

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6605277号
(P6605277)

(45) 発行日 令和1年11月13日(2019.11.13)

(24) 登録日 令和1年10月25日(2019.10.25)

(51) Int. Cl.		F I			
HO 1 L 21/301	(2006.01)	HO 1 L	21/78		B
B 2 3 K 26/00	(2014.01)	B 2 3 K	26/00		H
B 2 3 K 26/53	(2014.01)	B 2 3 K	26/53		
B 2 3 K 26/04	(2014.01)	B 2 3 K	26/04		
		HO 1 L	21/78		Q

請求項の数 6 (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2015-191092 (P2015-191092)
 (22) 出願日 平成27年9月29日 (2015.9.29)
 (65) 公開番号 特開2017-69307 (P2017-69307A)
 (43) 公開日 平成29年4月6日 (2017.4.6)
 審査請求日 平成30年9月26日 (2018.9.26)

(73) 特許権者 000236436
 浜松ホトニクス株式会社
 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1
 (74) 代理人 100088155
 弁理士 長谷川 芳樹
 (74) 代理人 100113435
 弁理士 黒木 義樹
 (74) 代理人 100140442
 弁理士 柴山 健一
 (72) 発明者 荻原 孝文
 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1
 浜松ホトニクス株式会社内
 (72) 発明者 近藤 裕太
 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1
 浜松ホトニクス株式会社内
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザ加工方法及びレーザ加工装置

(57) 【特許請求の範囲】

【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、1064nm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過す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、1064nm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、1099µm以上1342µm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、 $24\ \mu\text{m}$ 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、

1064nm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。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、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】

10

20

30

40

50

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、本発明は、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】**

本発明のレーザ加工方法は、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、1064nm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、1064nm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、1064nm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、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】

本発明のレーザ加工方法では、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】

本発明の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、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】

本発明の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

10

20

30

40

50

集光点をオフセットさせる距離は、 $4\ \mu\text{m}$ 以上 $18\ \mu\text{m}$ 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】

本発明の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。

10

【0012】

本発明のレーザ加工装置は、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、 $1064\ \text{nm}$ 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、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、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

20

【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】

本発明によれば、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。

30

【図面の簡単な説明】

【0015】

【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。

40

【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。

50

【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。

10

【図17】(a)は、オフセット量2 μm 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 μm 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 μm 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】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。

20

【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】(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。

30

【図26】(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。

【発明を実施するための形態】

【0016】

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。

【0017】

40

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ミックミラー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

50

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、ダイクロミックミラー 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。

10

【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。

20

【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）に露出しているもよい。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。

30

【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）。

40

【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。

50

【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。

10

【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、パルスレーザー光の1パルスのショット（つまり1パルスのレーザー照射：レーザーショット）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。

20

【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ー加工を実施した場合に、レーザー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20µmのCr膜が形成され、そのCr膜上に厚さ50µmのAu膜が形成されることで、構成されている。

30

【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。

40

【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

50

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、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。

10

【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、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。

20

【0032】

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。

【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を用いることが望ましい。

30

40

【0034】

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。

【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

50

リコン基板 10 の表面 10 a 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 10 a 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 10 a 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 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 7 b を形成する際に、「第 1 改質領域 7 a 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。

10

【0037】

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 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 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 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 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 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。

20

【0038】

図 13 は、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（オフセット量 8 μm 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。

30

【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。

40

【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

50

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、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 12 ~ 図 15 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 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 が伸展し、また、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 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。

【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 16 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 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 10 a 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 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 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。

【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 7 b 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 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。

【0044】

図 17 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。より具体的には、図 17 の (a) は、オフセット量 2 μm の場合であり、図 17 の (b) は、オフセット量 4 μm の場合であり、図 17 の (c) は、オフセット量 6 μm 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 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 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、オフセット量が大きい場合には、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

10

20

30

40

50

5 に沿ってレーザ光 L の第 1 集光点 P 1 を移動させる。これにより、第 1 改質領域 7 a 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 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 1 0 の内部に形成される。

【 0 0 5 1 】

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 7 b を形成する。より具体的には、シリコン基板 1 0 の裏面 1 0 b をレーザ光入射面として、1 0 6 4 n m 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 1 0 に集光させて、シリコン基板 1 0 の表面 1 0 a とレーザ光 L 1 の第 2 集光点 P 2 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 L 1 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。

【 0 0 5 2 】

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、7 7 5 μ 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 1 0 の表面 1 0 a から深さ 1 6 0 μ m までの領域に形成される。

【 0 0 5 3 】

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 0 0 によって実施される。すなわち、支持台 1 0 7 が加工対象物 1 を支持する。レーザ光源 1 0 1 が、1 0 6 4 n m 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 0 5 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 0 7 に支持された加工対象物 1 に、レーザ光源 1 0 1 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 1 5 及びレーザ光源制御部（制御部）1 0 2 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 0 7 及びレーザ光源 1 0 1 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 0 5 側の動作によって実現されてもよいし、支持台 1 0 7 側及び集光用レンズ 1 0 5 側の両方の動作によって実現されてもよい。

【 0 0 5 4 】

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 μ m に薄型化される。

【 0 0 5 5 】

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。

【 0 0 5 6 】

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 に示されるように、第

10

20

30

40

50

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26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。

【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100では、1064nmよりも大きい波長を有するレーザ光L1を用いる。これにより、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。更に、第2改質領域7bを形成するにはレーザ光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10a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。

10

【0058】

なお、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 μ 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。

20

【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 μ 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 μ m以上18 μ 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 μ m以上16 μ 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。

30

【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、本発明の好適な実施形態について説明したが、本発明は、上記実施形態に限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。

40

【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L1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

50

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。

10

【0063】

また、本発明は、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、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、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、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、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。

20

30

【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。

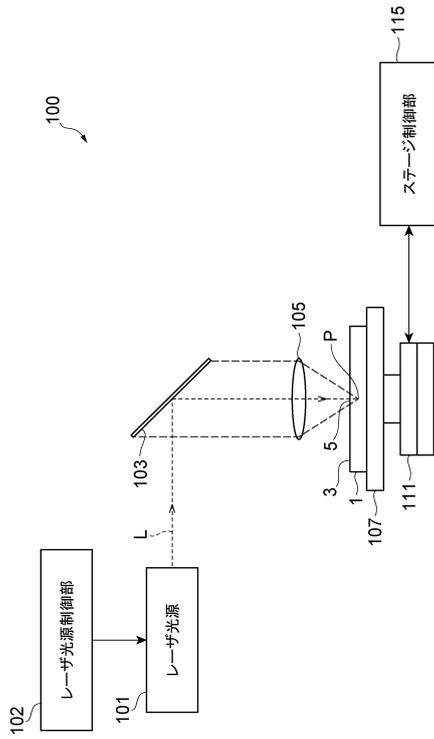
【符号の説明】

【0065】

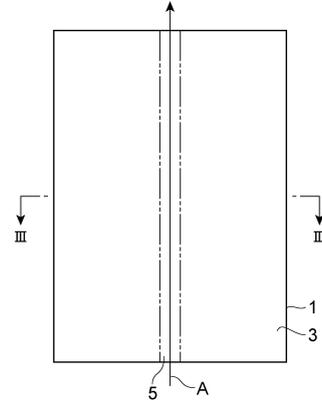
1...加工対象物、5...切断予定ライン、7a...第1改質領域、7b...第2改質領域、10...シリコン基板、10a...表面、10b...裏面、15a...機能素子、100...レーザ加工装置、101...レーザ光源、102...レーザ光源制御部（制御部）、105...集光用レンズ（集光光学系）、107...支持台、115...ステージ制御部（制御部）、L1...レーザ光、P1...第1集光点、P2...第2集光点。

40

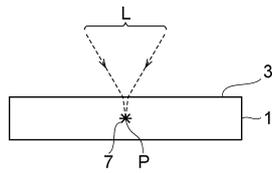
【図1】



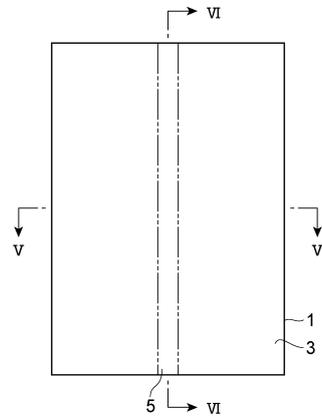
【図2】



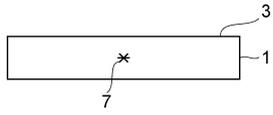
【図3】



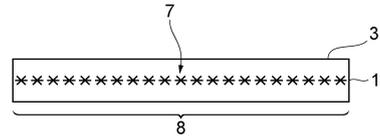
【図4】



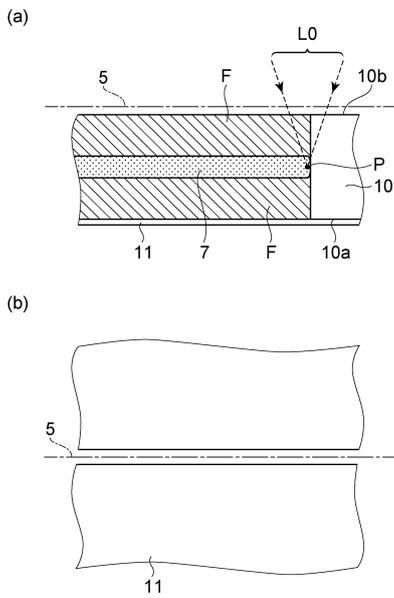
【 図 5 】



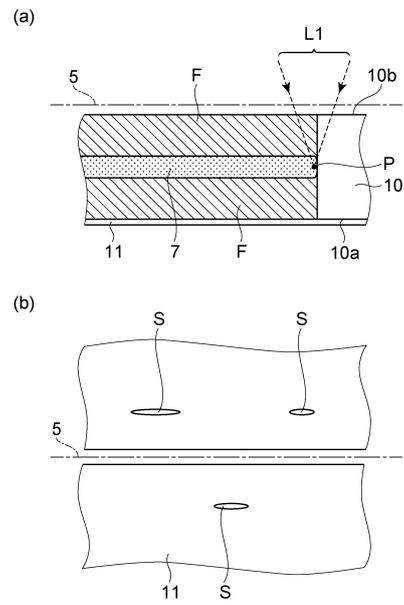
【 図 6 】



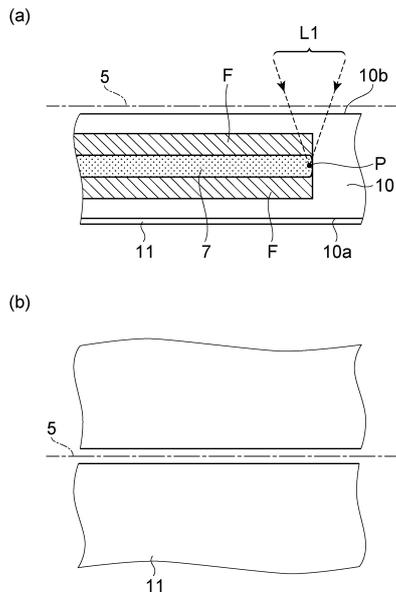
【 図 7 】



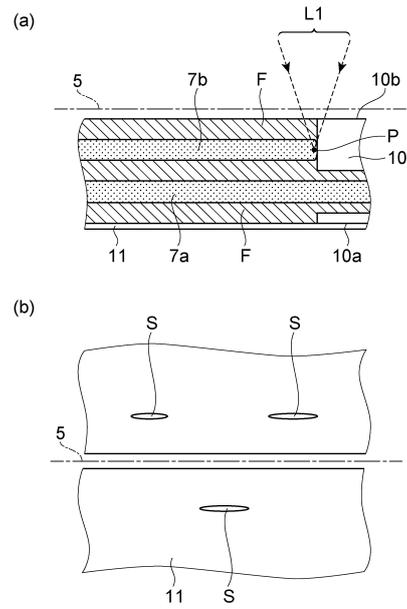
【 図 8 】



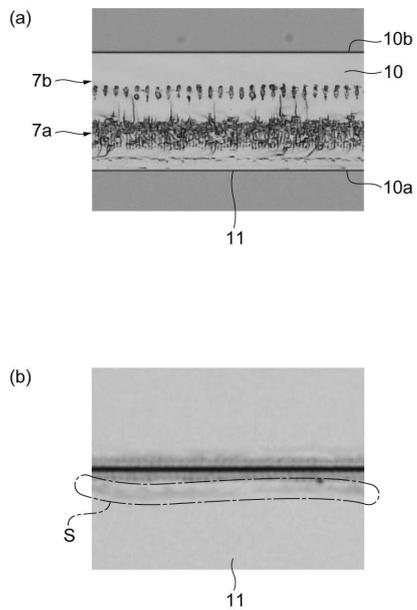
【 図 9 】



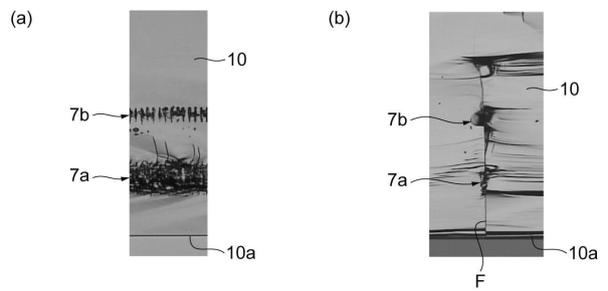
【 図 10 】



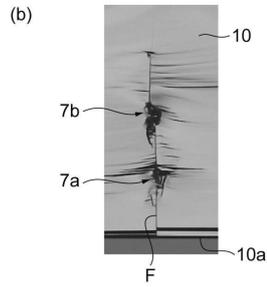
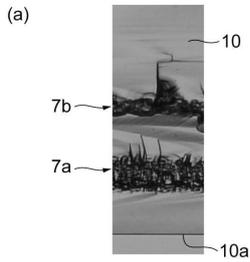
【 図 11 】



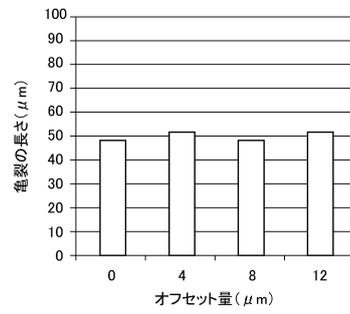
【 図 12 】



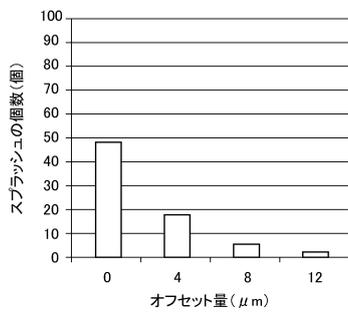
【図 13】



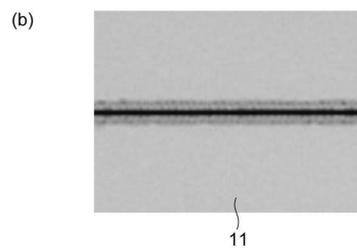
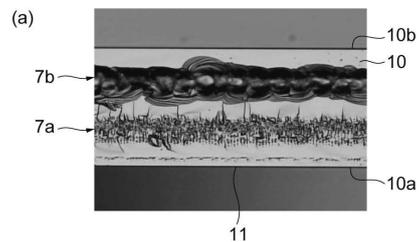
【図 14】



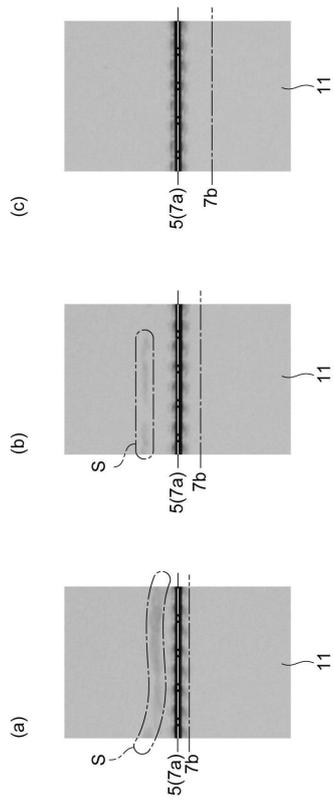
【図 15】



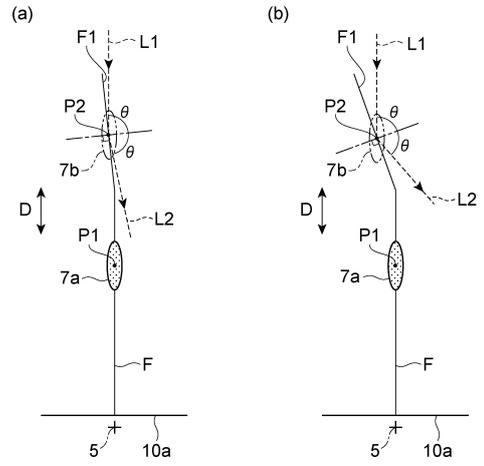
【図 16】



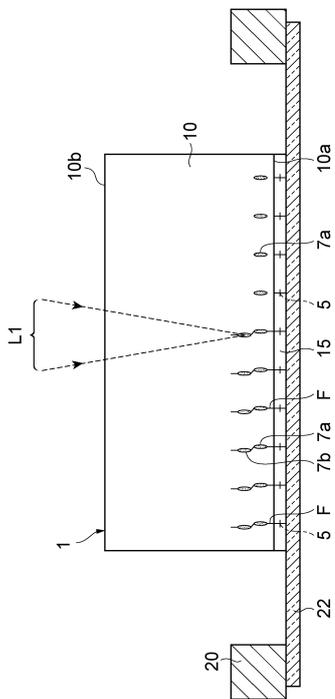
【 図 1 7 】



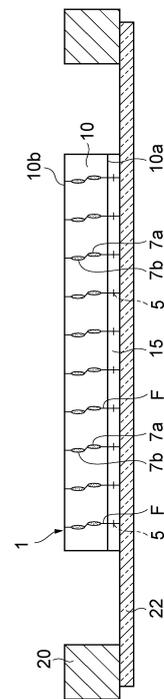
【 図 1 8 】



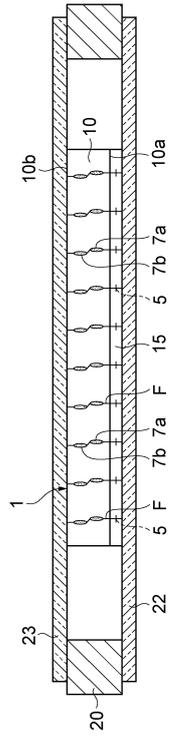
【 図 1 9 】



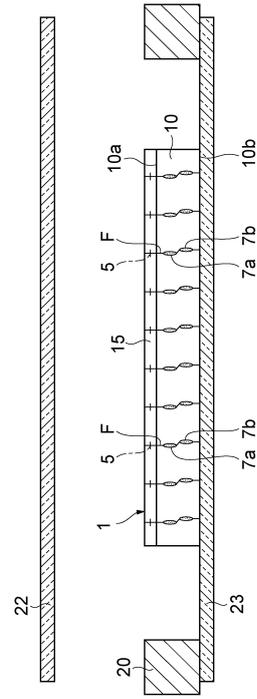
【 図 2 0 】



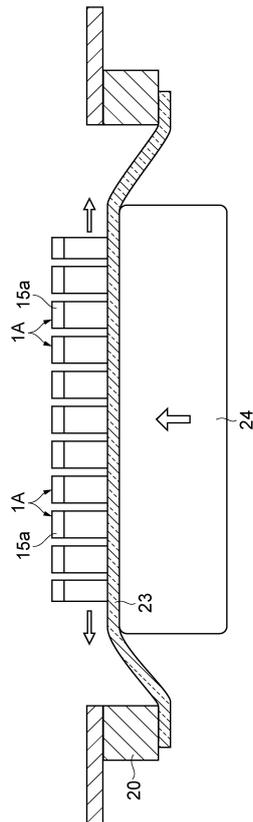
【 図 2 1 】



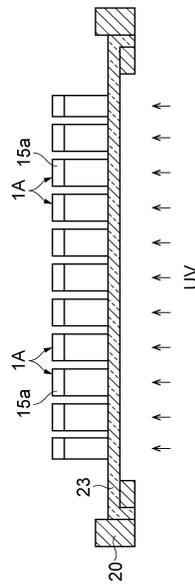
【 図 2 2 】



【 図 2 3 】

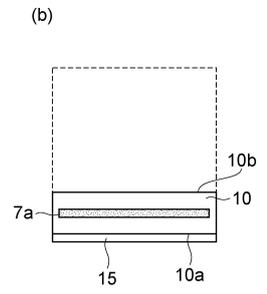
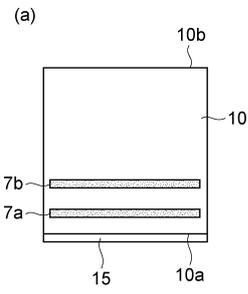
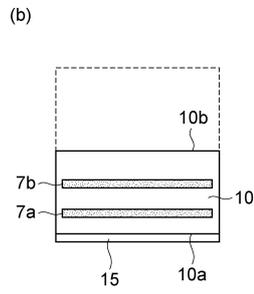
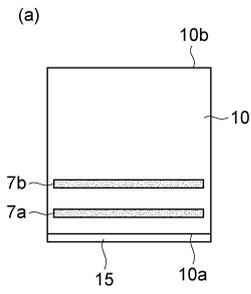


【 図 2 4 】

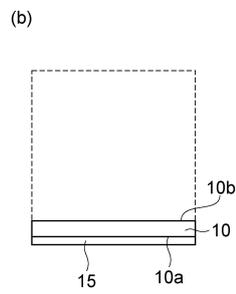
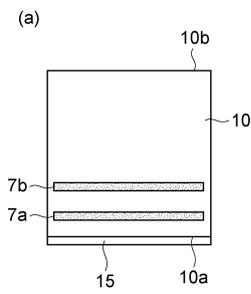


【 図 2 5 】

【 図 2 6 】



【 図 2 7 】



フロントページの続き

審査官 中田 剛史

(56)参考文献 国際公開第2014/030519(WO, A1)

特開2013-089714(JP, A)

特開2009-124077(JP, A)

特開2014-078556(JP, A)

特開2008-016486(JP, A)

特開2013-214601(JP, A)

特開2015-138815(JP, A)

特開2015-165532(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/301

B23K 26/00

B23K 26/04

B23K 26/53