

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5389264号
(P5389264)

(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 26/60 (2014.01)	B 2 3 K 26/42
B 2 3 K 26/70 (2014.01)	B 2 3 K 26/04 C
B 2 3 K 26/046 (2014.01)	B 2 3 K 26/04 Z
請求項の数 8 (全 16 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号	特願2012-526434 (P2012-526434)	(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/JP2011/066351		静岡県浜松市東区市野町1126番地の1
(87) 国際公開番号	W02012/014720	(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27日(2012.9.27)	(74) 代理人	100113435
(31) 優先権主張番号	特願2010-167427 (P2010-167427)		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	100156395
			弁理士 荒井 寿王
		(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】 レーザ加工方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

シリコンで形成された板状の加工対象物にレーザ光を集光することにより、前記加工対象物の厚さ方向に対して一の側方側に傾斜する改質領域形成予定ラインに沿って、前記加工対象物の内部に改質スポットを複数形成し、これら複数の前記改質スポットによって改質領域を形成する改質領域形成工程と、

前記改質領域形成工程の後、前記加工対象物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、前記厚さ方向に対し傾斜して延びる空間を前記加工対象物に形成するエッチング処理工程と、を備え、

前記改質領域形成工程では、隣接する前記改質スポットの少なくとも一部が前記一の側方方向から見て互いに重なるように、複数の前記改質スポットを形成するレーザ加工方法

10

【請求項2】

前記改質領域形成工程は、

隣接する前記改質スポットの一部が前記一の側方方向から見て互いに重なるように、複数の前記改質スポットを前記厚さ方向にずらしながら前記改質領域形成予定ラインに沿って形成する工程を含む請求項1記載のレーザ加工方法。

【請求項3】

前記改質領域形成工程では、前記加工対象物に対し、前記一の側方方向と直交する他の側方方向に沿って前記レーザ光の集光点を移動させつつ該レーザ光を照射する請求項2記

20

載のレーザ加工方法。

【請求項 4】

前記改質領域形成工程は、

前記一の側方方向に沿って連続するように並ぶ 2 以上の前記改質スポットを改質スポット群として複数形成すると共に、隣接する一对の前記改質スポット群の一部が前記厚さ方向から見て互いに重なるように、複数の前記改質スポット群を前記一の側方方向にずらしながら前記改質領域形成予定ラインに沿って形成する工程を含む請求項 1 記載のレーザ加工方法。

【請求項 5】

前記改質領域形成工程では、前記加工対象物に対し、前記一の側方方向に沿って前記レーザ光の集光点を移動させつつ該レーザ光を照射する請求項 4 記載のレーザ加工方法。

10

【請求項 6】

前記改質領域形成工程は、

隣接する前記改質スポットの一部が前記一の側方方向から見て互いに重なるように、複数の前記改質スポットを前記厚さ方向にずらしながら前記改質領域形成予定ラインに沿って形成する第 1 の工程と、

前記一の側方方向に沿って連続するように並ぶ 2 以上の前記改質スポットを改質スポット群として複数形成すると共に、隣接する一对の前記改質スポット群の一部が前記厚さ方向から見て互いに重なるように、複数の前記改質スポット群を前記一の側方方向にずらしながら前記改質領域形成予定ラインに沿って形成する第 2 の工程と、を含む請求項 1 記載のレーザ加工方法。

20

【請求項 7】

前記改質領域形成予定ラインは、前記加工対象物の (1 1 1) 面に沿って延びる請求項 1 ~ 6 の何れか一項記載のレーザ加工方法。

【請求項 8】

前記空間は、前記加工対象物の表面及び裏面に開口する貫通孔である請求項 1 ~ 7 の何れか一項記載のレーザ加工方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーザ加工方法に関する。

30

【背景技術】

【0002】

従来のレーザ加工方法としては、例えば特許文献 1 に記載されているように、シリコン単結晶基板（加工対象物）にレーザ光を集光させて材料変質部（改質領域）を形成した後、このシリコン単結晶基板にエッチング処理を施して材料変質部を除去することにより、シリコン単結晶基板に非貫通孔又は貫通孔を形成するものが知られている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2005 - 74663 号公報

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ここで、上述したようなレーザ加工方法としては、様々な分野への適用が進む中、例えば設計自由度の向上等のため、加工対象物の厚さ方向に対し傾斜する方向（以下、単に「斜め方向」ともいう）に延びる孔等の空間を、加工対象物に精度よく形成できるもの求められている。

【0005】

そこで、本発明は、加工対象物の厚さ方向に対し傾斜する方向に延びる空間（孔）を、

50

加工対象物に精度よく形成することができるレーザ加工方法を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記課題を解決するために、本発明の一側面に係るレーザ加工方法は、シリコンで形成された板状の加工対象物にレーザ光を集光することにより、加工対象物の厚さ方向に対して一の側方側に傾斜する改質領域形成予定ラインに沿って、加工対象物の内部に改質スポットを複数形成し、これら複数の改質スポットによって改質領域を形成する改質領域形成工程と、改質領域形成工程の後、加工対象物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、厚さ方向に対し傾斜して延びる空間を加工対象物に形成するエッチング処理工程と、を備え、改質領域形成工程では、隣接する改質スポットの少なくとも一部が一の側方方向から見て互いに重なるように、複数の改質スポットを形成することを特徴とする。

10

【0007】

このレーザ加工方法では、異方性エッチング処理を行うことから、エッチングレートが加工対象物の結晶方位に依存するという特徴を利用し、エッチングの進展を制御することができる。また、改質領域では、隣接する改質スポットの少なくとも一部が一の側方方向から見て互いに重なることから、改質領域形成予定ラインに沿って複数の改質スポット又は該改質スポットから延びる亀裂を好適に繋げることが可能となる。よって、改質領域の選択的なエッチングを、厚さ方向に対し傾斜する方向に沿って進展させる場合でも途切れることなく好適に進展させることができる。その結果、加工対象物において空間に対応する部分を精度よく除去し、空間を加工対象物に精度よく形成することができる。

20

【0008】

また、上記作用効果を好適に奏するため、具体的には、改質領域形成工程は、隣接する改質スポットの一部が一の側方方向から見て互いに重なるように、複数の改質スポットを厚さ方向にずらしながら改質領域形成予定ラインに沿って形成する工程を含んでもよい。このとき、改質領域形成工程では、加工対象物に対し、一の側方方向と直交する他の側方方向に沿ってレーザ光の集光点を移動させつつ該レーザ光を照射する場合がある。

【0009】

また、上記作用効果を好適に奏するため、具体的には、改質領域形成工程は、一の側方方向に沿って連続するように並ぶ2以上の改質スポットを改質スポット群として複数形成すると共に、隣接する一对の改質スポット群の一部が厚さ方向から見て互いに重なるように、複数の改質スポット群を一の側方方向にずらしながら改質領域形成予定ラインに沿って形成する工程を含んでもよい。このとき、改質領域形成工程では、加工対象物に対し、一の側方方向に沿ってレーザ光の集光点を移動させつつ該レーザ光を照射する場合がある。

30

【0010】

また、改質領域形成工程は、隣接する改質スポットの一部が一の側方方向から見て互いに重なるように、複数の改質スポットを厚さ方向にずらしながら改質領域形成予定ラインに沿って形成する第1の工程と、一の側方方向に沿って連続するように並ぶ2以上の改質スポットを改質スポット群として複数形成すると共に、隣接する一对の改質スポット群の一部が厚さ方向から見て互いに重なるように、複数の改質スポット群を一の側方方向にずらしながら改質領域形成予定ラインに沿って形成する第2の工程と、を含んでもよい。この場合、改質領域形成工程にて第1及び第2の工程を適宜実施することにより、エッチング処理工程でのエッチングの進展を制御し、形成される孔の径を調整することができる。これは、第1の工程により形成される改質領域に沿ってのエッチングと、第2の工程により形成される改質領域に沿ってのエッチングと、では、そのエッチングレートが互いに異なるという特徴が見出されるためである。

40

【0011】

また、改質領域形成予定ラインは、加工対象物の(111)面に沿って延びていてもよ

50

い。この場合、厚さ方向に対して 35° の角度で孔の内面に鏡面（ミラー面）が形成されることとなる。また、空間は、加工対象物の表面及び裏面に開口する貫通孔である場合がある。

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、加工対象物の厚さ方向に対し傾斜する空間を、加工対象物に精度よく形成することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【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。 10

【図2】改質領域の形成の対象となる加工対象物の平面図である。

【図3】図2の加工対象物のIII-III線に沿っての断面図である。

【図4】レーザ加工後の加工対象物の平面図である。

【図5】図4の加工対象物のV-V線に沿っての断面図である。

【図6】図4の加工対象物のVI-VI線に沿っての断面図である。

【図7】(a)は第1実施形態に係るレーザ加工方法を説明するための加工対象物の断面斜視図、(b)は図7(a)の続きを示す加工対象物の断面斜視図、(c)は図7(b)の続きを示す加工対象物の断面斜視図である。

【図8】(a)は図7(c)の続きを示す加工対象物の断面図、(b)は図8(a)の続きを示す加工対象物の断面図である。 20

【図9】(a)は第2実施形態に係るレーザ加工方法を説明するための加工対象物の断面斜視図、(b)は図9(a)の続きを示す加工対象物の断面斜視図、(c)は図9(b)の続きを示す加工対象物の断面斜視図である。

【図10】第3実施形態に係るレーザ加工方法を説明するための加工対象物の断面図である。

【図11】図10の続きを示す加工対象物の断面図である。

【図12】図11の続きを示す加工対象物の断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、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、以下の説明において同一又は相当要素には同一符号を付し、重複する説明を省略する。 30

【0015】

本実施形態に係るレーザ加工方法では、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。

【0016】

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115と、を備えている。 40

【0017】

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 50

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。

【 0 0 1 8 】

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。

10

【 0 0 1 9 】

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、これらが組み合わせられた 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。

【 0 0 2 0 】

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）場合、加工領域は表面 3 側から徐々に裏面側に進行する。

20

【 0 0 2 1 】

ところで、本実施形態に係る改質領域 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、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）。

30

【 0 0 2 2 】

また、溶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。

【 0 0 2 3 】

ここで、本実施形態では、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」という）。

40

【 0 0 2 4 】

本実施形態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。

50

【 0 0 2 5 】

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（スピンエッチング方式：SpinEtching）とがある。

【 0 0 2 6 】

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）、 NH_4OH （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
10 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 でエッチング処理する場合には、好ましいとして、約 60 とされる。

【 0 0 2 7 】

また、本実施形態では、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 $800\ \mu\text{m}$ ～ $100\ \mu\text{m}$ ）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
20 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。

【 0 0 2 8 】

〔 第 1 実施形態 〕

次に、第 1 実施形態に係るレーザ加工方法について詳細に説明する。図 7, 8 は、本実施形態を説明するためのフロー図である。なお、本実施形態では、レーザ光 L はパルスレーザ光としている。

【 0 0 2 9 】

本実施形態は、例えば光電子増倍素子やインターポーザ等を製造するために用いられる加工方法である。特に本実施形態では、図 7, 8 に示すように、加工対象物 1 にレーザ光 L を集光することにより、加工対象物 1 の内部に改質スポット S を複数形成し、これら複
30 数の改質スポット S により改質領域 7 を形成する。そしてその後、異方性エッチングによって加工対象物 1 における改質領域 7 に沿った部分を除去することにより、加工対象物 1 の厚さ方向に対して傾斜して延びる空間を含む斜め孔としての貫通孔 2 4 を加工対象物 1 に形成する。

【 0 0 3 0 】

ここでの貫通孔 2 4 は、図 8 (b) に示すように、加工対象物 1 における表面 3 側の端部及び裏面 2 1 側の端部に形成された直線部 2 4 a, 2 4 a と、これら直線部 2 4 a, 2 4 a 間に形成された傾斜部（空間）2 4 b と、を含んで構成されている。直線部 2 4 a は、厚さ方向に沿って延在している。傾斜部 2 4 b は、直線部 2 4 a, 2 4 a に連続し、加工対象物 1 の (1 1 1) 面に沿うように Z 方向に対し X 方向に傾斜する方向（以下、「斜
40 めめ方向」という）に延在している。例えば、傾斜部 2 4 b の厚さ方向（Z 方向）に対する角度は、 35° となっている。

【 0 0 3 1 】

ちなみに、以下の説明においては、図示するように、加工対象物 1 の厚さ方向（レーザ光 L の照射方向）を Z 方向とし、厚さ方向に対し改質領域形成予定部 5（貫通孔 2 4）が傾斜する側の側方方向を X 方向（一の側方方向）とし、X, Z 方向に直交する方向を Y 方向（他の側方方向）として説明する。

【 0 0 3 2 】

図 7 (a) に示すように、加工対象物 1 は、照射するレーザ光 L の波長（例えば $1064\ \text{nm}$ ）に対して透明なシリコン基板であり、(1 0 0) 面となる表面 3 及び裏面 2 1 を
50

有している。この加工対象物 1 には、貫通孔 2 4 に対応する位置に、改質領域形成予定ライン 5 が 3 次元的な座標指定によりプログラマブルに設定されている。ここでは、改質領域形成予定ライン 5 は、加工対象物 1 における表面 3 側及び裏面 2 1 側にて厚さ方向に沿って延在する改質領域形成予定ライン 5 a と、これらの中で加工対象物 1 の (1 1 1) 面に沿うよう傾斜して延在する改質領域形成予定ライン 5 b と、を含んでいる。

【 0 0 3 3 】

本実施形態において加工対象物 1 を加工する場合、まず、加工対象物 1 の表面 3 側を上方にして該加工対象物 1 を載置台に載置して保持する。そして、加工対象物 1 の内部における裏面 2 1 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、集光点を Y 方向に移動させながら、改質領域形成予定ライン 5 a に沿って改質スポット S が形成されるようにレーザ光 L を表面 3 側から ON・OFF 照射する (Y 方向のスキャン) 。これにより、加工対象物 1 の裏面 2 1 側にレーザ光 L を集光させ、裏面 2 1 に露出する改質スポット S を形成する。

10

【 0 0 3 4 】

なお、ここでは、X 方向幅が $10 \mu\text{m}$ の改質スポット S を形成している。また、改質スポット S には、該改質スポット S から発生した亀裂が内包されて形成されている (以下の改質スポット S について同じ) 。また、集光点のピッチ (改質スポット S のピッチ) が約 $0.25 \mu\text{m}$ で Y 方向にスキャンされており (要は、 $0.25 \mu\text{m}$ 間隔でレーザ照射され、レーザ照射の回数分改質スポット S が形成され) 、1 回のレーザ照射で形成される改質スポット S の一部が Y 方向で互いに重なるように改質スポット S が複数形成されている。

20

【 0 0 3 5 】

続いて、集光点を Z 方向における表面 3 側に所定量移動させ、改質領域形成予定ライン 5 a に沿って改質スポット S が形成されるように上記 Y 方向のスキャンを実施する。これにより、貫通孔 2 4 の裏面 2 1 側の直線部 2 4 a に対応する部分に沿って、既成の改質スポット S の表面 3 側に改質スポット S を新たに形成し、改質スポット S 又は該改質スポット S からの亀裂を改質領域形成予定ライン 5 に沿って互いに繋げる。

【 0 0 3 6 】

続いて、図 7 (b) に示すように、集光点を Z 方向の表面 3 側に所定量移動させると共に、X 方向に所定量移動させた後、上記 Y 方向のスキャンを実施する。具体的には、下式 (1) に基づいて、集光点を Z 方向に所定量 Z に移動させると共に X 方向に所定量 X 移動させた後、改質領域形成予定ライン 5 b に沿って改質スポット S が形成されるように上記 Y 方向のスキャンを実施する。そして、当該集光点の移動及び Y 方向のスキャンを、下式 (2) に基づき加工対象物 1 において裏面 2 1 側から表面 3 側の順にスキャン数 N s だけ繰り返し実施する。

30

$$Z = X / \tan \theta \quad \dots (1)$$

$$N s = T / Z \quad \dots (2)$$

但し、 X = 所定値 (例えば $3 \mu\text{m}$)

= 改質領域形成予定ライン 5 の Z 方向に対する角度

T = 傾斜部 2 4 b の Z 方向厚さ

【 0 0 3 7 】

これにより、複数の改質スポット S を、隣接する改質スポット S の一部が X 方向から見て互いに重なるように連続的に形成する。具体的には、複数の改質スポット S を、隣接する改質スポット S の一部が X 方向から見て互いに重なるように厚さ方向にずらしながら加工対象物形成ライン 5 b に沿って階段状に形成し、改質スポット S 又は該改質スポット S からの亀裂を改質領域形成予定ライン 5 に沿って互いに繋げる。

40

【 0 0 3 8 】

続いて、図 7 (c) に示すように、集光点を Z 方向における表面 3 側に所定量移動させ、改質領域形成予定ライン 5 a に沿って改質スポット S が形成されるように上記 Y 方向のスキャンを実施する。これにより、貫通孔 2 4 の表面 3 側の直線部 2 4 a に対応する部分に沿って、既成の改質スポット S の表面 3 側に連続し且つ該表面 3 に露出する改質ス

50

ポットSを新たに形成し、改質スポットS又は該改質スポットSからの亀裂を改質領域形成予定ライン5に沿って互いに繋げる。以上により、加工対象物1の貫通孔24に対応する部分にて、改質スポットSが連続するように複数形成され、改質領域7Aが形成される。

【0039】

次に、加工対象物1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8(a)に示すように、加工対象物1において表面3及び裏面21から改質領域7へとエッチング剤を導入させて浸潤させ、そして、表面3側及び裏面21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8(b)に示すように、加工対象物1の改質領域7に沿った部分が除去され、貫通孔24の形成が完了される。

10

【0040】

このとき、加工対象物1に対する異方性エッチングでは、エッチングレートが加工対象物1の結晶方位に依存するという特徴を利用し、改質領域7に沿う選択的なエッチングの進展を好適に制御することができる。すなわち、加工対象物1における(111)面では、その他の部分に比べてエッチングレートが極めて遅くなり、エッチストップ(etch stop)する。よって、(111)面に沿った改質領域7(つまり、傾斜部24bに対応する改質領域7)においては、その延在方向に沿ってエッチングが特に選択的且つ高速に進展されると共に、形成される傾斜部24bの内面はその角部が除去されて滑らかになり、該内面に鏡面が形成される。

20

【0041】

また、このとき、改質領域形成予定ライン5bに沿う改質領域7では、上述したように、隣接する改質スポットS、Sの少なくとも一部がX方向から見て互いに重なることから、改質スポットS又は該改質スポットSからの亀裂を改質領域形成予定ライン5bに沿って好適に繋げることが可能となる。よって、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進展させることができる。

【0042】

特に、本実施形態における改質領域形成予定ライン5bに沿う改質領域7では、上述したように、隣接する改質スポットSの一部がX方向から見て互いに重なるように複数の改質スポットSが厚さ方向にずれて形成されることから、例えば改質スポットS又は該改質スポットSからの亀裂が改質領域形成予定ライン5bに沿って密に繋がり、改質スポットS、S間でエッチング剤が停留されることなく浸潤・進行され、エッチングが斜め方向に途切れることなく確実且つ高速に進展される。

30

【0043】

従って、本実施形態によれば、加工対象物1において貫通孔24に対応する部分を精度よく除去することが可能となり、貫通孔24を加工対象物1に精度よく形成することが可能となる。また、所望な角度及び長さの貫通孔24を容易に形成することができ、加工対象物1を加工する際の設計自由度を向上させることが可能となる。

【0044】

また、上述したように、改質領域形成予定ライン5bが加工対象物の(111)面に沿って延びており、加工対象物1における貫通孔24の傾斜部24bに対応する部分に形成される改質スポットSが加工対象物の(111)面に沿って形成されている。よって、傾斜部24bの内面に、凹凸の少ない平滑面である鏡面を形成することができ、また、傾斜部24bの断面形状を矩形(ひし形)形状とすることができる。

40

【0045】

なお、本実施形態では、改質スポットSを表面3及び裏面21に露出させているが、改質スポットSを露出させずに改質スポットSからの亀裂を露出させていてもよい。改質スポットSを表面3及び裏面21に露出させると、形成される貫通孔24の開口率を大きくでき、例えば本実施形態を電子増倍素子に適用する場合、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24の開

50

口側が拡径するのを抑制でき、貫通孔 2 4 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。

【 0 0 4 6 】

ちなみに、加工対象物 1 に形成する改質スポット S の数、つまり、レーザ光 L の照射回数（ショット回数）は、本実施形態のものに限定されるものではなく、貫通孔 2 4 の形状（孔径、長さ、及び Z 方向に対する角度等）に応じて適宜設定することが可能である。

【 0 0 4 7 】

[第 2 実施形態]

次に、第 2 実施形態について説明する。なお、本実施形態の説明においては、上記第 1 実施形態と異なる点について主に説明する。また、上記第 1 実施形態と同様に、レーザ光 L はパルスレーザ光としている。

【 0 0 4 8 】

図 9 は、本実施形態を説明するためのフロー図である。本実施形態のレーザ加工方法は、図 9 (a) に示すように、まず、加工対象物 1 の裏面 2 1 側に集光点を合わせ、該集光点を X 方向に移動させながら、改質領域形成予定ライン 5 a 上に改質スポット S が形成されるようレーザ光 L を表面 3 側から ON・OFF 照射する（X 方向のスキャン）。これにより、X 方向に沿って連続するように並ぶ 2 以上の改質スポット S を、改質スポット群 1 0 として、加工対象物 1 の裏面 2 1 側に該裏面 2 1 に露出するよう形成する。

【 0 0 4 9 】

ここでの改質スポット群 1 0 においては、並設される改質スポット S の間隔が 0 . 2 5 μm とされており、X 方向における改質スポット S の一部が互いに重なっている（以下、同じ）。具体的には、集光点のピッチ（改質スポット S のピッチ）が約 0 . 2 5 μm で X 方向にスキャンされており（要は、0 . 2 5 μm 間隔でレーザ照射され、レーザ照射の回数分改質スポット S が形成され）、1 回のレーザ照射で形成される改質スポット S の一部が X 方向で互いに重なるように改質スポット群 1 0 が形成されている。

【 0 0 5 0 】

続いて、集光点を Z 方向における表面 3 側に所定量移動させ、改質領域形成予定ライン 5 a に沿って改質スポット群 1 0 が形成されるように上記 X 方向のスキャンを実施する。これにより、貫通孔 2 4 の裏面 2 1 側の直線部 2 4 a に対応する部分に沿って、既成の改質スポット群 1 0 の表面 3 側に改質スポット群 1 0 を新たに形成し、改質スポット S 又は該改質スポット S からの亀裂を改質領域形成予定ライン 5 に沿って互いに繋げる。

【 0 0 5 1 】

続いて、図 9 (b) に示すように、集光点を Z 方向の表面 3 側に移動させ、改質領域形成予定ライン 5 b に沿って改質スポット群 1 0 が形成されるように上記 X 方向のスキャンを実施する。そして、当該集光点の Z 方向移動及び X 方向のスキャンを、加工対象物 1 において裏面 2 1 側から表面 3 側の順に複数回繰り返し実施する。これにより、貫通孔 2 4 の傾斜部 2 4 b に対応する部分に沿って、複数の改質スポット群 1 0 を加工対象物 1 内に複数形成する。具体的には、複数の改質スポット群 1 0 を、隣接する一対の改質スポット群 1 0 , 1 0 の一部が Z 方向から見て互いに重なるように X 方向にずらしながら改質領域形成予定ライン 5 b に沿って形成し、改質スポット S 又は該改質スポット S からの亀裂を改質領域形成予定ライン 5 に沿って互いに繋げる。

【 0 0 5 2 】

このとき、後段の異方性エッチングを好適に実施するため、隣接する改質スポット群 1 0 の Z 方向視における重なりは、形成しようとする傾斜部 2 4 b の孔径及び傾斜部 2 4 b （改質領域形成予定ライン 5 b ）の Z 方向に対する角度に基づいて設定される。ここでは、隣接する改質スポット群 1 0 が、X 方向に 8 ~ 1 0 μm 程度重なるように形成されている。

【 0 0 5 3 】

続いて、図 9 (c) に示すように、集光点を Z 方向における表面 3 側に移動させ、改質領域形成予定ライン 5 a に沿って改質スポット S が形成されるように上記 X 方向のスキャ

10

20

30

40

50

ンを実施する。これにより、貫通孔 24 の表面 3 側の直線部 24 a に対応する部分に沿って、表面 3 に露出する改質スポット群 10 を既成の改質スポット群 10 の表面側に新たに形成し、改質スポット S 又は該改質スポット S からの亀裂を改質領域形成予定ライン 5 に沿って互いに繋げる。以上により、加工対象物 1 の貫通孔 24 に対応する部分にて、複数の改質スポット S から成る改質スポット群 10 が連続するよう形成され、改質領域 7 B が形成される。

【 0 0 5 4 】

以上、本実施形態においても、加工対象物 1 において貫通孔 24 に対応する部分を精度よく除去し、貫通孔 24 を加工対象物 1 に精度よく形成するという上記効果と同様な効果が奏される。

【 0 0 5 5 】

また、本実施形態では、上述したように、複数の改質スポット群 10 を、隣接する一対の改質スポット群 10 の一部が Z 方向から見て互いに重なるように X 方向にずらしながら改質領域形成予定ライン 5 b に沿って形成している。そのため、例えば、改質領域形成予定ライン 5 b に沿う改質領域 7 においては、改質スポット S 及び亀裂が改質領域形成予定ライン 5 b に沿って密に繋がり、選択的エッチングが斜め方向に進展されても、エッチング剤が停留されることなく浸潤・進行される。よって、当該選択的エッチングが途切れることなる斜め方向に确实且つ高速に進展されることになる。その結果、貫通孔 24 の傾斜部 24 b に対応する部分を精度よく除去することができ、貫通孔 24 を精度よく形成することが可能となる。

【 0 0 5 6 】

また、本実施形態では、上述したように、X 方向に沿ってレーザ光 L の集光点を移動させつつ該レーザ光 L を照射する X 方向のスキャンを行って改質領域 7 B を形成することから、レーザ光 L の集光点の移動無駄（スキャン数）を抑制して迅速な加工が可能となり、タクトタイムを向上させることが可能となる。また、貫通孔 24 の長さや厚さ方向に対する角度によらず、同じスキャン数で改質領域 7 B を形成することができる。

【 0 0 5 7 】

なお、改質スポット群 10 それぞれにおける X 方向の幅及び改質スポット S の数（つまり、レーザ光 L の照射回数）は、限定されるものではなく、貫通孔 24 の形状に応じて適宜設定することが可能である。これについては、以下の実施形態においても同様である。

【 0 0 5 8 】

[第 3 実施形態]

次に、第 3 実施形態について説明する。なお、本実施形態の説明においては、上記第 1 実施形態と異なる点について主に説明する。また、上記第 1 実施形態と同様に、レーザ光 L はパルスレーザ光としている。

【 0 0 5 9 】

図 10 ~ 12 は、本実施形態を説明するためのフロー図である。本実施形態では、図 12 に示すように、Z 方向に対して傾斜して延びる複数の貫通孔（空間）241 ~ 244 を加工対象物 1 に形成する。貫通孔 241 ~ 244 は、Z 方向に対してこの順に大きく傾斜しており、延在長さがこの順に長くされている。

【 0 0 6 0 】

本実施形態においては、図 10 に示すように、上記第 1 実施形態における上記 Y 方向のスキャンと、上記第 2 実施形態における上記 X 方向のスキャンと、を、貫通孔 241 ~ 244 の延在長さに基づき次のように適宜実施し、改質領域 7 を形成する。すなわち、図 10, 12 に示すように、集光点の Z 方向移動及び上記 Y 方向のスキャンを複数回繰り返し実施することにより、貫通孔 241 に対応する部分に沿った改質領域 71 と、貫通孔 242 の表面 3 側端部及び裏面 21 側端部に対応する部分に沿った改質領域 72 A, 72 A と、貫通孔 243 の表面 3 側近傍及び裏面 21 側近傍に対応する部分に沿った改質領域 73 A, 73 A と、を形成する。

【 0 0 6 1 】

改質領域 7 1, 7 2 A, 7 3 A では、隣接する改質スポット S の一部が X 方向から見て互いに重なるように、複数の改質スポット S が厚さ方向にずれて形成されている。ここでは、改質領域 7 2 A の延在長さが改質領域 7 3 A の延在長さよりも長くされている。

【 0 0 6 2 】

これと共に、集光点の Z 方向移動及び上記 X 方向のスキャンを複数回繰り返し実施することにより、貫通孔 2 4 2 の Z 方向中央部に対応する部分に沿った改質領域 7 2 B と、貫通孔 2 4 3 において表面 3 側近傍と裏面 2 1 側近傍と間に対応する部分に沿った改質領域 7 3 B と、貫通孔 2 4 4 に対応する部分に沿った改質領域 7 4 と、を形成する。

【 0 0 6 3 】

改質領域 7 2 B, 7 3 B, 7 4 では、隣接する一対の改質スポット群 1 0, 1 0 の一部が Z 方向から見て互いに重なるように、複数の改質スポット群 1 0 が X 方向にずれて形成されている。ここでは、改質領域 7 3 B の延在長さが改質領域 7 2 B の延在長さよりも長くされている。

10

【 0 0 6 4 】

次に、図 1 1, 1 2 に示すように、加工対象物 1 に対し、異方性エッチング処理を施すことにより、加工対象物 1 において表面 3 及び裏面 2 1 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、改質領域 7 に沿ってエッチングを選択的に進展させる。

【 0 0 6 5 】

ここで、上記 Y 方向のスキャンにより形成される改質領域 7 1, 7 2 A, 7 3 A に沿ってのエッチングと、上記 X 方向のスキャンにより形成される改質領域 7 2 B, 7 3 B, 7 4 に沿ってのエッチングとでは、そのエッチングレートが互いに異なるという特徴が見出される。具体的には、例えば改質スポット S 又は亀裂の繋がり方等に依存して、改質領域 7 2 B, 7 3 B, 7 4 に沿ってのエッチングは、そのエッチングレートが改質領域 7 1, 7 2 A, 7 3 A に沿ってのエッチングのエッチングレートよりも速いという特徴が見出される。

20

【 0 0 6 6 】

よって、本実施形態における異方性エッチング処理では、図 1 1 に示すように、改質領域 7 2 B, 7 3 B, 7 4 に沿ってのエッチングが、改質領域 7 1, 7 2 A, 7 3 A に沿ってのエッチングよりも速く進展する。つまり、貫通孔 2 4 1 ~ 2 4 4 のうち延在長さが長いもの程速いエッチングレートで形成されるように、エッチングが進展される。その結果、図 1 2 に示すように、エッチングの完了（貫通孔 2 4 1 ~ 2 4 4 の貫通）に要する時間が調整されて、孔径が互いに揃うように貫通孔 2 4 1 ~ 2 4 4 の形成が略同時に完了される。

30

【 0 0 6 7 】

以上、本実施形態においても、加工対象物 1 において貫通孔 2 4 1 ~ 2 4 4 に対応する部分を精度よく除去し、貫通孔 2 4 1 ~ 2 4 4 を加工対象物 1 に精度よく形成するという上記効果と同様な効果が奏される。

【 0 0 6 8 】

ところで、延在長さが異なる複数の貫通孔 2 4 1 ~ 2 4 4 では、通常、エッチングの完了に要する時間が互いに異なるため、その孔径を等しくするのが困難である。この点、本実施形態では、上述したように、X 方向のスキャンと Y 方向のスキャンとを組み合わせたレーザ加工が施され、貫通孔 2 4 1 ~ 2 4 4 のそれぞれについて、エッチングレートの速い改質領域 7 2 B, 7 3 B, 7 4 と遅い改質領域 7 1, 7 2 A, 7 3 A とが適宜形成されている。これにより、貫通孔 2 4 1 ~ 2 4 4 におけるエッチングの完了に要する時間を調整し、その孔径を所望に制御することができる。

40

【 0 0 6 9 】

特に、本実施形態では、上述したように、貫通孔 2 4 1 ~ 2 4 4 のうち長いもの程、その対応する部分に速いエッチングレートの改質領域 7 を多く（遅いエッチングレートの改質領域 7 を少なく）形成し、エッチングの完了に要する時間が等しくしている。これにより、貫通孔 2 4 1 ~ 2 4 4 の孔径を、互いに等しくすることが可能となる。

50

【0070】

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たものであってもよい。

【0071】

例えば、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21であってもよい。また、上記実施形態では、加工対象物1に貫通孔24を形成したが、これに代えて、表面3又は裏面21にのみ開口する非貫通孔を形成してもよく、また、チャンネルやスリットを形成してもよい。要は、Z方向に対し傾斜する方向に延びる空間を形成すればよい。また、上記実施形態では、断面円形状、断面楕円形状、又は断面多角形状等の種々の断面形状の貫通孔24を形成することができる。

10

【0072】

また、上記実施形態では、貫通孔の傾斜部24bをZ方向に対し35°((111)面の方位角度)で傾斜させているが、傾斜角度は限定されるものではなく、Z方向に対し10°又は45°で傾斜させてもよい。この場合、傾斜部24bの内面にマルチステップ(階段構造)を形成することができる。

【0073】

なお、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、加工対象物1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。

20

【産業上の利用可能性】

【0074】

本発明によれば、加工対象物の厚さ方向に対し傾斜する空間を、加工対象物に精度よく形成することが可能となる。

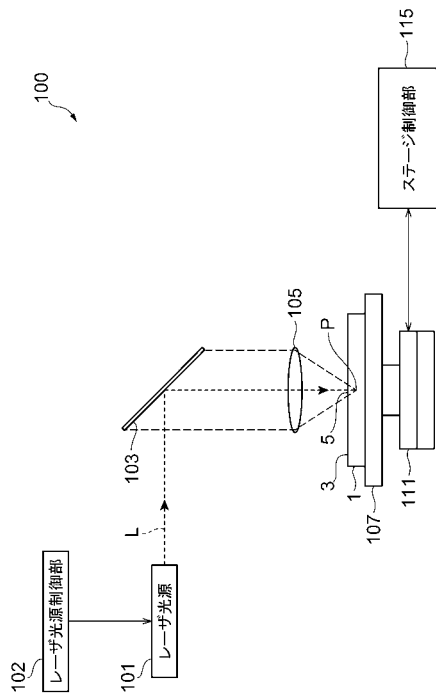
【符号の説明】

【0075】

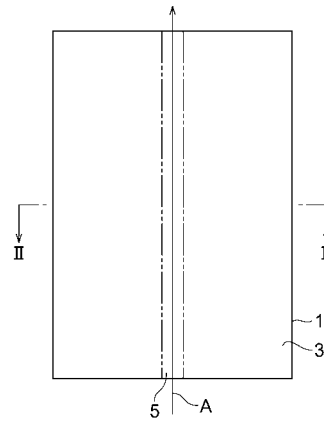
1...加工対象物、3...表面、5b...改質領域形成予定ライン、7, 7A, 7B, 71, 72A, 72B, 73A, 73B, 74...改質領域、10...改質スポット群、21...裏面、24b...貫通孔の傾斜部(空間)、241~244貫通孔(空間)、L...レーザ光、S...改質スポット。

30

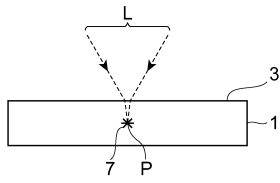
【図 1】



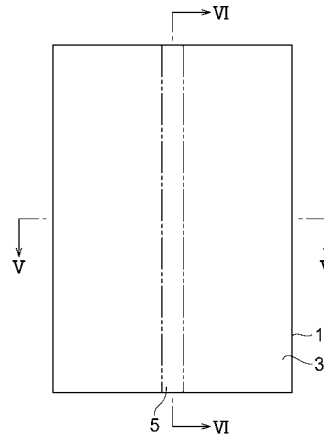
【図 2】



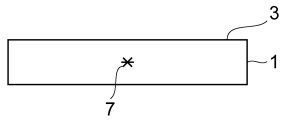
【図 3】



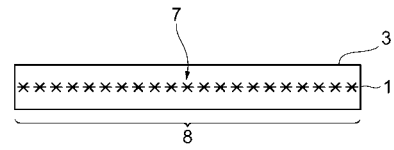
【図 4】



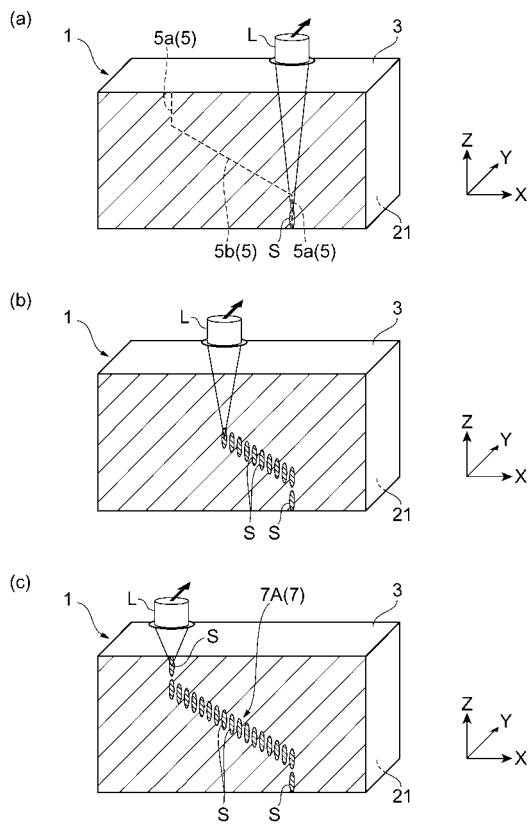
【 図 5 】



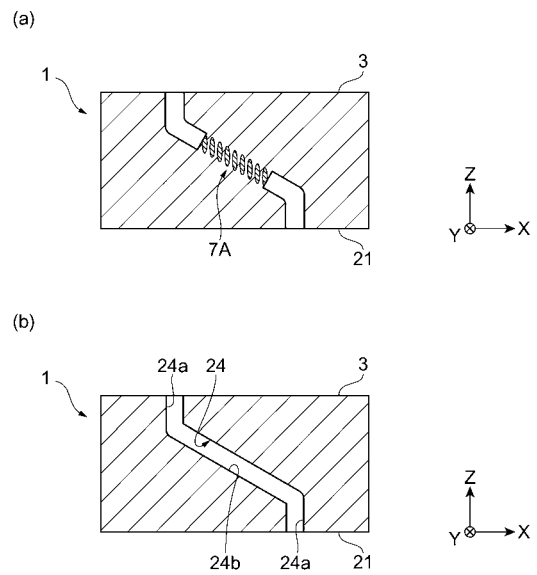
【 図 6 】



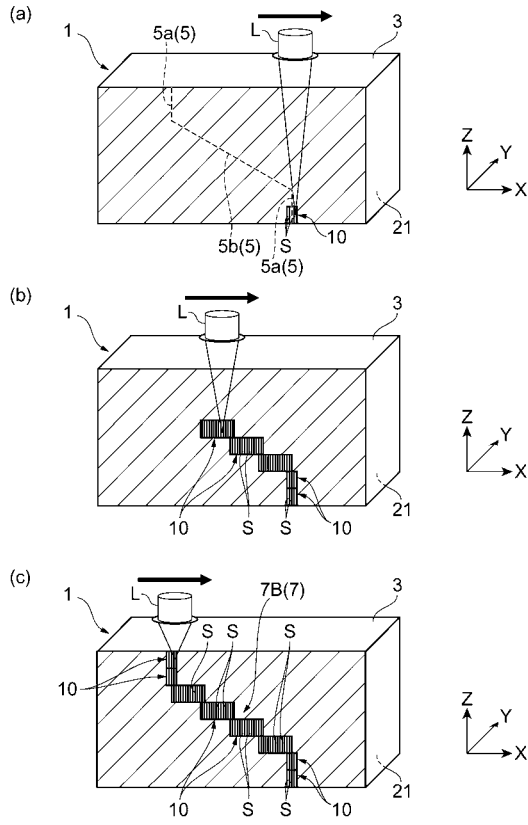
【 図 7 】



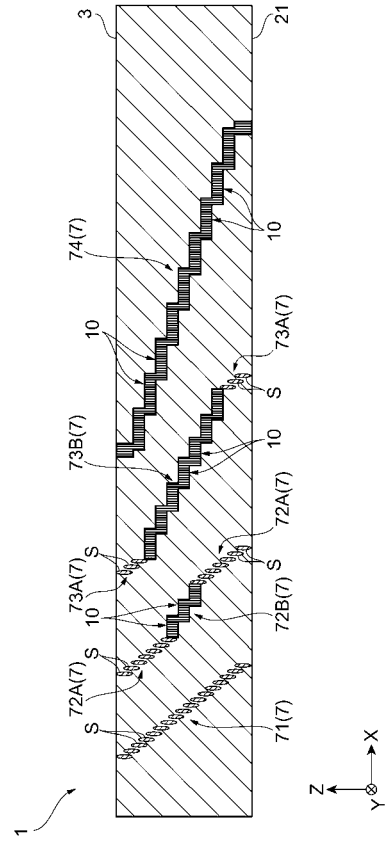
【 図 8 】



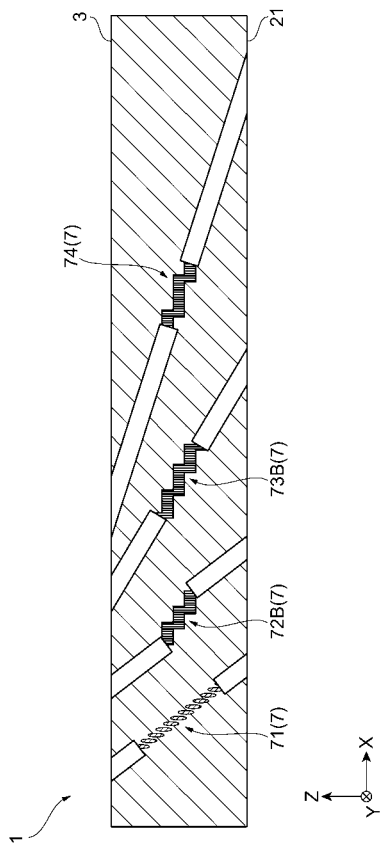
【 図 9 】



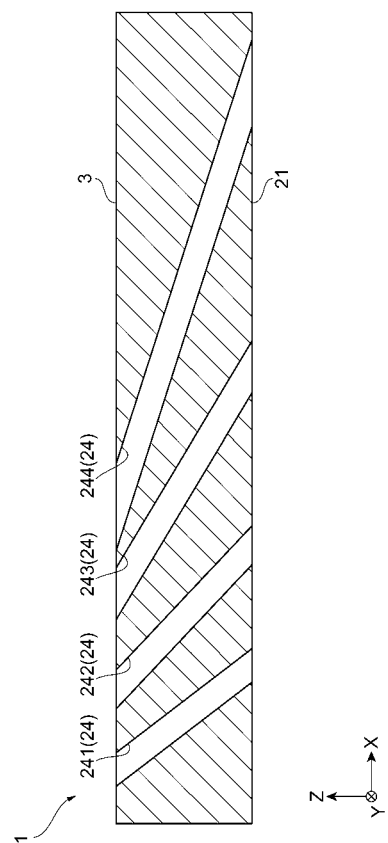
【 図 10 】



【 図 11 】



【 図 12 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
B 2 3 K 26/04 (2014.01) H 0 1 L 21/306
H 0 1 L 21/306 (2006.01)

(72)発明者 久嶋 浩之
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
(72)発明者 荒木 佳祐
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

審査官 青木 正博

(56)参考文献 特開 2 0 1 0 - 1 5 5 2 5 9 (J P , A)
特開 2 0 1 0 - 1 4 2 8 3 7 (J P , A)
特開 2 0 0 6 - 1 6 7 8 0 4 (J P , A)
特開 2 0 0 0 - 2 4 6 4 7 5 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)
B 2 3 K 2 6 / 0 0 - 2 6 / 4 2
H 0 1 L 2 1 / 3 0 6