

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6382796号
(P6382796)

(45) 発行日 平成30年8月29日(2018.8.29)

(24) 登録日 平成30年8月10日(2018.8.10)

(51) Int.Cl.	F I
B 2 3 K 26/064 (2014.01)	B 2 3 K 26/064 Z
B 2 3 K 26/53 (2014.01)	B 2 3 K 26/53
H O 1 L 21/301 (2006.01)	H O 1 L 21/78 B
C O 3 B 33/09 (2006.01)	C O 3 B 33/09

請求項の数 15 (全 28 頁)

(21) 出願番号	特願2015-508285 (P2015-508285)	(73) 特許権者	000236436
(86) (22) 出願日	平成26年3月13日(2014.3.13)		浜松ホトニクス株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2014/056726		静岡県浜松市東区市野町1126番地の1
(87) 国際公開番号	W02014/156690	(74) 代理人	100088155
(87) 国際公開日	平成26年10月2日(2014.10.2)		弁理士 長谷川 芳樹
審査請求日	平成29年3月8日(2017.3.8)	(74) 代理人	100113435
(31) 優先権主張番号	特願2013-65978 (P2013-65978)		弁理士 黒木 義樹
(32) 優先日	平成25年3月27日(2013.3.27)	(74) 代理人	100140442
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		弁理士 柴山 健一
(31) 優先権主張番号	特願2013-65987 (P2013-65987)	(74) 代理人	100156395
(32) 優先日	平成25年3月27日(2013.3.27)		弁理士 荒井 寿王
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(72) 発明者	河口 大祐
(31) 優先権主張番号	特願2013-65990 (P2013-65990)		静岡県浜松市東区市野町1126番地の1
(32) 優先日	平成25年3月27日(2013.3.27)		浜松ホトニクス株式会社内
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザ加工装置及びレーザ加工方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

加工対象物にレーザ光を集光させることにより、前記加工対象物に改質領域を形成するレーザ加工装置であって、

前記レーザ光を出射するレーザ光源と、

前記レーザ光源により出射された前記レーザ光に収差を付与する収差付与部である空間光変調器と、

前記空間光変調器により変調された前記レーザ光を前記加工対象物に集光する集光光学系と、を備え、

前記空間光変調器は、前記レーザ光の光路上における前記レーザ光源と前記集光光学系との間に備えられており、

前記レーザ光の光軸方向において、前記加工対象物に前記レーザ光を集光させることに起因して、前記空間光変調器によらずに当該集光位置で自然発生する収差である集光発生収差の範囲を基準収差範囲とした場合、

前記空間光変調器は、前記光軸方向において前記基準収差範囲よりも長い長尺範囲を収差の範囲として有し、且つ前記光軸方向における、前記集光光学系により前記加工対象物に集光された前記レーザ光の強度分布が前記長尺範囲にて連続する強弱を有するように、前記レーザ光に第1収差を付与する、レーザ加工装置。

【請求項2】

前記収差付与部は、前記光軸方向に沿って近接して並ぶ複数位置に前記レーザ光の集光

点が形成されるように、前記レーザー光に前記第 1 収差を付与する、請求項 1 に記載のレーザー加工装置。

【請求項 3】

前記収差付与部は、アキシコンレンズの作用を実現する位相変調による収差を前記第 1 収差として付与する、請求項 1 又は 2 に記載のレーザー加工装置。

【請求項 4】

前記収差付与部は、所定の球面収差を前記第 1 収差として前記レーザー光に付与する、請求項 1 ~ 3 の何れか一項に記載のレーザー加工装置。

【請求項 5】

前記収差付与部は、収差に含まれる強度分布の偏りを発生させる不要成分を除去又は調整する、請求項 1 ~ 4 の何れか一項に記載のレーザー加工装置。

10

【請求項 6】

前記収差付与部は、前記集光発生収差を補正する収差補正に関する第 2 収差を前記レーザー光に付与する、請求項 1 ~ 5 の何れか一項に記載のレーザー加工装置。

【請求項 7】

加工対象物にレーザー光を集光させることにより、前記加工対象物に改質領域を形成するレーザー加工方法であって、

前記レーザー光をレーザー光源から出射し、出射した前記レーザー光に空間光変調器により収差を付与する工程と、

前記空間光変調器により変調された前記レーザー光を、集光光学系により前記加工対象物に集光させる工程と、を含み、

20

前記空間光変調器は、前記レーザー光の光路上における前記レーザー光源と前記集光光学系との間に備えられており、

前記レーザー光の光軸方向において、前記加工対象物に前記レーザー光を集光させることに起因して、前記空間光変調器によらずに当該集光位置で自然発生する収差である集光発生収差の範囲を基準収差範囲とした場合、

前記レーザー光に収差を付与する工程では、前記光軸方向において前記基準収差範囲よりも長い長尺範囲を収差の範囲として有し、且つ前記光軸方向における、前記集光光学系により前記加工対象物に集光された前記レーザー光の強度分布が前記長尺範囲にて連続する強弱を有するように、前記レーザー光に第 1 収差を付与する、レーザー加工方法。

30

【請求項 8】

前記レーザー光に収差を付与する工程では、前記光軸方向に沿って近接して並ぶ複数位置に前記レーザー光の集光点が形成されるように、前記レーザー光に前記第 1 収差を付与する、請求項 7 に記載のレーザー加工方法。

【請求項 9】

前記レーザー光に収差を付与する工程では、アキシコンレンズの作用を実現する位相変調による収差を前記第 1 収差として付与する、請求項 7 又は 8 に記載のレーザー加工方法。

【請求項 10】

前記レーザー光に収差を付与する工程では、所定の球面収差を前記第 1 収差として付与する、請求項 7 ~ 9 の何れか一項に記載のレーザー加工方法。

40

【請求項 11】

前記レーザー光に収差を付与する工程では、収差に含まれる強度分布の偏りを発生させる不要成分を除去又は調整する、前記レーザー光に第 2 収差を付与する、請求項 7 ~ 10 の何れか一項に記載のレーザー加工方法。

【請求項 12】

前記レーザー光に収差を付与する工程では、前記集光発生収差を補正する収差補正に関する第 2 収差を前記レーザー光に付与する、請求項 7 ~ 11 の何れか一項に記載のレーザー加工方法。

【請求項 13】

前記加工対象物の内部のみに前記改質領域を形成する、請求項 7 ~ 12 の何れか一項に

50

記載のレーザー加工方法。

【請求項 14】

前記加工対象物においてレーザー光入射面及び該レーザー光入射面の反対面に露出するように前記改質領域を形成する、請求項 7 ~ 12 の何れか一項に記載のレーザー加工方法。

【請求項 15】

前記改質領域から前記加工対象物におけるレーザー光入射面に露出する亀裂、及び、前記改質領域から前記加工対象物における前記レーザー光入射面の反対面に露出する亀裂を形成する、請求項 7 ~ 12 の何れか一項に記載のレーザー加工方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明の一側面は、レーザー加工装置及びレーザー加工方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来のレーザー加工装置としては、加工対象物にレーザー光を集光させることにより、切断予定ラインに沿って加工対象物の内部に改質領域を形成するものが知られている（例えば、特許文献 1 参照）。このようなレーザー加工装置では、レーザー光源から加工対象物へ照射されるレーザー光を空間光変調器によって変調することにより、当該レーザー光を加工対象物の複数位置に集光することが図られている。

【先行技術文献】

20

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2011 - 51011 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、上述したような従来技術では、近年における益々の普及拡大に伴い、加工品質を向上することが望まれている。例えば、改質領域を起点に切断された加工対象物について切断面の直進性を向上することや、加工対象物の劈開性や結晶方位による悪影響（劈開面割れ等）を抑制できるレーザー加工が要求されている。

30

【0005】

本発明の一側面は、上記実情に鑑みてなされたものであり、加工品質を向上することができるレーザー加工装置及びレーザー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】

本発明の一側面に係るレーザー加工装置は、加工対象物にレーザー光を集光させることにより、加工対象物に改質領域を形成するレーザー加工装置であって、レーザー光を出射するレーザー光源と、レーザー光源により出射されたレーザー光を加工対象物に集光する集光光学系と、集光光学系により加工対象物に集光されるレーザー光に収差を付与する収差付与部と、を備え、レーザー光の光軸方向において、加工対象物にレーザー光を集光させることに起因して当該集光位置で発生する収差である集光発生収差の範囲を基準収差範囲とした場合、収差付与部は、光軸方向において基準収差範囲よりも長い長尺範囲を収差の範囲として有し、且つ光軸方向におけるレーザー光の強度分布が長尺範囲にて連続する強弱を有するように、レーザー光に第 1 収差を付与する。

40

【0007】

本発明の一側面に係るレーザー加工方法は、加工対象物にレーザー光を集光させることにより、加工対象物に改質領域を形成するレーザー加工方法であって、レーザー光をレーザー光源から出射し、出射したレーザー光を加工対象物に集光させる工程と、加工対象物に集光させるレーザー光に収差を付与する工程と、を含み、レーザー光の光軸方向において、加工対象物にレーザー光を集光させることに起因して当該集光位置で発生する収差である集光発生収差の

50

範囲を基準収差範囲とした場合、レーザー光に収差を付与する工程では、光軸方向において基準収差範囲よりも長い長尺範囲を収差の範囲として有し、且つ光軸方向におけるレーザー光の強度分布が長尺範囲にて連続する強弱を有するように、レーザー光に第1収差を付与する。

【0008】

このようなレーザー加工装置及びレーザー加工方法では、基準収差範囲よりも長い長尺範囲を収差の範囲として有し、且つ光軸方向における強度分布が長尺範囲にて連続する強弱を有するレーザー光によって、加工対象物がレーザー加工される。これにより、加工対象物において、レーザー光の集光部分をレーザー光の光軸方向に効果的に伸長化して、レーザー光の光軸方向に長尺形状（以下、「縦長」という）の改質領域を形成できる。その結果、例えば、切断面の直進性を向上や、加工対象物の劈開性や結晶方位による悪影響の抑制が可能となり、加工品質を向上することができる。

10

【0009】

本発明の一側面に係るレーザー加工装置において、収差付与部は、光軸方向に沿って近接して並ぶ複数位置にレーザー光の集光点が形成されるように、レーザー光に第1収差を付与してもよい。本発明の一側面に係るレーザー加工方法において、レーザー光に収差を付与する工程では、光軸方向に沿って近接して並ぶ複数位置にレーザー光の集光点が形成されるように、レーザー光に第1収差を付与してもよい。この場合、集光点を光軸方向に近接して並ぶ多点とすることができ、縦長の改質領域として、切り取り線状の改質領域を形成することが可能となる。よって、改質領域に沿って加工対象物を切断し易くできる。また、このように多点で集光することから、1つの縦長集光点で集光する場合に比べ、少ないエネルギーでレーザー加工を実施することが可能となる。

20

【0010】

本発明の一側面に係るレーザー加工装置において、収差付与部は、アキシコンレンズの作用を実現する位相変調による収差を第1収差として付与してもよい。本発明の一側面に係るレーザー加工方法において、レーザー光に収差を付与する工程では、アキシコンレンズの作用を実現する位相変調による収差を第1収差として付与してもよい。このように、アキシコンレンズの作用を実現する位相変調による収差を加えることで、加工対象物に集光するレーザー光について、収差の範囲を長尺範囲へ伸長させつつ当該長尺範囲にて連続する強弱を有する強度分布を得ることができる。

30

【0011】

本発明の一側面に係るレーザー加工装置において、収差付与部は、所定の球面収差を第1収差としてレーザー光に付与してもよい。本発明の一側面に係るレーザー加工方法において、レーザー光に収差を付与する工程では、所定の球面収差を第1収差として付与してもよい。このように、所定の球面収差を加えることで、加工対象物に集光するレーザー光について、収差の範囲を長尺範囲へ伸長させつつ当該長尺範囲にて連続する強弱を有する強度分布を得ることができる。

【0012】

本発明の一側面に係るレーザー加工装置において、収差付与部は、収差に含まれる強度分布の偏りを発生させる不要成分を除去又は調整してもよい。本発明の一側面に係るレーザー加工方法において、レーザー光に収差を付与する工程では、収差に含まれる強度分布の偏りを発生させる不要成分を除去又は調整してもよい。この場合、光軸方向におけるレーザー光の強度分布について、その偏りを解消して均一化することができる。

40

【0013】

本発明の一側面に係るレーザー加工装置において、収差付与部は、集光発生収差を補正する収差補正に関する第2収差をレーザー光に付与してもよい。本発明の一側面に係るレーザー加工方法において、レーザー光に収差を付与する工程では、集光発生収差を補正する収差補正に関する第2収差をレーザー光に付与してもよい。

【0014】

本発明の一側面に係るレーザー加工方法は、加工対象物の内部のみに改質領域を形成して

50

もよく、この場合、いわゆるステルスダイシング加工を実施できる。本発明の一側面に係るレーザ加工方法は、加工対象物においてレーザ光入射面及び該レーザ光入射面の反対面に露出するように改質領域を形成してもよく、この場合、いわゆる全面改質加工を実施できる。本発明の一側面に係るレーザ加工方法は、改質領域から加工対象物におけるレーザ光入射面に露出する亀裂、及び、改質領域から加工対象物におけるレーザ光入射面の反対面に露出する亀裂を形成してもよく、この場合、いわゆるフルカット加工を実施できる。

【発明の効果】

【0015】

本発明の一側面によれば、加工品質を向上することができるレーザ加工装置及びレーザ加工方法を提供することが可能となる。

10

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】改質領域の形成に用いられるレーザ加工装置の概略構成図である。

【図2】改質領域の形成の対象となる加工対象物の平面図である。

【図3】図2の加工対象物のIII-III線に沿っての断面図である。

【図4】レーザ加工後の加工対象物の平面図である。

【図5】図4の加工対象物のV-V線に沿っての断面図である。

【図6】図4の加工対象物のVI-VI線に沿っての断面図である。

【図7】実施形態に係る実施するレーザ加工装置を示す概略構成図である。

【図8】反射型空間光変調器の部分断面図である。

20

【図9】反射型空間光変調器の液晶層に表示されたアキシコンレンズパターンを示す図である。

【図10】レーザ加工の対象となる加工対象物を示す平面図である。

【図11】第1実施形態に係るレーザ加工方法を説明するための概略断面図である。

【図12】第1実施形態に係るレーザ加工方法により形成された改質スポットの一例を示す写真図である。

【図13】第1実施形態に係るレーザ加工方法の効果を説明するための写真図である。

【図14】第1実施形態に係るレーザ加工方法の効果を説明するための他の写真図である。

。

【図15】レーザ光の集光位置で発生する収差を説明するための図である。

30

【図16】第1実施形態の光軸方向におけるレーザ光の強度分布を説明するための図である。

【図17】第1実施形態の制御部に格納されたデータテーブルの一例を示す図である。

【図18】第1実施形態のレーザ加工方法の一例を示すフローチャートである。

【図19】第1実施形態のレーザ加工方法の効果を説明するためのさらに他の写真図である。

【図20】第2実施形態の光軸方向におけるレーザ光の強度分布を説明するための図である。

【図21】第3実施形態の光軸方向におけるレーザ光の強度分布を説明するための図である。

40

【図22】第3実施形態の制御部に格納されたデータテーブルの一例を示す図である。

【図23】第3実施形態のレーザ加工方法の一例を示すフローチャートである。

【図24】第4実施形態の光軸方向におけるレーザ光の強度分布を説明するための図である。

【図25】第4実施形態の制御部に格納されたデータテーブルの一例を示す図である。

【図26】第4実施形態のレーザ加工方法の一例を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0017】

以下、本発明の一側面に係る実施形態について、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。

50

【0018】

本実施形態に係るレーザ加工装置及びレーザ加工方法では、加工対象物にレーザ光を集光させ、改質領域を切断予定ラインに沿って形成する。そこで、まず、改質領域の形成について、図1～図6を参照して説明する。

【0019】

図1に示すように、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、パルス波形等を調節するためにレーザ光源101を制御するレーザ光源制御部102と、ステージ111の移動を制御するステージ制御部115と、を備えている。

10

【0020】

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上に載置された加工対象物1の内部に集光用レンズ105によって集光される。これと共に、ステージ111が移動させられ、加工対象物1がレーザ光Lに対して切断予定ライン5に沿って相対移動させられる。これにより、切断予定ライン5に沿った改質領域が加工対象物1に形成される。なお、ここでは、レーザ光Lを相対的に移動させるためにステージ111を移動させたが、集光用レンズ105を移動させてもよいし、或いはこれらの両方を移動させてもよい。

20

【0021】

加工対象物1としては、半導体材料で形成された半導体基板や圧電材料で形成された圧電基板等を含む板状の部材（例えば、基板、ウェハ等）が用いられる。図2に示すように、加工対象物1には、加工対象物1を切断するための切断予定ライン5が設定されている。切断予定ライン5は、直線状に延びた仮想線である。加工対象物1の内部に改質領域を形成する場合、図3に示すように、加工対象物1の内部に集光点（集光位置）Pを合わせた状態で、レーザ光Lを切断予定ライン5に沿って（すなわち、図2の矢印A方向に）相対的に移動させる。これにより、図4～図6に示すように、改質領域7が切断予定ライン5に沿って加工対象物1の内部に形成され、切断予定ライン5に沿って形成された改質領域7が切断起点領域8となる。

30

【0022】

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、切断予定ライン5は、直線状に限らず曲線状であってもよいし、これらが組み合わされた3次元状であってもよいし、座標指定されたものであってもよい。また、切断予定ライン5は、仮想線に限らず加工対象物1の表面3に実際に引かれた線であってもよい。改質領域7は、連続的に形成される場合もあるし、断続的に形成される場合もある。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3、裏面21、若しくは外周面）に露出しているもよい。また、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。

40

【0023】

ちなみに、ここでのレーザ光Lは、加工対象物1を透過すると共に加工対象物1の内部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）。よって、加工対象物1の表面3ではレーザ光Lが殆ど吸収されないため、加工対象物1の表面3が溶融することはない。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。

50

【 0 0 2 4 】

ところで、本実施形態で形成される改質領域 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（一旦溶融後再固化した領域、溶融状態中の領域及び溶融から再固化する状態中の領域のうち少なくとも何れか一つを意味する）、クラック領域、絶縁破壊領域、屈折率変化領域等があり、これらが混在した領域もある。さらに、改質領域としては、加工対象物の材料において改質領域の密度が非改質領域の密度と比較して変化した領域や、格子欠陥が形成された領域がある（これらをまとめて高密転移領域ともいう）。

【 0 0 2 5 】

また、溶融処理領域や屈折率変化領域、改質領域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、例えばシリコン（Si）、ガラス、シリコンカーバイド（SiC）、LiTaO₃ 又はサファイア（Al₂O₃）を含む、又はこれらからなるものが挙げられる。

【 0 0 2 6 】

また、本実施形態においては、切断予定ライン 5 に沿って改質スポット（加工痕）を複数形成することによって、改質領域 7 を形成している。改質スポットとは、パルスレーザー光の 1 パルスのショット（つまり 1 パルスのレーザー照射：レーザーショット）で形成される改質部分であり、改質スポットが集まることにより改質領域 7 となる。改質スポットとしては、クラックスポット、溶融処理スポット若しくは屈折率変化スポット、又はこれらの少なくとも 1 つが混在するもの等が挙げられる。この改質スポットについては、要求される切断精度、要求される切断面の平坦性、加工対象物の厚さ、種類、結晶方位等を考慮して、その大きさや発生する亀裂の長さを適宜制御することができる。

【 0 0 2 7 】

次に、第 1 実施形態について説明する。

【 0 0 2 8 】

図 7 は、本実施形態に係るレーザー加工方法を実施するレーザー加工装置を示す概略構成図である。図 7 に示すように、本実施形態のレーザー加工装置 300 は、レーザー光源 202、反射型空間光変調器（収差付与部）203、4f 光学系 241 及び集光光学系 204 を筐体 231 内に備えている。レーザー光源 202 は、例えば 1080nm ~ 1200nm の波長を有するレーザー光 L を出射するものであり、例えばファイバレーザーが用いられている。ここでのレーザー光源 202 は、水平方向にレーザー光 L を出射するように、筐体 231 の天板 236 にねじ等で固定されている。

【 0 0 2 9 】

レーザー光源 202 は、短パルス光のレーザー光 L を出射してもよいし、超短パルス光のレーザー光 L を出射してもよい。短パルス光のレーザー光 L は、例えば、サブ ns ~ サブ ms のパルス幅を有する場合がある。超短パルス光のレーザー光 L は、例えば、サブ ns 未満のパルス幅を有する場合、100ps 以下のパルス幅を有する場合、及び、約 10ps のパルス幅を有する場合がある。レーザー光 L のビームプロファイルは、ガウシアン形状（いわゆるガウシアンビーム）であってもよいし、トップハット形状（いわゆるトップハットビーム）であってもよい。ここでは、トップハット形状のレーザー光 L が加工対象物 1 に照射される。

【 0 0 3 0 】

反射型空間光変調器 203 は、レーザー光源 202 から出射されたレーザー光 L を変調するものであり、例えば反射型液晶（LCOS：Liquid Crystal on Silicon）の空間光変調器（SLM：Spatial Light Modulator）が用いられている。ここでの反射型空間光変調器 203 は、水平方向から入射するレーザー光 L を変調すると共に、水平方向に対し斜め上方に反射する。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 1 】

図 8 は、図 7 のレーザ加工装置の反射型空間光変調器の部分断面図である。図 8 に示すように、反射型空間光変調器 2 0 3 は、シリコン基板 2 1 3、駆動回路層 9 1 4、複数の画素電極 2 1 4、誘電体多層膜ミラー等の反射膜 2 1 5、配向膜 9 9 9 a、液晶層（表示部） 2 1 6、配向膜 9 9 9 b、透明導電膜 2 1 7、及びガラス基板等の透明基板 2 1 8 を備え、これらがこの順に積層されている。

【 0 0 3 2 】

透明基板 2 1 8 は、X Y 平面に沿った表面 2 1 8 a を有しており、該表面 2 1 8 a は反射型空間光変調器 2 0 3 の表面を構成する。透明基板 2 1 8 は、例えばガラス等の光透過性材料を主に含んでおり、反射型空間光変調器 2 0 3 の表面 2 1 8 a から入射した所定波長のレーザ光 L を、反射型空間光変調器 2 0 3 の内部へ透過する。透明導電膜 2 1 7 は、透明基板 2 1 8 の裏面上に形成されており、レーザ光 L を透過する導電性材料（例えば I T O ）を主に含んで構成されている。

10

【 0 0 3 3 】

複数の画素電極 2 1 4 は、複数の画素の配列に従って二次元状に配列されており、透明導電膜 2 1 7 に沿ってシリコン基板 2 1 3 上に配列されている。各画素電極 2 1 4 は、例えばアルミニウム等の金属材料からなり、これらの表面 2 1 4 a は、平坦且つ滑らかに加工されている。複数の画素電極 2 1 4 は、駆動回路層 9 1 4 に設けられたアクティブ・マトリクス回路によって駆動される。

【 0 0 3 4 】

アクティブ・マトリクス回路は、複数の画素電極 2 1 4 とシリコン基板 2 1 3 との間に設けられ、反射型空間光変調器 2 0 3 から出力しようとする光像に応じて各画素電極 2 1 4 への印加電圧を制御する。このようなアクティブ・マトリクス回路は、例えば図示しない X 軸方向に並んだ各画素列の印加電圧を制御する第 1 のドライバ回路と、Y 軸方向に並んだ各画素列の印加電圧を制御する第 2 のドライバ回路とを有しており、制御部 2 5 0（後述）によって双方のドライバ回路で指定された画素の画素電極 2 1 4 に所定電圧が印加されるよう構成されている。

20

【 0 0 3 5 】

なお、配向膜 9 9 9 a、9 9 9 b は、液晶層 2 1 6 の両端面に配置されており、液晶分子群を一定方向に配列させる。配向膜 9 9 9 a、9 9 9 b は、例えばポリイミドといった高分子材料からなり、液晶層 2 1 6 との接触面にラビング処理等が施されたものが適用される。

30

【 0 0 3 6 】

液晶層 2 1 6 は、複数の画素電極 2 1 4 と透明導電膜 2 1 7 との間に配置されており、各画素電極 2 1 4 と透明導電膜 2 1 7 とにより形成される電界に応じてレーザ光 L を変調する。すなわち、アクティブ・マトリクス回路によって或る画素電極 2 1 4 に電圧が印加されると、透明導電膜 2 1 7 と該画素電極 2 1 4 との間に電界が形成される。

【 0 0 3 7 】

この電界は、反射膜 2 1 5 及び液晶層 2 1 6 のそれぞれに対し、各々の厚さに応じた割合で印加される。そして、液晶層 2 1 6 に印加された電界の大きさに応じて液晶分子 2 1 6 a の配列方向が変化する。レーザ光 L が透明基板 2 1 8 及び透明導電膜 2 1 7 を透過して液晶層 2 1 6 に入射すると、このレーザ光 L は液晶層 2 1 6 を通過する間に液晶分子 2 1 6 a によって変調され、反射膜 2 1 5 において反射した後、再び液晶層 2 1 6 により変調されてから取り出されることとなる。

40

【 0 0 3 8 】

このとき、後述の制御部 2 5 0 によって透明導電膜 2 1 7 と対向する各画素電極 2 1 4 毎に電圧が印加され、その電圧に応じて、液晶層 2 1 6 において透明導電膜 2 1 7 と対向する各画素電極 2 1 4 に挟まれた部分の屈折率が変化される（各画素に対応した位置の液晶層 2 1 6 の屈折率が変化する）。かかる屈折率の変化により、印加した電圧に応じて、レーザ光 L の位相を液晶層 2 1 6 の画素毎に変化させることができる。つまり、ホログラ

50

ムパターンに応じた位相変調を画素毎に液晶層 216 によって与える（すなわち、変調を付与するホログラムパターンとしての変調パターンを反射型空間光変調器 203 の液晶層 216 に表示させる）ことができる。

【0039】

その結果、変調パターンに入射し透過するレーザー光 L は、その波面が調整され、該レーザー光 L を構成する各光線において進行方向に直交する所定方向の成分の位相にずれが生じる。従って、反射型空間光変調器 203 に表示させる変調パターンを適宜設定することにより、レーザー光 L が変調（例えば、レーザー光 L の強度、振幅、位相、偏光等が変調）可能となる。

【0040】

本実施形態の反射型空間光変調器 203 では、後述するように、アキシコンレンズパターンを変調パターンとして液晶層 216 に表示することにより、加工対象物 1 に照射されるレーザー光 L に対し、レーザー光照射方向に沿って近接して並ぶ複数位置に集光点が形成されるよう加工対象物 1 に集光させる変調が施される。これにより、図 11 に示すように、当該複数位置のそれぞれに改質ドット d が形成される。

【0041】

これら複数の改質ドット d は、多点細長改質スポットとなる 1 つの改質スポット S x を構成する。改質スポット S x は、液晶層 216 に変調パターンを表示させずにレーザー加工を施した改質スポットに比べ、レーザー光照射方向に長尺形状（縦長）とされる。つまり、複数の改質ドット d は、レーザー光照射方向に沿って近接し連なるように密に並んでおり、これら複数の改質ドット d が一纏まりとされてなる改質スポット S x は、レーザー光照射方向の寸法がその交差方向の寸法よりも特に長くなるような細長形状を有する。

【0042】

図 7 に戻り、4 f 光学系 241 は、反射型空間光変調器 203 によって変調されたレーザー光 L の波面形状を調整するものである。この 4 f 光学系 241 は、第 1 レンズ 241 a 及び第 2 レンズ 241 b を有している。レンズ 241 a, 241 b は、反射型空間光変調器 203 と第 1 レンズ 241 a との距離が第 1 レンズ 241 a の焦点距離 f 1 となり、集光光学系 204 とレンズ 241 b との距離がレンズ 241 b の焦点距離 f 2 となり、第 1 レンズ 241 a と第 2 レンズ 241 b との距離が f 1 + f 2 となり、且つ第 1 レンズ 241 a と第 2 レンズ 241 b とが両側テレセントリック光学系となるように、反射型空間光変調器 203 と集光光学系 204 との間に配置されている。この 4 f 光学系 241 では、反射型空間光変調器 203 で変調されたレーザー光 L が空間伝播によって波面形状が変化し収差が増大するのを抑制することができる。

【0043】

集光光学系 204 は、4 f 光学系 241 によって変調されたレーザー光 L を加工対象物 1 の内部に集光するものである。この集光光学系 204 は、複数のレンズを含んで構成されており、圧電素子等を含んで構成された駆動ユニット 232 を介して筐体 231 の底板 233 に設置されている。

【0044】

以上のように構成されたレーザー加工装置 300 では、レーザー光源 202 から出射されたレーザー光 L は、筐体 231 内にて水平方向に進行した後、ミラー 205 a によって下方に反射され、アッテネータ 207 によって光強度が調整される。そして、ミラー 205 b によって水平方向に反射され、ビームホモジナイザ 260 によってレーザー光 L の強度分布（以下、単に「強度分布」ともいう）が均一化されて反射型空間光変調器 203 に入射する。

【0045】

反射型空間光変調器 203 に入射したレーザー光 L は、液晶層 216 に表示された変調パターンを透過することにより当該変調パターンに応じて変調され、その後、ミラー 206 a によって上方に反射され、 $\lambda/2$ 波長板 228 によって偏光方向が変更され、ミラー 206 b によって水平方向に反射されて 4 f 光学系 241 に入射する。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 6 】

4 f 光学系 2 4 1 に入射したレーザ光 L は、平行光で集光光学系 2 0 4 に入射するよう波面形状が調整される。具体的には、レーザ光 L は、第 1 レンズ 2 4 1 a を透過し収束され、ミラー 2 1 9 によって下方へ反射され、共焦点 O を経て発散すると共に、第 2 レンズ 2 4 1 b を透過し、平行光となるように再び収束される。そしてレーザ光 L は、ダイクロイックミラー 2 1 0 , 2 3 8 を順次透過して集光光学系 2 0 4 に入射し、ステージ 1 1 1 上に載置された加工対象物 1 内に集光光学系 2 0 4 によって集光される。

【 0 0 4 7 】

また、本実施形態のレーザ加工装置 3 0 0 は、加工対象物 1 のレーザ光入射面を観察するための表面観察ユニット 2 1 1 と、集光光学系 2 0 4 と加工対象物 1 との距離を微調整するための A F (AutoFocus) ユニット 2 1 2 と、を筐体 2 3 1 内に備えている。

10

【 0 0 4 8 】

表面観察ユニット 2 1 1 は、可視光 V L 1 を出射する観察用光源 2 1 1 a と、加工対象物 1 のレーザ光入射面で反射された可視光 V L 1 の反射光 V L 2 を受光して検出する検出器 2 1 1 b と、を有している。表面観察ユニット 2 1 1 では、観察用光源 2 1 1 a から出射された可視光 V L 1 が、ミラー 2 0 8 及びダイクロイックミラー 2 0 9 , 2 1 0 , 2 3 8 で反射・透過され、集光光学系 2 0 4 で加工対象物 1 に向けて集光される。そして、加工対象物 1 のレーザ光入射面で反射された反射光 V L 2 が、集光光学系 2 0 4 で集光されてダイクロイックミラー 2 3 8 , 2 1 0 で透過・反射された後、ダイクロイックミラー 2 0 9 を透過して検出器 2 1 1 b にて受光される。

20

【 0 0 4 9 】

A F ユニット 2 1 2 は、A F 用レーザ光 L B 1 を出射し、レーザ光入射面で反射された A F 用レーザ光 L B 1 の反射光 L B 2 を受光し検出することで、切断予定ライン 5 に沿ったレーザ光入射面の変位データを取得する。そして、A F ユニット 2 1 2 は、改質領域 7 を形成する際、取得した変位データに基づいて駆動ユニット 2 3 2 を駆動させ、レーザ光入射面のうねりに沿うように集光光学系 2 0 4 をその光軸方向に往復移動させる。

【 0 0 5 0 】

さらにまた、本実施形態のレーザ加工装置 3 0 0 は、当該レーザ加工装置 3 0 0 を制御するためのものとして、CPU、ROM、RAM 等からなる制御部 2 5 0 を備えている。この制御部 2 5 0 は、レーザ光源 2 0 2 を制御し、レーザ光源 2 0 2 から出射されるレーザ光 L の出力やパルス幅等を調節する。また、制御部 2 5 0 は、改質領域 7 を形成する際、レーザ光 L の集光点 P が加工対象物 1 の表面 3 から所定距離に位置し且つレーザ光 L の集光点 P が切断予定ライン 5 に沿って相対的に移動するように、筐体 2 3 1、ステージ 1 1 1 の位置、及び駆動ユニット 2 3 2 の駆動の少なくとも 1 つを制御する。

30

【 0 0 5 1 】

また、制御部 2 5 0 は、改質領域 7 を形成する際、反射型空間光変調器 2 0 3 における各電極 2 1 4 に所定電圧を印加し、液晶層 2 1 6 に所定の変調パターンを表示させ、これにより、レーザ光 L を反射型空間光変調器 2 0 3 で所望に変調させる。

【 0 0 5 2 】

ここで、液晶層 2 1 6 に表示される変調パターンは、例えば、改質領域 7 を形成しようとする位置、照射するレーザ光 L の波長、加工対象物 1 の材料、及び集光光学系 2 0 4 や加工対象物 1 の屈折率等に基づいて予め導出され、制御部 2 5 0 に記憶されている。この変調パターンは、レーザ加工装置 3 0 0 に生じる個体差 (例えば、反射型空間光変調器 2 0 3 の液晶層 2 1 6 に生じる歪) を補正するための個体差補正パターン、及び球面収差を補正するための球面収差補正パターン、アキシコンレンズパターンの少なくとも 1 つを含んでいる。

40

【 0 0 5 3 】

図 9 は、液晶層に表示されたアキシコンレンズパターンを示す図である。図中に示すアキシコンレンズパターン A x は、液晶層 2 1 6 の正面視における状態を示している。図 9 に示すように、アキシコンレンズパターン A x は、アキシコンレンズの作用を実現するよ

50

うに生成された変調パターンである。アキシコンレンズパターン A x は、レーザ光照射方向に沿って近接して並ぶ複数位置に集光点が形成されるように、レーザ光 L を加工対象物 1 に集光させる。換言すると、レーザ光照射方向（レーザ光 L の伝播方向、光軸方向）に複数の強度分布を有するようにレーザ光 L を変調させる。ここでのアキシコンレンズパターン A x は、逆円錐状の光学パターンとされ、下凸状のものとされている。

【 0 0 5 4 】

このアキシコンレンズパターン A x は、具体的には、入射するレーザ光 L に対し中心に位置する円領域 a 1 と、円領域 a 1 の周囲に画設された複数の円環領域 a 2 と、を有している。円環領域 a 2 は、円領域 a 1 と同心に形成され、円環形状又は円環形状の一部が切り欠かれて成る形状を有している。円領域 a 1 及び複数の円環領域 a 2 では、径方向外側から内側に行くに従って明度が徐々に明るくなるように設定されている。

10

【 0 0 5 5 】

このようなアキシコンレンズパターン A x を液晶層 2 1 6 に表示させてレーザ加工を行う場合、その円環領域 a 2 の数（中心からの明度の折返し数）であるパラメータ数が大きいほど、レーザ光照射方向に沿って近接して並ぶ集光点の数（改質ドット d の数）が増加し、その結果、パラメータ数に応じた縦長の改質スポット S x が形成される。ここでは、パラメータ数が増減すると、レーザ光 L の手前側（上流側）において改質ドット d の数が増減し、ひいては、形成される改質スポット S x がレーザ光 L の手前側において伸縮する傾向を有する。

【 0 0 5 6 】

次に、上記レーザ加工装置 3 0 0 を用いたレーザ加工方法について詳細に説明する。

20

【 0 0 5 7 】

図 1 0 は本実施形態によるレーザ加工の対象となる加工対象物を示す平面図、図 1 1 は本実施形態におけるレーザ加工方法を説明するための断面図である。本実施形態のレーザ加工方法は、加工対象物 1 をレーザ加工して複数のチップを製造するためのチップの製造方法として用いられる。図 1 0 に示すように、加工対象物 1 は、シリコン基板、サファイア基板、SiC 基板、ガラス基板（強化ガラス基板）、半導体基板又は透明絶縁基板等を含み、板状を呈している。加工対象物 1 の厚さは、150 μm ~ 350 μm とされており、ここでは、200 μm 又は 250 μm とされている。

【 0 0 5 8 】

この加工対象物 1 の表面 3 には、マトリックス状に並ぶように機能素子形成領域 1 5 が複数設けられている。また、加工対象物 1 の表面 3 上には、隣り合う機能素子形成領域 1 5 間を通るように延びる切断予定ライン 5 が複数設定されている。複数の切断予定ライン 5 は、格子状に延在しており、加工対象物 1 のオリエンテーションフラット 6 に対して略平行な方向に沿う切断予定ライン 5 a、及び略垂直な方向に沿う切断予定ライン 5 b を含んでいる。なお、加工対象物 1 がサファイア基板の場合には、その C 面が主面（表面 3 及び裏面 2 1）とされ、切断予定ライン 5 がサファイア基板の R 面に沿った方向に延びるよう設定される。

30

【 0 0 5 9 】

このような加工対象物 1 に対してレーザ加工を施す場合、まず、加工対象物 1 の裏面 2 1 にエキスパンドテープを貼り付け、該加工対象物 1 をステージ 1 1 1 上に載置する。続いて、図 7 , 1 1 に示すように、制御部 2 5 0 により反射型空間光変調器 2 0 3 を制御し、液晶層 2 1 6 にアキシコンレンズパターン A x を変調パターンとして表示させ、この状態で、加工対象物 1 の表面 3 をレーザ光入射面（レーザ光照射面）として加工対象物 1 にレーザ光 L をパルス照射し、レーザ光照射方向に沿って近接して並ぶ複数位置に集光点が形成されるようにレーザ光 L を加工対象物 1 に集光させる。これと共に、加工対象物 1 とレーザ光 L とを切断予定ライン 5 に沿って相対移動（スキャン）させる。

40

【 0 0 6 0 】

これにより、加工対象物 1 内の厚さ方向の所定深さに、レーザ光照射方向に沿って近接して並ぶ複数位置に形成された改質ドット d を有する縦長の改質スポット S x を、切断予

50

定ライン5に沿って複数形成する。そして、これら複数の改質スポットSxによって改質領域7を形成する。その後、エキスパンドテープを拡張することで、改質領域7を切断の起点として加工対象物1を切断予定ライン5に沿って切断し、切断された複数のチップを半導体装置（例えばメモリ、IC、発光素子、受光素子等）として得る。

【0061】

ここで、改質スポットSxを形成する際には、次のアキシコンレンズパターン作成工程（アキシコンレンズパターン作成制御）を実施してもよい。アキシコンレンズパターン作成工程では、例えば液晶層216に変調パターンを表示させずにレーザ加工を施して加工対象物1内に形成された通常の改質スポット（以下、単に「通常の改質スポット」ともいう）の状態に基づいて、制御部250によりアキシコンレンズパターンAxを作成する。

10

【0062】

また、加工対象物1の材料やレーザ光Lのエネルギーに起因して改質スポットSxにおけるレーザ光照射方向の長さが変化し、当該改質スポットSxの厚さ方向位置が変化する場合がある。そこで、改質スポットSxを形成する際には、次の集光点位置補正工程（集光点位置補正制御）を実施してもよい。

【0063】

集光点位置補正工程では、形成しようとする改質スポットSxについてのレーザ光Lの最も奥側位置（最も裏面21位置）を基準にして、厚さ方向におけるレーザ光Lの集光点位置（Zハイト）を、例えば通常の改質スポットの状態に基づき補正する。これは、上述したように、改質スポットSxがレーザ光Lの手前側でパラメータ数に応じて伸縮する傾向を有することによる。

20

【0064】

さらにまた、改質スポットSxを形成する際には、アキシコンレンズパターンAxのパラメータ数（円環領域a2の数、）を調整するアキシコンレンズパターン調整工程（アキシコンレンズパターン調整制御）を実施してもよい。アキシコンレンズパターン調整工程では、形成しようとする改質スポットSx（改質領域7）におけるレーザ光照射方向の長さに応じて、アキシコンレンズパターンAxのパラメータ数を、例えば通常の改質スポットの状態に基づき設定する。具体的には、改質スポットSxをレーザ光照射方向に長くしたい場合には、パラメータ数を大きくする一方、短くしたい場合にはパラメータ数を小さくする。

30

【0065】

ところで、加工対象物1においてレーザ光Lの集光部分を縦長とし、縦長な改質領域7を加工対象物1に形成すると、加工対象物1の内部で生じる亀裂（クラック）の量が低減し、切断面の直進性及び抗折強度が向上し、その結果、加工品質を向上できる可能性が見出される。この場合、当該レーザ光Lの集光部分でエネルギー密度が低下してしまい、改質領域7自体が形成されない虞や、加工の際に多くのエネルギーが要される虞が懸念されるところ、反射型空間光変調器203を用いてレーザ光Lを適宜変調することにより、このような虞に対応できることが見出される。

【0066】

この点、本実施形態では、改質領域7を形成する場合、アキシコンレンズパターンAxを変調パターンとして反射型空間光変調器203に表示することにより、レーザ光照射方向に近接して並ぶ複数位置に集光点が形成されるようにレーザ光を集光する。つまり、縦方向に細かな多点分岐させたレーザ光Lでレーザ加工（いわゆる、同時多点細長加工）を実施し、分岐した多点集光点を繋げるよう構成して、疑似的な縦長集光点を形成できる。これにより、レーザ光照射方向に近接して並ぶ複数の改質ドットdを有する改質スポットSxを形成できる。

40

【0067】

この改質スポットSxによれば、擬似的（及び、実質的）に縦長となる集光部分はそのエネルギー密度を十分に維持したまま形成されることになり、ひいては、縦長の改質領域7が形成されることになる。従って、加工対象物1の内部で生じる亀裂の量を低減させ、ま

50

た、当該亀裂を伸び難くすることができ、その結果、切断面の直進性の向上及び抗折強度の向上させることができ、加工品質を向上させることが可能となる。

【 0 0 6 8 】

また、改質領域 7 が縦長となることから、スループットを向上させることもできる。また、本実施形態は、亀裂の量を低減できることから、加工対象物 1 内の亀裂を制御したい場合（例えば、切断予定ライン 5 が結晶方位に沿わない場合、ガラス材料に対する加工の場合）に特に有効といえる。

【 0 0 6 9 】

なお、亀裂の量を低減できる上記作用効果は、加工対象物 1 が SiC 基板又はサファイア基板の場合、C 面方向への亀裂を低減する効果として顕著となる。また、通常、アキシコンレンズを用いた光学系により集光点を縦長にしようとする、エネルギーの密度が低下して正常な加工が困難、又は加工に多くのエネルギーを必要とするのに対し、本実施形態では、上記のように、エネルギー密度を十分に維持してレーザー光 L を集光できる。また、空間位相変調器 203 を用いて縦長の改質スポット Sx を形成することから、任意の位置に任意のピッチの改質領域 7 を瞬時に形成可能となる。

【 0 0 7 0 】

ちなみに、一般的に、加工対象物 1 が C 面を主面とするサファイア基板の場合、サファイア基板において亀裂は R 面に沿って伸び難いことから、R 面に沿う切断予定ライン 5 に沿って改質領域 7 を形成した場合、生じる亀裂が切断予定ライン 5 の交差方向に伸び易く、その結果、切断予定ライン 5 の交差方向に沿って割れる虞が懸念される。これに対し、本実施形態は、亀裂の量を低減できることから当該虞を抑制できるため、切断予定ライン 5 がサファイア基板の R 面に沿った方向に伸びるように設定される場合に、特に有効なものとなる。また、加工対象物 1 が非晶質ガラスの場合、加工品質を向上させる上記作用効果は顕著となる。

【 0 0 7 1 】

図 12 は、本実施形態のレーザー加工方法により形成された改質スポットの一例を示す写真図である。図 12 では、加工対象物 1 を側方から見た状態を示しており、図示上下方向が厚さ方向に対応する。図 12 に示すように、本実施形態によれば、レーザー光照射方向に近接して並ぶ複数位置に集光点が形成され、これにより、レーザー光照射方向に近接して並ぶ複数の改質ドット d を有する縦長の改質スポット Sx が形成されているのを確認できる。

【 0 0 7 2 】

図 13 は、本実施形態のレーザー加工方法の効果の説明するための写真図である。図 13 (a) は、液晶層 216 に変調パターンを表示させない状態で加工対象物 1 にレーザー光 L を照射し、加工対象物 1 内に改質スポット Sy を形成した図である。図 13 (b) は、液晶層 216 にアキシコンレンズパターン Ax を表示させた状態で加工対象物 1 にレーザー光 L を照射し、加工対象物 1 内に改質スポット Sx を形成した図である。図 13 中の写真図は、改質スポットが形成された加工対象物 1 の内部を、レーザー光入射面から見た状態を示している。

【 0 0 7 3 】

図 13 に示すように、アキシコンレンズパターン Ax を液晶層 216 に表示させて形成した縦長の改質スポット Sx によれば、変調パターンを液晶層 216 に表示させずに形成した改質スポット Sy に対し、加工対象物 1 の内部で生じる亀裂の量が低減されることを確認できる。

【 0 0 7 4 】

図 14 は、本実施形態のレーザー加工方法の効果の説明するための他の写真図である。図 14 (a) は、液晶層 216 に変調パターンを表示させない状態で加工対象物 1 にレーザー光 L を照射したときの切断面 25y を示している。図 14 (b) は、液晶層 216 にアキシコンレンズパターン Ax を表示させた状態で加工対象物 1 にレーザー光 L を照射したときの切断面 25x を示している。図 14 では、加工対象物 1 を側方から見た状態を示してお

10

20

30

40

50

り、図示上下方向が厚さ方向に対応する。

【 0 0 7 5 】

図 1 4 に示すように、アキシコンレンズパターン A x を用いてレーザ加工を施すことにより、例えば厚さ方向の交差方向に延びる亀裂が特に低減される傾向にあり、切断面 2 5 x では、液晶層 2 1 6 に変調パターンを表示させずにレーザ加工を施してなる切断面 2 5 y に対し、チップ端面の直進性が向上されることを確認できる。

【 0 0 7 6 】

また、液晶層 2 1 6 に変調パターンを表示させずに加工対象物 1 にレーザ加工を施してなるチップと、液晶層 2 1 6 にアキシコンレンズパターン A x を表示させて加工対象物 1 にレーザ加工を施してなるチップと、について、抗折強度を測定した結果を以下に示す。

変調パターンの表示無し : 抗折強度 7 5 . 3 M P a
アキシコンレンズパターンを表示 : 抗折強度 1 0 9 . 6 M P a

【 0 0 7 7 】

上記の抗折強度測定結果に示すように、アキシコンレンズパターン A x を用いてレーザ加工を施すことにより、液晶層 2 1 6 に変調パターンを表示させずにレーザ加工を施した場合に比べ、チップの抗折強度が向上されることを確認できる。

【 0 0 7 8 】

次に、第 1 実施形態について、より詳細に説明する。

【 0 0 7 9 】

上述したように、レーザ加工装置 3 0 0 は、収差付与部として反射型空間光変調器 2 0 3 を備え、加工対象物 1 に集光されるレーザ光 L に対し当該反射型空間光変調器 2 0 3 によって位相変調を施して収差を付与する(図 7 参照)。そこでまず、収差の発生原理及び位相変調について説明する。

【 0 0 8 0 】

図 1 5 は、レーザ光の集光位置で発生する収差を説明するための図である。レーザ光 L は、平面波(平面な波面(位相))であるとき、幾何学的に 1 点に集束する。一方、通常、平面波のレーザ光 L は様々な影響によって波面が変化するところ、加工対象物 1 に集光されるレーザ光 L が 1 点に集束しないこと、すなわち収差が自然的に発生する場合がある。収差は、例えばザイデル収差(非点収差、コマ収差、球面収差、像面湾曲及び歪曲収差)を含み、また、縦方向(光軸方向に沿う方向)の収差である縦収差、及び、縦方向と交差する方向の収差である横収差を含む。

【 0 0 8 1 】

例えば図 1 5 に示すように、レーザ光 L が集光光学系 2 0 4 (図 1 1 参照)等により加工対象物 1 に集光される場合、集光過程で加工対象物 1 に入射されると、異なる入射角の光線が屈折(スネルの法則)によって異なる位置に集束する球面収差が自然的に発生する。つまり、図示するように、加工対象物 1 にレーザ光 L が集光されることに起因して、反射型空間光変調器 2 0 3 によらずに当該集光位置で収差が自然発生し、光軸方向に沿う収差の範囲(当該レーザ光 L の強度が加工閾値 以上となる範囲)が基準収差範囲 H として存在する。

【 0 0 8 2 】

このようなレーザ光 L の集光に起因して発生する球面収差等を含む収差(以下、「集光発生収差」という)に新たな収差を加えることにより、加工品質を制御できることが見出される。新たな収差を加える手法としては、反射型空間光変調器 2 0 3 によりレーザ光 L を位相変調することが挙げられる。位相変調とは、レーザ光 L が有する波面(位相)を任意形状に変調することである。

【 0 0 8 3 】

位相変調の例としては、例えば、アキシコンレンズの作用を実現する位相変調、回折格子の作用を実現する位相変調、所定の球面収差を発生させる位相変調等が挙げられる。当該位相変調の例のそれぞれは、例えば、反射型空間光変調器 2 0 3 に対して、アキシコン

10

20

30

40

50

レンズパターン、回折格子パターン、所定の球面収差パターンのそれぞれを変調パターンとして表示させることで実施できる。ちなみに、新たな収差を加える手法として、収差を与えるレンズを用いる場合や、集光過程に媒質を挿入する場合もあり、これらの場合、当該レンズ及び当該媒質のそれぞれが収差付与部を構成する。

【0084】

図7に戻り、反射型空間光変調器203は、その液晶層216に変調パターンを表示させ、加工対象物1に集光するレーザー光Lを位相変調し、光軸方向における集光位置でのレーザー光Lの強度分布を制御する。換言すると、反射型空間光変調器203は、レーザー波面制御によって集光位置での光軸方向における強度分布を自在に制御する。

【0085】

本実施形態の反射型空間光変調器203は、光軸方向において基準収差範囲H（図15参照）よりも長い長尺範囲を収差の範囲として有し、且つ光軸方向における強度分布が当該長尺範囲HLにて連続する強弱を有するように、レーザー光Lに第1収差を付与する。具体的には、本実施形態の反射型空間光変調器203は、以下に説明するように、レーザー光Lの集光に起因して発生する集光発生収差に対して、アキシコンレンズの作用を実現する位相変調による球面収差（縦収差）である第1収差を組み合わせる（足し合わせる）。

【0086】

図16は、本実施形態の光軸方向におけるレーザー光の強度分布を説明するための図である。図16(a)は集光発生収差のみによる強度分布を示し、図16(b)はアキシコンレンズパターンAxで付与する収差のみによる強度分布を示し、図16(c)は集光発生収差及びアキシコンレンズパターンAxで付与する収差の組合せによる強度分布を示している。図中において、横軸の光軸方向における位置は、レーザー光入射面を0としており、図示右側に行くほど加工対象物1のレーザー光入射面から深い位置となっている。なお、図中の各縦軸のスケールは、それぞれ独立して設定されており、必ずしも互いに一致するものではない。これらの図中の説明については、以下の図20、図21、図24において同様である。

【0087】

図16(a)に示すように、レーザー光Lは、集光発生収差によって強度分布K1を有している。強度分布K1では、浅い位置側に偏りが生じ、加工閾値以上となる範囲である収差の範囲が基準収差範囲Hとされている。一方、反射型空間光変調器203は、液晶層216にアキシコンレンズパターンAxを表示させることにより、正のアキシコンレンズの作用に係る位相変調をレーザー光Lに施し、当該レーザー光Lに対して深い位置側に偏りを有する強度分布K2（図16(b)参照）を与える。従って、図16(c)に示すように、本実施形態では、強度分布K1、K2が組み合わせるよう作用し、レーザー光Lは強度分布K3を有することとなる。

【0088】

強度分布K3は、強度分布K1に対し、その偏りが抑制されてバランスが取れ、光軸方向に伸長化され、基準収差範囲Hよりも長い長尺範囲HLを収差の範囲として有する。加えて、強度分布K3は、長尺範囲HLにて連続する強弱を有する。換言すると、強度分布K3は、光軸方向において、加工閾値以上の範囲が長尺化されて長尺範囲HLとなり、且つ、その値が光軸方向の位置の変化（深くなる又は浅くなる）に伴って鋸歯状に増減する。なお、アキシコンレンズパターンAxで付与する収差量が多い程、そのデフォーカス成分によって、強度分布K2のピークは光軸方向の浅い方向にシフトし、長尺範囲HLは大きくなる傾向となる。

【0089】

この強度分布K3のレーザー光Lが加工対象物1に集光されると、長尺範囲HLを集光部分としてエネルギー密度が十分に維持され、例えば強度分布K3における連続する強弱に応じた多点の集光点が、光軸方向に近接して並ぶように形成される。その結果、光軸方向において長尺範囲HLに対応する縦長の範囲に、複数の改質ドットdを有する改質スポットSx（図11参照）が改質領域7として形成される。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 0 】

このような第 1 収差を実現すべく、レーザ加工装置 3 0 0 では、入力される加工深さ（光軸方向における改質領域 7 の形成位置）から求められた基準収差範囲 H と、入力される加工長さ（光軸方向における改質領域 7 の長さ）と、に基づいて、制御部 2 5 0 で変調パターンを生成する。そして、生成した変調パターンを液晶層 2 1 6 に表示させる（詳しくは、後述）。

【 0 0 9 1 】

図 1 7 は、本実施形態の制御部に格納されたデータテーブルの一例を示す各図である。図 1 7 に示すように、制御部 2 5 0 は、反射型空間光変調器 2 0 3 の液晶層 2 1 6 に表示させる変調パターンを生成するためのデータテーブル T b 1 , T b 2 を有している。図 1 7 (a) に示すように、データテーブル T b 1 では、制御部 2 5 0 に接続された入力部（不図示）で入力される加工深さ $Z_1 \sim Z_3$ と、基準収差範囲 $H_1 \sim H_3$ と、が互いに関連付けられている。図 1 7 (b) に示すように、データテーブル T b 2 では、入力部で入力される加工長さ $X_1 \sim X_3$ 及び基準収差範囲 $H_1 \sim H_3$ と、変調パターン $A_1 \sim A_3$ と、が互いに関連付けられている。

10

【 0 0 9 2 】

図 1 8 は、本実施形態のレーザ加工装置で実施されるレーザ加工方法の一例を示すフローチャートである。図 1 8 に示すように、レーザ加工装置 3 0 0 では、まず、形成する改質領域 7 の加工深さが入力される（S 1）。続いて、制御部 2 5 0 において、データテーブル T b 1 を参照し、入力された加工深さに基づいて、集光発生収差の範囲である基準収差範囲 H が確定される（S 2）。

20

【 0 0 9 3 】

続いて、形成する改質領域 7 の加工長さが入力される（S 3）。続いて、制御部 2 5 0 において、データテーブル T b 2 を参照し、入力された加工長さ及び上記 S 2 で確定された基準収差範囲 H に基づいて、反射型空間光変調器 2 0 3 の液晶層 2 1 6 に表示させる変調パターンが確定される（S 4）。そして、この変調パターンを液晶層 2 1 6 に表示させた状態でレーザ光 L が加工対象物 1 に集光されて、上述のレーザ加工が実施される（S 5）。

【 0 0 9 4 】

これにより、レーザ加工においては、集光発生収差に対して、アキシコンレンズの作用を実現する位相変調による球面収差である第 1 収差が足し合わさり、レーザ光 L の強度分布に当該足し合わせによる長尺化効果が生じる。すなわち、長尺範囲 H L を収差の範囲として有し且つ長尺範囲 H L にて連続する強弱を有する強度分布 K 3（図 1 6 (c) 参照）のレーザ光 L が、加工対象物 1 に集光されることとなる。そのため、加工対象物 1 におけるレーザ光 L の集光部分はそのエネルギー密度を十分に維持したまま縦長となり、ひいては、光軸方向に沿って近接して並ぶ多点位置にレーザ光 L の集光点が形成される。その結果、光軸方向に近接して並ぶ複数の改質ドット d を有する縦長の改質スポット S x が形成され、縦長の改質領域 7 が形成される。

30

【 0 0 9 5 】

なお、上記 S 5 のレーザ加工を開始した後、入力される加工深さが変更された場合、上記 S 1 の処理へ再び移行される（S 6）。また、上記 S 5 のレーザ加工を開始した後、入力される加工長さが変更された場合、上記 S 3 の処理へ再び移行される（S 7）。

40

【 0 0 9 6 】

以上、本実施形態では、基準収差範囲 H よりも長い長尺範囲 H L を収差の範囲として有し、且つ光軸方向における強度分布が長尺範囲 H L にて連続する強弱を有するレーザ光 L によって、加工対象物 1 がレーザ加工される。これにより、加工対象物 1 において、レーザ光 L の集光部分を光軸方向に効果的に程よく伸びるように伸長化し、縦長の改質領域 7 を加工対象物 1 に形成できる。その結果、例えば、切断面の直進性を向上、加工対象物 1 の劈開性や結晶方位による悪影響（劈開面割れや C 面割れ）の抑制、亀裂バラツキの抑制、及び抗折強度の向上等が可能となり、加工品質を向上することができる。

50

【 0 0 9 7 】

本実施形態では、集光点を光軸方向に近接して並ぶ多点とすることができ、これにより、縦長の改質領域 7 として、切取り線状の改質領域 7 を形成することが可能となる。よって、改質領域 7 に沿って加工対象物 1 を切断し易くでき、劈開性や結晶方位に依存しないレーザ加工が容易に可能となる。また、このように多点で集光することから、1 つの縦長集光点で集光する場合に比べ、少ないエネルギーでレーザ加工を実施することが可能となり、加工対象物 1 内におけるレーザ光入射面から深い位置に改質領域 7 を形成する場合でも、十分なエネルギー密度を確保し易くなり、十分な大きさ（幅広）の改質領域 7 を確実に形成できる。

【 0 0 9 8 】

また、一の集光点に対して光軸方向の直近位置に別の集光点が存在することから、加工対象物 1 において切断時の破壊力が強くなり、これにより、加工対象物 1 を容易に切断可能となる。また、一の集光点に対して別の集光点が加熱誘引効果をもたらすことになり、これにより、加工対象物 1 を容易に切断可能となる。さらにまた、レーザ光 L による加工対象物 1 の改質時において応力解放効果を高めることができ、これにより、加工対象物 1 を容易に切断可能となる。

【 0 0 9 9 】

本実施形態では、発生する集光発生収差に対し、アキシコンレンズの作用を実現する位相変調による収差を第 1 収差として加えている。これにより、収差の範囲を長尺範囲 H L へ伸長させながら、長尺範囲 H L にて連続する強弱を有する強度分布 K 3 を得ることができる。

【 0 1 0 0 】

図 1 9 は、本実施形態のレーザ加工方法の効果を説明するための他の写真図である。図 1 9 (a) は、液晶層 2 1 6 に変調パターンを表示させず、集光発生収差を有するレーザ光 L を加工対象物 1 に集光させ、加工対象物 1 内に改質スポット S y を形成した図である。図 1 9 (b) は、液晶層 2 1 6 にアキシコンレンズパターン A x を表示させ、集光発生収差にアキシコンレンズの作用を実現する収差を加えて成る強度分布 K 3 (図 1 6 (c) 参照) のレーザ光 L を加工対象物 1 に集光させ、加工対象物 1 内に改質スポット S x を形成した図である。

【 0 1 0 1 】

図 1 9 の各写真図は、改質スポット S x , S y が形成された加工対象物 1 を切断面から見た状態を示し、図示上下方向が光軸方向に対応する。図 1 9 の各写真図では、図示左右方向に所定間隔で改質スポット S y , S x がそれぞれ並設されている。図 1 9 (b) のレーザ加工では、5 に対応するアキシコンレンズパターン A x を用いている。

【 0 1 0 2 】

図 1 9 に示すように、本実施形態による改質スポット S x は、基準収差範囲 H を有するレーザ光 L が集光されて成る基準の改質スポット S y に比べ、光軸方向において伸長化されて縦長を呈することを確認できる。また、本実施形態の改質スポット S x は、改質スポット S y に比べ、より多くの多点集光点が光軸方向に沿って形成されることを確認できる。

【 0 1 0 3 】

次に、第 2 実施形態について詳細に説明する。なお、本実施形態の説明では、上記第 1 実施形態と異なる点について主に説明する。

【 0 1 0 4 】

本実施形態の反射型空間光変調器 2 0 3 は、以下に説明するように、レーザ光 L の集光に起因して発生する集光発生収差に対して、所定の球面収差を第 1 収差として組み合わせる。図 2 0 は、本実施形態の光軸方向におけるレーザ光の強度分布を説明するための図である。図 2 0 (a) は集光発生収差のみによる強度分布を示し、図 2 0 (b) は所定の球面収差パターンで付与する収差のみによる強度分布を示し、図 2 0 (c) は集光発生収差及び所定の球面収差パターンで付与する収差の組合せによる強度分布を示している。

【 0 1 0 5 】

図 2 0 (a) 及び図 2 0 (b) に示すように、レーザ光 L は、集光発生収差によって強度分布 K 1 を有するところ、反射型空間光変調器 2 0 3 は、その液晶層 2 1 6 に所定の球面収差パターンを表示させ、所定の球面収差に係る位相変調を施すことにより、集光されるレーザ光 L に対して強度分布 K 4 を与える。これにより、図 2 0 (c) に示すように、強度分布 K 1 , K 4 が組み合わさるように作用し、レーザ光 L は強度分布 K 5 を有することとなる。強度分布 K 5 は、強度分布 K 1 に対して光軸方向に伸長化され、長尺範囲 H L を収差の範囲として有し且つ当該長尺範囲 H L にて連続する強弱を有している。

【 0 1 0 6 】

以上、本実施形態においても、加工品質を向上することができるという上記作用効果が奏される。また、本実施形態では、発生する集光発生収差に対して所定の球面収差を加えることにより、収差の範囲を長尺範囲 H L へ伸長させながら、長尺範囲 H L にて連続する強弱を有する強度分布 K 5 を得ることができる。

10

【 0 1 0 7 】

次に、第 3 実施形態について詳細に説明する。なお、本実施形態の説明では、上記第 2 実施形態と異なる点について主に説明する。

【 0 1 0 8 】

本実施形態の反射型空間光変調器 2 0 3 は、以下に説明するように、集光発生収差に対して所定の球面収差を組み合わせると共に、この収差に含まれる強度分布の偏りを発生させる不要成分を除去する。図 2 1 は、本実施形態の光軸方向におけるレーザ光の強度分布を説明するための図である。図 2 1 (a) は集光発生収差のみによる強度分布を示し、図 2 1 (b) は集光発生収差及び所定の球面収差の組合せによる強度分布を示し、図 2 1 (c) は不要成分除去後の集光発生収差及び所定の球面収差の組合せによる強度分布を示している。

20

【 0 1 0 9 】

図 2 1 (a) 及び図 2 1 (b) に示すように、レーザ光 L は集光発生収差によって強度分布 K 1 を有するところ、反射型空間光変調器 2 0 3 は、その液晶層 2 1 6 に所定の球面収差パターンを表示させることにより、レーザ光 L の強度分布を強度分布 K 5 とする。加えて、反射型空間光変調器 2 0 3 は、例えば収差の不要成分が除去されるように、当該所定の球面収差パターンを加工、修正(変更)、合成ないしは再生成する。これにより、レーザ光 L は、図 2 1 (c) に示すように、光軸方向において強度の偏りが解消されて均一化された強度分布 K 5 ' を有することとなる。

30

【 0 1 1 0 】

本実施形態のレーザ加工装置 3 0 0 では、入力される加工深さ及び加工長さに基づいて、制御部 2 5 0 で変調パターン及び不要成分量を求め、これら変調パターン及び不要成分量に基づいてレーザ加工を実施する(詳しくは、後述)。

【 0 1 1 1 】

図 2 2 は、本実施形態の制御部に格納されたデータテーブルの一例を示す図である。図 2 2 に示すように、制御部 2 5 0 は、データテーブル T b 3 を有している。データテーブル T b 3 は、加工深さ及び加工長さに基づいて変調パターン及び不要成分量を取得するためのものである。データテーブル T b 3 では、入力される加工深さ $Z_1 \sim Z_3$ 及び加工長さ $X_1 \sim X_3$ と、不要成分量 $F_{1,1} \sim F_{3,3}$ 及び変調パターン $A_{1,1} \sim A_{3,3}$ と、が互いに関連付けられている。

40

【 0 1 1 2 】

図 2 3 は、本実施形態のレーザ加工装置で実施されるレーザ加工方法の一例を示すフローチャートである。図 2 3 に示すように、本実施形態では、形成する改質領域 7 の加工長さが入力された上記 S 3 の後、制御部 2 5 0 において、データテーブル T b 3 を参照し、加工深さ及び加工長さに基づいて不要成分量が確定される(S 1 1)。

【 0 1 1 3 】

その後の上記 S 4 では、制御部 2 5 0 において、データテーブル T b 3 を参照し、入力

50

された加工深さ及び加工長さに基づいて変調パターンが生成され、この変調パターンについて、上記S 11で確定された不要成分量で不要成分が除去されるように加工、修正（変更）、合成ないしは再生成される。これにより、変調パターンが確定される。

【0114】

以上、本実施形態においても、加工品質を向上することができるという上記作用効果が奏される。また、本実施形態では、長尺範囲の収差に含まれる不要成分を除去している。これにより、光軸方向における強度分布K 5（図21（b）参照）の偏りを解消して均一化し、強度分布K 5'（図21（c）参照）を有するレーザー光Lを加工対象物1に集光させることができる。

【0115】

次に、第4実施形態について詳細に説明する。なお、本実施形態の説明では、上記第1実施形態と異なる点について主に説明する。

【0116】

本実施形態の反射型空間光変調器203は、以下に説明するように、集光発生収差に対してアキシコンレンズの作用を実現する位相変調による球面収差を第1収差として組み合わせる前に、集光発生収差を補正する球面収差補正（収差補正）に関する第2収差を付与する。図24は、本実施形態の光軸方向におけるレーザー光の強度分布を説明するための図である。図24（a）は集光発生収差のみによる強度分布を示し、図24（b）は球面収差補正後の強度分布を示し、図24（c）は球面収差補正後にアキシコンレンズパターンAxによる収差と所定の球面収差とを付与した強度分布を示している。

【0117】

図24（a）及び図24（b）に示すように、レーザー光Lは、集光発生収差によって強度分布K 1を有するところ、反射型空間光変調器203は、集光発生収差を補正する球面収差補正（例えば100μmの球面収差）をレーザー光Lに施し、当該レーザー光Lを理想集光させ、レーザー光Lの強度分布を強度分布K 6とする。強度分布K 6は、光軸方向において急峻に立ち上がり及び立ち下がるピークを有する。

【0118】

加えて、反射型空間光変調器203は、その液晶層216にアキシコンレンズと所定の球面収差との組み合わせの作用を実現する変調パターンを表示させてレーザー光Lに位相変調を施す。これにより、レーザー光Lは、図24（c）に示す強度分布K 7を有することとなる。強度分布K 7は、強度分布K 1に対して、その偏りが抑制されて伸長化されており、光軸方向において長尺範囲HLを収差の範囲として有し且つ当該長尺範囲HLにて連続する強弱を有する。

【0119】

図25は、本実施形態の制御部に格納されたデータテーブルの一例を示す各図である。図25に示すように、制御部250は、データテーブルT b 4、T b 5を有している。データテーブルT b 4は、加工深さに基づいて球面収差補正の補正量を取得するためのものである。データテーブルT b 5は、加工長さ及び球面収差補正の補正量に基づいて、液晶層216に表示させる変調パターンを生成するためのものである。図25（a）に示すように、データテーブルT b 4では、入力される加工深さ $Z_1 \sim Z_3$ と補正量 $Q_1 \sim Q_3$ とが互いに関連付けられている。図25（b）に示すように、データテーブルT b 5では、入力される加工長さ $X_1 \sim X_3$ 及び補正量 $Q_1 \sim Q_3$ と、変調パターン $A_{1,1} \sim A_{3,3}$ と、が互いに関連付けられている。

【0120】

図26は、本実施形態のレーザー加工装置で実施されるレーザー加工方法の一例を示すフローチャートである。図26に示すように、本実施形態では、形成する改質領域7の加工長さが入力された上記S 3の後、制御部250において、データテーブルT b 4を参照し、入力された加工深さに基づいて、球面収差の補正量が確定される（S 21）。その後の上記S 4では、制御部250において、データテーブルT b 5を参照し、入力された加工長さ及び上記S 21で確定された補正量に基づいて、上記第1収差及び上記第2収差を実現

10

20

30

40

50

する変調パターンが生成されて確定される。

【0121】

以上、本実施形態においても、加工品質を向上することができるという上記作用効果が奏される。また、本実施形態では、集光発生収差を補正する球面収差補正を施している。これにより、レーザー光Lを一旦理想集光させると共に、光軸方向において収差の範囲を長尺範囲HLへ伸長化することができる。

【0122】

以上、本発明の一側面に係る実施形態について説明したが、本発明は、上記実施形態に限られるものではなく、各請求項に記載した要旨を変更しない範囲で変形し、又は他のものに適用してもよい。

10

【0123】

上記実施形態におけるレーザー加工の態様は限定されるものではなく、例えば、加工対象物1の内部のみに改質領域7を形成する、いわゆるステルスダイシング加工を実施してもよいし、加工対象物1においてレーザー光入射面及び該レーザー光入射面の反対面の双方に露出するように厚さ方向に沿って延在する改質領域7を形成する、いわゆる全面改質加工を実施してもよい。また、例えば、改質領域7からレーザー光入射面に露出する亀裂、及び、改質領域7からレーザー光入射面の反対面に露出する亀裂を形成する、いわゆるフルカット加工を実施してもよい。

【0124】

上記実施形態では、「レーザー光入射面」を表面3とし、「レーザー光入射面の反対面」を裏面21としたが、裏面21が「レーザー光入射面」とされる場合、表面3が「レーザー光入射面の反対面」となる。上記実施形態では、厚さ方向に複数列の改質領域7を形成してもよい。この場合、複数列の改質領域7の形成順序は順不同である。なお、本発明は、上記レーザー加工装置又は方法により製造されたチップとして捉えることもできる。

20

【産業上の利用可能性】

【0125】

本発明の一側面によれば、加工品質を向上することができるレーザー加工装置及びレーザー加工方法を提供することが可能となる。

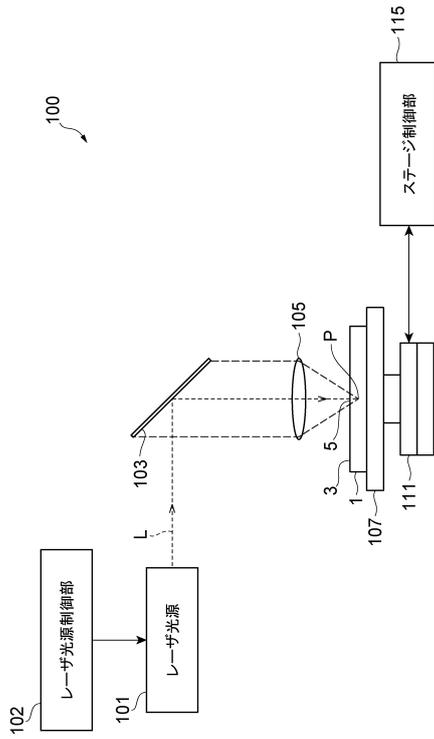
【符号の説明】

【0126】

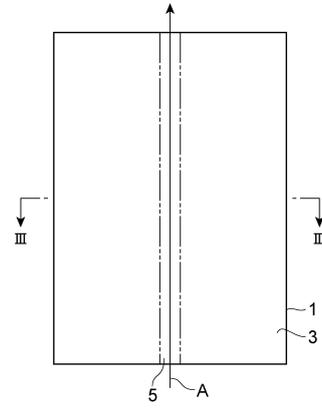
1...加工対象物、3...表面(レーザー光入射面)、21...裏面(レーザー光入射面の反対面)、7...改質領域、100,300...レーザー加工装置、101,202...レーザー光源、203...反射型空間光変調器(収差付与部)、204...集光光学系、H...基準収差範囲、HL...長尺範囲、L...レーザー光。

30

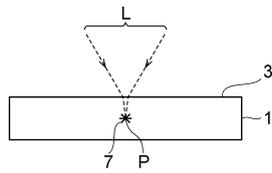
【図1】



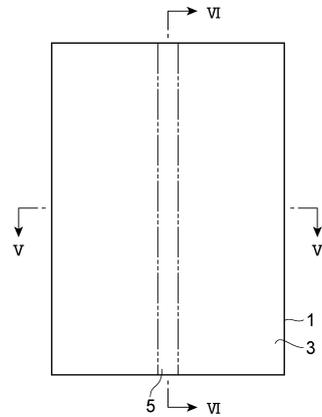
【図2】



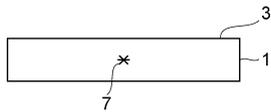
【図3】



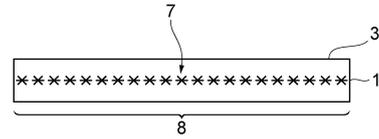
【図4】



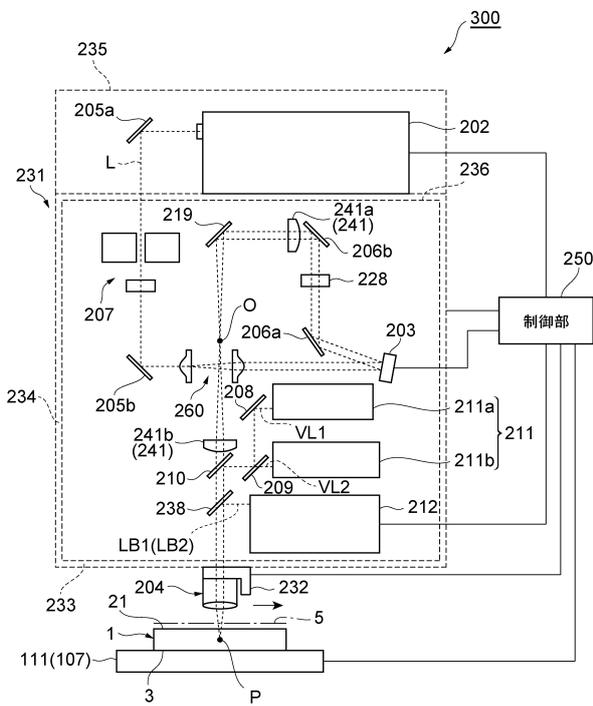
【図5】



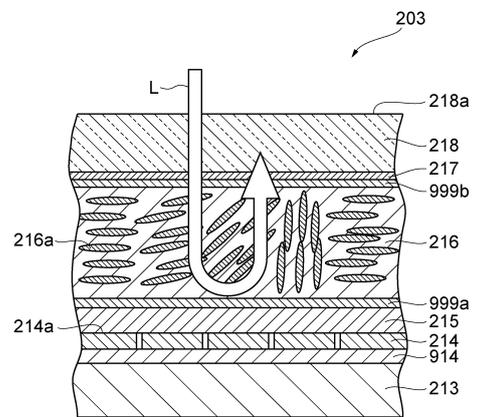
【図6】



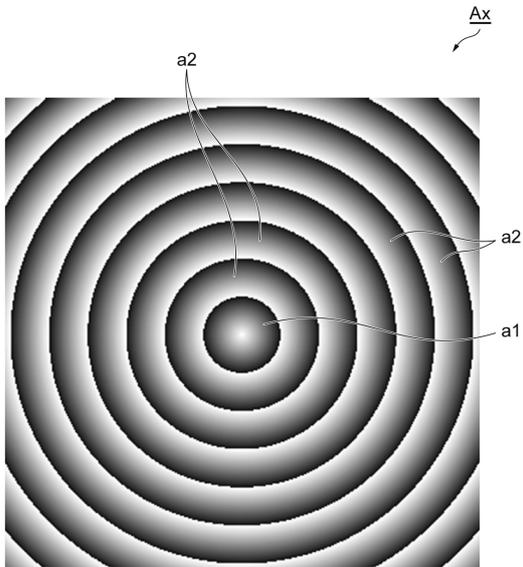
【図7】



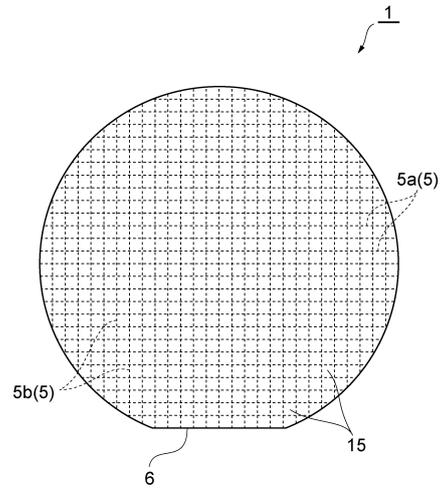
【図8】



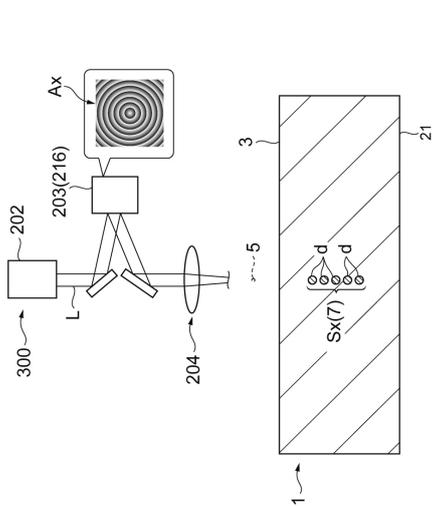
【 図 9 】



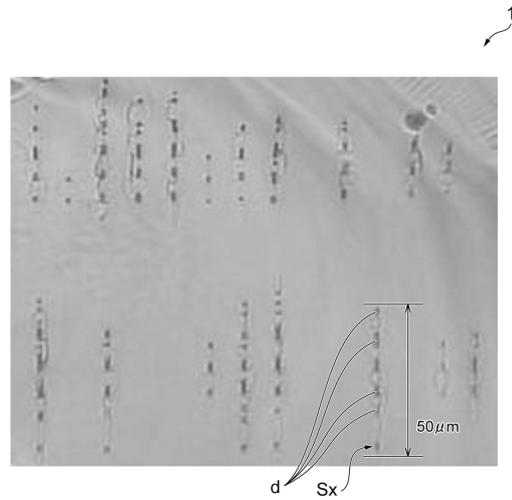
【 図 10 】



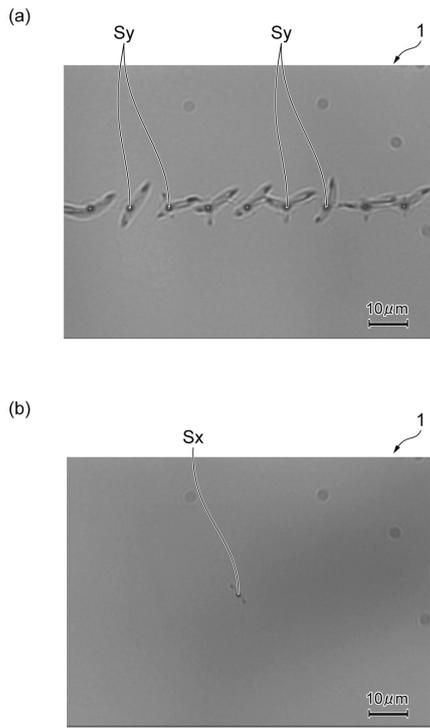
【 図 11 】



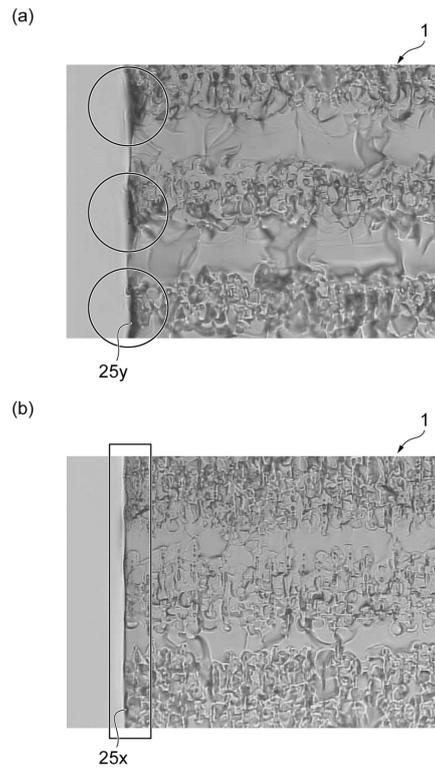
【 図 12 】



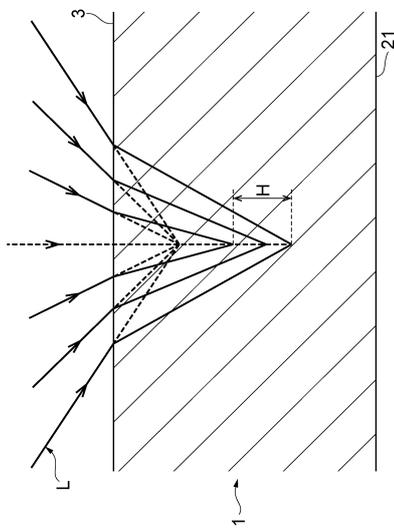
【図 13】



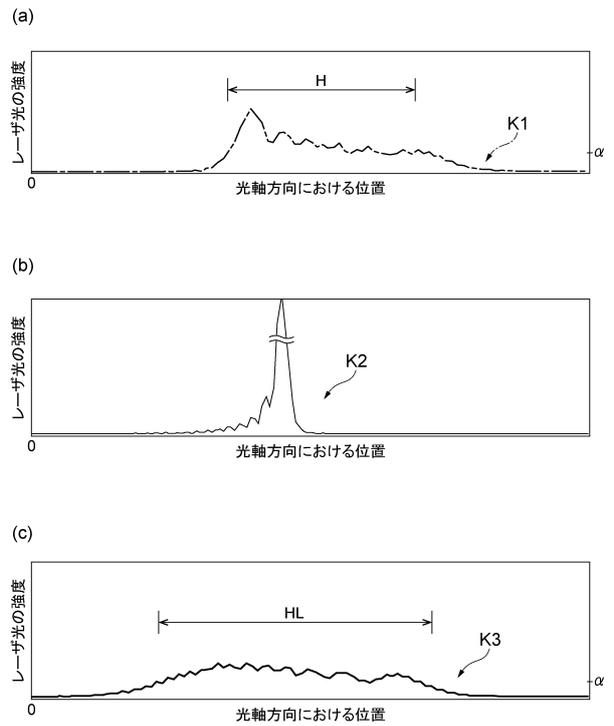
【図 14】



【図 15】



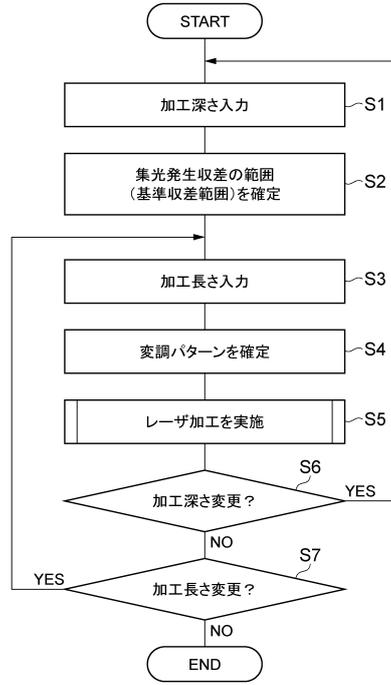
【図 16】



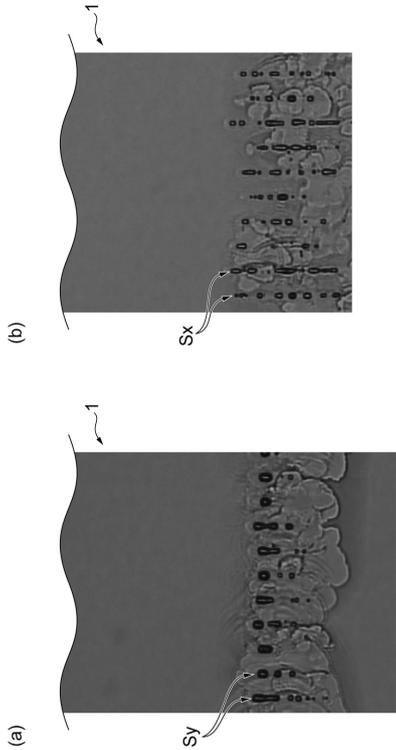
【図 17】



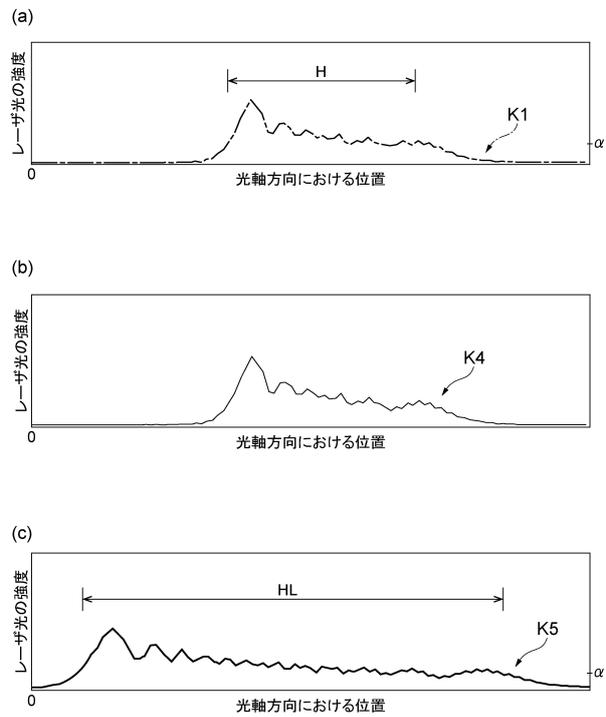
【図 18】



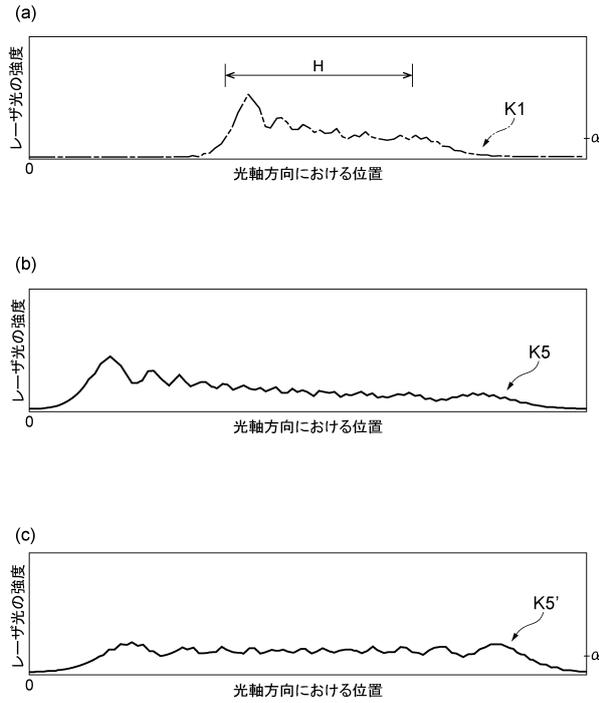
【図 19】



【図 20】



【図 2 1】

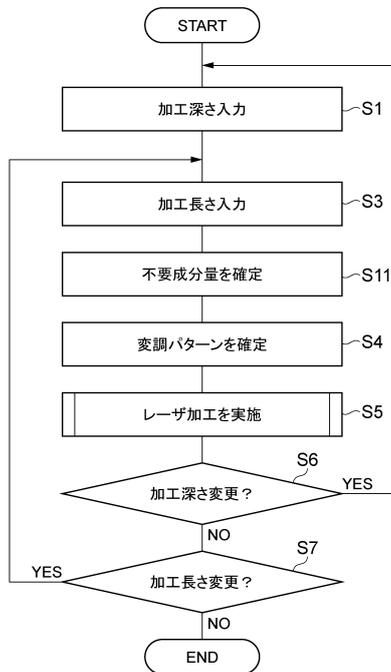


【図 2 2】

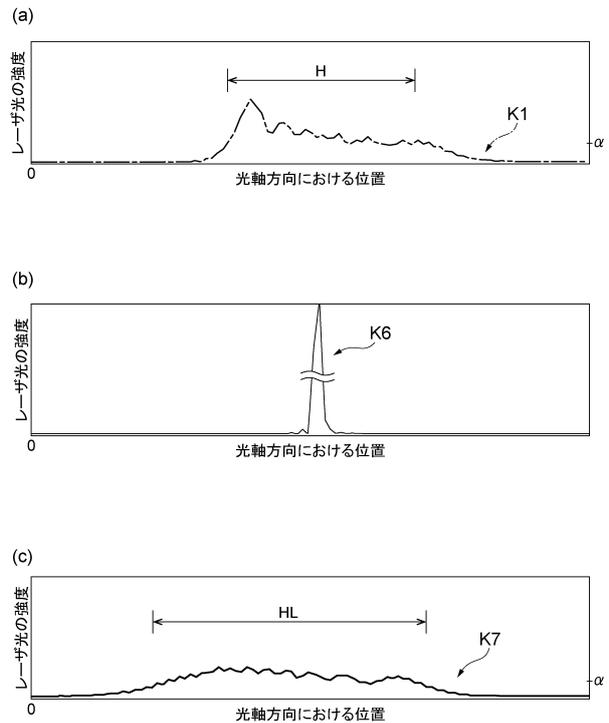
加工長さX1	加工長さZ1 不要成分量F _{1,1} 変調パターンA _{1,1}	加工長さZ2 不要成分量F _{1,2} 変調パターンA _{1,2}	加工長さZ3 不要成分量F _{1,3} 変調パターンA _{1,3}
加工長さX2	不要成分量F _{2,1} 変調パターンA _{2,1}	不要成分量F _{2,2} 変調パターンA _{2,2}	不要成分量F _{2,3} 変調パターンA _{2,3}
加工長さX3	不要成分量F _{3,1} 変調パターンA _{3,1}	不要成分量F _{3,2} 変調パターンA _{3,2}	不要成分量F _{3,3} 変調パターンA _{3,3}

Tb3

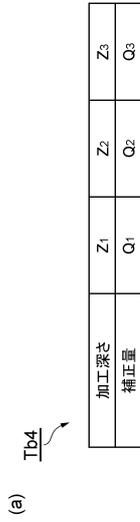
【図 2 3】



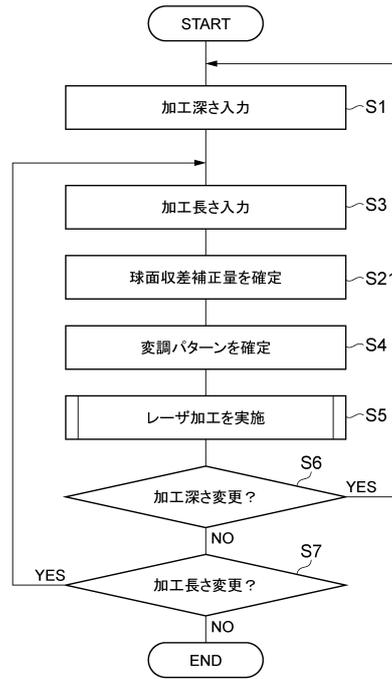
【図 2 4】



【 図 2 5 】



【 図 2 6 】



フロントページの続き

- (72)発明者 中野 誠
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 杉尾 良太
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 廣瀬 翼
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 黒石 孝志

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

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

B 2 3 K 2 6 / 0 0 - 2 6 / 7 0
H 0 1 L 2 1 / 3 0 1
C 0 3 B 3 3 / 0 9