

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-183590

(P2012-183590A)

(43) 公開日 平成24年9月27日(2012.9.27)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
B23K 26/00 (2006.01)	B23K 26/00 D	3C069
B23K 26/38 (2006.01)	B23K 26/00 N	4E068
H01L 21/301 (2006.01)	B23K 26/38 32O	
B28D 5/00 (2006.01)	B23K 26/00 M	
	H01L 21/78 B	
審査請求 有 請求項の数 31 O L (全 33 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2012-135430 (P2012-135430)	(71) 出願人	390000608 三星ダイヤモンド工業株式会社
(22) 出願日	平成24年6月15日 (2012.6.15)		大阪府摂津市香露園32番12号
(62) 分割の表示	特願2010-146248 (P2010-146248) の分割	(74) 代理人	100088672 弁理士 吉竹 英俊
原出願日	平成22年6月28日 (2010.6.28)	(74) 代理人	100088845 弁理士 有田 貴弘
		(72) 発明者	長友 正平 大阪府摂津市香露園32番12号 三星ダイヤモンド工業株式会社内
		(72) 発明者	中谷 郁祥 大阪府摂津市香露園32番12号 三星ダイヤモンド工業株式会社内
最終頁に続く			

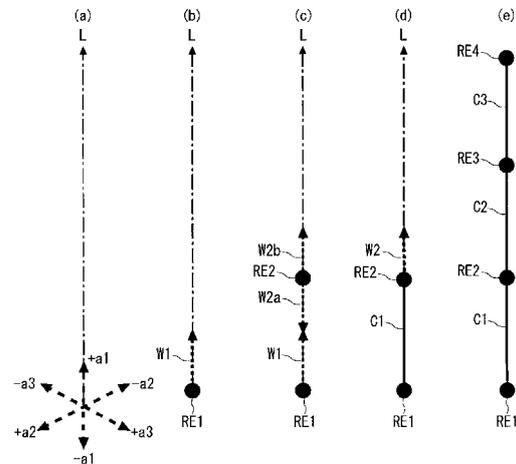
(54) 【発明の名称】 被加工物の加工方法、被加工物の分割方法およびレーザー加工装置

(57) 【要約】

【課題】加工痕の形成が抑制されるとともに、被加工物の分割がより確実に実現される分割起点の形成が可能となる、被分割体の加工方法を提供する。

【解決手段】被加工物に分割起点を形成するための加工方法が、被加工物をステージに載置する載置工程と、ステージに載置された被加工物の被加工面の上に、被加工物の加工に用いるパルスレーザー光に対して透明である液体によって液層を形成する液層形成工程と、ステージと光源とを連続的に相対移動させながら、パルスレーザー光を、液層を透過させつつ、かつ、個々の単位パルス光ごとの被照射領域が被加工面において離散的に形成されるように被加工物に照射することによって、被照射領域同士の間で被加工物の劈開もしくは裂開を順次に生じさせることで、被加工物に分割のための起点を形成する照射工程とを備えるようにする。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

被加工物に分割起点を形成するための加工方法であって、
被加工物をステージに載置する載置工程と、

前記ステージに載置された前記被加工物の被加工面の上に、前記被加工物の加工に用いるパルスレーザー光に対して透明である液体によって液層を形成する液層形成工程と、

前記ステージと前記パルスレーザー光の光源とを連続的に相対移動させながら、前記パルスレーザー光を、前記液層を透過させつつ、かつ、個々の単位パルス光ごとの被照射領域が前記被加工面において離散的に形成されるように前記被加工物に照射することによって、前記被照射領域同士の間で前記被加工物の劈開もしくは裂開を順次に生じさせることで、前記被加工物に分割のための起点を形成する照射工程と、
を備えることを特徴とする被加工物の加工方法。

10

【請求項 2】

被加工物に分割起点を形成するための加工方法であって、
被加工物をステージに載置する載置工程と、

前記ステージに載置された前記被加工物の被加工面の上に、前記被加工物の加工に用いるパルスレーザー光に対して透明である液体によって液層を形成する液層形成工程と、

前記ステージと前記パルスレーザー光の光源とを連続的に相対移動させながら、前記パルスレーザー光を、前記液層を透過させつつ、かつ、個々の単位パルス光が前記被加工面に離散的に照射されるように前記被加工物に照射し、前記個々の単位パルス光が被照射位置に照射される際の衝撃もしくは応力によって直前にもしくは同時に照射された前記単位パルス光の被照射位置との間に劈開もしくは裂開を生じさせることにより、前記被加工物に前記分割のための起点を形成する照射工程と、
を備えることを特徴とする被加工物の加工方法。

20

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 に記載の加工方法であって、

前記パルスレーザー光が、パルス幅が p s e c オーダーの超短パルス光である、
ことを特徴とする被加工物の加工方法。

【請求項 4】

請求項 1 ないし請求項 3 のいずれかに記載の加工方法であって、

前記液層形成工程においては、少なくとも前記照射工程が行われている間、前記ステージの上に構成した貯留槽の内部にて前記被加工物を前記液体に浸漬させることにより、前記被加工面の上に前記液層を形成する、
ことを特徴とする被加工物の加工方法。

30

【請求項 5】

請求項 4 に記載の加工方法であって、

前記液層形成工程においては、前記貯留槽に対して連続的または断続的に前記液体を供給および排出させることによって前記被加工面の上に流液層を形成する、
ことを特徴とする被加工物の加工方法。

【請求項 6】

請求項 1 ないし請求項 3 のいずれかに記載の加工方法であって、

前記液層形成工程においては、少なくとも前記照射工程が行われている間、連続的または断続的に前記液体を流すことによって、前記被加工面の上に流液層を形成する、
ことを特徴とする被加工物の加工方法。

40

【請求項 7】

請求項 6 に記載の加工方法であって、

前記液層形成工程においては、前記被加工物が前記ステージに載置された状態で、前記被加工面に対して所定の吐出手段から前記液体を吐出させることにより前記流液層を形成する、
ことを特徴とする被加工物の加工方法。

50

【請求項 8】

請求項 1 ないし請求項 7 のいずれかに記載の加工方法であって、
前記照射工程においては、異なる前記単位パルス光によって形成する少なくとも 2 つの被照射領域を、前記被加工物の劈開もしくは裂開容易方向において隣り合うように形成する、
ことを特徴とする被加工物の加工方法。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の加工方法であって、
前記照射工程においては、前記少なくとも 2 つの被照射領域の形成を、前記被加工物の相異なる 2 つの前記劈開もしくは裂開容易方向において交互に行う、
ことを特徴とする被加工物の加工方法。

10

【請求項 10】

請求項 8 に記載の加工方法であって、
前記照射工程においては、全ての前記被照射領域を、前記被加工物の劈開もしくは裂開容易方向に沿って形成する、
ことを特徴とする被加工物の加工方法。

【請求項 11】

請求項 1 ないし請求項 7 のいずれかに記載の加工方法であって、
前記照射工程においては、前記被照射領域を、前記被加工物の相異なる 2 つの劈開もしくは裂開容易方向に対して等価な方向において形成する、
ことを特徴とする被加工物の加工方法。

20

【請求項 12】

請求項 1 ないし請求項 9 のいずれかに記載の加工方法であって、
前記照射工程においては、前記パルスレーザー光の出射源と前記被加工物とを相対移動させつつ、前記パルスレーザー光の出射方向を当該相対移動方向と垂直な面内にて周期的に変化させることによって、前記被加工物に千鳥状の配置関係をみたます複数の前記被照射領域を形成する、
ことを特徴とする被加工物の加工方法。

【請求項 13】

請求項 1 ないし請求項 9 のいずれかに記載の加工方法であって、
前記照射工程においては、前記パルスレーザー光の複数の出射源と前記被加工物とを相対移動させつつ、前記複数の出射源のそれぞれからの前記単位パルス光の照射タイミングを周期的に変化させることによって、前記被加工物に千鳥状の配置関係をみたます複数の前記被照射領域を形成する、
ことを特徴とする被加工物の加工方法。

30

【請求項 14】

請求項 1 ないし請求項 13 のいずれかに記載の加工方法であって、
前記照射工程においては、前記パルスレーザー光を、前記被加工物の表面における前記個々の単位パルス光の被照射領域の形状が等方的となるように照射する、
ことを特徴とする被加工物の加工方法。

40

【請求項 15】

請求項 14 に記載の加工方法であって、
前記パルスレーザー光のビーム径が $1\ \mu\text{m}$ 以上 $10\ \mu\text{m}$ 以下である、
ことを特徴とする被加工物の加工方法。

【請求項 16】

被加工物を分割する方法であって、
請求項 1 ないし請求項 15 のいずれかに記載の方法によって分割起点が形成された被加工物を、前記分割起点に沿って分割する、
ことを特徴とする被加工物の分割方法。

【請求項 17】

50

パルスレーザー光を発する光源と、
被加工物が載置されるステージと、
を備えるレーザー加工装置であって、

前記ステージに載置された前記被加工物の被加工面の上に、前記被加工物の加工に用いるパルスレーザー光に対して透明である液体によって液層を形成する液層形成機構をさらに備え、

前記ステージに前記被加工物を載置し、かつ、前記被加工面の上に前記液層を形成した状態で、前記パルスレーザー光の個々の単位パルス光ごとの被照射領域が前記被加工面において離散的に形成されるように前記ステージと前記光源とを連続的に相対移動させつつ前記パルスレーザー光を前記被加工物に照射することによって、前記被照射領域同士の間で被加工物の劈開もしくは裂開を順次に生じさせることにより、前記被加工物に分割のための起点を形成する、
ことを特徴とするレーザー加工装置。

10

【請求項 18】

パルスレーザー光を発する光源と、
被加工物が載置されるステージと、
を備えるレーザー加工装置であって、

前記ステージに載置された前記被加工物の被加工面の上に、前記被加工物の加工に用いるパルスレーザー光に対して透明である液体によって液層を形成する液層形成機構をさらに備え、

20

前記ステージに前記被加工物を載置し、かつ、前記被加工面の上に前記液層を形成した状態で、前記パルスレーザー光の個々の単位パルス光が前記被加工面に離散的に照射されるように前記ステージと前記光源とを連続的に相対移動させつつ前記パルスレーザー光を前記被加工物に照射し、前記個々の単位パルス光が被照射位置に照射される際の衝撃もしくは応力によって直前にもしくは同時に照射された前記単位パルス光の被照射位置との間に劈開もしくは裂開を生じさせることにより、前記被加工物に前記分割のための起点を形成する、
ことを特徴とするレーザー加工装置。

【請求項 19】

請求項 17 または請求項 18 に記載のレーザー加工装置であって、

30

前記液層形成機構が、前記ステージの上に配置されることで前記液体を貯留可能な貯留槽を構成する筒状部材を有し、

前記被加工物を、前記貯留槽の内部において前記ステージに載置し、かつ前記液体に浸漬させることにより、前記被加工面の上に前記液層を形成する、
ことを特徴とするレーザー加工装置。

【請求項 20】

請求項 19 に記載のレーザー加工装置であって、

前記筒状部材が、前記ステージの上において前記被加工物を固定する固定部材よりも外周に配置されることを特徴とするレーザー加工装置。

40

【請求項 21】

請求項 19 に記載のレーザー加工装置であって、

前記筒状部材が、前記ステージの上において前記被加工物に接着された固定用シートの上に配置されることを特徴とするレーザー加工装置。

【請求項 22】

請求項 17 または請求項 18 に記載のレーザー加工装置であって、

前記液層形成機構が、前記ステージを底部とする貯留槽を有し、

前記被加工物を、前記貯留槽の内部において前記ステージに載置し、かつ前記液体に浸漬させることにより、前記被加工面の上に前記液層を形成する、
ことを特徴とするレーザー加工装置。

【請求項 23】

50

請求項 19 ないし請求項 22 のいずれかに記載のレーザー加工装置であって、
前記液層形成機構が、前記貯留槽に対して連続的または断続的に前記液体を供給および
排出させることによって前記ステージに載置された前記被加工物の前記被加工面の上に流
液層を形成する流液層形成手段を備え、

前記流液層を形成した状態で前記パルスレーザー光を照射することにより、前記被加工
物に前記分割のための起点を形成する、
ことを特徴とするレーザー加工装置。

【請求項 24】

請求項 19 ないし請求項 23 のいずれかに記載のレーザー加工装置であって、
前記貯留槽の上面に前記パルスレーザー光に対して透明な部材からなる窓部が設けられ
ており、前記貯留槽においては前記窓部に接するように前記液層が貯留されてなる、
ことを特徴とするレーザー加工装置。

10

【請求項 25】

請求項 17 または請求項 18 に記載のレーザー加工装置であって、
前記液層形成機構が、前記被加工物が前記ステージに載置された状態で、前記被加工面
に対して前記液体を吐出可能な吐出手段、
を備え、

前記吐出手段から吐出された前記液体によって流液層を形成した状態で、前記パルスレ
ーザー光を照射することにより、前記被加工物に前記分割のための起点を形成する、
ことを特徴とするレーザー加工装置。

20

【請求項 26】

請求項 17 ないし請求項 25 のいずれかに記載のレーザー加工装置であって、
前記被加工物に前記分割のための起点を形成する際に、異なる前記単位パルス光によっ
て形成する少なくとも 2 つの被照射領域を、前記被加工物の劈開もしくは裂開容易方向に
おいて隣り合うように形成する、
ことを特徴とするレーザー加工装置。

【請求項 27】

請求項 26 に記載のレーザー加工装置であって、
前記少なくとも 2 つの被照射領域の形成を、前記被加工物の相異なる 2 つの前記劈開も
しくは裂開容易方向において交互に行う、
ことを特徴とするレーザー加工装置。

30

【請求項 28】

請求項 26 に記載のレーザー加工装置であって、
全ての前記被照射領域を、前記被加工物の劈開もしくは裂開容易方向に沿って形成する
、
ことを特徴とするレーザー加工装置。

【請求項 29】

請求項 17 ないし請求項 24 のいずれかに記載のレーザー加工装置であって、
前記被加工物に前記分割のための起点を形成する際に、前記被照射領域を、前記被加工
物の相異なる 2 つの劈開もしくは裂開容易方向に対して等価な方向において形成する、
ことを特徴とするレーザー加工装置。

40

【請求項 30】

請求項 17 ないし請求項 29 のいずれかに記載のレーザー加工装置であって、
前記被加工物に前記分割のための起点を形成する際に、前記パルスレーザー光を、前記
被加工物の表面における前記個々の単位パルス光の被照射領域の形状が等方的となるよう
に照射する、
ことを特徴とするレーザー加工装置。

【請求項 31】

請求項 30 に記載のレーザー加工装置であって、
前記パルスレーザー光のビーム径が $1\ \mu\text{m}$ 以上 $10\ \mu\text{m}$ 以下である、

50

ことを特徴とするレーザー加工装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーザー光を照射して被加工物を加工するレーザー加工方法に関する。

【背景技術】

【0002】

パルスレーザー光を照射して被加工物を加工する技術（以下、単にレーザー加工もしくはレーザー加工技術とも称する）として種々のものがすでに公知である（例えば、特許文献1ないし特許文献4参照）。

10

【0003】

特許文献1に開示されているのは、被加工物たるダイを分割する際に、レーザーアブレーションにより分割予定線に沿って断面V字形の溝（ブレイク溝）を形成し、この溝を起点としてダイを分割する手法である。一方、特許文献2に開示されているのは、デフォーカス状態のレーザー光を被加工物（被分割体）の分割予定線に沿って照射することにより被照射領域に周囲よりも結晶状態の崩れた断面略V字形の融解改質領域（変質領域）を生じさせ、この融解改質領域の最下点を起点として被加工物を分割する手法である。

【0004】

特許文献1および特許文献2に開示の技術を用いて分割起点を形成する場合はいずれも、その後の分割が良好に行われるために、レーザー光の走査方向である分割予定線方向に沿って均一な形状のV字形断面（溝断面もしくは変質領域断面）を形成することが、重要である。そのための対応として、例えば、1パルスごとのレーザー光の被照射領域（ビームスポット）が前後で重複するようにレーザー光の照射が制御される。

20

【0005】

例えば、レーザー加工の最も基本的なパラメータである、繰り返し周波数（単位kHz）をRとし、走査速度（単位mm/sec）をVとすると、両者の比V/Rがビームスポットの中心間隔となるが、特許文献1および特許文献2に開示の技術においては、ビームスポット同士に重なりが生じるよう、V/Rが1μm以下となる条件で、レーザー光の照射および走査が行われる。

【0006】

また、特許文献3には、表面に積層部を有する基板の内部に集光点を合わせてレーザー光を照射することによって基板内部に改質領域を形成し、この改質領域を切断の起点とする態様が開示されている。

30

【0007】

また、特許文献4には、1つの分離線に対して複数回のレーザー光走査を繰り返し、分離線方向に連続する溝部および改質部と、分離線方向に連続しない内部改質部とを深さ方向の上下に形成する態様が開示されている。

【0008】

一方、特許文献5には、パルス幅がpsecオーダーという超短パルスのレーザー光を用いた加工技術であって、パルスレーザー光の集光スポット位置を調整することにより、被加工物（板体）の表層部位から表面に至って微小クラックが群生した微小な溶解痕を形成し、これらの溶解痕の連なった線状の分離容易化領域を形成する態様が開示されている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特開2004-9139号公報

【特許文献2】国際公開第2006/062017号

【特許文献3】特開2007-83309号公報

【特許文献4】特開2008-98465号公報

50

【特許文献5】特開2005-271563号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

しかしながら、レーザー光による分割起点の形成を従来の手法にて行った場合、レーザー光が照射された部分に、いわゆる加工痕（レーザー加工痕）が形成されることが不可避であった。加工痕とは、レーザー光が照射された結果、照射前とは材質や構造が変化した変質領域である。加工痕の形成は、通常、分割されたそれぞれの被加工物（分割素片）の特性等に悪影響を与えるために、なるべく抑制されることが好ましい。

【0011】

例えば、サファイアなどの硬脆性かつ光学的に透明な材料からなる基板の上にLED構造などの発光素子構造を形成した被加工物を、特許文献2に開示されているような従来のレーザー加工によってチップ単位に分割することで得られた発光素子のエッジ部分（分割の際にレーザー光の照射を受けた部分）においては、幅が数 μm 程度で深さが数 μm ～数十 μm 程度の加工痕が連続的に形成されてなる。係る加工痕が、発光素子内部で生じた光を吸収してしまい、素子からの光の取り出し効率を低下させてしまうという問題がある。特に、屈折率の高いサファイア基板を用いた発光素子構造の場合に係る問題が顕著である。

10

【0012】

本発明の発明者は、鋭意検討を重ねた結果、被加工物にレーザー光を照射して分割起点を形成するにあたって、該被加工物の劈開性もしくは裂開性を利用することで、加工痕の形成が好適に抑制されとの知見を得た。加えて、係る加工には超短パルスのレーザー光を用いることが好適であるとの知見を得た。

20

【0013】

特許文献1ないし特許文献5においては、被加工物の劈開性もしくは裂開性を利用する分割起点の形成態様について、何らの開示も示唆もなされてはいない。

【0014】

また、一方で、レーザー光を用いて分割起点を形成した上で、被加工物をチップ単位に分割するプロセスを行うにあたっては、分割起点の先端部分が被加工物のできるだけ深いところまで達している方が、分割の確実性が高まるために好ましい。これは、超短パルスのレーザー光を用いる場合も同様である。

30

【0015】

本発明は上記課題に鑑みてなされたものであり、加工痕の形成が抑制されるとともに、被加工物の分割がより確実に実現される分割起点の形成が可能となる、被分割体の加工方法およびこれを実現するレーザー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】

【0016】

上記課題を解決するため、請求項1の発明は、被加工物に分割起点を形成するための加工方法であって、被加工物をステージに載置する載置工程と、前記ステージに載置された前記被加工物の被加工面の上に、前記被加工物の加工に用いるパルスレーザー光に対して透明である液体によって液層を形成する液層形成工程と、前記ステージと前記パルスレーザー光の光源とを連続的に相対移動させながら、前記パルスレーザー光を、前記液層を透過させつつ、かつ、個々の単位パルス光ごとの被照射領域が前記被加工面において離散的に形成されるように前記被加工物に照射することによって、前記被照射領域同士の間で前記被加工物の劈開もしくは裂開を順次に生じさせることで、前記被加工物に分割のための起点を形成する照射工程と、を備えることを特徴とする。

40

【0017】

また、請求項2の発明は、被加工物に分割起点を形成するための加工方法であって、被加工物をステージに載置する載置工程と、前記ステージに載置された前記被加工物の被加工面の上に、前記被加工物の加工に用いるパルスレーザー光に対して透明である液体によ

50

って液層を形成する液層形成工程と、前記ステージと前記パルスレーザー光の光源とを連続的に相対移動させながら、前記パルスレーザー光を、前記液層を透過させつつ、かつ、個々の単位パルス光が前記被加工面に離散的に照射されるように前記被加工物に照射し、前記個々の単位パルス光が被照射位置に照射される際の衝撃もしくは応力によって直前にもしくは同時に照射された前記単位パルス光の被照射位置との間に劈開もしくは裂開を生じさせることにより、前記被加工物に前記分割のための起点を形成する照射工程と、を備えることを特徴とする。

【0018】

また、請求項3の発明は、請求項1または請求項2に記載の加工方法であって、前記パルスレーザー光が、パルス幅がpsecオーダーの超短パルス光である、ことを特徴とする。

10

【0019】

また、請求項4の発明は、請求項1ないし請求項3のいずれかに記載の加工方法であって、前記液層形成工程においては、少なくとも前記照射工程が行われている間、前記ステージの上に構成した貯留槽の内部にて前記被加工物を前記液体に浸漬させることにより、前記被加工面の上に前記液層を形成する、ことを特徴とする。

【0020】

また、請求項5の発明は、請求項4に記載の加工方法であって、前記液層形成工程においては、前記貯留槽に対して連続的または断続的に前記液体を供給および排出させることにより前記被加工面の上に流液層を形成する、ことを特徴とする。

20

【0021】

また、請求項6の発明は、請求項1ないし請求項3のいずれかに記載の加工方法であって、前記液層形成工程においては、少なくとも前記照射工程が行われている間、連続的または断続的に前記液体を流すことにより、前記被加工面の上に流液層を形成する、ことを特徴とする。

【0022】

また、請求項7の発明は、請求項6に記載の加工方法であって、前記液層形成工程においては、前記被加工物が前記ステージに載置された状態で、前記被加工面に対して所定の吐出手段から前記液体を吐出させることにより前記流液層を形成する、ことを特徴とする。

30

【0023】

また、請求項8の発明は、請求項1ないし請求項7のいずれかに記載の加工方法であって、前記照射工程においては、異なる前記単位パルス光によって形成する少なくとも2つの被照射領域を、前記被加工物の劈開もしくは裂開容易方向において隣り合うように形成する、ことを特徴とする。

【0024】

また、請求項9の発明は、請求項8に記載の加工方法であって、前記照射工程においては、前記少なくとも2つの被照射領域の形成を、前記被加工物の相異なる2つの前記劈開もしくは裂開容易方向において交互に行う、ことを特徴とする。

40

【0025】

また、請求項10の発明は、請求項8に記載の加工方法であって、前記照射工程においては、全ての前記被照射領域を、前記被加工物の劈開もしくは裂開容易方向に沿って形成する、ことを特徴とする。

【0026】

また、請求項11の発明は、請求項1ないし請求項7のいずれかに記載の加工方法であって、前記照射工程においては、前記被照射領域を、前記被加工物の相異なる2つの劈開もしくは裂開容易方向に対して等価な方向において形成する、ことを特徴とする。

【0027】

また、請求項12の発明は、請求項1ないし請求項9のいずれかに記載の加工方法であって、前記照射工程においては、前記パルスレーザー光の出射源と前記被加工物とを相対

50

移動させつつ、前記パルスレーザー光の出射方向を当該相対移動方向と垂直な面内にて周期的に変化させることによって、前記被加工物に千鳥状の配置関係をみたす複数の前記被照射領域を形成する、ことを特徴とする。

【0028】

また、請求項13の発明は、請求項1ないし請求項9のいずれかに記載の加工方法であって、前記照射工程においては、前記パルスレーザー光の複数の出射源と前記被加工物とを相対移動させつつ、前記複数の出射源のそれぞれからの前記単位パルス光の照射タイミングを周期的に変化させることによって、前記被加工物に千鳥状の配置関係をみたす複数の前記被照射領域を形成する、ことを特徴とする。

【0029】

また、請求項14の発明は、請求項1ないし請求項13のいずれかに記載の加工方法であって、前記照射工程においては、前記パルスレーザー光を、前記被加工物の表面における前記個々の単位パルス光の被照射領域の形状が等方的となるように照射する、ことを特徴とする。

【0030】

また、請求項15の発明は、請求項14に記載の加工方法であって、前記パルスレーザー光のビーム径が1 μ m以上10 μ m以下である、ことを特徴とする。

【0031】

また、請求項16の発明は、被加工物を分割する方法であって、請求項1ないし請求項15のいずれかに記載の方法によって分割起点が形成された被加工物を、前記分割起点に沿って分割する、ことを特徴とする。

【0032】

また、請求項17の発明は、パルスレーザー光を発する光源と、被加工物が載置されるステージと、を備えるレーザー加工装置であって、前記ステージに載置された前記被加工物の被加工面の上に、前記被加工物の加工に用いるパルスレーザー光に対して透明である液体によって液層を形成する液層形成機構をさらに備え、前記ステージに前記被加工物を載置し、かつ、前記被加工面の上に前記液層を形成した状態で、前記パルスレーザー光の個々の単位パルス光ごとの被照射領域が前記被加工面において離散的に形成されるように前記ステージと前記光源とを連続的に相対移動させつつ前記パルスレーザー光を前記被加工物に照射することによって、前記被照射領域同士の間で被加工物の劈開もしくは裂開を順次に生じさせることにより、前記被加工物に分割のための起点を形成する、ことを特徴とする。

【0033】

また、請求項18の発明は、パルスレーザー光を発する光源と、被加工物が載置されるステージと、を備えるレーザー加工装置であって、前記ステージに載置された前記被加工物の被加工面の上に、前記被加工物の加工に用いるパルスレーザー光に対して透明である液体によって液層を形成する液層形成機構をさらに備え、前記ステージに前記被加工物を載置し、かつ、前記被加工面の上に前記液層を形成した状態で、前記パルスレーザー光の個々の単位パルス光が前記被加工面に離散的に照射されるように前記ステージと前記光源とを連続的に相対移動させつつ前記パルスレーザー光を前記被加工物に照射し、前記個々の単位パルス光が被照射位置に照射される際の衝撃もしくは応力によって直前にもしくは同時に照射された前記単位パルス光の被照射位置との間に劈開もしくは裂開を生じさせることにより、前記被加工物に前記分割のための起点を形成する、ことを特徴とする。

【0034】

また、請求項19の発明は、請求項17または請求項18に記載のレーザー加工装置であって、前記液層形成機構が、前記ステージの上に配置されることで前記液体を貯留可能な貯留槽を構成する筒状部材を有し、前記被加工物を、前記貯留槽の内部において前記ステージに載置し、かつ前記液体に浸漬させることにより、前記被加工面の上に前記液層を形成する、ことを特徴とする。

【0035】

10

20

30

40

50

また、請求項 20 の発明は、請求項 19 に記載のレーザー加工装置であって、前記筒状部材が、前記ステージの上において前記被加工物を固定する固定部材よりも外周に配置されることを特徴とする。

【0036】

また、請求項 21 の発明は、請求項 19 に記載のレーザー加工装置であって、前記筒状部材が、前記ステージの上において前記被加工物に接着された固定用シートの上に配置されることを特徴とする。

【0037】

また、請求項 22 の発明は、請求項 17 または請求項 18 に記載のレーザー加工装置であって、前記液層形成機構が、前記ステージを底部とする貯留槽を有し、前記被加工物を、前記貯留槽の内部において前記ステージに載置し、かつ前記液体に浸漬させることにより、前記被加工面の上に前記液層を形成する、ことを特徴とする。

10

【0038】

また、請求項 23 の発明は、請求項 19 ないし請求項 22 のいずれかに記載のレーザー加工装置であって、前記液層形成機構が、前記貯留槽に対して連続的または断続的に前記液体を供給および排出させることによって前記ステージに載置された前記被加工物の前記被加工面の上に流液層を形成する流液層形成手段を備え、前記流液層を形成した状態で前記パルスレーザー光を照射することにより、前記被加工物に前記分割のための起点を形成する、ことを特徴とする。

【0039】

また、請求項 24 の発明は、請求項 19 ないし請求項 23 のいずれかに記載のレーザー加工装置であって、前記貯留槽の上面に前記パルスレーザー光に対して透明な部材からなる窓部が設けられており、前記貯留槽においては前記窓部に接するように前記液層が貯留されてなる、ことを特徴とする。

20

【0040】

また、請求項 25 の発明は、請求項 17 または請求項 18 に記載のレーザー加工装置であって、前記液層形成機構が、前記被加工物が前記ステージに載置された状態で、前記被加工面に対して前記液体を吐出可能な吐出手段、を備え、前記吐出手段から吐出された前記液体によって流液層を形成した状態で、前記パルスレーザー光を照射することにより、前記被加工物に前記分割のための起点を形成する、ことを特徴とする。

30

【0041】

また、請求項 26 の発明は、請求項 17 ないし請求項 25 のいずれかに記載のレーザー加工装置であって、前記被加工物に前記分割のための起点を形成する際に、異なる前記単位パルス光によって形成する少なくとも 2 つの被照射領域を、前記被加工物の劈開もしくは裂開容易方向において隣り合うように形成する、ことを特徴とする。

【0042】

また、請求項 27 の発明は、請求項 26 に記載のレーザー加工装置であって、前記少なくとも 2 つの被照射領域の形成を、前記被加工物の相異なる 2 つの前記劈開もしくは裂開容易方向において交互に行う、ことを特徴とする。

【0043】

また、請求項 28 の発明は、請求項 26 に記載のレーザー加工装置であって、全ての前記被照射領域を、前記被加工物の劈開もしくは裂開容易方向に沿って形成する、ことを特徴とする。

40

【0044】

また、請求項 29 の発明は、請求項 17 ないし請求項 24 のいずれかに記載のレーザー加工装置であって、前記被加工物に前記分割のための起点を形成する際に、前記被照射領域を、前記被加工物の相異なる 2 つの劈開もしくは裂開容易方向に対して等価な方向において形成する、ことを特徴とする。

【0045】

また、請求項 30 の発明は、請求項 17 ないし請求項 29 のいずれかに記載のレーザー

50

加工装置であって、前記被加工物に前記分割のための起点を形成する際に、前記パルスレーザー光を、前記被加工物の表面における前記個々の単位パルス光の被照射領域の形状が等方的となるように照射する、ことを特徴とする。

【0046】

また、請求項31の発明は、請求項30に記載のレーザー加工装置であって、前記パルスレーザー光のビーム径が1 μ m以上10 μ m以下である、ことを特徴とする。

【発明の効果】

【0047】

請求項1ないし請求項31の発明によれば、被加工物の変質による加工痕の形成や被加工物の飛散などを局所的なものに留める一方、被加工物の劈開もしくは裂開を積極的に生じさせることにより、従来よりも極めて高速に、被加工物に対して分割起点を形成することができる。しかも、パルスレーザー光に対して透明である液体からなる液層を配置することで、パルスレーザー光のエネルギーをより効率的に分割起点の形成に寄与させることができるので、分割起点の先端部をより深くまで到達させることができる。

10

【0048】

特に、請求項5ないし請求項7、請求項23、および請求項25の発明によれば、加工時に被加工物から脱離等した物質による濁りなどが生じて液層の透明度が低下したとしても、被加工面の上には速やかに新たな透明液体が供給されるので、加工を行っている間、加工精度が好適に維持される。

【0049】

特に、請求項9、請求項11ないし請求項13、請求項27、および請求項29の発明によれば、形成した分割起点に沿って被加工物を分割した場合の分割断面であって被加工物の表面近傍に、隣り合う劈開もしくは裂開面同士よる凹凸が形成されるように、分割起点を形成することができる。被加工物が、サファイアなどの硬脆性かつ光学的に透明な材料からなる基板の上に、LED構造などの発光素子構造を形成したものである場合に、基板の分割断面にこのような凹凸形状を形成することで、発光素子の発光効率を向上させることができる。

20

【0050】

特に、請求項24の発明によれば、貯留槽における液面の波打ちが防止されるので、照射されたパルスレーザー光のエネルギーの利用効率がさらに高まる。

30

【図面の簡単な説明】

【0051】

【図1】第1加工パターンによる加工について説明するための図である。

【図2】第1加工パターンでの劈開/裂開加工により分割起点を形成した被加工物の表面についての光学顕微鏡像である。

【図3】第1加工パターンに係る加工によって分割起点を形成したサファイアC面基板を、該分割起点に沿って分割した後の、表面(c面)から断面にかけてのSEM像である。

【図4】第2加工パターンによる加工態様を模式的に示す図である。

【図5】第2加工パターンでの劈開/裂開加工により分割起点を形成した被加工物の表面についての光学顕微鏡像である。

40

【図6】第2加工パターンに係る加工によって分割起点を形成したサファイアc面基板を、該分割起点に沿って分割した後の、表面(c面)から断面にかけてのSEM像である。

【図7】第3加工パターンによる加工態様を模式的に示す図である。

【図8】第3加工パターンにおける加工予定線と被照射領域の形成予定位置との関係を示す図である。

【図9】本発明の実施の形態に係るレーザー加工装置50の構成を概略的に示す模式図である。

【図10】光学系5の構成を例示する模式図である。

【図11】光路設定手段5cの構成を模式的に示す図である。

【図12】液層の第1の形成態様を例示する側断面図である。

50

【図 1 3】液層の第 2 の形成態様を例示する側断面図である。

【図 1 4】液層の第 3 の形成態様を例示する側断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0052】

<加工の原理>

まず、以下に示す本発明の実施の形態において実現される加工の原理を説明する。本発明において行われる加工は、概略的に言えば、パルスレーザー光（以下、単にレーザー光とも称する）を走査しつつ被加工物の上面（被加工面）に照射することによって、個々のパルスごとの被照射領域の間で被加工物の劈開もしくは裂開を順次に生じさせていき、それぞれにおいて形成された劈開面もしくは裂開面の連続面として分割のための起点（分割起点）を形成するものである。

10

【0053】

なお、本実施の形態において、裂開とは、劈開面以外の結晶面に沿って被加工物が略規則的に割れる現象を指し示すものとし、当該結晶面を裂開面と称する。なお、結晶面に完全に沿った微視的な現象である劈開や裂開以外に、巨視的な割れであるクラックがほぼ一定の結晶方位に沿って発生する場合もある。物質によっては主に劈開、裂開もしくはクラックのいずれか 1 つのみが起こるものもあるが、以降においては、説明の煩雑を避けるため、劈開、裂開、およびクラックを区別せずに劈開 / 裂開などと総称する。さらに、上述のような態様の加工を、単に劈開 / 裂開加工などとも称することがある。

【0054】

20

以下においては、被加工物が六方晶の単結晶物質であり、その a 1 軸、a 2 軸、および a 3 軸の各軸方向が、劈開 / 裂開容易方向である場合を例に説明する。例えば、c 面サファイア基板などがこれに該当する。六方晶の a 1 軸、a 2 軸、a 3 軸は、c 面内において互いに 120° ずつの角度をなして互いに対称の位置にある。本発明の加工には、これらの軸の方向と加工予定線の方向（加工予定方向）との関係によって、いくつかのパターンがある。以下、これらについて説明する。なお、以下においては、個々のパルスごとに照射されるレーザー光を単位パルス光と称する。

【0055】

<第 1 加工パターン>

第 1 加工パターンは、a 1 軸方向、a 2 軸方向、a 3 軸方向のいずれかと加工予定線とが平行な場合の劈開 / 裂開加工の態様である。より一般的に言えば、劈開 / 裂開容易方向と加工予定線の方向とが一致する場合の加工態様である。

30

【0056】

図 1 は、第 1 加工パターンによる加工態様を模式的に示す図である。図 1 においては、a 1 軸方向と加工予定線 L とが平行な場合を例示している。図 1 (a) は、係る場合の a 1 軸方向、a 2 軸方向、a 3 軸方向と加工予定線 L との方位関係を示す図である。図 1 (b) は、レーザー光の 1 パルス目の単位パルス光が加工予定線 L の端部の被照射領域 RE 1 に照射された状態を示している。

【0057】

一般に、単位パルス光の照射は、被加工物の極微小領域に対して高いエネルギーを与えることから、係る照射は、被照射面において単位パルス光の（レーザー光の）の被照射領域相当もしくは被照射領域よりも広い範囲において物質の変質・溶融・蒸発除去などを生じさせる。

40

【0058】

ところが、単位パルス光の照射時間つまりはパルス幅を極めて短く設定すると、レーザー光のスポットサイズより狭い、被照射領域 RE 1 の略中央領域に存在する物質が、照射されたレーザー光から運動エネルギーを得ることで被照射面に垂直な方向に飛散したり変質したりする一方、係る飛散に伴って生じる反力を初めとする単位パルス光の照射によって生じる衝撃や応力が、該被照射領域の周囲、特に、劈開 / 裂開容易方向である a 1 軸方向、a 2 軸方向、a 3 軸方向に作用する。これにより、当該方向に沿って、見かけ上は接

50

触状態を保ちつつも微小な劈開もしくは裂開が部分的に生じたり、あるいは、劈開や裂開にまでは至らずとも熱的な歪みが内在される状態が生じる。換言すれば、超短パルスの単位パルス光の照射が、劈開／裂開容易方向に向かう上面視略直線状の弱強度部分を形成するための駆動力として作用しているともいえる。

【0059】

図1(b)においては、上記各劈開／裂開容易方向において形成される弱強度部分のうち、加工予定線Lの延在方向と合致する+a1方向における弱強度部分W1を破線矢印にて模式的に示している。

【0060】

続いて、図1(c)に示すように、レーザー光の2パルス目の単位パルス光が照射されて、加工予定線L上において被照射領域RE1から所定距離だけ離れた位置に被照射領域RE2が形成されると、1パルス目と同様に、この2パルス目においても、劈開／裂開容易方向に沿った弱強度部分が形成されることになる。例えば、-a1方向には弱強度部分W2aが形成され、+a1方向には弱強度部分W2bが形成されることになる。

【0061】

ただし、この時点においては、1パルス目の単位パルス光の照射によって形成された弱強度部分W1が弱強度部分W2aの延在方向に存在する。すなわち、弱強度部分W2aの延在方向は他の箇所よりも小さなエネルギーで劈開または裂開が生じ得る箇所となっている。そのため、実際には、2パルス目の単位パルス光の照射がなされると、その際に生じる衝撃や応力が劈開／裂開容易方向およびその先に存在する弱強度部分に伝播し、弱強度部分W2aから弱強度部分W1にかけて、完全な劈開もしくは裂開が、ほぼ照射の瞬間に生じる。これにより、図1(d)に示す劈開／裂開面C1が形成される。なお、劈開／裂開面C1は、被加工物の図面視垂直な方向において数 μm ～数十 μm 程度の深さにまで形成され得る。しかも、後述するように、劈開／裂開面C1においては、強い衝撃や応力を受けた結果として結晶面の滑りが生じ、深さ方向に起伏が生じる。

【0062】

そして、図1(e)に示すように、その後、加工予定線Lに沿ってレーザー光を走査することにより被照射領域RE1、RE2、RE3、RE4・・・に順次に単位パルス光を照射していくと、これに応じて、劈開／裂開面C2、C3・・・が順次に形成されていくことになる。係る態様にて劈開／裂開面を連続的に形成するのが、第1加工パターンにおける劈開／裂開加工である。

【0063】

すなわち、第1加工パターンにおいては、加工予定線Lに沿って離散的に存在する複数の被照射領域と、それら複数の被照射領域の間に形成された劈開／裂開面とが、全体として、被加工物を加工予定線Lに沿って分割する際の分割起点となる。係る分割起点の形成後は、所定の治具や装置を用いた分割を行うことで、加工予定線Lに概ね沿う態様にて被加工物を分割することができる。

【0064】

なお、このような劈開／裂開加工を実現するには、パルス幅の短い、短パルスのレーザー光を照射する必要がある。具体的には、パルス幅が100ps以下レーザー光を用いることが必要である。例えば、1ps～50ps程度のパルス幅を有するレーザー光を用いるのが好適である。

【0065】

一方、単位パルス光の照射ピッチ(被照射スポットの中心間隔)は、4 μm ～50 μm の範囲で定められればよい。これよりも照射ピッチが大きいと、劈開／裂開容易方向における弱強度部分の形成が劈開／裂開面を形成し得るほどにまで進展しない場合が生じるため、上述のような劈開／裂開面からなる分割起点を確実に形成するという観点からは、好ましくない。なお、走査速度、加工効率、製品品質の点からは、照射ピッチは大きい方が好ましいが、劈開／裂開面の形成をより確実なものとするには、4 μm ～30 μm の範囲で定めるのが望ましく、4 μm ～15 μm 程度であるのがより好適である。

【0066】

いま、レーザー光の繰り返し周波数が R (kHz) である場合、 $1/R$ (ms) ごとに単位パルス光がレーザー光源から発せられることになる。被加工物に対してレーザー光が相対的に速度 V (mm/s) で移動する場合、照射ピッチ (μm) は、 $\lambda = V/R$ で定まる。従って、レーザー光の走査速度 V と繰り返し周波数は、 λ が数 μm 程度となるように定められる。例えば、走査速度 V は $50\text{ mm/s} \sim 3000\text{ mm/s}$ 程度であり、繰り返し周波数 R が $1\text{ kHz} \sim 200\text{ kHz}$ 、特に $10\text{ kHz} \sim 200\text{ kHz}$ 程度であるのが好適である。 V や R の具体的な値は、被加工物の材質や吸収率、熱伝導率、融点などを勘案して適宜に定められてよい。

【0067】

レーザー光は、約 $1\ \mu\text{m} \sim 10\ \mu\text{m}$ 程度のビーム径にて照射されることが好ましい。係る場合、レーザー光の照射におけるピークパワー密度はおおよそ $0.1\ \text{TW}/\text{cm}^2 \sim$ 数 $10\ \text{TW}/\text{cm}^2$ となる。

【0068】

また、レーザー光の照射エネルギー (パルスエネルギー) は $0.1\ \mu\text{J} \sim 50\ \mu\text{J}$ の範囲内で適宜に定められてよい。

【0069】

図2は、第1加工パターンでの劈開/裂開加工により分割起点を形成した被加工物の表面についての光学顕微鏡像である。具体的には、サファイア c 面基板を被加工物とし、その c 面上に、 a 1 軸方向を加工予定線 L の延在方向として $7\ \mu\text{m}$ の間隔にて被照射スポットを離散的に形成する加工を行った結果を示している。図2に示す結果は、実際の被加工物が上述したメカニズムで加工されていることを示唆している。

【0070】

また、図3は、第1加工パターンに係る加工によって分割起点を形成したサファイア c 面基板を、該分割起点に沿って分割した後の、表面 (c 面) から断面にかけての SEM (走査電子顕微鏡) 像である。なお、図3においては、表面と断面との境界部分を破線にて示している。

【0071】

図3において観察される、当該表面から $10\ \mu\text{m}$ 前後の範囲に略等間隔に存在する、被加工物の表面から内部に長手方向を有する細長い三角形あるいは針状の領域が、単位パルス光の照射によって直接に変質や飛散除去等の現象が生じた領域 (以下、直接変質領域と称する) である。そして、それら直接変質領域の間に存在する、図面視左右方向に長手方向を有する筋状部分がサブマイクロピッチで図面視上下方向に多数連なっているように観察される領域が、劈開/裂開面である。これら直接変質領域および劈開/裂開面よりも下方が、分割によって形成された分割面である。

【0072】

劈開/裂開面が形成された領域は、レーザー光の照射を受けた領域ではないので、この第1加工パターンに係る加工においては、離散的に形成された直接変質領域のみが加工痕となっている。しかも、直接変質領域の被加工面におけるサイズは、数百 $\text{nm} \sim 1\ \mu\text{m}$ 程度に過ぎない。すなわち、第1加工パターンでの加工を行うことで、従来に比して加工痕の形成が好適に抑制された分割起点の形成が実現される。

【0073】

なお、SEM像において筋状部分として観察されているのは、実際には、劈開/裂開面に形成された、 $0.1\ \mu\text{m} \sim 1\ \mu\text{m}$ 程度の高低差を有する微小な凹凸である。係る凹凸は、サファイアのような硬脆性の無機化合物を対象に劈開/裂開加工を行う際に、単位パルス光の照射によって被加工物に強い衝撃や応力が作用することによって、特定の結晶面に滑りが生じることにより形成されたものである。

【0074】

このような微細な凹凸は存在するものの、図3からは、波線部分を境に表面と断面とが概ね直交していると判断されることから、微細な凹凸が加工誤差として許容される限りに

10

20

30

40

50

において、第1加工パターンにより分割起点を形成し、被加工物を、該分割起点に沿って分割することで、被加工物をその表面に対して概ね垂直に分割することができるといえる。

【0075】

なお、後述するように、係る微細な凹凸を積極的に形成することが好ましい場合もある。例えば、次述する第2加工パターンによる加工によって顕著に得られる光取り出し効率の向上という効果を、第1加工パターンによる加工によってもある程度は奏することができる。

【0076】

<第2加工パターン>

第2加工パターンは、a1軸方向、a2軸方向、a3軸方向のいずれかと加工予定線とが垂直な場合の劈開/裂開加工の態様である。なお、第2加工パターンにおいて用いるレーザー光の条件は、第1加工パターンと同様である。より一般的にいえば、相異なる2つの劈開/裂開容易方向に対して等価な方向(2つの劈開/裂開容易方向の対称軸となる方向)が加工予定線方向となる場合の加工態様である。

10

【0077】

図4は、第2加工パターンによる加工態様を模式的に示す図である。図4においては、a1軸方向と加工予定線Lとが直交する場合を例示している。図4(a)は、係る場合のa1軸方向、a2軸方向、a3軸方向と加工予定線Lとの方位関係を示す図である。図4(b)は、レーザー光の1パルス目の単位パルス光が加工予定線Lの端部の被照射領域RE11に照射された状態を示している。

20

【0078】

第2加工パターンの場合も、超短パルスの単位パルス光を照射することで、第1加工パターンと同様に、弱強度部分が形成される。図4(b)においては、上記各劈開/裂開容易方向において形成される弱強度部分のうち、加工予定線Lの延在方向に近い-a2方向および+a3方向における弱強度部分W11a、W12aを破線矢印にて模式的に示している。

【0079】

そして、図4(c)に示すように、レーザー光の2パルス目の単位パルス光が照射されて、加工予定線L上において被照射領域RE11から所定距離だけ離れた位置に被照射領域RE12が形成されると、1パルス目と同様に、この2パルス目においても、劈開/裂開容易方向に沿った弱強度部分が形成されることになる。例えば、-a3方向には弱強度部分W11bが形成され、+a2方向には弱強度部分W12bが形成され、+a3方向には弱強度部分W11cが形成され、-a2方向には弱強度部分W12cが形成されることになる。

30

【0080】

係る場合も、第1加工パターンの場合と同様、1パルス目の単位パルス光の照射によって形成された弱強度部分W11a、W12aがそれぞれ、弱強度部分W11b、W12bの延在方向に存在するので、実際には、2パルス目の単位パルス光の照射がなされると、その際に生じる衝撃や応力が劈開/裂開容易方向およびその先に存在する弱強度部分に伝播する。すなわち、図4(d)に示すように、劈開/裂開面C11a、C11bが形成される。なお、係る場合も、劈開/裂開面C11a、C11bは、被加工物の図面視垂直な方向において数 μm ~数十 μm 程度の深さにまで形成され得る。

40

【0081】

引き続き、図4(e)に示すように加工予定線Lに沿ってレーザー光を走査し、被照射領域RE11、RE12、RE13、RE14・・・に順次に単位パルス光を照射していくと、その照射の際に生じる衝撃や応力によって、図面視直線状の劈開/裂開面C11aおよびC11b、C12aおよびC12b、C13aおよびC13b、C14aおよびC14b・・・が加工予定線Lに沿って順次に形成されていくことになる。

【0082】

この結果、加工予定線Lに関して対称に劈開/裂開面が位置する状態が実現される。第

50

2 加工パターンにおいては、加工予定線 L に沿って離散的に存在する複数の被照射領域と、それら千鳥状に存在する劈開 / 裂開面とが、全体として、被加工物を加工予定線 L に沿って分割する際の分割起点となる。

【 0 0 8 3 】

図 5 は、第 2 加工パターンでの劈開 / 裂開加工により分割起点を形成した被加工物の表面についての光学顕微鏡像である。具体的には、サファイア C 面基板を被加工物とし、その C 面上に、a 1 軸方向に直交する方向を加工予定線 L の延在方向として $7 \mu\text{m}$ の間隔にて被照射スポットを離散的に形成する加工を行った結果を示している。図 5 からは、実際の被加工物においても、図 4 (e) に模式的に示したものと同様に表面視千鳥状の (ジグザグ状の) 劈開 / 裂開面が確認される。係る結果は、実際の被加工物が上述したメカニズムで加工されていることを示唆している。

10

【 0 0 8 4 】

また、図 6 は、第 2 加工パターンに係る加工によって分割起点を形成したサファイア C 面基板を、該分割起点に沿って分割した後の、表面 (c 面) から断面にかけての SEM 像である。なお、図 6 においては、表面と断面との境界部分を破線にて示している。

【 0 0 8 5 】

図 6 からは、分割後の被加工物の断面の表面から $10 \mu\text{m}$ 前後の範囲においては、被加工物の断面が、図 4 (e) に模式的に示した千鳥状の配置に対応する凹凸を有していることが確認される。係る凹凸を形成しているのが、劈開 / 裂開面である。なお、図 6 における凹凸のピッチは $5 \mu\text{m}$ 程度である。第 1 加工パターンによる加工の場合と同様、劈開 / 裂開面は平坦ではなく、単位パルス光の照射に起因して特定の結晶面に滑りが生じたことに伴うサブミクロンピッチの凹凸が生じている。

20

【 0 0 8 6 】

また、係る凹凸の凸部の位置に対応して表面部分から深さ方向にかけて延在するのが、直接変質領域の断面である。図 3 に示した第 1 加工パターンによる加工により形成された直接変質領域と比べると、その形状は不均一なものとなっている。そして、これら直接変質領域および劈開 / 裂開面よりも下方が、分割によって形成された分割面である。

【 0 0 8 7 】

第 2 加工パターンの場合も、離散的に形成された直接変質領域のみが加工痕となっている点では第 1 加工パターンと同様である。そして、直接変質領域の被加工面におけるサイズは、数百 $\text{nm} \sim 2 \mu\text{m}$ 程度に過ぎない。すなわち、第 2 加工パターンでの加工を行う場合も、加工痕の形成が従来よりも好適にされた分割起点の形成が実現される。

30

【 0 0 8 8 】

第 2 加工パターンによる加工の場合、劈開 / 裂開面に形成されたサブミクロンピッチの凹凸に加えて、隣り合う劈開 / 裂開面同士が数 μm 程度のピッチで凹凸を形成している。このような凹凸形状を有する断面を形成する態様は、サファイアなどの硬脆性かつ光学的に透明な材料からなる基板の上に、LED 構造などの発光素子構造を形成した被加工物をチップ (分割素片) 単位に分割する場合に有効である。発光素子の場合、レーザー加工によって基板に形成された加工痕の箇所において、発光素子内部で生じた光が吸収されてしまうと、素子からの光の取り出し効率が低下してしまうことになるが、第 2 加工パターンによる加工を行うことによって基板の加工断面にこの図 6 に示したような凹凸を意図的に形成した場合には、当該位置での全反射率が低下し、発光素子においてより高い光取り出し効率が実現されることになる。

40

【 0 0 8 9 】

< 第 3 加工パターン >

第 3 加工パターンは、超短パルスのレーザー光を用いる点、a 1 軸方向、a 2 軸方向、a 3 軸方向のいずれかと加工予定線とが垂直である (相異なる 2 つの劈開 / 裂開容易方向に対して等価な方向が加工予定線の方向となる) 点では、第 2 加工パターンと同様であるが、レーザー光の照射態様が第 2 加工パターンと異なる。

【 0 0 9 0 】

50

図7は、第3加工パターンによる加工態様を模式的に示す図である。図7においては、a1軸方向と加工予定線Lとが直交する場合を例示している。図7(a)は、係る場合のa1軸方向、a2軸方向、a3軸方向と加工予定線Lとの方位関係を示す図である。

【0091】

上述した第2加工パターンでは、図7(a)に示したものと同一方位関係のもと、レーザー光を、加工予定線Lの延在方向である、a2軸方向とa3軸方向のちょうど真ん中の方向(a2軸方向とa3軸方向とに対して等価な方向)に沿って、直線的に走査していた。第3加工パターンでは、これに代わり、図7(b)に示すように、個々の被照射領域が、加工予定線Lを挟む2つの劈開/裂開容易方向に交互に沿う態様にて千鳥状に(ジグザグに)形成されるように、それぞれの被照射領域を形成する単位パルス光が照射される。図7の場合であれば、-a2方向と+a3方向とに交互に沿って被照射領域RE21、RE22、RE23、RE24、RE25・・・が形成されている。

10

【0092】

係る態様にて単位パルス光が照射された場合も、第1および第2加工パターンと同様に、それぞれの単位パルス光の照射に伴って、被照射領域の間に劈開/裂開面が形成される。図7(b)に示す場合であれば、被照射領域RE21、RE22、RE23、RE24、RE25・・・がこの順に形成されることで、劈開/裂開面C21、C22、C23、C24・・・が順次に形成される。

【0093】

結果として、第3加工パターンにおいては、加工予定線Lを軸とする千鳥状の配置にて離散的に存在する複数の被照射領域と、それぞれの被照射領域の間に形成される劈開/裂開面とが、全体として、被加工物を加工予定線Lに沿って分割する際の分割起点となる。

20

【0094】

そして、当該分割起点に沿って実際に分割を行った場合には、第2加工パターンと同様に、分割後の被加工物の断面の表面から10μm前後の範囲においては、劈開/裂開面による数μmピッチの凹凸が形成される。しかも、それぞれの劈開/裂開面には、第1および第2加工パターンの場合と同様に、単位パルス光の照射に起因して特定の結晶面に滑りが生じたことに伴うサブミクロンピッチの凹凸が生じる。また、直接変質領域の形成態様も第2加工パターンと同様である。すなわち、第3加工パターンにおいても、加工痕の形成は第2加工パターンと同程度に抑制される。

30

【0095】

従って、このような第3加工パターンによる加工の場合も、第2パターンによる加工と同様、劈開/裂開面に形成されたサブミクロンピッチの凹凸に加えて、劈開/裂開面同士により数μm程度のピッチの凹凸が形成されるので、第3加工パターンによる加工を、発光素子を対象に行った場合も、得られた発光素子は、上述したような光の取り出し効率の向上という観点からはより好適なものとなる。

【0096】

なお、被加工物の種類によっては、より確実に劈開/裂開を生じさせるべく、いずれも加工予定線L上の位置である、図7(b)の被照射領域RE21と被照射領域RE22の中点、被照射領域RE22と被照射領域RE23の中点、被照射領域RE23と被照射領域RE24の中点、被照射領域RE24と被照射領域RE25の中点・・・にも、被照射領域を形成するようにしてもよい。

40

【0097】

ところで、第3加工パターンにおける被照射領域の配置位置は、部分的には劈開/裂開容易方向に沿っている。上述のように加工予定線L上の中点位置にも被照射領域を形成する場合についても同様である。すなわち、第3加工パターンは、少なくとも2つの被照射領域を、被加工物の劈開/裂開容易方向において隣り合わせて形成する、という点で、第1加工パターンと共通するという点もできる。従って、見方を変えれば、第3加工パターンは、レーザー光を走査する方向を周期的に違えつつ第1加工パターンによる加工を行っているものであると捉えることもできる。

50

【 0 0 9 8 】

また、第1および第2加工パターンの場合、被照射領域が一直線上に位置するので、レーザー光の出射源を加工予定線に沿って一直線上に移動させ、所定の形成対象位置に到達するたびに単位パルス光を照射して被照射領域を形成すればよく、係る形成態様が最も効率的である。ところが、第3加工パターンの場合、被照射領域を一直線上にではなく千鳥状に（ジグザグに）形成するので、レーザー光の出射源を実際に千鳥状に（ジグザグに）移動させる手法だけでなく、種々の手法にて被照射領域を形成することができる。なお、本実施の形態において、出射源の移動とは、被加工物と出射源との相対移動を意味しており、被加工物が固定されて出射源が移動する場合のみならず、出射源が固定されて被加工物が移動する（実際には被加工物を載置するステージが移動する）態様も含んでいる。

10

【 0 0 9 9 】

例えば、出射源とステージとを加工予定線に平行に等速で相対移動させつつ、レーザー光の出射方向を加工予定線に垂直な面内にて周期的に変化させることなどによって、上述のような千鳥状の配置関係をみたく態様にて被照射領域を形成することも可能である。

【 0 1 0 0 】

あるいは、複数の出射源を平行に等速で相対移動させつつ、個々の出射源からの単位パルス光の照射タイミングを周期的に変化させることで、上述のような千鳥状の配置関係をみたく態様にて被照射領域を形成することも可能である。

【 0 1 0 1 】

図8は、これら2つの場合の加工予定線と被照射領域の形成予定位置との関係を示す図である。いずれの場合も、図8に示すように、被照射領域RE21、RE22、RE23、RE24、RE25・・・の形成予定位置P21、P22、P23、P24、P25・・・をあたかも加工予定線Lに平行な直線L₁、L₂上に交互に設定し、直線L₁に沿った形成予定位置P21、P23、P25・・・での被照射領域の形成と、直線L₂に沿った形成予定位置P22、P24・・・での被照射領域の形成とを、同時並行的に行うものと捉えることができる。

20

【 0 1 0 2 】

なお、出射源を千鳥状に（ジグザグに）移動させる場合、レーザー光の出射源を直接移動させるにせよ、被加工物が載置されるステージを移動させることによってレーザー光を相対的に走査させるにせよ、出射源あるいはステージの移動は二軸同時動作となる。これに対して、出射源あるいはステージのみを加工予定線に平行に移動させる動作は一軸動作である。従って、出射源の高速移動つまりは加工効率の向上を実現するうえにおいては、後者の方がより適しているといえる。

30

【 0 1 0 3 】

以上の各加工パターンに示すように、本実施の形態において行われる劈開/裂開加工は、単位パルス光の離散的な照射を、主に被加工物において連続的な劈開/裂開を生じさせるための衝撃や応力を付与する手段として用いる加工態様である。被照射領域における被加工物の変質（つまりは加工痕の形成）や飛散などは、あくまで付随的なものとして局所的に生じるものに過ぎない。このような特徴を有する本実施の形態の劈開/裂開加工は、単位パルス光の照射領域をオーバーラップさせつつ、連続的あるいは断続的に変質・溶融・蒸発除去を生じさせることによって加工を行う従来の加工手法とは、そのメカニズムが本質的に異なるものである。

40

【 0 1 0 4 】

そして、個々の被照射領域に瞬間的に強い衝撃や応力が加わればよいので、レーザー光を高速で走査しつつ照射することが可能である。具体的には、最大で1000mm/secという極めて高速走査つまりは高速加工が実現可能である。従来の加工方法での加工速度はせいぜい200mm/sec程度であることを鑑みると、その差異は顕著である。当然ながら、本実施の形態において実現される加工方法は従来の加工方法に比して各段に生産性を向上させるものであるといえる。

【 0 1 0 5 】

50

なお、本実施の形態における劈開／裂開加工は、上述の各加工パターンのように被加工物の結晶方位（劈開／裂開容易方向の方位）と加工予定線とが所定の関係にある場合に特に有効であるが、適用対象はこれらに限られず、原理的には、両者が任意の関係にある場合や被加工物が多結晶体である場合にも適用可能である。これらの場合、加工予定線に対して劈開／裂開が生じる方向が必ずしも一定しないため、分割起点に不規則な凹凸が生じ得るが、被照射領域の間隔や、パルス幅を初めとするレーザー光の照射条件を適宜に設定することで、係る凹凸が加工誤差の許容範囲内に留まった実用上問題のない加工が行える。

【0106】

<レーザー加工装置の概要>

次に、上述した種々の加工パターンによる加工を実現可能なレーザー加工装置について説明する。

【0107】

図9は、本実施の形態に係るレーザー加工装置50の構成を概略的に示す模式図である。レーザー加工装置50は、レーザー光照射部50Aと、観察部50Bと、例えば石英などの透明な部材からなり、被加工物10をその上に載置するステージ7と、レーザー加工装置50の種々の動作（観察動作、アライメント動作、加工動作など）を制御するコントローラ1とを主として備える。レーザー光照射部50Aは、レーザー光源SLと光学系5とを備え、ステージ7に載置された被加工物10にレーザー光を照射する部位であり、上述した、レーザー光の出射源に相当する。観察部50Bは、該被加工物10をレーザー光が照射される側（これを表面と称する）から直接に観測する表面観察と、ステージ7に載置された側（これを裏面と称する）から該ステージ7を介して観察する裏面観察とを行う部位である。

【0108】

ステージ7は、移動機構7mによってレーザー光照射部50Aと観察部50Bとの間で水平方向に移動可能とされてなる。移動機構7mは、図示しない駆動手段の作用により水平面内で所定のXY2軸方向にステージ7を移動させる。これにより、レーザー光照射部50A内におけるレーザー光照射位置の移動や、観察部50B内における観察位置の移動や、レーザー光照射部50Aと観察部50Bとの間のステージ7の移動などが実現されてなる。なお、移動機構7mについては、所定の回転軸を中心とした、水平面内における回転（回転）動作も、水平駆動と独立に行えるようになっている。

【0109】

また、レーザー加工装置50においては、表面観察と裏面観察とを適宜に切り替え可能に行えるようになっている。これにより、被加工物10の材質や状態に応じた最適な観察を柔軟かつ速やかに行うことができる。

【0110】

ステージ7は、石英など透明な部材で形成されているが、その内部には、被加工物10を吸着固定するための吸気通路となる図示しない吸引用配管が設けられてなる。吸引用配管は、例えば、ステージ7の所定位置を機械加工により削孔することにより設けられる。

【0111】

被加工物10をステージ7の上に載置した状態で、例えば吸引ポンプなどの吸引手段11により吸引用配管に対し吸引を行い、吸引用配管のステージ7載置面側先端に設けられた吸引孔に対し負圧を与えることで、被加工物10（および固定シート4）がステージ7に固定されるようになっている。なお、図9においては、加工対象である被加工物10が固定シート4に貼り付けられている場合を例示しているが、好ましくは、固定シート4の外縁部には該固定シート4を固定するための図示しない固定リング（図12参照）が配置される。

【0112】

<照明系および観察系>

観察部50Bは、ステージ7に載置された被加工物10に対してステージ7の上方から

10

20

30

40

50

落射照明光源 S 1 からの落射照明光 L 1 の照射と斜光照明光源 S 2 からの斜光透過照明光 L 2 の照射とを重畳的に行いつつ、ステージ 7 の上方側からの表面観察手段 6 による表面観察と、ステージ 7 の下方側からの裏面観察手段 1 6 による裏面観察とを、行えるように構成されている。

【 0 1 1 3 】

具体的には、落射照明光源 S 1 から発せられた落射照明光 L 1 が、図示を省略する鏡筒内に設けられたハーフミラー 9 で反射され、被加工物 1 0 に照射されるようになっている。また、観察部 5 0 B は、ハーフミラー 9 の上方（鏡筒の上方）に設けられた C C D カメラ 6 a と該 C C D カメラ 6 a に接続されたモニタ 6 b とを含む表面観察手段 6 を備えており、落射照明光 L 1 を照射させた状態でリアルタイムに被加工物 1 0 の明視野像の観察を行うことができるようになっている。

10

【 0 1 1 4 】

また、観察部 5 0 B においては、ステージ 7 の下方に、より好ましくは、後述するハーフミラー 1 9 の下方（鏡筒の下方）に設けられた C C D カメラ 1 6 a と該 C C D カメラ 1 6 a に接続されたモニタ 1 6 b とを含む裏面観察手段 1 6 を備えている。なお、モニタ 1 6 b と表面観察手段 6 に備わるモニタ 6 b とは共通のものであってもよい。

【 0 1 1 5 】

また、ステージ 7 の下方に備わる同軸照明光源 S 3 から発せられた同軸照明光 L 3 が、図示を省略する鏡筒内に設けられたハーフミラー 1 9 で反射され、集光レンズ 1 8 にて集光されたうえで、ステージ 7 を介して被加工物 1 0 に照射されるようになっている。さらに好ましくは、ステージ 7 の下方に斜光照明光源 S 4 を備えており、斜光照明光 L 4 を、ステージ 7 を介して被加工物 1 0 に対して照射できるようになっている。これらの同軸照明光源 S 3 や斜光照明光源 S 4 は、例えば被加工物 1 0 の表面側に不透明な金属層などがあって表面側からの観察が該金属層からの反射が生じて困難な場合など、被加工物 1 0 を裏面側から観察する際に好適に用いることができる。

20

【 0 1 1 6 】

< レーザ光源 >

レーザー光源 S L としては、波長が 5 0 0 n m ~ 1 6 0 0 n m のものを用いる。また、上述した加工パターンでの加工を実現するべく、レーザー光 L B のパルス幅は 1 p s e c ~ 5 0 p s e c 程度である必要がある。また、繰り返し周波数 R は 1 0 k H z ~ 2 0 0 k H z 程度、レーザー光の照射エネルギー（パルスエネルギー）は 0 . 1 μ J ~ 5 0 μ J 程度であるのが好適である。

30

【 0 1 1 7 】

なお、レーザー光源 S L から出射されるレーザー光 L B の偏光状態は、円偏光であっても直線偏光であってもよい。ただし、直線偏光の場合、結晶性被加工材料中での加工断面の曲がりエネルギー吸収率の観点から、偏光方向が走査方向と略平行にあるように、例えば両者のなす角が ± 1 ° 以内にあるようにされることが好ましい。

【 0 1 1 8 】

< 光学系 >

光学系 5 は、レーザー光が被加工物 1 0 に照射される際の光路を設定する部位である。光学系 5 によって設定された光路に従って、被加工物の所定の照射位置（被照射領域の形成予定位置）にレーザー光が照射される。

40

【 0 1 1 9 】

図 1 0 は、光学系 5 の構成を例示する模式図である。光学系 5 は、ビームエキスパンダー 5 1 と対物レンズ系 5 2 とを主として備える。また、光学系 5 には、レーザー光 L B の光路の向きを変換する目的で、適宜の個数のミラー 5 a が適宜に位置に設けられていてもよい。図 1 0 においては、2 つのミラー 5 a が設けられた場合を例示している。

【 0 1 2 0 】

また、出射光が直線偏光の場合、光学系 5 がアッテネータ 5 b を備えることが好ましい。アッテネータ 5 b はレーザー光 L B の光路上の適宜の位置に配置され、出射されたレー

50

レーザー光LBの強度を調整する役割を担う。

【0121】

なお、図10に例示する光学系5では、加工処理の間、レーザー光源SLから発せられたレーザー光LBは、その光路を固定された状態で被加工物10に照射されるように設けられている。これに加えて、レーザー光源SLから発せられたレーザー光LBが被加工物10に対して照射される際のレーザー光LBの光路を実際にあるいは仮想的に複数設定するとともに、光路設定手段5c(図11)によって、レーザー光LBの個々の単位パルス光が被加工物に対して照射される際の光路を、設定した複数の光路の中で順次に切り替えることが可能に構成されていてもよい。後者の場合、被加工物10の上面の複数箇所において同時並行的な走査が行われる状態、あるいは、仮想的にそのようにみなされる状態が実現される。換言すれば、これは、レーザー光LBの光路をマルチ化しているといえる。

10

【0122】

なお、図9においては、3つのレーザー光LB0、LB1、LB2により3箇所で行われる場合を例示しているが、光学系5による光路のマルチ化の様子は必ずしもこれには限定されない。光学系5の具体的な構成例については後述する。

【0123】

<コントローラ>

コントローラ1は、上述の各部の動作を制御し、後述する種々の態様での被加工物10の加工処理を実現させる制御部2と、レーザー加工装置50の動作を制御するプログラム3pや加工処理の際に参照される種々のデータを記憶する記憶部3とをさらに備える。

20

【0124】

制御部2は、例えばパーソナルコンピュータやマイクロコンピュータなどの汎用のコンピュータによって実現されるものであり、記憶部3に記憶されているプログラム3pが該コンピュータに読み込まれ実行されることにより、種々の構成要素が制御部2の機能的構成要素として実現される。

【0125】

具体的には、制御部2は、移動機構7mによるステージ7の駆動や集光レンズ18の合焦動作など、加工処理に関係する種々の駆動部分の動作を制御する駆動制御部21と、CCDカメラ6aおよび16aによる撮像を制御する撮像制御部22と、レーザー光源SLからのレーザー光LBの照射および光学系5における光路の設定態様を制御する照射制御部23と、吸引手段11によるステージ7への被加工物10の吸着固定動作を制御する吸着制御部24と、与えられた加工位置データD1(後述)および加工モード設定データD2(後述)に従って加工対象位置への加工処理を実行させる加工処理部25とを、主として備える。

30

【0126】

記憶部3は、ROMやRAMおよびハードディスクなどの記憶媒体によって実現される。なお、記憶部3は、制御部2を実現するコンピュータの構成要素によって実現される態様であってもよいし、ハードディスクの場合など、該コンピュータとは別体に設けられる態様であってもよい。

【0127】

記憶部3には、被加工物10について設定された加工予定線の位置を記述した加工位置データD1が外部から与えられて記憶される。また、記憶部3には、レーザー光の個々のパラメータについての条件や光学系5における光路の設定条件やステージ7の駆動条件(あるいはそれらの設定可能範囲)などが加工モードごとに記述された、加工モード設定データD2が、あらかじめ記憶されている。

40

【0128】

なお、レーザー加工装置50に対してオペレータが与える種々の入力指示は、コントローラ1において実現されるGUIを利用して行われるのが好ましい。例えば、加工処理部25の作用により加工処理用メニューがGUIにて提供される。オペレータは、係る加工処理用メニューに基づいて、後述する加工モードの選択や、加工条件の入力などを行う。

50

【 0 1 2 9 】

< アライメント動作 >

レーザー加工装置 5 0 においては、加工処理に先立ち、観察部 5 0 B において、被加工物 1 0 の配置位置を微調整するアライメント動作が行えるようになっている。アライメント動作は、被加工物 1 0 に定められている X Y 座標軸をステージ 7 の座標軸と一致させるために行う処理である。係るアライメント処理は、上述した加工パターンでの加工を行う場合に、被加工物の結晶方位と加工予定線とレーザー光の走査方向とが各加工パターンにおいて求められる所定の関係をみたくするうえで重要である。

【 0 1 3 0 】

アライメント動作は、公知の技術を適用して実行することが可能であり、加工パターンに応じて適宜の態様にて行われればよい。例えば、1つの母基板を用いて作製された多数個のデバイスチップを切り出す場合など、被加工物 1 0 の表面に繰り返しパターンが形成されているような場合であれば、パターンマッチングなどの手法を用いることで適切なアライメント動作が実現される。この場合、概略的にいえば、被加工物 1 0 に形成されている複数のアライメント用マークの撮像画像を CCD カメラ 6 a あるいは 1 6 a が取得し、それらの撮像画像の撮像位置の相対的關係に基づいて加工処理部 2 5 がアライメント量を特定し、駆動制御部 2 1 が該アライメント量に応じて移動機構 7 m によりステージ 7 を移動させることによって、アライメントが実現される。

【 0 1 3 1 】

係るアライメント動作を行うことによって、加工処理における加工位置が正確に特定される。なお、アライメント動作終了後、被加工物 1 0 を載置したステージ 7 はレーザー光照射部 5 0 A へと移動し、引き続いてレーザー光 L B を照射することによる加工処理が行われることになる。なお、観察部 5 0 B からレーザー光照射部 5 0 A へのステージ 7 の移動は、アライメント動作時に想定された加工予定位置と実際の加工位置とがずれないように保証されている。

【 0 1 3 2 】

< 加工処理の概略 >

次に、本実施の形態に係るレーザー加工装置 5 0 における加工処理について説明する。レーザー加工装置 5 0 においては、レーザー光源 S L から発せられ光学系 5 を経たレーザー光 L B の照射と、被加工物 1 0 が載置固定されたステージ 7 の移動とを組み合わせることによって、光学系 5 を経たレーザー光を被加工物 1 0 に対して相対的に走査させつつ被加工物 1 0 の加工を行えるようになっている。

【 0 1 3 3 】

レーザー加工装置 5 0 においては、レーザー光 L B を（相対的に）走査することによる加工処理のモード（加工モード）として、基本モードとマルチモードとを択一的に選択可能となっている点で特徴的である。これらの加工モードは、上述した光学系 5 における光路の設定態様に依りて設けられてなる。

【 0 1 3 4 】

基本モードは、レーザー光源 S L から発せられたレーザー光 L B の光路を固定的に定めるモードである。基本モードでは、レーザー光 L B は常に1つの光路を通り、被加工物 1 0 を載置したステージ 7 を所定の速度で移動させることで、レーザー光が被加工物 1 0 を一方向に走査する態様での加工が実現される。図 1 0 に例示した光学系 5 の場合は、係る基本モードでの加工のみが可能である。

【 0 1 3 5 】

基本モードは、上述の第 1 および第 2 加工パターンでの加工を行う場合に好適に用いられる。すなわち、加工予定線 L が劈開 / 裂開容易方向に平行に設定された被加工物 1 0 について、該劈開 / 裂開容易方向とステージ 7 の移動方向とが一致するように被加工物 1 0 をアライメントしたうえで、基本モードでの加工を行うことで、第 1 加工パターンの加工が行える。一方、加工予定線 L が劈開 / 裂開容易方向に垂直に設定された被加工物 1 0 について、該劈開 / 裂開容易方向とステージ 7 の移動方向とが直交するように被加工物 1 0

10

20

30

40

50

をアライメントしたうえで、基本モードでの加工を行うことで、第2加工パターンの加工が行える。

【0136】

また、原理的には、ステージ7の移動方向を適宜変更することで、第3加工パターンでの加工にも適用可能である。

【0137】

一方、マルチモードは、レーザー光LBの光路を実体的にあるいは仮想的にマルチ化して複数の光路を設定するモードである。これは、例えば、図8に示したような、加工予定線Lに平行な直線L₁、L₂あるいはさらに加工予定線L自体に沿って、実体的にあるいは仮想的に複数のレーザー光を走査させることで、結果として、加工予定線Lに繰り返し交差する態様にてレーザー光を走査した場合と同様の加工を実現するモードである。なお、仮想的に複数のレーザー光を走査させるとは、実際には基本モードと同様に1つの光路にてレーザー光を照射するもののその光路を時間的に変化させることで、複数の光路にてレーザー光を照射する場合と同様の走査態様を実現されることをいう。

10

【0138】

マルチモードは、第3加工パターンでの加工を行う場合に好適に用いられる。すなわち、第2加工パターンの場合と同様に、加工予定線Lが劈開/裂開容易方向に垂直に設定された被加工物10について、該劈開/裂開容易方向とステージ7の移動方向とが直交するように被加工物10をアライメントしたうえで、マルチモードでの加工を行うことで、第3加工パターンの加工が行える。

20

【0139】

加工モードは、例えば、加工処理部25の作用によりコントローラ1においてオペレータに利用可能に提供される加工処理メニューに従って選択できるのが好適である。加工処理部25は、加工位置データD1を取得するとともに選択された加工パターンに対応する条件を加工モード設定データD2から取得し、当該条件に応じた動作が実行されるよう、駆動制御部21や照射制御部23その他を通じて対応する各部の動作を制御する。

【0140】

例えば、レーザー光源SLから発せられるレーザー光LBの波長や出力、パルスの繰り返し周波数、パルス幅の調整などは、コントローラ1の照射制御部23により実現される。加工モード設定データD2に従った所定の設定信号が加工処理部25から照射制御部23に対し発せられると、照射制御部23は、該設定信号に従って、レーザー光LBの照射条件を設定する。

30

【0141】

また、特にマルチモードで加工を行う場合、照射制御部23は、レーザー光源SLからの単位パルス光の出射タイミングに、光路設定手段5cによる光路の切り替えタイミングを同期させる。これにより、個々の被照射領域の形成予定位置に対し、光路設定手段5cが設定した複数の光路のうちの該形成予定位置に対応する光路にて単位パルス光が照射される。

【0142】

なお、レーザー加工装置50においては、加工処理の際、必要に応じて、合焦位置を被加工物10の表面から意図的にずらしたデフォーカス状態で、レーザー光LBを照射することも可能となっている。これは例えば、ステージ7と光学系5との相対距離を調整することによって実現される。

40

【0143】

<光路設定手段の構成例とその動作>

次に、光路設定手段5cの具体的構成と、その動作の例について、主にマルチモードにおける動作を対象に説明する。

【0144】

なお、以降の説明では、加工処理に際しては、被加工物10が載置されたステージ7を加工予定線Lの延在方向と一致する移動方向Dに沿って移動させつつ加工が行われるもの

50

とする。

【0145】

また、マルチモードでの動作においては、加工予定線 L 上への被照射領域 R E の形成に際し照射されるのがレーザー光 L B 0 であり、加工予定線 L に平行な直線 L 上への被照射領域 R E の形成に際し照射されるのがレーザー光 L B 1 であり、同じく加工予定線 L に平行で、加工予定線 L について対称な位置にある直線 L 上への被照射領域 R E の形成に際し照射されるのが、レーザー光 L B 2 であるとする。

【0146】

また、マルチモードでの第3加工パターンの加工は、順次にあるいは同時に形成される複数の被照射領域が劈開/裂開容易方向に沿って位置するようにすることで実現される。

10

【0147】

図11は、光路設定手段5cの構成を模式的に示す図である。光路設定手段5cは、光学系5の一構成要素として設けられる。光路設定手段5cは、複数のーフミラー53と、ミラー54と、光路選択機構55とを備える。

【0148】

ーフミラー53とミラー54とは、レーザー光源SLから出射されるレーザー光LBの光路をステージ7の移動方向Dに垂直な面内方向に分岐させて複数の光路(レーザー光LB0、LB1、LB2の光路)を形成させるべく設けられる。なお、ーフミラー53の数は、光路の数に応じて定まる。図11においては3つの光路を得るために2つのーフミラー53が設けられている。これらーフミラー53およびミラー54を備えることにより、レーザー光LBを出射させつつステージ7を移動させることで、複数のレーザー光が被加工物10を走査する状態が実現される。

20

【0149】

光路選択機構55は、複数の光路における被加工物10へのレーザー光の出射タイミングを制御するために備わる。より具体的には、光路選択機構55は、ーフミラー53およびミラー54によって分岐したそれぞれのレーザー光の光路の途中に光学スイッチSWを備えている。光学スイッチSWは、例えばAOM(音響光学変調器)やEOM(電気光学器)などで構成され、ON状態のときに入射したレーザー光を通過させ、OFF状態のときには入射したレーザー光を遮断あるいは減衰させる(非通過状態とさせる)機能を有する。これにより、光路選択機構55においては、ON状態となっている光学スイッチSWを通過するレーザー光のみが被加工物10に照射されるようになっている。

30

【0150】

このような構成を有する光路設定手段5cを備えるレーザー加工装置50のマルチモードでの動作は、照射制御部23が、繰り返し周波数Rに従うレーザー光LBの単位パルス光の出射タイミングに応じてレーザー光LB0、LB1、LB2の光路上の光学スイッチSWが順次にかつ周期的にON状態となるように、それぞれの光学スイッチSWのON/OFF動作を制御することによって実現される。係る制御によって、各レーザー光LB0、LB1、LB2が被照射領域を形成するタイミングに達するときだけそれぞれのレーザー光LB0、LB1、LB2が光路選択機構55を通過して被加工物10に照射されることになる。

40

【0151】

すなわち、被加工物10に対して照射されるレーザー光の光路が実際に複数設けられ、これら複数のレーザー光を、それぞれの単位パルス光の照射タイミングを違えつつ同時並行的に走査させることで、マルチモードでの動作が行われている。

【0152】

なお、基本モードでの動作は、例えば、レーザー光LB0、LB1、LB2のいずれかが1つの光路上の光学スイッチSWのみを常にON状態としてレーザー光LBを出射し、ステージ7を移動させることによって可能である。

【0153】

< 劈開/裂開加工の高効率化 >

50

上述の劈開／裂開加工は、単位パルス光の照射によって生じる衝撃や応力を利用して、被加工物に劈開／裂開を生じさせる手法である。それゆえ、個々の単位パルス光の照射に際して被加工物に作用する衝撃や応力が大きいほど、被加工物のより深いところまで劈開／裂開が生じ、被加工物のより深い部分にまで分割起点の先端部分が到達することとなる。このような加工を実現するには、単位パルス光が照射される度に被加工物に与えられるエネルギーをできるだけ逃がさず、劈開／裂開面の形成に寄与させることが望ましい。

【0154】

例えば、パルスレーザー光が照射されることで、被照射領域に存在していた物質の一部は運動エネルギーを得て外部へと高速で飛散する。このような物質の飛散を抑制して当該飛散に際して消費されるはずであったエネルギーをも被加工物における劈開／裂開面の形成に寄与させるようにすれば、より効率的に劈開／裂開面を形成することができる。

10

【0155】

本実施の形態においては、以上の観点を踏まえて、劈開／裂開加工の効率化を行う。概略的にいえば、本実施の形態においては、液層形成機構によって、被加工物の被加工面上に、劈開／裂開加工に用いるパルスレーザー光に対して透明な液体（以下、透明液体）による液層を形成した状態で、上述の各加工パターンにて劈開／裂開加工を行う。パルスレーザー光に対して透明であるとは、照射されたパルスレーザー光を実質的に吸収しないということの意味する。なお、本実施の形態では、液体自体の材質としてはパルスレーザー光を吸収し得るが、液層の厚みが薄いために実質的な吸収が生じない場合も、透明液体に含まれるものとする。例えば、パルスレーザー光が可視光やUV光である場合、透明液体として水を用いることができる。具体的な透明液体の種類を選択は、使用するパルスレーザー光の波長その他の要件に応じて適宜になされてよい。

20

【0156】

このように透明液体からなる液層を形成した状態で、上述の各加工パターンにて劈開／裂開加工を行った場合、被照射領域からの物質の飛散は液層によって抑制されて事実上起こらないため、単位パルス光によって与えられたエネルギーの劈開／裂開面の形成に対する寄与が、液層を設けない場合に比して高まる。その結果、液層を設けない場合よりも、先端部が深い位置にまで達した分割起点が、形成される。

【0157】

<液層の形成>

以下、上述のような液層の形成を実現する種々の態様について、順次説明する。

30

【0158】

（第1の形成態様）

図12は、液層の第1の形成態様を例示する側断面図である。図12においては、被加工物101を貼り付けた固定シート102がステージ7に載置され、かつその外縁部に固定リング103が載置されている。なお、図12においては、被加工物101がサファイア基板1011とその上にIII族窒化物などによって形成されたLED構造1012とからなる場合を例示している（以降の各図においても同様）。

【0159】

さらに、ステージ7上の外周部分には、筒状部材71が配置されている。筒状部材71は、ステージ7の輪郭形状に対応した外形形状を有してなり、ステージ7と一体となって透明液体104が貯留される貯留槽72を構成する。筒状部材71は、ステージ7に対して、接着・螺合その他の透明液体に対する密閉性を確保する態様にて固定されてなる。換言すれば、貯留槽72は、ステージ7を底部とし、筒状部材71を側壁部として構成されてなる。なお、筒状部材71はステージ7に対して着脱自在であってもよい。

40

【0160】

また、貯留槽72の側壁部である筒状部材71には、透明液体104を図示しない所定の供給源より供給するための供給口73と、透明液体104を貯留槽72から排出するための排出口74とが設けられてなる。固定シート102と固定リング103とを用いてステージ7に被加工物101を固定した状態で、矢印AR1に示すように外部より透明液体

50

104を貯留槽72に供給することで、貯留槽72に透明液体104が貯留され、被加工物101が透明液体104に浸漬される。これにより、被加工面101aに隣接する態様にて、透明液体104からなる液層105が形成される。すなわち、本実施の形態に係るレーザー加工装置50においては、ステージ7を含む貯留槽72と供給口73および排出口74にて、液層形成機構70が構成されてなる。

【0161】

係る態様にて液層105を形成した状態でパルスレーザー光LBを照射し、上述の各加工パターンにて劈開/裂開加工を行った場合、被加工面101aにおけるパルスレーザー光LBの被照射領域からの物質の飛散が、被加工面101aに隣接する当該液層105によって抑制される。すなわち、液層105を形成することにより、パルスレーザー光LBのエネルギーの利用効率を高めた良好な劈開/裂開加工が実現される。

10

【0162】

好ましくは、少なくともパルスレーザー光LBを照射して劈開/裂開加工を行っている間、矢印AR1にて示す供給口73からの透明液体104の供給と、矢印AR2にて示す排出口74からの透明液体104の排出とを、連続的または断続的に行うようにする。このようにした場合、被加工面101aにおいては矢印AR3に示すような透明液体104の流れ、つまりは流液層が形成される。係る流液層を形成した状態で劈開/裂開加工を行った場合、加工時に被加工物101から脱離等した物質による濁りなどが生じて液層105の透明度が低下したとしても、被加工面101aの上には速やかに新たな透明液体104が供給されるので、加工を行っている間、加工精度が好適に維持される。

20

【0163】

ただし、供給口73および排出口74は液層形成機構70において必須の構成要素ではなく、加工の前後においてそれぞれ、筒状部材71の上方から透明液体104を供給あるいは排出する態様であっても、液層105を設けることの効果は得られる。

【0164】

また、好ましくは、液層形成機構70は、貯留槽72の上部である筒状部材71の上部に、パルスレーザー光LBに対して透明な板状部材からなる窓部75を備える。少なくともパルスレーザー光LBを照射して劈開/裂開加工を行っている間、貯留槽72には、窓部75と接触する態様にて透明液体104が貯留される。すなわち、貯留槽72の内部は透明液体104で完全に充填される。なお、窓部75を構成する板状部材は、筒状部材71に沿って配置されたリング76によって筒状部材71との間の密閉性が確保される。係る態様にて窓部75を設けることにより、透明液体104の液面の波打ちが防止されるので、照射されたパルスレーザー光のエネルギーの利用効率がさらに高まる。

30

【0165】

(第2の形成態様)

図13は、液層の第2の形成態様を例示する側断面図である。図12に示す第1の形成態様と同様に、図13に示す第2の形成態様においても、被加工物101を貼り付けた固定シート102がステージ7に載置され、かつその外縁部に固定リング103が載置される。

40

【0166】

また、筒状部材71を含む液層形成機構70が構成されている点も第1の形成態様と同様であるが、第2の形成態様では、該筒状部材71が、被加工物101が貼り付けられている固定シート102の上に配置される点で、第1の形成態様とは異なる。すなわち、第2の形成態様においては、ステージ7の上に、固定シート102を底部とし、筒状部材71を側壁部とする貯留槽72が設けられる。筒状部材71は、加工の前には固定シート102に対して密閉性を確保する態様にて固定され、加工の終了後は該固定シート102から好適に分離される必要がある。これは例えば、固定シート102を挟んだ状態で筒状部材71とステージ7とを螺合するなどの態様によって実現される。

【0167】

液層形成機構70において、筒状部材71が、透明液体104を図示しない所定の供給

50

源より矢印 A R 1 のように供給するための供給口 7 3 と、透明液体 1 0 4 を貯留槽 7 2 から矢印 A R 2 のように排出するための排出口 7 4 とを備える点、および、加工の途中において連続的又は断続的に透明液体 1 0 4 を供給および排出して矢印 A R 3 のように被加工面 1 0 1 a の上に液層を形成するのが好ましい点は、第 1 の形成態様と同様である。加えて、液層形成機構 7 0 が窓部 7 5 を備えるのが好ましい点も、第 1 の形成態様と同様である。

【 0 1 6 8 】

係る第 2 の形成態様にて液層 1 0 5 を形成した状態でパルスレーザー光 L B を照射し、上述の各加工パターンにて劈開 / 裂開加工を行った場合も、被加工面 1 0 1 a におけるパルスレーザー光 L B の被照射領域からの物質の飛散が、被加工面 1 0 1 a に隣接する当該液層 1 0 5 によって抑制される。すなわち、第 2 の形成態様にて液層 1 0 5 を形成する場合も、パルスレーザー光 L B のエネルギーの利用効率を高めた良好な劈開 / 裂開加工が実現される。

10

【 0 1 6 9 】

(第 3 の形成態様)

図 1 4 は、液層の第 3 の形成態様を例示する側断面図である。第 3 の形成態様においては、ステージ 7 (図 1 4 においては図示省略) に載置固定された被加工物 1 0 1 の被加工面 1 0 1 a に対し、図示しない供給源に接続された吐出手段 8 0 から矢印 A R 4 に示すように透明液体 1 0 4 を直接に吐出させることによって、被加工面 1 0 1 a の上に液層 1 0 5 を形成する。より具体的には、被加工面 1 0 1 a のうち、少なくともパルスレーザー光 L B の被照射領域となっている部分に、液層 1 0 5 が形成されるように、吐出手段 8 0 は透明液体 1 0 4 を吐出する。すなわち、吐出手段 8 0 が液層 1 0 5 を形成する液層形成機構として機能する。係る場合、液層 1 0 5 は液層として形成されることになる。なお、流出した透明液体 1 0 4 を回収するための図示しない排出部が、ステージ 7 の下方に適宜に設けられる。

20

【 0 1 7 0 】

係る第 3 の形成態様にて液層 1 0 5 を形成した状態でパルスレーザー光 L B を照射し、上述の各加工パターンにて劈開 / 裂開加工を行った場合も、被加工面 1 0 1 a におけるパルスレーザー光 L B の被照射領域からの物質の飛散が、被加工面 1 0 1 a に隣接する当該液層 1 0 5 によって抑制される。すなわち、第 3 の形成態様にて液層 1 0 5 を形成する場合も、パルスレーザー光 L B のエネルギーの利用効率を高めた良好な劈開 / 裂開加工が実現される。

30

【 符号の説明 】

【 0 1 7 1 】

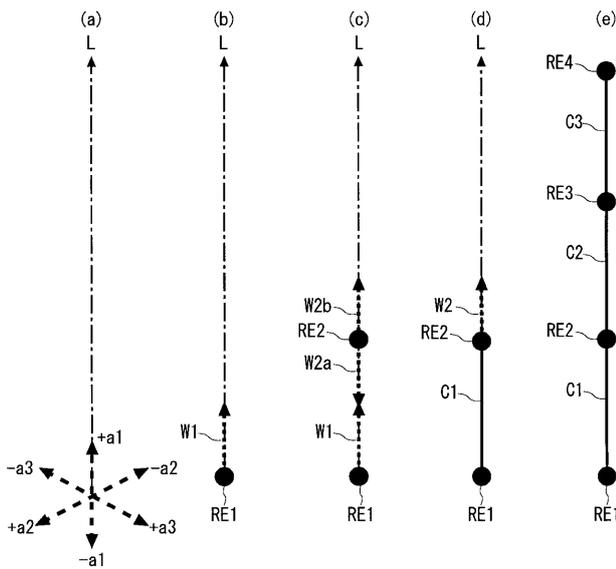
- 1 コントローラ
- 2 制御部
- 3 記憶部
- 4、1 0 2 固定シート
- 5 光学系
- 5 c 光路設定手段
- 7 ステージ
- 7 m 移動機構
- 1 0、1 0 1 被加工物
- 5 0 レーザー加工装置
- 5 1 ビームエキスパンダー
- 5 2 対物レンズ系
- 5 3 ハーフミラー
- 5 a、5 4 ミラー
- 5 5 光路選択機構
- 7 0 液層形成機構

40

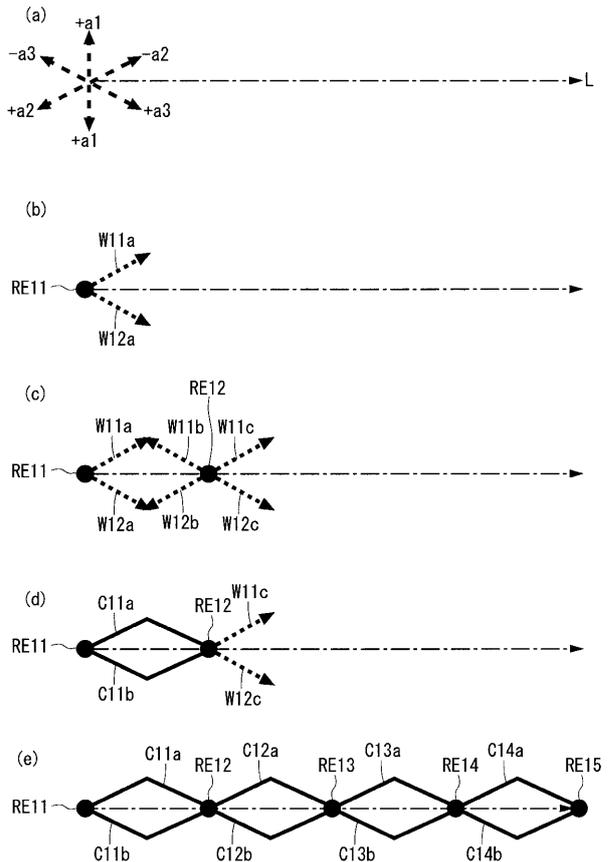
50

- 7 1 筒状部材
- 7 2 貯留槽
- 7 3 供給口
- 7 4 排出口
- 7 5 窓部
- 7 6 オリング
- 1 0 1 a (被加工物の)被加工面
- 1 0 3 固定リング
- 1 0 4 透明液体
- 1 0 5 液層
- C 1 ~ C 3、C 1 1 a、C 1 1 b、C 2 1 ~ C 2 4 劈開 / 裂開面
- D (ステージの)移動方向
- L 加工予定線
- L B、L B 0、L B 1、L B 2 レーザー光
- RE、RE 1 ~ RE 4、RE 1 1 ~ RE 1 5、RE 2 1 ~ RE 2 5 被照射領域
- S L レーザー光源
- S W 光学スイッチ

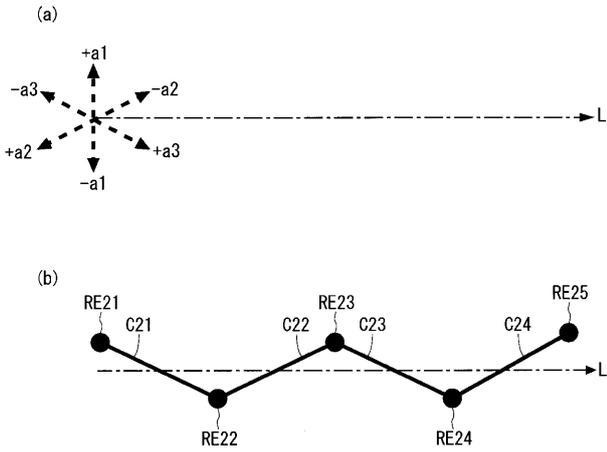
【 図 1 】



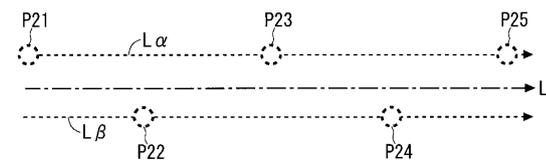
【 図 4 】



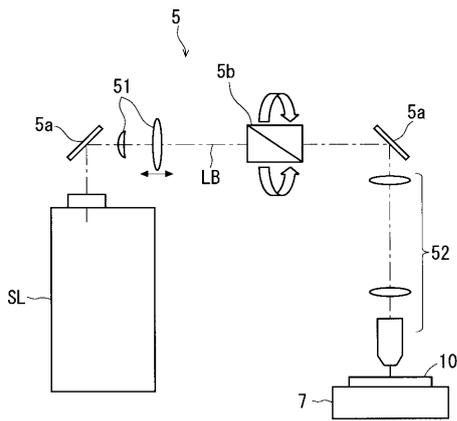
【 図 7 】



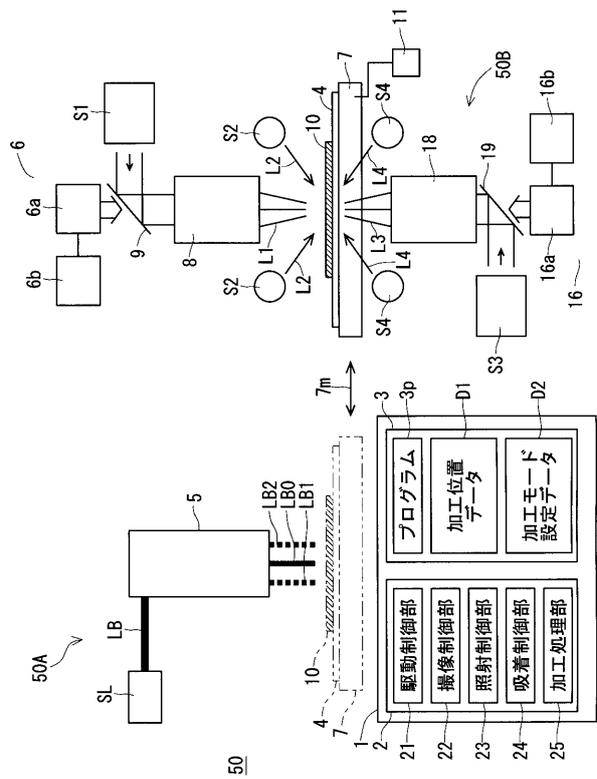
【 図 8 】



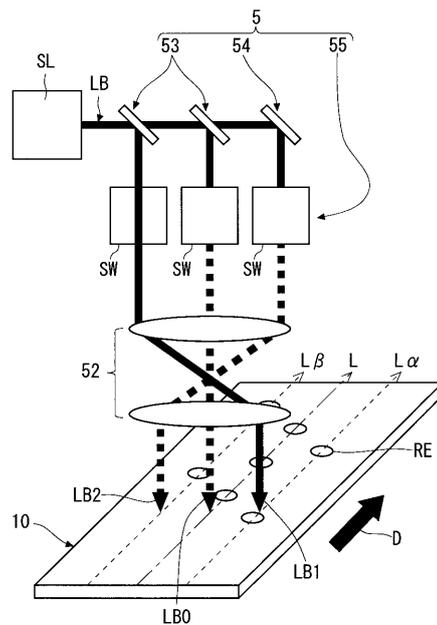
【 図 10 】



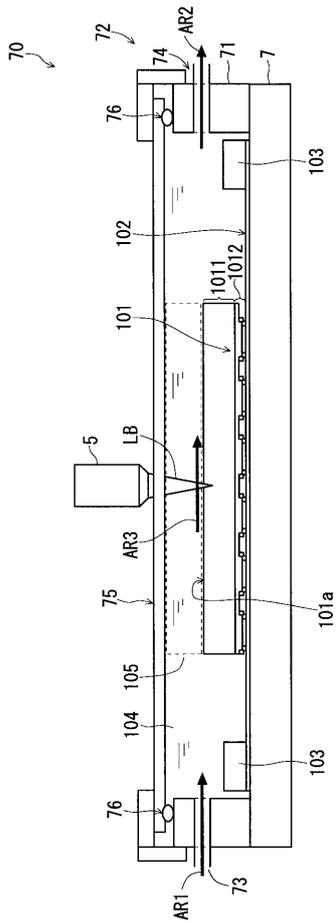
【 図 9 】



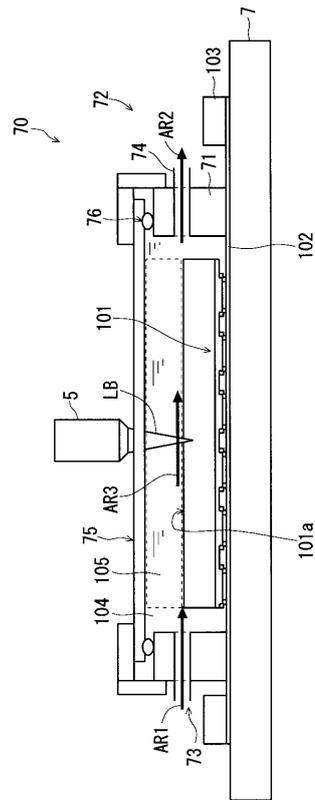
【 図 11 】



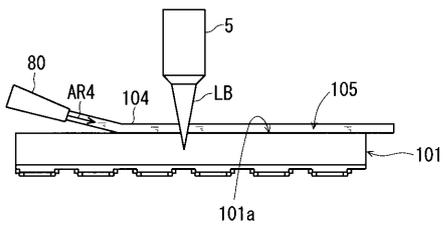
【 図 1 2 】



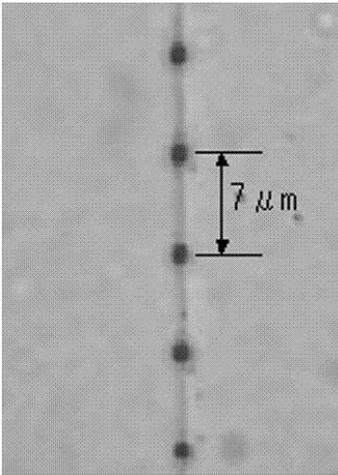
【 図 1 3 】



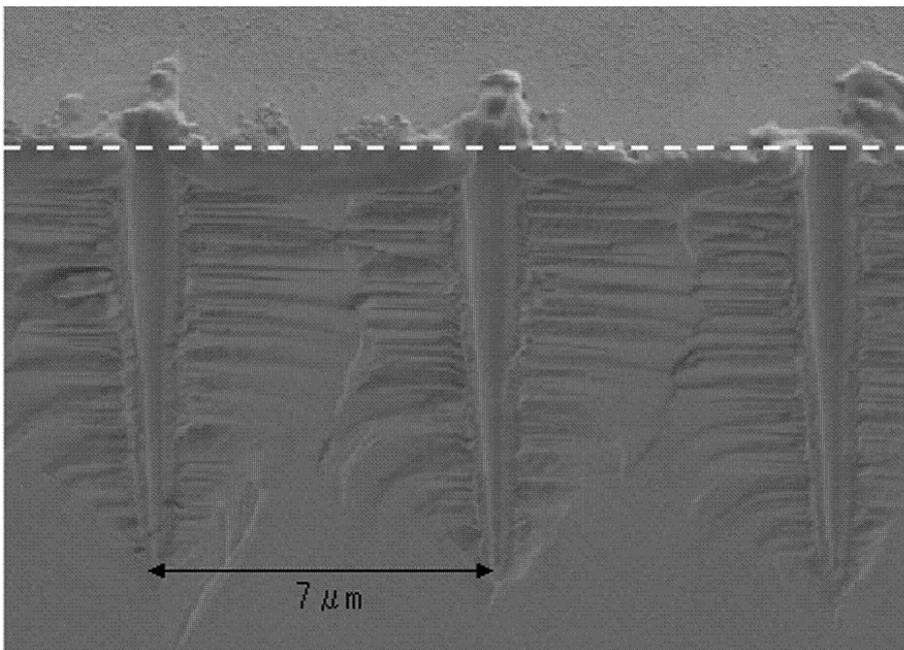
【 図 1 4 】



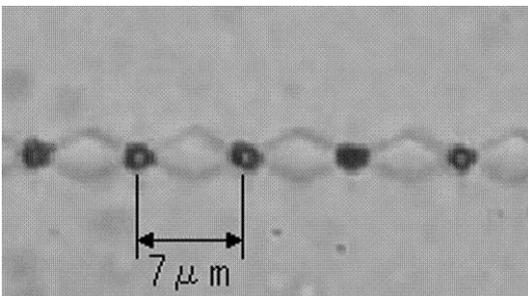
【 図 2 】



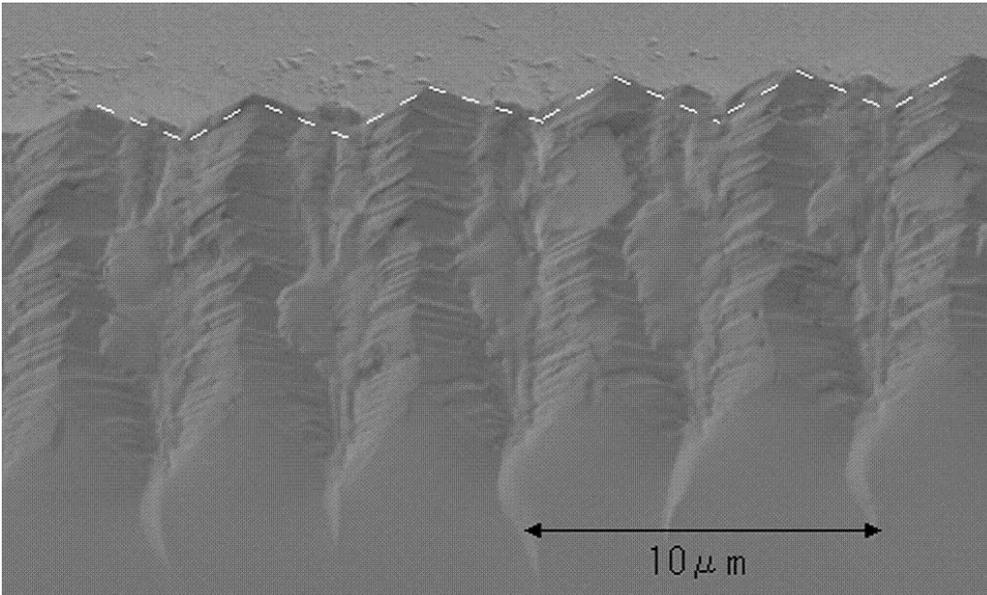
【 図 3 】



【 図 5 】



【 図 6 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
	H 0 1 L 21/78	V
	B 2 8 D 5/00	Z

(72)発明者 菅田 充

大阪府摂津市香露園3番12号 三星ダイヤモンド工業株式会社内

Fターム(参考) 3C069 AA03 BA08 CA05 EA05

4E068 AD00 AE00 CA02 CA03 CA11 CB02 CB08 CC02 CD08 DA09

DB11