

(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 2017/056739 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/301 (2006.01) *B23K 26/53* (2014.01)
B23K 26/046 (2014.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/073355
- (22) 国際出願日: 2016 年 8 月 8 日(08.08.2016)
- (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 2015-191095 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 M Y P L A Z A (明治安田生命

ビル) 9 階 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).

- (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.

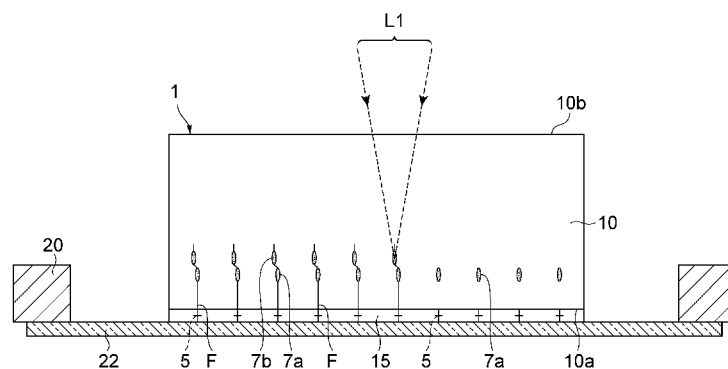
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: LASER PROCESSING METHOD

(54) 発明の名称: レーザ加工方法



(57) Abstract: A laser beam is focused on an object to be processed including a semiconductor substrate having a plurality of functional elements formed on the front surface, from the rear surface of the semiconductor substrate, and a first focal point is moved along a planned cutting line, while the distance between the front surface of the semiconductor substrate 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. The laser beam is focused on the object to be processed, from the rear surface of the semiconductor substrate, and a second focal point is moved along the planned cutting line, while the distance between the front surface of the semiconductor substrate and the second focal point of the laser beam is maintained at a second distance, and the second focal point is offset in a direction orthogonal to both the thickness direction of the semiconductor substrate and the extension direction of the planned cutting line, relative to the position corresponding to the first focal point, to form a second modified region along the planned cutting line. A prescribed section including the rear surface and at least the second modified region is removed from the semiconductor substrate.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2017/056739 A1



表面に複数の機能素子が形成された半導体基板を含む加工対象物に、半導体基板の裏面からレーザ光を集光させて、半導体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、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。加工対象物に、半導体基板の裏面からレーザ光を集光させて、半導体基板の表面とレーザ光の第2集光点との距離を第2距離に維持しつつ、且つ、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。半導体基板において裏面及び少なくとも第2改質領域を含む所定部分を除去する。

明 細 書

発明の名称： レーザ加工方法

技術分野

[0001] 本発明の一側面は、レーザ加工方法に関する。

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。よって、改質領域の形成に伴って、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場合がある。しかしこの場合、レーザ光を半導体基板に集光させた際、レーザ光入射面とは反対側の半導体基板の表面に損傷が生じ、機能素子の特性が劣化してしまうことがある。

[0005] また、上述したようなレーザ加工方法では、加工対象物を切断して得られた複数のチップについて、その歩留まりを高めることが望まれる。そのため、例えば切断面に段差が出現することを抑制し、切断面の直進性を向上する

ことが求められている。

[0006] 本発明の一側面は、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すると共に、切断面を平滑化することができる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

[0007] 本発明の一側面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半導体基板を含む加工対象物に、半導体基板の裏面をレーザ光入射面としてレーザ光を集光させて、半導体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、半導体基板の裏面をレーザ光入射面としてレーザ光を集光させて、半導体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、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、第2工程の後に、半導体基板において裏面及び少なくとも第2改質領域を含む所定部分を除去する第3工程と、を備える。

[0008] このレーザ加工方法では、第2工程において第2改質領域を形成する際、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（以下、単に「切断予定ラインの垂直方向」という）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。当該オフセットにより、切断予定ラインの垂直方向において第2改質領域の位置は第1改質領域の位置に対して段差を有する（ずれる）こととなるが、少なくとも第2改質領域は、第3工程にて所定部分

が除去されることに伴って除去される。よって、所定部分の除去後であって切断予定ラインに沿って切断された加工対象物では、第2改質領域に起因して切断面に段差が出現することを抑制でき、切断面を平滑化して直進性を向上することが可能となる。

[0009] 本発明の一側面に係るレーザ加工方法において、第3工程では、半導体基板において第1改質領域をさらに含む所定部分を除去してもよい。この構成によれば、第3工程によって第2改質領域だけでなく第1改質領域についても除去される。よって、所定部分の除去後であって切断予定ラインに沿って切断された加工対象物では、第1改質領域に起因して切断面の直進性が低下することも抑制できる。

[0010] 本発明の一側面に係るレーザ加工方法において、半導体基板は、シリコン基板であり、レーザ光は、 1064 nm よりも大きい波長を有していてもよい。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。

[0011] 本発明の一側面に係るレーザ加工方法において、レーザ光は、 $1099\text{ }\mu\text{ m}$ 以上 $1342\text{ }\mu\text{ m}$ 以下の波長を有していてもよい。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。

[0012] 本発明の一側面に係るレーザ加工方法において、レーザ光の第1集光点を合わせた位置に対して、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、 $24\text{ }\mu\text{ m}$ 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。

[0013] 本発明の一側面に係るレーザ加工方法において、レーザ光の第1集光点を

合わせた位置に対して、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、 $4\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $18\text{ }\mu\text{m}$ 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。

[0014] 本発明の一側面に係るレーザ加工方法において、第2工程では、第2改質領域を形成することにより、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伸展した亀裂を半導体基板の表面に到達させ、第3工程では、所定部分を除去することにより、所定部分が除去された半導体基板の裏面に、第2工程において第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伸展した亀裂を到達させてもよい。この場合、加工対象物を切断予定ラインに沿って精度よく切断することができる。

発明の効果

[0015] 本発明の一側面によれば、切断面を平滑化することができる加工対象物切断方法及び加工対象物切断装置を提供することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0016] [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(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(b)は、切断後の加工対象物の平面図である。

[図8]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。図8(b)は、切断後の加工対象物の平面図である。

[図9]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。図9 (b) は、切断後の加工対象物の平面図である。

[図10]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。図10 (b) は、切断後の加工対象物の平面図である。

[図11]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。図11 (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 (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 (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 (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 (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 (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 (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 (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 (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 (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 (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 (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]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 (a) は、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 (b) は、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

[0017] 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。

[0018] 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。

[0019] 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。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。

[0020] 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が、ダイクロイックミラー１０３によってその光軸の向きを９０°変えられ、支持台１０７上に載置された加工対象物１の内部に集光用レンズ１０５によって集光される。これと共に、ステージ１１１が移動させられ、加工対象物１がレーザ光Ｌに対して切断予定ライン５に沿って相対移動させられる。これにより、切断予定ライン５に沿った改質領域が、加工対象物１に形成される。ここでは、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。

[0021] 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又は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。

[0022] 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。

[0023] 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）。

[0024] 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。

[0025] 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。

[0026] 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。

[0027] 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。以下では、半導体基板として、シリコン基板を例示する。

- [0028] 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、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。
- [0029] 図7の(a)に示されるように、シリコン基板10の裏面10bをレーザー光入射面として、1064nmの波長を有するレーザー光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に沿ってレーザー光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、レーザー光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。
- [0030] 図8の(a)に示されるように、シリコン基板10の裏面10bをレーザー光入射面として、1342nmの波長を有するレーザー光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に沿ってレーザー光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、レーザー光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、レーザー光L1の照射条件を、上述したレーザー光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。
- [0031] 図9の(a)に示されるように、シリコン基板10の裏面10bをレーザー光入射面として、1342nmの波長を有するレーザー光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に沿ってレーザー光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 10 a に到達せずにシリコン基板 10 の内部に収まるように、レーザ光 L 1 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 L 1 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。

[0032] 図 10 の (a) に示されるように、シリコン基板 10 の裏面 10 b をレーザ光入射面として、1342 nm の波長を有するレーザ光 L 1 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 L 1 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 7 a 及び第 2 改質領域 7 b を形成した。このとき、第 1 改質領域 7 a を形成しただけでは亀裂 F がシリコン基板 10 の表面 10 a に到達せず、第 1 改質領域 7 a に対してシリコン基板 10 の裏面 10 b 側に第 2 改質領域 7 b を形成したときに亀裂 F がシリコン基板 10 の表面 10 a に到達するように、レーザ光 L 1 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。

[0033] 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 7 a 及び第 2 改質領域 7 b 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。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る。図 11 の (b) は、切断後のシリコン基板 10 の表面 10 a 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。

[0034] 1342 nm のように 1064 nm よりも大きい波長を有するレーザ光 L 1 を用いると、1064 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、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。1342 nm のように 1064 nm よりも大きい波長を有するレーザ光 L 1 を用いると、1064 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、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、1064 nm よりも大きい波長を有するレーザ光 L1 のほうが、1064 nm 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という観点からは、1064 nm 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。

[0035] しかし、上述した図 8 及び図 10 の場合のように、1064 nm 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。

[0036] したがって、1064 nm 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。

[0037] 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、1064 nm 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 L 1 の集光点 P をオフセットさせる」ことを単に「レーザ光 L 1 の集光点 P をオフセットさせる」という。「レーザ光 L 1 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。

[0038] まず、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 の方向について検証した。図 12 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 をオフセットさせなかった場合のシリコン基板 10 の写真を示す図である。具体的には、図 12 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る。図 12 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 12 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 L 1 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 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] 図 13 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（オフセット量 $8\ \mu\text{m}$ の場合）のシリコン基板 10 の写真を示す図である。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る。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 L 1 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。

[0040] 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。

[0041] 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 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 μ 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。

[0042] 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。

[0043] 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。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る。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。

[0044] 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。

[0045] 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。具体的には、図17の(a)は、オフセット量2 μ mの場合である。図17の(b)は、オフセット量4 μ mの場合である。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。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。

[0046] 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という。「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。

[0047] 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。

[0048] 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。

[0049] 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。

[0050] 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10 a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を準備する。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。

[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1改質領域7 aを形成する。具体的には、シリコン基板10の裏面10 b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に沿ってレーザ光L 1の第1集光点P 1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7 a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。

[0052] 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。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P2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L1の第2集光点P2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7b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L1の第2集光点P2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L1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10の内部に形成される。

[0053] 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、機能素子層15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 10 の厚さは、 $775\ \mu\text{m}$ 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 $160\ \mu\text{m}$ までの領域に形成される。

[0054] 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 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、 $1064\ \text{nm}$ 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）105 が、シリコン基板 10 の裏面 10 b 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 L 1 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 工程及び第 2 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 P 1 及び第 2 集光点 P 2 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。

[0055] 続いて、図 19 及び図 20 に示されるように、シリコン基板 10 において裏面 10 b 及び第 2 改質領域 7 b を含む所定部分 K を除去する（第 3 工程）。具体的には、表面 10 a 側に位置する第 1 改質領域 7 a と当該第 1 改質領域 7 a よりも裏面 10 b 側に位置する第 2 改質領域 7 b とが形成されたシリコン基板 10 の裏面 10 b を、グラインダ等を用いて機械的に研削して研磨する。これにより、第 2 改質領域 7 b を含み且つ第 1 改質領域 7 a を含まない所定部分 K 1 を裏面 10 b から除去し、加工対象物 1 を所定の厚さまで薄型化する。つまり、第 2 改質領域 7 b を含む所定部分 K 1 が除去されるように、シリコン基板 10 の裏面 10 b を研磨する。

[0056] 研磨後の加工対象物 1 には、第 1 改質領域 7 a 及び第 2 改質領域 7 b のうちの第 1 改質領域 7 a が残っている。研磨後の加工対象物 1 には、第 1 改質領域 7 a 及び亀裂 F のみ含まれる。所定部分 K 1 を除去することにより、所定部分 K 1 が除去されたシリコン基板 10 の裏面 10 b には亀裂 F が到達す

ることになり、加工対象物 1 が機能素子ごとに切断される。一例として、シリコン基板 10 は、厚さ 200 μm に薄型化される。

[0057] 続いて、図 21 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。図 22 に示されるように、保護フィルム 22 を除去する。図 23 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、拡張フィルム 23 を拡張する。これにより、機能素子 15a 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 1A を互いに離間させる。続いて、図 24 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る。各半導体チップ 1A をピックアップする。

[0058] 以上に説明したように、実施形態のレーザ加工方法では、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 3 にスプラッシュ S が生じるのを抑制することができる。

[0059] 第 2 集光点 P2 をオフセットさせることにより、そのオフセットの方向（切断予定ライン 5 の垂直方向）において第 2 改質領域 7b の位置は、第 1 改質領域 7a の位置に対して段差を有することになる。しかし、この第 2 改質領域 7b は、所定部分 K1 が除去されることに伴って除去される。よって、所定部分 K1 の除去後であって切断予定ライン 5 に沿って切断された加工対象物 1 では、第 2 改質領域 7b に起因して切断面に段差が出現することを抑制できる。切断面を平滑化して直進性を向上することが可能となる。半導体チップ 1A の良好な端面を得ることができる。

[0060] 実施形態のレーザ加工方法では、半導体基板としてシリコン基板 10 が適用されている。レーザ光 L1 は、1064 nm よりも大きい波長を有している。これにより、1064 nm 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。

- [0061] 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。
- [0062] 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を確実に繋げることができる。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をより確実に繋げることができる。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できる。
- [0063] 実施形態のレーザ加工方法では、第2改質領域7bを形成することにより、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を表面10aに到達させる。そして、所定部分K1を除去することにより、所定部分K1が除去されたシリコン基板10の裏面10bに亀裂Fを到達させる。これにより、加工対象物1を切断予定ライン5に沿って精度よく切断できる。
- [0064] 図25は、変形例に係るレーザ加工方法を説明する図である。図25(a)は、研磨前の加工対象物1の切断予定ライン5に沿っての断面図である。図25(b)は、研磨後の加工対象物1の切断予定ライン5に沿っての断面図である。図25(a)及び図25(b)に示されるように、シリコン基板10の裏面10bを研磨する場合には、シリコン基板10において裏面10bを含み且つ第1及び第2改質領域7a、7bの双方を含む所定部分K2を

除去してもよい。つまり、所定部分K 1（図20参照）に対して第1改質領域7 aをさらに含む所定部分K 2が除去されるように、シリコン基板10の裏面10 bを研磨してもよい。

[0065] これにより、第1及び第2改質領域7 a, 7 bを含む所定部分K 2をシリコン基板10から除去し、加工対象物1を所定の厚さまで薄型化する。研磨後の加工対象物1には、第1及び第2改質領域7 a, 7 bのうちの何れも残っておらず、亀裂Fのみが含まれる。

[0066] 図25に示されるレーザ加工方法では、第1及び第2改質領域7 a, 7 bを形成した後、第2改質領域7 bだけでなく第1改質領域7 aについてもシリコン基板10から除去される。よって、所定部分K 2の除去後であって切断予定ライン5に沿って切断された加工対象物1では、第1改質領域7 aに起因して切断面の直進性が低下することも抑制できる。半導体チップ1 Aの一層良好な端面を得ることできる。

[0067] 以上、好適な実施形態について説明したが、本発明は、上記実施形態に限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。

[0068] 例えば、第1改質領域7 a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L 1の第1集光点P 1をオフセットさせてもよい。第2改質領域7 b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L 1の第2集光点P 2をオフセットさせてもよい。つまり、第1改質領域7 a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P 1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P 1を移動させてもよい。第2改質領域7 b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P 2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の内部に形成される。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できる。

[0069] 上記実施形態は、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）を実施する。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）を実施する。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。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）を実施する。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、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。

[0070] 所定部分Kの除去は、機械的な研削による研磨に代えてもしくは加えて、エッチング等の化学的研磨により実現してもよい。公知の種々の手法により所定部分Kを除去してもよい。上記実施形態では、レーザ光L1を集光させることで改質領域7を形成できれば、半導体基板はシリコン基板10に限定されない。上記実施形態では、レーザ光L1を集光させることで改質領域7を形成できれば、レーザ光L1の波長は1064nmよりも大きい波長に限定されない。

[0071] 上記実施形態では、所定部分K1を除去した際に亀裂Fをシリコン基板10の裏面10bに到達させることで、加工対象物1を切断予定ライン5に沿って切断した。しかし、これに代えてもしくは加えて、所定部分K1を除去したシリコン基板10を貼り付けた拡張フィルム23を拡張した際に亀裂Fをシリコン基板10の裏面10bに到達させることで、加工対象物1を切断予定ライン5に沿って切断してもよい。

産業上の利用可能性

[0072] 本発明の一側面によれば、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すると共に、切断面を平滑化することができる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

[0073] 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（半導体基板）、10a…表面、10b…裏面、15a…機能素子、F…亀裂、K1, K2…所定部分、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] 表面に複数の機能素子が形成された半導体基板を含む加工対象物に、前記半導体基板の裏面をレーザ光入射面としてレーザ光を集光させて、前記半導体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、前記半導体基板の前記裏面をレーザ光入射面として前記レーザ光を集光させて、前記半導体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、
- 前記第2工程の後に、前記半導体基板において前記裏面及び少なくとも前記第2改質領域を含む所定部分を除去する第3工程と、を備える、レーザ加工方法。
- [請求項2] 前記第3工程では、前記半導体基板において前記第1改質領域をさらに含む前記所定部分を除去する、請求項1に記載のレーザ加工方法。
- [請求項3] 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又は2に記載のレーザ加工方法。
- [請求項4] 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3に記載のレーザ加工方法。

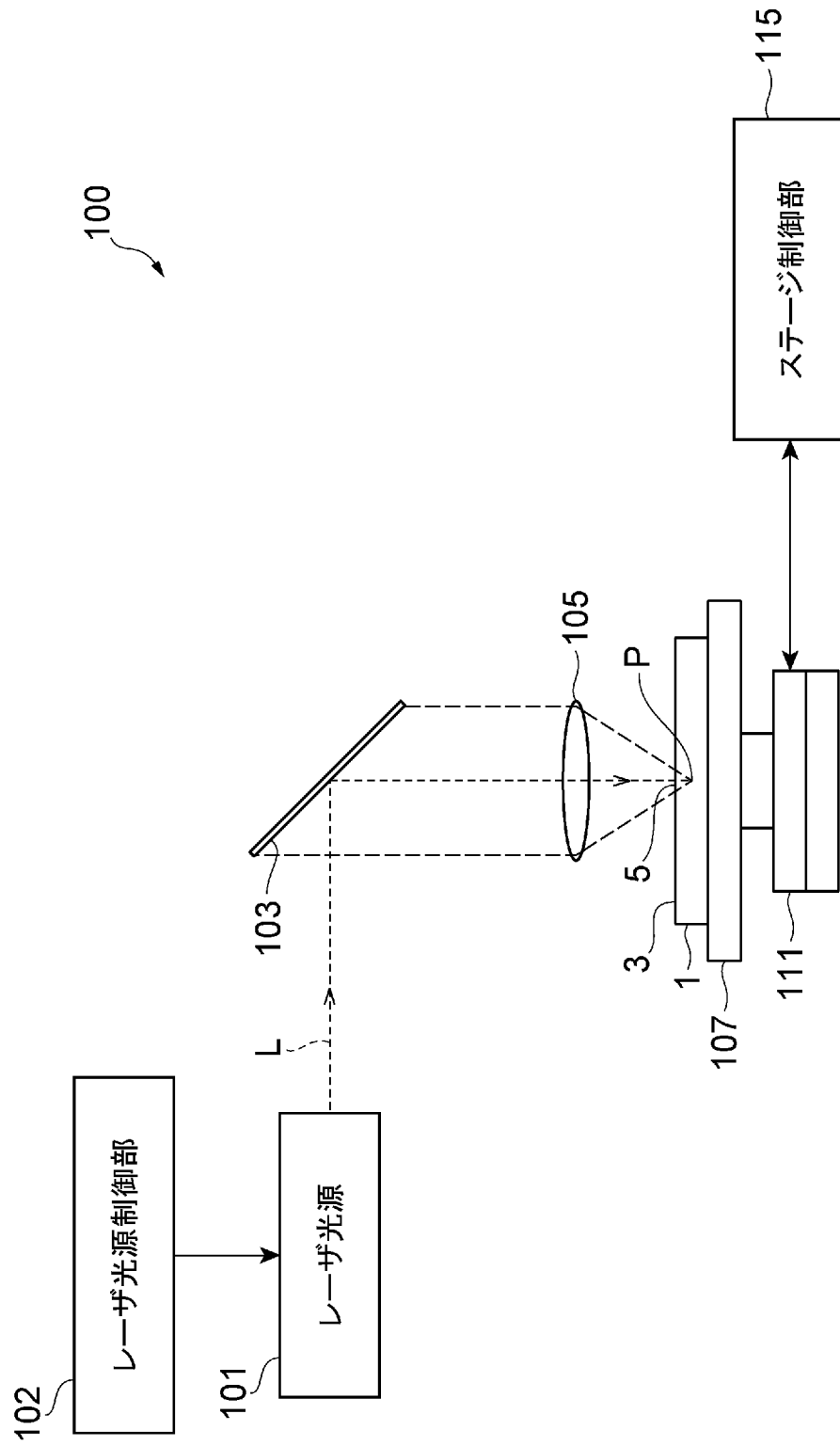
[請求項5] 前記レーザ光の前記第1集光点を合わせた位置に対して、前記シリコン基板の前記厚さ方向及び前記切断予定ラインの前記延在方向の両方向に垂直な前記方向に前記レーザ光の前記第2集光点をオフセットさせる距離は、 $24\ \mu\text{m}$ 以下である、請求項3又は4に記載のレーザ加工方法。

[請求項6] 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5に記載のレーザ加工方法。

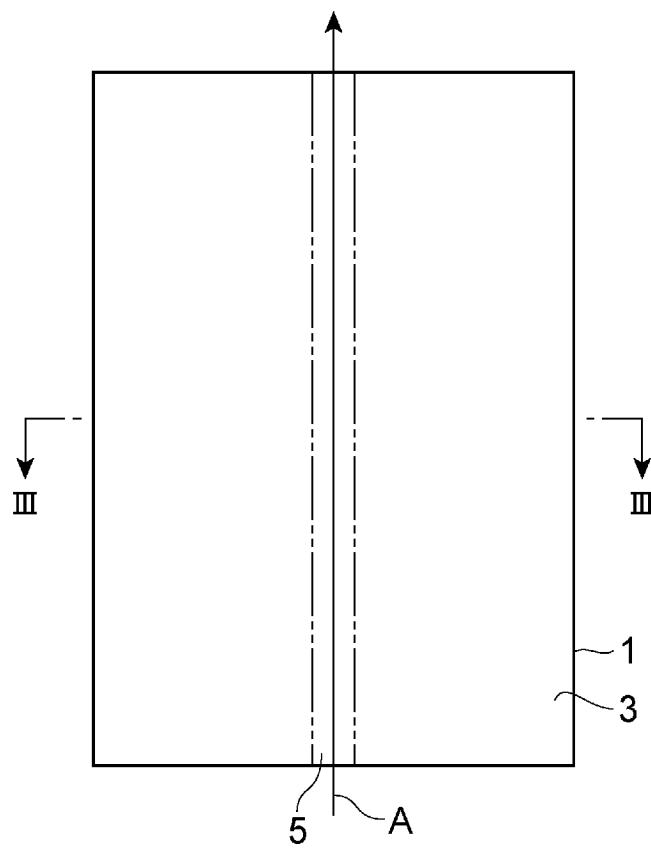
[請求項7] 前記第2工程では、前記第2改質領域を形成することにより、前記第1改質領域及び前記第2改質領域から前記半導体基板の厚さ方向に伸展した亀裂を前記半導体基板の表面に到達させ、

前記第3工程では、前記所定部分を除去することにより、前記所定部分が除去された前記半導体基板の前記裏面に、前記第2工程において前記第1改質領域及び前記第2改質領域から前記半導体基板の厚さ方向に伸展した亀裂を到達させる、請求項1～6の何れか一項に記載のレーザ加工方法。

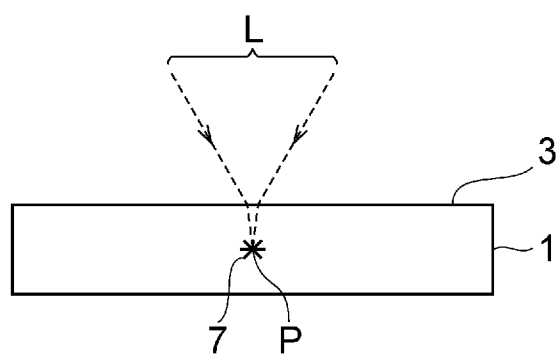
[図1]



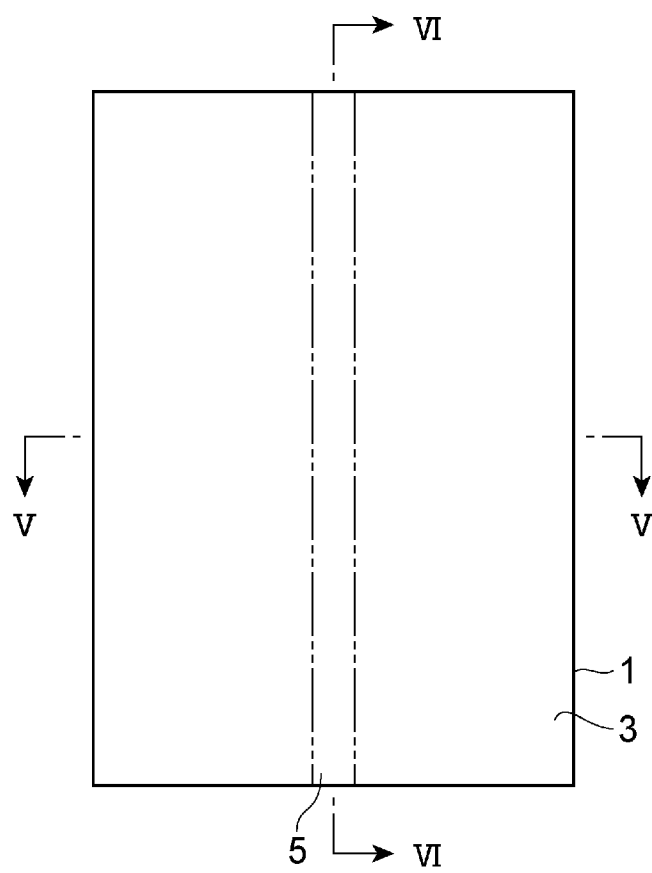
[図2]



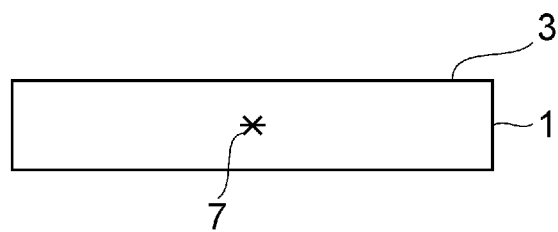
[図3]



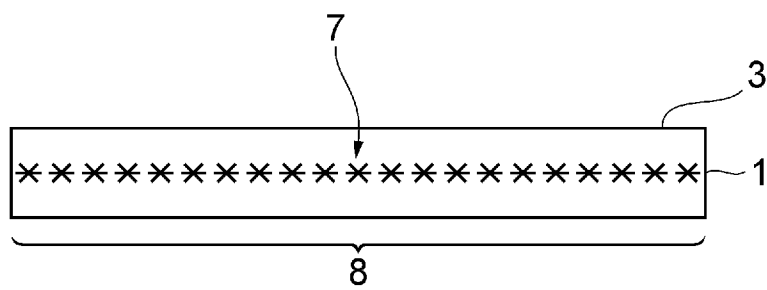
[図4]



[図5]

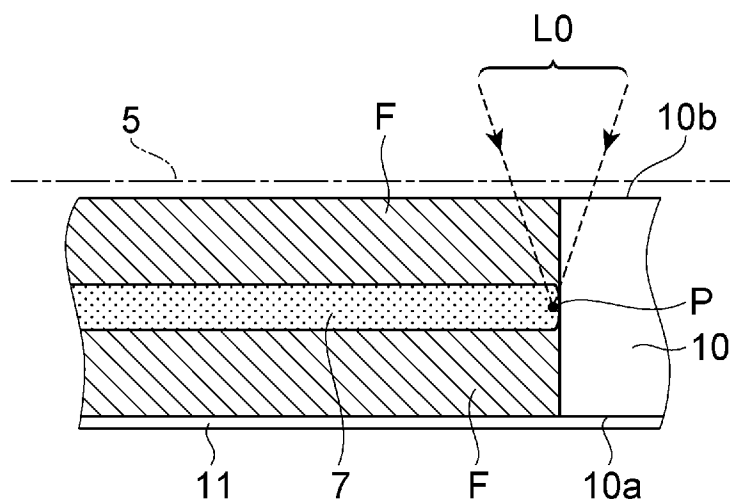


[図6]

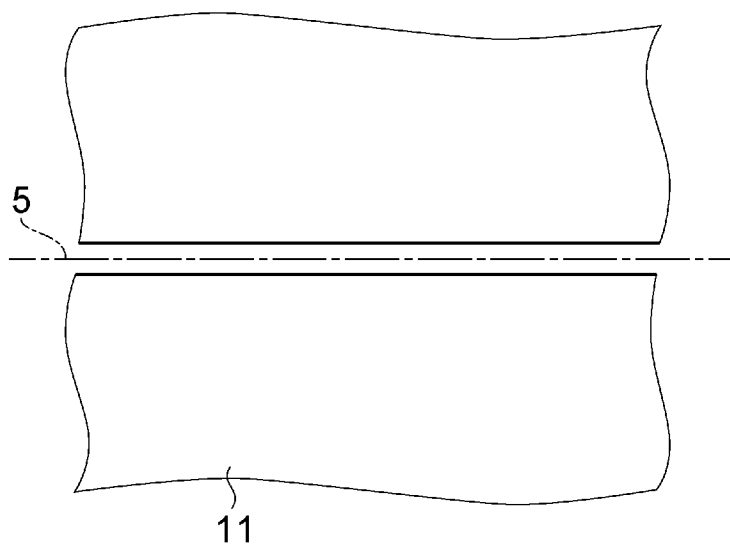


[図7]

(a)

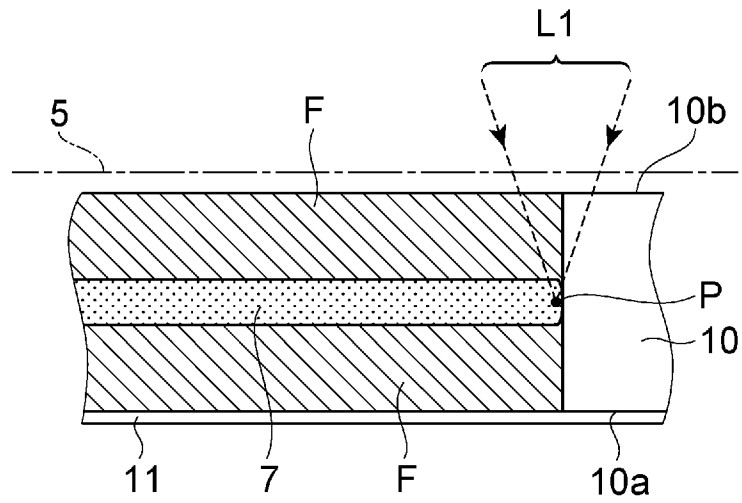


(b)

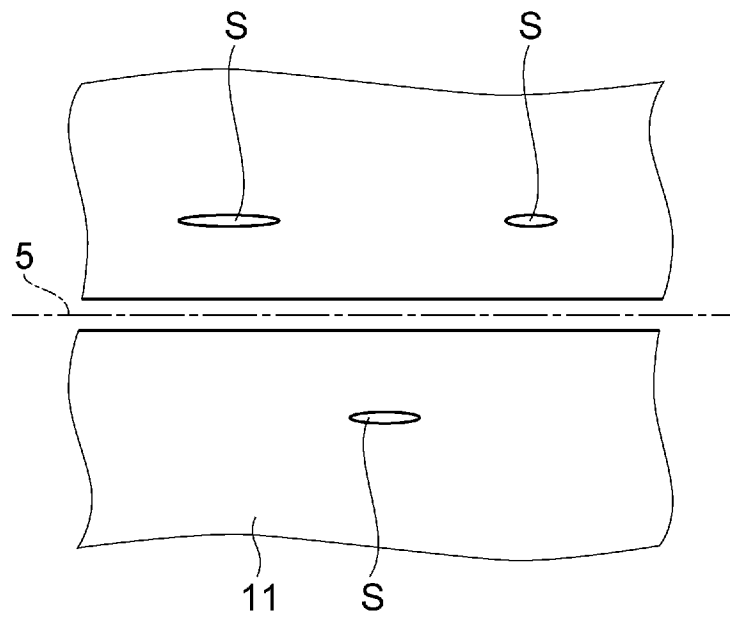


[図8]

(a)

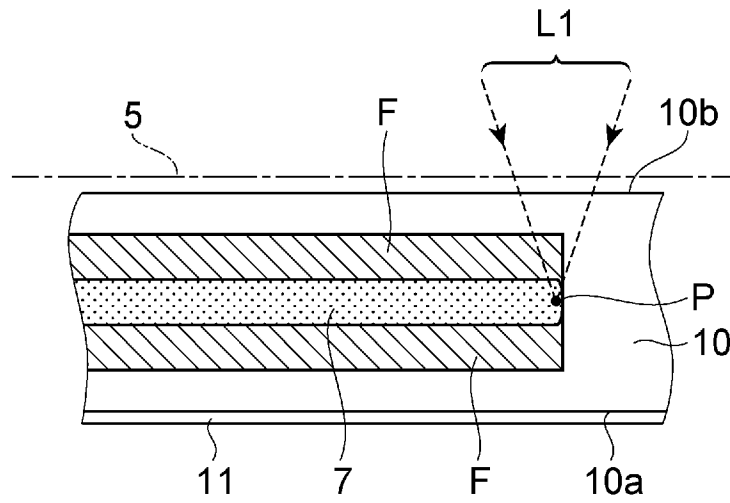


(b)

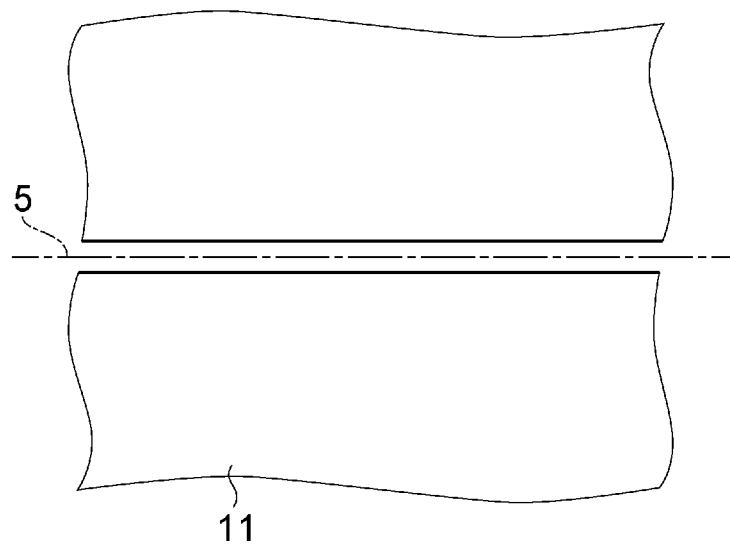


[図9]

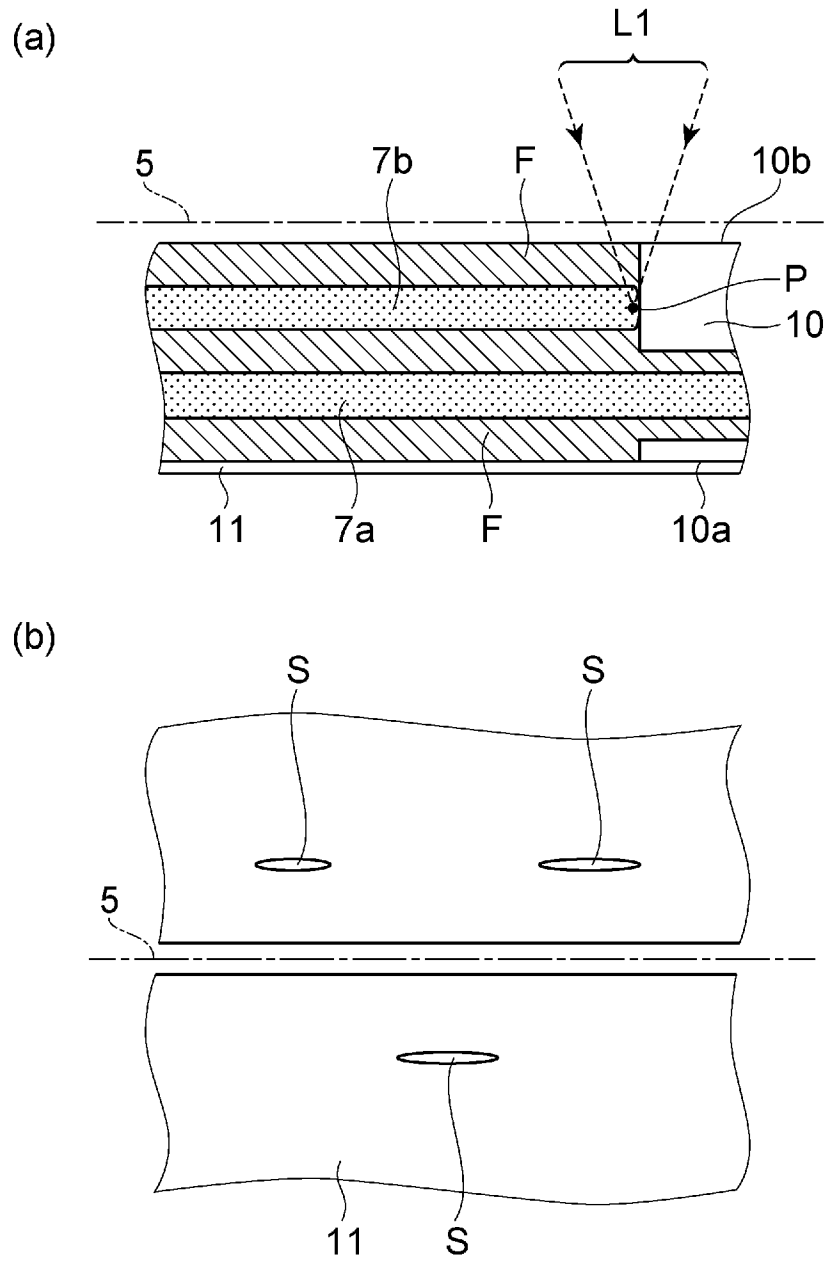
(a)



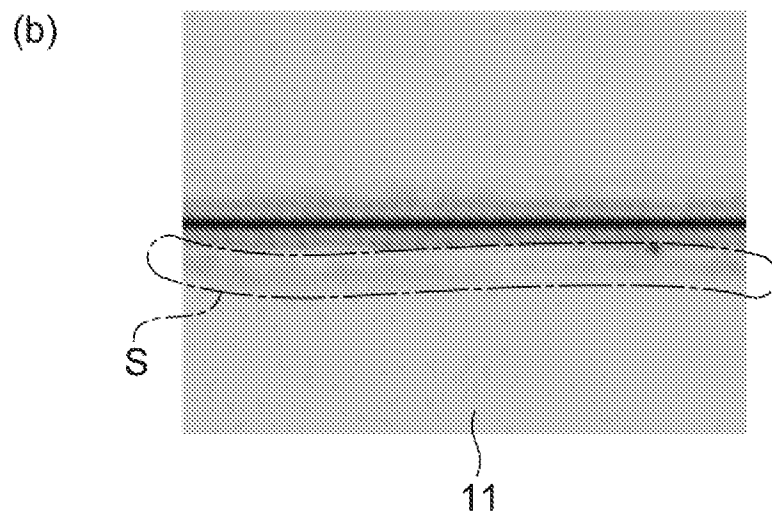
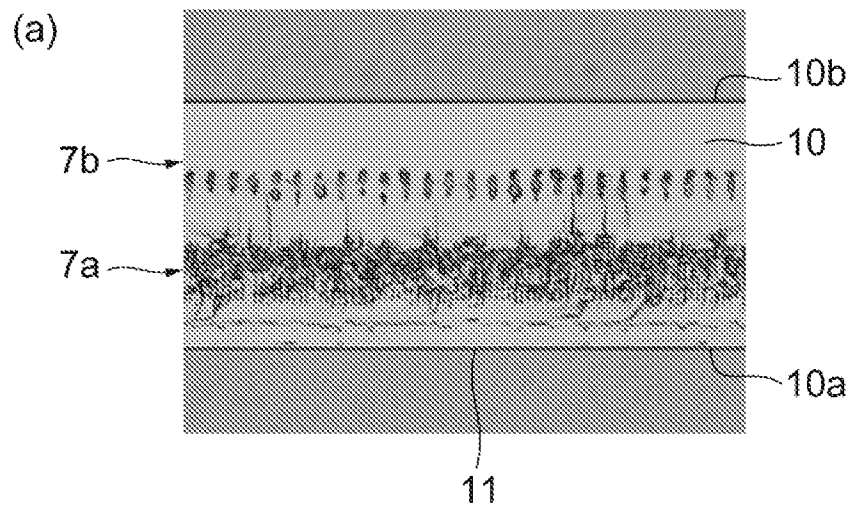
(b)



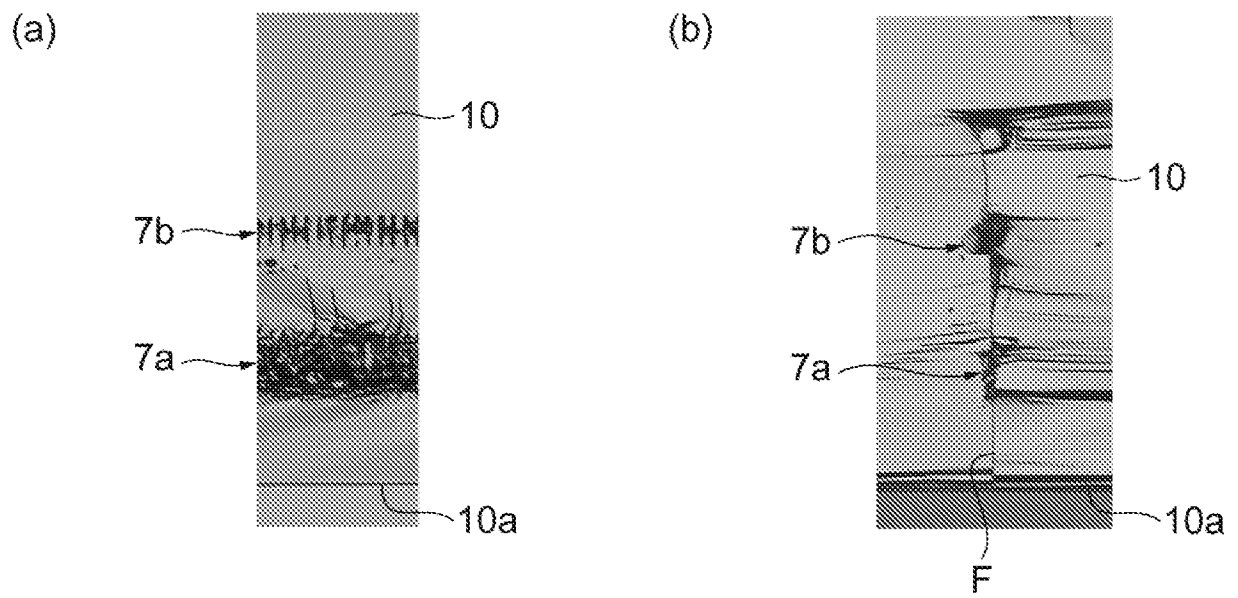
[図10]



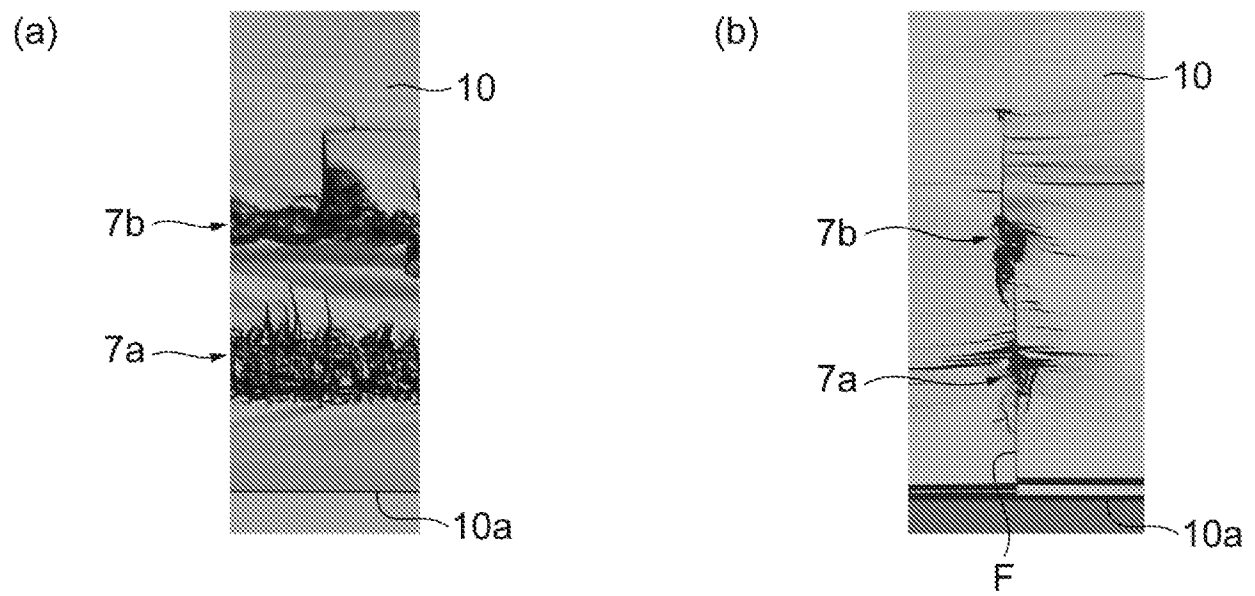
[図11]



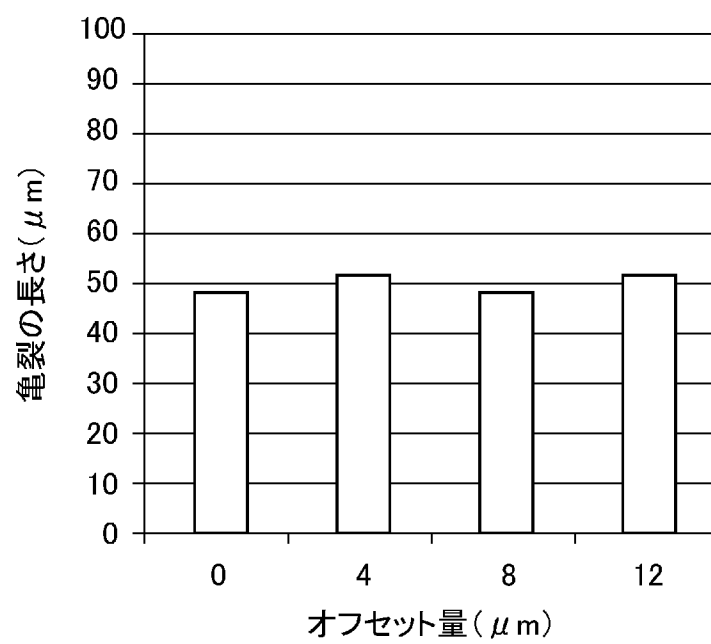
[図12]



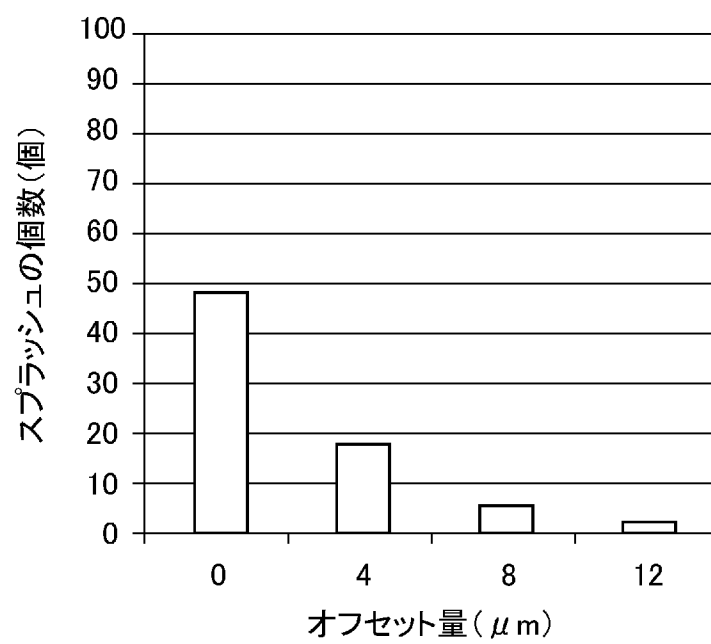
[図13]



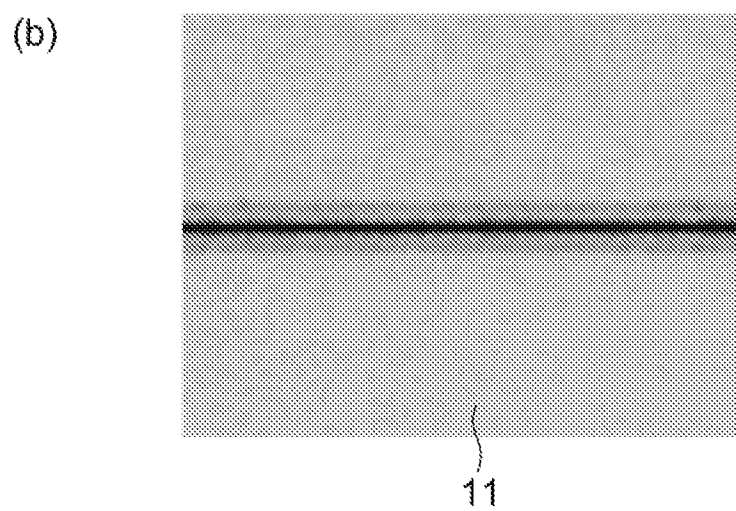
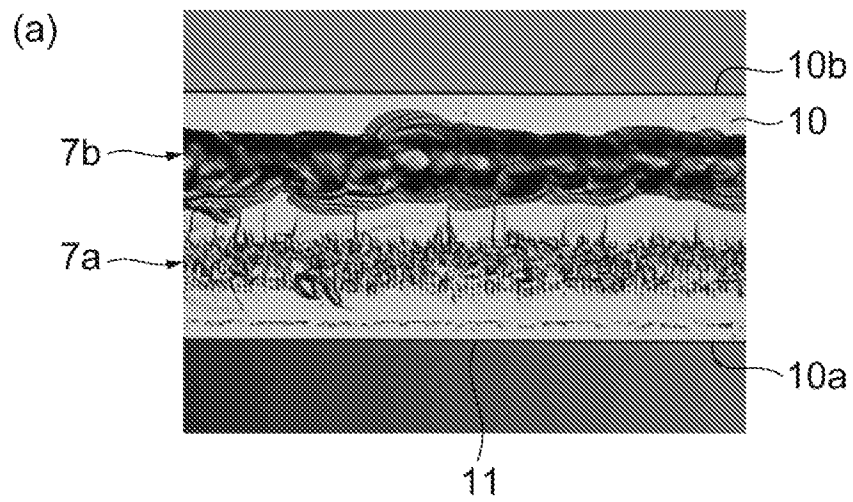
[図14]



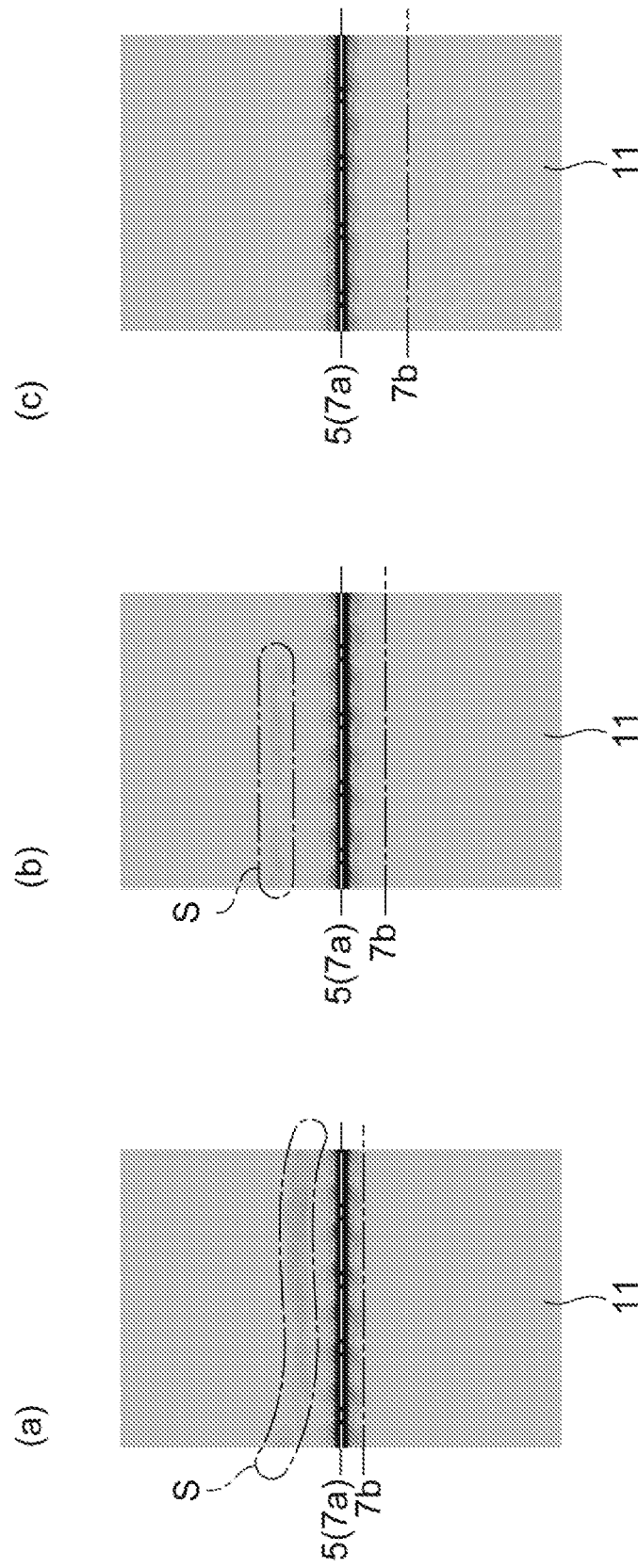
[図15]



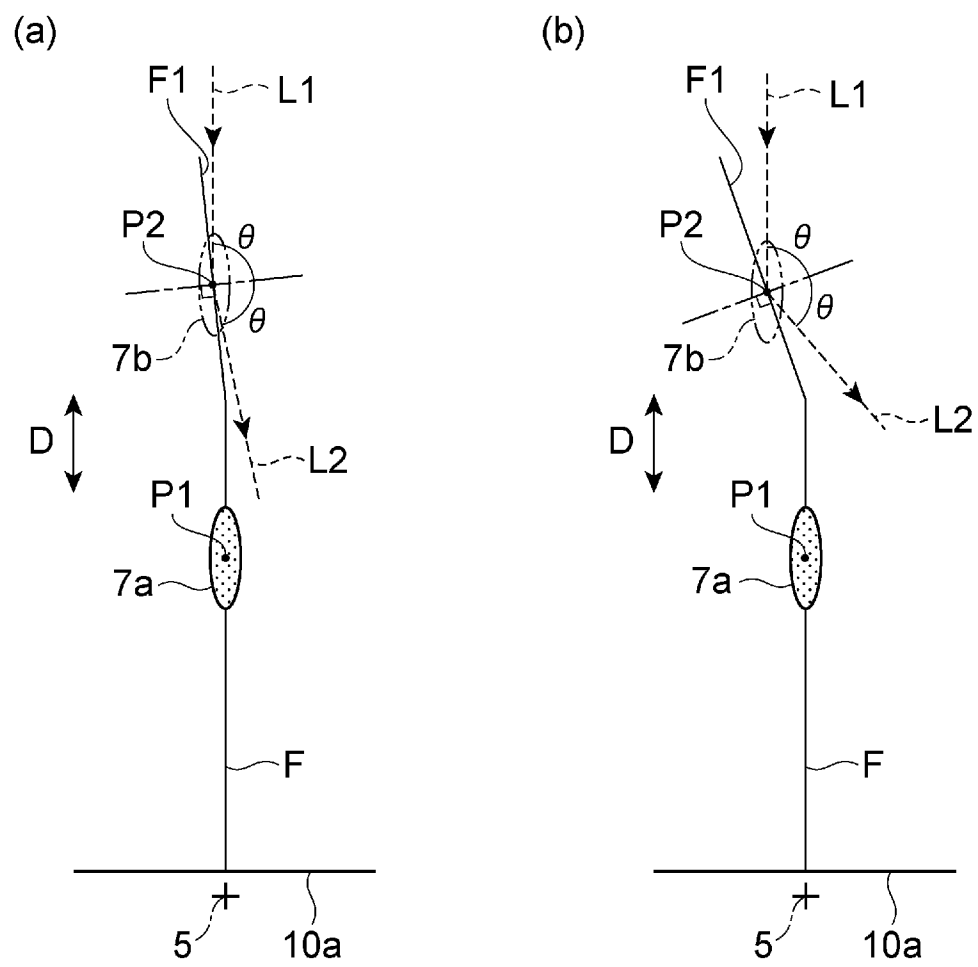
[図16]



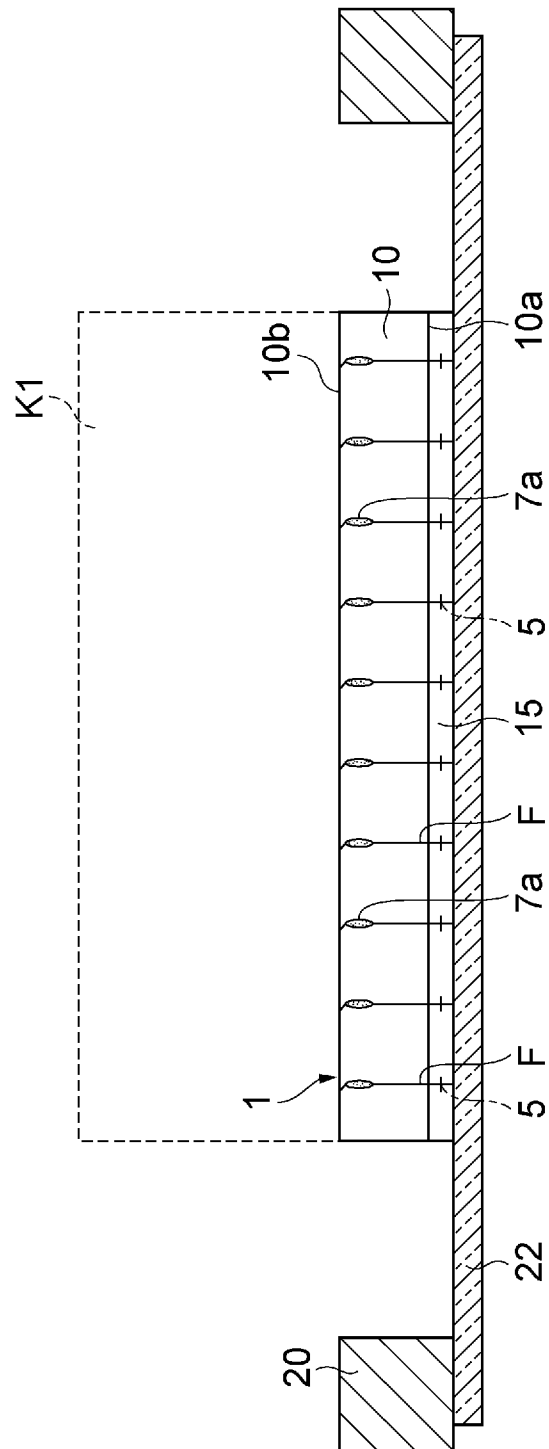
[図17]



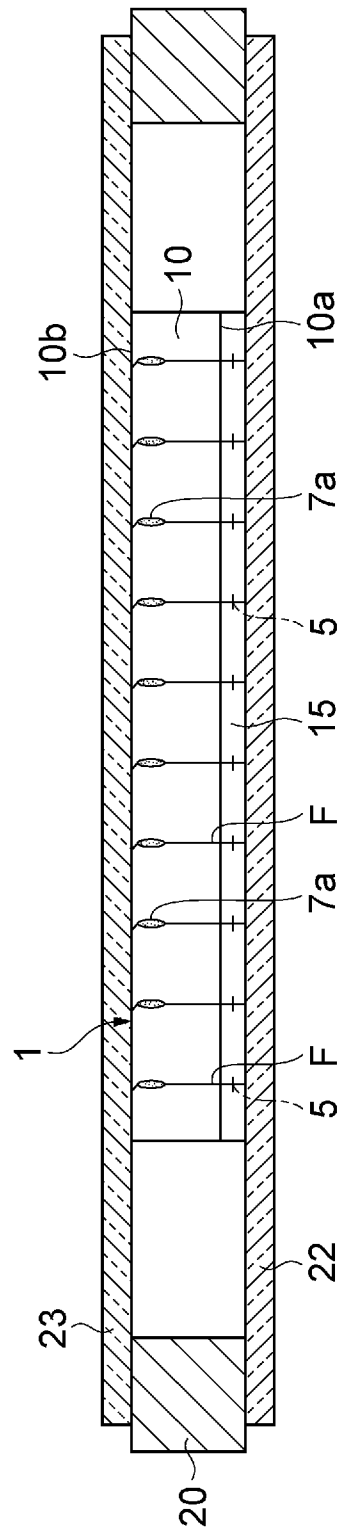
[図18]



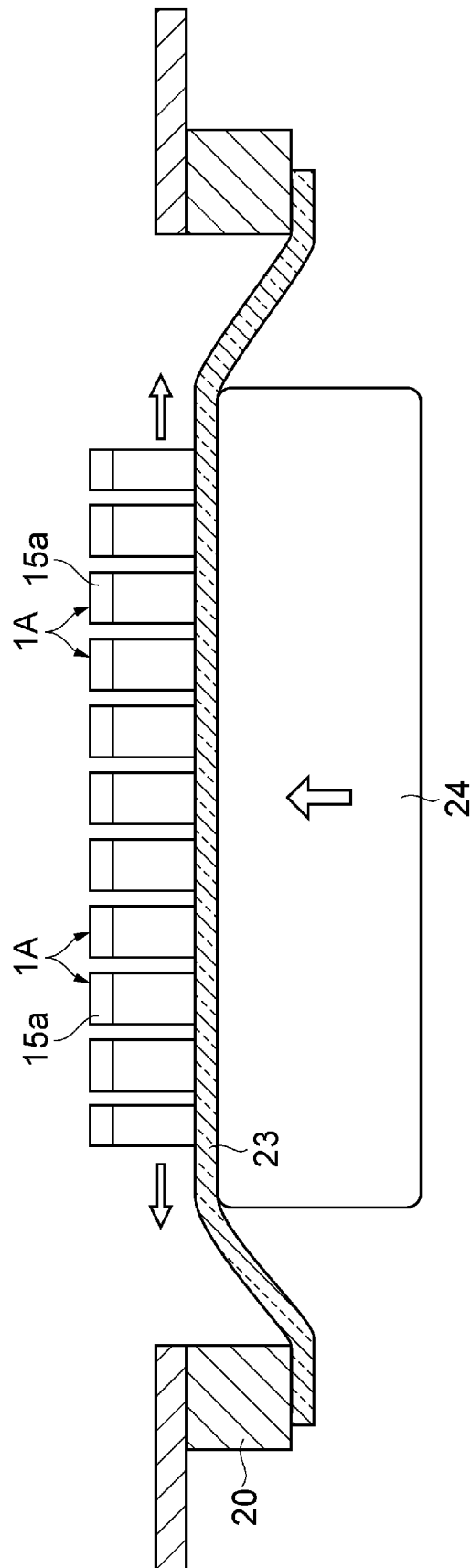
[図20]



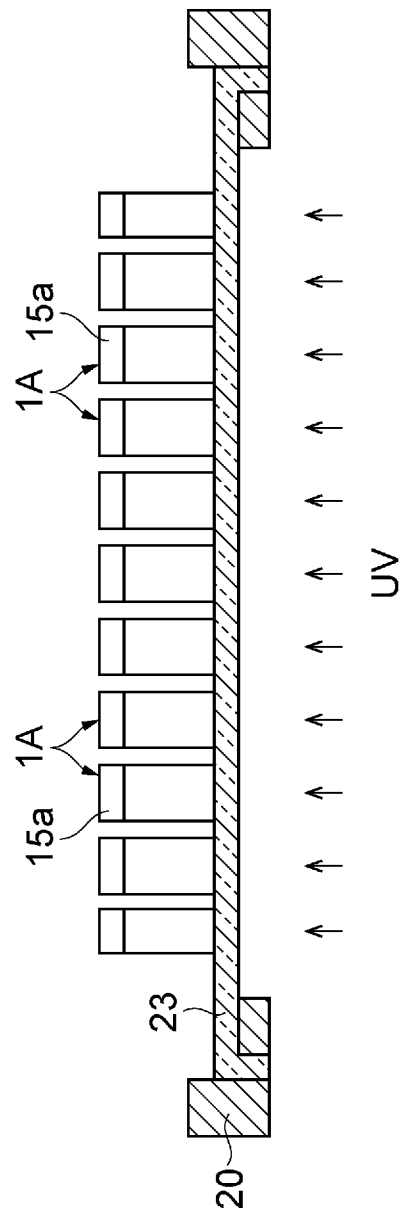
[図21]



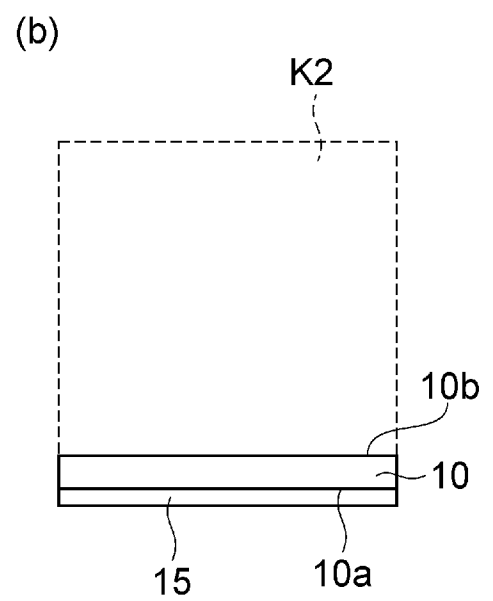
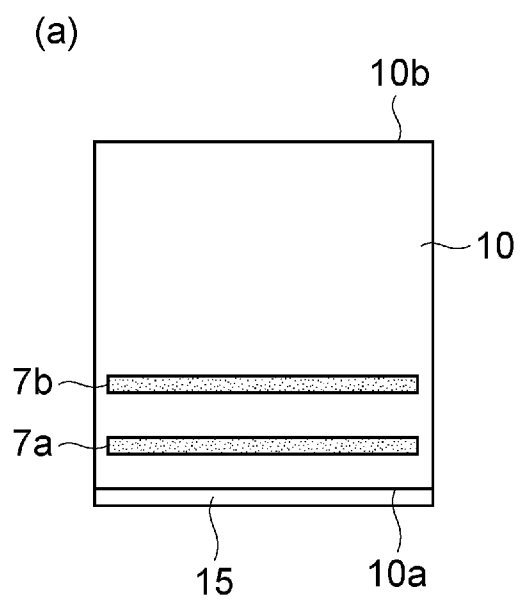
[図23]



[図24]



[図25]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/073355

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/301(2006.01)i, B23K26/046(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, B23K26/046, 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	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	1-7
A	JP 2013-089714 A (Disco Inc.), 13 May 2013 (13.05.2013), paragraphs [0010] to [0035] (Family: none)	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
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/JP2016/073355

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 2009-124077 A (Denso Corp.), 04 June 2009 (04.06.2009), paragraphs [0017] to [0027] (Family: none)	1-7
A	JP 2014-078556 A (Disco Inc.), 01 May 2014 (01.05.2014), paragraphs [0011] to [0030] (Family: none)	1-7
P, A	JP 2016-054205 A (Disco Inc.), 14 April 2016 (14.04.2016), paragraphs [0018] to [0053] (Family: none)	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, B23K26/046(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, B23K26/046, 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	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	1-7
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)	1-7

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

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（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）

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 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)	1-7
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)	1-7
P, A	JP 2016-054205 A (株式会社ディスコ) 2016.04.14, 段落 [0018] - [0053] (ファミリーなし)	1-7