

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6465859号
(P6465859)

(45) 発行日 平成31年2月6日(2019.2.6)

(24) 登録日 平成31年1月18日(2019.1.18)

(51) Int.Cl.	F 1		
B23K 26/38	(2014.01)	B23K 26/38	Z
C03B 33/09	(2006.01)	C03B 33/09	
B23K 26/53	(2014.01)	B23K 26/53	
B28D 5/00	(2006.01)	B28D 5/00	Z

請求項の数 15 (全 30 頁)

(21) 出願番号	特願2016-504564 (P2016-504564)
(86) (22) 出願日	平成26年3月18日 (2014.3.18)
(65) 公表番号	特表2016-515944 (P2016-515944A)
(43) 公表日	平成28年6月2日 (2016.6.2)
(86) 国際出願番号	PCT/EP2014/055364
(87) 国際公開番号	W02014/147048
(87) 国際公開日	平成26年9月25日 (2014.9.25)
審査請求日	平成29年3月17日 (2017.3.17)
(31) 優先権主張番号	13160420.9
(32) 優先日	平成25年3月21日 (2013.3.21)
(33) 優先権主張国	欧洲特許庁 (EP)

(73) 特許権者	515194100 コーニング レーザー テクノロジーズ ゲーエムペーハー CORNING LASER TECHN OLOGIES GmbH ドイツ連邦共和国 82152 クライリ ング ロベルト・シュティルリングーリン グ 2
(74) 代理人	100073184 弁理士 柳田 征史
(74) 代理人	100090468 弁理士 佐久間 剛
(72) 発明者	ベーメ, リコ ドイツ連邦共和国 09306 ロッホリ ツツ シリングシュトラーセ 1 アー 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】レーザを用いて平基板から輪郭形状を切り取るための装置及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

平基板(2)に輪郭形状(1)を作製するため及び前記基板(2)から前記輪郭形状(1)を分離するための、方法において、

前記基板(2)にわたり、作製されるべき前記輪郭形状を定める輪郭線(5)に沿ってレーザビーム(3)が誘導され、複数の離散内部損傷域(5-1, 5-2, ...)が前記基板の材料に形成される、輪郭形状決定工程(a)、及び

前記輪郭形状決定工程(a)の後に、前記基板(2)にわたって誘導される、及び/または前記基板(2)上に照射される、レーザビームにより実施され、材料除去によって及び/または塑性変形によって、基板材料が前記基板(2)から除去される、及び/または基板材料が前記基板(2)から分離される、材料除去及び/または材料変形工程(c)、及び

前記輪郭線(5)の接線に対して角度 $> 0^\circ$ をなして、前記輪郭線(5)から前記輪郭線で囲まれる領域の内方へ離れて、分離されるべき前記輪郭形状(1)内に至る、複数のクラック線領域(6a, 6b, ...)に沿って、前記基板(2)にわたり誘導されるレーザビーム(3)によって、それぞれに複数の離散内部損傷域(6-1, 6-2, ...)が前記基板材料に形成される、前記材料除去及び/または材料変形工程(c)の前で前記輪郭形状決定工程(a)の後に実施される、クラック決定工程(b)、を有してなることを特徴とする方法。

【請求項 2】

10

20

前記輪郭形状決定工程(a)の後に実施される前記材料除去及び／または材料変形工程(c)が、前記輪郭線(5)に沿って延びているが、前記輪郭線(5)から間隔(8)がとられ、また分離されるべき前記輪郭形状(1)内にある、除去線(9)に沿って前記基板(2)にわたって誘導される材料除去レーザビーム(7)によって、前記基板材料が全基板厚(10)にわたって除去される、材料除去工程を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記輪郭形状決定工程(a)の後に実施される前記材料除去及び／または材料変形工程(c)が、分離されるべき前記輪郭形状(1)にわたって誘導されて、及び／または分離されるべき前記輪郭形状(1)上に照射されて、基板材料に塑性変形をおこさせるレーザビームを用いて、分離されるべき前記輪郭形状(1)の基板材料が前記基板(2)から除去される、及び／または前記基板(2)から分離されるように、分離されるべき前記輪郭形状(1)の基板材料が熱変形されることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の方法。 10

【請求項 4】

前記除去線(9)が前記クラック線領域(6 a , 6 b , ...)と交差していることを特徴とする請求項 2 に記載の方法。

【請求項 5】

分離されるべき前記輪郭形状(1)内を延び、前記輪郭線(5)の経路を近似する、少なくとも 1 本の応力解放線領域(11)に沿って、前記基板(2)にわたって誘導されるレーザビーム(3)を用いて、それぞれに複数の離散内部損傷域(11-1 , 11-2 , ...)が前記基板材料に形成される、応力解放工程(d)が前記前記材料除去及び／または材料変形工程(c)の前に実施されることを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の方法。 20

【請求項 6】

前記輪郭形状(1)の前記基板(2)からの完全な分離のための、前記基板材料除去及び／または材料変形工程(c)の後に実施される後処理工程において、

前記基板(2)におそらくは未だ連結されている前記輪郭形状(1)の残余領域(1 r)が、少なくともある程度、前記輪郭線(5)、前記クラック線領域(6 a , 6 b , ...)及び／または前記応力解放線領域(11)にわたる、前記輪郭形状残余領域(1 r)及び／または前記基板(2)の熱処理により、前記基板(2)から分離される、並びに／若しくは 30

前記輪郭形状残余領域(1 r)が前記輪郭形状残余領域(1 r)及び／または前記基板(2)の超音波処理によって前記基板(2)から分離される、並びに／若しくは

前記輪郭形状残余領域(1 r)が機械的力の印加によって前記基板(2)から分離される、

ことを特徴とする請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

前記内部損傷域(5-1 , 5-2 , ... , 6-1 , 6-2 , ... , 11-1 , 11-2 , ...)が、基板材料のアブレーション及び溶融をおこさずに、形成されることを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の方法。 40

【請求項 8】

前記内部損傷域(5-1 , 5-2 , ... , 6-1 , 6-2 , ... , 11-1 , 11-2 , ...)の内の少なくともいくつかが、それぞれの前記内部損傷域の場所における前記基板材料の内部への前記レーザビーム(3)の点集束によって形成される、及び／または

前記内部損傷域(5-1 , 5-2 , ... , 6-1 , 6-2 , ... , 11-1 , 11-2 , ...)の内の少なくともいくつかが、前記レーザビーム(3)のビーム方向で見て、レーザビーム焦線(3 b)の伸張領域(3 c)に沿って前記基板材料内に生じる誘起吸収によって形成される - 前記吸収により、前記基板材料内で前記伸張領域(3 c)に沿う誘起クラック形成がおこる、 50

ことを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 9】

前記クラック決定工程 (b) において、前記輪郭線 (5) の同一の場所から同じ角度 $> 0^\circ$ で前記輪郭線 (5) から離れる方向に、ただし、前記輪郭線 (5) に沿って見て、相反する方向に、分離されるべき前記輪郭形状 (1) 内に、延びる 2 本のクラック線領域 (6 a , 6 b) に沿ってそれぞれに、前記基板材料内に複数の離散内部損傷域 (6 - 1 , 6 - 2 , ...) を形成することによって、V 字形クラック線 (6 V) が形成され、

(i) 前記輪郭線 (5) に沿って見て、複数本の前記 V 字形クラック線 (6 V - 1 , 6 V - 2 , ...) が相互に間隔をおいて形成され、及び / または

(ii) 前記角度 20° と 40° の間である、

ことを特徴とする、請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 10】

前記応力解放工程 (d) において、除去されるべき内部輪郭形状 (1) の中心から前記内部輪郭形状 (1) の外縁を見て、除去されるべき前記内部輪郭形状 (1) の閉じた輪郭線 (5) に、螺旋を描いて、近づく、応力解放線領域 (11) に沿って、複数の離散内部損傷域 (11 - 1 , 11 - 2 , ...) が形成されることによって、応力解放螺旋 (11 S) が形成されることを特徴とする、請求項 5 項に記載の方法。

【請求項 11】

(I) 前記輪郭形状決定工程 (a) 、前記クラック決定工程 (b) 及び / または前記応力解放工程 (d) において、同等のビーム特性を有する複数本のレーザビーム (3) が前記基板 (2) にわたって誘導される、及び / または、前記輪郭形状決定工程 (a) 、前記クラック決定工程 (b) 及び / または前記応力解放工程 (d) において、前記複数本のレーザビーム (3) が同一のレーザ (12) によって発生されて、同一のビーム整形レンズ系 (20) によって前記基板 (2) 上に照射される、

並びに / 若しくは

(II) 前記複数本のレーザビーム (3) の内の少なくとも 1 本を発生するレーザ (12) の波長 λ が、前記基板材料が前記波長 λ において透明であるかまたは基本的に透明であるように選ばれる - 基本的に透明であるとは、前記基板材料内での、前記レーザビームのビーム方向に沿って生じる、前記レーザビームの強度減衰が、侵入深さ 1 mm 当たり、10 % 以下であると了解される、

並びに / 若しくは

(III) 前記基板 (2) の照射表面上に入射するときの、前記複数本のレーザビーム (3) の内の少なくとも 1 本の平均直径 D 、すなわちスポット径 D が、 $0.5 \mu m$ と $5 \mu m$ の間である、

並びに / 若しくは

(IV) 前記複数本のレーザビーム (3) の内の少なくとも 1 本を発生するレーザ (12) のパルス幅 τ が、前記基板材料との相互作用時間内の、前記基板内の熱拡散が無視できるように選ばれる、すなわち、(i) 、及び前記基板材料の熱拡散定数 κ が $\tau < \sqrt{\kappa}$ にしたがって調節される、及び / または (ii) 10 ns より短い τ が選ばれる、

並びに / 若しくは

(V) 前記複数本のレーザビーム (3) の内の少なくとも 1 本を発生するレーザ (12) のパルス繰返し周波数が 10 kHz と 1000 kHz の間にある、

並びに / 若しくは

(VI) 前記複数本のレーザビーム (3) の内の少なくとも 1 本を発生するレーザ (12) が単パルスレーザとして、またはバーストパルスレーザとして、動作する、

並びに / 若しくは

(VII) 平均レーザパワーが、前記複数本のレーザビーム (3) の内の少なくとも 1 本を発生するレーザ (12) のビーム出力側で直接に測定して、 10 W と 100 W の間である、

ことを特徴とする請求項 1 から 10 のいずれか 1 項に記載の方法。

10

20

30

40

50

【請求項 1 2】

前記材料除去工程において、例えば可視波長範囲において透明な基板(2)としてのガラス素子または結晶素子に対し、前記材料除去レーザビーム(7)を発生するため、波長が1064nmのNd:YAGレーザ(14)または波長が1030nmのY:YAGレーザ(14)が用いられる、
並びに／若しくは

前記基板(2)の照射表面上に入射するときの、前記材料除去レーザビーム(7)の平均直径、すなわちスポット径が、5μmと200μmの間である、
並びに／若しくは

前記材料除去レーザビーム(7)を発生する前記レーザ(14)のパルス繰返し周波数が0.1kHzと200kHzの間である、
並びに／若しくは

前記材料除去レーザビーム(7)を発生する前記レーザ(14)が単パルスレーザとして、またはバーストインパルスレーザとして、動作する、
並びに／若しくは

平均レーザパワーが、前記材料除去レーザビーム(7)を発生する前記レーザ(14)のビーム出力側で直接に測定して、10Wと200Wの間である、
ことを特徴とする、請求項2に記載の方法。

【請求項 1 3】

前記材料除去工程が以下のように実施される、
前記材料除去レーザビーム(7)の波長が、前記基板材料が前記波長に対して透明であるかまたは基本的に透明であるように選ばれる、

前記材料除去レーザビーム(7)が、前記基板(2)を通して、ビーム入射側基板表面(基板前面4v)から離れる方向に向けられた基板背面(4r)上に配された焦点(15)に集束される、及び

前記材料除去レーザ光(7)が、全基板厚(10)にわたって前記基板材料を除去するため、前記焦点(15)を前記基板背面(4r)から前記基板前面(4v)に向けて連続的に変位させながら、前記除去線(9)に沿って数回誘導される、
ことを特徴とする、請求項2に記載の方法。

【請求項 1 4】

前記材料除去工程の開始前に以下が実施される、
初めに、前記基板(2)が取付具(16)を用いて、分離されるべき前記輪郭形状(1)の、ビーム入射側基板表面(基板前面4v)から離れる方向に向けられた基板背面(4r)と前記取付具(16)の間の領域において、気密キャビティ(17)が形成されるように、取り付けられる、及び

続いて、前記基板(2)の取付け後に前記キャビティ(17)内にあるように前記基板(2)の取付け前に配置された被着材料(18)が、前記キャビティ(17)内に、集束されているレーザビーム(3, 7)によって蒸気化される、
ことを特徴とする請求項2に記載の方法。

【請求項 1 5】

前記輪郭形状(1)が、基板(2)としての、平ガラス素子に、特に、強化ガラスまたは無強化ガラスでつくられたディスクに、あるいは平結晶素子に、作製され、前記平ガラス素子または前記平結晶素子から分離されることを特徴とする請求項1から14のいずれか1項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はレーザを用いて平基板から（特に、ガラス基板または結晶基板から）輪郭形状を切り取るための装置及び方法に関する。

【背景技術】

10

20

30

40

50

【0002】

特許文献1は、どのようにして、レーザを用いて、半導体ウエハ、ガラス素子及びその他の基板を材料に強く吸収されるレーザ波長によって様々なパーツに分割できるかを説明している。この結果、最終的に基板を複数のパーツに分割させる材料除去が実施される。しかし、多くの材料の場合にこの方法には、例えば、アブレーション中の粒子形成による不純物、あるいは、材料の厚さにかけて一様ではない切断間隙がつくられるような、望ましくないマイクロクラックまたは溶融縁端を有する切断縁端のような、欠点がある。さらに、材料は蒸発させるかまたは液化させなければならないから、大きな平均レーザパワーが供給されなければならない。

【先行技術文献】

10

【特許文献】**【0003】****【特許文献1】**独国特許出願公開第10 2011 00768 A1号明細書**【発明の概要】****【発明が解決しようとする課題】****【0004】**

したがって、現状技術から出発して、特に脆性材料でつくられた、平基板を、切断縁端におけるクラックの発生を最小限に抑え、切断縁端を可能な限り直線にし、基板に広がって輪郭形状の分離後に基板に残る望ましくないクラック、フレーキングまたはその他の破損を生じさせずに輪郭形状をこれらの基板から切り出す（最終的には分離させる）ことができるよう、高プロセス速度で加工することができる方法（及び対応する装置も）利用可能にすることが本発明の課題である。したがって、本発明の目的は基板からの輪郭形状の正確でクリーンな分離、特に基板からの内部輪郭形状のクリーンで精確な除去である。

20

【0005】

以降でも詳細に説明されるように、動作は一般に、本発明にしたがい、基板材料が基本的に透明である波長のパルスレーザを用いて行われる。しかし、列をなす内部損傷域をつくるため（以下を参照されたい）、基板表面にわたるレーザビームの誘導中にレーザビームのオン／オフを繰り返して（例えば光変調器を用いて）急速に切り換えることができれば、連続波レーザの使用も可能である。

【課題を解決するための手段】

30

【0006】

本発明による課題は請求項1にしたがう方法により、また請求項16にしたがう装置によっても、達成され、有用な別形は従属請求項に説明されている。

【0007】

以降、本発明が初めに全般的に説明され、次いで実施形態を参照して説明される。実施形態の範囲内で形成される本発明にしたがう特徴は、本発明の範囲内に示される組合せで精確に形成される必要はなく、個々の特徴は省くこともでき、あるいは別の態様で他の特徴と組み合わせることもできる。特に、異なる実施形態の特徴を相互に組み合わせることもでき、あるいは示される特徴の内の個々のそれを省くこともできる。

【0008】

40

本発明にしたがう方法の基本的特徴は請求項1に説明される。輪郭形状は、基板形面において基板の部分表面の形態にある二次元表面と了解される。この部分表面に対応する基板の領域は基板から除去されることが想定され、基板の残りの領域は以降のプロセスにおいてさらに処理されることが想定されている。言い換えれば、基板から分離されるべき輪郭形状は破壊されていることもあり得る望ましくない表面を形成し、残りの基板領域は、内部損傷なしに、また輪郭線にしたがって可能な限り理想的な切断縁端も有して、輪郭形状の分離プロセスに耐え抜くことが予定されている。これは本発明にしたがって達成される。以降、基板は、輪郭形状の分離前の未加工基板及び輪郭形状の分離後に残る残余基板のいずれも含むと了解される。それぞれの文脈から、当業者であればいずれが想定されているかがわかる。

50

【0009】

本発明にしたがえば、輪郭形状決定工程は、輪郭形状決定工程後に、輪郭形状の輪郭経路が基板材料に刻み込まれるが、輪郭形状はまだ基板に連結されており、よって基板からの輪郭形状の完全な分離はまだ行われていないように、実施される。工程を踏む基板からの不要な輪郭形状の完全な分離は、輪郭形状決定工程、必要に応じるクラック決定工程、必要に応じる応力解放工程及び、材料除去及び／または材料変形工程によって実施され、未だ必要であれば（すなわち、工程（a）から（d）の実施後、輪郭形状が材料の内在応力によって既に自ら離れていることがなければ）、必要に応じる後処理工程が与えられる。必要に応じるクラック決定工程における（請求項4を参照されたい）及び必要に応じる応力解放工程における、離散内部損傷域の導入は、結果として形成される基板の部分領域の完全な分離が未だ実施されないように、実施される。

10

【0010】

必要に応じるクラック決定工程の実施は輪郭形状決定工程後になされることが好ましいが、これは必ずしも必要ではない。したがって、例えば、初めに輪郭線の部分領域を、クラック線部分をつくるためのクラック決定工程が実施される前に内部損傷域を導入することによって、つくることができ、クラック決定工程の完了後に、輪郭形状決定工程の残りの輪郭線部分が基板材料に導入される。

【0011】

角度 $> 0^\circ$ で輪郭線から離れる方向に延びるクラック線領域によって、上述した（おそらくは輪郭線に向けて連続している）クラック線領域が輪郭線から遠ざかる場所における輪郭線への局所接線と、輪郭線に向けて方位が定められた、クラック線領域の末端における局所接線の間の角度 θ が 0° より大きいことが了解される。

20

【0012】

本発明にしたがえば、工程（a），（b）及び（d）における（すなわち、輪郭形状決定工程、クラック決定工程及び応力解放工程における - 以降、これらの語（a）から（d））は本発明にしたがう工程に対して互換でも用いられる）レーザ照射は基板面に垂直に実施される必要はない。すなわち、離散内部損傷域が基板面に垂直に延びる必要はない（また、基板面に垂直に基板厚を貫通する必要も全く無い）。レーザ照射は基板法線に対して角度 $> 0^\circ$ （例えば、 0° と 20° の間）で実施することもできる（内部損傷域の斜向導入）。

30

【0013】

好ましくは本発明の範囲内で加工された（すなわち導入及び除去されるべき）内部輪郭形状により、数学的観点から、二次元空間（基板平面）または対応する基板の部分領域の単なるコピーレントな量があることが了解される。これにより、基板から取り出されるべき内部輪郭形状はほとんどいかなる形状も有することができる。詳しくは、内部輪郭形状について、円形、橢円形、ピンクッション形、（コーナーが丸められている）長方形、等が、対応する形状につくられた輪郭線に沿って基板表面上を移動させられているレーザビームによって、可能である。したがって、基板がワールド座標系内に静止態様で配置され、レーザビームが適する（例えば、F レンズ及び後続するガルバノメータスキャナを有することができる）ビーム誘導光学ユニットにより基板表面にわたって移動させられることが好ましい。あるいは、ワールド座標系に対して静止しているビーム誘導レンズ系も可能であり、この場合は、基板がビーム誘導レンズ系及びレーザビームに対してワールド座標系内で移動させられることが必要である。

40

【0014】

続いて、基板厚によって、基板面に垂直な、すなわち基板表面と基板裏面の間に、基板の広がりがあることが了解される。よって、基板前面は放射されるレーザ光に向けて配位された基板の表面である。

【0015】

本発明にしたがう方法の第1の好ましい達成される特徴（除去線の導入のための材料除去）が請求項2から推察され得る。

50

【0016】

この材料除去は分離されるべき内部輪郭形状の大きい半径及び小さい半径に特に適用することができ、例えば、直径が $< 2.5 \text{ mm}$ の円形区画のようなより小さな輪郭形状及び長方形の穴に特に適する。

【0017】

材料除去のため、基板上に入射したときの（集束によって達成される）ビーム直径がほぼ 0.05 mm と 0.5 mm の間の範囲にある CO_2 レーザを用いることができる。 CO_2 レーザはパルス動作とするか、または連続的に印加することができる。 $100 \mu\text{s}$ から $4000 \mu\text{s}$ の範囲にあるパルスが、 0.1 kHz から 100 kHz のパルストレイン周波数で用いられることが好ましい。パルス幅が $300 \mu\text{s}$ と $4000 \mu\text{s}$ の間の範囲にあり、パルストレイン周波数は 0.1 kHz から 3 kHz であることが特に好ましい。レーザパワーは $10 \sim 200 \text{ W}$ の範囲にあることができるが、 $10 \sim 100 \text{ W}$ の範囲にあることが好ましい。10

【0018】

レーザビームの走行経路は、輪郭線に沿い、輪郭線から離れていて、分離されるべき輪郭形状内にある。したがって、例えば、目標輪郭線に対称な（平行な）軌跡上にある。例えば、円形の輪郭形状（穴区画）が除去されるべきであれば、円移動する。走行経路は一回実施することができ、あるいは複数回反復することができる。

【0019】

小焦点直径及び大レーザパワーにより、基板材料は初め溶融する（材料除去）。長マイクロ秒範囲のレーザパルスと相まって、基板材料厚（例えば 0.7 mm ）の全体にわたって1パルスで完全に加熱され得る。20

【0020】

材料除去工程はガスノズルを用いてプロセスガス（例えば、 CO_2 ）により補助することができる。例えば直径が 2 mm のノズル及び $1.5 \sim 4$ バル（ $150 \sim 400 \text{ kPa}$ ）のガス圧を用いれば、小さな輪郭形状及び半径に対してさえ特に十分な材料除去がなされ得る。ガスフローにより、レーザで溶融された材料がビーム方向に追いやられる。

【0021】

上述したパラメータにより、例えば（ DOL が $40 \mu\text{m}$ の）強化ガラスも、有害なクラックを形成することなく、材料除去に供することができる。30

【0022】

除去輪郭（除去線）は輪郭線（切断目標輪郭）から十分離れて除去されるべきである（一般に、基板材料によりほぼ $0.1 \sim 0.3 \text{ mm}$ の間隔で十分である）。例えば、直径が 2 mm の円形ガラスディスクが除去されるべきであれば、除去線と輪郭線の最小間隔は 0.1 mm とすべきである（変形直径または円形除去線の直径は最大でも 1.8 mm ）。直径が 1.5 mm のガラス板の場合、変形直径は最大でも 1.3 mm とすべきである。直径が 1.0 mm のガラスディスクの場合、変形直径は最大でも 0.8 mm とすべきである。

【0023】

以降でさらに詳細に説明されるクラック線領域（例えばV字カット）は輪郭形状の完全な分離に対する補助効果を有する。40

【0024】

請求項3の有用な特徴にしたがえば、請求項2にしたがう材料除去の代わりに、またはこれに加えて、分離されるべき輪郭形状の材料領域の熱変形による除去も可能である。

【0025】

すなわち、基板材料を除去しない態様での基板材料の摘出のために、 CO_2 レーザまたはそのレーザビームを、（特に、分離されるべき輪郭形状の）基板材料に純粋に熱変形を生じさせる態様で用いることができる（これは、好ましくは、分離されるべき輪郭形状がかなり大きい場合に、例えば、分離されるべき円形区画の直径が 2.5 mm 、好ましくは $5 \sim 10 \text{ mm}$ の場合に、実施される）。

【0026】1020304050

そのような材料変形工程を含む手順は以下のようにすることができる。

【0027】

基板のCO₂レーザ照射によって、例えば、輪郭線に沿うが輪郭線から距離をおいた、また分離されるべき輪郭形状内での（例えば、分離されるべき輪郭形状の中心における円または螺旋に沿う）レーザビームの移動により、少なくとも分離されるべき輪郭形状の領域の塑性変形が生じるように、少なくとも分離されるべき輪郭形状の領域が加熱される。基板材料に入射するCO₂レーザスポットの直径は、0.1 mmから10 mmの、広い範囲にわたることができる。0.2 mmから3 mmの直径が好ましい。CO₂レーザはパルス動作及び連続動作のいずれも行うことができる。しかし、6 μsから4000 μsの範囲にあるパルスが、0.1 kHzから100 kHzの範囲にあるパルストレイン周波数とともに用いられることが好ましい。レーザパワーは10 Wと300 Wの間の範囲にあることができ、好ましくは1 Wと50 Wの間の範囲にあることができる。10

【0028】

レーザの走行経路は分離されるべき輪郭形状（目標輪郭形状）に対して対称な（例えば平行な、ただし間隔をおいた）軌跡であることが好ましい。例えば、分離されるべき内部輪郭形状としての穴区画の場合、円軌道である。しかし、螺旋軌道もそのような内部輪郭形状（例えばガラスディスク）の熱塑性変形に好ましい効果を有し得る。いくつかの場合、分離されるべき輪郭形状の中心にレーザビームが単に、例えば…秒と0.5秒の間の、ある定められた時間にかけて静止したままでいて加熱し続け、よって分離されるべき輪郭形状を変形させれば、好ましいことがわかる。走行経路は一回辿ることができ、あるいは複数回反復して辿ることができ、これは分離されるべき輪郭形状の熱塑性変形に好ましい効果を有し得る。20

【0029】

中心における塑性変形は分離されるべき輪郭形状（例えばガラスディスク）の、中心の照射領域における基板材料（例えばガラス材料）の中心に向かう熱誘起流による収縮を生じさせる。例えば、分離されるべき輪郭形状としての円形ディスクの場合、これは：

- ・変形は一般に、重力の結果として、レーザから地球の中心の方向に離れる膨らみの形になる。この膨らみはおそらく液滴形状をとり得る。表面形状は凸レンズの表面形状と同等になり得る；

- ・特定のレーザ条件の下で、膨らみはレーザに向けても形成される。したがって、表面形状は両凸レンズの表面形状である；

- ・特定のレーザ条件の下で、膨らみの一方の側に、及び反対側に表面に、窪み（凹面）が形成される；

- ・照射されている表面を、同時にガスノズルを介して、平行にプロセスガス（例えば、工業用空気、CDA）のフローにさらすと、膨らみ及び／または窪みの形成を極めて精密に制御することができる。この結果、半径が非常に小さい(< 2.5 mmから1.2 mm)輪郭形状であっても、除去に取り入れることができる。例えば、ノズル直径が2 mmでガス圧が1.5 ~ - 3 バール(150 ~ - 300 kPa)の範囲にある場合、比較的小さな輪郭形状が特に容易に除去され得る；

のよう理解され得る。40

【0030】

説明される熱塑性変形の様々な態様が共通に有することは、分離されるべき輪郭形状の基板材料が流動し（例えば、内部輪郭形状が除去されるべきである場合にはその中心に向かって流動し）したがって、残りの基板材料（例えば、除去されるべき内部輪郭形状の外部にある材料）に対して隙間が形成される。そのような隙間はほぼ10 μmから50 μmの寸法を有し得る。

【0031】

短い熱緩和時間（分離されるべき輪郭形状の冷却及び収縮）の後、分離されるべき輪郭形状は、純粋に隙間形成により、落下する。

【0032】

50

したがって、材料変形工程の場合、基板材料は全く除去されず、除去生成物は全く生じない。

【0033】

CO_2 誘起熱塑性変形またはレーザによって照射される領域は既に導入された輪郭線（切断輪郭）から十分離れて（一般に、基板材料によってほぼ 1 ~ 3 mm の離隔で十分である）除去されるべきである。例えば、直径 10 mm のガラスディスクが除去されるべきであれば、このガラスディスクの中心周りで照射される領域は最大でも 8 mm の直径（変形直径）を有するべきである。直径が 5 mm のガラスディスクの場合、この領域の直径は最大でも 3.4 mm とすべきである。直径が 2.5 mm のガラスディスクの場合、この領域の直径は最大でも 1.5 mm とすべきである。

10

【0034】

既に導入された輪郭線（切断輪郭）は、適する熱塑性変形直径により、欠けまたは寄生クラックの形成の形態の切断縁端または周囲材料への不利な熱効果が生じ得ないように、残留する、残余基板の周囲材料に対して十分な熱絶縁を形成する。

【0035】

以降の実施形態において、材料除去工程及び／または材料除去工程としての材料変形工程は、さらに詳細に説明されることはない、材料除去レーザビームを用いて実施される。

【0036】

得られるさらに好ましい特徴は請求項 4 ~ 6 から推察することができる。

20

【0037】

請求項 6 にしたがう超音波処理は以下のように実施することができる。周波数範囲は 1 kHz と 50 kHz の間（特に好ましくは、5 kHz ~ 40 kHz）。切断される輪郭形状の内部の（すなわち、分離されるべき輪郭形状の）表面は超音波アクチュエータと接触させられることが好ましい。接触表面は分離されるべき内部輪郭形状の寸法及び形状に対応することができる。接触は表面全体にわたって、または円環として、実施することができる。特定の実施形態において、分離されるべき輪郭形状の外側にある基板を超音波で処理することができる（分離されるべき輪郭形状及びそのような基板領域の同時超音波処理も可能である）。

【0038】

しかし、対応する後処理工程は、工程 (b) において（及びおそらくは必要に応じて実施される工程 (d) において）導入された、内部損傷域が、材料除去工程及び／または材料変形工程の途上において、あるいはその後に、残余基板から望ましくない輪郭形状がそれによって切り離されずにいるに十分な、基板材料に導入された内部応力を既に有しているから、全く必要がないことが多い。

30

【0039】

さらに有用な達成され得る方法特徴を請求項 7 及び請求項 8 から推察することができる。

【0040】

記述の有用な特徴の全ては、また以降に説明される有用な特徴の全ても、本発明の範囲内で、それぞれ個々にあるいは相互のいかなる組合せでも、形成することができる。

40

【0041】

請求項 8 に説明される点集束は、米国特許第 6 9 9 2 0 2 6 B 2 号明細書及び国際公開第 2012 / 006736 A 2 号に説明されるように実施することができる。

【0042】

しかし、本発明にしたがえば、請求項 8 に説明されるレーザビーム焦線により（すなわち、材料の厚さ方向に延びる領域に沿う基板材料内誘起吸収により）、輪郭線及びクラック線領域に沿って、またおそらくは応力解放線領域にも沿って、離散内部損傷域を導入することが特に好ましい。

【0043】

続いて、工程 (a)、(b) 及び (d) の好ましい実施形態がここで詳細に説明される

50

。

【 0 0 4 4 】

初めに、照射レーザの波長が、基板材料がこのレーザ波長に対して基本的に透明であるように、加工されるべき基板に合わせて選ばれる（請求項 11 も参照されたい）。

【 0 0 4 5 】

工程（a）、（b）及び（d）のための方法は、この目的に適するレーザレンズ系（以降、ビーム誘導光学ユニットまたは光学装置とも互換で称される）を用いてレーザパルス毎に（焦点とは対照的に）焦線を生じさせる。焦線はレーザと基板の材料の合うだの相互作用域を決定する。焦線が分離されるべき材料に当たれば、材料との相互作用がおこり、焦線に沿ってクラック域をつくるように、レーザパラメータを選ぶことができる。ここで重要なレーザパラメータは、レーザの波長、レーザのパルス幅及びレーザのパルスエネルギーであり、また、おそらくはレーザの偏光も含まれる。10

【 0 0 4 6 】

工程（a）、（b）及び（d）におけるレーザ光と材料との相互作用に対して、好ましくは以下とすべきである。

【 0 0 4 7 】

1) レーザの波長 は、材料がこの波長において基本的に透明である（具体的には、例えば、吸収 10 % / 材料深さ (mm)、すなわち $1 / cm$ 、ここで、 c はランベルト - ベール吸収係数）ように選ばれることが好ましい。

【 0 0 4 8 】

2) レーザのパルス幅は、相互作用時間内に、相互作用域からの実質的な熱の輸送（熱拡散）が起こり得ない（具体的には、例えば、 d^2 / τ 、ここで、 d は焦点直径、レーザパルス幅、 τ は材料の熱拡散定数）ように選ばれることが好ましい。20

【 0 0 4 9 】

3) レーザのパルスエネルギーは、相互作用域における、すなわち焦線における、強度が、焦線に沿う材料の局所加熱をおこさせ、続いて、材料に導入される熱応力の結果として焦線に沿うクラック形成をおこさせる、誘起吸収を生じさせるように選ばれることが好ましい。

【 0 0 5 0 】

4) レーザの偏光は誘起吸収中の表面における相互作用（反射率）及び材料内の相互作用のタイプのいずれにも影響する。誘起吸収は、熱励起後に、または多光子吸収及び内部光イオン化により、または直接電場イオン化（光の電場強度が直接に電子の結合を切る）により、誘起された、自由電荷キャリア（一般に電子）によっておこり得る。電荷キャリアの生成のタイプは、例えば、いわゆるケルディッシュパラメータ（基準）によって評価され得るが、本発明にしたがう方法の実施においては何の役割も果たさない。レーザ光のさらなる吸収 / 透過が偏光に依存する、特異な場合（例えば複屈折材料の場合）にのみ、偏光が重要になることができ、したがって、好ましくは、それぞれの材料の分離に対して、偏光は、例えば単に発見的な態様で、ユーザによって適するレンズ系（位相板）を用いて選ばるべきである。したがって、基板材料が光学的に等方性ではなく、例えば、複屈折性であれば、材料内のレーザ光の伝搬も偏光によって影響される。したがって、偏光及び偏光ベクトルの方位を、所望に応じて、（常光線ビーム及び異常光線ビームの）2 本の焦線ではなくその内の 1 本の焦線だけが形成されるように、選ぶことができる。これは光学的に等方性の材料の場合には重要ではない。30

【 0 0 5 1 】

5) さらに、強度は、固体の構造にアブレーションまたは溶融がおこらず、クラック形成だけがおこるように、パルス幅、パルスエネルギー及び焦線直径によって選ばれるべきである。この要件は、ガラスまたは透明結晶のような、一般的な材料について、サブナノ秒範囲の、特にパルス幅が、例えば、10 ps と 100 ps の間の、パルスレーザによって最も容易に満たすことができる。ほぼ 1 μm (0.5 ~ 5.0 μm) のスケール長より上で、例えばガラスのような不良熱伝導体について、熱伝導はサブマイクロ秒範囲でおこり4050

、結晶及び半導体のような良熱伝導体については、ナノ秒以降でさえおこる。

【0052】

内部損傷域を形成するため、すなわち、基板平面に対して垂直に延びる材料内クラック形成のための基本過程は、材料の構造強度（M Pa 単位の圧縮強度）をこえる機械的応力である。この場合、機械的応力はレーザエネルギーによる急速で非一様な加熱（熱誘起応力）によって達成される。工程（a）、（b）及び（d）におけるクラック形成は、対応して、焦線に対する基板の位置決めがなされていれば（以降を参照されたい）、変形がそこで最大になるから、当然基板の表面に始まる。これは、表面上方の半空間には力を吸収できる材料がないためである。この議論は強化されているかまたはあらかじめ圧縮応力がかけられている表面をもつ材料にも、強化されているかまたはあらかじめ圧縮応力がかけられている層の厚さが焦線に沿って突然加熱される材料の直径に対して大きい限り、適用される（この点に関しては、以降に説明される図1も参照されたい）。 10

【0053】

相互作用のタイプは、第1に表面上または体積内に溶融がおこらず、第2に表面上に粒子を形成するアブレーションがあこらないように焦線直径を選ぶことで、フルーエンス（エネルギー密度（単位：J/cm²））及びレーザパルス幅によって調節することができる。

【0054】

続いて、所望の分離表面の輪郭線の形成（基板表面上の輪郭線に沿うレーザビームと基板の間の相対運動）、すなわち工程（a）が説明される。工程（b）及び（d）にも同じことが適用される。 20

【0055】

材料との相互作用は、レーザパルス毎に焦線に沿って材料内に個別の、（基板表面に垂直な方向で見て）連續な、クラック域を形成する。材料の完全な分離のため、一連の、レーザパルス毎のこれらのクラック域は所望のクラック面／輪郭を形成するための横方向連結が材料内に形成されるように所望の分離線に沿って相互に非常に近づけて配置される。このため、レーザは特定のトレイン周波数でパルス動作する。スポット径及び間隔は、レーザスポットの列に沿って表面上に、所望の、方向付けられたクラック形成が始まるよう選ばれる。所望の分離面に沿う個々のクラック域の間隔はレーザパルスから次のレーザパルスまでの時間間隔内の材料に対する焦線の移動によってつくられる。この点に関し、やはり以降に説明される図4も参照されたい。 30

【0056】

材料に所望の輪郭線または分離面を形成するため、所望の分離線が形成されるように、静止材料にかけて基板平面に平行に（及び、おそらくは基板面に垂直にも）移動可能である光学装置によってパルスレーザ光を移動させることができ、あるいは可動受け手段を用いて材料自体に静止している光学装置を通過させることができる。材料の表面に対する焦線の方位は、表面の法線に対して垂直であるかまたは $> 0^\circ$ の角度をなすかにかかわらず、固定されるように選ぶことができ、あるいは可回転法線光学ユニット（以降、簡略化のためレンズ系とも称される）によって、及び／または所望の輪郭線あるいは分離面または分離線に沿うレーザの可回転ビーム経路によって、変化することができる。 40

【0057】

全体で、所望の分離線を形成するための焦線は材料を通る、焦線の材料への侵入点を定める2本の空間軸（x, y）、材料への侵入点からの焦線の方位を定める、2本の角度軸（，）及び、（焦線が表面の侵入点から材料内にどれだけ深く延びるかを定める、別の1本の空間軸（x, yに直交する必要はない、z'）、の5本の個々に可動の軸にしたがって誘導され得る。デカルト座標系（x, y, z）における幾何学については、例えば以降に説明される図3aも参照されたい。基板表面へのレーザビームの垂直入射の場合、z = z'になる。 40

【0058】

形成された輪郭線に沿う材料の最終分離（輪郭形状の分離）は、材料の内在応力による 50

か、あるいは例えば機械的に加えられた力（張力）または熱的に（非一様加熱／冷却により）加えられた力によって、行われる。工程（a）、（b）及び（d）において材料のアブレーションはないから、一般に、初期には材料に連続する間隙はないが、それ自体で相互に固定され、おそらくはブリッジでも連結されている、強く破壊された割れ面（マイクロクラック）だけがある。以降の後処理工程において加えられる力の結果、残留ブリッジが（基板平面に平行に行われる）横方向クラック成長によって分離されて、相互の固定が崩され、よって材料が分離面に沿って分離され得る。

【0059】

工程（a）、（b）及び（d）において用いることができるレーザビーム焦線は、簡略化のため、以前も以降もレーザビームの焦線とも称される。工程（a）、（b）及び（d）において、クラック形成（基板平面に垂直に延びる焦線に沿う誘起吸収）によって、輪郭形状を分離するための輪郭線、クラック線領域及び応力解放線領域を含む基板が作製される。クラック形成は基板内に向けて、すなわち基板の内部に向けて、基板平面に垂直に行われる（縦通クラック形成）ことが好ましい。既述したように、基板の個別の部分が相互に分離され得るためには、一般に、基板表面上の1本の線（輪郭線）に沿って非常に多くの個別のレーザビーム焦線が導入されなければならない。この目的のため、レーザビームまたは光学系に対して基板を基板平面に平行に移動させることができ、あるいは、逆に、静止態様で配置されている基板に対して光学系を基板平面に平行に移動させることができる。

【0060】

工程（a）、（b）及び（d）の誘起吸収は、基板構造におけるクラック形成が基板材料のアブレーション及び溶融をおこさせずに行われるよう、生じさせると有利である。これは、既述し、以降で実施例の範囲にも説明される、レーザパラメータを、また光学系の構造及びパラメータも、調節することで達成される。ビームの縦方向で見た、レーザ焦線の延び¹及び／または（基板内部において）基板材料に誘起吸収される部分の延びはそれぞれ、0.1 mmと、好ましくは0.3 mmと、10 mmの間にあり得る。基板の層厚は30 μmと3000 μmの間であることが好ましく、100 μmと1000 μmの間であることが特に好ましい。レーザビーム焦線のこの延び¹と基板の層厚dの比^{1/d}は10と0.5の間であることが好ましく、5と2の間であることが特に好ましい。ビーム縦方向から見た、基板材料内の誘起吸収領域の延びLと材料内の、すなわち基板内部の、誘起吸収領域の平均延びDの比^{L/D}は、ビーム縦方向を横切る方向で見て、5と5000の間であることが好ましく、50と5000の間であることが特に好ましい。レーザビーム焦線の平均直径（スポット径）は0.5 μmと5 μmの間であることが好まし、1 μmと3 μmの間（例えば2 μm）であることが特に好ましい。レーザのパルス幅は、基板材料との相互作用時間内に、この材料内の熱拡散が無視できる（好ましくは、熱拡散がおこらない）ように選ばれるべきである。レーザのパルス幅を²で表せば、²及び基板材料の熱拡散定数³の間に^{2/3}が成り立つことが好ましい。これは^{2/3}の1%より小さく、好ましくは0.1%より小さいことを意味する。例えば、10 psにある（またはさらに短い）パルス幅²は10 psと100 psの間にあり得るし、さらには100 psより長くなり得る。レーザのパルス繰返し周波数は10 kHzと1000 kHzの間であることが好ましく、100 kHzであることが好ましい。レーザは単パルスレーザとして、またはバーストパルスレーザとして、動作させることができる。（レーザのビーム出力側で測定した）平均レーザパワーは10 Wと100 Wの間であることが好ましく、工程（a）、（b）及び（d）に対しては30 Wと50 Wの間であることが好ましい。

【0061】

工程（a）、（b）及び（d）において、レーザビームは線に沿って基板表面に対して移動され、その線に沿って非常に多くの離散内部損傷域（それぞれの線に沿って基板の内部に導入された広がり領域とも称される）が基板に導入される。直に隣接する、すなわち相互に連続してつくられた、内部損傷域（誘起吸収領域）の中心の間隔aとレーザビーム焦線の平均直径（スポット径）²の比^{a/2}は0.5と3.0の間であることが好ましく、

10

20

30

40

50

1.0と2.0の間であることが好ましい（これに関しては図4も参照されたい）。

【0062】

基板からの輪郭形状の最終分離は工程(a)～(d)の後に（おそらくはこれらの工程の内の1つの実施中にも）、基板にかけられている機械的な力（例えば、機械式スタンプ）及び／または（基板を非一様に再び加熱及び冷却するため、例えばCO₂レーザを用いて）基板に導入される熱応力によって、行うことができる。この結果、直に隣接する誘起吸收の広がり領域の間または直に隣接する内部損傷域の間で、基板を複数の部分に分割するため、すなわち輪郭形状を分離するためのクラック形成がおこり得る。したがって、このクラック形成は、（基板深さの方向に誘起される深さ方向クラック形成または工程(a)、(b)及び(d)におけるクラック形成とは対照的に）横方向クラック形成として、すなわち（輪郭形状がそれに沿って基板から分離されるべき輪郭線の経路に対応する）基板平面内の横方向クラック形成として理解されるべきである。10

【0063】

したがって、工程(a)、(b)及び(d)におけるこの好ましい処置の場合、レーザパルス毎（またはバーストパルス毎）に（広がりがないかまたは極めて局所的でしかない焦点ではなく）レーザビーム焦線がつくられることが基本的である。この目的のため、やはり以降に詳細に説明されるレーザレンズ系が用いられる。すなわち、焦線はレーザと基板の間の相互作用域を定める。焦線が、分離されるべき基板材料に（深さ方向で見て）少なくともある程度当たれば、焦線全体に沿って（または、基板に当たるレーザビーム焦線の伸張領域全体に沿って）クラック域を形成する、材料との相互作用がおこるように、レーザパラメータを選ぶことができる。選択可能なレーザパラメータは、例えば、レーザの波長、レーザのパルス幅及びレーザのパルスエネルギーであり、おそらくはレーザの偏光も含まれる。20

【0064】

工程(a)、(b)及び(d)におけるこの輪郭形状分離の準備の結果、非常に薄いガラス基板（厚さが<300μmまたは<100μm、さらには<50μmの、ガラス基板）でつくられた輪郭形状の分離が、本発明にしたがって、可能になる。これは、本発明にしたがえば複雑な後処理が必要にならないように、エッジ、損傷、欠け、フレーリング等を輪郭形状の分離後に（残余）基板上に残さずに、行われる。よって、線に沿う内部損傷域を高速(>1m/秒)で導入することができる。30

【0065】

本発明にしたがう方法のさらに有用な達成し得る特徴が請求項9及び10に説明される。（基板平面で見て）螺旋（請求項10）によって全般に非常によく理解される、それ自身の中で多数回巻かれ、ほとんどいかなる形状もとる、平面線描構造があり、構造は（内部輪郭形状の中心における）一点に始まり、巻き数を重ねて、内部輪郭形状の外縁に益々近づき、したがって内部輪郭形状の外縁を近似する（本発明にしたがう螺旋は狭い意味の数学的螺旋に限定されない）。

【0066】

請求項11は本発明の別の有用な特徴を説明する。いかなる特徴も相互のいずれかの組合せでつくりだすことができる。請求項11に説明されるレーザ特性は、材料除去工程における材料除去レーザビームの生成及びビーム誘導に対しても（何らかの差違が示されていなければ）同様に適用される。しかし、有用に生じさせた、材料除去工程における特定のレーザパラメータに関しては、請求項12を参照されたい。40

【0067】

請求項11及び12に説明されるタイプのレンズを、（これらのタイプのレンズによる非常に多くの内部損傷域の形成と比較して）対応して適応されているレンズ構成-例えば、焦点距離が100mm（好ましくは、70mmと150mmの範囲にある）「正常」レンズの代わりに無焦線レンズ系が用いられる-により、材料除去レーザとして用いることが可能である。F レンズを含むガルバノメーター装置が好ましい。

【0068】

50

用い得る別のレーザは波長が 532 nm / 515 nm の Nd : YAG レーザである。しかし、ガスノズルを併用する、波長が 9 ~ 11 μm の CO₂ レーザも非常に適している。

【0069】

一方で、工程 (a) と、他方で、工程 (b) 及び / または (d) の間で、例えば隣接内部損傷域の離隔を変えることが好ましいことを証明することができる。特に、工程 (b) 及び / または (d) においてこの離隔を大きくすることが、工程 (a) と比較して、内部輪郭形状の内側における好ましいクラック形成がおこり、したがって好ましい損傷が生じるから、有用である。

【0070】

例として、パラメータを以下のようにすることができる。

10

【0071】

- ・硬化ガラス (0.7 mm ; DOL 40 μm) に対し、バースト 2 パルス、200 kHz 繰返し周波数、3.5 μm パルス間隔、25 W レーザパワー、レンズ系開口数 0.1、焦線長 1.8 mm。

【0072】

- ・無強化ガラス (2.8 mm) に対し、バースト 5 パルス、100 kHz 繰返し周波数、5 μm パルス間隔、50 W レーザパワー、レンズ系開口数 0.08、焦線長 2.8 mm。

【0073】

材料除去工程の実施に対する有用な手順が請求項 13 及び 14 に説明される。例えば、0.7 mm 厚のガラス基板に対して、基板材料の全厚にわたる基板材料への除去線の切込みのため、除去線の 20 回通過が行われる。

20

【0074】

請求項 14 にしたがう手順において、本発明に説明される全てのレーザのビームを、CO₂ レーザを除いて、レーザビームとして用いることができる。特に、532 nm のレーザ波長を用いることができる。ポリオキシメチレン (POM) を被着材料として用いることができる。

【0075】

基板の取付けは、例えば、窪みをキャビティとして有するクランプ具を用いて、確実に行うことができる。気密キャビティ内の蒸気圧により、分離線によって分離された基板片の排除が、また、おそらくは、その後もまだ残っている、基板にまだ連結されている輪郭形状の残余領域の排除さえも、可能である。

30

【0076】

請求項 15 は本発明にしたがう方法を用いて加工することができる材料を説明している。

【0077】

本発明にしたがう方法を実施することができる、本発明にしたがう装置が請求項 16 ~ 18 に説明されている。

【0078】

請求項 18 にしたがう、工程 (a) 、(b) 及び (d) におけるレーザビーム並びに材料除去工程のための材料除去レーザビームのいずれも生成することができる。レーザは、例えば、50 W ピコ秒レーザである。

40

【0079】

本発明にしたがえば、輪郭形状の最終分離のため、非常に多くの内部損傷域の導入後、基板材料に水分を与えることが有用であり得る。毛管力の結果、水が損傷域に引き込まれ、(レーザによって生じた) ガラス構造内の開結合と結合することで応力を誘起することができ、この応力は最終的にクラックの形成に役立つ。したがって、切られた輪郭形状(内部及び外部の輪郭形状)への制御された水の供給が可能であり、水注入はレーザ加工中またはレーザ加工後に行うことができる。湿性空気流をつくるための装置内のエバボレータの使用及び / または水分を帯びた基板取付け手段または基板受け手段の使用が可能である。導入されるべき輪郭線の領域に貯水槽を設けることができる。

50

【0080】

平基板に輪郭形状を形成するか、または平基板から輪郭形状を分離する、本発明は特に現状技術から既知の輪郭形状切出し方法に対して以下の利点を有する。

【0081】

・一方で、内部損傷域の導入（工程（a）、（b）及び、おそらくは工程（d））と、他方で、材料除去及び／または材料変形工程（c）を組み合わせることで、輪郭形状に対して非常に高い分割品質を達成することができる。特に、破断がおこらず、輪郭形状の除去後、基板の切断端が非常に小さい粗さを有し、高い精度も有する。

【0082】

・ほとんどいかなる様にもつくられた内部輪郭形状（円形内部輪郭形状、長方形の穴につくられた輪郭形状、またはいずれかの自由形状表面）を、本発明にしたがって高い精度で分離することができる。よって、内部輪郭形状の構造の高い分解能が可能である。10

【0083】

・内部輪郭形状の外側の（すなわち、残余基板における）応力クラックの形成が避けられる。

【0084】

・本方法は、内部輪郭形状の除去に対するだけでなく、非常に小さな半径またはコーナーを有する外部輪郭形状の、残余基板上につくられる外部端の品質が非常に高い、分離にも適している。特に、アンダーカットを有する外部輪郭形状（例えば、ありつき形輪郭形状）を、高い品質で、形成及び分離することができる。20

【0085】

以降で、実施形態を参照して本発明を説明する。材料除去工程としてここで実施される材料除去及び／または材料変形工程は本明細書で簡単に（c）で示される。参照する実施形態は図面に示されている。

【図面の簡単な説明】**【0086】**

【図1】図1は、本発明にしたがう、焦線の位置決め、すなわち、工程（a）、（b）及び（d）における、焦線に沿う誘起吸収に基づく、レーザ波長に対して透明な基板材料の加工の原理を示す。

【図2】図2は、工程（a）、（b）及び（d）に対し、本発明にしたがって用いることができる光学系を示す。30

【図3a】図3aは、工程（a）、（b）及び（d）に対し、本発明にしたがって用いることができる別の光学系を示す。

【図3b】図3bは、工程（a）、（b）及び（d）に対し、本発明にしたがって用いることができるまた別の光学系を示す。

【図4】図4は工程（a）にしたがって加工されたガラスディスクの基板表面の顕微鏡写真（基板平面上の平面図）である。

【図5a】図5aは本発明にしたがう基板からの円形内部輪郭形状の除去に至る工程（a）を示す。

【図5b】図5bは本発明にしたがう基板からの円形内部輪郭形状の除去に至る工程（d）を示す。40

【図5c】図5cは本発明にしたがう基板からの円形内部輪郭形状の除去に至る工程（b）を示す。

【図5d】図5dは本発明にしたがう基板からの円形内部輪郭形状の除去に至る工程（c）を示す。

【図6】図6は、応力解放線領域として応力解放螺旋が形成されている、本発明にしたがう工程（d）の一例を示す。

【図7】図7は本発明にしたがう基板からの外部輪郭形状の分離の一例を示す。

【図8】図8は円形内部輪郭形状を除去するための切取り線誘導の様々な例を示す。

【図9】図9は材料除去工程の実施に対する一例を示す。50

【図10】図10は、本発明にしたがう、輪郭形状の形成及び分離のための装置の略図である。

【発明を実施するための形態】

【0087】

図1は工程(a)、(b)及び(d)の基本的手順の概要を示す。本図には示されていないレーザ12(図10)によって発せられるレーザビーム3が本発明の光学ユニット20に入射する。光学ユニット20の入力側ビームについては参照数字3aで示されている。光学ユニット20は放射されたレーザビームから、ビーム方向に沿う定められた伸張領域(焦線の長さ1)にわたってビーム出力側に、伸張ビーム焦線3bを形成する。レーザ光3のレーザビーム焦線3bを少なくともある程度包含するように、加工されるべき平基板2が光学ユニット後のビーム経路に配置される。参照数字4vは光学ユニット20またはレーザに向けて配位された平基板の表面を指し、参照数字4rは、光学ユニット側表面に通常は平行であり、光学ユニット側表面から隔てられている、基板2の背側表面を指す。本図において(表面4v及び4rに垂直な、すなわち基板平面に対して測定される)基板厚さは参照数字10で示される。

【0088】

図1のa)に示されるように、本図において基板2は、ビーム軸線に、したがって、光学ユニット20によって光学ユニット20の背後の空間につくられる焦線3bに垂直に配位されて(基板は図の面に垂直である)、焦線3bが、ビーム方向で見て、基板の表面4vの前方に始まり、ビーム方向に沿って見て、基板の表面4rの前方で、すなわちまだ基板内部で、終わるように、焦線3bに対して配置される。したがって、伸張レーザビーム焦線3bは(長さ1の領域へのレーザビーム3の集束によって、すなわち長さ1の線焦点によって確保される、レーザビーム焦線3bに沿う、適するレーザ強度により)、レーザビーム焦線3bの基板2との重畠領域に、すなわち焦線3bにカバーされる基板の材料に、ビーム軸方向に沿って見て、基板の材料における誘起吸収がそれに沿って生じる、伸張領域3cを形成し、誘起吸収は領域3cに沿う基板材料内のクラック形成を誘起する。したがって、クラック形成は局所的におこるだけでなく、誘起吸収の伸張領域30の全長(すなわち内部損傷域)にわたっておこる。この領域3cの長さ(すなわち、結局的にレーザーム焦線3bと基板2の重畠の長さ)は、本図において参照符号Lで与えられる。誘起吸収の領域の(あるいは、クラック形成を受ける、基板2の材料における領域の)平均直径または平均広がりは、本図において、参照符号Dで示される。この平均広がりDは、本図において、レーザビーム焦線3bの平均直径に対応する。

【0089】

図1のa)に示されるように、レーザビーム3の波長に対して透明である基板材料は、本発明にしたがい、焦線3bに沿う誘起吸収によって加熱される。図3bは、加熱された材料は最終的に膨張し、よって、対応する誘起応力が本発明にしたがってマイクロクラック形成をおこさせ、応力は表面4vにおいて最大であることを示す。

【0090】

次に、焦線3bを形成するために用いることができる具体的な光学ユニット20を、またこれらの光学ユニットを用いることができる具体的な光学構成も、説明する。これらのユニットまたは構成の全ては上述したそれぞれに基づき、よって、それらの機能と同等であるかまたはそれらの機能に対応するコンポーネントまたは特徴に対してそれぞれ同等の参照数字が用いられる。続いて、それぞれの違いだけを説明する。

【0091】

最終的に分離を生じさせる分離面は、(破壊強さ、幾何学的精度、粗さ、及び後処理要求の回避に関して)本発明にしたがい、高い品質をもつかまたはそうであるべきであるから、例えば、基板の表面上の輪郭線5に沿って配置されるべき個々の焦線、5-1, 5-2,...が、後続の光学ユニットによって形成される(光学ユニットは以降、互換で、レーザレンズ系とも称される)。したがって、粗さは、特にスポット径によるかまたは焦線のスポット直径によって生じる。与えられたレーザ12の波長を用いて(基板2の材料と

相互作用する)、例えば $0.5 \mu m$ から $2 \mu m$ の、小さなスポット径を達成できるためには、レーザレンズ系20の開口数に特定の要件が課せられる。これらの要件は次に説明されるレーザレンズ系20によって満たされる。

【0092】

所望の開口数を達成するため、レンズ系は、一方で、与えられた焦点距離において既知のアッベの公式 ($N A = n \sin \theta$; ここで、 n は加工されるべきガラスの屈折率、 θ は開口角の $1/2$ であって、 $\theta = \arctan(D/2f)$ であり、 D は開口、 f は焦点距離である) にしたがう所要の開口を有していなければならない。他方で、レーザビームは所要の開口までレンズ系を照明しなければならず、これは一般にレーザと集束レンズ系の間の拡大テレスコープを用いるビーム拡張によって行われる。 10

【0093】

したがって、スポット径は、焦線に沿う一様相互作用のため、あまり大きく変化すべきではない。これは、例えば、ビームによる狭い環状領域だけを照明し、次いで開口を照明している集束レンズ系によって保証することができ(以下の実施形態を参照されたい)、したがって開口数は当然僅か 1 % ほどしか変化しない。

【0094】

図2(レーザ光3aのレーザビーム束内の中心ビームのレベルにおいて基板平面に垂直な断面であり、本図でも、焦線3bまたは誘起吸収の伸張領域3cが基板の法線に平行であるように、レーザビーム3の照射は基板平面に垂直に行われている)によれば、レーザ12によって放射されるレーザ光3aが初めに、用いられるレーザ光に対して完全に不透明な、円形ダイアフラム20a上に向けられる。ダイアフラム20aはビーム軸線に垂直に配位され、図示されるビーム束3aの中心ビームに中心が合わせられている。ダイアフラム20aの直径は、ビーム束3aの中心または中心ビームに近接しているビーム束(本図において3aZで示される)がダイアフラムに入射し、ダイアフラムによって完全に吸収されるように、選ばれる。ビーム束3aの外周領域にあるビーム(本図において3aRで示される、エッジビーム)だけが、ビーム直径に比較して減じられたダイアフラム径により、吸収されずにダイアフラム20aの周辺を通過して、本図では球面研磨された両凸レンズ20bとして構成されている、光学系20の集束光学素子の縁端領域に入射する。 20

【0095】

中心ビームに中心が合わせられたレンズ20bは、本図において、意図的に、普通の球面研磨レンズの形態にある無補正両凸集束レンズとして構成される。言い換えれば、そのようなレンズの球面収差が意図的に利用される。この代替として、理想的に補正された系からは外れ、理想的な焦点は事実上有しておらず、定められた長さの縦方向に大きく延ばされた焦線を形成する、非球面レンズまたは多重レンズ(すなわち、もはやいかなる個別の焦点も事実上有していないレンズまたは系)を用いることができる。したがって、レンズの帯は精確にレンズの中心からの距離の関数として焦線3bに沿って集束する。ビーム方向に対して直交するダイアフラム20aの直径は、本図において、ビーム束のほぼ90%であり(ビーム束の直径は $1/e$ に減衰するまでの広がりによって定められる)、光学系20のレンズの直径のほぼ75%である。本発明にしたがえば、中心においてビーム束を遮蔽することで形成された、収差無補正球面レンズ20の焦線3bが用いられる。断面図は中心ビームを通る平面で表され、完全な三次元束は、表示されているビームを焦線3bの周りで回転させれば形成される。 40

【0096】

光学ユニット20がアキシコン及び集束レンズのいずれも有していれば、本発明にしたがって用いられ得る、改善された光学ユニット20が作製される。

【0097】

図3aは、ビーム方向に沿うレーザ12のビーム経路で見た、伸張レーザビーム焦線3bを形成するための形状につくられた自由非球表面を有する第1の光学素子が初めに配置されている、そのような光学ユニット20を示す。図示される事例において、この第1の光学素子は、ビーム方向に垂直に配置され、レーザビーム3に中心が合わせられた、5°。 50

の円錐角を有するアキシコン 20c である。アキシコンまたは円錐プリズムは、光軸に沿う線上に点源を形成する（または、レーザビームを円環形状に変換しさえする）、特殊な円錐面研磨レンズである。そのようなアキシコンの構造は基本的に当業者に知られており、この場合、円錐角は例えば 10° である。アキシコンの円錐尖端はビーム方向とは逆の方向を指す。アキシコン 20c からのビーム方向の離隔 z_1 において、第 2 の、本図では（湾曲面がアキシコンに向けられている）平凸レンズ 20d である、集束光学素子が配置される。本図では、アキシコン 20c で形成されたレーザ光がレンズ 20d の外縁領域上に円環状に入射するように、ほぼ 300 mm の離隔 z_1 が選ばれる。レンズ 20d は環状入射光を、ビーム出力側で、本図ではレンズ 20d からほぼ 20 mm の離隔 z_2 にある、本図では 1.5 mm の定められた長さの焦線 3b 上に集束する。レンズ 20d の実効焦点距離は、本図では、25 mm である。アキシコン 20c により円環変換されたレーザビームは、本図において、参照符号 S R で与えられる。

【0098】

図 3b は、図 3a にしたがう基板 2 の材料内の焦線 3b または誘起吸収 3c の形状を詳細に示す。2つの素子 20c、20d の特性、またこれらの位置決めも、本図において、ビーム方向において焦線 3b の長さ 1 が基板 2 の厚さ 10 に正確に対応するように、定められ、実施される。対応して、図 3b に示されるように、焦線 3b を基板 2 の 2 つの表面 4v 及び 4r の間に正確に配置するため、ビーム方向に沿う基板 2 の正確な位置決めが必要である。

【0099】

本発明にしたがえば、レーザレンズ系の特定の離隔に焦線が形成されれば、またレーザ光の大部分が所望焦線端まで集束されれば、有利である。これは、説明されるように、主として所望の帶上だけで円環状に照明されている集束素子 20d（レンズ）によって達成することができ、この結果、一方で、所望の開口数、したがって所望のスポット径が生成されるが、他方で、基本的に円環状スポットが形成されるから、所望の焦線 3b の後では、スポットの中心において非常に短い距離にかけて分散円の強度が失われる。したがって、本発明の意味において、クラック形成は基板の所望の深さにおける短い距離内で停止する。アキシコン 20c と集束レンズ 20d の組合せはこの要請を満たす。アキシコン 20c は 2 つの態様ではたらく。アキシコン 20c により、通常の円形レーザスポットが円環状で集束レンズ 20d に向けて送られ、アキシコン 20c の非球面性が、レンズの焦面における焦点の代わりに、焦面の外側に焦線が形成される、効果を有する。焦線 3b の長さ 1 はアキシコン上のビーム直径によって調節することができる。焦線に沿う開口数は、続いて、アキシコン - レンズ離隔 z_1 により、またアキシコンの円錐角により、調節することができる。このようにすれば、全レーザエネルギーを焦線に集中させることができる。

【0100】

本発明の意味において、（内部損傷域内の）クラック形成は基板の出光側から離れて停止すべきであり、したがって、環状照明は、一方で、レーザ光の大部分は所望の長さの焦線に集中したままであるからレーザパワーが可能な限り用いられ、他方で、円環状に照明された帯を別の光学機能によって調節された所望の収差とともに用いることで焦線に沿う一様スポット径を達成することができ、したがって本発明にしたがう焦線に沿う一様分離プロセスを達成できるという、利点をそのまま有し続ける。

【0101】

図 3a に示される平凸レンズの代わりに、集束メニスカスレンズまたはその他の一層強く補正された集束レンズ（非球面レンズ、多重レンズ）も用いることができる。

【0102】

別途に着色されていない（特に鉄含有量が少ない）ホウケイ酸ガラスまたはソーダ石灰ガラス 2 は、ほぼ 350 nm からほぼ 2.5 μm まで光学的に透明である。ガラスは一般に不良熱伝導体であり、この理由のため、数ナノ秒のレーザパルス幅では、事実上、焦線 3b からの実質的な熱拡散は全く生じない。それにもかかわらず、サブナノ秒パルスまたはピコ秒パルスを用いれば、（強度が実質的に高くなる）非線形効果により、所望の誘起

10

20

30

40

50

吸収を一層容易に達成できるから、さらに一層短いレーザパルス幅が有利である。

【0103】

本発明にしたがう平ガラスの分離のためには、例えば、以下のパラメータ：波長 1064 nm、10 ps のパルス幅、100 kHz のパルス繰返し周波数、（レーザの直後で測定して）50 Wまでの平均パワー、を有する市販のピコ秒レーザ 12 が適している。レーザビームは初め、（ピーク強度の 13 %において測定して）ほぼ 2 mm のビーム直径（すなわち、ガウス形ビーム束の $1/e^2$ 直径）を有し、（DIN / ISO 11146 にしたがって決定した）ビーム品質は少なくとも $M^2 < 1.2$ である。ビーム拡張レンズ系（Keppler による市販のビームテレスコープ）を用いることでビーム直径を、ほぼ 20 ~ 22 mmまで、10 倍に大きくすることができる。直径 9 mm のいわゆる円環ダイアフラム 20a を用いることで、円環状ビームが形成されるように、ビーム束の内側部分が遮断される。この円環状ビームで、焦点距離が 28 mm の平凸レンズ 20b（半径 13 mm の石英ガラスレンズ）が照射される。レンズ 20b の強い（所望の）球面収差により、本発明にしたがう焦線が形成される。10

【0104】

焦線の理論直径 はビーム軸に沿って変化する。この理由のため、基板厚 10 が、この場合、約 1 mm より薄ければ（一般にディスプレイガラスのための厚さは 0.5 mm から 0.7 mm）、一様クラック面の形成に有利である。ほぼ 2 μm のスポット径及び 5 μm のスポット - スポット間隔を用い、0.5 m/s の速度を生じさせ、これにより、基板 2 上で輪郭線 5 に沿って焦線を誘導することができる（図 4 を参照されたい）。基板上で（集束線 7 に続いて測定した）25 W の平均パワーにより、100 kHz のパルストレイン周波数から 250 μJ のパルスエネルギーが得られ、これは 2 ~ 5 のサブパルスの構造化パルス（間隔が 20 ns でしかない個々のパルスの高速トレイン、いわゆるバーストパルス）において実施することもできる。20

【0105】

無強化ガラスは基本的に内部応力を有しておらず、この理由のため、未分離ブリッジによって未だ相互に固定及び連結されている破壊域は、初めは未だ、外部効果無しにパーティを合わせて保持している。しかし、熱応力が導入されると、輪郭形状 1 は、外部から力を加えずに、最終的に基板 2 から完全に分離される。この目的のため、平均パワーが 250 W までの CO₂ レーザがほぼ 1 mm のスポット径まで集束され、このスポットが、輪郭線 5 及びクラック線 6 にかけて、またおそらくは応力解放線 11 にもかけて、0.5 m/s までの速度で誘導される（図 5a ~ 5d を参照されたい）。導入されるレーザエネルギー（それぞれの線について 5 J/cm）による局所熱応力が輪郭形状 1 を完全に分離する。30

【0106】

より厚いガラスの分離については、その過程（誘起吸収及び熱衝撃による破壊域の形成）に対する闘強度が、より長い焦線長 1 にわたって達成されなければならないことは当然である。したがって、続いて、より高いパルスエネルギー及びより高い平均パワーが必要になる。上述したレンズ系構成及び（レンズ系による損失後の）基板上で 39 W の最大利用可能レーザパワーを用いて、ほぼ 3 mm 厚のガラスの分離が達成される。一方で、円環ダイアフラム 20a が取り外され、他方で、より長い焦線が基板に形成されるように、基板とのレンズ 20b の離隔が補正される（公称焦点間隔が所定の方向で大きくなる）。40

【0107】

次に、強化ガラスを分離するための別の実施形態を説明する。

【0108】

ナトリウム含有ガラスが、溶融カリウム塩浴内への浸漬によるガラス表面でナトリウムをカリウムに交換することで強化される。これにより、表面に 5 ~ 50 μm 厚の層をなしてかなりの内部応力（圧縮応力）が生じ、したがって安定度を高める。

【0109】

基本的に、強化ガラス分離中のプロセスパラメータは同等の寸法及び組成の無強化ガラスについてのプロセスパラメータと同様である。しかし、強化ガラスは内部応力の結果と50

して及び、事実上、レーザ誘起破面 5 に沿っておこるのではなく材料に延び込む望ましくないクラック成長の結果として、極めて容易に破碎し得る。この理由のため、特定の強化ガラスの分離に成功するためのパラメータフィールドは一層厳格に指定される。特に平均レーザパワー及びこれにともなう切断速度は非常に正確に、事実上、強化層の厚さの関数として、維持されなければならない。強化層厚が $4.0 \mu\text{m}$ で総厚が 0.7 mm のガラスに対し、上述した構成により、例えば以下のパラメータ： 14 W の平均パワーを用い、 100 kHz のパルストレイン周波数において、したがって $10 \mu\text{m}$ のスポット間隔において、 1 m/s の切断速度が得られる。さらに、そのようなガラスについての工程シーケンス（a）から（c）（好ましくは（d）を含む）は、残余基板 2 の望ましくないクラック及び破壊を防止するため、特に重要である。

10

【0110】

非常に薄い ($< 100 \mu\text{m}$) 強化ガラスは主として強化された材料からなる。すなわち、前面及び背面はそれぞれ、例えば、 $30 \mu\text{m}$ 厚のナトリウム欠乏層であり、したがって内部の $40 \mu\text{m}$ だけが強化されていない。この材料は、表面の一方が損傷を受けると、極めて容易にかつ完全に破碎する。そのような強化ガラスフィルムは従来技術ではこれまで加工できなかったが、提示される方法を用いることで加工が可能になる。

【0111】

本発明の方法にしたがうこの材料の分離は、a) 焦線の直径が非常に小さければ、例えば $1 \mu\text{m}$ より小さければ、b) スポット - スポット間隔が小さければ、例えば $1 \mu\text{m}$ と $2 \mu\text{m}$ の間であれば、及び c) クラック成長がレーザ過程に先行することができないように分離速度が十分に速ければ（レーザパルス繰返し周波数が高く、例えば $0.2/\text{秒} \sim 0.5/\text{秒}$ において 200 kHz であれば）、成功する。

20

【0112】

図 4 は、本発明にしたがい、工程 (a) によって加工されたガラスディスクの表面の顕微鏡像を示す。個々の焦線、すなわち本図において参照数字 5-1, 5-2, ... が与えられている（図示される表面に垂直に基板の深さ内に延び込む）焦線 5 に沿う誘起吸収の伸張領域 3c が、本発明にしたがう別の工程によって実施される基板パーティの分離のためのクラック形成による分離面の形成のため、基板の表面 4v にわたりレーザビームがそれに沿って誘導された、線 5 に沿って連結されている。非常に多くの誘起吸収の離散伸張領域 5-1, 5-2, ... が容易に見てとれ、図示される事例において、レーザのパルス繰返し周波数は、直に隣接する領域 5-1, 5-2, ... の平均間隔 a と、レーザビーム焦線の平均直径 の比 $a/$ がほぼ 2.0 であるように、表面 4v にかけてレーザビームを移動させるための送り速度に対して調整されている。

30

【0113】

図 5 a ~ 5 d は、例として、 0.7 mm 厚ガラス基板 2 の本発明にしたがう加工を、基板平面に沿う平面図で示す。

【0114】

図 5 a に示されるように、輪郭形状決定工程 (a) において、波長 $1064 \mu\text{m}$ の Nd : YAG レーザ（レーザ 12 は本図に示されていない）のレーザビーム 3 が基板平面上に垂直に照射され、作製されるべき輪郭形状 1 を描く輪郭線 5 に沿って誘導される。作製されるべき輪郭形状 1 は、本図において、基板 2 からの除去が予定されている円形の内部輪郭形状である。したがって、加工の目的は、基板 2 に正確な円形穴を製造することである。残余基板領域 2 が所望の生産製品を表すから、方法工程 (a) ~ (d) 中に、円形内部輪郭形状 1 またはその基板材料が破壊され得る。

40

【0115】

図 5 a に示されるように、輪郭線 5 に沿うレーザビーム 3 によるレーザ 12 のパルス動作により、非常に多くの離散内部損傷域（ビーム方向で見て延び込む領域に沿う、レーザによって形成されるレーザビーム焦線の誘起吸収領域）5-1, 5-2, ... が基板材料につくられる。したがって、離散内部損傷域は図 4 について説明されたようにつくられる（これは以降で同じく説明される、工程 (d) 及び (b) にも適用される）。

50

【 0 1 1 6 】

円周 5 の全体にわたってそのような内部損傷域 5 - 1 , 5 - 2 , ... がつくられた後には分離されるべき内部輪郭形状 1 に対応する破壊線が事実上形成されているが、既述したように、内部輪郭形状 1 の材料は残余基板領域 2 の材料から未だ完全には分離されていない。別の工程 (b) ~ (d) が、次に、残余基板材料の（クラック、フレーキング等のような）いかなる損傷も回避されるように、基板 2 から内部輪郭形状 1 の材料を完全に分離するためにはたらく。

【 0 1 1 7 】

これを達成するため、初めに（図 5 aにおいて既に説明された特徴が同等の参照数字で与えられている；これは次いで図 5 c 及び 5 d にも適用される）図 5 b を参照すれば、工程 (a) に続く応力解放工程 (d) において、（本図では輪郭線 5 から一定の間隔で）輪郭線 5 の経路を近似している応力解放線領域 1 1 が、輪郭線 5 の内側に輪郭線 5 から隔てられて、すなわち内部輪郭形状 1 の材料に、同心態様で導入される。本図では同様に円形である応力解放線領域 1 1 の導入は、領域 1 1 の円周に完全に沿って、非常に多くの離散内部損傷域 1 1 - 1 , 1 1 - 2 , ... がそれぞれに基板材料につくられるように、輪郭線 5 についてレーザパラメータが同じレーザ 1 2 によって実施される。これらの内部損傷域の導入も図 4 に説明されるように実施される。

10

【 0 1 1 8 】

工程 (d) は応力低減を生じさせるためにはたらく。すなわち、輪郭線の導入中に誘起された基板材料内の潜在応力が、輪郭半径が小さく、強く強化されたガラスの場合には、そうでなければ、基板全体の裂けを生じさせ得るであろう。この裂けは、工程 (d) における追加の切断によって防止することができるが、工程 (d) は絶対に必要というわけではない。この工程は形状として螺旋を有することができるが、輪郭線を近似する「円内円」のような形状とすることもできる。この切断の目的は、後に残る材料を可能な限り少なくし、よって自動分離を可能にするかまたは促進するために、目標輪郭形状に対する応力解放線領域 1 1 の離隔を最小限に抑えることである。例えば、輪郭線 5 に対する応力解放線領域 1 1 の最大近似のための値は、本図において、 $20 \mu m \sim 50 \mu m$ である。

20

【 0 1 1 9 】

図 5 c は、本発明にしたがい、応力解放工程 (d) 後に実施されるクラック決定工程 (b) を示す。この工程において、レーザ 1 2 のレーザビーム 3 は、工程 (a) 及び (d) と全く同様に、本図においても、非常に多くの離散内部損傷域 6 - 1 , 6 - 2 , ... が図 4 に示されるように、内部輪郭形状 1 に刻み込まれた構造 6 に沿って導入されるように、基板表面または内部輪郭形状表面にかけて誘導される。

30

【 0 1 2 0 】

図 5 c に示されるように、輪郭線 5 上の場所に始まり、輪郭線 5 からそれぞれ本図では 25° の角度 で輪郭線 5 から離れる方向に進んで、分離されるべき輪郭形状 1 に延び込む、複数本の直線クラック線領域 6 a , 6 b , ... が、さらに、つくれられている。正確に 2 本のクラック線領域（例えばクラック線領域 6 a 及び 6 b ）のそれぞれが、輪郭線 5 上の同じ一箇所に始まり、それぞれ角度 となす、相反する方向にそれぞれのクラック線領域が先に導入された応力解放線領域 1 1 と切り交わるまで内部輪郭形状 1 に延び込む。角度 は本図において、その箇所から基本的に相反する方向に内部輪郭形状 1 の材料に延び込む、2 本のクラック線領域（例えば、領域 6 a 及び 6 b 、また領域 6 c 及び 6 d ）が始まる場所における輪郭線 5 の接線と、この箇所におけるそれぞれのクラック線領域の接線（または、クラック線領域はその接線と一致するから、クラック線領域自体）の間の角度である。

40

【 0 1 2 1 】

上述した態様においては、輪郭線 5 の全周に沿って、輪郭線 5 上の同じ一箇所に始まり、内部輪郭形状 1 の表面領域にわたって輪郭線 5 から離れる方向に延び、輪郭線と応力解放線 1 1 の間に配され、応力解放線領域 1 1 と切り交わり、応力解放線領域 1 1 内にある内部輪郭形状 1 の領域に延び込む、正確に 2 本のクラック線領域をなす複数本の V 字形ク

50

ラック線 6 V がつくられている。同一の V 字形クラック線 6 V のいずれの脚も、法線に対称に見て、それぞれのクラック線の先端の箇所において輪郭線 5 の接線に沿い、この接線に向けて延びる、すなわち、法線の両側で、内部輪郭形状 1 に延び込む。例えば $\gamma = 10^\circ$ のより小さな角 γ が、または例えば $\gamma = 35^\circ$ のさらに大きな角度でさえも、線 5 及び 11 の円周によって、またこれら 2 つの円線の相互の間隔にもよって、可能である。

【0122】

クラック線領域 6 a, 6 b, ... は、好ましいとしても、輪郭線 5 の 1 カ所で直接に始まる必要は全く無く、内部輪郭形状材料 1 内にある、輪郭線 5 から若干離れた、箇所で始まることができ、応力解放線領域 11 をこえて応力解放線領域 11 内にある材料領域まで誘導され得る（したがって、一方で、輪郭線 5 を含むそれぞれのクラック線領域の仮想的に連続する切断線と、他方で、輪郭線 5 の接線との、間の角 γ が計算される）。

10

【0123】

上述した態様において、円形線 5, 11 の周に沿って 5 本から 10 本の V 字形クラック線がつくられることが好ましい。

【0124】

よって、クラック線 6 V またはそのクラック線領域 6 a, 6 b, ... は、材料除去レーザ工程 (c) 中及び / または材料除去レーザ工程 (c) 後の分離挙動が改善されるように配置及び配位されることが好ましい。材料除去レーザ工程 (c) 後に残る材料リングは、円環の個々のセグメントが一層容易に分離され得るように、明確にセグメント化される。材料除去レーザ工程 (c) 後の部分セグメントがそれぞれ自体によって可能な限り内向きに押されるように、V カット内に内向き応力を蓄積しようと試みられる。しかし、本発明にしたがう方法はこれらがなくとも機能できるから、これらの V カットは絶対に必要というわけではない。

20

【0125】

したがって、2 つの構造 5 と 11 の間の円環領域の材料に V 字形クラック線によって刻み込まれたリング材料領域（本図では、同一の V 字形クラック線の 2 本の脚の間の、ほぼ三角形の領域）のいくつかは（それらが内部損傷域 6-1, 6-2, ... によって既に完全に分離されていれば）、隣接するリング材料領域と相互固定されずに、内部輪郭形状 1 に向けて動かされ得るであろう。

【0126】

30

最後に、図 5 d はクラック決定工程 (d) 後の材料除去工程 (c) を示す（図 5 d においては、明解さの理由のため、工程 (b) において導入された V 字形クラックの内の 3 本だけが示されている）。

【0127】

工程 (c) において、本図には示されていない、レーザ 14 で生成された材料除去レーザビーム 7 が基板表面に向けられる。図 4 について説明したような工程 (a)、(b)、(d) における非常に多くの内部損傷域の形成に比較して、材料除去レーザビーム 7 のパラメータはレーザビーム 3 と以下のように異なる。材料除去をともなう点焦点または点損傷が与えられる。波長は 300 nm と 11000 nm の間であり、特に 532 nm または 10600 nm が適する。パルス幅は、10 ps, 20 ns, さらには 3000 μs である。

40

【0128】

図 5 d に示されるように、応力解放線領域 11 内のレーザビーム 7 により、本図では同様に円環状に、（本図ではいくつかの区画だけが示される）輪郭線 5 または応力解放線 11 の全円周に沿って、延びる除去線 9 が内部輪郭形状 1 の材料に刻み込まれる。（内部輪郭形状 1 の中心に向かって見て）径方向において、応力解放線 11 からの除去線 9 の離隔は、本図において、外側に配された輪郭線 5 からの応力解放線 11 の離隔のほぼ 25 % である。輪郭線 5 からの除去線 9 の離隔 8 は、本図において、輪郭線 5 からの応力解放線 11 の離隔の 1.25 倍である。したがって、除去線 9 は、（内部輪郭形状 1 の中心から見て）クラック線領域 6 a, 6 b, ... の内側の端を切断するように導入される。

50

【 0 1 2 9 】

輪郭線 5 または応力解放線 1 1 の全円周に沿う除去線の導入後、内部輪郭形状 1 の中心で除去線 9 の内側にある材料領域は、除去線に沿い、基板材料が基板厚さ 1 0 全体にわたって除去されるから（図 9 を参照されたい）、基板から分離される。したがって分離されるべき内部離隔形状材料 1 の残余領域だけが除去線 9 と輪郭線 5 の間に配されている。

【 0 1 3 0 】

一方で、除去線 9 の縁端と、他方で、輪郭線 5 の間では、それぞれの V 字形クラック線の 2 本の脚の間に、事実上（本図では未だ分離されずに残っている輪郭形状として描かれ、参照数字 1 r を有する）隣接する環領域の材料と未だ相互固定されているが、残余基板 2 の材料をおそらくは損傷させる応力を導入せずに内向きに取り外され得る、（参照数字 1 ' で示される）ほぼ三角形の環領域がつくられる。10

【 0 1 3 1 】

ここには示されていない（工程（ a ）～（ d ）の後に実施される）後処理工程において、残る（応力開放領域 1 ' も含む）不要な輪郭形状残余領域 1 r が、基板平面に直角に可動な機械式スタンプを用いて残余基板 2 から分離される。

【 0 1 3 2 】

図 6 は図 5 a の分離されるべき内部輪郭形状 1 の基板材料に応力解放線 1 1 を導入する別の形態を示す。単一の円周応力解放線領域の代わりに、径方向に外向きに見て、内部輪郭形状 1 の中心から誘導され、内部輪郭形状 1 内で巻かれて、本図においては、3.5 回廻る、輪郭線 5 の経路を近似する応力解放螺旋 1 1 S を、分離されるべき内部輪郭形状 1 の材料に刻み込むことができる。20

【 0 1 3 3 】

図 7 に示されるように、本発明は基板 2 からの閉じた内部輪郭形状の分離だけでなく、その形状が、基板 2 の外部輪郭形状が従来技術で既知の方法では残余基板材料 2 内に応力クラックを誘起せずに形成することができないような形状（例えば図 7 の輪郭線 5 のありつぎ形領域を参照されたい）である、複雑な形の外部輪郭形状 1 の分離にも、用いることができる。本図において、一方で、輪郭線 5 と、他方で、除去線 9 との間に配された V 字形クラック線 6 V - 1 , 6 V - 2 , ... の対向して配された 2 本の脚の角度 は 1 0 ° である。図 7 において、同等であるかまたは対応する要素は別途に図 5 a ~ 5 b に示される参照数字と同等の参照数字で示される。基板平面に垂直な基板厚は参照数字 1 0 で表される。入射レーザ光 3 , 7 に向けて配位された基板表面（基板前面）は参照数字 4 v で、反対側に配された基板表面（基板背面）は参照数字 4 r で表される。30

【 0 1 3 4 】

図 7 に示されるような輪郭線 5 の経路を近似する応力解放線領域 1 1 の導入は、したがって、絶対に必要というわけではない。

【 0 1 3 5 】

したがって、本発明は特にアンダーカットを含む輪郭形状の分離にも用いることができる。

【 0 1 3 6 】

図 8 は、それぞれが基本的に、分離されるべき輪郭形状 1 の輪郭線 5 に始まり、輪郭形状 1 の材料に延びる、輪郭線 5 の経路に沿って異なるクラック線領域 6 a , 6 b , ... がどのように形成され得るかのいくつかの異なる可能性を示す。図 8 a は V 字形の標準クラック線を示す（図 5 c も参照されたい）。図 8 b は、隣接する V 字形クラック線がそれぞれ互いに向て配位された脚において交差している、輪郭線 5 の経路に沿う V 字形の複数本のクラック線を示す。図 8 c は、それぞれの V 字形クラック線の一方の脚だけの導入による、開クラック線を示す。40

【 0 1 3 7 】

図 9 は、被着材料 1 8 （本図ではポリオキシメチレン）の追加により、除去線 9 の導入後基板 2 からまたは輪郭形状残余領域 1 r から完全に分離された（おそらくは基板 2 に望ましくなくも未だ密着している輪郭形状残余領域 1 r の部分も含む）、分離されるべき内50

部輪郭形状 1 の内向きに配された材料部分がどのように放出され得るかを示す。図 9 において（また図 10 においても）、同等の参照数字はやはりこれらの参照数字の下に既に説明した本発明の要素を指す。

【 0 1 3 8 】

図 9 に示されるように、材料除去レーザビーム 7 の、レーザビーム 3 に比較して大きい、ビームパワーが、（第 2 の）ビーム誘導光学ユニット 21（図 10 を参照されたい）により、基板 2 上に結合される。基板 2 は、分離されるべき内部輪郭形状 1 の下の領域において、基板背面 4 r に気密キャビティ 17 が構成されるように、クランプ具 16（例えば、いわゆるチャック）に取り付けられる。

【 0 1 3 9 】

（「上」は本図において入射レーザビームに向けて配位された基板前面 4 v である）。被着材料 18 がこのキャビティ 17 に前もって導入され、次いで、図示される材料除去工程（c）の開始時に、光学ユニット 21 を用い、基板 2 を通してレーザビーム 7 をキャビティ 17 内に集束させることで、蒸発させられる（図 9 a）。レーザビーム誘起蒸発の結果、蒸発した被着材料が基板背面 4 r のキャビティ 17 内にある領域上に被着し、分離されるべき内部輪郭形状 1 に対応する基板背面 4 r の少なくとも一表面の上に、レーザビーム 7 の基板材料内への結合を向上させる結合層 18' を形成する（図 9 b）。背面 4 r 上の被着のための材料 18 の蒸発はほぼ...秒で行われる。基板 2 の材料はレーザ波長 に對して透明であるが、層 18' の材料は に對して不透明であるから、基板材料へのビーム 7 の結合が向上する。

【 0 1 4 0 】

続いて、レーザ光 7 が光学ユニット 21 により基板を通して背面 4 r 上に集束される（図 9 b を参照されたい）。除去線 9 を定める形状寸法に対応して、レーザ光 7 の焦点 15 は、全基板厚 10 にかけて見て、除去線 9 に沿って基板材料を連続して除去するためまたは導入される光レーザエネルギーの結果として基板材料を蒸発させるため、基板背面 4 r から基板前面 4 v に向けて連続的に線 9 に沿うビーム 7 の複数の経路によって誘導される。背面 4 r から前面 4 v まで漸次移動する焦点 15 による除去線 9 の輪郭に沿う多数回（例えば 15 回）の（本図では簡単のため、キャビティ 17 の上の中心における 1 回だけが示されている）経路誘導後、最終的に、除去線 9 の内側にある内部輪郭形状 1 の材料が分離され、キャビティ 17 内の高められている蒸気圧によって上方に放出される。キャビティ 17 内の十分に高い蒸気圧により、不要な輪郭形状残余領域 1 r の分離もこれにより補助され得る（図 5 d を参照されたい）。

【 0 1 4 1 】

図 10 は、本発明にしたがう方法を実施するための、本発明にしたがう装置を示し、装置は共通のレーザヘッドに構成されたビーム生成 / ビーム形成ユニット 19 を備える。ユニット 19 は（低レーザ強度で離散内部損傷域を形成するレーザビーム 3 を生成するための）レーザ 12 及び（高強度の材料除去レーザビーム 7 を生成するための）レーザ 14 の 2 台のレーザを有し、ビーム偏向のための、F レンズに続いて結合されたガルバノメータスキャナをそれぞれが有する 2 台のビーム誘導光学ユニット 20 及び 21 も有する（そのような光学ユニットの構成は当業者には既知である）。ユニット 20 の F レンズ及びガルバノメータスキャナによって集束された、レーザ 12 のレーザ光 3 はその後基板 2 の表面に向けて誘導され、輪郭線 5 をつくるため、ガルバノメータスキャナにより適切に偏向される。対応して、ユニット 21 の F レンズ及びガルバノメータスキャナによって集束された、レーザ 14 のレーザ光 7 は基板 2 の表面上に結像され、除去線 9 をつくるため、ユニット 21 のガルバノメータスキャナによって偏向される。

【 0 1 4 2 】

あるいは、移動レンズ系の代わりに静止レンズ系を用いることもできる（したがって基板が移動される）。

【 0 1 4 3 】

本図では、適切なメモリ、プログラム等を有する P C 2 2 の形態に構成された、中央制

10

20

30

40

50

御ユニットが、双方向データ／制御線 23 を介して、ユニット 19 によるビーム生成、ビーム集束及びビーム偏向を制御する。

【0144】

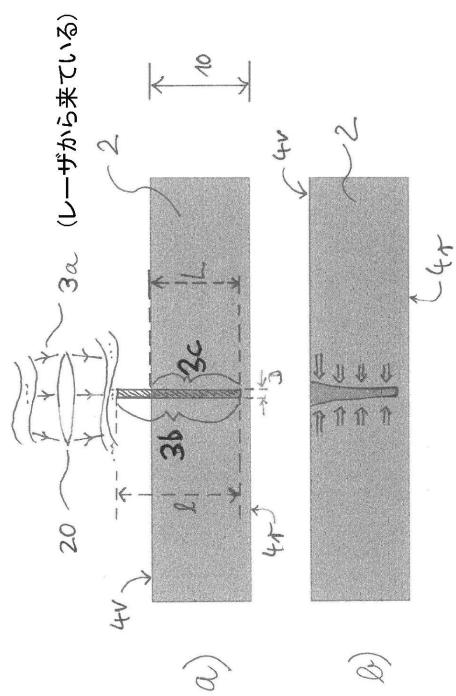
2本の異なるレーザビーム 3 及び 7 を生成するためのビーム誘導レンズ系 20 及び 21 の違いは以下の通りである。レーザビーム 7 は、ビーム 3 と比較して、例えば、点焦点の形成に向けられる補正 F レンズにより、表面に向けて誘導される。ビーム 7 に対するレンズの焦点距離はビーム 3 に対するよりかなり長く、例えば 40mm に比較して 120mm である。

【符号の説明】

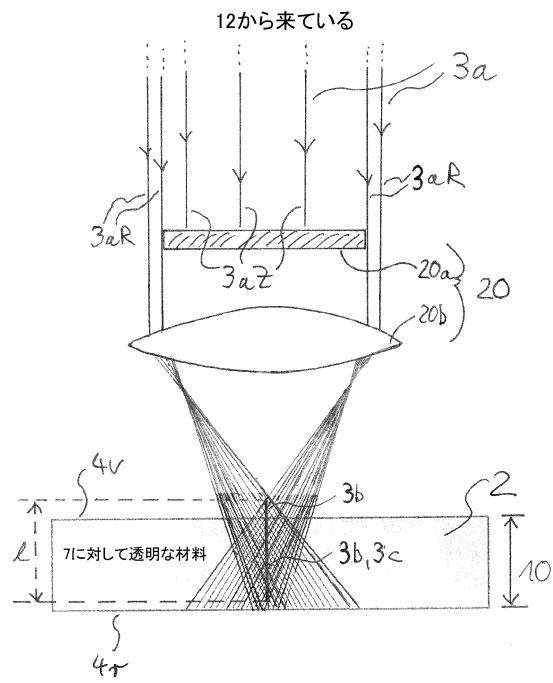
【0145】

1	輪郭形状	10
2	基板	
3	レーザビーム	
3 a	レーザ光	
3 b	ビーム焦線	
3 c	伸張領域	
5	輪郭線	
6	クラック線	
7	集束線／材料除去レーザビーム	
9	除去線	20
10	基板厚さ	
11	応力解放線領域	
11 S	応力解放螺旋	
12 , 14	レーザ	
15	焦点	
16	クランプ具	
17	気密キャビティ	
18	被着材料	
19	ビーム生成／ビーム整形ユニット	
20	光学系（レーザレンズ系）	30
20 a	ダイアフラム	
20 b	凸レンズ	
20 c	アキシコン	
21	ビーム誘導光学ユニット	
22	中央制御ユニット（P C）	
23	双方向データ／制御線	

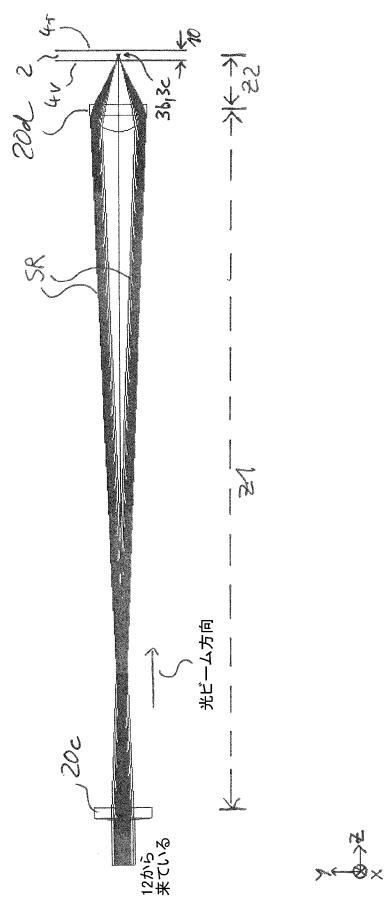
【図1】



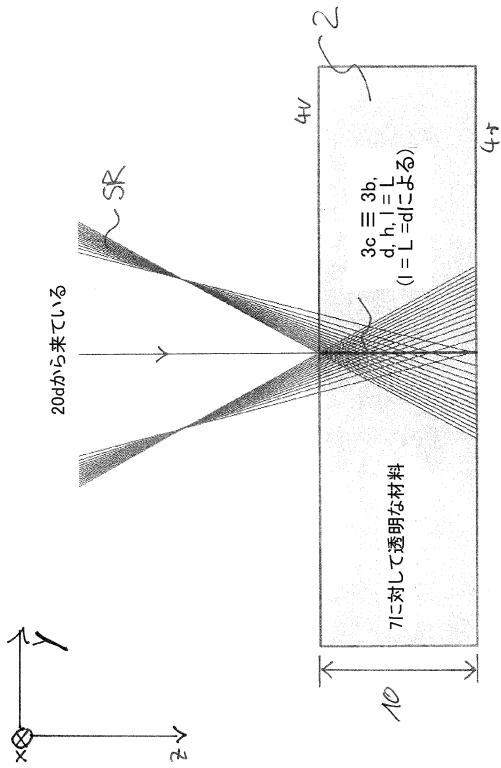
【図2】



【図3a】



【図3b】



【図4】

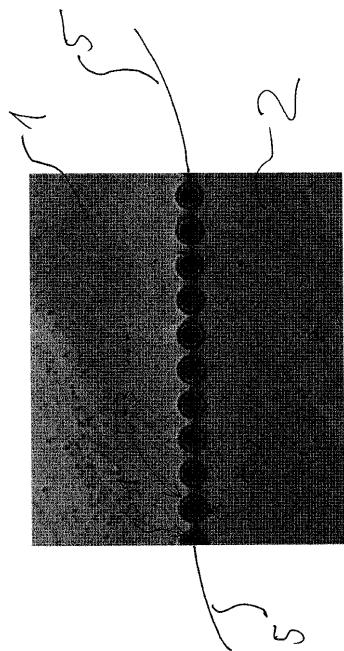
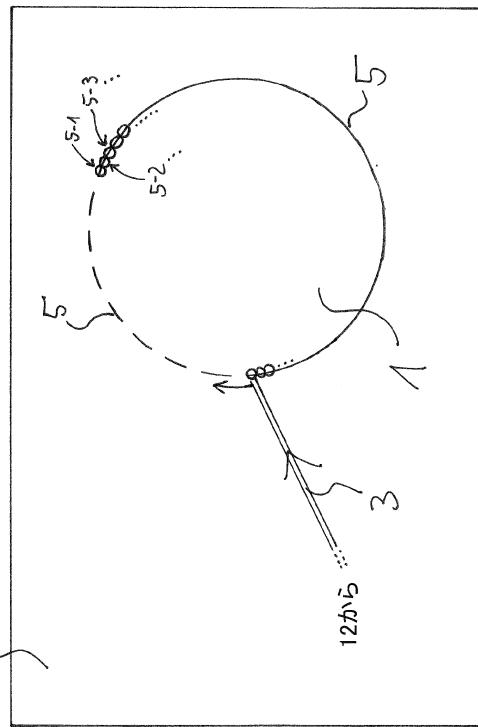


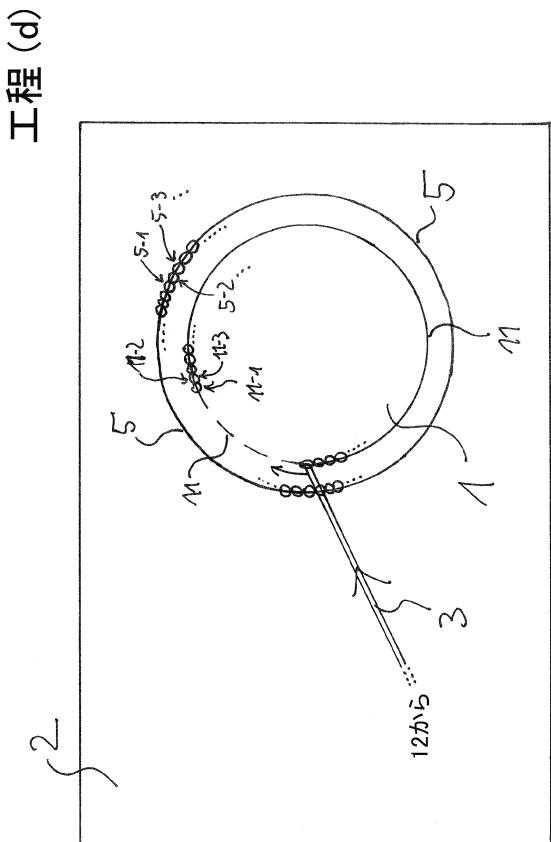
Fig. 4

【図5 a】

工程(a)

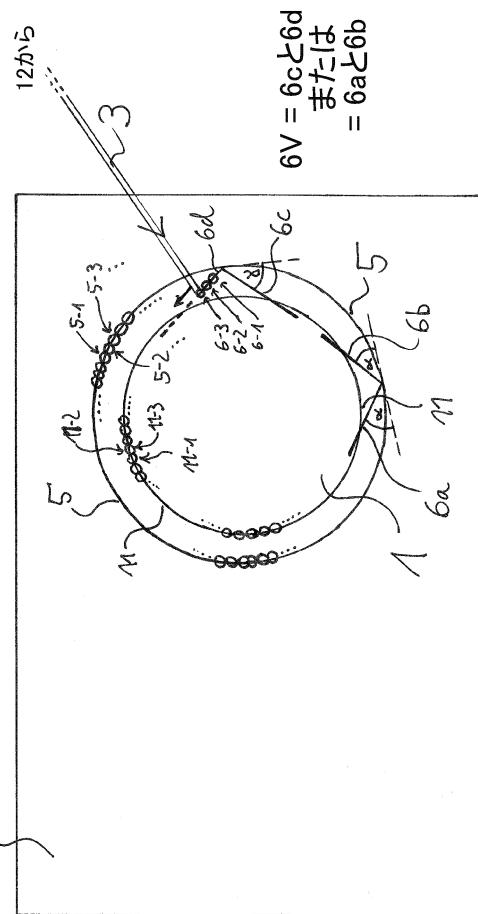


【図5 b】

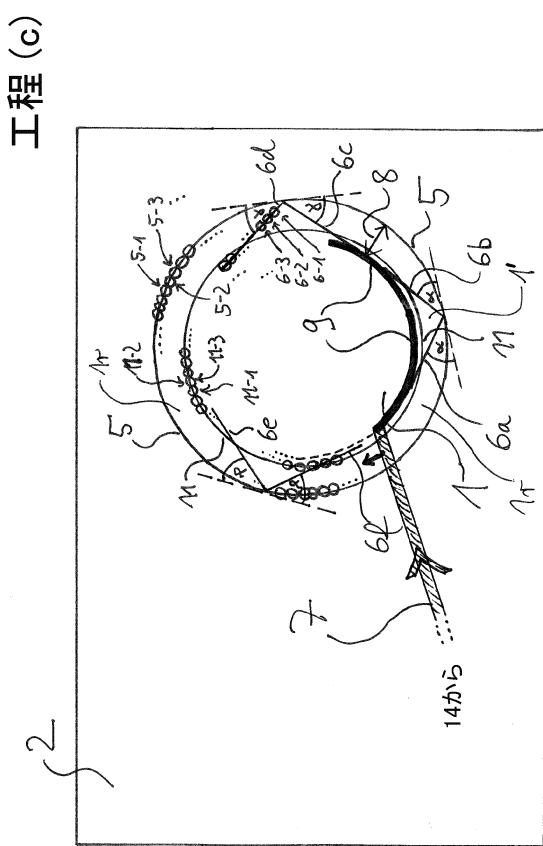


【図5 c】

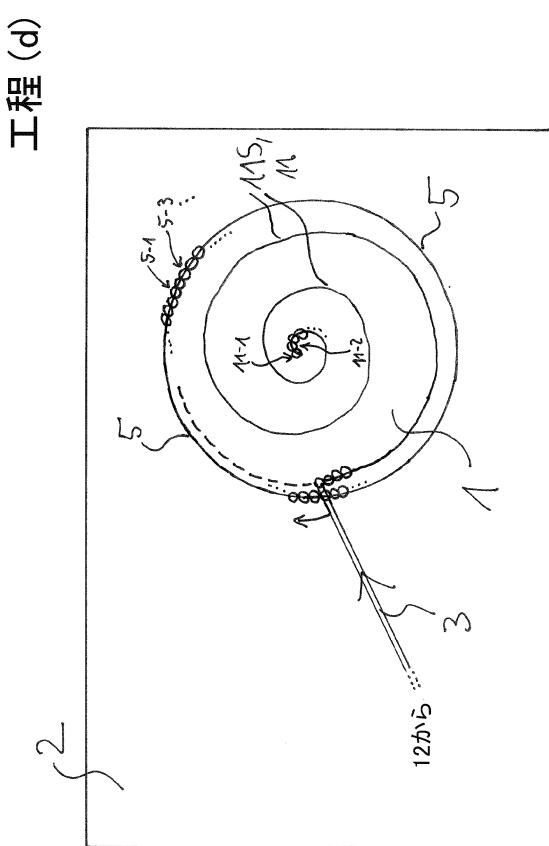
工程(b)



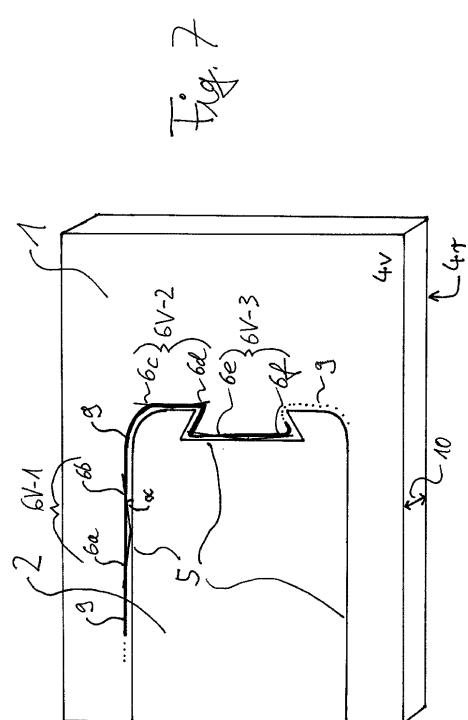
【図5d】



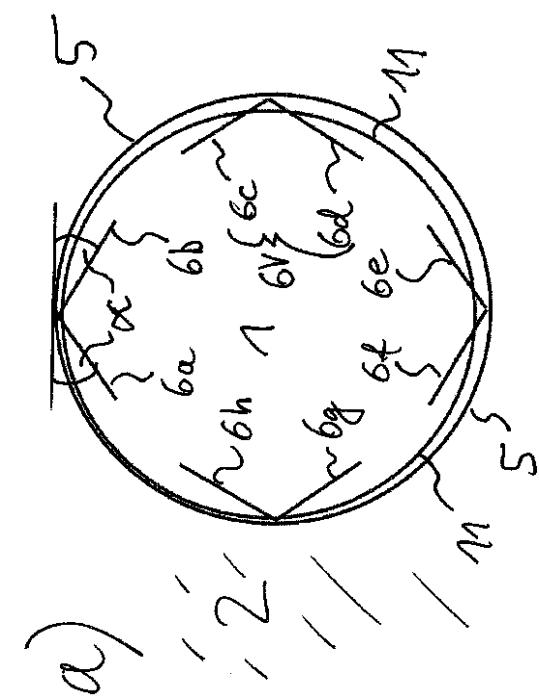
【 図 6 】



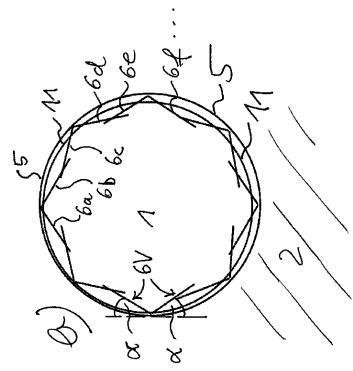
【図7】



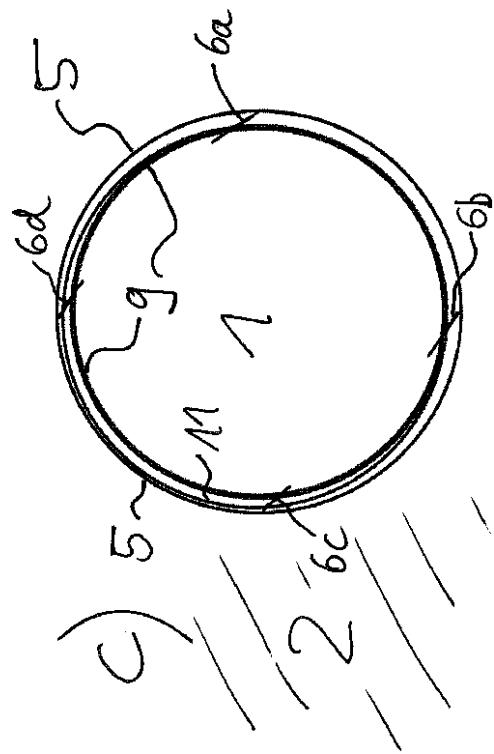
【図 8 a)】



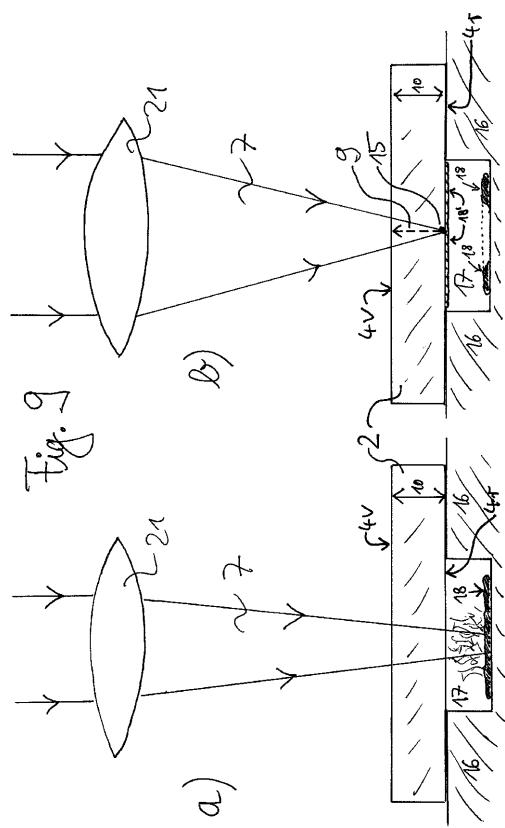
【図 8 b)】



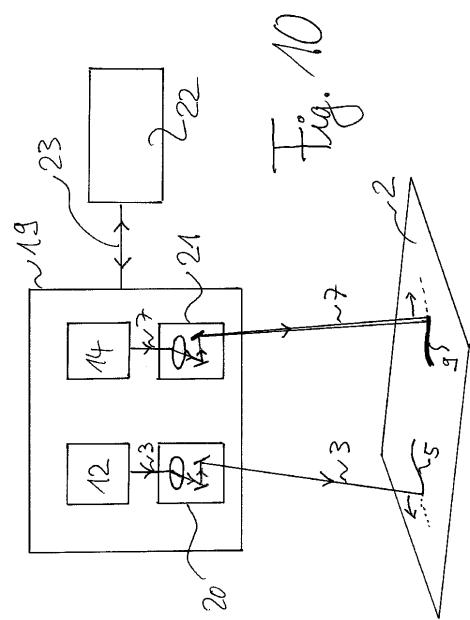
【図 8 c)】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

審査官 竹下 和志

(56)参考文献 特開2010-17990(JP,A)
特開2009-269057(JP,A)
特開2009-84089(JP,A)
特開2011-11212(JP,A)
特開昭60-61193(JP,A)
特開2005-179154(JP,A)
特開2014-1102(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B23K 26/00 - 26/70