されるように、まず、切断予定ライン5a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5aに沿って第1集光点P1を移動させることで、切断予定ライン5a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5a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5aの延在方向の両方向に垂直な方向に第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5aに沿って第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5a上に位置した状態を維持しつつ、切断予定ライン5a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5a上に位置した状態で、切断予定ライン5aに沿ってシリコン基板10の内部に形成される。

[0056] 続いて、切断予定ライン5a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P2をオフセットさせつつ、切断予定ライン5aに沿って第2集光点P2を移動させることで、切断予定ライン5a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 10 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 a 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 a 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 10 の厚さ方向から見た場合に切断予定ライン 5 a から所定距離だけ離れた状態で、切断予定ライン 5 a に沿って（切断予定ライン 5 a に平行に）シリコン基板 10 の内部に形成される。

[0057] このとき、第 2 集光点 P 2 のオフセットの方向を次のように設定する。すなわち、切断予定ライン 5 a は、互いに隣り合う有効領域 15 a 及び非有効領域 15 b の間に設定されている。そして、第 2 工程においては、シリコン基板 10 の厚さ方向及び切断予定ライン 5 a の延在方向の両方向に垂直な方向について、第 1 集光点 P 1 を合わせた位置 D 1 よりも有効領域 15 a 側（すなわち、非有効領域 15 b と反対側）に第 2 集光点 P 2 をオフセットさせる。すなわち、第 2 集光点 P 2 は、第 1 集光点 P 1 を合せた位置 D 1 と有効領域 15 a との間の位置 D 2 に合わせられる。位置 D 1 と位置 D 2 との間の距離が、オフセット量 O A となる。ここでのオフセット量 O A は、一例として、 $24\text{ }\mu\text{m}$ 以下（さらには、例えば $2\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $8\text{ }\mu\text{m}$ 以下）である。

[0058] 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 10 の厚さ方向に伸展した亀裂 F がシリコン基板 10 の表面 10 a に到達し、切断予定ライン 5 a に沿って、機能素子層 15 が有効領域 15 a 及び非有効領域 15 b ごとに切断される。なお、一例として、シリコン基板 10 の厚さは、 $775\text{ }\mu\text{m}$ 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 10 の表面 10 a から深さ $160\text{ }\mu\text{m}$ までの領域に形成される。

[0059] 続いて、切断予定ライン 5 b のそれぞれに沿って第 1 改質領域 7 a を形成する。より具体的には、シリコン基板 10 の裏面 10 b を入射面として、 1064 nm よりも大きい波長を有するレーザ光 L 1 をシリコン基板 10 に集光させて、シリコン基板 10 の表面 10 a とレーザ光 L の第 1 集光点 P 1 との距離を第 1 距離に維持しつつ、切断予定ライン 5 b に沿って第 1 集光点 P

1を移動させることで、切断予定ライン5bに沿って第1改質領域7aを形成する（第3工程）。このとき、切断予定ライン5b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5bの延在方向の両方向に垂直な方向に第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5bに沿って第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Lの第1集光点P1が切断予定ライン5b上に位置した状態を維持しつつ、切断予定ライン5bに沿ってレーザ光L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5b上に位置した状態で、切断予定ライン5bに沿ってシリコン基板10の内部に形成される。

[0060] 続いて、切断予定ライン5b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を入射面として、 1064 nm 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P2をオフセットさせつつ、切断予定ライン5bに沿って第2集光点P2を移動させることで、切断予定ライン5bに沿って第2改質領域7bを形成する（第4工程）。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Lの第2集光点P2が切断予定ライン5b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5bに沿って（切断予定ライン5bに平行に）レーザ光Lの第2集光点P2を移動させる。これにより、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5bから所定距離だけ離れた状態で、切断予定ライン5bに沿って（切断予定ライン5bに平行に）シリコン基板10の内部に形成される。

[0061] これにより、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の厚さ方向に伸展した亀裂Fがシリコン基板10の表面10aに到達し、切断予定ライン5bに沿って、機能素子層15が有効領域15aごとに切断される。

[0062] 以上の第1工程～第4工程は、上述したレーザ加工装置100によって実施される。すなわち、支持台107が加工対象物1を支持する。レーザ光源101が、1064nmよりも大きい波長を有するレーザ光L1を出射する。集光用レンズ（集光光学系）105が、シリコン基板10の裏面10bがレーザ光入射面となるように支持台107に支持された加工対象物1に、レーザ光源101から出射されたレーザ光L1を集光する。そして、ステージ制御部（制御部）115及びレーザ光源制御部（制御部）102が、上述した第1工程～第4工程が実施されるように、それぞれ、支持台107及びレーザ光源101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P1及び第2集光点P2の移動は、集光用レンズ105側の動作によって実現されてもよいし、支持台107側及び集光用レンズ105側の両方の動作によって実現されてもよい。

[0063] 続いて、図22に示されるように、シリコン基板10の裏面10b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の厚さ方向に伸展した亀裂Fがシリコン基板10の裏面10bに到達し、加工対象物1が有効領域15a及び非有効領域15bごとに切断される。なお、一例として、シリコン基板10は、厚さ200 μ mに薄型化される。

[0064] 続いて、図23に示されるように、拡張フィルム23をシリコン基板10の裏面10b及び保持部材20に貼り付ける。続いて、図24に示されるように、保護フィルム22を除去する。続いて、図25に示されるように、拡張フィルム23に押圧部材24を押し当てることで、有効領域15a及び非有効領域15bごとに切断された加工対象物1、すなわち、機能素子を含む複数の半導体チップ1A及び不要チップ1Bを互いに離間させる。続いて、図26に示されるように、拡張フィルム23に紫外線を照射することで拡張フィルム23の粘着力を低下させ、各半導体チップ1Aをピックアップする。

[0065] なお、シリコン基板10の裏面10bを研磨する際には、図27に示され

るように、第1改質領域7a及び第2改質領域7bが残るようにシリコン基板10の裏面10bを研磨してもよいし、図28に示されるように、第1改質領域7aが残り第2改質領域7bが残らないようにシリコン基板10の裏面10bを研磨してもよいし、図29に示されるように、第1改質領域7a及び第2改質領域7bが残らないようにシリコン基板10の裏面10bを研磨してもよい。

[0066] 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100では、レーザ光L1の第1集光点P1を合わせた位置D1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5aの延在方向の両方向に垂直な方向にレーザ光L1の第2集光点P2をオフセットさせる。これにより、レーザ光L1の入射面とは反対側の加工対象物1の表面10aに損傷（スプラッシュS）が生じるのを抑制することができる。特に、切断予定ライン5aに沿った加工の際（第2工程）には、第2集光点P2を、第1集光点P1を合せた位置よりも有効領域15a側にオフセットさせる。これにより、レーザ光L1の入射面とは反対側の加工対象物1の表面10aに対してスプラッシュSが生じ得る位置を、非有効領域15b側にシフトさせることができる。すなわち、スプラッシュSが生じ得る位置を、機能素子の特性に影響しない位置に制御することができる。以上の観点から、実施形態に係るレーザ加工方法及びレーザ加工装置100によれば、機能素子の特性の劣化を抑制可能である。

[0067] なお、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、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を大きく伸展させることができる。

[0068] また、1099 μ m以上1342 μ 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 $1342\text{ }\mu\text{m}$ 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。

[0069] 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 $24\text{ }\mu\text{m}$ 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 $4\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $18\text{ }\mu\text{m}$ 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 $6\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $16\text{ }\mu\text{m}$ 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。

[0070] ここで、上述したように、スプラッシュSは、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をオフセットさせた側とは反対側に生じ得る。したがって、有効領域15aと非有効領域15bとの間に設定された切断予定ライン5aに沿って第2改質領域7bを形成する場合（第2工程）においては、上記の通りオフセットの方向を設定することにより、スプラッシュSの生じ得る位置を非有効領域15b側に制御することができる。このため、機能素子の特性劣化の抑制に際して、スプラッシュSの発生自体を抑制する要求が相対的に低い。このため、第2集光点P2のオフセット量OAは、 $24\text{ }\mu\text{m}$ 以下の範囲において、特に $2\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $8\text{ }\mu\text{m}$ 以下の範囲で必要十分である。これによれば、第1改質領域7aと第2改質領域7bとのオフセットの距離も比較的小さくなるので、切断面の段差も小さくなる。

[0071] これに対して、有効領域15a同士の間設定された切断予定ライン5bに沿って第2改質領域7bを形成する場合（第4工程）においては、切断予定ライン5bの両側が有効領域15aであるため、スプラッシュSの発生自体を抑制する要求が相対的に高い。したがって、この場合には、 $24\text{ }\mu\text{m}$ 以

下の範囲において、特に、 $4\ \mu\text{m}$ 以上 $18\ \mu\text{m}$ 以下の範囲とすることができる。

[0072] 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（切断予定ライン5a, 5b）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。

[0073] 以上、本発明の一側面の一実施形態について説明したが、本発明の一側面は、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。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。

[0074] また、上記実施形態においては、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の方向に延在する切断予定ライン5aに対して第1改質領域7aの形成工程（第1工程）を実施し、続いて、当該第2の方向に延在する切断予定ライン5aに対して第2改質領域7bの形成工程（第2工程）を実施した。そして、格子状に設定された全ての切断予定ライン5のうち第1の方向に延在する切断予定ライン5bに対して第1改質領域7aの形成工程（第3工程）を実施し、その後に、当該第1の方向に延在する切断予定ライン5bに対して第2改質領域7bの形成工程（第4工程）を実施した。

[0075] しかしながら、第1～第4工程の実施順序は、この例に限定されない。例えば、格子状に設定された全ての切断予定ライン5（切断予定ライン5a、5b）に対して第1改質領域7aの形成工程（第1工程及び第3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（切断予定ライン5a、5b）に対して第2改質領域7bの形成工程（第2工程及び第4工程）を実施してもよい。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工程又は第3工程）を実施し、その後に、第2改質領域7bの形成工程（第2工程又は第4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工程又は第3工程）及び第2改質領域7bの形成工程（第2工程又は第4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工程又は第3工程）及び第2改質領域7bの形成工程（第2工程又は第4工程）を実施してもよ

い。

[0076] また、加工対象物 1 は、シリコン基板 10 に代えて、別の半導体材料からなる半導体基板を備えていてもよい。その場合には、レーザ光 L1 の波長は、必ずしも 1064 μm よりも大きくななくてもよい（例えば 1064 μm であってもよい）。

[0077] さらに、第 1 改質領域 7a の形成工程（第 1 工程及び第 3 工程）及び第 2 改質領域 7b の形成工程（第 2 工程及び第 4 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 当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 当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。

産業上の利用可能性

[0078] 機能素子の特性の劣化を抑制可能な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。

符号の説明

[0079] 1…加工対象物、5, 5a, 5b…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（半導体基板）、10a…表面、10b…裏面、15a…有効領域、15b…非有効領域、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、P2…第 2 集光点。

請求の範囲

[請求項1] 表面及び裏面を有する半導体基板と、前記表面上に形成された複数の有効領域と、前記有効領域の間において前記表面上に形成された非有効領域と、を有する加工対象物に、前記裏面を入射面としてレーザ光を集光させ、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、隣り合う前記有効領域と前記非有効領域との間を通過するように設定された切断予定ラインに沿って前記第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、前記裏面を入射面として前記レーザ光を集光させて、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、前記切断予定ラインに沿って前記第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、

を備え、

前記有効領域は、機能素子を含み、

前記第2工程においては、前記半導体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ついて、前記第1集光点を合わせた位置よりも前記有効領域側に前記第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第2集光点を移動させる、

レーザ加工方法。

[請求項2] 前記半導体基板は、シリコン基板であり、

前記レーザ光は、1064nmよりも大きい波長を有する、

請求項1に記載のレーザ加工方法。

[請求項3] 前記レーザ光は、1099 μ m以上1342 μ m以下の波長を有する、

請求項2に記載のレーザ加工方法。

[請求項4] 前記第1集光点を合わせた位置に対して、前記半導体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第2集光点をオフセットさせる距離は、 $24\mu\text{m}$ 以下である、

請求項1～3のいずれか一項に記載のレーザ加工方法。

[請求項5] 前記第1集光点を合わせた位置に対して、前記半導体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第2集光点をオフセットさせる前記距離は、 $2\mu\text{m}$ 以上 $8\mu\text{m}$ 以下である、

請求項4に記載のレーザ加工方法。

[請求項6] 前記第1工程において、前記切断予定ラインに対して、前記半導体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第1集光点を移動させる、

請求項1～5のいずれか一項に記載のレーザ加工方法。

[請求項7] 表面及び裏面を有する半導体基板と、前記表面上に形成された複数の有効領域と、前記有効領域の間において前記表面上に形成された非有効領域と、を有する加工対象物を支持する支持台と、

レーザ光を出射するレーザ光源と、

前記裏面が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、

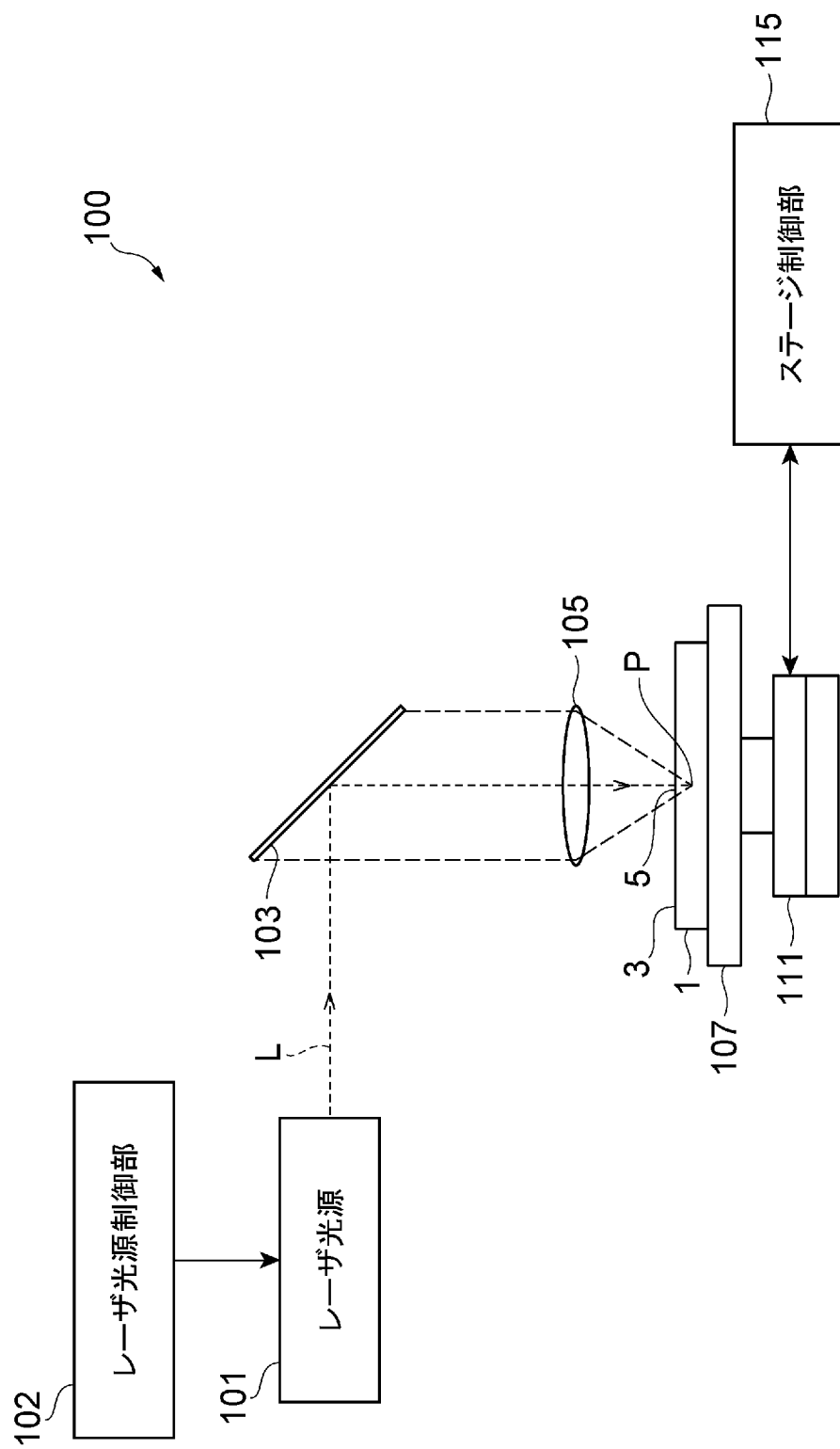
前記有効領域は、機能素子を含み、

前記制御部は、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、隣り合う前記有効領域と前記非有効領域との間

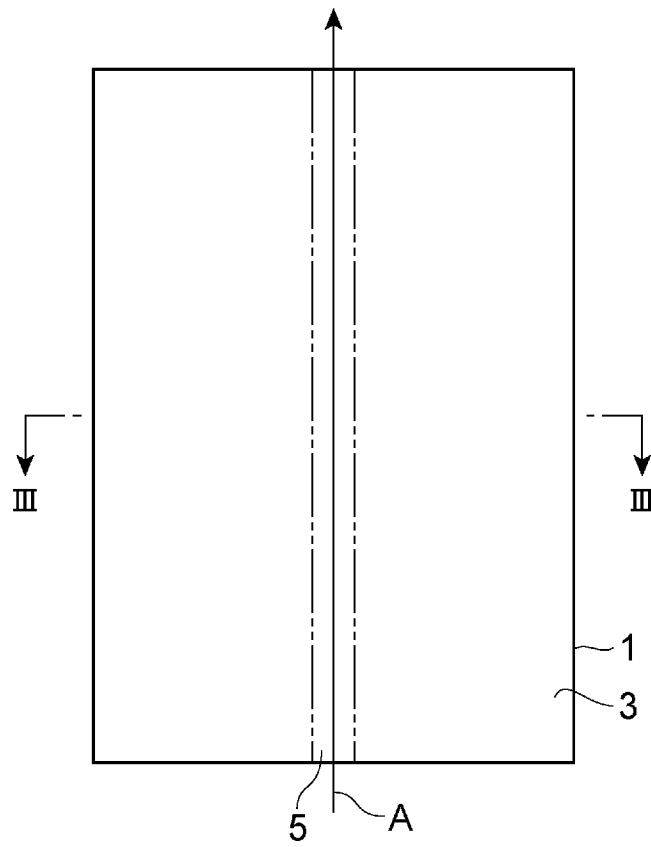
を通るように設定された切断予定ラインに沿って前記第 1 集光点を移動させ、その後に、前記表面と前記レーザ光の第 2 集光点との距離を前記第 1 距離よりも大きい第 2 距離に維持しつつ、且つ、前記半導体基板の厚さ方向及び前記切断予定ラインの延在方向の両方向に垂直な方向について前記第 1 集光点を合わせた位置よりも前記有効領域側に前記第 2 集光点をオフセットさせつつ、前記切断予定ラインに沿って前記第 2 集光点を移動させる、

レーザ加工装置。

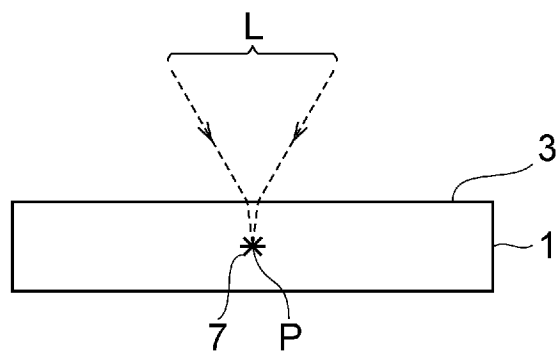
[図1]



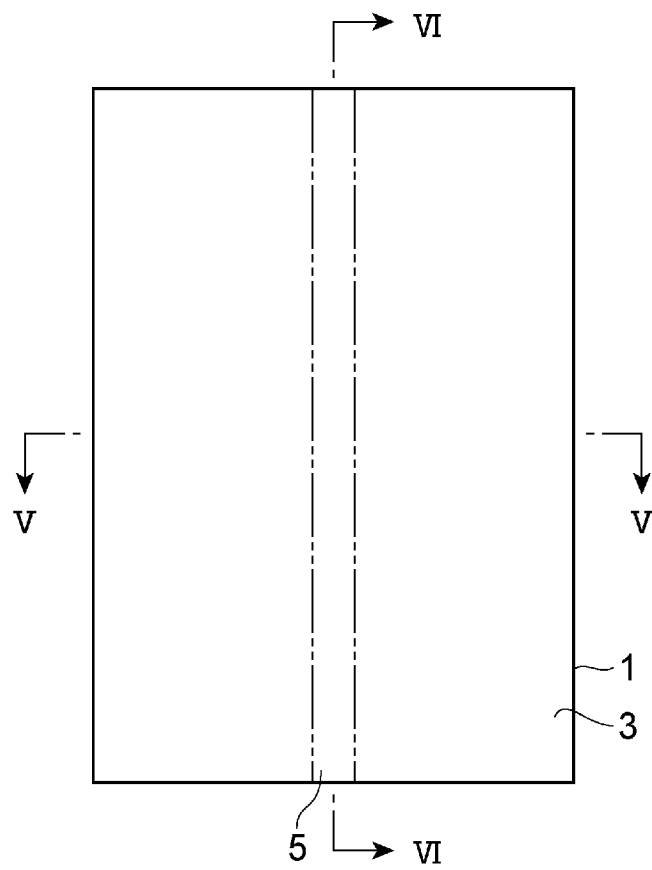
[図2]



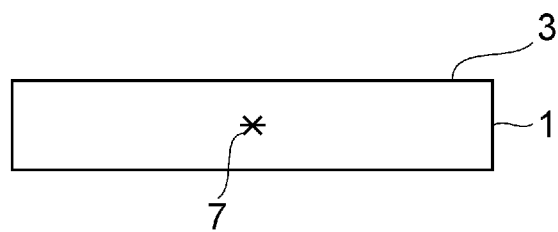
[図3]



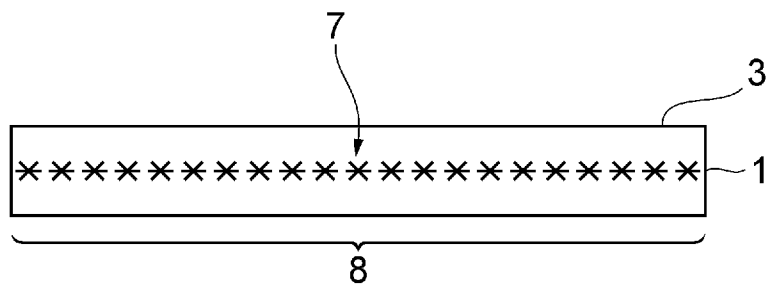
[図4]



[図5]

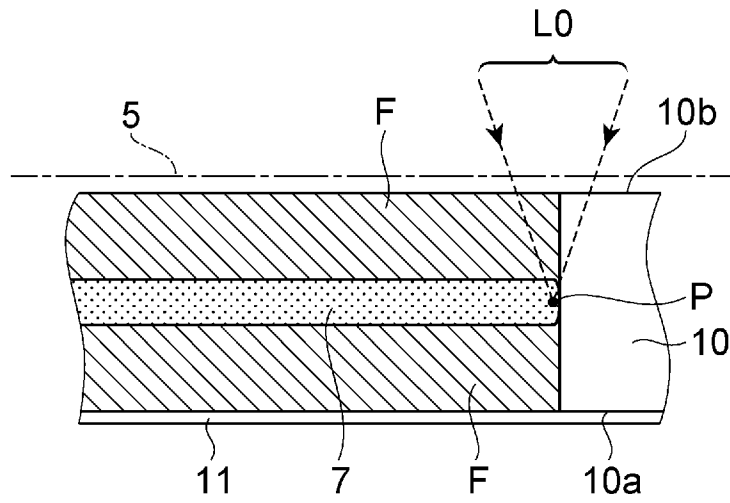


[図6]

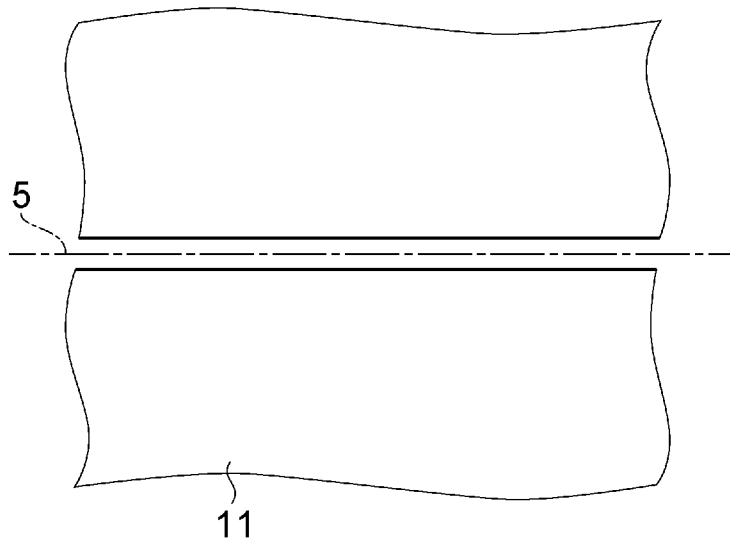


[図7]

(a)

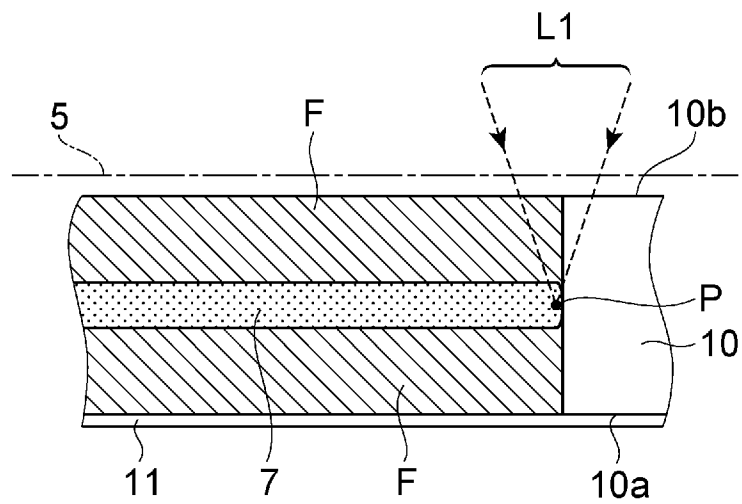


(b)

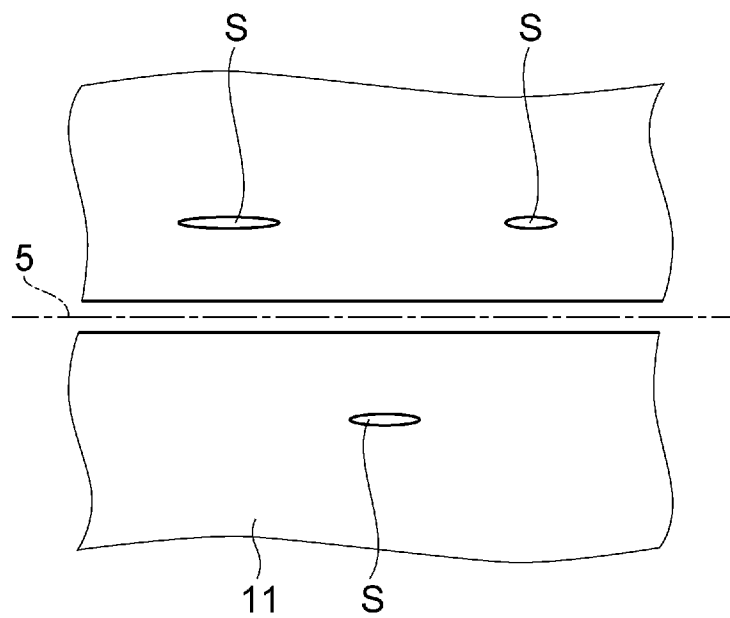


[図8]

(a)

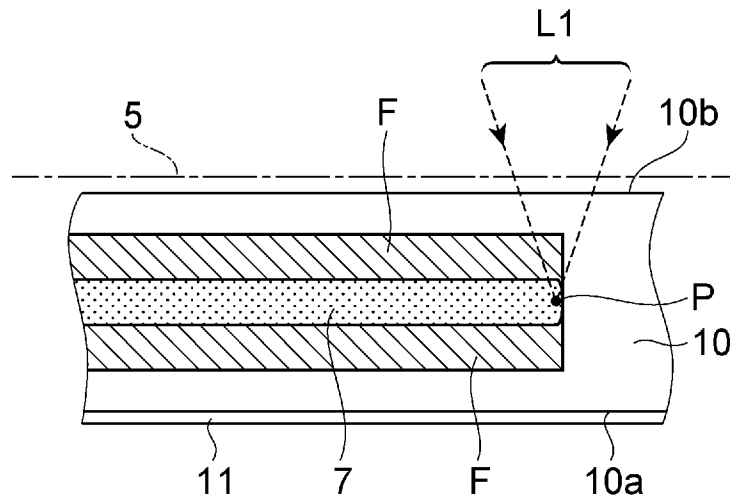


(b)

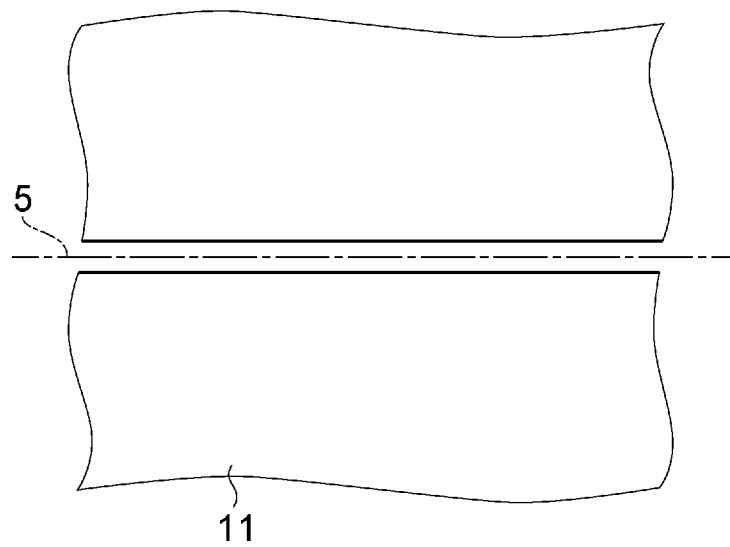


[図9]

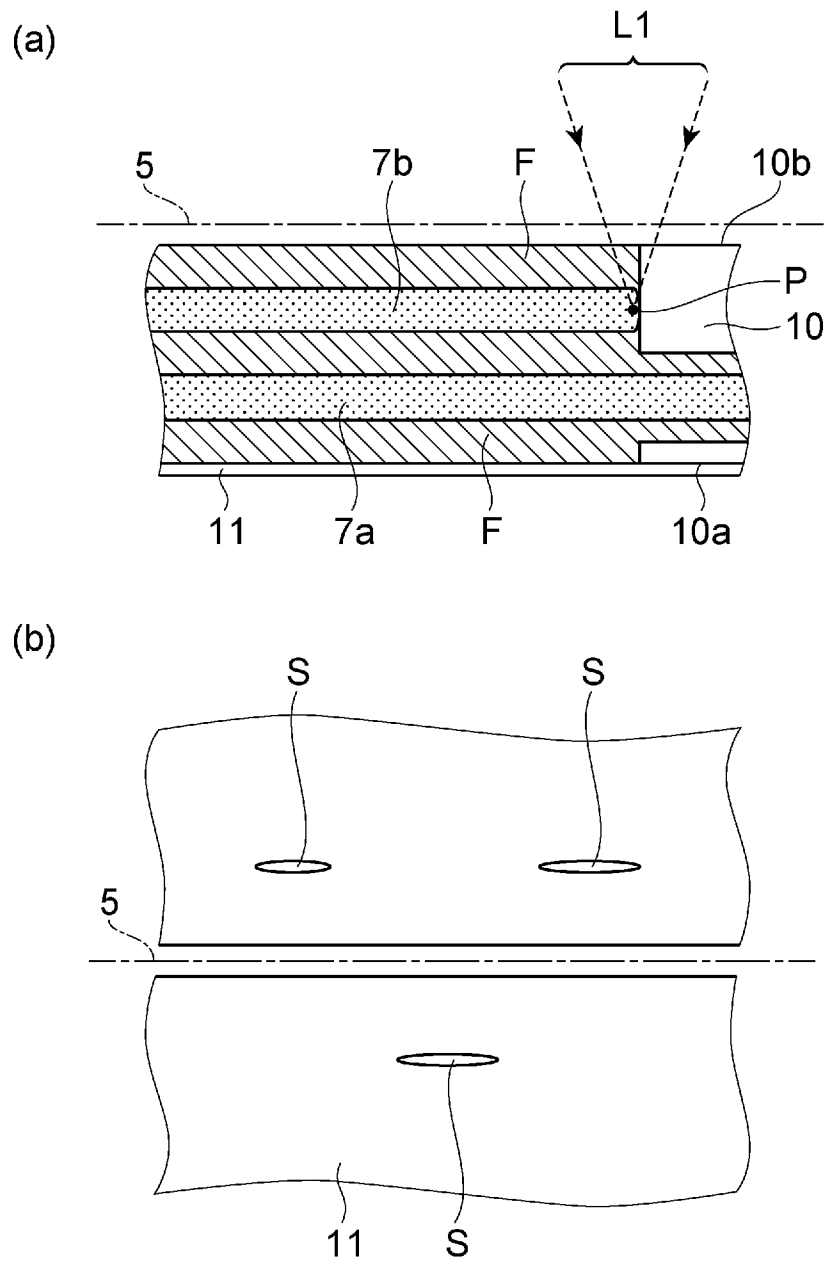
(a)



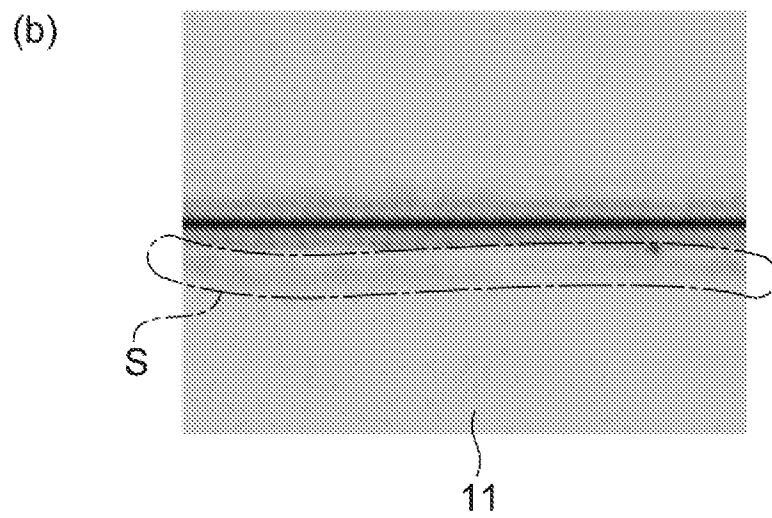
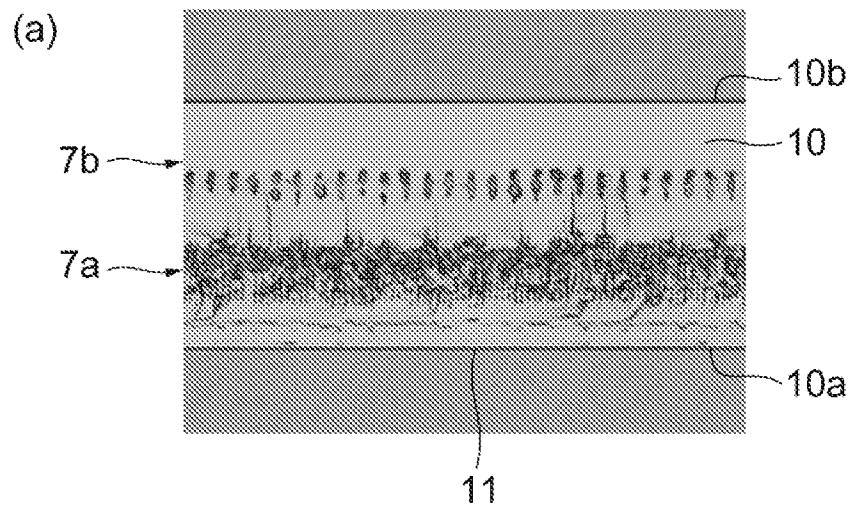
(b)



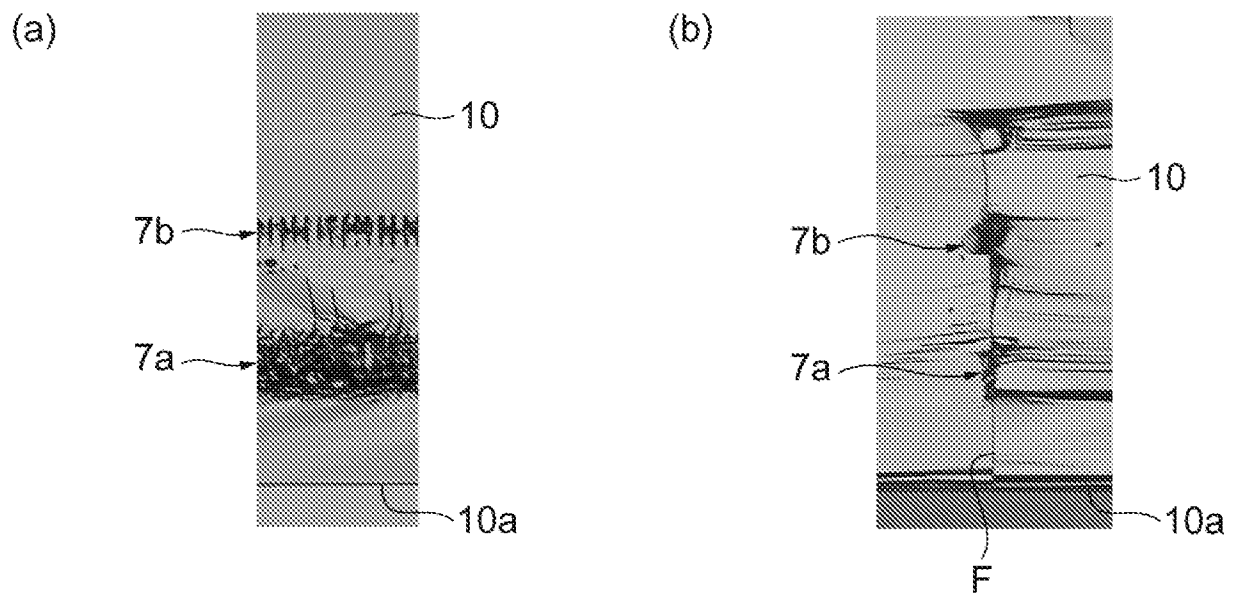
[図10]



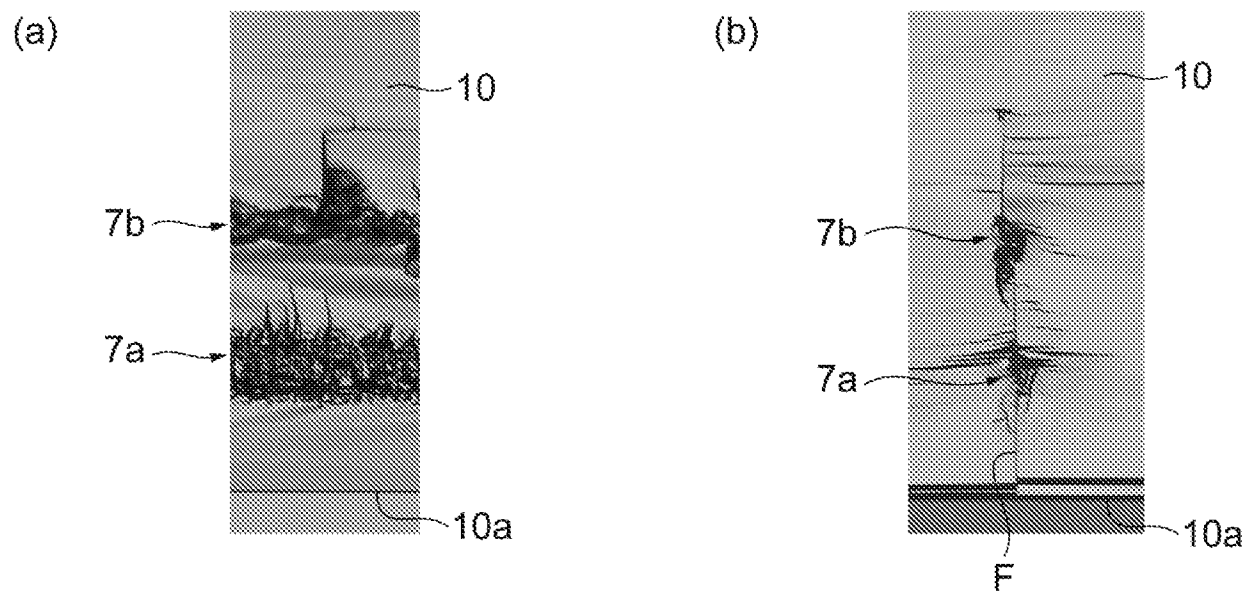
[図11]



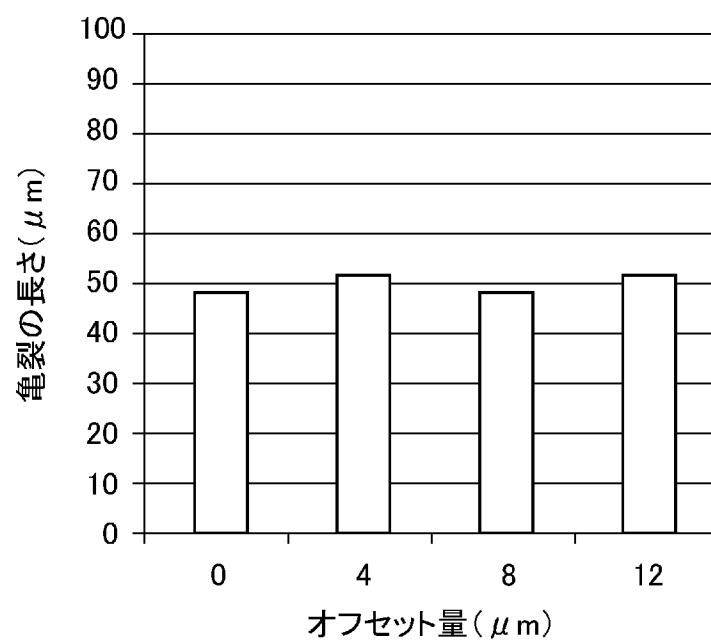
[図12]



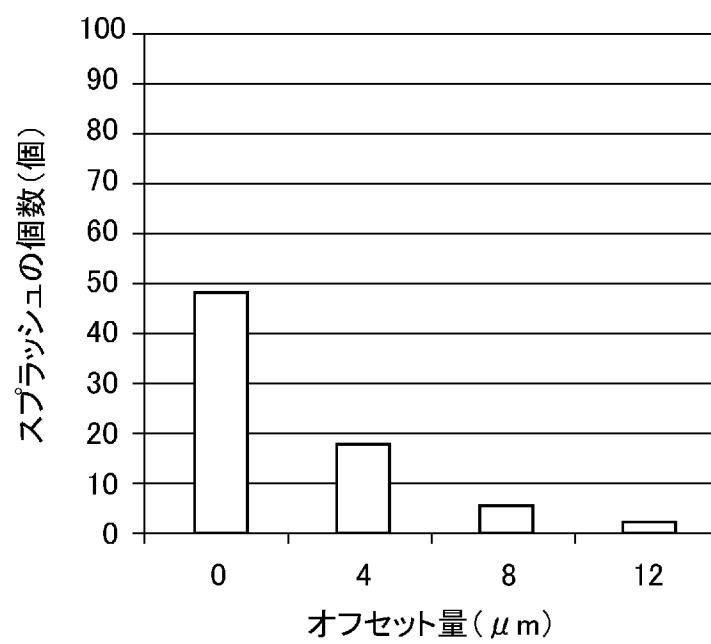
[図13]



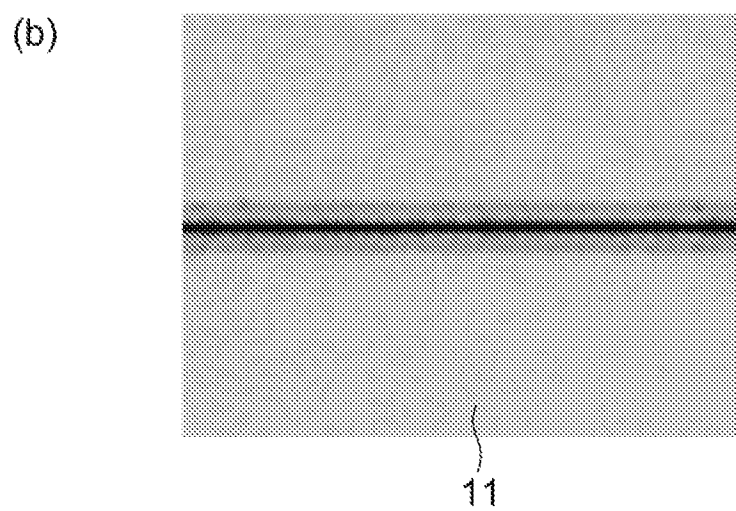
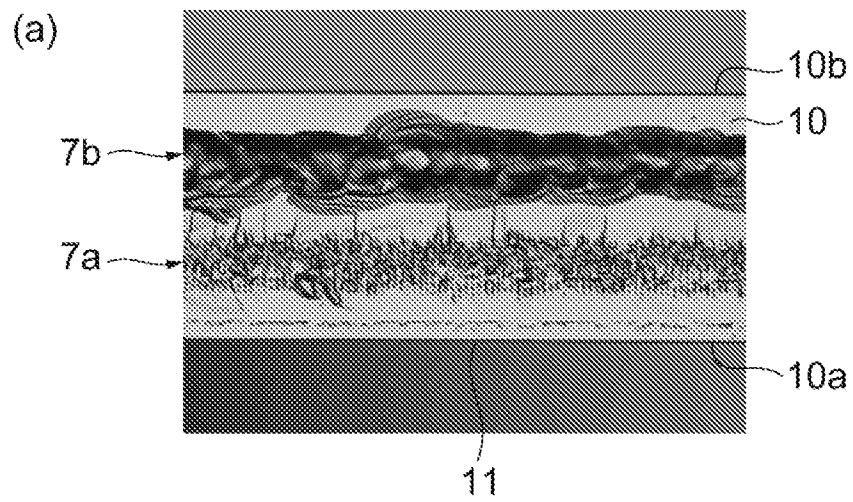
[図14]



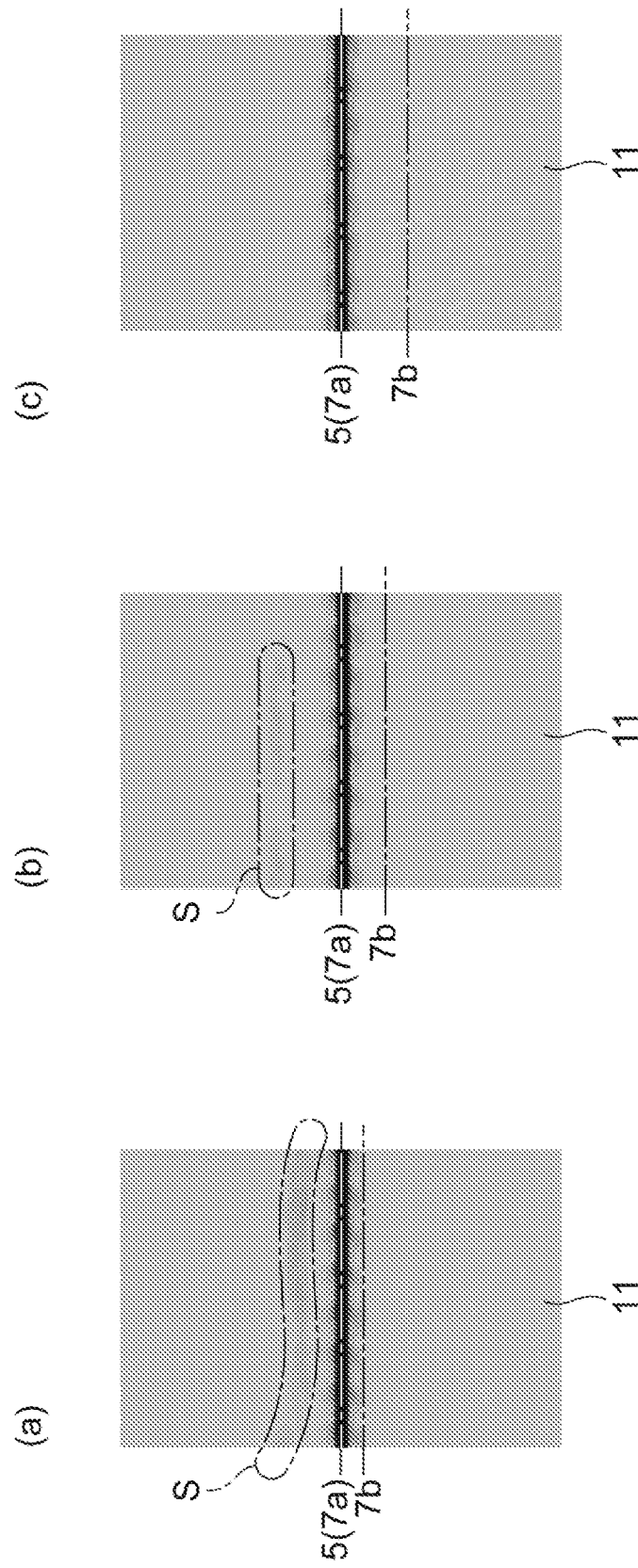
[図15]



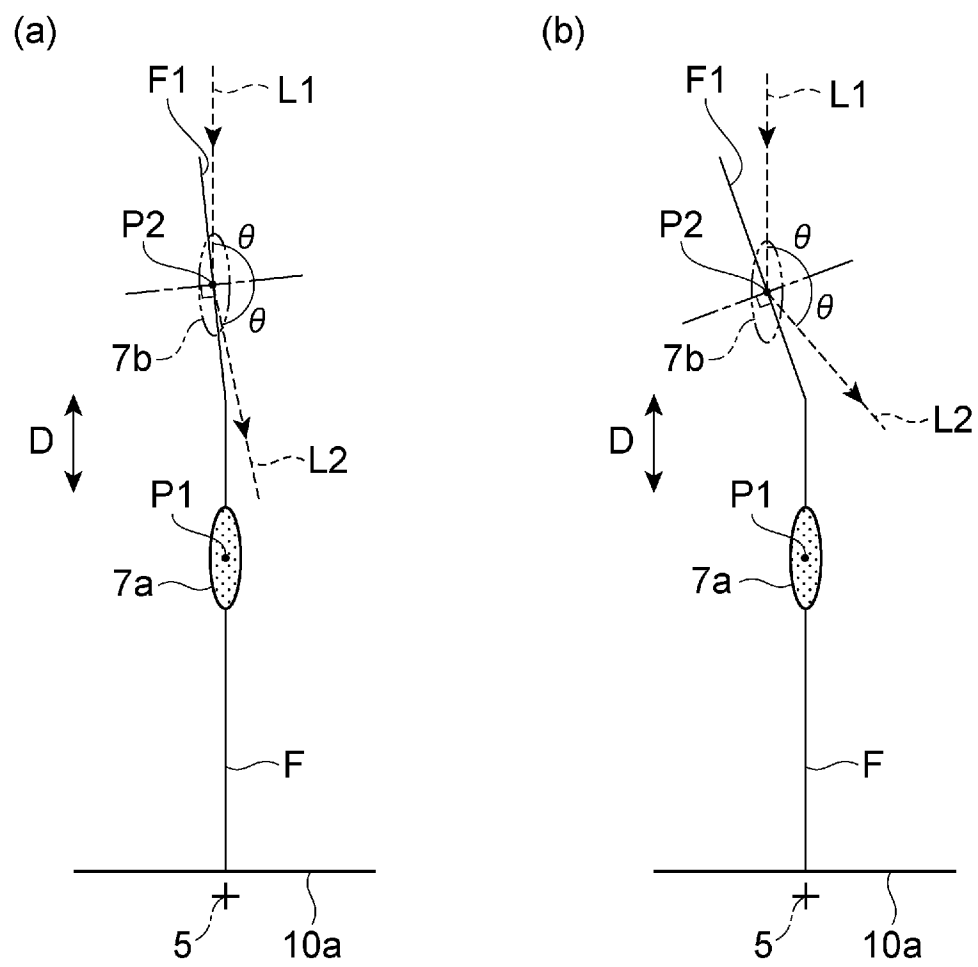
[図16]



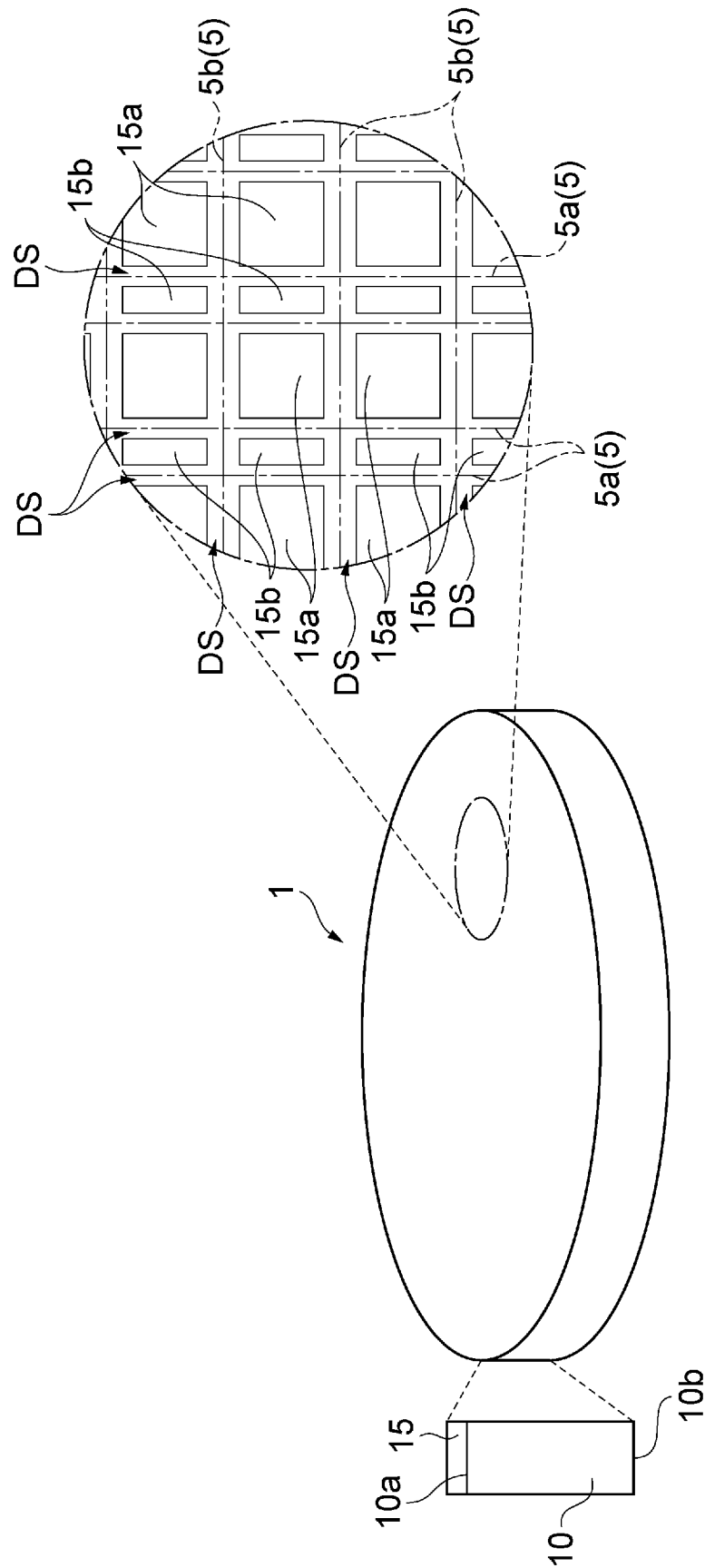
[図17]



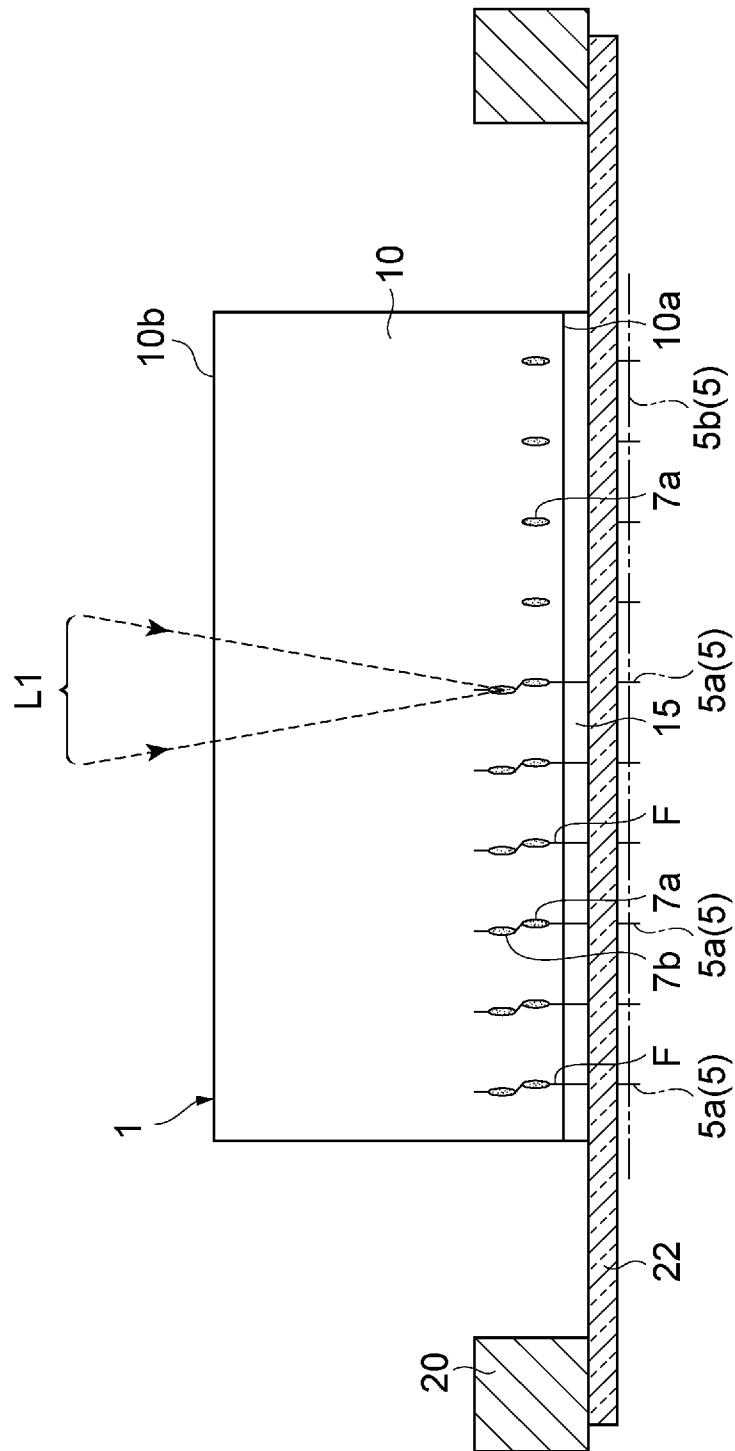
[図18]



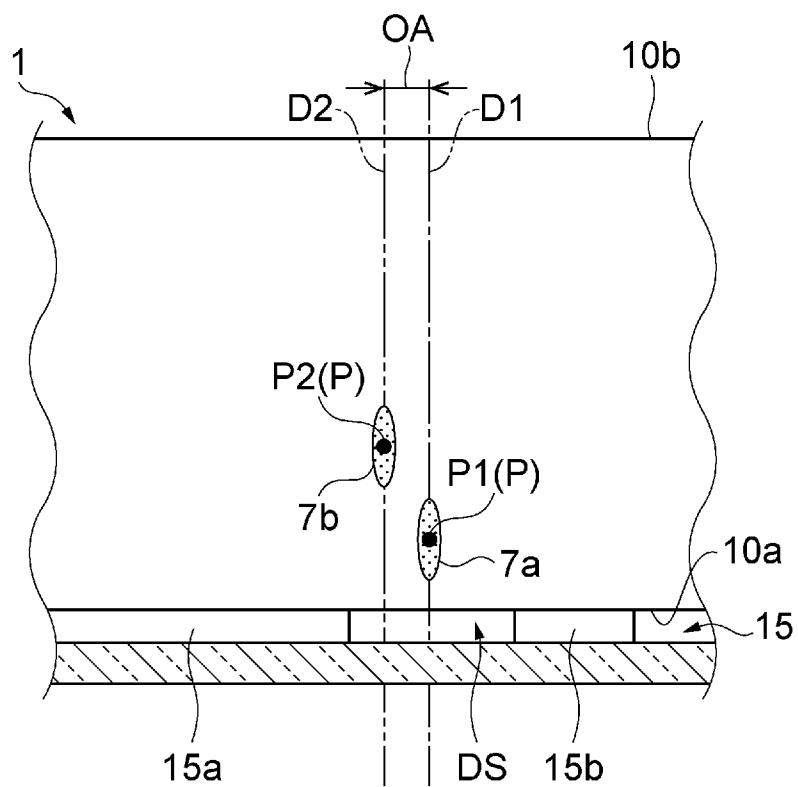
[図19]



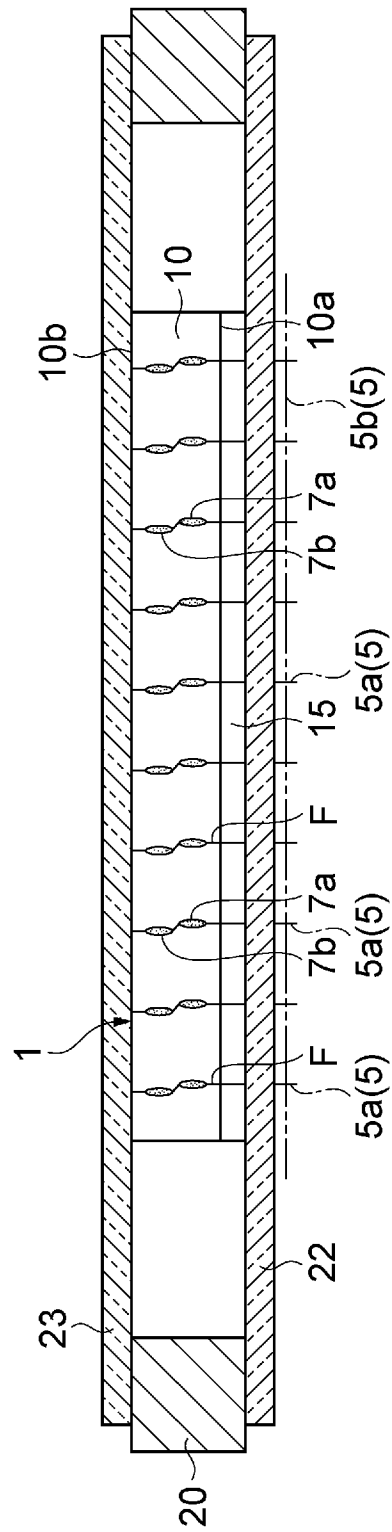
[図20]



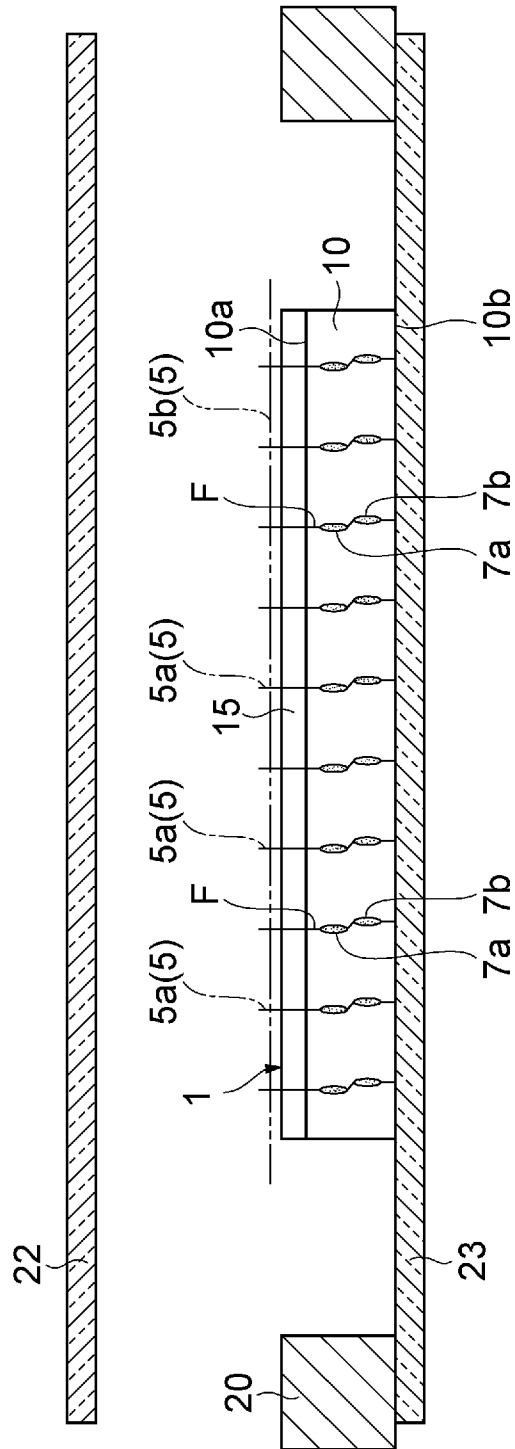
(a)



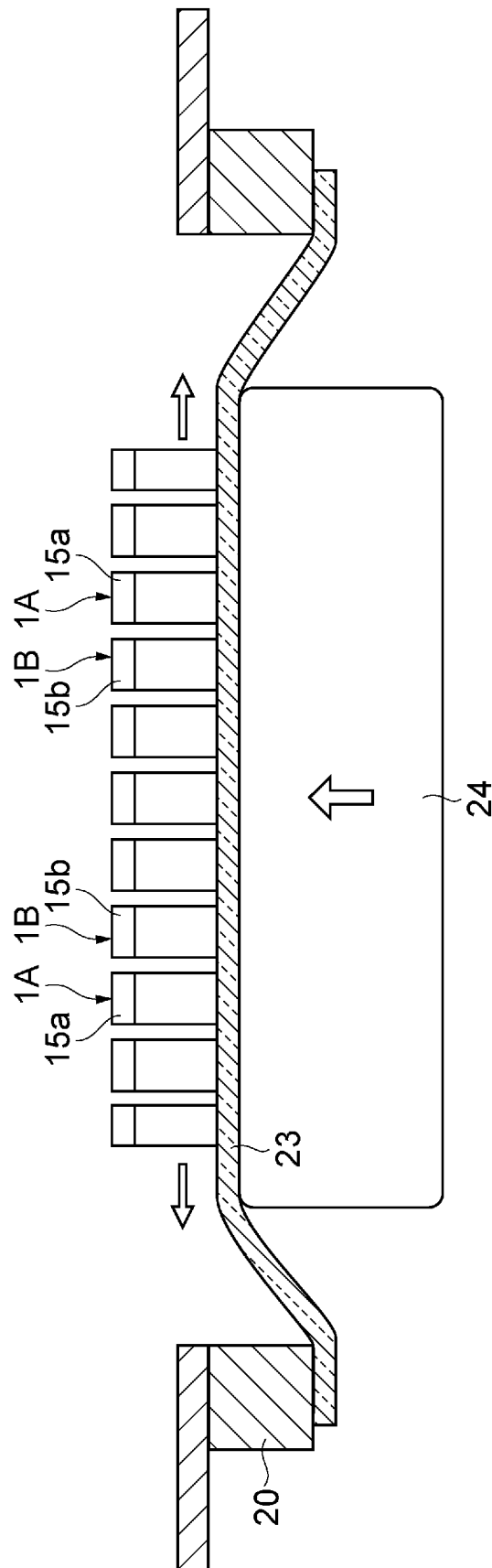
[図23]



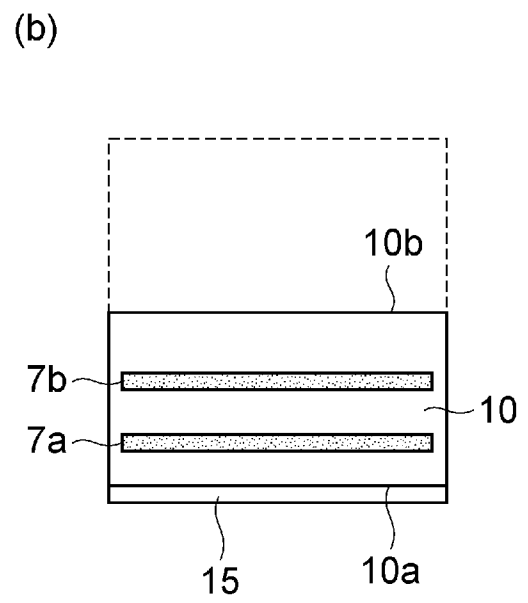
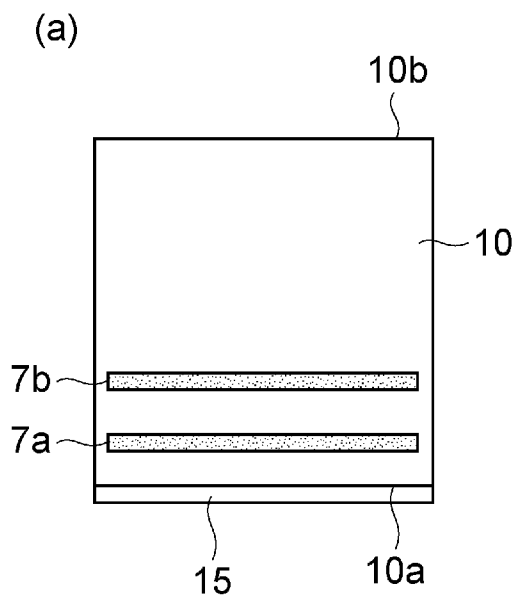
[図24]



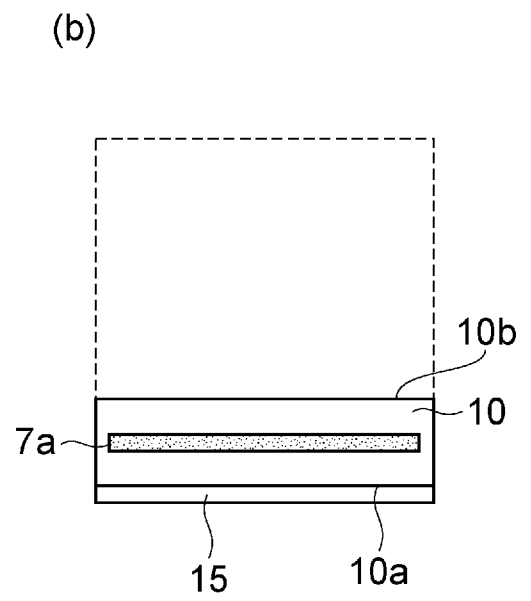
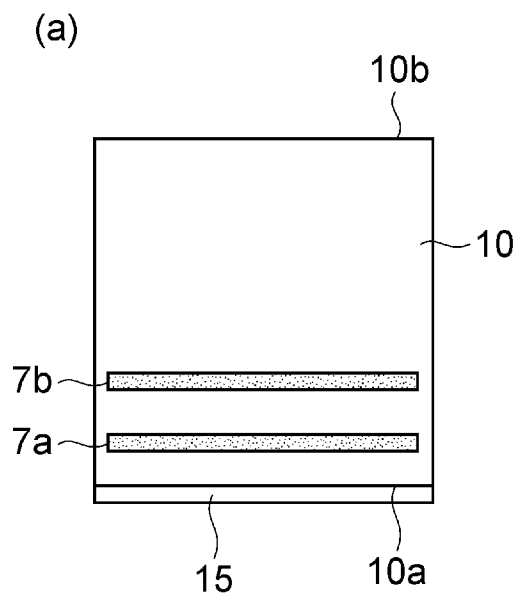
[図25]



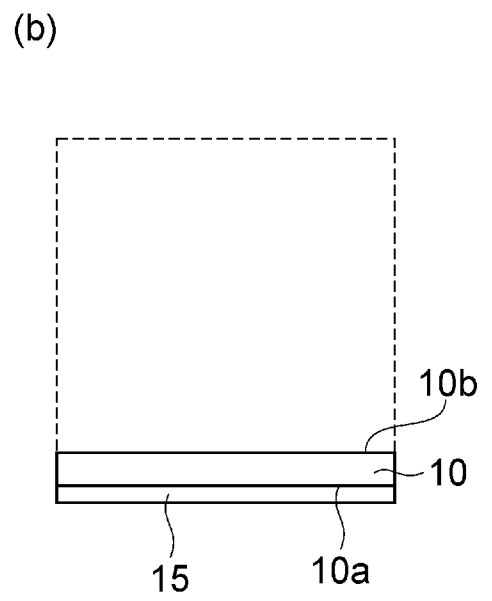
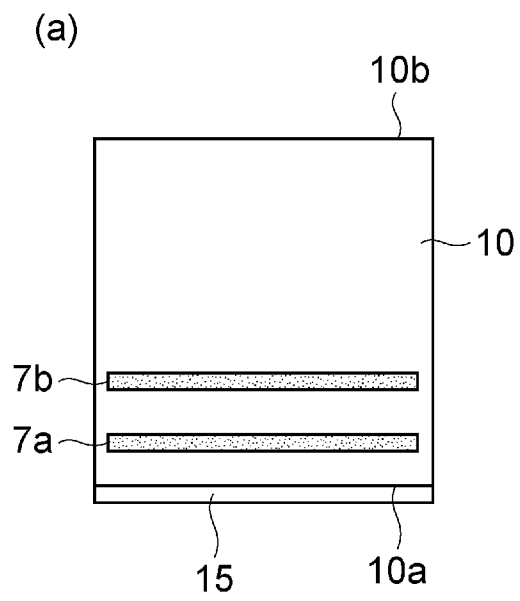
[図27]



[図28]



[図29]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/073468

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.
A	JP 2015-130470 A (Toyoda Gosei Co., Ltd.), 16 July 2015 (16.07.2015), paragraph [0040]; fig. 7 (Family: none)	1-7
A	JP 2014-087806 A (Mitsuboshi Diamond Industrial Co., Ltd.), 15 May 2014 (15.05.2014), paragraphs [0062] to [0069]; fig. 4 to 5 & CN 103785957 A & KR 10-2014-0068753 A & TW 201417203 A	1-7

☒ 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
26 October 2016 (26.10.16)

Date of mailing of the international search report
08 November 2016 (08.11.16)

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/JP2016/073468

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 2013-048207 A (Toshiba Machine Co., Ltd.), 07 March 2013 (07.03.2013), paragraph [0058]; fig. 5 & US 2013/0029444 A1 paragraph [0081]; fig. 5 & CN 102896426 A & KR 10-2013-0014029 A & TW 201318752 A	1-7

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

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（IPC））

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
A	JP 2015-130470 A（豊田合成株式会社）2015.07.16, [0040]段落, [図7]（ファミリーなし）	1-7
A	JP 2014-087806 A（三星ダイヤモンド工業株式会社）2014.05.15, [0062]-[0069]段落, [図4]-[図5] & CN 103785957 A & KR 10-2014-0068753 A & TW 201417203 A	1-7
A	JP 2013-048207 A（東芝機械株式会社）2013.03.07, [0058]段落, [図5] & US 2013/0029444 A1 [0081]段落, 図5 & CN 102896426 A & KR 10-2013-0014029 A & TW 201318752 A	1-7

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

26.10.2016

国際調査報告の発送日

08.11.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/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）

山口 大志

50

4053

電話番号 03-3581-1101 内線 3559