

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5389266号
(P5389266)

(45) 発行日 平成26年1月15日(2014. 1. 15)

(24) 登録日 平成25年10月18日(2013. 10. 18)

(51) Int.Cl.		F I	
B 2 3 K 26/382	(2014. 01)	B 2 3 K 26/38	3 3 0
B 2 3 K 26/40	(2014. 01)	B 2 3 K 26/40	
B 2 3 K 26/00	(2014. 01)	B 2 3 K 26/00	H
H O 1 L 21/306	(2006. 01)	H O 1 L 21/306	C

請求項の数 6 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2012-526437 (P2012-526437)	(73) 特許権者	000236436
(86) (22) 出願日	平成23年7月19日(2011. 7. 19)		浜松ホトニクス株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2011/066361		静岡県浜松市東区市野町1126番地の1
(87) 国際公開番号	W02012/014724	(74) 代理人	100088155
(87) 国際公開日	平成24年2月2日(2012. 2. 2)		弁理士 長谷川 芳樹
審査請求日	平成24年9月28日(2012. 9. 28)	(74) 代理人	100113435
(31) 優先権主張番号	特願2010-167430 (P2010-167430)		弁理士 黒木 義樹
(32) 優先日	平成22年7月26日(2010. 7. 26)	(74) 代理人	100124291
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		弁理士 石田 悟
		(74) 代理人	100140442
			弁理士 柴山 健一
		(72) 発明者	下井 英樹
			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】 基板加工方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

所定のラインに沿った空間をシリコン基板に形成するための基板加工方法であって、
楕円率が1以外の楕円偏光であるレーザ光を前記シリコン基板に集光することにより、
前記ラインに沿って前記シリコン基板の内部に改質スポットを複数形成し、複数の前記改質
スポットを含む改質領域を形成する第1の工程と、

前記第1の工程の後、前記シリコン基板に異方性エッチング処理を施すことにより、前
記改質領域に沿ってエッチングを選択的に進展させ、前記シリコン基板に前記空間を形成
する第2の工程と、を備え、

前記第1の工程では、前記シリコン基板に対する前記レーザ光の移動方向と前記レーザ
光の偏光方向とのなす角度が45°未満となるように前記シリコン基板に前記レーザ光を
集光し、前記ラインに沿って複数列に並ぶように複数の前記改質スポットを形成する、基
板加工方法。

【請求項2】

前記第1の工程では、前記シリコン基板に対する前記レーザ光の入射方向に垂直な所定
の方向から見た場合に、前記ラインに沿って複数列に並ぶように複数の前記改質スポット
を形成する、請求項1記載の基板加工方法。

【請求項3】

前記第1の工程では、前記シリコン基板に対する前記レーザ光の入射方向から見た場合
に、前記ラインに沿って複数列に並ぶように複数の前記改質スポットを形成する、請求項

10

20

1 記載の基板加工方法。

【請求項 4】

前記第 1 の工程では、前記移動方向と前記偏光方向とのなす角度が 0° となるように前記シリコン基板に前記レーザー光を集光する、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項記載の基板加工方法。

【請求項 5】

前記楕円偏光は、楕円率が零の直線偏光である、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項記載の基板加工方法。

【請求項 6】

前記空間は、前記シリコン基板の表面及び裏面に開口する貫通孔である、請求項 1 ~ 5 のいずれか一項記載の基板加工方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、貫通孔等の空間をシリコン基板に形成するための基板加工方法に関する。

【背景技術】

【0002】

上記技術分野の基板加工方法として、例えば特許文献 1 には、シリコン基板にレーザー光を集光することにより改質領域を形成し、その後、シリコン基板にエッチング処理を施すことにより、改質領域に沿ってエッチングを選択的に進展させ、シリコン基板に貫通孔等の空間を形成するものが記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2005 - 74663 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ところで、上述したような基板加工方法には、様々な分野への適用が進む中、例えば設計自由度の向上を図るべく、シリコン基板の厚さ方向に対して傾斜する方向（以下、単に「斜め方向」ともいう）に延在する貫通孔等、様々な形状を有する空間をシリコン基板に精度良く形成することが求められている。

【0005】

そこで、本発明は、様々な形状を有する空間をシリコン基板に精度良く形成することができる基板加工方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の一側面の基板加工方法は、所定のラインに沿った空間をシリコン基板に形成するための基板加工方法であって、楕円率が 1 以外の楕円偏光であるレーザー光をシリコン基板に集光することにより、ラインに沿ってシリコン基板の内部に改質スポットを複数形成し、複数の改質スポットを含む改質領域を形成する第 1 の工程と、第 1 の工程の後、シリコン基板に異方性エッチング処理を施すことにより、改質領域に沿ってエッチングを選択的に進展させ、シリコン基板に空間を形成する第 2 の工程と、を備え、第 1 の工程では、シリコン基板に対するレーザー光の移動方向とレーザー光の偏光方向とのなす角度が 45° 未満となるようにシリコン基板にレーザー光を集光し、ラインに沿って複数列に並ぶように複数の改質スポットを形成する。

【0007】

この基板加工方法では、改質スポットを形成するときに、レーザー光の移動方向とレーザー光の偏光方向とのなす角度が 45° 未満となるようにシリコン基板にレーザー光を集光する。本発明者らは、鋭意検討を重ねた結果、当該角度が 45° 未満となるようにレーザー光を

10

20

30

40

50

集光すると、当該角度が45°以上となるようにレーザー光を集光する場合に比べ、改質スポットからレーザー光の移動方向に亀裂をより伸展させ得ることを突き止めた。このことから、所定のラインに沿って複数列に並ぶように複数の改質スポットを形成する場合において、隣接する一方の列に続いて他方の列に複数の改質スポットを形成するとき、当該ラインが斜め方向に延在していても、一方の列に既成の改質スポットから伸展した亀裂にレーザー光の集光が阻害され難くなり、複数の改質スポットが確実に形成される。これにより、シリコン基板に異方性エッチング処理を施すと、改質領域に沿ってエッチングが確実に進展することになる。よって、この基板加工方法によれば、様々な形状を有する空間をシリコン基板に精度良く形成することができる。

【0008】

なお、楕円偏光の楕円率とは、楕円偏光を表す楕円における「短軸の長さの半分」/「長軸の長さの半分」である。従って、楕円率が1のとき、その楕円偏光は円偏光に相当し、楕円率が零のとき、その楕円偏光は直線偏光に相当する。また、レーザー光の偏光方向とは、楕円偏光を表す楕円の長軸の方向である。従って、楕円率が零のとき、レーザー光の偏光方向は、直線偏光を表す直線の方向である。

【0009】

ここで、第1の工程では、シリコン基板に対するレーザー光の入射方向に垂直な所定の方向から見た場合に、ラインに沿って複数列に並ぶように複数の改質スポットを形成してもよい。これによれば、当該所定の方向から見た場合の断面形状が所望の形状となるように空間を形成することができる。

【0010】

或いは、第1の工程では、シリコン基板に対するレーザー光の入射方向から見た場合に、ラインに沿って複数列に並ぶように複数の改質スポットを形成してもよい。これによれば、当該入射方向から見た場合の断面形状が所望の形状となるように空間を形成することができる。

【0011】

また、第1の工程では、レーザー光の移動方向とレーザー光の偏光方向とのなす角度が0°となるようにシリコン基板にレーザー光を集光してもよい。レーザー光の移動方向とレーザー光の偏光方向とのなす角度が0°に近いほど、レーザー光の移動方向以外への亀裂の伸展が抑制されるので、これによれば、改質スポットからレーザー光の移動方向に精度良く亀裂を伸展させることができる。

【0012】

また、楕円偏光は、楕円率が零の直線偏光であってもよい。楕円偏光の楕円率が小さいほど、レーザー光の移動方向以外への亀裂の伸展が抑制されるので、これによれば、改質スポットからレーザー光の移動方向に精度良く亀裂を伸展させることができる。

【0013】

また、空間は、シリコン基板の表面及び裏面に開口する貫通孔である場合がある。この場合、所定のラインが斜め方向に延在していても、上述したことから、そのようなラインに沿った貫通孔をシリコン基板に精度良く形成することができる。

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、様々な形状を有する空間をシリコン基板に精度良く形成することができる。

【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ー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】レーザー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。

10

20

30

40

50

【図 6】図 4 の加工対象物の VI - VI 線に沿っての断面図である。

【図 7】本発明の一実施形態の基板加工方法を説明するためのシリコン基板の斜視図である。

【図 8】本発明の一実施形態の基板加工方法を説明するためのシリコン基板の斜視図である。

【図 9】所定のラインに沿って複数列に並ぶように形成された複数の改質スポットを示す図である。

【図 10】本発明の一実施形態の基板加工方法を説明するためのシリコン基板の斜視図である。

【図 11】所定のラインに沿って複数列に並ぶように形成された複数の改質スポットを示す図である。

10

【図 12】本発明の一実施形態の基板加工方法を説明するためのシリコン基板の斜視図である。

【図 13】本発明の一実施形態の基板加工方法を説明するためのシリコン基板の斜視図である。

【図 14】本発明の一実施形態の基板加工方法を説明するためのシリコン基板の斜視図である。

【図 15】レーザ光の偏光方向と亀裂の伸展方向との関係を示す図である。

【図 16】所定のラインに沿って一列又は複数列に並ぶように複数の改質スポットを形成した場合のシリコン基板の断面図及び平面図である。

20

【図 17】加工幅とエッチングレートとの関係を示すグラフである。

【図 18】加工列数とエッチングレートとの関係を示すグラフである。

【図 19】加工列数とエッチングレートとの関係を示すグラフである。

【図 20】偏光角度とエッチングレートとの関係を示すグラフである。

【図 21】改質スポットの形成ピッチ及びパルス幅とエッチングレートとの関係を示すグラフである。

【図 22】レーザ光の入射方向に垂直な所定の方向に沿って一列に並ぶように複数の改質スポットを形成した場合のシリコン基板の断面図である。

【図 23】レーザ光の入射方向に沿って一列に並ぶように複数の改質スポットを形成した場合のシリコン基板の断面図である。

30

【図 24】斜め方向に沿って一列に並ぶように複数の改質スポットを形成した場合のシリコン基板の断面図である。

【図 25】レーザ光の移動方向とレーザ光の偏光方向との関係を示す図である。

【図 26】1 / 4 波長板の原理を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、本発明の好適な実施形態について、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】

本発明の一実施形態の基板加工方法では、加工対象物の内部にレーザ光を集光させて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 を参照して以下に説明する。

40

【0018】

図 1 に示すように、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 11

50

5 と、を備えている。

【0019】

このレーザ加工装置100においては、レーザ光源101から出射されたレーザ光Lは、ダイクロミックミラー103によってその光軸の向きを90°変えられ、支持台107上に載置された板状の加工対象物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に対して改質領域形成予定ライン5に沿って相対移動させられる。これにより、改質領域形成予定ライン5に沿った改質領域が加工対象物1に形成されることとなる。

【0020】

加工対象物1としては、半導体材料や圧電材料等が用いられ、図2に示すように、加工対象物1には、改質領域形成予定ライン5が設定されている。ここでの改質領域形成予定ライン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に示すように、加工対象物1の内部に集光点Pを合わせた状態で、レーザ光Lを改質領域形成予定ライン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6に示すように、改質領域7が改質領域形成予定ライン5に沿って加工対象物1の内部に形成され、この改質領域7が、後述のエッチング（食刻）による除去領域8となる。

【0021】

なお、集光点Pとは、レーザ光Lが集光する箇所のことである。また、改質領域形成予定ライン5は、直線状に限らず曲線状であってもよいし、これらが組み合わされた3次元状であってもよいし、座標指定されたものであってもよい。また、改質領域7は、連続的に形成される場合もあるし、断続的に形成される場合もある。また、改質領域7は列状でも点状でもよく、要は、改質領域7は少なくとも加工対象物1の内部に形成されていればよい。また、改質領域7を起点に亀裂が形成される場合があり、亀裂及び改質領域7は、加工対象物1の外表面（表面、裏面、若しくは側面）に露出していてもよい。

【0022】

ちなみに、ここでは、レーザ光Lが、加工対象物1を透過すると共に加工対象物1の内部の集光点近傍にて特に吸収され、これにより、加工対象物1に改質領域7が形成される（すなわち、内部吸収型レーザ加工）。一般的に、表面3から熔融され除去されて穴や溝等の除去部が形成される（表面吸収型レーザ加工）場合、加工領域は表面3側から徐々に裏面側に進行する。

【0023】

ところで、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、熔融処理領域、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。さらに、改質領域7としては、加工対象物1の材料において密度が非改質領域の密度と比較して変化した領域や、格子欠陥が形成された領域がある（これらをまとめて高密転移領域ともいう）。

【0024】

また、熔融処理領域や屈折率変化領域、改質領域7の密度が非改質領域の密度と比較して変化した領域、格子欠陥が形成された領域は、さらにそれら領域の内部や改質領域7と非改質領域との界面に亀裂（割れ、マイクロクラック）を内包している場合がある。内包される亀裂は改質領域7の全面に渡る場合や一部分のみや複数部分に形成される場合がある。加工対象物1としては、シリコンを含む、又はシリコンからなるものが挙げられる。

【0025】

ここで、本発明の一実施形態の基板加工方法では、加工対象物1に改質領域7を形成した後、この加工対象物1にエッチング処理を施すことにより、改質領域7に沿って（すなわち、改質領域7、改質領域7に含まれる亀裂、又は改質領域7からの亀裂に沿って）エッチングを選択的に進展させ、加工対象物1における改質領域7に沿った部分を除去する。なお、この亀裂は、クラック、微小クラック、割れ等とも称される（以下、単に「亀裂

10

20

30

40

50

」という)。

【0026】

このエッチング処理では、例えば、毛細管現象等を利用して、加工対象物1の改質領域7に含まれる又は該改質領域7からの亀裂にエッチング剤を浸潤させ、亀裂面に沿ってエッチングを進展させる。これにより、加工対象物1では、亀裂に沿って選択的且つ速いエッチングレート(エッチング速度)でエッチングを進展させ除去する。これと共に、改質領域7自体のエッチングレートが速いという特徴を利用して、改質領域7に沿って選択的にエッチングを進展させ除去する。

【0027】

エッチング処理としては、例えばエッチング剤に加工対象物1を浸漬する場合(ディッピング方式:Dipping)と、加工対象物1を回転させつつエッチング剤を塗布する場合(スピネッチング方式:SpinEtching)とがある。

【0028】

エッチング剤としては、例えば、KOH(水酸化カリウム)、TMAH(水酸化テトラメチルアンモニウム水溶液)、EDP(エチレンジアミンピロカテコール)、NaOH(水酸化ナトリウム)、CsOH(水酸化セシウム)、NH₄OH(水酸化アンモニウム)、ヒドラジン等が挙げられる。また、エッチング剤としては、液体状のものだけでなく、ゲル状(ゼリー状、半固形状)のものを用いることができる。ここでのエッチング剤は、常温~100 前後の温度で用いられ、必要とされるエッチングレート等に応じて適宜の温度に設定される。例えば、シリコンで形成された加工対象物1をKOHでエッチング処理

【0029】

また、本発明の一実施形態の基板加工方法では、エッチング処理として、結晶方位に基づく特定方向のエッチングレートが速い(若しくは遅い)エッチングである異方性エッチング処理を行っている。この異方性エッチング処理の場合には、比較的薄い加工対象物だけでなく厚いもの(例えば、厚さ800 μm~100 μm)にも適用できる。また、この場合、改質領域7を形成する面が面方位と異なるときにも、この改質領域7に沿ってエッチングを進行させることができる。つまり、ここでの異方性エッチング処理では、結晶方位に倣った面方位のエッチングに加えて、結晶方位に依存しないエッチングも可能である。

【0030】

次に、本発明の一実施形態の基板加工方法について詳細に説明する。ここでは、図7に示すように、レーザ光Lをシリコン基板11(上述した加工対象物1に対応する)に集光することにより、所定のライン12(上述した改質領域形成予定ライン5に対応する)に沿ってシリコン基板11の内部に改質スポットSを複数形成し、複数の改質スポットSを含む改質領域7を形成する。その後、シリコン基板11に異方性エッチング処理を施すことにより、改質領域7に沿ってエッチングを選択的に進展させ、シリコン基板11に貫通孔13を形成する。このようなシリコン基板11は、例えば光電子増倍素子やインターポーザ等に適用される。なお、シリコン基板11の厚さ方向をZ軸方向とし、Z軸方向に垂直な所定の方向をX軸方向とし、Z軸方向及びX軸方向に垂直な方向をY軸方向とする。

【0031】

レーザ光Lは、パルス発振された直線偏光(すなわち、楕円率が零の楕円偏光)であり、シリコン基板11を所定の透過率で透過する波長を有している。レーザ光Lは、改質スポットSを形成するときには、Z軸方向に沿って表面11aからシリコン基板11に入射させられると共に、X軸方向に沿って相対的に移動させられる。改質スポットSは、パルスレーザ光であるレーザ光Lの1パルスのショット(照射)で形成され、改質領域7は、複数の改質スポットSが集合することにより形成される。改質スポットS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。

【0032】

シリコン基板 11 は、シリコン単結晶からなり、(100)面となる表面 11a 及び裏面 11b を有している。所定のライン 12 は、シリコン基板 11 の表面 11a 及び裏面 11b に開口する貫通孔 13 を形成するための基準線である。ライン 12 は、例えば貫通孔 13 の中心線(ライン 12 に垂直な貫通孔 13 の断面形状の重心点を通る線)であり、貫通孔 13 の貫通方向(延在方向)に延在している。

【0033】

以下、本発明の一実施形態の基板加工方法の各工程について、より具体的に説明する。まず、図 8 に示すように、レーザ光 L をシリコン基板 11 に集光することにより、ライン 12a に沿ってシリコン基板 11 の内部に改質スポット S を複数形成し、これらの改質スポット S を含む改質領域 7a を形成する。ライン 12a は、シリコン基板 11 の裏面 11b 側に位置するライン 12 の一部分であって、ZX 平面内において斜め方向に延在している。ライン 12a に対しては、シリコン基板 11 に対するレーザ光 L の移動方向(以下、単に「レーザ光 L の移動方向」という)及びレーザ光 L の偏光方向を X 軸方向として、レーザ光 L の移動方向とレーザ光 L の偏光方向とのなす角度(以下、「偏光角度」という)が 0° となるようにシリコン基板 11 にレーザ光 L を集光する。

【0034】

ここでは、図 8(a) に示すように、シリコン基板 11 の内部におけるライン 12a 上の裏面 11b 側にレーザ光 L の集光点(以下、単に「集光点」という)を合わせて、集光点を X 軸方向に移動させながら、ライン 12a 上に複数の改質スポット S が形成されるようにレーザ光 L を ON・OFF 照射する(ライン 12a に沿っての X 軸方向スキャン)。以降、図 8(b) に示すように、集光点を Z 軸方向における表面 11a 側に所定の距離ずつ移動させながら、ライン 12a に沿っての X 軸方向スキャンを複数回実施する。このようにして、図 9 に示すように、Y 軸方向(レーザ光 L の入射方向に垂直な所定の方向)から見た場合に、ライン 12a に沿って複数列に並ぶように複数の改質スポット S を形成する。

【0035】

なお、ライン 12a 上の裏面 11b 側に改質スポット S を形成するときには、改質スポット S の端部を裏面 11b に露出させる。また、ライン 12a に沿って改質スポット S を形成するときには、隣接する改質スポット S, S 間において、直接的に又は改質スポット S から伸展した亀裂を介して、改質スポット S, S 同士を繋げるように、レーザ光 L の照射条件(シリコン基板 11 に対するレーザ光 L の移動速度、レーザ光 L の繰り返し周波数、集光点を移動させる所定の距離等)を調節する。

【0036】

続いて、図 10 に示すように、レーザ光 L をシリコン基板 11 に集光することにより、ライン 12b に沿ってシリコン基板 11 の内部に改質スポット S を複数形成し、これらの改質スポット S を含む改質領域 7b を形成する。ライン 12b は、ライン 12a の端部から延在するライン 12 の一部分であって、X 軸方向に延在している。ライン 12b に対しては、レーザ光 L の移動方向及びレーザ光 L の偏光方向を X 軸方向として、偏光角度が 0° となるようにシリコン基板 11 にレーザ光 L を集光する。

【0037】

ここでは、図 10(a) に示すように、シリコン基板 11 の内部におけるライン 12b の一方の側に集光点を合わせて、集光点を X 軸方向に移動させながら、ライン 12b に沿って複数の改質スポット S が形成されるようにレーザ光 L を ON・OFF 照射する(ライン 12b に沿っての X 軸方向スキャン)。以降、図 10(b) に示すように、集光点を Y 軸方向における他方の側に所定の距離ずつ移動させながら、ライン 12b に沿っての X 軸方向スキャンを複数回実施する。このようにして、図 11 に示すように、Z 軸方向(レーザ光 L の入射方向)から見た場合に、ライン 12b に沿って複数列に並ぶように複数の改質スポット S を形成する。なお、ライン 12b に沿って改質スポット S を形成するときには、隣接する改質スポット S, S 間において、直接的に又は改質スポット S から伸展した亀裂を介して、改質スポット S, S 同士を繋げるように、レーザ光 L の照射条件を調節す

10

20

30

40

50

る。

【0038】

続いて、図12に示すように、レーザ光Lをシリコン基板11に集光することにより、ライン12cに沿ってシリコン基板11の内部に改質スポットSを複数形成し、これらの改質スポットSを含む改質領域7cを形成する。ライン12cは、ライン12bの端部から延在するライン12の一部であって、ZX平面内において斜め方向に延在している。ライン12cに対しては、レーザ光Lの移動方向をX軸方向とし、レーザ光Lの偏光方向をY軸方向として、偏光角度が90°となるようにシリコン基板11にレーザ光Lを集光する。

【0039】

ここでは、図12(a)に示すように、シリコン基板11の内部におけるライン12c上の裏面11b側に集光点を合わせて、集光点をX軸方向に移動させながら、ライン12c上に複数の改質スポットSが形成されるようにレーザ光LをON・OFF照射する(ライン12cに沿ってのX軸方向スキャン)。以降、図12(b)に示すように、集光点をZ軸方向における表面11a側に所定の距離ずつ移動させながら、ライン12cに沿ってのX軸方向スキャンを複数回実施する。このようにして、ライン12cに沿って一列に並ぶように(改質領域7cに含まれる改質スポットSの全てがライン12c上に位置するように)、かつ、X軸方向(レーザ光Lの入射方向に垂直な所定の方向)から見た場合に、隣接する改質スポットSの一部が互いに重なるように、複数の前記改質スポットSを形成する。なお、ライン12cに沿って改質スポットSを形成するときには、隣接する改質スポットS、S間において、直接的に又は改質スポットSから伸展した亀裂を介して、改質スポットS、S同士を繋げるように、レーザ光Lの照射条件を調節する。

【0040】

続いて、図13(a)に示すように、レーザ光Lをシリコン基板11に集光することにより、ライン12dに沿ってシリコン基板11の内部に改質スポットSを複数形成し、これらの改質スポットSを含む改質領域7dを形成する。ライン12dは、ライン12cの端部から延在するライン12の一部であって、X軸方向に延在している。ライン12dに対しては、レーザ光Lの移動方向をX軸方向とし、レーザ光Lの偏光方向をY軸方向として、偏光角度が90°となるようにシリコン基板11にレーザ光Lを集光する。

【0041】

ここでは、シリコン基板11の内部におけるライン12d上の端部に集光点を合わせて、集光点をX軸方向に移動させながら、ライン12d上に複数の改質スポットSが形成されるようにレーザ光LをON・OFF照射する(ライン12dに沿ってのX軸方向スキャン)。このようにして、ライン12dに沿って一列に並ぶように(改質領域7dに含まれる改質スポットSの全てがライン12d上に位置するように)、複数の前記改質スポットSを形成する。なお、ライン12dに沿って改質スポットSを形成するときには、隣接する改質スポットS、S間において、直接的に又は改質スポットSから伸展した亀裂を介して、改質スポットS、S同士を繋げるように、レーザ光Lの照射条件を調節する。

【0042】

続いて、図13(b)に示すように、レーザ光Lをシリコン基板11に集光することにより、ライン12eに沿ってシリコン基板11の内部に改質スポットSを複数形成し、これらの改質スポットSを含む改質領域7eを形成する。ライン12eは、ライン12dの端部から延在し、かつシリコン基板11の表面11a側に位置するライン12の一部であって、ZX平面内において斜め方向に延在している。ライン12eに対しては、レーザ光Lの移動方向をX軸方向とし、レーザ光Lの偏光方向をY軸方向として、偏光角度が90°となるようにシリコン基板11にレーザ光Lを集光する。

【0043】

ここでは、シリコン基板11の内部におけるライン12e上の裏面11b側に集光点を合わせて、集光点をX軸方向に移動させながら、ライン12e上に複数の改質スポットSが形成されるようにレーザ光LをON・OFF照射する(ライン12eに沿ってのX軸方

10

20

30

40

50

向スキャン)。以降、集光点をZ軸方向における表面11a側に所定の距離ずつ移動させながら、ライン12eに沿ってのX軸方向スキャンを複数回実施する。このようにして、ライン12eに沿って一列に並ぶように(改質領域7eに含まれる改質スポットSの全てがライン12e上に位置するように)、かつ、X軸方向(レーザ光Lの入射方向に垂直な所定の方向)から見た場合に、隣接する改質スポットSの一部が互いに重なるように、複数の前記改質スポットSを形成する。

【0044】

なお、ライン12e上の表面11a側に改質スポットSを形成するときには、改質スポットSの端部を表面11aに露出させる。また、ライン12eに沿って改質スポットSを形成するときには、隣接する改質スポットS、S間において、直接的に又は改質スポットSから伸展した亀裂を介して、改質スポットS、S同士を繋げるように、レーザ光Lの照射条件を調節する。

10

【0045】

以上のようにしてシリコン基板11に改質領域7を形成した後、シリコン基板11に対し、例えば85のKOHをエッチング剤として用いて異方性エッチング処理を施す。これにより、図14(a)に示すように、シリコン基板11において表面11a及び裏面11bから改質領域7へとエッチング剤を進入させて浸潤させ、そして、表面11a側及び裏面11b側から内部へ向けて、改質領域7に沿ってのエッチングを選択的に進展(進行)させる。その結果、図14(b)に示すように、シリコン基板11の改質領域7に沿った部分が除去され、貫通孔13の形成が完了される。

20

【0046】

以上説明したように、上述した基板加工方法では、ライン12a、12bに沿って改質スポットSを形成するとき、偏光角度が0°となるようにシリコン基板11にレーザ光Lを集光する。図15(a)に示すように、レーザ光Lの移動方向SDとレーザ光Lの偏光方向PDとのなす偏光角度が0°となるようにレーザ光Lを集光すると、当該偏光角度が90°となるようにレーザ光Lを集光する場合(図15(b)参照)に比べ、改質スポットSからレーザ光Lの移動方向SDに亀裂14をより伸展させることができる。従って、図9及び図11に示すように、ライン12a、12bに沿って複数列に並ぶように複数の改質スポットSを形成する場合において、隣接する一方の列に続いて他方の列に複数の改質スポットSを形成するとき、例えばライン12aのようにライン12が斜め方向に延在していても、一方の列に既成の改質スポットSから伸展した亀裂にレーザ光Lの集光が阻害され難くなり、複数の改質スポットSが確実に形成される。これにより、シリコン基板11に異方性エッチング処理を施すと、改質領域7に沿ってエッチングが確実に進展することになる。よって、上述した基板加工方法によれば、様々な形状を有する貫通孔13をシリコン基板11に精度良く形成することができる。

30

【0047】

また、図8(b)に示すように、ライン12aに対しては、レーザ光Lの入射方向に垂直な所定の方向(上述した基板加工方法では、Y軸方向)から見た場合に、ライン12aに沿って複数列に並ぶように複数の改質スポットSを形成する。これによれば、図14(b)に示すように、当該所定の方向から見た場合の断面形状が所望の形状(幅広な形状、複雑な形状等)となるように貫通孔13を形成することができる。

40

【0048】

また、図10(b)に示すように、ライン12bに対しては、レーザ光Lの入射方向(上述した基板加工方法では、Z軸方向)から見た場合に、ライン12bに沿って複数列に並ぶように複数の改質スポットSを形成する。これによれば、図14(b)に示すように、当該入射方向から見た場合の断面形状が所望の形状(幅広な形状、複雑な形状等)となるように貫通孔13を形成することができる。

【0049】

ちなみに、上述した基板加工方法では、ライン12c、12d、12eに沿って改質スポットSを形成するとき、偏光角度が90°となるようにシリコン基板11にレーザ光

50

Lを集光する。図15(b)に示すように、レーザ光Lの移動方向SDとレーザ光Lの偏光方向PDとのなす偏光角度が90°となるようにレーザ光Lを集光すると、当該偏光角度が0°となるようにレーザ光Lを集光する場合(図15(a)参照)に比べ、改質スポットSから、レーザ光Lの入射方向IDと、側方方向(レーザ光Lの入射方向ID及びレーザ光Lの移動方向SDに垂直な方向)とに、亀裂14をより伸展させることができる。従って、図13(b)に示すように、ライン12c, 12d, 12eに沿って一列に並ぶように複数の改質スポットSを形成するときに、例えばライン12c, 12eのようにライン12が斜め方向に延在していても、隣接する既成の改質スポットSから伸展した亀裂にレーザ光Lの集光が阻害され難くなり、複数の改質スポットSが確実に形成される。さらに、斜め方向において隣接する改質スポットS, S間では、亀裂が繋がり易くなる。これらにより、シリコン基板11に異方性エッチング処理を施すと、改質領域7に沿ってエッチングが確実に進展することになる。よって、上述した基板加工方法によれば、様々な形状を有する貫通孔13をシリコン基板11に精度良く形成することができる。

【0050】

また、ライン12c, 12eに対しては、レーザ光Lの入射方向に垂直な所定の方向(上述した基板加工方法では、X軸方向)から見た場合に、隣接する改質スポットS, S間において改質スポットSの一部が互いに重なるように、複数の改質スポットSを形成する。これによれば、隣接する改質スポットS, S間において、直接的に又は改質スポットSから伸展した亀裂を介して、改質スポットS, S同士をより確実に繋げることができる。従って、改質領域7の選択的なエッチングを斜め方向に進展させる場合でも、途切れることなく好適に当該エッチングを進展させることが可能となる。

【0051】

以下、実験結果について説明する。図16は、所定のラインに沿って一列又は複数列に並ぶように複数の改質スポットを形成した場合のシリコン基板の断面図及び平面図である。図16(a)に示すように、シリコン基板11にレーザ光Lを集光することにより、ライン12に沿って一列又は複数列に並ぶようにシリコン基板11の内部に改質スポットSを複数形成した。シリコン基板11の厚さは300μmであった(特に記載がない限り、以下の実験において同様)。また、レーザ光Lの照射条件は、波長:1064nm、繰り返し周波数:400kHz、パルス幅:106ns、出力:0.6W、シリコン基板11に対するレーザ光Lの移動速度100mm/s、パルスピッチ:0.25μm(100mm/s÷400kHz)であった(特に記載がない限り、以下の実験において同様)。なお、ライン12に沿った改質スポットSの列を複数列形成する場合には、各列をシリコン基板11の表面11aに平行な面上に位置させた。

【0052】

そして、図16(b)に示すように、85%のKOH48%をエッチング剤として用いて(特に記載がない限り、以下の実験において同様)シリコン基板11に異方性エッチング処理を施し、ライン12上の両端面からエッチングを進行させた。その実験の結果を図17~図19に示す。なお、以下の説明においては、ライン12に沿った改質スポットSの列を複数列形成した場合、隣接する列間の間隔PPを加工ピッチといい(図16(a)参照)、その列数を加工列数という。

【0053】

図17は、加工幅(加工ピッチ×加工列数)とエッチングレートとの関係を示すグラフである(なお、図17(a), (b)のグラフにおいて、横軸の加工幅が0の場合は、加工列数が1列の場合を意味する)。図17において、(a)は、偏光角度が0°となるようにレーザ光Lを集光した場合(以下、「0°偏光の場合」という)であり、(b)は、偏光角度が90°となるようにレーザ光Lを集光した場合(以下、「90°偏光の場合」という)である。図17(a)に示すように、0°偏光の場合には、加工ピッチが狭くなるほど、そして、加工列数が増えるほど、エッチングレートが大きく増加した。それに対し、図17(b)に示すように、90°偏光の場合には、加工ピッチが狭くなっても、エッチングレートはさほど増加しなかった。このことから、所定のライン12に沿って複数

10

20

30

40

50

列に並ぶように複数の改質スポットSを形成する場合には、90°偏光よりも0°偏光のほうが有利であるといえる。

【0054】

図18及び図19は、加工列数とエッチングレートとの関係を示すグラフである。ここでは、加工ピッチを2μmで一定とし、加工列数を変化させた。その結果、図18及び図19に示すように、0°偏光の場合には、加工列数が増えるほど、エッチングレートが大きく増加した。それに対し、90°偏光の場合には、円偏光の場合と同様に、加工列数が増えても、エッチングレートはさほど増加しなかった。このことから、所定のライン12に沿って複数列に並ぶように複数の改質スポットSを形成する場合には、90°偏光よりも0°偏光のほうが有利であるといえる。

10

【0055】

図20は、偏光角度とエッチングレートとの関係を示すグラフである。ここでは、加工ピッチを1μmで一定とすると共に加工列数を9列で一定とし、偏光角度を変化させた。なお、上述したレーザー光Lの照射条件のうち、シリコン基板11に対するレーザー光Lの移動速度を変更した。また、85%のTMAH22%をエッチング剤として用いてシリコン基板11に異方性エッチング処理を施した。その結果、図20に示すように、偏光角度が45°以上(-90deg 偏光角度 -45deg, 45deg 偏光角度 90deg)の場合よりも、偏光角度が45°未満(-45deg<偏光角度<45deg)の場合のほうが、エッチングレートが高くなり、0°偏光の場合にエッチングレートが最も高くなった。このことから、所定のライン12に沿って複数列に並ぶように複数の改質スポットSを形成する場合には、偏光角度が45°以上の場合よりも、偏光角度が45°未満の場合のほうが有利であるといえる。

20

【0056】

図21は、改質スポットの形成ピッチ(パルスピッチ)及びパルス幅とエッチングレートとの関係を示すグラフである。ここでは、加工列数を9列で一定とし、改質スポットSの形成ピッチ及びパルス幅を変化させた。なお、85%のTMAH22%をエッチング剤として用いてシリコン基板11に異方性エッチング処理を施した。その結果、図21に示すように、0°偏光の場合でも、90°偏光の場合でも、改質スポットSの形成ピッチが狭いほうが、エッチングレートが増加した。さらに、0°偏光の場合でも、90°偏光の場合でも、パルス幅が長いほうが、エッチングレートが増加した。これらのことは、90°偏光よりも0°偏光のほうが顕著であった。

30

【0057】

なお、改質スポットSの形成ピッチは、パルスレーザー光Lの集光点の形成ピッチ、すなわち、1パルスごとのレーザー光Lの照射ピッチに相当する。当該形成ピッチが1μmの場合、改質スポットSが1つ前のレーザー照射で形成された改質スポットSと区別がつく程度に(すなわち、隣り合う改質スポットS, S同士が区別がつく程度に)分離される。それに対し、当該形成ピッチが0.25μmの場合、改質スポットSが1つ前のレーザー照射で形成された改質スポットSと互いに重なるように改質領域が形成される。図21からも分かるように、加工列数を複数列とする場合において、改質スポットSの形成ピッチが1μmのときには、エッチングレートは0°偏光よりも90°偏光のほうが高くなる。一方、加工列数を複数列とする場合において、改質スポットSの形成ピッチが0.25μmのときには、エッチングレートは90°偏光よりも0°偏光のほうが高くなる。このように、改質スポットSの形成ピッチにより、エッチングレートと偏光角度との関係は大きな差異がなくなる(むしろ逆転している)。このことから、改質スポットSが1つ前のレーザー照射で形成された改質スポットSと互いに重なるように改質領域を形成するピッチ(約0.8μm以下)であれば、0°偏光(すなわち、偏光角度が45°未満)のほうが、エッチングレートが高くなる。

40

【0058】

図22は、レーザー光の入射方向に垂直な所定の方向に沿って一列に並ぶように複数の改質スポットを形成した場合のシリコン基板の断面図であり、図23は、レーザー光の入射方

50

向に沿って一列に並ぶように複数の改質スポットを形成した場合のシリコン基板の断面図である。図22に示すように、レーザー光Lの入射方向に垂直な所定の方向に沿って一列に並ぶように複数の改質スポットSを形成すると、0°偏光の場合((b)の場合)よりも、90°偏光の場合((a)の場合)のほうが、エッチングレートがやや高くなった。また、図23に示すように、レーザー光Lの入射方向に沿って一列に並ぶように複数の改質スポットSを形成すると、0°偏光の場合((b)の場合)よりも、90°偏光の場合((a)の場合)のほうが、エッチングレートがかなり高くなった。このことから、所定のライン12に沿って一列に並ぶように複数の改質スポットSを形成する場合には、0°偏光よりも90°偏光のほうが有利であるといえる。

【0059】

図24は、斜め方向に沿って一列に並ぶように複数の改質スポットを形成した場合のシリコン基板の断面図である。ここでは、図面に対して垂直な方向にレーザー光Lを移動させた。その結果、図24(a)に示すように、90°偏光の場合には、亀裂14がレーザー光Lの入射方向に伸展し易くなることから、表面11a側の改質スポットSから伸展した亀裂14が表面11aに達し、裏面11b側の改質スポットSから伸展した亀裂14が裏面11bに達した。さらに、隣接する改質スポットS、S間においても亀裂14が繋がった。それに対し、図24(b)に示すように、0°偏光の場合には、亀裂14がレーザー光Lの入射方向に伸展し難くなることから、表面11a側の改質スポットSから伸展した亀裂14が表面11aに達せず、裏面11b側の改質スポットSから伸展した亀裂14が裏面11bに達しなかった。さらに、隣接する改質スポットS、S間においても亀裂14が繋がらなかった。このことから、所定のライン12に沿って一列に並ぶように複数の改質スポットSを形成する場合には、ライン12が斜め方向に延在していても、0°偏光よりも90°偏光のほうが有利であるといえる。

【0060】

以上、本発明の一実施形態について説明したが、本発明は、上記実施形態に限定されるものではない。例えば、改質領域7を形成するときのレーザー光Lの入射面は、シリコン基板11の表面11aに限定されず、シリコン基板11の裏面11bであってもよい。また、上記実施形態では、シリコン基板11に貫通孔13を形成したが、貫通孔13に代えて、様々な形状を有する空間(例えば、表面11a又は裏面11bにのみ開口する凹部(非貫通孔)、溝、チャネル、スリット等、)をシリコン基板11に形成してもよい。この場合にも、所定のライン12に沿った空間をシリコン基板11に精度良く形成することができる。

【0061】

また、上記実施形態では、改質スポットSをシリコン基板11の表面11a及び裏面11bに露出させたが、改質スポットSに代えて、改質スポットSから伸展した亀裂をシリコン基板11の表面11a及び裏面11bに露出させていてもよい。つまり、改質スポットS及び改質スポットSから伸展した亀裂の少なくとも一方をシリコン基板11の表面11a及び裏面11bに露出させればよい。なお、改質スポットSを表面11a及び裏面11bに露出させると、形成される貫通孔13の開口率を大きくすることができ、例えば本実施形態を電子増倍素子の製造に適用する場合、電子の収集効率を高めることが可能となる。一方、改質スポットSを露出させずに亀裂を露出させると、貫通孔13の開口側が拡張するのを抑制することができ、貫通孔13における開口側の孔径を内部の孔径と同サイズにすることができる。

【0062】

また、エッチング剤に添加物を添加することで特定の結晶方位のエッチングレートを変化させることができるため、所望のエッチングレートで異方性エッチング処理を行うべく、シリコン基板11の結晶方位に応じた添加物をエッチング剤に添加してもよい。

【0063】

また、所定のライン12に沿って複数列に並ぶように複数の改質スポットSを形成する場合、レーザー光Lは、楕円率が零の直線偏光に限定されず、楕円率が1以外の楕円偏光で

10

20

30

40

50

あればよい。また、図 25 (b) に示すように、シリコン基板 1 1 にレーザ光 L を集光するときの偏光角度は 0° に限定されず、 45° 未満であればよい。このようなレーザ光 L の照射によっても、偏光角度が 45° 以上となるようにレーザ光 L を集光する場合に比べ、改質スポット S からレーザ光 L の移動方向 S D に亀裂 1 4 をより伸展させることができる。ただし、楕円偏光の楕円率が小さいほど、そして、偏光角度が 0° に近いほど、改質スポット S からレーザ光 L の移動以外への亀裂の伸展が抑制される。

【 0 0 6 4 】

ちなみに、所定のライン 1 2 に沿って一列に並ぶように複数の改質スポット S を形成する場合、レーザ光 L は、楕円率が零の直線偏光に限定されず、楕円率が 1 以外の楕円偏光であればよい。また、図 25 (a) に示すように、シリコン基板 1 1 にレーザ光 L を集光するときの偏光角度は 90° に限定されず、 45° 以上であればよい。このようなレーザ光 L の照射によっても、偏光角度が 45° 未満となるようにレーザ光 L を集光する場合に比べ、改質スポット S から、レーザ光 L の入射方向と、側方方向（レーザ光 L の入射方向及びレーザ光 L の移動方向 S D に垂直な方向）とに、亀裂 1 4 をより伸展させることができる。ただし、楕円偏光の楕円率が小さいほど、そして、偏光角度が 90° に近いほど、改質スポット S からレーザ光 L の入射方向及び側方方向以外への亀裂の伸展が抑制される。

10

【 0 0 6 5 】

ここで、偏光角度が 45° 以上とは、図 25 (a) に示すように、レーザ光 L の移動方向 S D とレーザ光 L の偏光方向 P D とのなす角度の範囲である -90° 偏光角度 90° の範囲において、 -90° 偏光角度 -45° , 45° 偏光角度 90° の範囲を意味する。また、偏光角度が 45° 未満とは、図 25 (b) に示すように、レーザ光 L の移動方向 S D とレーザ光 L の偏光方向 P D とのなす角度の範囲である -90° 偏光角度 90° の範囲において、 $-45^\circ < \text{偏光角度} < 45^\circ$ の範囲を意味する。

20

【 0 0 6 6 】

なお、図 26 に示すような $1/4$ 波長板 2 1 7 をレーザ加工装置 1 0 0 に搭載すれば、 $1/4$ 波長板 2 1 7 の方位角 を変えることにより、楕円偏光の楕円率を調節することができる。すなわち、 $1/4$ 波長板 2 1 7 に、例えば直線偏光 L P の入射光を入射させると、透過光は、所定の楕円率（楕円偏光を表す楕円における「短軸の長さ b の半分」/「長軸の長さ a の半分」）の楕円偏光 E P となる。ここで、直線偏光 L P のレーザ光 L をシリコン基板 1 1 に照射する場合には、レーザ光源 1 0 1 から出射されるレーザ光 L は直線偏光 L P なので、レーザ光 L が直線偏光 L P のままで $1/4$ 波長板 2 1 7 を通過するように方位角 を調節すればよい。

30

【産業上の利用可能性】

【 0 0 6 7 】

本発明によれば、様々な形状を有する空間をシリコン基板に精度良く形成することができる。

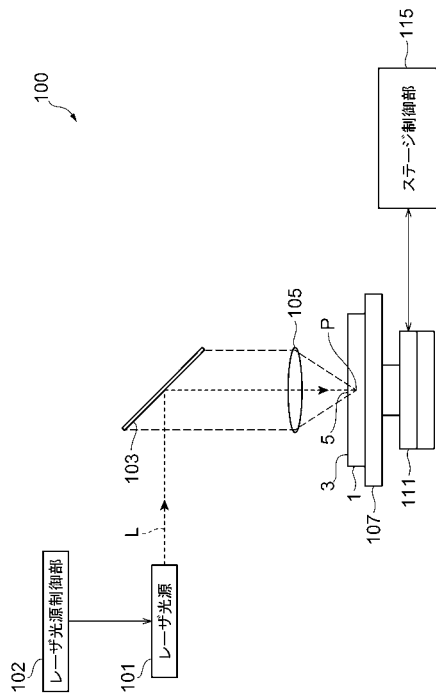
【符号の説明】

【 0 0 6 8 】

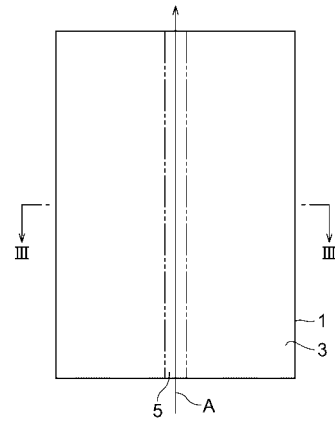
7 , 7 a , 7 b , 7 c , 7 d , 7 e ... 改質領域、1 1 ... シリコン基板、1 2 , 1 2 a , 1 2 b , 1 2 c , 1 2 d , 1 2 e ... ライン、1 3 ... 貫通孔（空間）、L ... レーザ光、S ... 改質スポット。

40

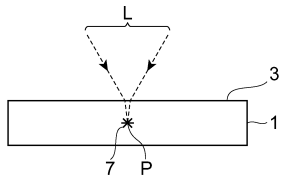
【図1】



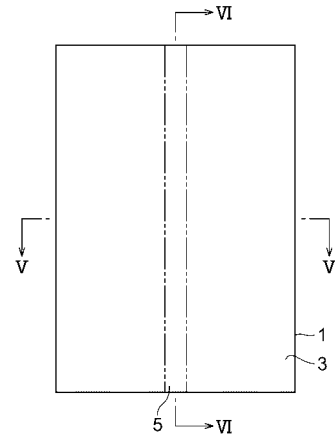
【図2】



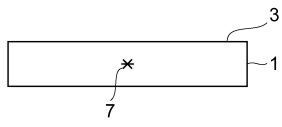
【図3】



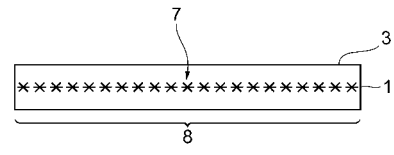
【図4】



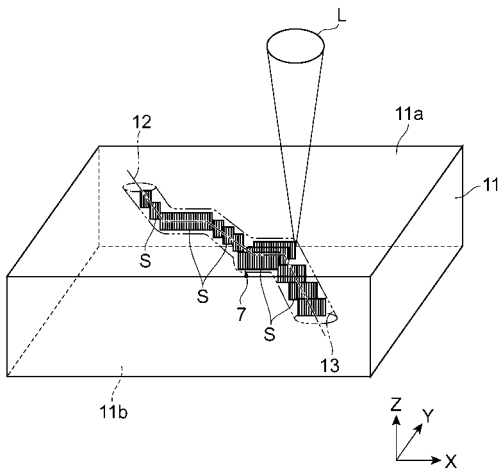
【 図 5 】



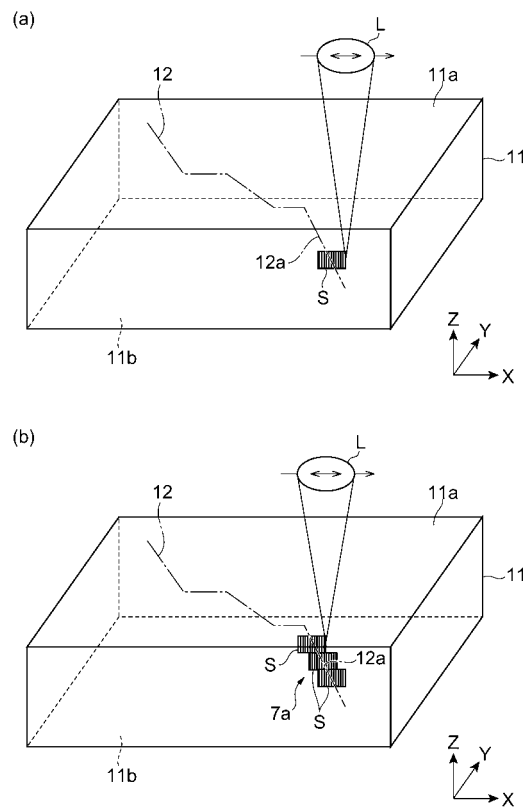
【 図 6 】



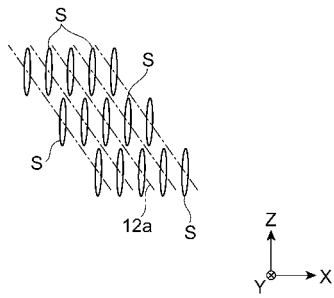
【 図 7 】



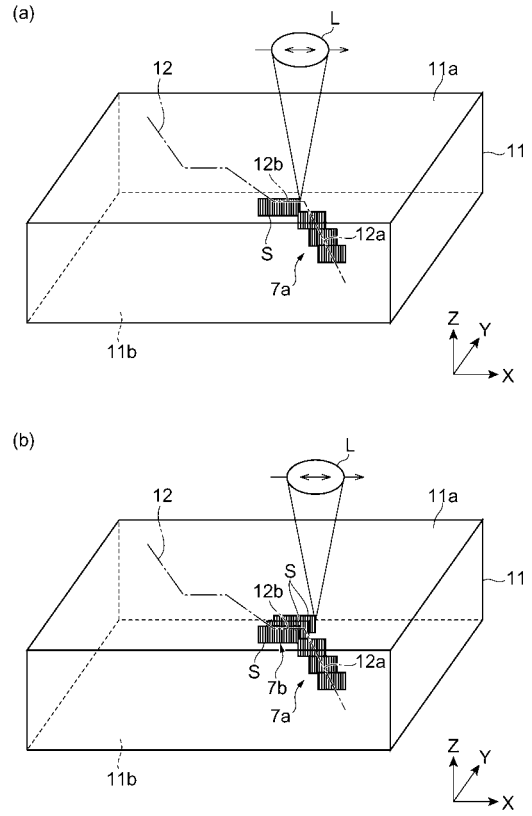
【 図 8 】



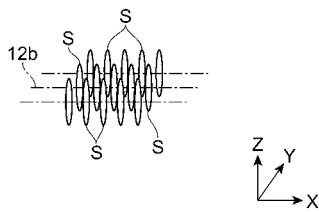
【 図 9 】



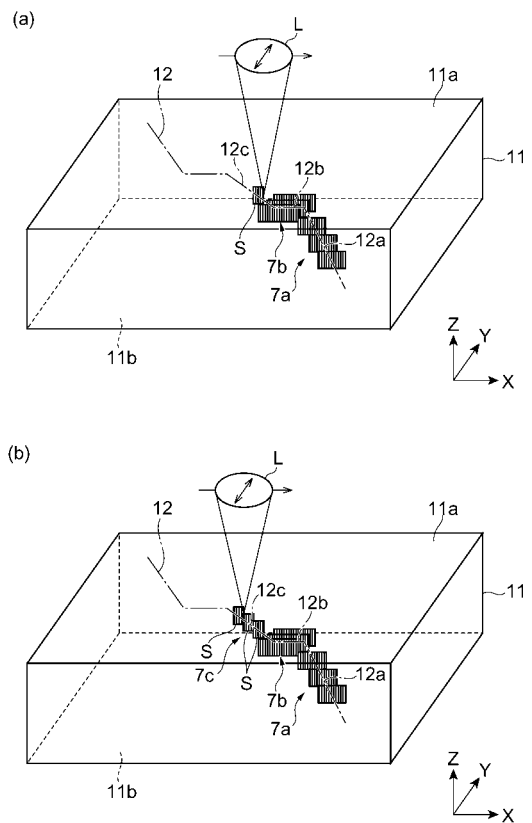
【 図 10 】



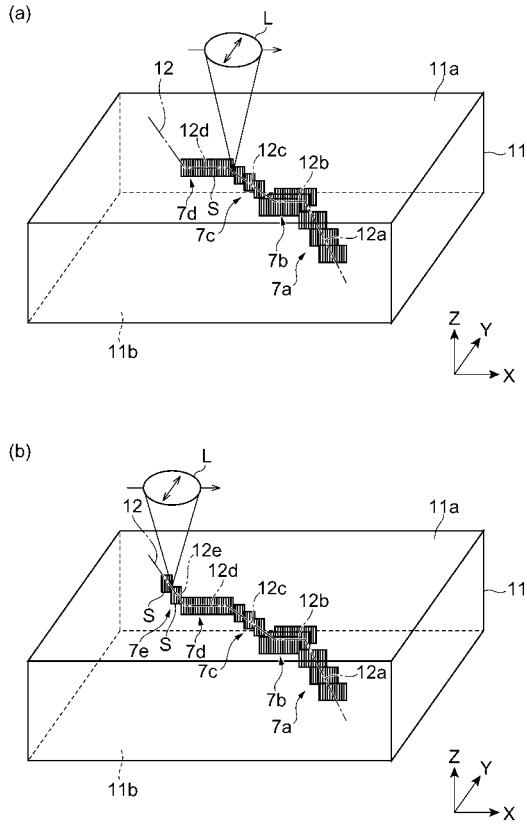
【 図 11 】



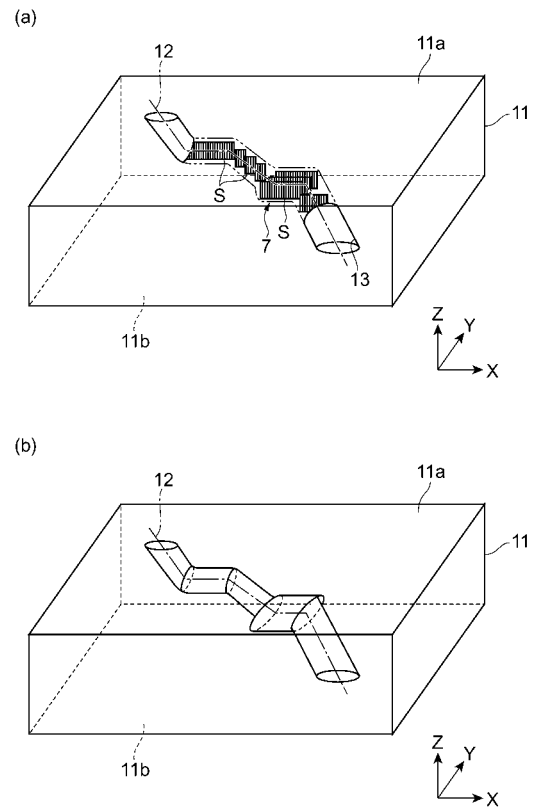
【 図 12 】



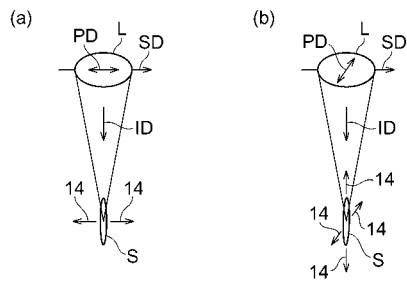
【 図 1 3 】



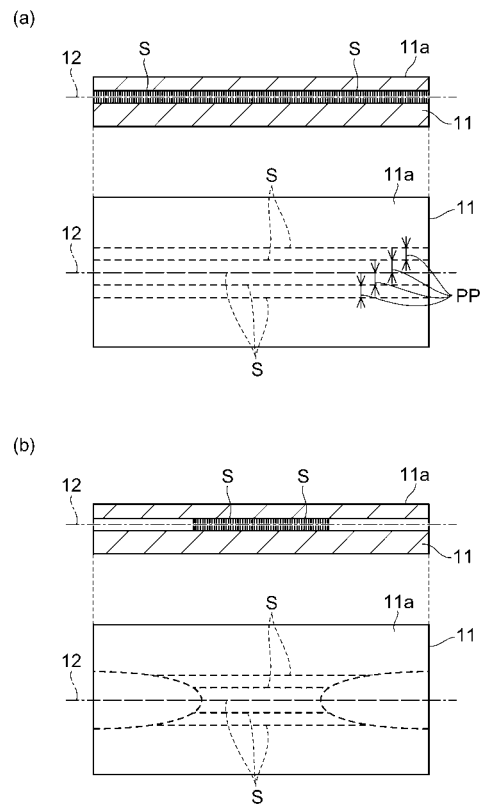
【 図 1 4 】



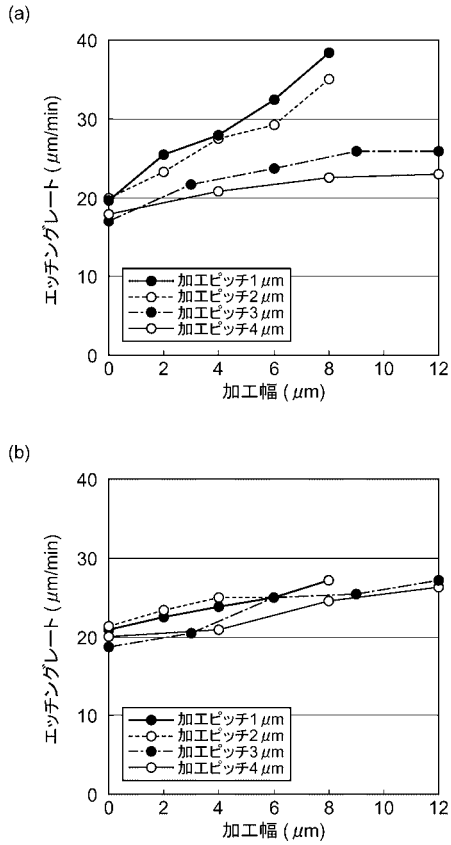
【 図 1 5 】



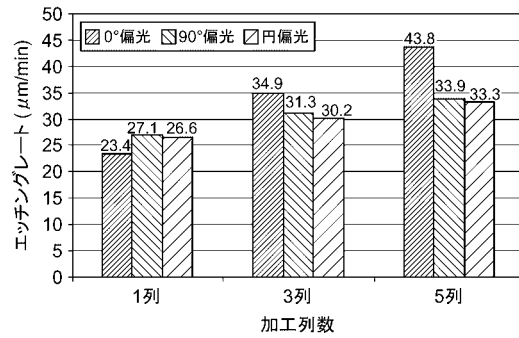
【 図 1 6 】



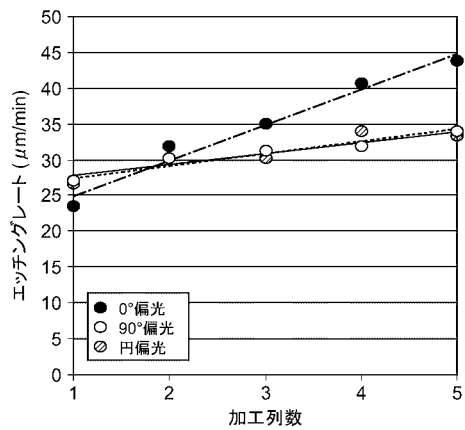
【 図 1 7 】



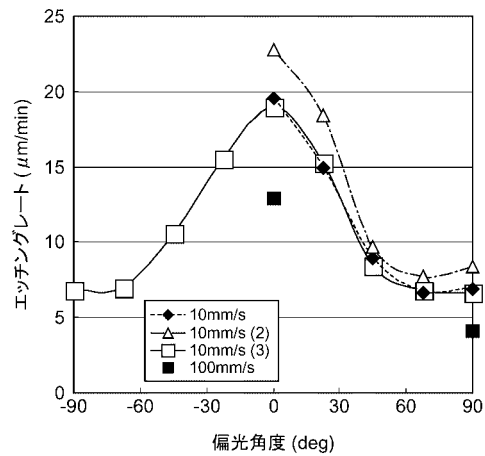
【 図 1 8 】



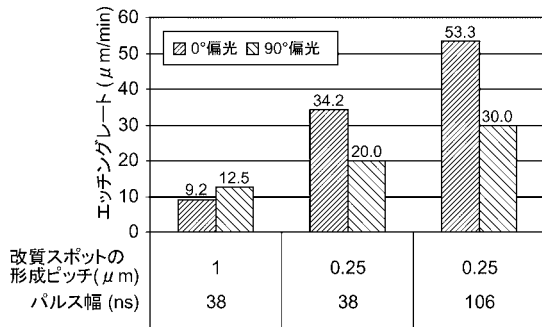
【 図 1 9 】



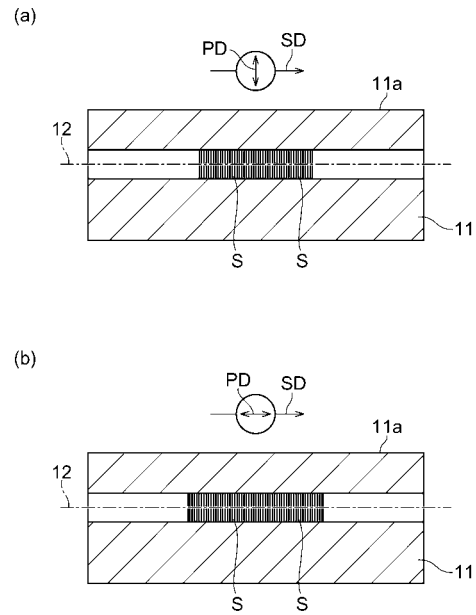
【 図 2 0 】



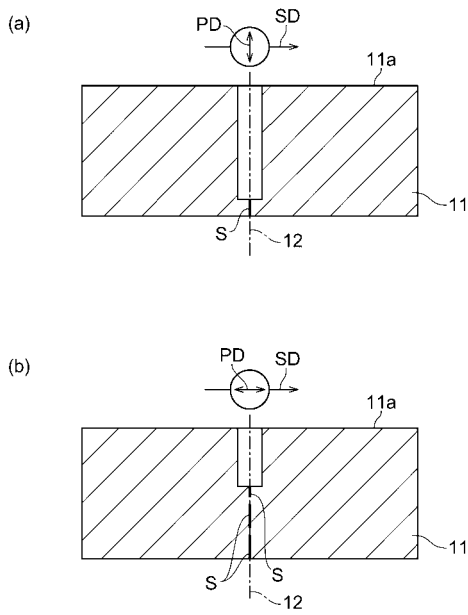
【図 2 1】



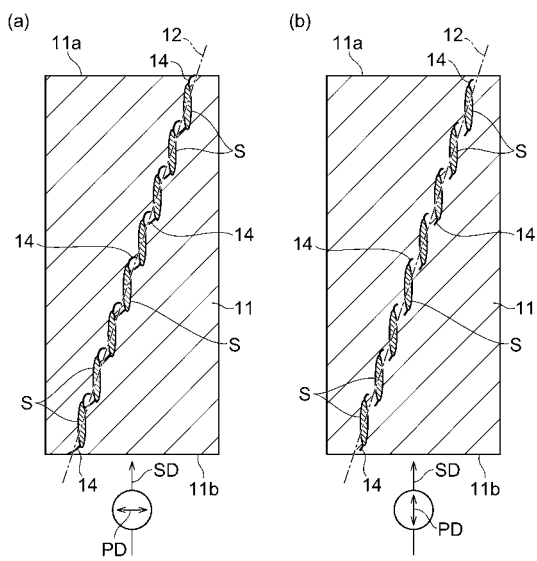
【図 2 2】



【図 2 3】

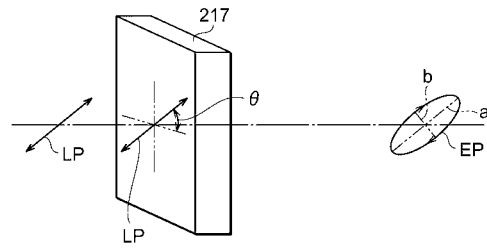
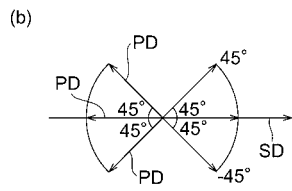
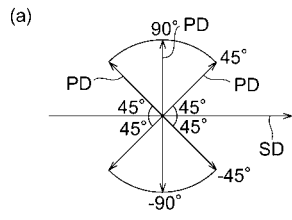


【図 2 4】



【 25 】

【 26 】



フロントページの続き

(72)発明者 荒木 佳祐

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

審査官 青木 正博

(56)参考文献 特開2010-155259(JP,A)

特開2006-167804(JP,A)

特開2000-246475(JP,A)

特開2008-173693(JP,A)

特開2007-061855(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B23K 26/00 - 26/42

H01L 21/306