

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6233407号
(P6233407)

(45) 発行日 平成29年11月22日 (2017.11.22)

(24) 登録日 平成29年11月2日 (2017.11.2)

(51) Int. Cl.	F I
C O 3 B 33/09 (2006.01)	C O 3 B 33/09
B 2 3 K 26/073 (2006.01)	B 2 3 K 26/073
H O 1 L 21/301 (2006.01)	H O 1 L 21/78 B

請求項の数 13 (全 41 頁)

(21) 出願番号	特願2015-508562 (P2015-508562)	(73) 特許権者	000000044
(86) (22) 出願日	平成26年3月25日 (2014. 3. 25)		旭硝子株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2014/058354		東京都千代田区丸の内一丁目5番1号
(87) 国際公開番号	W02014/157245	(74) 代理人	100107766
(87) 国際公開日	平成26年10月2日 (2014. 10. 2)		弁理士 伊東 忠重
審査請求日	平成28年7月25日 (2016. 7. 25)	(74) 代理人	100070150
(31) 優先権主張番号	特願2013-63346 (P2013-63346)		弁理士 伊東 忠彦
(32) 優先日	平成25年3月26日 (2013. 3. 26)	(72) 発明者	齋藤 勲
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		東京都千代田区丸の内一丁目5番1号 旭硝子株式会社内
		(72) 発明者	永田 孝弘
			東京都千代田区丸の内一丁目5番1号 旭硝子株式会社内
		審査官	岡田 隆介

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ガラス板の加工方法、およびガラス板の加工装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ガラス板を表面から裏面に透過するレーザ光を前記ガラス板に対して照射し、前記ガラス板に対するレーザ光の照射位置を移動させ、レーザ光の照射によって生じる熱応力で前記ガラス板に亀裂を形成する工程を有する、ガラス板の加工方法であって、

光源から出射した前記レーザ光が照射された前記ガラス板の表面におけるレーザ光の照射領域、および前記表面を透過したレーザ光が照射された裏面におけるレーザ光の照射領域は、それぞれ、

各照射領域にレーザ光のパワー密度のピーク位置を有する場合、各照射領域の前記ピーク位置を通る基準線であって前記ピーク位置の移動方向と平行な基準線を中心に左右非対称なパワー密度分布を有し、

各照射領域にレーザ光のパワー密度のピーク位置を有しない場合、各照射領域の面積重心位置を通る基準線であって前記面積重心位置の移動方向と平行な基準線を中心に左右非対称な形状を有し、

前記レーザ光に対する前記ガラス板の吸収係数 (α) (単位 [cm^{-1}]) と、前記レーザ光が前記ガラス板の表面から裏面まで移動する距離 (M) (単位 [cm]) との積 ($\alpha \times M$) が 0 よりも大きく 3. 0 以下であることを特徴とするガラス板の加工方法。

【請求項 2】

前記ガラス板の表裏両面におけるレーザ光の照射領域は、前記レーザ光の光束の一部を遮光し、前記レーザ光の光束の残部を前記ガラス板に照射して形成される、請求項 1 に記

載のガラス板の加工方法。

【請求項 3】

前記光源から出射したレーザ光は集光レンズで集光されて前記ガラス板に対して照射され、前記ガラス板の表裏両面におけるレーザ光の照射領域は、前記集光レンズの光軸と、前記集光レンズに入射するレーザ光の光軸とをずらして形成される、請求項 1 に記載のガラス板の加工方法。

【請求項 4】

前記ガラス板の表裏両面におけるレーザ光の照射領域は、それぞれ、短軸または長軸が移動方向に対して斜めの楕円形状である、請求項 1 に記載のガラス板の加工方法。

【請求項 5】

前記レーザ光の波長が 250 nm ～ 5000 nm である、請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載のガラス板の加工方法。

【請求項 6】

前記ガラス板を加熱する加熱光を前記レーザ光の照射位置に照射し、前記ガラス板に対する加熱光の照射位置を、前記ガラス板に対するレーザ光の照射位置と共に移動させる、請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載のガラス板の加工方法。

【請求項 7】

ガラス板を支持する支持台と、
該支持台で支持されるガラス板を表面から裏面に透過するレーザ光を出射する光源と、
前記支持台で支持されるガラス板に対して前記光源から出射したレーザ光を照射する光学系と、

前記ガラス板に対するレーザ光の照射位置を移動させる照射位置移動部と、
前記支持台で支持されるガラス板に対する前記レーザ光の集光位置を調整する集光位置調整部とを備え、

前記レーザ光の照射によって生じる熱応力で前記ガラス板に亀裂を形成するガラス板の加工装置であって、

前記光学系は、前記光源から出射した前記レーザ光が照射された前記ガラス板の表面におけるレーザ光の照射領域および前記表面を透過したレーザ光が照射された裏面におけるレーザ光の照射領域が、それぞれ、各照射領域にレーザ光のパワー密度のピーク位置を有する場合、各照射領域の前記ピーク位置を通る基準線であって前記ピーク位置の移動方向と平行な基準線を中心に左右非対称なパワー密度分布を有し、各照射領域にレーザ光のパワー密度のピーク位置を有しない場合、各照射領域の面積重心位置を通る基準線であって前記面積重心位置の移動方向と平行な基準線を中心に左右非対称な形状を有するように構成されたことを特徴とするガラス板の加工装置。

【請求項 8】

前記光学系は、前記光源から出射したレーザ光の光束の一部を遮光する遮光部を含む、請求項 7 に記載のガラス板の加工装置。

【請求項 9】

前記光学系は、前記光源から出射したレーザ光を集光する集光レンズを含み、前記集光レンズに入射するレーザ光の光軸と、前記集光レンズの光軸とがずれている、請求項 7 に記載のガラス板の加工装置。

【請求項 10】

前記集光レンズに入射するレーザ光の光軸に対する前記集光レンズの光軸の位置を調整する光軸位置調整部を備える、請求項 9 に記載のガラス板の加工装置。

【請求項 11】

前記光学系は、前記光源から出射したレーザ光を所定方向に収束するシリンドリカルレンズを含み、前記支持台で支持される前記ガラス板の表裏両面に、それぞれ、短軸が移動方向に対して斜めの楕円形状の前記レーザ光の照射領域を形成する、請求項 7 に記載のガラス板の加工装置。

【請求項 12】

前記レーザ光の波長が250nm～5000nmである、請求項7～11のいずれか1項に記載のガラス板の加工装置。

【請求項13】

前記支持台で支持されるガラス板を加熱する加熱光を出射する加熱光源をさらに備え、前記照射位置移動部は、前記ガラス板に対するレーザ光の照射位置と共に、前記ガラス板に対する加熱光の照射位置を移動させる請求項7～12のいずれか1項に記載のガラス板の加工装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ガラス板の加工方法、およびガラス板の加工装置に関する。

【背景技術】

【0002】

ガラス板の加工方法として、ガラス板の表面にレーザ光を照射して加熱し、レーザ光の照射位置を移動させて、照射位置の後方向を冷却することによる熱応力でガラス板を切断させる方法が知られている。また、ガラス板の切断面の少なくとも一部をガラス板の表面に対して斜めに形成することが求められることがある。例えば、切断された切断片同士の切り離しを容易にする場合などが挙げられる。表面に対して斜めの切断面は、例えばレーザ光の照射位置の後方向を冷却する際に、冷却位置をレーザ光の移動軌跡からオフセットさせて形成させることが提案されている（例えば特許文献1参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】日本国特開2011-219338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、ガラス板の切断後に切断面の角部を削って面取りすることがある。このような面取り形状の端面は、ガラス板の表面に斜めに接続する表側研削面と、ガラス板の裏面に斜めに接続する裏側研削面とを含む。表側研削面と裏側研削面との向きは異なる。従来、この面取り形状の端面をレーザ光の照射で形成することは困難であった。

【0005】

本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであって、ガラス板の表面に斜めに接続する表側亀裂面と、ガラス板の裏面に斜めに接続する裏側亀裂面とを異なる向きで形成できる、ガラス板の加工方法の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記課題を解決するため、本発明の一の態様によれば、

ガラス板を表面から裏面に透過するレーザ光を前記ガラス板に対して照射し、前記ガラス板に対するレーザ光の照射位置を移動させ、レーザ光の照射によって生じる熱応力で前記ガラス板に亀裂を形成する工程を有する、ガラス板の加工方法であって、

光源から出射した前記レーザ光が照射された前記ガラス板の表面におけるレーザ光の照射領域、および前記表面を透過したレーザ光が照射された裏面におけるレーザ光の照射領域は、それぞれ、

各照射領域にレーザ光のパワー密度のピーク位置を有する場合、各照射領域の前記ピーク位置を通る基準線であって前記ピーク位置の移動方向と平行な基準線を中心に左右非対称なパワー密度分布を有し、

各照射領域にレーザ光のパワー密度のピーク位置を有しない場合、各照射領域の面積重心位置を通る基準線であって前記面積重心位置の移動方向と平行な基準線を中心に左右非対称な形状を有することを特徴とするガラス板の加工方法が提供される。

【発明の効果】

【0007】

本発明の一態様によれば、ガラス板の表面に斜めに接続する表側亀裂面と、ガラス板の裏面に斜めに接続する裏側亀裂面とを異なる向きで形成できる、ガラス板の加工方法が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】本発明の第1実施形態によるガラス板加工装置を示す側面図である。

【図2】図1のガラス板の表面に形成されるレーザー光の照射領域を示す平面図である。

【図3】図1のガラス板に形成される表側亀裂面および裏側亀裂面を示す図である。

10

【図4】図3のガラス板に形成される中間亀裂面を示す図である。

【図5】図3の変形例を示す図である。

【図6】図1の光学系を示す側面図である。

【図7】図6の遮光部の上面と同一平面上におけるレーザー光の位置を示す平面図である。

【図8】図6のガラス板の表面におけるレーザー光の照射領域を示す平面図である。

【図9】図8のy軸線($x=0$)上におけるパワー密度分布を示す図である。

【図10】図6のガラス板の裏面におけるレーザー光の照射領域を示す平面図である。

【図11】図6のレーザー光の集光位置をガラス板を挟んで反対側に移動させたときの側面図である。

【図12】図11のガラス板の表面におけるレーザー光の照射領域を示す平面図である。

20

【図13】第1実施形態の第1変形例による遮光部の上面と同一平面上におけるレーザー光の位置を示す平面図である。

【図14】第1実施形態の第1変形例によるガラス板の表面におけるレーザー光の照射領域を示す平面図である。

【図15】第1実施形態の第1変形例によるガラス板の裏面におけるレーザー光の照射領域を示す平面図である。

【図16】図14に示す $\theta_0 a$ が 0° のときのレーザー光の照射領域を示す平面図である。

【図17】図14に示す $\theta_0 a$ が 45° のときのレーザー光の照射領域を示す平面図である。

【図18】図14に示す $\theta_0 a$ が 135° のときのレーザー光の照射領域を示す平面図である。

30

【図19】図14に示す $\theta_0 a$ が 180° のときのレーザー光の照射領域を示す平面図である。

【図20】図14に示す $\theta_0 a$ が 225° のときのレーザー光の照射領域を示す平面図である。

【図21】図14に示す $\theta_0 a$ が 315° のときのレーザー光の照射領域を示す平面図である。

【図22】第1実施形態の第2変形例による光学系を示す側面図である。

【図23】図22のガラス板の表面におけるレーザー光の照射領域および加熱光の照射領域を示す平面図である。

40

【図24】本発明の第2実施形態によるガラス板加工装置の光学系を示す側面図である。

【図25】図24の遮光部の上面と同一平面上におけるレーザー光の位置を示す平面図である。

【図26】図24のガラス板の表面におけるレーザー光の照射領域を示す平面図である。

【図27】図26のy軸線($x=0$)上におけるパワー密度分布を示す図である。

【図28】図24のガラス板の裏面におけるレーザー光の照射領域を示す平面図である。

【図29】本発明の第3実施形態によるガラス板加工装置の光学系を示す側面図である。

【図30】図29の集光レンズの上端と同一平面上におけるレーザー光の位置を示す平面図である。

【図31】図29のガラス板の表面におけるレーザー光の照射領域を示す平面図である。

50

【図 3 2】図 3 1 の y 軸線 ($x = 0$) 上におけるパワー密度分布を示す図である。

【図 3 3】本発明の第 4 実施形態によるガラス板加工装置の光学系を示す側面図である。

【図 3 4】図 3 3 のガラス板の表面におけるレーザ光の照射領域を示す平面図である。

【図 3 5】図 3 4 の y 軸線と平行な平行線 ($x = x_3$) 上におけるパワー密度分布を示す図である。

【図 3 6】図 3 3 のガラス板の裏面におけるレーザ光の照射領域を示す平面図である。

【図 3 7】試験例 8-1 の後に外力によって中間亀裂面を形成したガラス板の切断片の顕微鏡写真である。

【図 3 8】試験例 8-2 の後に外力によって中間亀裂面を形成したガラス板の切断片の顕微鏡写真である。

10

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下、本発明を実施するための形態について図面を参照して説明する。各図面において、同一の又は対応する構成には、同一の又は対応する符号を付して説明を省略する。

【0010】

[第 1 実施形態]

図 1 は、本発明の第 1 実施形態によるガラス板加工装置を示す側面図である。図 2 は、図 1 のガラス板の表面に形成されるレーザ光の照射領域を示す平面図である。図 3 は、図 1 のガラス板に形成される表側亀裂面および裏側亀裂面を示す図である。図 4 は、図 3 のガラス板に形成される中間亀裂面を示す図である。

20

【0011】

ガラス板加工装置 10 は、例えば図 1 に示すようにフレーム 12、支持台 20、光源 30、光学系 40、照射位置移動部 50、遮光位置調整部 62、光軸位置調整部 64、集光位置調整部 66、および制御部 70 を備える。ガラス板加工装置 10 は、支持台 20 で支持されるガラス板 2 に対して光源 30 から出射したレーザ光 32 を照射し、図 3 に示すようにガラス板 2 に表側亀裂面 4a および裏側亀裂面 4b を形成する。表側亀裂面 4a はガラス板 2 の表面 2a に斜めに接続し、裏側亀裂面 4b はガラス板 2 の裏面 2b に斜めに接続する。表側亀裂面 4a および裏側亀裂面 4b が形成されたガラス板 2 に外力が加わると、図 4 に示すように表側亀裂面 4a と裏側亀裂面 4b とを接続する中間亀裂面 4c が形成され、ガラス板 2 が切断される。尚、詳しくは後述するが、レーザ光 32 の照射条件によ

30

【0012】

ガラス板 2 のガラスとしては、例えばソーダライムガラス、無アルカリガラス等が挙げられる。ガラス板 2 の厚さは、ガラス板 2 の用途に応じて適宜設定され、例えば 0.005 cm ~ 2.5 cm である。

【0013】

ガラス板 2 には表側亀裂面 4a や裏側亀裂面 4b の起点となる初期クラックが形成されてよい。初期クラックは、例えばガラス板 2 の表面 2a や裏面 2b、端面のいずれに形成されてもよい。

【0014】

初期クラックの形成方法は、一般的な方法であってよく、例えばカッター、ヤスリ、レーザ等を用いる方法であってよい。ガラス板 2 の端面が回転砥石で研削されたものである場合、研削によって形成されるマイクロクラックが初期クラックとして利用可能である。

40

【0015】

初期クラックを形成する初期クラック形成部がガラス板加工装置 10 に備えられてもよい。初期クラック形成部は、例えばホイールカッター、ホイールカッターの刃先をガラス板 2 に押し付ける油圧シリンダなどで構成される。

【0016】

支持台 20 は、ガラス板 2 を支持するものであって、例えばガラス板 2 を真空吸着する。支持台 20 におけるガラス板 2 を支持する支持面は、フレーム 12 の床部 13 に対して

50

平行であってよく、水平に配設されてよい。

【0017】

光源30は、支持台20で支持されるガラス板2を表面2aから裏面2bに透過するレーザー光32を出射する。光源30の光軸は、フレーム12の床部13に対して垂直であってよく、鉛直に配設されてよい。光源30から出射されるレーザー光32の断面形状は例えば円形であってよい。

【0018】

光源30は、例えば波長が800nm～1100nmの近赤外線（以下、単に「近赤外線」という）を出射する近赤外線レーザーで構成される。近赤外線レーザーとしては、例えば、Ybファイバーレーザー（波長：1000nm～1100nm）、Ybディスクレーザー（波長：1000nm～1100nm）、Nd：YAGレーザー（波長：1064nm）、高出力半導体レーザー（波長：808nm～980nm）が挙げられる。これらの近赤外線レーザーは、高出力で安価であり、また、透過率を所望の範囲に調整するのが容易である。

【0019】

近赤外線レーザーの場合、ガラス板2中の鉄（Fe）の含有量、コバルト（Co）の含有量、銅（Cu）の含有量が多くなるほど、吸収係数（ α ）が大きくなる。また、この場合、ガラス板2中の希土類元素（例えばYb）の含有量が多くなるほど、希土類原子の吸収波長付近で吸収係数（ α ）が大きくなる。吸収係数（ α ）の調節にはガラスの透明性、およびコストの観点から鉄が用いられ、コバルト、銅、および希土類元素はガラス板2中に実質的に含まれていなくてもよい。

【0020】

尚、本実施形態では、光源30として高出力で安価な近赤外線レーザーが用いられるが、波長が250nm～5000nmの光源が使用可能である。例えば、UVレーザー（波長：355nm）、グリーンレーザー（波長：532nm）、Ho：YAGレーザー（波長：2080nm）、Er：YAGレーザー（2940nm）、中赤外光パラメトリック発振器を使用したレーザー（波長：2600nm～3450nm）等が挙げられる。

【0021】

レーザー光32がガラス板2中を距離（D）（単位〔cm〕）だけ移動する間にレーザー光32の強度が I_0 からIに変化したとすると、 $I = I_0 \times \exp(-\alpha \times D)$ の式が成立する。この式は、ランベルト・ベールの法則と呼ばれるものである。 α はレーザー光32に対するガラス板2の吸収係数（単位〔 cm^{-1} 〕）を表し、レーザー光32の波長やガラス板2の化学組成等で決まる。 α は紫外可視近赤外分光光度計等により測定される。

【0022】

レーザー光32に対するガラス板2の吸収係数（ α ）（単位〔 cm^{-1} 〕）と、レーザー光32がガラス板2の表面2aから裏面2bまで移動する距離（M）（単位〔cm〕）との積（ $\alpha \times M$ ）は、好ましくは0よりも大きく3.0以下である。ガラス板2に対するレーザー光32の内部透過率が高く、ガラス板2の表裏両面2a、2bが十分に加熱できる。 $\alpha \times M$ は、より好ましくは2.3以下（内部透過率10%以上）、さらに好ましくは1.6以下（内部透過率20%以上）である。 $\alpha \times M$ が小さすぎると、内部透過率が高すぎ、吸収効率が低すぎるので、好ましくは0.002以上（内部透過率99.8%以下）、より好ましくは0.01以上（内部透過率99%以下）、さらに好ましくは0.02以上（内部透過率98%以下）である。内部透過率は、ガラス板2の表面2aで反射がないとしたときの透過率である。

【0023】

尚、ガラス板2の加熱温度は、ガラスの徐冷点以下の温度であってよい。ガラスの温度がガラスの徐冷点の温度を超えると、ガラスが粘性流動し、熱応力が緩和され、亀裂の形成が困難である。

【0024】

レーザー光32がガラス板2の表面2aに垂直に入射する場合、レーザー光32がガラス板2の表面2aから裏面2bまで移動する距離（M）は、ガラス板2の板厚（t）と同じ値

10

20

30

40

50

となる。一方、レーザ光 3 2 は、ガラス板 2 の表面 2 a に斜めに入射する場合、スネルの法則に従って屈折するので、屈折角を γ とすると、レーザ光 3 2 がガラス板 2 の表面 2 a から裏面 2 b まで移動する距離 (M) は、 $M = t / \cos \gamma$ の式で近似的に求められる。

【0025】

光学系 4 0 は、支持台 2 0 で支持されるガラス板 2 に対して光源 3 0 から出射したレーザ光 3 2 を照射する。光学系 4 0 は、例えばレーザ光 3 2 の光束の一部を遮光する遮光部 4 2 と、レーザ光 3 2 の光束の残部を集光する集光レンズ 4 4 とを含む。尚、遮光部 4 2 と集光レンズ 4 4 との配置は逆でもよく、遮光部 4 2 は集光レンズ 4 4 を通過したレーザ光の一部を遮光してもよい。

【0026】

10

ガラス板 2 の表面 2 a に形成されるレーザ光 3 2 の照射領域は、例えば直径 Φa (図 8 参照) の円形の一部が欠けた形状であってよい。同様に、ガラス板 2 の裏面 2 b に形成されるレーザ光 3 2 の照射領域は、例えば直径 Φb (図 1 0 参照) の円形の一部が欠けた形状であってよい。

【0027】

遮光部 4 2 は、例えば床部 1 3 に対して平行に配設される金属板 (例えばステンレス板) で構成される。遮光部 4 2 は、レーザ光 3 2 の光束の一部を遮光する。遮光は、光の吸収、光の反射のいずれによるものでもよい。

【0028】

集光レンズ 4 4 は、レーザ光 3 2 の光束の残部を、支持台 2 0 で支持されるガラス板 2 に向けて集光してよい。集光レンズ 4 4 の光軸 (対称軸) は、光源 3 0 の光軸に対して平行であってよく、鉛直に配設されてよい。

20

【0029】

照射位置移動部 5 0 は、支持台 2 0 で支持されるガラス板 2 に対するレーザ光 3 2 の照射位置を移動させる。照射位置移動部 5 0 は、例えば床部 1 3 に対して支持台 2 0 を平行に移動させることによって、支持台 2 0 で支持されるガラス板 2 に対するレーザ光 3 2 の照射位置を移動させる。

【0030】

照射位置移動部 5 0 は、例えば、第 1 ガイドレール 5 1、第 1 スライダ 5 2、第 1 モータ 5 3、第 1 ボールねじ機構 5 4、第 2 ガイドレール 5 5、第 2 スライダ 5 6、第 2 モータ 5 7、および第 2 ボールねじ機構 5 8 などで構成される。

30

【0031】

第 1 ガイドレール 5 1 は、フレーム 1 2 の床部 1 3 に敷設され、第 1 スライダ 5 2 を第 1 方向 (図 1 において紙面垂直方向) に案内する。第 1 スライダ 5 2 と第 1 モータ 5 3 との間には第 1 モータ 5 3 の回転運動を第 1 スライダ 5 2 の直線運動に変換する第 1 ボールねじ機構 5 4 が設けられる。

【0032】

第 2 ガイドレール 5 5 は、第 1 スライダ 5 2 上に敷設され、第 2 スライダ 5 6 を第 2 方向 (図 1 において左右方向) に案内する。第 2 スライダ 5 6 と第 2 モータ 5 7 との間には第 2 モータ 5 7 の回転運動を第 2 スライダ 5 6 の直線運動に変換する第 2 ボールねじ機構 5 8 が設けられる。

40

【0033】

支持台 2 0 は、第 2 スライダ 5 6 に固定され、第 2 スライダ 5 6 と共に床部 1 3 に対して第 1 方向および第 2 方向に移動する。床部 1 3 に対して平行に支持台 2 0 が移動すると、ガラス板 2 に対するレーザ光 3 2 の照射位置が移動する。尚、第 2 スライダ 5 6 は、支持台 2 0 と別に設けられるが、支持台 2 0 の一部として設けられてもよい。また、支持台 2 0 と第 2 スライダ 5 6 との間に図示しない回転軸が設けられていてもよい。回転軸の回転させることによって支持台 2 0 が回転し、ガラス板 2 を回転させながらレーザ光 3 2 を照射することができる。

【0034】

50

尚、本実施形態の照射位置移動部 50 は、床部 13 に対して平行に支持台 20 を移動させるが、支持台 20 の代わりに光源 30 および光学系 40 を保持するホルダ 15 を移動させてもよいし、支持台 20 とホルダ 15 の両方を移動させてもよい。支持台 20 で支持されるガラス板 2 に対するレーザ光 32 の照射位置が調整できる。

【0035】

遮光位置調整部 62 は、光源 30 に対する遮光部 42 の位置を調整し、支持台 20 で支持されるガラス板 2 の表裏両面 2a、2b におけるレーザ光 32 の照射領域の形状を調整する。例えば遮光位置調整部 62 は、床部 13 に対して平行に遮光部 42 を移動させることによって、光源 30 に対する遮光部 42 の位置を調整する。

【0036】

遮光位置調整部 62 は、例えば一端部がホルダ 15 に固定され、他端部が遮光部 42 に固定される伸縮シリンダで構成される。伸縮シリンダは、流体圧シリンダ（例えば油圧シリンダ）、電動シリンダのいずれでもよい。伸縮シリンダが第 2 方向（図 1 において左右方向）に伸縮することで、床部 13 に対して平行に遮光部 42 が移動する。

【0037】

尚、本実施形態の遮光位置調整部 62 は、床部 13 に対して遮光部 42 を第 2 方向に移動させるが、第 2 方向の代わりに第 1 の方向に移動させてもよいし、第 1 方向および第 2 方向に移動させてもよい。また、本実施形態の遮光位置調整部 62 は、床部 13 に対して平行に遮光部 42 を移動させるが、遮光部 42 の代わりに光源 30 を移動させてもよいし、遮光部 42 と光源 30 の両方を移動させてもよい。光源 30 に対する遮光部 42 の位置が調整できる。

【0038】

光軸位置調整部 64 は、集光レンズ 44 に入射するレーザ光 32 の光軸に対する集光レンズ 44 の光軸の位置を調整し、支持台 20 で支持されるガラス板 2 の表裏両面におけるレーザ光 32 の照射領域の形状を調整する。例えば光軸位置調整部 64 は、床部 13 に対して集光レンズ 44 を水平に移動させることによって、集光レンズ 44 に入射するレーザ光 32 の光軸に対する集光レンズ 44 の光軸の位置を調整する。

【0039】

光軸位置調整部 64 は、例えば一端部がホルダ 15 に固定され、他端部が集光レンズ 44 を保持するレンズホルダに固定される伸縮シリンダで構成される。伸縮シリンダが第 2 方向（図 1 において左右方向）に伸縮することで、床部 13 に対して集光レンズ 44 が水平に移動する。

【0040】

尚、本実施形態の光軸位置調整部 64 は、床部 13 に対して集光レンズ 44 を第 2 方向に移動させるが、第 2 方向の代わりに第 1 の方向に移動させてもよいし、第 1 方向および第 2 方向に移動させてもよい。また、本実施形態の光軸位置調整部 64 は、床部 13 に対して集光レンズ 44 を移動させるが、集光レンズ 44 の代わりに光源 30 を移動させてもよいし、集光レンズ 44 と光源 30 の両方を移動させてもよい。集光レンズ 44 に入射するレーザ光 32 の光軸に対する集光レンズ 44 の光軸の位置が調整できる。

【0041】

集光位置調整部 66 は、支持台 20 で支持されるガラス板 2 に対するレーザ光 32 の集光位置を調整し、ガラス板 2 の表裏両面 2a、2b におけるレーザ光 32 の照射領域の形状を調整する。例えば集光位置調整部 66 は、ホルダ 15 を床部 13 に対して垂直に移動させることによって、支持台 20 で支持されるガラス板 2 に対するレーザ光 32 の集光位置を調整する。

【0042】

集光位置調整部 66 は、例えば一端部がフレーム 12 の天井部 14 に固定され、他端部がホルダ 15 に固定される伸縮シリンダで構成される。伸縮シリンダが上下に伸縮することで、床部 13 に対して垂直にホルダ 15 が移動する。

【0043】

尚、本実施形態の集光位置調整部 66 は、床部 13 に対して垂直にホルダ 15 を移動させるが、ホルダ 15 の代わりに支持台 20 を移動させてもよいし、ホルダ 15 および支持台 20 の両方を移動させてもよい。ガラス板 2 に対するレーザ光 32 の集光位置が調整できる。

【0044】

制御部 70 は、ガラス板加工装置 10 の各種動作を制御する。制御部 70 は、例えばマイクロコンピュータで構成され、CPU やメモリなどを含む。制御部 70 は、メモリなどに記憶されたプログラムを CPU で実行させることにより、光源 30、照射位置移動部 50、遮光位置調整部 62、光軸位置調整部 64、および集光位置調整部 66 を制御する。

【0045】

次に、図 1～図 3 を参照して、上記構成のガラス板加工装置 10 の動作（ガラス板の加工方法）について説明する。

【0046】

まず、制御部 70 は、照射位置移動部 50、および集光位置調整部 66 を制御し、支持台 20 で支持されるガラス板 2 と、光源 30 との位置合わせを行う。また、制御部 70 は、遮光位置調整部 62 を制御し、遮光部 42 と光源 30 との位置合わせを行う。さらに、制御部 70 は、光軸位置調整部 64 を制御し、集光レンズ 44 と光源 30 との位置合わせを行う。位置合わせの順序は特に限定されず、同時に行われてもよい。

【0047】

次いで、制御部 70 は、光源 30 を作動させる。光源 30 から出射したレーザ光 32 は、光学系 40 を介して、支持台 20 で支持されるガラス板 2 に対して照射され、ガラス板 2 に予め形成された初期クラックの近傍に照射される。レーザ光の照射によって生じる熱応力で、ガラス板 2 に亀裂が形成される。

【0048】

続いて、制御部 70 は、照射位置移動部 50 を作動させ、ガラス板 2 に対するレーザ光 32 の照射位置を移動させる。レーザ光 32 の照射位置の移動に伴って、ガラス板 2 に形成される亀裂が伸展し、表側亀裂面 4a および裏側亀裂面 4b が形成される。

【0049】

表側亀裂面 4a は、ガラス板 2 の表面 2a 付近で生じる引張応力で形成され、ガラス板 2 の表面 2a に斜めに接続する。同様に、裏側亀裂面 4b は、ガラス板 2 の裏面 2b 付近で生じる引張応力で形成され、ガラス板 2 の裏面 2b に斜めに接続する。表側亀裂面 4a および裏側亀裂面 4b は、レーザ光 32 の照射位置またはその近傍で形成される。表側亀裂面 4a の傾斜の向きと、裏側亀裂面 4b の傾斜の向きとは、図 3 に示すように互いに反対向きである。例えば図 3 において表側亀裂面 4a の傾斜の向きは右下がりであり、裏側亀裂面 4b の傾斜の向きは右上がりである。ガラス板 2 の亀裂を挟んだ左右両側の部分のうち、左側の部分（大きい方の部分）を製品として用いる場合に、製品の端面と表面 2a 及び裏面 2b の接続角度が鈍角になるので、製品の端面での破損が抑制できる。一方、右側の部分は、端面と表裏面との接続角度が鋭角になる。

【0050】

尚、表側亀裂面 4a の傾斜の向きと、裏側亀裂面 4b の傾斜の向きとは逆でもよく、図 5 に示すように、表側亀裂面 4a の傾斜の向きが右上がりであり、裏側亀裂面 4b の傾斜の向きが右下がりでもよい。ガラス板 2 の亀裂を挟んだ左右両側の部分のうち、右側の部分（小さい方の部分）を製品として用いる場合に、製品の端面と表面 2a 及び裏面 2b の接続角度が鈍角になるので、製品の端面での破損が抑制できる。一方、左側の部分は、端面と表裏面との接続角度が鋭角になる。

【0051】

図 3 および図 5 に示すように、ガラス板 2 の切断予定線の片側では、表面と表側亀裂面との接続角度（なす角）、および裏面と表側亀裂面との接続角度の両方が鈍角になる。これに対し、ガラス板 2 の切断予定線の反対側では、表面と表側亀裂面との接続角度、および裏面と裏側亀裂面との接続角度の両方が鋭角になる。図 4 に示すように、ガラス板 2 を

10

20

30

40

50

切断してなる切断片のうち、一方の切断片の端面の断面形状は凸形状となり、他方の切断片の端面の断面形状は凹形状となる。

【0052】

表側亀裂面4aおよび裏側亀裂面4bが目標の傾きに形成できるか否かは、主に、ガラス板2に対するレーザ光32の透過率、ガラス板2の表裏両面におけるレーザ光32のパワー密度分布やレーザ光32の照射形状で決まる。ガラス板2の表裏両面におけるレーザ光32のパワー密度分布やレーザ光32の照射形状は、光学系40の構成などで決まる。

【0053】

図6は、図1の光学系を示す側面図である。以下の説明において、「前方向」はガラス板2の表面2aにおけるレーザ光32の照射位置の移動方向を表し、「後方向」は前方向の反対側の方向を表し、「左方向」および「右方向」はガラス板2の表面2aにおけるレーザ光32の照射位置に立って前方向を向く観察者から見た方向を表す。

10

【0054】

図6に示すように、光学系40は、光源30から出射されたレーザ光32の光束の一部を遮光部42で遮光し、レーザ光32の光束の残部を集光レンズ44で集光し、支持台20で支持されるガラス板2に照射する。レーザ光32の集光位置は、ガラス板2よりも下方にあり、ガラス板2を基準として光源30と反対側にある。光源30と集光レンズ44とは同軸的に配設される。

【0055】

図7は、図6の遮光部の上面と同一平面上におけるレーザ光の位置を示す平面図である。図7に示すX軸線およびY軸線は遮光部42の上面と同一平面上に設定され、当該平面上におけるレーザ光32のパワー密度のピーク位置をX軸線とY軸線の交点（つまり、原点）とする。図7のX軸線は後述する図8のx軸線と平行とされ、図7のY軸線は図8のy軸線と平行とされる。

20

【0056】

遮光部42は、図7に示すように、平面視で、長手方向がY軸方向と平行な長方形状であってよい。遮光部42の幅W1は、遮光部42の上面における円形のレーザ光32の直径Φ1よりも小さい。遮光部42はレーザ光32の光路に左方から挿入される。遮光部42の右端中央（図7において黒丸で示す）の位置を直交座標（X0, Y0）で表す。

【0057】

30

図8は、図6のガラス板の表面におけるレーザ光の照射領域を示す平面図である。図8に示すx軸線およびy軸線はガラス板2の表面2a上に設定され、表面2a上におけるレーザ光32のパワー密度のピーク位置がx軸線とy軸線の交点（つまり、原点）である。ガラス板2の表面2aにおいて、レーザ光32のパワー密度のピーク位置の移動方向と平行にx軸線が設定され、x軸線と垂直にy軸線が設定される。

【0058】

遮光部42で遮光されるレーザ光32の遮光領域が、図8に示すようにガラス板2の表面2a上に形成される。ガラス板2の表面2aにおけるレーザ光32の遮光領域の右端中央（図8において黒丸で示す）の位置を直交座標（x0a, y0a）で表す。

【0059】

40

図9は、図8のy軸線（x=0）上におけるパワー密度分布を示す図である。図9において、遮光部42でレーザ光32の光束の一部を遮光しないときのy軸線上におけるパワー密度分布（ガウス分布）を一点鎖線で示す。

【0060】

遮光部42がレーザ光32の光束の一部を遮光することで、図9に実線で示すように、y軸線上におけるレーザ光32のパワー密度の分布がx軸線（y=0）を中心に左右非対称となる。よって、y軸線上において、x軸線（y=0）を中心に左右非対称な熱応力分布が形成される。

【0061】

このように、ガラス板2の表面2aにおいて、レーザ光32の照射領域は、レーザ光3

50

2のパワー密度のピーク位置を通る基準線であって当該ピーク位置の移動方向と平行な基準線（x軸線）を中心に左右非対称なパワー密度分布を有する。よって、所望の熱応力場が形成でき、ガラス板2の表面2aに斜めに接続する表側亀裂面4aが形成できる。

【0062】

ガラス板2の表面2aにおける所望の熱応力場とは、ガラス板2の表面2aにおけるレーザ光32の照射領域に形成される引張応力が原点よりも後方向において基準線（x軸線）に対して左右のどちらかに偏ることである。この偏りによって、表側亀裂面4aの傾斜の向きが決定される。引張応力が原点よりも後方向において基準線に対して左右のどちらかに偏るとは、原点よりも後方向における基準線の左側と右側とで引張応力の積分値が異なることを意味する。すなわち、原点よりも後方向において、基準線の左側の方が引張応力の積分値が大きい、または、基準線の右側の方が引張応力の積分値が大きい。原点はガラス板2に対して移動するため、原点よりも後方向の引張応力分布は原点よりも前方向で生じた引張応力の影響も含む。

10

【0063】

本明細書において、「パワー密度分布」は上記基準線（x軸線）に対して垂直な線上におけるパワー密度の分布のことである。ガラス板2の表面2aにおけるレーザ光32の照射領域は、x軸方向に広がるので、x座標毎に異なるパワー密度分布を有してよい。複数のパワー密度分布のうち少なくとも1つが「x軸線を中心に左右非対称なパワー密度分布」であれば、ガラス板2の表面2aにおけるレーザ光32の照射領域は「x軸線を中心に左右非対称なパワー密度分布」を有する。

20

【0064】

図10は、図6のガラス板の裏面におけるレーザ光の照射領域を示す平面図である。図10に示すx軸線およびy軸線は図8に示すx軸線およびy軸線と同じものである。

【0065】

遮光部42で遮光されるレーザ光32の遮光領域が、図10に示すようにガラス板2の裏面2b上に形成される。ガラス板2の裏面2bにおけるレーザ光32の遮光領域の右端中央（図10において黒丸で示す）の位置を直交座標（x0b, y0b）で表す。

【0066】

図10のy軸線（x=0）上におけるパワー密度分布は図9と同様である。つまり、ガラス板2の裏面2bにおいて、レーザ光32の照射領域は、レーザ光32のパワー密度のピーク位置を通る基準線であって当該ピーク位置の移動方向と平行な基準線（x軸線）を中心に左右非対称なパワー密度分布を有する。よって、所望の熱応力場が形成でき、ガラス板2の裏面2bに斜めに接続する裏側亀裂面4bが形成できる。

30

【0067】

ガラス板2の裏面2bにおける所望の熱応力場とは、ガラス板2の裏面2bにおけるレーザ光32の照射領域に形成される引張応力が原点よりも後方向において基準線（x軸線）に対して左右のどちらかに偏ることである。この偏りによって、裏側亀裂面4bの傾斜の向きが決定される。引張応力が原点よりも後方向において基準線に対して左右のどちらかに偏るとは、原点よりも後方向における基準線の左側と右側とで引張応力の積分値が異なることを意味する。すなわち、原点よりも後方向において、基準線の左側の方が引張応力の積分値が大きい、または、基準線の右側の方が引張応力の積分値が大きい。原点はガラス板2に対して移動するため、原点よりも後方向の引張応力分布は原点よりも前方向で生じた引張応力の影響も含む。

40

【0068】

また、ガラス板の表面におけるレーザ光の照射領域に形成される引張応力と、ガラス板の裏面におけるレーザ光の照射領域に形成される引張応力とは、原点よりも後方向において、基準線（x軸線）に対して同じ側（左側または右側）に偏る。よって、ガラス板の表面に斜めに接続する表側亀裂面と、ガラス板の裏面に斜めに接続する裏側亀裂面とを異なる向きで形成できる。

【0069】

50

また、レーザ光 3 2 の照射領域は、亀裂形成開始時に基準線を中心に左右非対称なパワー密度分布を有していればよい。つまり、亀裂形成開始時に、ガラス板の表面に斜めに接続する表側亀裂面と、ガラス板の裏面に斜めに接続する裏側亀裂面とが形成されればよい。その後、レーザ光のパワー密度分布が基準線を中心に左右対称になっても、亀裂形成開始時点に形成された表側亀裂面 4 a の傾斜と裏側亀裂面 4 b の傾斜が維持できる。また、表側亀裂面 4 a の傾斜と裏側亀裂面 4 b の傾斜は切断線すべてで形成されている必要はなく、切断線の一部に形成されていてよい。少なくとも製品となる部分の切断面が表側亀裂面 4 a の傾斜と裏側亀裂面 4 b の傾斜を有していることが好ましい。

【0070】

図 1 1 は、図 6 のレーザ光の集光位置をガラス板を挟んで反対側に移動させたときの側面図である。図 1 1 の遮光部の上面と同一平面上におけるレーザ光の位置を示す平面図は、図 7 と同様であるので図示を省略する。

10

【0071】

図 1 1 に示すように、光学系 4 0 は、光源 3 0 から出射されたレーザ光 3 2 の光束の一部を遮光部 4 2 で遮光し、レーザ光 3 2 の光束の残部を集光レンズ 4 4 で集光し、支持台 2 0 で支持されるガラス板 2 に照射する。レーザ光 3 2 の集光位置は、ガラス板 2 よりも上方にあり、ガラス板 2 を基準として光源 3 0 側にある。光源 3 0 と集光レンズ 4 4 とは同軸的に配設される。

【0072】

図 1 2 は、図 1 1 のガラス板の表面におけるレーザ光の照射領域を示す平面図である。図 1 2 に示す x 軸線および y 軸線はガラス板 2 の表面 2 a に設定され、表面 2 a 上におけるレーザ光 3 2 のパワー密度のピーク位置が x 軸線と y 軸線の交点（つまり、原点）である。ガラス板 2 の表面 2 a において、レーザ光 3 2 のパワー密度のピーク位置の移動方向と平行に x 軸線が設定され、x 軸線と垂直に y 軸線が設定される。

20

【0073】

レーザ光 3 2 の集光位置がガラス板 2 を挟んで反対側に移動すると（図 6、図 1 1 参照）、ガラス板 2 の表面 2 a におけるレーザ光 3 2 の遮光領域が x y 座標系における原点を中心に 180°回転する（図 8、図 1 2 参照）。よって、レーザ光 3 2 のパワー密度分布が調整できる。

【0074】

尚、図 7 に示すように本実施形態の遮光部 4 2 の幅 W 1 は、遮光部 4 2 の上面におけるレーザ光 3 2 の直径 $\Phi 1$ よりも小さいが、大きくてもよい。

30

【0075】

図 1 3 は、第 1 実施形態の第 1 変形例による遮光部の上面と同一平面上におけるレーザ光の位置を示す平面図である。図 1 3 に示す X 軸線および Y 軸線は遮光部 1 4 2 の上面と同一平面上に設定され、該平面上におけるレーザ光 3 2 のパワー密度のピーク位置が X 軸線と Y 軸線の交点（つまり、X Y 座標系における原点）である。図 1 3 の X 軸線は後述する図 1 4 の x 軸線と平行とされ、図 1 3 の Y 軸線は図 1 4 の y 軸線と平行とされる。

【0076】

遮光部 1 4 2 は、図 1 3 に示すように、平面視で長形状であってよい。遮光部 1 4 2 の幅 W 2 は、遮光部 1 4 2 の上面における円形のレーザ光 3 2 の直径 $\Phi 1$ よりも大きい。遮光部 1 4 2 はレーザ光 3 2 の光路に挿入され、遮光部 1 4 2 の先端中央（図 1 3 において黒丸で示す）と原点とを通る直線は遮光部 1 4 2 の長手方向に平行とされる。遮光部 1 4 2 は原点を中心に回転自在とされる。遮光部 1 4 2 の先端中央の位置を極座標（R 0, $\Theta 0$ ）で表す。R 0 は、遮光部 1 4 2 の先端中央の、原点からの距離を示す。 $\Theta 0$ は、遮光部 1 4 2 の先端中央と原点とを通る直線 A X と、y 軸線とのなす角を示す。

40

【0077】

図 1 4 は、第 1 実施形態の第 1 変形例によるガラス板の表面におけるレーザ光の照射領域を示す平面図である。図 1 4 において、x 軸線および y 軸線はガラス板 2 の表面 2 a に設定され、該表面 2 a におけるレーザ光 3 2 のパワー密度のピーク位置が x 軸線と y 軸線

50

の交点（つまり、 x y 座標系における原点）である。ガラス板 2 の表面 2 a において、ピーク位置の移動方向と平行に x 軸線が設定され、 x 軸線と垂直に y 軸線が設定される。

【0078】

遮光部 1 4 2 で遮光されるレーザ光 3 2 の遮光領域が、図 1 4 に示すようにガラス板 2 の表面 2 a 上に形成される。ガラス板 2 の表面 2 a におけるレーザ光 3 2 の遮光領域の先端中央（図 1 4 において黒丸で示す）の位置を極座標（ $r0a$, $\theta0a$ ）で表す。 $r0a$ は、レーザ光 3 2 の遮光領域の先端中央の、原点からの距離を示す。 $\theta0a$ は、レーザ光 3 2 の遮光領域の先端中央と原点とを通る直線 axa と、 y 軸線とのなす角を示す。

【0079】

図 1 5 は、第 1 実施形態の第 1 変形例によるガラス板の裏面におけるレーザ光の照射領域を示す平面図である。図 1 5 に示す x 軸線および y 軸線は図 1 4 に示す x 軸線および y 軸線と同じものである。

【0080】

遮光部 1 4 2 で遮光されるレーザ光 3 2 の遮光領域が、図 1 5 に示すようにガラス板 2 の裏面 2 b 上に形成される。ガラス板 2 の裏面 2 b におけるレーザ光 3 2 の遮光領域の先端中央（図 1 5 において黒丸で示す）の位置を極座標（ $r0b$, $\theta0b$ ）で表す。 $r0b$ は、レーザ光 3 2 の遮光領域の先端中央の、原点からの距離を示す。 $\theta0b$ は、レーザ光 3 2 の遮光領域の先端中央と原点とを通る直線 axb と、 y 軸線とのなす角を示す。

【0081】

図 1 6 は図 1 4 に示す $\theta0a$ が 0° のときのレーザ光の照射領域を示す平面図である。図 1 7 は図 1 4 に示す $\theta0a$ が 45° のときのレーザ光の照射領域を示す平面図である。図 1 8 は図 1 4 に示す $\theta0a$ が 135° のときのレーザ光の照射領域を示す平面図である。図 1 9 は図 1 4 に示す $\theta0a$ が 180° のときのレーザ光の照射領域を示す平面図である。図 2 0 は図 1 4 に示す $\theta0a$ が 225° のときのレーザ光の照射領域を示す平面図である。図 2 1 は図 1 4 に示す $\theta0a$ が 315° のときのレーザ光の照射領域を示す平面図である。

【0082】

図 1 6 ~ 図 2 1 に示すように、遮光部 1 4 2 が回転すると、 $r0a$ が一定のまま、 $\theta0a$ が変化する。よって、ガラス板 2 の表面 2 a におけるレーザ光 3 2 の照射形状が調整できる。

【0083】

また、レーザ光 3 2 の照射条件の調整によってガラス板に生じる熱応力を変化させ、図 3 や図 5 に示す表側亀裂面 4 a や裏側亀裂面 4 b だけでなく、図 4 に示す中間亀裂面 4 c が形成可能である。

【0084】

レーザ光の照射位置では、ガラス板の表面付近やガラス板の裏面付近に引張応力が発生し、ガラス板の内部に圧縮応力が生じる。これに対して、レーザ光 3 2 の照射位置よりも後方向では、ガラス板の板厚全体に引張応力が発生する。この引張応力は、レーザ光 3 2 の照射位置での加熱により発生する圧縮応力の反力として形成される。中間亀裂面 4 c は、レーザ光 3 2 の照射位置よりも後方向の引張応力が大きい場合に、表側亀裂面 4 a と裏側亀裂面 4 b の亀裂が板厚内部方向に伸展して形成される。ここで中間亀裂面 4 c の形状は、中間亀裂面 4 c の形成時における熱応力場や基準線の左右における剛性の違いによって決定される。

【0085】

レーザ光 3 2 の照射によって生じる熱応力で中間亀裂面 4 c が形成されるか否かは、主に、ガラス板 2 に対するレーザ光 3 2 の透過率、光源 3 0 の出力などで決まる。光源 3 0 の出力が大きく、レーザ光 3 2 の照射位置よりも後方向の引張応力が大きくなると、中間亀裂面 4 c が形成される。光源 3 0 の出力が小さい場合、中間亀裂面 4 c を形成させるために、光源 3 0 とは別の加熱光源から出射された加熱光がガラス板 2 に対して照射されてよい。

10

20

30

40

50

【0086】

図22は、第1実施形態の第2変形例によるガラス板加工装置の要部を示す平面図である。図22において、レーザ光32の代表的な光線、および加熱光38の代表的な光線をそれぞれ別の矢印で示す。

【0087】

図22に示すように、光源30とは別に加熱光源36がガラス板加工装置に備えられる。加熱光源36は、支持台20で支持されるガラス板2を加熱する加熱光38を出射する。加熱光38は、ガラス板2を加熱できればよく、ガラス板2の表面2a近傍で吸収され、ガラス板2を透過しないものでもよい。そのため、加熱光源36はCO₂レーザ（波長10600nm）で構成されてもよく、近赤外線レーザでなくてもよい。加熱光源36から出射された加熱光は、集光レンズ45で集光され、ガラス板2の表面2aに照射されてよい。

10

【0088】

図23は、図22のガラス板の表面におけるレーザ光の照射領域および加熱光の照射領域を示す図である。図23に示すx軸線およびy軸線は図16などに示すx軸線およびy軸線と同じものである。

【0089】

ガラス板2の表面2aにおいて、加熱光38の照射領域は、レーザ光32の照射領域よりも広く、レーザ光32の照射領域を内部に含んでよい。加熱光38のパワー密度のピーク位置を直交座標（ δx , δy ）で表す。加熱光38のパワー密度のピーク位置は、レーザ光32のパワー密度のピーク位置からずれていてよい。尚、加熱光38の照射領域の面積重心位置が、レーザ光32の照射領域の面積重心位置からずれていてもよい。

20

【0090】

図1に示す照射位置移動部50は、ガラス板2に対するレーザ光32の照射位置と共に、ガラス板2に対する加熱光38の照射位置を移動させてよい。

【0091】

また、ガラス板の表面および裏面の少なくとも一方におけるレーザ光の照射領域をレーザ光の照射と同時に冷却してもよい。レーザ光の照射領域で引張応力が発生しやすくなる。すなわち、亀裂が生じやすくなり安定した加工が可能になる。ガラス板を冷却する領域は、レーザ光32の照射領域よりも広くてよい。特に放熱しやすい板厚が薄いガラス板の場合に効果が顕著である。なお、ガラス板の表裏両面におけるレーザ光の照射領域を冷却することが好ましい。

30

【0092】

ガラス板に向けて冷媒（例えば空気）を噴射する冷却ノズルは、レーザ光の光軸と同軸になるように設けられてよい。例えば、ガラス板の表面側においては冷却ノズルの開口をレーザ光が通過するように冷却ノズルが設けられる。冷却ノズルをレーザ光の光軸と同軸になるように配置することによってレーザ光の照射領域を確実に冷却することが可能になる。なお、ガラス板の裏面側においてもレーザ光の光軸と同軸になるように冷却ノズルが設けられてよい。

【0093】

40

[第2実施形態]

上記第1実施形態では、遮光部42によってレーザ光32の光束の一部が遮光され、ガラス板2の表裏両面2a、2bに形成されるレーザ光の照射領域は円形の一部が欠けた形状である。

【0094】

これに対し、本実施形態では、遮光部（詳細には遮光膜）がアパーチャ（開口孔）を有しており、ガラス板2の表裏両面2a、2bに形成されるレーザ光の照射領域が円形状である点で相違する。以下、相違点について主に説明する。

【0095】

図24は、本発明の第2実施形態によるガラス板加工装置の光学系を示す側面図である

50

。図 2 4 に示すように、光学系 2 4 0 は、レーザ光 3 2 の光束の一部を遮光する遮光部 2 4 2 と、レーザ光 3 2 の光束の残部を集光する集光レンズ 4 4 とを含む。光学系 2 4 0 は、光源 3 0 から出射されたレーザ光 3 2 の光束の一部を遮光部 2 4 2 で遮光し、レーザ光 3 2 の光束の残部を集光レンズ 4 4 で集光し、支持台 2 0 で支持されるガラス板 2 に照射する。レーザ光 3 2 の集光位置は、ガラス板 2 を基準として光源 3 0 と反対側にあつてよい。光源 3 0 と集光レンズ 4 4 とは同軸的に配設されてよい。

【0096】

図 2 5 は、図 2 4 の遮光部の上面と同一平面上におけるレーザ光の位置を示す平面図である。図 2 5 に示す X 軸線および Y 軸線は遮光部 2 4 2 の上面と同一平面上に設定され、当該平面上におけるレーザ光 3 2 のパワー密度のピーク位置が X 軸線と Y 軸線の交点（つまり、原点）である。図 2 5 の X 軸線は後述する図 2 6 の x 軸線と平行とされ、図 2 5 の Y 軸線は図 2 6 の y 軸線と平行とされる。

10

【0097】

遮光部 2 4 2 は透明板と該透明板上に形成される遮光膜とで構成され、遮光膜はレーザ光 3 2 の光束の一部を通過させるアパーチャ 2 4 3 を有する。アパーチャ 2 4 3 は、図 2 5 に示すように、平面視で円形状であつてよく、平面視でレーザ光 3 2 の光束の内部に配設されてよい。アパーチャ 2 4 3 の直径 $\Phi 2$ は、遮光部 2 4 2 の上面と同一平面上における円形のレーザ光 3 2 の直径 $\Phi 1$ よりも小さい。アパーチャ 2 4 3 の中心位置（面積重心位置）を直交座標（X 1、Y 1）で表す。アパーチャ 2 4 3 の中心線とアパーチャ 2 4 3 に入射するレーザ光 3 2 の光軸とは平行にずれている。

20

【0098】

図 2 6 は、図 2 4 のガラス板の表面におけるレーザ光の照射領域を示す平面図である。図 2 6 に示す x 軸線および y 軸線はガラス板 2 の表面 2 a 上に設定され、表面 2 a 上におけるレーザ光 3 2 のパワー密度のピーク位置が x 軸線と y 軸線の交点（つまり、原点）である。ガラス板 2 の表面 2 a において、レーザ光 3 2 のパワー密度のピーク位置の移動方向と平行に x 軸線が設定され、x 軸線と垂直に y 軸線が設定される。

【0099】

アパーチャ 2 4 3 を通過したレーザ光 3 2 の照射領域が、図 2 6 に示すようにガラス板 2 の表面 2 a 上に円形に形成される。その円の中心位置を直交座標（x 1 a, y 1 a）で表す。レーザ光 3 2 の照射領域の中心位置（面積重心位置）は、x y 座標系の原点（つまり、レーザ光 3 2 のパワー密度のピーク位置）からずれる。

30

【0100】

図 2 7 は、図 2 6 の y 軸線（x = 0）上におけるパワー密度分布を示す図である。図 2 7 において、遮光部 2 4 2 でレーザ光 3 2 の光束の一部を遮光しないときの y 軸線上におけるパワー密度分布（ガウス分布）を一点鎖線で示す。

【0101】

遮光部 2 4 2 がレーザ光 3 2 の光束の一部を遮光することで、図 2 7 に実線で示すように、y 軸線上におけるレーザ光 3 2 のパワー密度の分布が x 軸線（y = 0）を中心に左右非対称となる。よって、y 軸線上において、x 軸線（y = 0）を中心に左右非対称な熱応力分布が形成される。

40

【0102】

このように、ガラス板 2 の表面 2 a において、レーザ光 3 2 の照射領域は、レーザ光 3 2 のパワー密度のピーク位置を通る基準線であつて当該ピーク位置の移動方向と平行な基準線（x 軸線）を中心に左右非対称なパワー密度分布を有する。よって、所望の熱応力場が形成でき、ガラス板 2 の表面 2 a に斜めに接続する表側亀裂面 4 a が形成できる。

【0103】

図 2 8 は、図 2 4 のガラス板の裏面におけるレーザ光の照射領域を示す平面図である。図 2 8 に示す x 軸線および y 軸線は図 2 6 に示す x 軸線および y 軸線と同じものである。

【0104】

アパーチャ 2 4 3 を通過したレーザ光 3 2 の照射領域が、図 2 8 に示すようにガラス板

50

2の裏面2b上に円形に形成される。その円の中心位置（面積重心位置）を直交座標（ $x1b$, $y1b$ ）で表す。

【0105】

ガラス板2の裏面2bにおいて、レーザ光32の照射領域の中心位置（面積重心位置）は、 xy 座標系の原点（つまり、レーザ光32のパワー密度のピーク位置）からずれる。

【0106】

図28の y 軸線（ $x=0$ ）上におけるパワー密度分布は図27と同様である。つまり、ガラス板2の裏面2bにおいて、レーザ光32の照射領域は、レーザ光32のパワー密度のピーク位置を通る基準線であって当該ピーク位置の移動方向と平行な基準線（ x 軸線）を中心に左右非対称なパワー密度分布を有する。よって、所望の熱応力場が形成でき、ガラス板2の裏面2bに斜めに接続する裏側亀裂面4bが形成できる。

10

【0107】

このように本実施形態によれば、レーザ光32の照射によって生じる熱応力で、図3や図5に示す表側亀裂面4aや裏側亀裂面4bが形成できる。光源30の出力が大きい場合、図4に示す中間亀裂面4cが形成可能である。光源30の出力が小さい場合、中間亀裂面4cを形成させるために光源30とは別の加熱光源から出射された加熱光がガラス板2に対して照射されてよい。ガラス板2で生じる熱応力が大きくなり、図4に示す中間亀裂面4cが形成できる。

【0108】

〔第3実施形態〕

20

上記第1実施形態では、遮光部42によってレーザ光32の光束の一部が遮光され、レーザ光32の光束の残部を集光する集光レンズと光源とが同軸的に配設される。

【0109】

これに対し、本実施形態では、遮光部がなく、集光レンズの光軸（対称軸）と集光レンズに入射するレーザ光の光軸とが平行にずれている点で相違する。以下、相違点について主に説明する。

【0110】

図29は、本発明の第3実施形態によるガラス板加工装置の光学系を示す側面図である。図29に示すように、光学系340は、レーザ光32の光束を集光する集光レンズ344を含み、支持台20で支持されるガラス板2にレーザ光32を照射する。レーザ光32の集光位置は、ガラス板2を基準として光源30と反対側にあつてよい。集光レンズ344に入射するレーザ光32の光軸32Zと集光レンズ344の光軸344Zとは平行にずれている。

30

【0111】

図30は、図29の集光レンズの上端と同一平面上におけるレーザ光の位置を示す平面図である。図30に示す X 軸線および Y 軸線は集光レンズ344の上端と同一平面上に設定され、当該平面上におけるレーザ光32のパワー密度のピーク位置が X 軸線と Y 軸線の交点（つまり、原点）である。図30の X 軸線は後述する図31の x 軸線と平行とされ、図30の Y 軸線は図31の y 軸線と平行とされる。

【0112】

40

集光レンズ344の直径 $\Phi 4$ は、図30に示すように、集光レンズ344の上端と同一平面上におけるレーザ光32の直径 $\Phi 3$ よりも大きい。集光レンズ344の光軸（図30において黒丸で示す）の位置を直交座標（ $X2$, $Y2$ ）で表す。

【0113】

図31は、図29のガラス板の表面におけるレーザ光の照射領域を示す平面図である。図31に示す x 軸線および y 軸線はガラス板2の表面2a上に設定され、表面2a上におけるレーザ光32のパワー密度のピーク位置が x 軸線と y 軸線の交点（つまり、原点）である。ガラス板2の表面2aにおいて、レーザ光32のパワー密度のピーク位置の移動方向と平行に x 軸線が設定され、 x 軸線と垂直に y 軸線が設定される。図31において、集光レンズと光源とが同軸的に配設される場合のレーザ光の照射領域を一点鎖線で示す。

50

【0114】

集光レンズ344を通過したレーザ光32の照射領域が、図31に実線で示すようにガラス板2の表面2a上に形成される。ガラス板2の表面2aにおけるレーザ光32の照射領域は、歪んだ円形状である。尚、ガラス板2の裏面2bにおけるレーザ光32の照射領域は図31と同様の形状であるので図示を省略する。

【0115】

図32は、図31のy軸線($x=0$)上におけるパワー密度分布を示す図である。図32において、集光レンズ344と光源30とが同軸的に配設される場合のy軸線上におけるパワー密度分布(ガウス分布)を一点鎖線で示す。尚、ガラス板2の裏面2bにおけるy軸線($x=0$)上におけるパワー密度分布は、図32と同様の分布であるので図示を省略する。

10

【0116】

集光レンズ344の光軸(対称軸)344Zと集光レンズ344に入射するレーザ光32の光軸32Zとが平行にずれることで、図32に実線で示すように、y軸線上におけるレーザ光32のパワー密度の分布がx軸線($y=0$)を中心に左右非対称となる。よって、y軸線上において、x軸線($y=0$)を中心に左右非対称な熱応力分布が形成される。

【0117】

このように、ガラス板2の表面2aにおいて、レーザ光32の照射領域は、レーザ光32のパワー密度のピーク位置を通る基準線であって当該ピーク位置の移動方向と平行な基準線(x軸線)を中心に左右非対称なパワー密度分布を有する。よって、所望の熱応力場が形成でき、ガラス板2の表面2aに斜めに接続する表側亀裂面4aが形成できる。

20

【0118】

同様に、ガラス板2の裏面2bにおいて、レーザ光32の照射領域は、レーザ光32のパワー密度のピーク位置を通る基準線であって当該ピーク位置の移動方向と平行な基準線(x軸線)を中心に左右非対称なパワー密度分布を有する。よって、所望の熱応力場が形成でき、ガラス板2の裏面2bに斜めに接続する裏側亀裂面4bが形成できる。

【0119】

このように本実施形態によれば、レーザ光32の照射によって生じる熱応力で、図3や図5に示す表側亀裂面4aや裏側亀裂面4bが形成できる。光源30の出力が大きい場合、図4に示す中間亀裂面4cが形成可能である。光源30の出力が小さい場合、中間亀裂面4cを形成させるために光源30とは別の加熱光源から出射された加熱光がガラス板2に対して照射されてよい。ガラス板2で生じる熱応力が大きくなり、図4に示す中間亀裂面4cが形成できる。

30

【0120】

[第4実施形態]

上記第1実施形態の光学系は集光レンズを含むのに対し、本実施形態の光学系はシリンドリカルレンズを含む点で相違する。以下、相違点について主に説明する。

【0121】

図33は、本発明の第4実施形態によるガラス板加工装置の光学系を示す側面図である。図33において、レーザ光32の代表的な光線を矢印で示す。

40

【0122】

図33に示すように、光学系440は、レーザ光32の光束を互いに異なる方向に収束する第1シリンドリカルレンズ446および第2シリンドリカルレンズ447を含む。光学系440は、第1シリンドリカルレンズ446および第2シリンドリカルレンズ447を通過したレーザ光32を、支持台20で支持されるガラス板2に照射する。

【0123】

図34は、図33のガラス板の表面におけるレーザ光の照射領域を示す平面図である。図34に示すx軸線およびy軸線はガラス板2の表面2a上に設定され、表面2a上におけるレーザ光32のパワー密度のピーク位置がx軸線とy軸線の交点(つまり、原点)である。ガラス板2の表面2aにおいて、レーザ光32のパワー密度のピーク位置の移動方

50

向と平行に x 軸線が設定され、x 軸線と垂直に y 軸線が設定される。

【0124】

第1シリンドリカルレンズ446および第2シリンドリカルレンズ447を通過したレーザー光32の照射領域が、図34に示すようにガラス板2の表面2a上に形成される。ガラス板2の表面2aにおけるレーザー光32の照射領域は、短軸がx軸線に対して斜め（長軸がy軸線に対して斜め）の楕円形状（長軸長さAa、短軸長さBa）であってよい。短軸とx軸線とのなす角を $\theta 1a$ で表す。

【0125】

図35は、図34のy軸線と平行な平行線（ $x = x_3$ ）上におけるパワー密度分布を示す図である。図35に実線で示すように、平行線（ $x = x_3$ ）上におけるレーザー光32の

10

パワー密度の分布がx軸線（ $y = 0$ ）を中心に左右非対称となる。よって、平行線（ $x = x_3$ ）上において、x軸線（ $y = 0$ ）を中心に左右非対称な熱応力分布が形成される。

【0126】

このように、ガラス板2の表面2aにおいて、レーザー光32の照射領域は、レーザー光32のパワー密度のピーク位置を通る基準線であって当該ピーク位置の移動方向と平行な基準線（x軸線）を中心に左右非対称なパワー密度分布を有する。よって、所望の熱応力場が形成でき、ガラス板2の表面2aに斜めに接続する表側亀裂面4aが形成できる。

【0127】

図36は、図33のガラス板の裏面におけるレーザー光の照射領域を示す平面図である。図36に示すx軸線およびy軸線は図34に示すx軸線とy軸線と同じものである。

20

【0128】

第1シリンドリカルレンズ446および第2シリンドリカルレンズ447を通過したレーザー光32の照射領域が、図36に示すようにガラス板2の裏面2b上に形成される。ガラス板2の裏面2bにおけるレーザー光32の照射領域は、短軸がx軸線に対して斜め（長軸がy軸線に対して斜め）の楕円形状（長軸長さAb、短軸長さBb）である。楕円の短軸とx軸線とのなす角を $\theta 1b$ とする。

【0129】

図36のy軸線と平行な平行線（ $x = x_3$ ）上におけるパワー密度分布は図35と同様である。つまり、ガラス板2の裏面2bにおいて、レーザー光32の照射領域は、レーザー光32のパワー密度のピーク位置を通る基準線であって当該ピーク位置の移動方向と平行な

30

基準線（x軸線）を中心に左右非対称なパワー密度分布を有する。よって、所望の熱応力場が形成でき、ガラス板2の裏面2bに斜めに接続する裏側亀裂面4bが形成できる。

【0130】

別の観点によれば、ガラス板2の表裏両面2a、2bにおいて、レーザー光32の照射領域は、各照射領域の面積重心位置（xy座標系における原点）を通る基準線であって当該面積重心位置の移動方向と平行な基準線（x軸線）を中心に左右非対称な形状を有する。よって、x軸線の左右で異なる熱応力場が形成でき、ガラス板2の表面2aに斜めに接続する表側亀裂面4aやガラス板2の裏面2bに斜めに接続する裏側亀裂面4bが形成できる。尚、基準線が面積重心位置を通るものの場合、ガラス板2の表面2aや裏面2bにレーザー光32のパワー密度のピーク位置はなくてもよく、パワー密度は均一であってもよい。

40

【0131】

本実施形態によれば、レーザー光32の照射によって生じる熱応力で、図3や図5に示す表側亀裂面4aや裏側亀裂面4bが形成できる。光源30の出力が大きい場合、図4に示す中間亀裂面4cが形成可能である。光源30の出力が不足の場合、中間亀裂面4cを形成させるために光源30とは別の加熱光源から出射された加熱光がガラス板2に対して照射されてよい。ガラス板2で生じる熱応力が大きくなり、図4に示す中間亀裂面4cが形成できる。

【実施例】

【0132】

50

〔試験例 1－1～試験例 1－5〕

試験例 1－1～試験例 1－5では、矩形のガラス板（長辺 100 mm、短辺 50 mm、板厚 1.1 mm、旭硝子社製ソーダライムガラス）の表面に対してレーザ光を垂直に入射させた。レーザ光の光源は、Ybファイバーレーザ（波長 1070 nm）を用いた。レーザ光に対するガラス板の吸収係数（ α ）は 0.65 cm^{-1} であり、 $\alpha \times M$ は 0.07（つまり、内部透過率は 93%）であった。レーザ光は、光源からの出射直後に、断面形状が円形であって断面でのパワー密度がガウス型の分布であるものを用いた。

【0133】

試験例 1－1～試験例 1－4では、図 6 に示すように遮光部でレーザ光の光束の一部を遮光し、ガラス板の表裏両面におけるレーザ光の照射形状を図 8、図 10 に示すように円形の一部を欠いた形状とした。一方、試験例 1－5では、遮光部を用いずに、ガラス板の表裏両面におけるレーザ光の照射形状を欠けない円形状とした。

10

【0134】

各試験例において、ガラス板の表裏両面におけるレーザ光のパワー密度のピーク位置をガラス板の一方の長辺から他方の長辺までガラス板の短辺と平行に移動させた。レーザ光のパワー密度のピーク位置はガラス板の一方の短辺から 15 mm（他方の短辺から 85 mm）の位置に配した。初期クラックは、ホイールカッターを用いて、ガラス板の上下面に達するようにガラス板の端面に形成した。評価は、ガラス板に形成される亀裂面の形態と断面形状で行った。

【0135】

20

その他の実験条件を評価結果と共に表 1 に示す。表 1 に示す条件以外の条件は、試験例 1－1～試験例 1－5 で同じである。以下の各表において、P は光源の出力を、v はガラス板の上下面におけるレーザ光の照射位置の移動速度を、f は集光レンズの焦点距離を、d はガラス板の表面からレーザ光の集光位置までの距離を表す。d が正であることはレーザ光の集光位置がガラス板の表面よりも上方（光源側）であることを意味し、d が負であることはレーザ光の集光位置がガラス板の表面よりも下方（光源と反対側）であることを意味する。その他の記号の意味は上記の通りである。また、以下の各表において、亀裂の「形態」は、亀裂の深さを表し、図 3 や図 5 に示すように亀裂が溝状である場合を「スクライブ」とし、図 4 に示すように亀裂がガラス板を貫通する場合を「フルカット」とする。また、亀裂の「断面形状」は、表側亀裂面や裏側亀裂面の傾きを表し、これらの傾きが図 3 や図 4 に示す傾きの場合を「タイプ A」とし、これらの傾きが図 5 に示す傾きの場合を「タイプ B」とし、表側亀裂面や裏側亀裂面が「タイプ A」または「タイプ B」以外の形状に形成された、例えば表側亀裂面や裏側亀裂面が垂直な場合や断面形状をコントロールできなかった場合を「タイプ C」とする。尚、「タイプ C」は、ガラス板を板厚方向に貫通する亀裂面であって、ガラス板の表裏両面に対して垂直な亀裂面が形成される場合を含む。

30

【0136】

【表 1】

	P [W]	v [mm/s]	f [mm]	d [mm]	Φ1 [mm]	W1 [mm]	X0 [mm]	Y0 [mm]	Φa [mm]	x0a [mm]	y0a [mm]	Φb [mm]	x0b [mm]	y0b [mm]	亀裂	
															形態	断面形状
例1-1	220	20	290	-9.73	18	4	-4	4	0.60	-0.13	0.13	0.56	-0.12	0.12	スクラाइブ	タイプA
例1-2	220	20	290	-9.73	18	4	-2	4	0.60	-0.07	0.13	0.56	-0.06	0.12	スクラाइブ	タイプA
例1-3	220	20	290	-9.73	18	4	2	4	0.60	0.07	0.13	0.56	0.06	0.12	スクラाइブ	タイプB
例1-4	220	20	290	-9.73	18	4	4	4	0.60	0.13	0.13	0.56	0.12	0.12	スクラाइブ	タイプB
例1-5	220	20	300	13.77	13	—	—	—	0.60	—	—	0.63	—	—	スクラाइブ	タイプC

試験例 1-1～試験例 1-4 では、ガラス板の表裏面において所定の基準線を中心に左右非対称なパワー密度分布が形成されるため、ガラス板の表面に斜めに接続する表側亀裂面、およびガラス板の裏面に斜めに接続する裏側亀裂面が形成できた。一方、試験例 1-5 では、ガラス板の表裏面において所定の基準線を中心に左右対称なパワー密度分布が形成されるため、「タイプ C」の亀裂面が形成された。

【0137】

[試験例2-1～試験例2-7]

試験例2-1～試験例2-7では、矩形のガラス板（長辺100mm、短辺50mm、板厚3.1mm、旭硝子社製ソーダライムガラス）の表面に対してレーザー光を垂直に入射させた。レーザー光の光源は、Ybファイバーレーザー（波長1070nm）を用いた。レーザー光に対するガラス板の吸収係数（ α ）は 2.86 cm^{-1} であり、 $\alpha \times M$ は0.89（つまり、内部透過率は41%）であった。レーザー光は、光源からの出射直後に、断面形状が円形であって断面でのパワー密度がガウス型の分布であるものを用いた。

【0138】

試験例2-1～試験例2-6では、図13に示すように遮光部でレーザー光の光束の一部を遮光し、ガラス板の表裏両面におけるレーザー光の照射形状を図16～図21に示すように円形の一部を欠いた形状とした。一方、試験例2-7では、遮光部を用いずに、ガラス板の表裏両面におけるレーザー光の照射形状を欠けのない円形状とした。

10

【0139】

各試験例において、ガラス板の表裏両面におけるレーザー光のパワー密度のピーク位置をガラス板の一方の長辺から他方の長辺までガラス板の短辺と平行に移動させた。レーザー光のパワー密度のピーク位置はガラス板の一方の短辺から15mm（他方の短辺から85mm）の位置に配した。初期クラックは、ホイールカッターを用いて、ガラス板の上下面に達するようにガラス板の端面に形成した。評価は、ガラス板に形成される亀裂面の形態と断面形状で行った。

20

【0140】

その他の実験条件を評価結果と共に表2に示す。表2に示す条件以外の条件は、試験例2-1～試験例2-7で同じである。

【0141】

【表 2】

	P [W]	v [mm/s]	f [mm]	d [mm]	$\Phi 1$ [mm]	R0 [mm]	$\Theta 0$ [°]	Φa [mm]	r0a [mm]	Φb [mm]	r0b [mm]	亀裂	
												形態	断面形状
例2-1	50	10	40	-5.63	24	4	0	3.38	0.56	2.17	0.36	フルカット	タイプA
例2-2	50	10	40	-5.63	24	4	45	3.38	0.56	2.17	0.36	フルカット	タイプB
例2-3	50	10	40	-5.63	24	4	135	3.38	0.56	2.17	0.36	フルカット	タイプA
例2-4	50	10	40	-5.63	24	4	180	3.38	0.56	2.17	0.36	フルカット	タイプB
例2-5	50	10	40	-5.63	24	4	225	3.38	0.56	2.17	0.36	フルカット	タイプB
例2-6	50	10	40	-5.63	24	4	315	3.38	0.56	2.17	0.36	フルカット	タイプA
例2-7	40	10	40	-5.63	24	—	—	3.38	—	2.17	—	フルカット	タイプC

試験例 2-1～試験例 2-6では、ガラス板の表裏面において所定の基準線を中心に左右非対称なパワー密度分布が形成されるため、ガラス板の表面に斜めに接続する表側亀裂面、およびガラス板の裏面に斜めに接続する裏側亀裂面が形成できた。一方、試験例 2-7では、ガラス板の表裏面において所定の基準線を中心に左右対称なパワー密度分布が形成されるため、「タイプC」の亀裂面が形成された。また、レーザー光 32 の照射によって生じる熱応力が十分に大きいため、表側亀裂面と裏側亀裂面とを接続する中間亀裂面が形

成でき、ガラス板をフルカットできた。

【0142】

[試験例3-1～試験例3-2]

試験例3-1～試験例3-2では、矩形のガラス板（長辺100mm、短辺50mm、板厚3.1mm、旭硝子社製ソーダライムガラス）の表面に対してレーザー光を垂直に入射させた。レーザー光の光源は、Ybファイバーレーザー（波長1070nm）を用いた。レーザー光に対するガラス板の吸収係数（ α ）は 2.86 cm^{-1} であり、 $\alpha \times M$ は0.89（つまり、内部透過率は41%）であった。レーザー光は、光源からの出射直後に、断面形状が円形であって断面でのパワー密度がガウス型の分布であるものを用いた。

【0143】

試験例3-1～試験例3-2では、図25に示すように遮光部でレーザー光の光束の一部を遮光し、ガラス板の表裏両面におけるレーザー光の照射形状を図26、図28に示すように円形状とした。

【0144】

各試験例において、ガラス板の表裏両面におけるレーザー光のパワー密度のピーク位置をガラス板の一方の長辺から他方の長辺までガラス板の短辺と平行に移動させた。レーザー光のパワー密度のピーク位置はガラス板の一方の短辺から15mm（他方の短辺から85mm）の位置に配した。初期クラックは、ホイールカッターを用いて、ガラス板の上下面に達するようにガラス板の端面に形成した。評価は、ガラス板に形成される亀裂面の形態と断面形状で行った。

【0145】

その他の実験条件を評価結果と共に表3に示す。表3に示す条件以外の条件は、試験例3-1～試験例3-2で同じである。

【0146】

10

20

【表 3】

	P [W]	v [mm/s]	f [mm]	d [mm]	$\Phi 1$ [mm]	$\Phi 2$ [mm]	X1 [mm]	Y1 [mm]	Φa [mm]	x1a [mm]	y1a [mm]	Φb [mm]	x1b [mm]	y1b [mm]	亀裂	
															形態	断面形状
例]3-1	45	10	80	-8.66	24	20	0	-4	2.17	0.00	-0.43	1.65	0.00	-0.33	スクラाइブ	タイプA
例]3-2	45	10	80	-8.66	24	20	0	4	2.17	0.00	0.43	1.65	0.00	0.33	スクラाइブ	タイプB

試験例 3-1～試験例 3-2 では、ガラス板の表裏面において所定の基準線を中心に左右非対称なパワー密度分布が形成されるため、ガラス板の表面に斜めに接続する表側亀裂面、およびガラス板の裏面に斜めに接続する裏側亀裂面が形成できた。

【0147】

[試験例 4-1～試験例 4-2]

試験例 4-1～試験例 4-2 では、矩形のガラス板（長辺 100 mm、短辺 50 mm、板厚 1.1 mm、旭硝子社製ソーダライムガラス）の表面に対してレーザー光を垂直に入射させた。レーザー光の光源は、Yb ファイバーレーザー（波長 1070 nm）を用いた。レーザー光に対するガラス板の吸収係数（ α ）は 0.65 cm^{-1} であり、 $\alpha \times M$ は 0.07（つまり、内部透過率は 93%）であった。レーザー光は、光源からの出射直後に、断面形状が円形であって断面でのパワー密度がガウス型の分布であるものを用いた。

【0148】

試験例 4-1～試験例 4-2 では、図 29 に示すように集光レンズの光軸と集光レンズに入射するレーザー光の光軸とを平行にずらし、ガラス板の表裏両面におけるレーザー光の照射形状を図 31 に示すように歪んだ円形状とした。

10

【0149】

各試験例において、ガラス板の表裏両面におけるレーザー光のパワー密度のピーク位置をガラス板の一方の長辺から他方の長辺までガラス板の短辺と平行に移動させた。レーザー光のパワー密度のピーク位置はガラス板の一方の短辺から 15 mm（他方の短辺から 85 mm）の位置に配した。初期クラックは、ホイールカッターを用いて、ガラス板の上下面に達するようにガラス板の端面に形成した。評価は、ガラス板に形成される亀裂面の形態と断面形状で行った。

【0150】

その他の実験条件を評価結果と共に表 4 に示す。表 4 に示す条件以外の条件は、試験例 4-1～試験例 4-2 で同じである。表 4 において、「Da」はガラス板の表面におけるレーザー光の照射領域の面積平均直径、「Db」はガラス板の裏面におけるレーザー光の照射領域の面積平均直径を表す。

20

【0151】

【表 4】

	P [W]	v [mm/s]	f [mm]	d [mm]	Φ3 [mm]	Φ4 [mm]	X2 [mm]	Y2 [mm]	Da [mm]	Db [mm]	亀裂	
											形態	断面形状
例4-1	240	20	280	-9.73	18	30	0	-4	0.60	0.56	スクライブ	タイプA
例4-2	240	20	280	-9.73	18	30	0	4	0.60	0.56	スクライブ	タイプB

試験例 4-1～試験例 4-2 では、ガラス板の表裏面において所定の基準線を中心に左右非対称なパワー密度分布が形成されるため、ガラス板の表面に斜めに接続する表側亀裂面、およびガラス板の裏面に斜めに接続する裏側亀裂面が形成できた。

【 0 1 5 2 】

〔試験例 5－1～試験例 5－2〕

試験例 5－1～試験例 5－2 では、矩形のガラス板（長辺 100 mm、短辺 50 mm、板厚 2.0 mm、旭硝子社製ソーダライムガラス）の表面に対してレーザ光を垂直に入射させた。レーザ光の光源は、Yb ファイバーレーザ（波長 1070 nm）を用いた。レーザ光に対するガラス板の吸収係数（ α ）は 2.86 cm^{-1} であり、 $\alpha \times M$ は 0.57（つまり、内部透過率は 56%）であった。レーザ光は、光源からの出射直後に、断面形状が円形であって断面でのパワー密度がガウス型の分布であるものを用いた。

【0153】

試験例 5－1～試験例 5－2 では、図 33 に示すように 2 つのシリンドリカルレンズを用いて、ガラス板の表裏両面におけるレーザ光の照射形状を図 34、図 36 に示すように楕円形状とした。

10

【0154】

各試験例において、ガラス板の表裏両面におけるレーザ光のパワー密度のピーク位置をガラス板の一方の長辺から他方の長辺までガラス板の短辺と平行に移動させた。レーザ光のパワー密度のピーク位置はガラス板の一方の短辺から 15 mm（他方の短辺から 85 mm）の位置に配した。初期クラックは、ホイールカッターを用いて、ガラス板の上下面に達するようにガラス板の端面に形成した。評価は、ガラス板に形成される亀裂面の形態と断面形状で行った。

【0155】

その他の実験条件を評価結果と共に表 5 に示す。表 5 に示す条件以外の条件は、試験例 5－1～試験例 5－2 で同じである。

20

【0156】

【表 5】

	P [W]	v [mm/s]	$\theta 1$ [°]	Aa [mm]	Ba [mm]	Ab [mm]	Bb [mm]	亀裂	
								形態	断面形状
例5-1	75	20	-15	1.80	1.00	1.48	0.79	フルカット	タイプB
例5-2	75	20	15	1.80	1.00	1.48	0.79	フルカット	タイプA

試験例 5-1～試験例 5-2 では、ガラス板の表裏面において所定の基準線を中心に左右非対称なパワー密度分布が形成されるため、ガラス板の表面に斜めに接続する表側亀裂面、およびガラス板の裏面に斜めに接続する裏側亀裂面が形成できた。また、レーザ光 32 の照射によって生じる熱応力が十分に大きいため、表側亀裂面と裏側亀裂面とを接続する中間亀裂面が形成でき、ガラス板をフルカットできた。

【0157】

〔試験例 6－1〕

試験例 6－1 では、矩形のガラス板（長辺 100 mm、短辺 50 mm、板厚 3.4 mm、旭硝子社製ソーダライムガラス）の表面に対してレーザー光を垂直に入射させた。レーザー光の光源は、Yb ファイバーレーザー（波長 1070 nm）を用いた。レーザー光に対するガラス板の吸収係数（ α ）は 3.16 cm^{-1} であり、 $\alpha \times M$ は 1.07（つまり、内部透過率は 34%）であった。レーザー光は、光源からの出射直後に、断面形状が円形であって断面でのパワー密度がガウス型の分布であるものを用いた。図 13 に示すように遮光部でレーザー光の光束の一部を遮光し、ガラス板の表裏両面におけるレーザー光の照射形状を図 16 に示すように円形の一部を欠いた形状とした。

【0158】

10

また、試験例 6－1 では、矩形のガラス板の表面に対して加熱光を斜めに入射させた。加熱光源は、Yb ファイバーレーザー（波長 1070 nm）を用いた。ガラス板の表面における加熱光の照射領域は直径 20 mm の円形状、加熱光源の出力は 60 W、加熱光の x 軸方向から見たときの入射角（ α ）は 30° 、加熱光の y 軸方向から見たときの入射角は 0° とした。

【0159】

また、試験例 6－1 では、ガラス板の表裏両面におけるレーザー光のパワー密度のピーク位置をガラス板の一方の長辺から他方の長辺までガラス板の短辺と平行に移動させた。レーザー光のパワー密度のピーク位置はガラス板の一方の短辺から 10 mm（他方の短辺から 90 mm）の位置に配した。加熱光のパワー密度のピーク位置は、 $\delta x = 8 \text{ (mm)}$ 、 $\delta y = 8 \text{ (mm)}$ の位置とし、レーザー光のパワー密度のピーク位置と共に移動させた。初期クラックは、ホイールカッターを用いて、ガラス板の上下面に達するようにガラス板の端面に形成した。評価は、ガラス板に形成される亀裂面の形態と断面形状で行った。

20

【0160】

その他の実験条件を評価結果と共に表 6 に示す。

【0161】

【表 6】

	亀裂		r0b [mm]	Φb [mm]	r0a [mm]	Φa [mm]	Θ [°]	R0 [mm]	$\Phi 1$ [mm]	d [mm]	f [mm]	v [mm/s]	P [W]	
	形態	断面形状												
例6-1	フルカット	タイプA	0.20	2.35	0.14	1.67	180	2	24	5.57	80	10	50	

10

20

30

40

試験例 6-1 では、ガラス板の表裏面において所定の基準線を中心に左右非対称なパワー密度分布が形成されるため、ガラス板の表面に斜めに接続する表側亀裂面、およびガラス板の裏面に斜めに接続する裏側亀裂面が形成できた。また、レーザ光および加熱光によって生じる熱応力で、表側亀裂面と裏側亀裂面とを接続する中間亀裂面が形成でき、ガラ

50

ス板がフルカットできた。

【0162】

[試験例7-1]

試験例7-1では、矩形のガラス板（長辺100mm、短辺50mm、板厚0.55mm、旭硝子社製ソーダライムガラス）の表面に対してレーザー光を垂直に入射させた。レーザー光の光源は、Ybファイバーレーザー（波長1070nm）を用いた。レーザー光に対するガラス板の吸収係数（ α ）は 0.65 cm^{-1} であり、 $\alpha \times M$ は0.04（つまり、内部透過率は96%）であった。レーザー光は、光源からの出射直後に、断面形状が円形であって断面でのパワー密度がガウス型の分布であるものを用いた。

【0163】

試験例7-1では、図33に示すように2つのシリンドリカルレンズを用いて、ガラス板の表裏両面におけるレーザー光の照射形状を図34、図36に示すように楕円形状とした。

【0164】

各試験例において、ガラス板の表裏両面におけるレーザー光のパワー密度のピーク位置をガラス板の一方の長辺から他方の長辺までガラス板の短辺と平行に移動させた。レーザー光のパワー密度のピーク位置はガラス板の一方の短辺から15mm（他方の短辺から85mm）の位置に配した。初期クラックは、ホイールカッターを用いて、ガラス板の上下面に達するようにガラス板の端面に形成した。評価は、ガラス板に形成される亀裂面の形態と断面形状で行った。

【0165】

その他の主な実験条件を評価結果と共に表7に示す。

【0166】

10

20

【表 7】

	P [W]	v [mm/s]	$\theta 1$ [°]	Aa [mm]	Ba [mm]	Ab [mm]	Bb [mm]	亀裂	
								形態	断面形状
例7-1	460	30	60	0.30	0.20	0.31	0.21	スクレイブ	タイプA

試験例 7-1 では、ガラス板の表裏面において所定の基準線を中心に左右非対称なパワー密度分布が形成されるため、ガラス板の表面に斜めに接続する表側亀裂面、およびガラス板の裏面に斜めに接続する裏側亀裂面が形成できた。

【0167】

〔試験例 8-1 ～試験例 8-2〕

試験例 8-1 ～試験例 8-2 では、矩形のガラス板（長辺 100 mm、短辺 50 mm、板厚 2.8 mm、旭硝子社製ソーダライムガラス）の表面に対してレーザー光を垂直に入射させた。レーザー光の光源は、Yb ファイバーレーザー（波長 1070 nm）を用いた。レー

ザ光に対するガラス板の吸収係数 (α) は 0.65 cm^{-1} であり、 $\alpha \times M$ は 0.18 (つまり、内部透過率は 84%) であった。レーザ光は、光源からの出射直後に、断面形状が円形であって断面でのパワー密度がガウス型の分布であるものを用いた。

【0168】

試験例 8-1 ~ 試験例 8-2 では、図 33 に示すように 2 つのシリンドリカルレンズを用いて、ガラス板の表裏両面におけるレーザ光の照射形状を図 34、図 36 に示すように楕円形状とした。

【0169】

各試験例において、ガラス板の表裏両面におけるレーザ光のパワー密度のピーク位置をガラス板の一方の長辺から他方の長辺までガラス板の短辺と平行に移動させた。レーザ光のパワー密度のピーク位置はガラス板の一方の短辺から 15 mm (他方の短辺から 85 mm) の位置に配した。初期クラックは、ホイールカッターを用いて、ガラス板の上下面に達するようにガラス板の端面に形成した。評価は、ガラス板に形成される亀裂面の形態と断面形状で行った。

【0170】

その他の実験条件を評価結果と共に表 8 に示す。表 8 に示す条件以外の条件は、試験例 8-1 ~ 試験例 8-2 で同じである。

【0171】

【表 8】

	亀裂		Bb [mm]	Ab [mm]	Ba [mm]	Aa [mm]	$\theta 1$ [°]	v [mm/s]	P [W]	
	形態	断面形状								
例]8-1	スクライブ	タイプA	1.25	1.87	1.20	1.80	60	30	400	
例]8-2	スクライブ	タイプA	0.45	0.67	0.40	0.60	60	70	420	

試験例 8-1～試験例 8-2 では、ガラス板の表裏面において所定の基準線を中心に左右非対称なパワー密度分布が形成されるため、ガラス板の表面に斜めに接続する表側亀裂面、およびガラス板の裏面に斜めに接続する裏側亀裂面が形成できた。

【0172】

図 37 は、試験例 8-1 の後に外力によって中間亀裂面を形成したガラス板の切断片の顕微鏡写真である。図 38 は、試験例 8-2 の後に外力によって中間亀裂面を形成したガラス板の切断片の顕微鏡写真である。

【0173】

図 38 に示す切断片の表裏面と端面との接続角 C2 は、図 37 に示す切断片の表裏面と端面との接続角 C1 よりも大きい。試験例 8-1～試験例 8-2 から、接続角は、ガラス板の表裏面におけるレーザ光の大きさや照射パワーによって調整できることがわかる。

【0174】

以上、ガラス板加工方法およびガラス板加工装置の実施形態等を説明したが、本発明は上記実施形態等に限定されず、特許請求の範囲に記載された要旨の範囲内で、種々の変形および改良が可能である。

【0175】

例えば、上記実施形態のレーザ光32は、ガラス板2の表面2aに対して垂直に入射するが、斜めに入射してもよく、例えばy軸方向視で斜めに入射してよい。

【0176】

また、上記実施形態では、ガラス板の表面におけるレーザ光の照射領域、およびガラス板の裏面におけるレーザ光の照射領域がそれぞれレーザ光のパワー密度のピーク位置を有する場合について説明したが、ピーク位置がなくてもよい。「ピーク位置がない」とは、パワー密度が最大となる位置が1つでなく、複数ある場合を意味する。ガラス板の表面におけるレーザ光の照射領域、およびガラス板の裏面におけるレーザ光の照射領域は、それぞれ、ピーク位置を有しない場合、各照射領域の面積重心位置を通る基準線であって面積重心位置の移動方向と平行な基準線を中心に左右非対称な形状を有していればよい。ガラス板の表面および裏面にそれぞれ所望の熱応力場が形成でき、ガラス板の表面に斜めに接続する表側亀裂面、およびガラス板の裏面に斜めに接続する裏側亀裂面が形成できる。この場合、パワー密度のピーク位置の代わりに、面積重心位置が原点として用いられる。

【0177】

上記実施形態のガラス板の加工方法は、表面に凹凸模様をつけた型板ガラス、金属製の網または線を内部に含む網入りガラス、合わせガラス、強化ガラスにも適用できる。合わせガラスは、ガラス板同士を中間膜を介して圧着したものである。合わせガラスに適用した場合、各ガラス板に表側亀裂面や裏側亀裂面が形成される。この場合、各ガラス板を切断した後、中間膜を切断してよい。

【0178】

本出願は、2013年3月26日に日本国特許庁に出願された特願2013-063346号に基づく優先権を主張するものであり、特願2013-063346号の全内容を本出願に援用する。

【符号の説明】

【0179】

- 2 ガラス板
- 2 a 表面
- 2 b 裏面
- 4 a 表側亀裂面
- 4 b 裏側亀裂面
- 4 c 中間亀裂面
- 10 ガラス板加工装置
- 12 フレーム
- 20 支持台
- 30 光源
- 32 レーザ光
- 36 加熱光源
- 38 加熱光
- 40 光学系
- 42 遮光部
- 44 集光レンズ
- 50 照射位置移動部
- 62 遮光位置調整部
- 64 光軸位置調整部
- 66 集光位置調整部

10

20

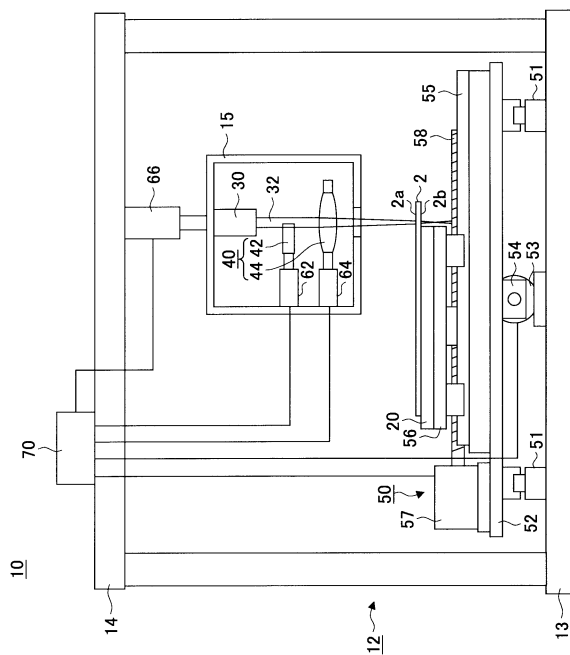
30

40

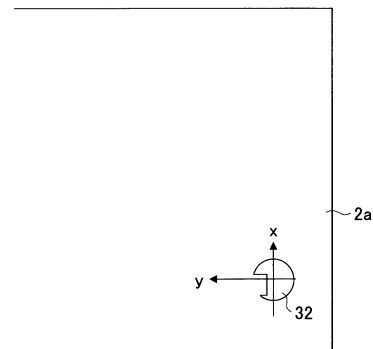
50

70 制御部

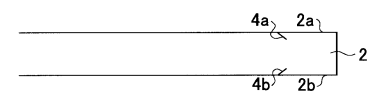
【図 1】



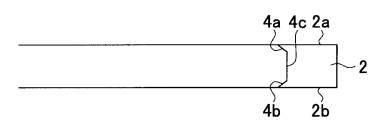
【図 2】



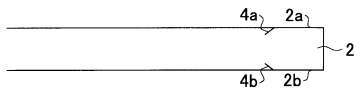
【図 3】



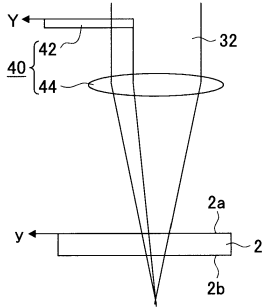
【図 4】



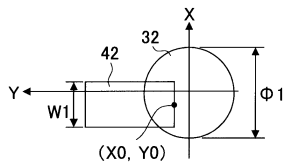
【図 5】



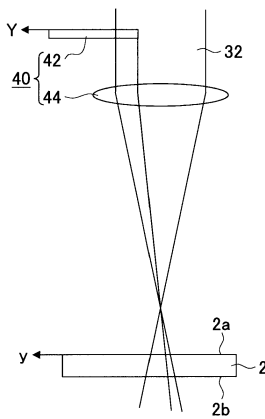
【図 6】



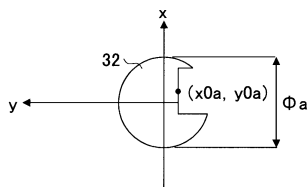
【図 7】



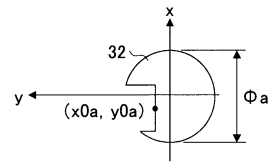
【図 1 1】



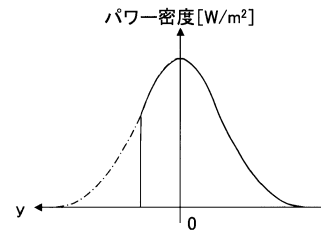
【図 1 2】



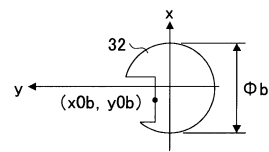
【図 8】



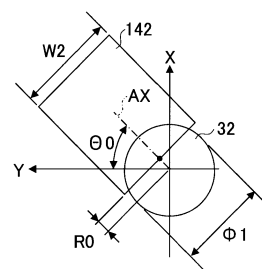
【図 9】



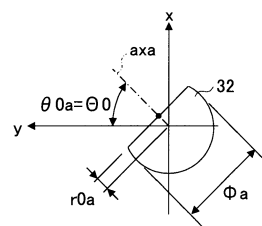
【図 1 0】



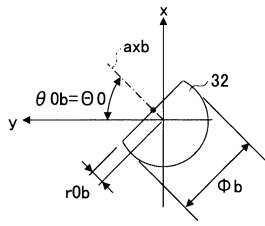
【図 1 3】



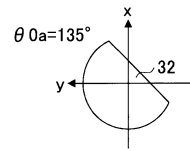
【図 1 4】



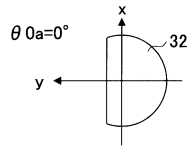
【図 15】



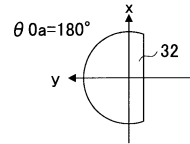
【図 18】



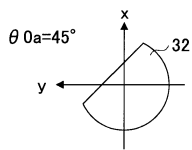
【図 16】



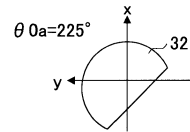
【図 19】



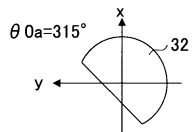
【図 17】



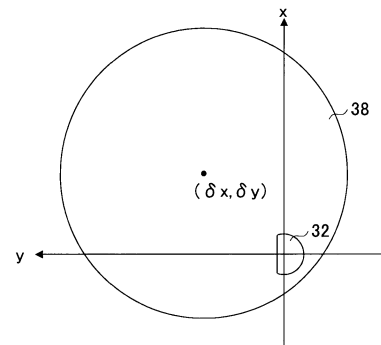
【図 20】



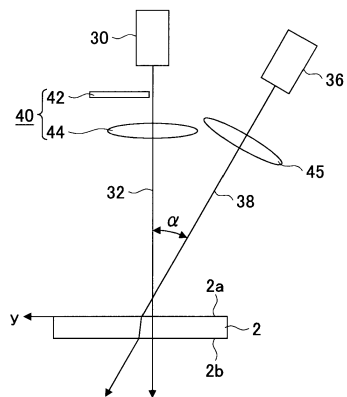
【図 21】



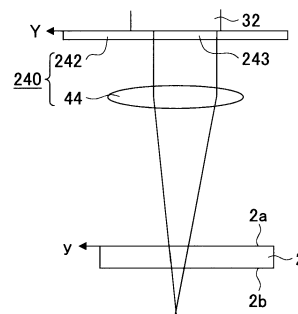
【図 23】



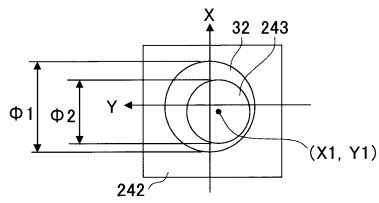
【図 22】



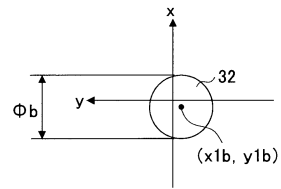
【図 24】



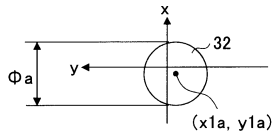
【図 2 5】



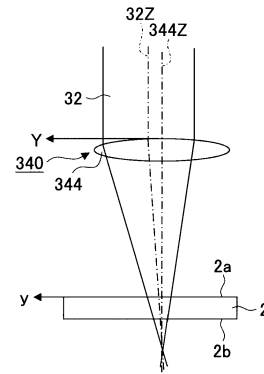
【図 2 8】



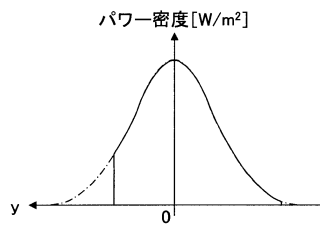
【図 2 6】



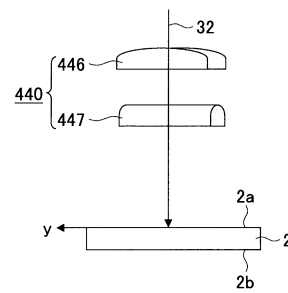
【図 2 9】



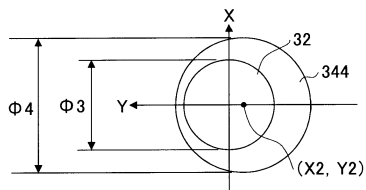
【図 2 7】



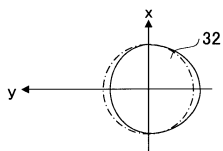
【図 3 3】



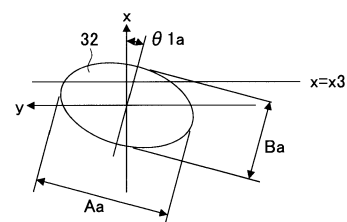
【図 3 0】



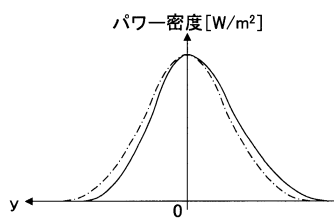
【図 3 1】



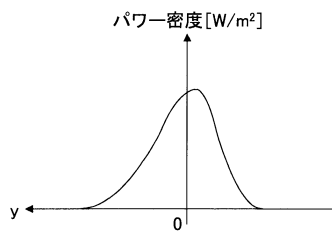
【図 3 4】



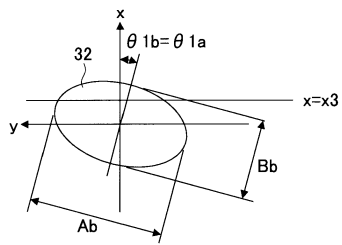
【図 3 2】



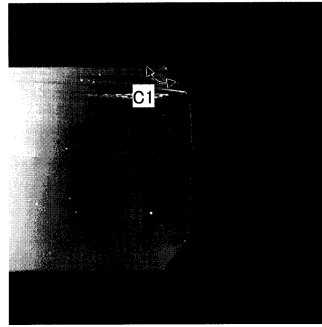
【図 3 5】



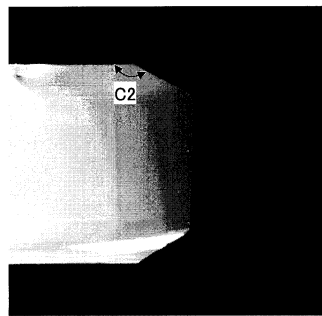
【図 3 6】



【図 3 7】



【図 3 8】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2014-177369 (JP, A)
特開2012-126642 (JP, A)
特開2009-066613 (JP, A)
特開2006-263819 (JP, A)
国際公開第2006/038565 (WO, A1)
国際公開第2009/128316 (WO, A1)
韓国公開特許第10-2004-0046421 (KR, A)
特表2011-502948 (JP, A)
特許第5171838 (JP, B2)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
C03B 33/00-33/14
B23K 26/00-26/70
DWPI (Derwent Innovation)