

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2017-510535

(P2017-510535A)

(43) 公表日 平成29年4月13日(2017.4.13)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
<b>C03B 33/09</b> (2006.01)	C03B 33/09	3 C04 9
<b>C03C 19/00</b> (2006.01)	C03C 19/00	Z 4 E 1 6 8
<b>B23K 26/53</b> (2014.01)	B23K 26/53	4 G01 5
<b>B23K 26/04</b> (2014.01)	B23K 26/04	4 G05 9
<b>B24B 9/10</b> (2006.01)	B24B 9/10	D

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 49 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2016-548296 (P2016-548296)	(71) 出願人	397068274 コーニング インコーポレイテッド アメリカ合衆国 ニューヨーク州 148 31 コーニング リヴァーフロント ブ ラザ 1
(86) (22) 出願日	平成27年1月27日 (2015. 1. 27)	(74) 代理人	100073184 弁理士 柳田 征史
(85) 翻訳文提出日	平成28年9月20日 (2016. 9. 20)	(74) 代理人	100090468 弁理士 佐久間 剛
(86) 國際出願番号	PCT/US2015/013026	(72) 発明者	バンカイティス, ジョナス アメリカ合衆国 ニューヨーク州 148 45 ホースヘッズ バリントン ロード エヌ 121
(87) 國際公開番号	W02015/113026		
(87) 國際公開日	平成27年7月30日 (2015. 7. 30)		
(31) 優先権主張番号	61/932,030		
(32) 優先日	平成26年1月27日 (2014. 1. 27)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		
(31) 優先権主張番号	62/022,885		
(32) 優先日	平成26年7月10日 (2014. 7. 10)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		
(31) 優先権主張番号	14/530,410		
(32) 優先日	平成26年10月31日 (2014. 10. 31)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

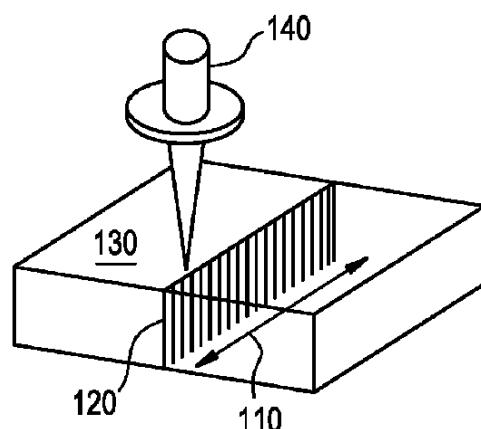
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザ切断済みガラスを機械的に加工することによる縁部面取り

## (57) 【要約】

レーザを用いて、任意の形状のガラス基板の縁部を面取り及び/又は斜角形成するプロセスを説明する。ガラス基板上に面取りを形成するための2つの一般的な方法に、超短パルスレーザを利用して、縁部を所望の面取り形状に切断するステップと、これに続く、適合性研磨ホイールを用いた機械的研磨ステップとを伴う第1の方法がある。

FIG. 1A



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

加工物を加工する方法において、以下のステップ：

(i) ビーム伝播方向に沿って見てレーザビーム焦線にパルスレーザビームを集束させるステップ；

(ii) 前記レーザビーム焦線を前記加工物に向かって、前記加工物への第1の入射角で配向するステップであって、前記第1の角度は前記加工物の縁部と交差し、前記レーザビーム焦線は前記加工物内で誘起吸収を生成し、前記誘起吸収は前記加工物内の前記レーザビーム焦線に沿って欠陥線を形成する、ステップ；

(iii) 前記加工物及び前記レーザビームを互いに対しても並進移動させることによって、レーザが前記加工物内において前記第1の角度で、第1の平面に沿って、各々の直径が 5  $\mu$ m 以下である複数の前記欠陥線を掘削するステップ；

(iv) 前記平面に沿って前記加工物を分離させ、少なくとも1つの切断表面を有するレーザ切断済み加工物を形成するステップ；並びに

(v) 体積弾性率が 0.1 ~ 5 GPa である研磨ホイールによって前記レーザ切断済み加工物の前記切断表面を研磨することによって、前記加工物を加工するステップを有してなる、方法。

## 【請求項 2】

前記レーザビーム焦線を前記材料に向かって、前記材料への第2の入射角において配向するステップであって、前記レーザビーム焦線は前記材料内で誘起吸収を生成し、前記誘起吸収は前記材料内の前記レーザビーム焦線に沿って欠陥線を形成する、ステップ；

前記材料及び前記レーザビームを互いに対しても並進移動させることによって、前記レーザが前記材料内において前記第2の角度で、第2の平面に沿って、各々の直径が 5  $\mu$ m 以下である複数の前記欠陥線を掘削するステップ

を更に含み、

前記分離させるステップは、前記第1の平面及び前記第2の平面に沿って前記材料を分離させ、前記レーザ切断済み材料を形成することによって実施される、請求項1に記載の方法。

## 【請求項 3】

ガラス材料をレーザ加工する方法において、以下のステップ：

ビーム伝播方向に沿って見てレーザビーム焦線にパルスレーザビームを集束させるステップ；並びに

前記材料内の N 個の平面それぞれに関して：

前記レーザビーム焦線を材料に向かって、前記材料への対応する入射角で配向するステップであって、前記レーザビーム焦線は前記材料内で誘起吸収を生成し、前記誘起吸収は前記材料内の前記レーザビーム焦線に沿って欠陥線を形成する、ステップ；

前記材料及び前記レーザビームを互いに対しても並進移動させることによって、レーザが前記 N 個の平面のうちの対応する平面に沿って、各々の直径が 5  $\mu$ m 以下である複数の前記欠陥線を掘削するステップ；

前記加工物にイオン交換プロセスを適用することによって、前記 N 個の平面のうちの少なくとも1つに沿って前記加工物を分離させ、レーザ切断表面を有するレーザ切断済み加工物を形成するステップ；並びに

体積弾性率が 0.1 ~ 5 GPa である研磨ホイールによって前記レーザ切断済み加工物の前記レーザ切断表面を時間 t (ただし 1 秒 < t < 1 分) だけ研磨するステップによって、前記 N 個の平面に沿って複数の前記欠陥線をレーザ掘削するステップを有してなる、方法。

## 【請求項 4】

前記研磨ホイールの外径は 40 ~ 250 mm であり、

前記研磨ホイールは 500 ~ 1000 rpm で回転し、

前記研磨ホイールは複数の摩碎粒子を含み、前記摩碎粒子の断面幅は 0.1 ~ 100  $\mu$

10

20

30

40

50

mであり、相対韌性は600～680MPGである、請求項1～3に記載の方法。

【請求項5】

前記研磨ホイールの外径は80～120mmであり、

前記研磨ホイールは500～8000rpmで回転し、

前記研磨ホイールは複数の摩碎粒子を含み、前記摩碎粒子の断面幅は0.1～100μmであり、相対韌性は650～670MPGであり、摩碎摩損度はMBG650～MBG680である、請求項4に記載の方法。

【請求項6】

前記レーザは、パルス持続時間が約5ピコ秒超かつ約20ピコ秒未満、バースト繰り返し数が約1kHz～2MHzのバーストパルスレーザであり、

前記バーストパルスレーザは、1バーストあたり2～25パルスを含む、請求項1～3に記載の方法。

【請求項7】

前記レーザの出力は10～100ワットである、請求項6に記載の方法。

【請求項8】

請求項1、2又は3の方法によって調製されるガラス物品。

【請求項9】

面取りされた縁部は、約60μm以下の深さまでの表面下損傷を有する、請求項8に記載のガラス物品。

【請求項10】

前記ガラス物品は、イオン交換後の縁部強度が600～1000MPaの縁部を有する、請求項8又は9に記載のガラス物品。

【発明の詳細な説明】

【関連出願の相互参照】

【0001】

本出願は、2014年1月27日出願の米国仮特許出願第61/932030号の利益を主張し、上記仮特許出願内容は信頼に値するものであり、また上記仮特許出願の開示全体は、参照により本出願に援用される。本出願はまた、2014年7月10日出願の米国仮特許出願第62/022885号の利益、及び2014年10月31日出願の米国特許出願第14/530410号の利益を主張し、これらの出願の開示全体は、参照により本出願に援用される。

【技術分野】

【0002】

本開示は一般にガラス面取り方法に関し、より詳細には機械的仕上げと組み合わせてレーザを利用するガラス面取り方法に関する。

【0003】

本明細書において引用されるいづれの参考文献が従来技術を構成することは承認されていない。出願人は、いづれの引用文献の正確さ及び関連性に異議を唱える権利を明示的に保有する。

【背景技術】

【0004】

例えば建築用、自動車用、家庭用電気機械器具といった分野における応用のためにガラスパネルを切断する全ての場合において、注意を必要とする可能性が高い縁部が存在することになる。ガラスを切断及び分離するための様々な方法が存在する。例えばガラスは、電磁放射（レーザ、放電、ジャイロトロン等）を用いて機械的に切断できる（CNC機械加工、アブレシブウォータージェット、墨書き及び分割等）。比較的以前からの一般的な方法（CNC機械加工による墨書き及び分割）は、様々な種類及びサイズの欠陥が存在する縁部を生成する。また一般に、縁部が表面に対して完全に垂直でない状態が見受けられる。これらの欠陥を削減し、縁部に強度が改善されたより均一な表面を与えるために、通常は縁部をまず研削し、その後研磨ホイールの前進によって研磨するため、複数のステップ

10

20

30

40

50

プが必要となる。このプロセスは、縁部材料の摩碎除去を伴い、これは縁部材料に所望の仕上げを与えることができ、また縁部材料の形状を成形できる（ブルノーズ型、面取り、鉛筆型等）。研削及びそれに続く研磨ステップを可能とするために、最終的な所望の寸法よりも大きいパーツを切り出す必要がある。

#### 【0005】

欠陥を削減することにより縁部強度が上昇することは公知であり、理解されることであるが、形状が縁部強度に対して有する影響については意見が一致していない。この混乱は主に、形状が、縁部の衝突及び取り扱いに対する損傷耐性の上昇の一助となることが公知であることによって起こっている。実際には、縁部形状が屈曲（又は曲げ）力に対する耐性によって定義されるような縁部強度を実際に決定するのではなく、欠陥のサイズ及び分布が大きな影響を有する。しかしながら、成形された縁部は、断面及び内包する欠陥がより小さくなることによって、衝撃耐性の改善の一助となる。例えば、両表面に対して垂直な真っ直ぐな面を有する縁部は、これらの直角になった角部に応力を蓄積し、別の物体が衝突した場合に上記角は欠けて破損することになる。蓄積された応力により、欠陥のサイズはかなり大きくなる場合があり、これは当該縁部の強度を相当に低減することになる。一方、丸みを帯びた「ブルノーズ」型縁部は、その比較的滑らかな形状により、蓄積される応力が小さくなり、また断面が小さくなり、これは、欠陥のサイズ、及び縁部の容積内への欠陥の貫入の低減を支援する。従って衝突後、成形された縁部は、平坦な縁部よりも高い「曲げ」強度を有することになる。

10

#### 【0006】

上述の理由により、縁部を、平坦かつ表面に対して垂直とならないように成形することが望ましい場合が多い。これらの機械的切断及び縁部成形方法の1つの重要な側面は、機械の保守の程度である。切断及び研削の両方に関して、古く摩耗した切断ヘッド又は研削ロールは損傷を形成する場合があり、これは、違いを裸眼で視認できなくても、縁部の強度に大いに影響を与える。機械的切断と、これに続く機械的研削及び後続の機械的複数回研磨ステップとを必要とする機械的加工方法による他の問題は、これらの方法が極めて大きな労働力を必要とし、最終的な所望の仕上げまでに多数の研削及び研磨ステップを必要とすることであり、これは多数の破片を生成し、表面に損傷がもたらされるのを回避するために洗浄ステップを必要とする。

20

#### 【0007】

いずれの切断プロセスによって引き起こされる、微小割れ並びに材料改質（ギザギザで横向きの格子縞等）によって代表される表面下損傷は、脆性材料、特にガラスの縁部強度を低下させるため、関心の対象である。この点で、機械的及びアブレーティブレーザプロセスは特に問題となる。というのはこれらのプロセスは、約100～200 μm以上の深さの表面下損傷の層をもたらし得るためである。従来の加工によって生成される縁部は典型的には、1つ又は複数の表面下損傷層を除去するために、相当な量の切断後研削及び研磨を必要とする。

30

#### 【発明の概要】

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0008】

本明細書に記載の実施形態は、機械的研磨プロセスと組み合わせてレーザを用いて、任意の形状のガラス基板の縁部を面取り及び/又は斜角形成するプロセスに関する。

40

#### 【0009】

本開示の一実施形態は、面取り又は斜角を生成するための方法に関し、この方法は：ビーム伝播方向に沿って見てレーザビーム焦線にパルスレーザビームを集束させるステップ；

レーザビーム焦線を材料に向かって、上記材料への第1の入射角で配向するステップであって、レーザビーム焦線は材料内で誘起吸収を生成し、上記誘起吸収は材料内のレーザビーム焦線に沿って欠陥線を形成する、ステップ；

材料及びレーザビームを互いに対して並進移動させることによって、レーザが材料内に

50

おいて上記第1の角度で、第1の平面に沿って複数の欠陥線を掘削するステップ；

レーザビーム焦線を材料に向かって、上記材料への第2の入射角において配向するステップであって、レーザビーム焦線は材料内で誘起吸収を生成し、上記誘起吸収は材料内のレーザビーム焦線に沿って欠陥線を形成する、ステップ；

材料及びレーザビームを互いに対し並進移動させることによって、レーザが材料内において上記第2の角度で、第2の平面に沿って複数の欠陥線を掘削するステップ；

上記第1の平面及び第2の平面に沿って材料を分離させ、レーザ切断済み材料を形成するステップ；並びに

適合性ホイールによってレーザ切断済み材料を研磨するステップ  
を有してなる。

#### 【0010】

本開示の一実施形態は、加工物に面取り又は斜角を生成するための方法に関し、この方法は：

ビーム伝播方向に沿って見てレーザビーム焦線にパルスレーザビームを集束させるステップ；

レーザビーム焦線を加工物に向かって、上記加工物への入射角で配向するステップであって、上記角度は上記加工物の縁部と交差し、レーザビーム焦線は加工物内で誘起吸収を生成し、上記誘起吸収は加工物内のレーザビーム焦線に沿って欠陥線を形成する、ステップ；

加工物及びレーザビームを互いに対し並進移動させることによって、レーザが加工物内において上記角度で、ある平面に沿って複数の欠陥線を掘削するステップ；

上記平面に沿って加工物を分離させ、レーザ切断済み加工物を形成するステップ；並びに

体積弾性率0.1～5GPaの適合性研磨ホイールによってレーザ切断済み材料を研磨するステップ

を有してなる。いくつかの実施形態によると、レーザ切断済み加工物の切断表面を研磨するステップは、上記研磨ホイールを用いて時間tに亘って実施され、ここで1秒<t<1分であり、例えば5～30秒である。

#### 【0011】

よって、本開示の一実施形態は、加工物に面取り又は斜角を生成するための方法に関し、この方法は：

ビーム伝播方向に沿って見てレーザビーム焦線にパルスレーザビームを集束させるステップ；

レーザビーム焦線を加工物に向かって、上記加工物への入射角で配向するステップであって、上記角度は上記加工物の縁部と交差し、レーザビーム焦線は加工物内で誘起吸収を生成し、上記誘起吸収は加工物内のレーザビーム焦線に沿って欠陥線を形成する、ステップ；

加工物及びレーザビームを互いに対し並進移動させることによって、レーザが加工物内において上記角度で、ある平面に沿って複数の欠陥線を掘削するステップ；

上記平面に沿って加工物を分離させ、切断表面を有するレーザ切断済み加工物を形成するステップ；並びに

研磨ホイールを用いて時間t（ただし1秒<t<1分）に亘ってレーザ切断済み材料を研磨するステップであって、上記研磨ホイールの体積弾性率は0.1～5GPaである、ステップ

を有してなる。

#### 【0012】

いくつかの実施形態によると、加工物のレーザ切断表面は極めて迅速に研磨され、即ち切断表面の縁部仕上げステップ全体、つまり総研磨時間tは、1秒<t<1分である。いくつかの実施形態によるとt=30秒であり、またいくつかの実施形態では、レーザで切断された加工物の外側縁部全てが10秒で仕上げされる。

## 【0013】

いくつかの実施形態によると、レーザは、パルス持続時間が約5ピコ秒超かつ約20ピコ秒未満、バースト繰り返し数が約1～2MHz、及び1バーストあたり2～25パルスであるバーストパルスレーザである。いくつかの実施形態によると、バーストパルスレーザのレーザ出力は10～100Wである。

## 【0014】

更なる特徴及び利点は以下の詳細な説明に記載され、その一部は当業者にはこの説明から容易に明らかとなり、又は文章による説明及び添付の図面において例示されるような様々な実施形態を実施することによって把握されるだろう。

10

## 【0015】

上述の概説及び以下の詳細な説明の両方は単なる例示であり、請求項の性質及び特徴を理解するための概観又は枠組みを提供することを意図したものであることを理解されたい。

## 【0016】

添付の図面は、更なる理解を提供するために含まれているものであり、本明細書に組み込まれて本明細書の一部を構成する。図面は1つ又は複数の実施形態を示し、これは説明と併せて、様々な実施形態の原理及び動作を説明する役割を果たす。

## 【0017】

本特許又は出願ファイルは、カラーで作成された少なくとも1つの図面を含む。1つ又は複数のカラー図面を含む本特許又は特許出願公報のコピーは、必要な手数料を支払って要請すれば特許庁から提供される。

20

## 【0018】

以上は、同様の参照符号は異なる複数の図を通して同一のパートを示す添付の図面において図示されている本開示の例示的実施形態に関する、以下のより詳細な説明から、明らかになるであろう。これらの図は必ずしも正確な縮尺ではなく、本開示の実施形態を図示するにあたって強調が施されている。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0019】

【図1A】改質したガラスの、等間隔に離間した複数の欠陥線を有する断層線の図

30

【図1B】改質したガラスの、等間隔に離間した複数の欠陥線を有する断層線の図

【図1C】改質したガラスの図

【図2A】レーザビーム焦線の位置決め、即ち、焦線に沿った誘起吸収による、レーザ波長に対して透過性の材料の加工を示す図

【図2B】レーザビーム焦線の位置決め、即ち、焦線に沿った誘起吸収による、レーザ波長に対して透過性の材料の加工を示す図

【図3A】レーザ掘削のための光学組立体の図

【図3B1】基板に対してレーザビーム焦線を位置決めすることによって基板を加工する選択肢を示す図

【図3B2】基板に対してレーザビーム焦線を位置決めすることによって基板を加工する選択肢を示す図

40

【図3B3】基板に対してレーザビーム焦線を位置決めすることによって基板を加工する選択肢を示す図

【図3B4】基板に対してレーザビーム焦線を位置決めすることによって基板を加工する選択肢を示す図

【図4】レーザ掘削のための第2の光学組立体を示す図

【図5A】レーザ掘削のための第3の光学組立体を示す図

50

【図5B】レーザ掘削のための第3の光学組立体を示す図

【図6】レーザ掘削のための第4の光学組立体を示す概略図

【図7A】よりロバストな縁部を形成するため、即ち面取り及び犠牲(sacrificial)縁部を生成するための、本出願において説明される様々な方法のフローチャート

【図 7 B】欠陥線を有する面取り縁部を生成するプロセスの図

【図 7 C】所定の平面に沿って欠陥線を生成する、集束した角度付きの超短レーザを用いた、ガラス縁部のレーザ面取りの図。下側の図の、2つのみの欠陥線平面を用いる例に対して、上側の図は3つの欠陥線平面を用いる例を示す。

【図 8 A】ピコ秒レーザに関するレーザ放出を時間の関数として示す図。各放出は、1つ又は複数のサブパルスを含み得るパルス「バースト」を特徴とする。パルス持続時間、パルス間の間隔、及びバースト間の間隔に対応する時間が図示されている。

【図 8 B】ピコ秒レーザに関するレーザ放出を時間の関数として示す図。各放出は、1つ又は複数のサブパルスを含み得るパルス「バースト」を特徴とする。パルス持続時間、パルス間の間隔、及びバースト間の間隔に対応する時間が図示されている。

【図 9】切断したパーツを取り外した後に残っている欠陥線を使用して、パーツの縁部に対する衝撃によって引き起こされた割れの伝播を阻止する犠牲領域として機能させる様子を示す図

【図 10 A】内部欠陥線がイオン交換に供されている、切断したパーツの図であり、上記イオン交換は、穿通された縁部を除去して所望の縁部面取りを形成するために十分な応力を加える

【図 10 B】面取りされた角部を取り外すために内部欠陥線がイオン交換（I O X）に供されている、切断したパーツの図であり、これは図 10 A に示した図と同様であるが、欠陥線平面が2つしか存在しない

【図 10 C】多数の角度（4つ以上の欠陥線平面）を有する面取り部の図

【図 11 A】縁部プローブを用いて、一実施形態の適合性縁部仕上げホイール（研磨ホイール）の径方向縁部に対して実施した、INSTRON圧縮試験結果をまとめたプロット

【図 11 B】同一の縁部プローブを用いて、比較例の剛性摩耗性仕上げホイールの径方向縁部に対して実施した、INSTRON圧縮試験結果をまとめたプロット

【図 12 A】15°の延長された縁部面取り部を有するようにパーツをレーザカットした場合に得られる縁部プロファイルの概略図

【図 12 B】15°の短縮された縁部面取り部を有するようにパーツをレーザカットした場合に得られる縁部プロファイルの概略図

【図 12 C】45°の縁部面取り部を有するようにパーツをレーザカットした場合に得られる縁部プロファイルの概略図

【図 12 D】60°の縁部面取り部を有するようにパーツをレーザカットした場合に得られる縁部プロファイルの概略図

【図 13 A】複合型固定式摩碎ホイールを表す図であり、入って来る縁部プロファイルに適するように仕上げ動作を集中させるために、様々な結合材料、摩碎材及び形成因子を利用したホイール設計を用いる方法を示す

【図 13 B】動作中にスピンドル及びホイールを通して摩碎用スラリーを送達するために準備された、適合性研磨ホイールのコンセプトを示す図

【図 14】定力研磨装置の一実施形態の概略図

【図 15 A】レーザ切断済みガラスを機械的に加工するために利用される適合性ホイール 100 の一実施形態を示す図

【図 15 B】図 15 A のホイールの顕微鏡写真

【図 15 C】図 15 A のホイールの顕微鏡写真

【図 15 D】図 15 A のホイールの顕微鏡写真

【図 15 E】図 15 A のホイールの顕微鏡写真

【図 16】図 15 A ~ 15 E の適合性研磨ホイールの公称摩碎サイズの推定

【図 17】ホイール 100 による適合性ホイール研磨によって達成される例示的な縁部強度 (MPa) 性能

【図 18 A】図 15 A のホイール 100 による機械的研磨前の、レーザ切断済み基板縁部の Apex Microscope 画像

【図 18 B】図 15 A のホイール 100 による機械的研磨後の、レーザ切断済み基板縁部

の Apex Microscope 画像

【図 19 A】一実施形態によるホイールによる機械的研磨前の、レーザ切断済み基板縁部の Apex Microscope 画像

【図 19 B】一実施形態によるホイールによる機械的研磨後の、レーザ切断済み基板縁部の Apex Microscope 画像

【図 20 A】別の実施形態によるホイール 100 による機械的研磨前の、レーザ切断済み基板縁部の Apex Microscope 画像

【図 20 B】別の実施形態によるホイール 100 による機械的研磨後の、レーザ切断済み基板縁部の Apex Microscope 画像

【発明を実施するための形態】

【0020】

これより、例示的実施形態を説明する。

【0021】

本明細書に記載の実施形態は、レーザを用いて任意の形状のガラス基板及び他の透明材料の縁部を面取り及び／又は斜角形成するプロセスに関する。第 1 の実施形態は、超短パルスレーザを利用して所望の面取り形状を有するように縁部を切断するステップを伴い、上記ステップには任意に、完全に自動化された分離のための他のプロセスステップが続いてよい。上記第 1 の方法では、プロセスの基本ステップは、所望の縁部形状を画定して、割れの伝播並びにこれによる基板マトリクスからの上記形状の分離及び取り外しのための、耐性が最小となる経路を確立する、交差した平面上に、断層線を生成することである。この方法は本質的に、主基板からパーツを切り出しながら、成形された縁部を生成する。レーザ分離法は、成形された縁部の、元の基板からの手動分離、部分分離又は自己分離を可能とするように調整及び構成できる。これらの断層線を生成するための基礎となる原理は、これ以降、及び 2013 年 1 月 15 日出願の米国特許出願第 61/752489 号明細書に記載されている。

【0022】

第 1 のステップでは、加工対象の物体に超短パルスレーザビームを照射し、この超短パルスレーザビームは、基板の厚さを貫通する高アスペクト比の線状焦点に集光される。この高エネルギー密度の容積内において、非線形効果によって材料が改質される。この高い光強度を用いなければ、非線形吸収がトリガされないことに留意することが重要である。この強度閾値未満では、図 1 A ~ 1 C に示すように、材料はレーザ照射に対して透過性となり、その元々の状態のままとなる。所望の線又は経路全体をレーザで走査することによって、狭い欠陥線（数マイクロメートル幅）が生成され、上記狭い欠陥線は、次のステップで分離されることになる周縁部又は形状を画定する。使用される特定のレーザ法（以下に記載）は、極めて僅かな（ $< 75 \mu m$ 、好ましくは $< 60 \mu m$ 、場合によっては $< 50 \mu m$ 、及びいくつかの実施形態では $40 \mu m$ ）表面下損傷及び破片しか生成せずに、材料を通る良好に制御された完全な穿通孔を、シングルパスで生成するという利点を有する。これは、ガラスの厚さを完全に穿通するために複数回のパスが必要となる場合が多く、融除プロセスから多量の破片が形成され、より広範囲の表面下損傷（ $> 100 \mu m$ ）及び縁部欠けが発生する、典型的なスポット集束レーザの使用による材料の融除とは対照的である。

【0023】

図 2 A 及び 2 B に移ると、材料をレーザ掘削する方法は、パルスレーザビーム 2 を、ビーム伝播方向に沿って見て、レーザビーム焦線 2 b へと集束させるステップを含む。図 3 A に示すように、レーザ 3（図示せず）はレーザビーム 2 を放出し、このレーザビーム 2 は、光学組立体 6 のビーム入射側において 2 a と呼ばれ、これは光学組立体 6 へと入射する。光学組立体 6 は入射したレーザビームの方向を、ビーム方向（焦線の長さ 1）に沿った所定の広がり範囲に亘って、出力側の延長レーザビーム焦線 2 b へと変化させる。加工されることになる平面状の基板 1 は、レーザビーム 2 のレーザビーム焦線 2 b と少なくとも部分的に重なって、ビーム経路内において光学組立体の後方に位置決めされる。参照符

10

20

30

40

50

号 1 a は、平面状の基板の、光学組立体 6 又はレーザそれぞれに對面する表面を指し、參照符号 1 b は、基板 1 の反対側の、通常は平行に離間した表面を指す。基板の厚さ（平面 1 a 及び 1 b に対して、即ち基板平面に対して垂直に測定される）は、d で標識する。

【 0 0 2 4 】

図 2 A に示すように、基板 1 は、長手方向ビーム軸に対して垂直に、及びこれに伴って、光学組立体 6 が生成した同一の焦線 2 b の後側に整列され（基板は図の平面に対して垂直である）、ビーム方向に沿って見ると、基板は焦線 2 b に対して、ビーム方向に見た焦線 2 b が基板の表面 1 a の前で始まり、基板の表面 1 b の前で止まる、即ち依然として基板内にあるように、位置決めされる。よって、レーザビーム焦線 2 b と基板 1 の重複領域において、即ち焦線 2 b で被覆された基板材料において、延長レーザビーム焦線 2 b は、（長さ 1 のセクション、即ち長さ 1 の線状焦点上にレーザビーム 2 が集束することによって保証される、レーザビーム焦線 2 b に沿った好適なレーザ強度の場合に）長手方向のビーム方向に沿って見た延長セクション 2 c を生成し、上記セクション 2 c に沿って、誘起吸收が基板材料中で生成され、非線形誘起吸收は、セクション 2 c に沿った基板材料中の欠陥線又は割れの形成を誘起する。

欠陥線の形成は局所的なものだけではなく、誘起吸收の延長セクション 2 c の全長に亘るものである。セクション 2 c の長さ（即ち最終的に、レーザビーム焦線 2 b と基板 1 との重複の長さ）は、參照符号 L で標識される。誘起吸收セクション（又は欠陥線の形成が実行される基板 1 の材料のセクション）の平均直径又は平均範囲は、參照符号 D で標識される。この平均範囲 D は基本的には、レーザビーム焦線 2 b の平均直径、即ち約 0.1 ~ 約 5  $\mu\text{m}$  の平均スポット直径に対応する。

【 0 0 2 5 】

図 2 A に示すように、（レーザビーム 2 の波長 に対して透過性の）基板材料は、焦線 2 b に沿った誘起吸收により加熱される。図 2 B は、加熱された材料が最終的に膨張することにより、これに對応して誘起される張力が微小割れの形成を引き起こし、上記張力は表面 1 a において最高となることを概略的に示している。

【 0 0 2 6 】

焦線 2 b を生成するために適用できる具体的な光学組立体 6 、及びこれらの光学組立体を適用できる具体的な光学的設定について、以下に記載する。全ての組立体又は設定はこれまでの記載に基づくものであり、従って、同一の構成部品若しくは特徴部分又は機能が同一の構成部品若しくは特徴部分に関しては同一の參照符号を用いる。従って差異のみを以下に記載する。

【 0 0 2 7 】

最終的に分離につながる分割面は、（破断強度、幾何学的精度、粗度及び再機械加工の必要の回避に関して）高品質であるか、又は高品質でなければならないため、基板表面上に上記分割線 5 に沿って位置決めされることになる個々の断層線を、好ましくは以下に記載の光学組立体（以下、この光学組立体は代替的にレーザ光学部品とも呼ばれる）を用いて生成する必要がある。粗度は特に、断層線のスポットサイズ又はスポット直径からもたらされる例えば（基板 1 の材料と相互作用する）レーザ 3 の所定の波長 の場合に 0.5 ~ 2  $\mu\text{m}$  という小さいスポットサイズを達成するために、通常、レーザ光学部品 6 の開口数に対して特定の要件を課す。これらの要件は、以下に記載のレーザ光学部品 6 によって満たされる。

【 0 0 2 8 】

必要な開口数を達成するために、上記光学部品は好ましくは、公知のアッペの式（開口数 =  $n \sin \theta$  、 n : 加工されるガラスの屈折率、  $\theta$  : 開口角度の  $1/2$  ；及び  $\theta = \arctan(D/2f)$  ； D : 開口、 f : 焦点距離）に従って、所定の焦点距離に関して必要な開口を配置しなければならない。その一方でレーザビームは好ましくは、上記光学部品を上記必要な開口まで照明しなければならず、これは典型的には、レーザと集束用光学部品との間の拡大用望遠鏡を用いたビームの拡大によって達成される。

【 0 0 2 9 】

10

20

30

40

50

焦線に沿った均一な相互作用のために、スポットサイズは、あまり強く変化させ過ぎてはならない。これは例えば、ビーム開口、及びそれに伴って開口数のパーセンテージが僅かしか変化しないように、集束用光学部品を小さな円形領域においてのみ照明することによって保証できる。

【0030】

図3A(レーザ照射2のレーザビーム束の中央のビームの高さの、基板平面に対して垂直なセクション；ここではまた、レーザビーム2は基板平面に垂直に入射し、即ち角度は0°であり、これにより焦線2b又は誘起吸収の延長セクション2cが基板の法線に対して平行となる)によると、レーザ3によって放出されたレーザ照射2aはまず、使用されるレーザ放射に対して完全に不透過性の円形開口8に向けられる。開口8は長手方向ビーム軸に対して垂直に配向され、図示されているビーム束2aの中央ビームに対してセンタリングされる。開口8の直径は、ビーム束2aの中央付近のビーム束又は中央ビーム(ここでは2aZで標識される)が開口に当たり、開口によって完全に吸収されるように選択される。開口サイズがビーム直径に比べて削減されているため、ビーム束2aの外側周縁範囲のビーム(辺縁光線、ここでは2aRで標識される)のみが吸収されず、開口8を横断方向に通過し、光学組立体6の集束用光学素子の辺縁領域に当たり、上記光学素子は、ここでは球面に切削された両凸面レンズ7として設計される。

10

【0031】

中央ビームに対してセンタリングされたレンズ7は、一般的な球面に切削されたレンズの形状の非補正両凸面レンズとして意図的に設計される。換言すると、このようなレンズの球面収差を意図的に使用する。代替例として、理想的な焦点を形成しないものの、所定の長さの明確な伸長した焦線を形成する、理想的に補正された系から逸脱した非球面レンズ又は多レンズ系(即ち単一の焦点を有しないレンズ又は系)も使用できる。このように焦線2bに沿って集束するレンズの領域は、レンズの中央から離間している。ビーム方向に広がる開口8の直径は、ビーム束の直径(1/eへの低減のための距離によって定義されるビーム束直径)のおよそ90%及び光学組立体6のレンズの直径のおよそ75%である。ビーム束を中央においてブロックする非収差補正球面レンズ7の焦線2bは、このように使用される。図3Aは、中央ビームを通る1つの平面内のセクションを示し、図示されているビームが焦線2bの周りで回転する際、完全な3次元の束を確認できる。

20

【0032】

この焦線の1つの欠点は、条件(スポットサイズ、レーザ強度)が、焦線に沿って、及びこれに伴って材料の所望の深さに沿って変化する点、並びに従って所望のタイプの相互作用(非溶融、誘起吸収、割れ形成までの熱可塑性変形)が、焦線のある部分のみにおいてしか選択できない場合がある点である。これは即ち、基板材料は入射レーザ光の一部しか所望の様式で吸収しない場合があることを意味する。このようにして、プロセスの効率(所望の分離速度に対して必要な平均レーザ出力)が損なわれ、その一方でレーザ光は望ましくないより深い位置(基板又は基板保持構造に付着したパーツ又は層)に伝達され得、そこで望ましくない様式で相互作用し得る(加熱、拡散、吸収、不必要的改質)。

30

【0033】

図3B 1~4は、(図3Aの光学組立体に関してのみならず、基本的には他のいずれの応用可能な光学組立体6に関して)光学組立体6を基板1に対して好適に位置決めする及び/又は整列させることによって、並びに光学組立体6のパラメータを好適に選択することによって、レーザビーム焦線2bを様々に位置決めできることを示す。図3B 1に概略的に示すように、焦線2bの長さ1は、これが基板厚さdを超える(ここでは2倍となる)ように調整できる。(長手方向ビーム方向に見て)基板1が焦線2bに対して中央に配置されると、誘起吸収の延長セクション2cが基板の厚さ全体に亘って生成される。

40

【0034】

図3B 2に示されている場合においては、基板の厚さdにある程度対応する長さ1の焦線2bが生成される。基板1は線2に対して、線2bが基板の前方の、即ち外側の点において始まり、また誘起吸収の延長セクション2cの(ここでは基板表面から所定の基板

50

深さまで延在するものの、反対側の表面 1 b までは延在しない) 長さ  $L$  が、焦線 2 b の長さ 1 より小さくなるように位置決めされる。図 3 B 3 は、(ビーム方向沿って見て) 基板 1 が焦線 2 b の始点の前方に部分的に位置決めされ、これにより、線 2 b の長さ 1 に  $1 > L$  ( $L$  = 基板 1 の誘起吸収のセクション 2 c の範囲) が適用されるような場合を示している。従って焦線は基板内で始まり、反対側の表面 1 b を経て基板を超えて延在する。図 3 B 4 は最後に、生成された焦線の長さ 1 が基板厚さ  $d$  より小さくなり、これによって、入射方向に見て焦線に対して基板が中央に位置決めされている場合、焦線が基板内の表面 1 a の近傍で始まって基板内の表面 1 b の近傍で終わる ( $1 = 0.75 \cdot d$ ) ような場合を示している。

## 【0035】

10

少なくとも 1 つの表面 1 a、1 b が焦線によって被覆されるように、即ち誘起吸収のセクション 2 c が少なくとも 1 つの表面上で始まるように、焦線 2 b の位置決めを実現すると、特に有利である。このようにして、表面における融除、フェザリング及び微粒化を回避しながら殆ど理想的な掘削又は切断を達成できる。

## 【0036】

図 4 は、適用可能な別の光学組立体 6 を示す。基本的な構成は図 3 A において記載したものと同様であるため、差異のみを以下に記載する。図示されている光学組立体は、焦線 2 b を生成するための、所定の長さ 1 の焦線が形成されるように成形された非球面自由表面を有する光学部品の使用に基づくものである。この目的のために、光学組立体 6 の光学素子として非球面レンズを使用できる。図 4 では、例えば、アキシコンと呼ばれることが多い、所謂円錐プリズムが使用される。アキシコンは、光軸に沿った線上にスポット源を形成する(又はレーザビームをリングに変形させる)、円錐形に切削された特別なレンズである。このようなアキシコンの設計は原理的には当業者に知られており、本例での円錐角は  $10^\circ$  である。ここでは参照符号 9 で標識されたアキシコンの頂点は、入射方向へと向けられており、ビームの中央に対してセンタリングされる。アキシコン 9 の焦線 2 b はアキシコン 9 の内部で既に始まっているため、基板 1(ここではビーム主軸に対して垂直に整列されている)を、アキシコン 9 のすぐ後側のビーム経路内に位置決めできる。図 4 に示すように、アキシコンの光学特性によって、基板 1 を、焦線 2 b の範囲を離れることなく、ビーム方向に沿って変移させることもできる。従って、基板 1 の材料内の誘起吸収の延長セクション 2 c は、基板深さ  $d$  全体に亘って延在する。

20

## 【0037】

30

しかしながら、図示した設計は以下の制約を受ける: アキシコン 9 の焦線は上記レンズ内で既に始まっているため、レンズと材料との間の距離が有限である場合、レーザエネルギーのかなりの部分が、材料内に位置する焦線 2 b の一部分 2 c へと集束しない。更に、焦線 2 b の長さ 1 は、アキシコン 9 の利用可能な屈折率及び円錐角関して、ビーム直径に関連する。これが、比較的薄い材料(数ミリメートル)の場合に焦線があまりに長くなり得る原因であり、これによりここでもレーザエネルギーは材料に特異的に(又は完全に)集束しない。

## 【0038】

40

これが、アキシコン及び集束用レンズの両方を備える、改良された光学組立体 6 を用いる理由である。図 5 A はこのような光学組立体 6 を示し、これは、延長レーザビーム焦線 2 b を形成するよう設計された非球面自由表面を有する(ビーム方向に沿って見た)第 1 の光学素子がレーザ 3 のビーム経路内に位置決めされる。図 5 A に示されている場合では、この第 1 の素子は、円錐角  $5^\circ$  のアキシコン 10 であり、これはビーム方向に対して垂直に位置決めされ、レーザビーム 3 に対してセンタリングされる。アキシコンの頂点はビーム方向に向かって配向される。ここでは平凸レンズ 11(その湾曲面はアキシコンに向かって配向される)である第 2 の集束用光学素子は、ビーム方向においてアキシコン 10 から距離  $z_1$  に位置決めされる。距離  $z_1$  はこの場合はおよそ 300 mm であり、これは、アキシコン 10 が形成するレーザ照射がレンズ 11 の周縁領域に円形に入射するように選択される。レーザは出力側に、この場合は 1.5 mm の所定の長さの焦線 2 b 上におい

50

て、この場合はレンズ 1 1 からおよそ 20 mm である距離  $z_2$  に円形照射を集束させる。レンズ 1 1 の有効焦点距離は、ここでは 25 mm である。アキシコン 1 0 によるレーザビームの円形変形は、参照符号 S R で標識される。

#### 【0039】

図 5 B は、図 5 A による基板 1 の材料中の焦線 2 b 又は誘起吸収のセクション 2 c の形成を詳細に示す。両素子 1 0、1 1 の光学特性及びこれらの位置決めは、ビーム方向の焦線 2 b の長さ 1 が基板 1 の厚さ d と完全に一致するように選択される。その結果、図 5 B に示すように、焦線 2 b が基板 1 の 2 つの表面 1 a と 1 b との間に正確に位置決めされるような、ビーム方向に沿った基板 1 の正確な位置決めが必要となる。

#### 【0040】

従って、焦線がレーザ光学部品からある一定の距離に形成され、またレーザ照射の大半が焦線の所望の端部に集束すれば有利である。上述のように、これは、一次集束用素子 1 1 (レンズ) を、必要な領域上を円形にのみ照明することによって達成でき、これは必要な開口数、及びこれに伴って必要なスポットサイズを実現する役割を果たすが、その一方で、スポットの中央の極めて短い距離に亘る必要な焦線 2 b が、基本的に円形のスポットとして形成された後で、拡散の円の強度が減少する。このようにして、欠陥線の形成は、必要な基板深さの短い距離内で停止される。アキシコン 1 0 と集束用レンズ 1 1 との組み合わせがこの要件を満たす。アキシコンは 2 つの異なる様式で作用する。即ちアキシコン 1 0 により、通常は丸みを帯びたレーザスポットがリングの形状で集束用レンズ 1 1 に送られ、またアキシコン 1 0 の非球面性は、焦面内の焦点の代わりにレンズの焦面を超えて焦線を形成する効果を有する。焦線 2 b の長さ 1 は、アキシコン上のビーム直径によって調整できる。一方、焦線に沿った開口数は、アキシコン レンズ間の距離  $z_1$  によって、及びアキシコンの円錐角によって調整できる。このようにして、レーザエネルギー全体を焦線に集中させることができる。

#### 【0041】

欠陥線の形成が基板の放出側まで続くと想定する場合、円形照明は、一方では、レーザ光の大半が焦線の必要な長さに集中したままとなるため、レーザ出力が可能な最良の方法で使用されるという点、また他方では、円形に照明された領域と、他の光学機能を用いた所望の収差設定とを併せることで、焦線に沿った均一なスポットサイズ、及びこれに伴って焦線に沿った均一な分離プロセスを達成できるという点で、依然として有利である。

#### 【0042】

図 5 A に示す平凸レンズの代わりに、集束用メニスカスレンズ又は別のより高度に補正された集束用レンズ(非球面、多レンズ系)も使用できる。

#### 【0043】

図 5 A に示すアキシコン及びレンズの組み合わせを用いて、極めて短い焦線 2 b を生成するために、アキシコンに入射するレーザビームの極めて小さいビーム直径を選択することが好ましい。これは、アキシコンの頂点に対するビームのセンタリングを極めて正確なものとする必要がある点、及び従って結果がレーザの方向の変動に対して極めて敏感である点(ビームドリフト安定性)という、実用上の欠点を有する。更に精密にコリメートされたレーザビームは発散性が高く、即ち光の偏向によってビーム束が短い距離に亘ってぼやけてしまう。

#### 【0044】

図 6 に戻ると、これら両方の効果は、別のレンズ、即ちコリメートレンズ 1 2 を挿入することによって回避でき、この更なる正レンズ 1 2 は、集束用レンズ 1 1 の円形照明を極めて精密に調整する役割を果たす。コリメートレンズ 1 2 の焦点距離  $f'$  は、アキシコンからコリメートレンズ 1 2 までの距離  $z_1 a$  (これは  $f'$  に等しい) から所望の円の直径  $d_r$  が得られるように選択される。リングの所望の幅  $b_r$  は、距離  $z_1 b$  (コリメートレンズ 1 2 から集束用レンズ 1 1 まで) によって調整できる。完全に幾何学的な問題として、円形照明の幅が小さいと、焦線が短くなる。距離  $f'$  において最小値を達成できる。

#### 【0045】

10

20

30

40

50

従って図6に示す光学組立体6は、図5Aに示す光学組立体6に基づき、従って差異についてのみ以下に記載する。ここでも（湾曲面がビーム方向に向けられた）平凸レンズとして設計されたコリメートレンズ12は更に、（頂点がビーム方向に向けられた）アキシコン10と平凸レンズ11との間のビーム経路内の中央に配置される。アキシコン10からのコリメートレンズ12の距離は $z_{1a}$ で表され、コリメートレンズ12からの集束用レンズ11の距離は $z_{1b}$ で表され、（常にビーム方向に見た）集束用レンズ11からの生成された焦線2bの距離は $z_2$ で表される。図6に示すように、アキシコン10で形成される円形照射SRは、コリメートレンズ12に円の直径 $d_r$ に発散して入射し、これは、集束用レンズ11において少なくともおよそ一定の円の直径 $d_r$ のために、距離 $z_{1b}$ に沿った必要な円の幅 $b_r$ に調整される。図示されている場合では、レンズ12におけるおよそ4mmの円の幅 $b_r$ が、レンズ12の集束特性によって、レンズ11においておよそ0.5mmへと削減されるように、極めて短い焦線2bを生成することが想定されている（この例では円の直径 $d_r$ が22mmである）。

10

## 【0046】

図示されている例では、典型的なレーザビーム直径2mm、焦点距離 $f = 25\text{mm}$ を有する集束用レンズ11、及び焦点距離 $f' = 150\text{mm}$ を有するコリメートレンズを用いて、0.5mm未満の焦線の長さ1を達成できる。更にこの実施形態では、 $z_{1a} = z_{1b} = 140\text{mm}$ 及び $z_2 = 15\text{mm}$ である。

20

## 【0047】

複数の欠陥を有する線（本明細書では断層線又は穿通孔とも呼ばれる）が生成されると、分離は、上記断層線上又は上記断層線付近に印加される手動又は機械的応力によって行うことができ、上記応力又は圧力は、断層線の両側を引き離す張力を生成して、依然として一体に結合した領域を破壊することになる。分離は、レーザ走査速度、レーザ出力、レンズのパラメータ、パルス幅、繰り返し数等といったプロセスパラメータのうちのいくつかに左右される。

20

## 【0048】

図7Aは、本出願に記載のプロセスの概観を提供する。

## 【0049】

単パルスレーザを用いて所望の形状及び縁部を形成するための方法において、開発されるプロセスは、線形方式におけるレーザ波長に対する材料の透過性又は低いレーザ強度（これは、清浄かつ高い（又は初期状態の）表面品質を維持できる）、及びレーザ焦点付近の高強度の領域によって生成される表面下損傷の低減に依存する。このプロセスの重要なパラメータのうちの1つは、超短パルスレーザが生成する欠陥の高いアスペクト比である。これにより、切断及び面取りされることになる材料の上面から下面まで延在し得る、長く深い断層線又は欠陥線を生成できる。原則として、各欠陥は単一のパルスで生成でき、また必要であれば追加のパルスを使用して、影響を与える領域（深さ及び幅）の範囲を増大させることもできる。

30

## 【0050】

欠陥線を生成するための方法は複数存在する。線状焦点を形成するための光学的方法は、ドーナツ状レーザビーム及び球面レンズ、アキシコンレンズ、回折素子を使用する複数の形態、又は高強度の線形領域を形成するための他の方法を取ることができる。基板材料の破壊を生成するために十分な光学的強度に到達しさえすれば、レーザのタイプ（ピコ秒、フェムト秒等）及び波長のタイプ（IR、緑色、UV等）も変更できる。

40

## 【0051】

本実施形態では、超短パルスレーザを用いて、連続した、制御可能かつ反復可能な様式で、この高アスペクト比の垂直な欠陥線を生成する。この垂直な欠陥線の生成を可能とする光学的な設定の詳細は上述されている。この実施形態は、光学レンズ組立体内のアキシコンレンズを利用して、超短（持続時間がピコ秒又はフェムト秒の）ベッセルビームを用いて高アスペクト比の無傾斜微小チャネルの領域を生成する。換言すると、アキシコンは、レーザビームを円筒形かつ高アスペクト比（長さが長く直径が小さい）の領域へと集光

50

する。集光されたレーザビームが生成する強い強度により、レーザ電磁場と材料との非線形相互作用が発生し、レーザエネルギーが基板へと伝送される。しかしながら、レーザエネルギー強度が高くない領域（即ちガラス表面、中央集束線を取り囲むガラス容積）では、レーザ強度が非線形閾値未満であるため、ガラスには何も起こらないことを理解することが重要である。図 1 A ~ 1 C に示すように、ガラス基板を切断及び分離するための方法は本質的に、超短パルスレーザを用いて、加工対象の材料に断層線を生成することに基づく。具体的に選択されるプロセスパラメータは、材料の特性（吸収率、CTE、応力、組成等）及び加工のために選択されたレーザパラメータに左右される。

#### 【0052】

場合によっては、生成された断層線は、ガラス基板を自動的に分離させるには不十分であり、副次的なステップが必要となり得る。これが望まれる場合、非化学強化ガラスの場合は、機械的力の印加によって、欠陥線の生成後に分離を達成できる。平坦な縁部を有するガラス基板を分離するための、図 1 A ~ C に示した原理と同一の原理を用いて、面取りされた縁部を製造するためのプロセスを図 7 A に示すように修正できる。ガラスを分離するため、及び良好な品質の面取りされた縁部を形成するために、例えば一実施形態では、欠陥線の 3 つの別個の平面が生成され、これら平面は交差して、形状の境界を画定する。例えば図 7 C に示すように、2 つのみの交差する欠陥線平面を用いることによって、異なる形状を生成できるが、縁部の平坦部分は、いずれの欠陥線を用いずに破壊 / 分離しなければならない。欠陥線の特性と、IOX 浴による処理とを適切に組み合わせることによって、欠陥線平面において角部を分離できるはずである。例えば欠陥線を、ガラス基板の平坦な表面に対する垂線に対して、角度  $\alpha$  で形成してよい。いくつかの実施形態では、角度は  $0^\circ < \alpha < 90^\circ$  である。例えば図 7 B の下部の面取りされた縁部は、それぞれが複数の欠陥線を含む 3 つの交差する平面によって製造された。

10

20

30

40

50

#### 【0053】

##### レーザ及び光学系

例えば、ガラス又は他の透明脆性材料を切断するために、（例えば 1064 nm、又は 532 nm、266 nm 若しくは 261 nm）ピコ秒レーザを、基板中に損傷の線（即ち欠陥線）を生成するための光学部品を形成する線状焦点ビームと組み合わせて使用する、プロセスが開発された。厚さ 0.7 mm のサンプル Corning (登録商標) Gorilla (登録商標) ガラスコード 2320 を、それが線状焦点内となるように位置決めする。長さ ~ 1 mm の線状焦点と、繰り返し数 200 kHz において ~ > 30 W (~ 150  $\mu$ J / パルス) の出力を生成するピコ秒レーザとを用いると、線状領域における光学的強度を容易に、材料において非線形吸収を生成できる程度に十分に高くすることができる。損傷、融除、気化又はその他の改質を受けた材料の領域は、高強度の線形領域に概ね続いて生成される。

#### 【0054】

このようなピコ秒レーザの典型的な動作は、複数のパルスの「バースト」を生成することに留意されたい（例えば図 8 A 及び 8 B を参照）。各「バースト」は、持続時間が極めて短い（例えば ~ 10 nsec）複数のパルス（本明細書ではサブパルスとも呼ばれる）を含んでよい。バースト内の各サブパルス又は個々のパルスは、例えばおよそ 20 nsec (50 MHz) だけ時間的に離間しており、この時間はレーザキャビティの設計に左右されることが多い。各「バースト」間の時間は遙かに長くなり、~ 200 kHz のレーザ繰り返し数に対して ~ 5  $\mu$ sec となることが多い。正確なタイミング、パルス持続時間及び繰り返し数は、レーザの設計に応じて変化し得る。しかしながら、高強度の短パルス (< 15 nsec) が、この技術を用いて良好に作用することが分かっている。

#### 【0055】

例えば、複数のパルスのバーストはそれぞれ、約 1 ~ 約 50 nsec、例えば 10 ~ 50 nsec (例えば約 20 nsec 又は 30 nsec) の持続時間だけ互いに離間した、2 つのパルス（本明細書ではサブパルスとも呼ばれる）又はより多く（例えば 1 バースト内に 3 パルス、4 パルス、5 パルス、10 パルス、15 パルス、20 パルス、22 パルス

、25パルス若しくはより多くのパルス)を含んでよく、バースト繰り返し周波数(即ち2つの連続するバーストの最初のパルス間の分離)は、約1～約200kHzとすることができます。パルスレーザビームは、材料がその波長において略透過性となるように、選択された波長を有することができる。本開示の文脈では、材料はレーザ波長に対して、上記波長における吸収率が材料の深さ1mmあたり約50%未満(例えば<40%)、より好ましくは10%未満、及び更に好ましくは約1%未満である場合に、略透過性である。この波長は例えば、1064nm、532nm又は266ナノメートルであってよい。材料において測定される平均レーザ出力は、材料の厚さ1mmあたり40マイクロジュール超、例えば40～1000マイクロジュール/mm、例えば100～900μJ/mm、又は100～650マイクロジュール/mmとすることができ、200～400μJ/mmが好ましい。

10

#### 【0056】

例えば、図8A及び8Bに示すように、本明細書に記載の実施形態によると、ピコ秒レーザはパルス500Aの「バースト」500を生成し、これは場合によっては「バーストパルス」とも呼ばれる。各「バースト」500は、最高100ps(例えば0.1ps、5ps、10ps、15ps、18ps、20ps、22ps、25ps、30ps、50ps、75ps又はこれらの数値の間)という極めて短い持続時間 $T_d$ の複数のパルス500Aを含有してよい。単一のバースト500内のこれら個々のパルス500Aは、「サブパルス」とも呼ぶことができ、これは単に、これらがパルスの単一のバースト内で発生するという事実を示す。上記バースト内の各レーザパルス500Aのエネルギー又は強度は、バースト内の他のパルスのエネルギー又は強度と等しくなくてよく、バースト500内の複数のパルスの強度分布は、レーザの設計によって支配されている、時間による急激な減衰に追随することが多い。好ましくは、本明細書に記載の例示的実施形態のバースト500内の各パルス500Aは、バースト内の後続のパルスから、1～50nsec(例えば10～50nsec又は10～30nsec)の期間 $T_p$ だけ時間的に離れており、上記時間はレーザキャビティの設計によって支配されることが多い。ある所定のレーザに関して、バースト500内の各パルス間の時間間隔 $T_p$ (パルスパルス間隔) $T_p$ は比較的均一である(±10%)。例えばいくつかの実施形態では、各パルスは後続のパルスから、およそ20nsec(50MHz)だけ時間的に離れている。例えば、約20nsecのパルスパルス間隔 $T_p$ を生成するレーザに関して、あるバースト内のパルス間隔 $T_p$ は約±10%内に維持され、又は約±2nsecである。各「バースト」間の時間(即ちバースト間の時間間隔 $T_b$ )は遙かに長くなる(例えば0.25 $T_b$  1000マイクロ秒、例えば1～10マイクロ秒又は3～8マイクロ秒)。例えば、本明細書に記載のレーザの例示的実施形態のうちのいくつかでは、これは約200kHzのレーザ繰り返し数又は周波数に関して約5マイクロ秒となる。レーザ繰り返し数はまた、本明細書ではバースト繰り返し周波数とも呼ばれ、これはあるバーストの第1のパルスと、後続のバーストの第1のパルスとの間の時間として定義される。他の実施形態では、バースト繰り返し周波数は約1～約4MHzである。より好ましくは、レーザ繰り返し数は例えば約10～約650kHzとすることができます。各バーストの第1のパルスと後続のバーストの第1のパルスとの間の時間 $T_b$ は、0.25マイクロ秒(4MHzの繰り返し数)～1000マイクロ秒(1kHzの繰り返し数)、例えば0.5マイクロ秒(2MHzの繰り返し数)～40マイクロ秒(25kHzの繰り返し数)、又は2マイクロ秒(500kHzの繰り返し数)～20マイクロ秒(50kHzの繰り返し数)であってよい。正確なタイミング、パルス持続時間及び繰り返し数は、レーザの設計に応じて変化できるが、高強度の短いパルス( $T_d < 20\text{ psec}$ 及び好ましくは $T_d = 15\text{ psec}$ )は動作が特に良好であることが示されている。

20

30

40

#### 【0057】

材料を改質するために必要なエネルギーについて、バーストエネルギー、即ちあるバースト内に含まれるエネルギー(各バースト500は一連の複数のパルス500Aを含む)について、又は単一のレーザパルス内に含まれるエネルギー(その多くはあるバーストを構成する

50

) に関して説明できる。これらの応用に関して、バーストあたりのエネルギーは、25~750 μJより好ましくは50~500 μJ、50~250 μJとすることができる。いくつかの実施形態では、バーストあたりのエネルギーは100~250 μJである。バースト内の個々のパルスのエネルギーはより小さくなり、正確な個々のレーザパルスエネルギーは、バースト500内のパルス500Aの数、及び図8A及び8Bに示すような時間によるレーザパルスの減衰率(例えば急激な減衰率)に左右されることになる。例えば一定のエネルギー/バーストのために、あるバーストパルスが10個の個々のレーザパルス500Aを含む場合、個々のレーザパルス500Aはそれぞれ、同一のバーストパルス500が2つの個々のレーザパルスしか有しない場合よりも小さいエネルギーを含むことになる。

## 【0058】

10

このようなバーストパルスを生成できるレーザの使用は、透明材料、例えばガラスを切断又は改質するために有利である。単一パルスレーザの繰り返し数によって時間的に離れている複数の単一パルスの使用とは対照的に、レーザエネルギーを(バースト500を構成する)サブパルスの迅速なシーケンス全体に亘って広げるバーストパルスシーケンスの使用により、レーザを用いて可能な材料との高強度相互作用のタイムスケールを長くすることができる。単一パルスを時間的に拡大できる一方で、これが実施されると、パルス内強度をパルス幅に亘っておおよそ1だけ落とすことが要求される。従って、10 psecの単一パルスが10 nsecパルスに拡大される場合、強度はおおよそ3桁下がる。このような低減により、非線形吸収がもはや重要でなくなり、かつ光 材料間相互作用が切断を可能とすることができるほどには強くなる点まで、光の強度を低下させることができる。対照的に、バーストパルスレーザを用いると、バースト500内の各サブパルス500A(又はバースト500内のパルス500A)中の強度は極めて高いまとまることができる、例えば、およそ10 nsecだけ時間的に離れている、3つの10 psecのパルス500Aは、各パルス内の強度を依然として単一の10 psecパルスの強度のおおよそ3倍とすることができます、その一方でレーザを、ここでは3桁大きいタイムスケールに亘って材料と相互作用させることができます。従って、あるバースト内の複数のパルス500Aをこのように調整することにより、既存のプラズマプルームとの光のより強い又は弱い相互作用、初期又は過去のレーザパルスによって事前に励起された原子及び分子とのより強い又は弱い光 材料間相互作用、及び微小割れの制御された成長を促進できる材料内により強い又は弱い加熱効果を促進できるような方法で、レーザ 材料間相互作用のタイムスケールを操作できる。材料を改質するためのバーストエネルギーの必要量は、基板材料の組成、及び基板との相互作用に使用される線状焦点に左右されることになる。相互作用範囲が長いほど、エネルギーはより広がり、また必要となるバーストエネルギーが高くなる。

20

## 【0059】

30

## 孔又は損傷トラックの形成：

40

(例えばイオン交換後ガラスを用いて)基板又は透明材料が十分な応力を有する場合、バーツは、レーザプロセスによってトレースされた穿通損傷の経路に沿って割れ、自発的に分離することになる。しかしながら、(例えばCorning Eagle XG(登録商標)組成物の場合のように)基板に固有の応力が高くない場合、ピコ秒レーザは単に、加工物中に損傷トラック(即ち欠陥線又は穿通孔)を形成するだけである。欠陥線又は損傷トラックの内径は通常5 μm以下である。即ち欠陥線(損傷トラック)は概ね、例えば~0.5~1.5マイクロメートル、又は0.2マイクロメートル~2マイクロメートル(例えばいくつかの実施形態では0.2~0.7マイクロメートル若しくは0.3~0.6マイクロメートル)の内側寸法を有する孔の形態を取る。好ましくは、上記孔は寸法が極めて小さい(一桁台のマイクロメートル又はそれ以下)。

## 【0060】

50

孔又は欠陥線は、材料の厚さ全体を穿通でき、また材料の深さ全体に亘る連続した開口部であってもなくてもよい。図1Cは、700 μm厚の非強化「Gorilla」ガラス基板の片の厚さ全体を穿通する上述のトラックの例を示す。穿通孔又は損傷トラックは、へき開縁部の側部を通して観察される。材料を通るトラックは、貫通孔である必要はなく

、孔を塞ぐガラスの領域が存在してよいが、上記領域は一般にサイズが小さい。

【0061】

集束したレーザビームの下で基板が並進移動するため、これらの孔の間の横断方向間隔（ピッチ）は、レーザのパルス数によって決定される。完全な孔を形成するためには、単一のピコ秒レーザパルスバーストしか必要でないが、必要に応じて複数のパルスを使用してよい。異なるピッチの複数の孔を形成するために、レーザを、より長い又は短い間隔で点灯するようにトリガできる。切断動作に関して、レーザのトリガは一般に、ビームの下での、ステージによって駆動されるバーツの運動と同期されるため、レーザパルスは1 μm毎又は5 μm毎といった固定間隔でトリガされる。正確な間隔は、基板内の応力レベルを考慮して、穿通孔から穿通孔への割れの伝播を促進する、材料の特性によって決定される。しかしながら、基板の切断とは対照的に、材料を穿通するためだけに同一の方法を用いることもできる。この場合、孔は例えば5 μmのピッチで離間している。

10

【0062】

レーザ出力及びレンズ焦点距離（これは流系線の長さ、及びこれに伴って出力密度を決定する）は、ガラスを完全に貫通することと、微小割れが少ないと保証するために、特に重要なパラメータである。

【0063】

一般に、利用可能なレーザ出力が高いほど、上述のプロセスを用いて材料をより迅速に切断できる。本明細書で開示されるプロセスは、切断速度0.25 m/sec以上でガラスを切断する。切断速度は、複数の孔又は改質領域を生成しながら透明材料（例えばガラス）の表面に対してレーザビームが移動する速さである。製造のための資本投資を最小化するため、及び設備利用率を最適化するために、例えば250 mm/sec、400 mm/sec、500 mm/sec、750 mm/sec、1 m/sec、1.2 m/sec、1.5 m/sec若しくは2 m/sec、又は更に3.4~4 m/secといった高い切断速度が望ましいことが多い。レーザ出力は、レーザのバーストエネルギーとバースト繰り返し周波数（数）との積に等しい。一般に、高い切断速度でこのようなガラス材料を切断するために、損傷トラックは典型的には1~25マイクロメートルだけ離間し、いくつかの実施形態ではこの間隔は好ましくは3マイクロメートル以上、例えば3~12マイクロメートル、又は例えば5~10マイクロメートルである。

20

【0064】

例えば、300 mm/secの直線切断速度を達成するために、3マイクロメートルの孔ピッチは、少なくとも100 kHzのバースト繰り返し数を有するパルスバーストレーザに対応する。600 mm/secの切断速度に関して、3マイクロメートルのピッチは、少なくとも200 kHzのバースト繰り返し数を有するバーストパルスレーザに対応する。200 kHzにおいて少なくとも40 μJ/バーストを生成し、切断速度600 mm/secで切断を行うパルスバーストレーザは、少なくとも8ワットのレーザ出力を有する必要がある。従って、切断速度が高くなると、更に高いレーザ出力が必要となる。

30

【0065】

例えば3 μmピッチ及び40 μJ/バーストにおいて0.4 m/secの切断速度には、少なくとも5ワットのレーザが必要となり、3 μmピッチ及び40 μJ/バーストにおいて0.5 m/secの切断速度には、少なくとも6ワットのレーザが必要となる。従って好ましくは、パルスバーストのレーザ出力は6ワット以上、より好ましくは少なくとも8ワット以上、及び更に好ましくは少なくとも10 W以上である。例えば、4 μmピッチ（欠陥線の間隔、又は損傷トラック間の間隔）及び100 μJ/バーストにおいて0.4 m/secの切断速度を達成するためには、少なくとも10ワットのレーザが必要であり、4 μmピッチ及び100 μJ/バーストにおいて0.5 m/secの切断速度を達成するためには、少なくとも12ワットのレーザが必要である。例えば、3 μmピッチ及び40 μJ/バーストにおいて1 m/secの切断速度を達成するためには、少なくとも13ワットのレーザが必要である。また例えば、4 μmピッチ及び400 μJ/バーストにおいて1 m/secの切断速度は、少なくとも100ワットのレーザが必要となる。損傷ト

40

50

ラック間の最適なピッチ及び正確なバーストエネルギーは材料に左右され、経験的に決定できる。しかしながら、レーザパルスエネルギーが上昇する、又は損傷トラックをより小さいピッチで作製するのは、常に基板材料の分離をより良好なものとする、又は縁部品質を改善する条件ではないことに留意されたい。損傷トラック間のピッチがあまりに密である（例えば $< 0.1$ マイクロメートル、いくつかの例示的実施形態では $< 1 \mu\text{m}$ 、又はいくつかの実施形態では $< 2 \mu\text{m}$ ）と、場合により、近隣の後続の損傷トラックの形成を阻害し得、また穿通された輪郭を巡る材料の分離を阻害し得、またガラス内の望ましくない微小割れの増大にもつながり得る。ピッチが長過ぎる（ $> 50 \mu\text{m}$ 、及びいくつかのガラスでは $> 25 \mu\text{m}$ 又は $> 20 \mu\text{m}$ でさえある）と、「非制御下の微小割れ」を引き起こし得る。即ちこの場合、孔から孔への伝播の代わりに、微小割れが異なる経路に沿って伝播し、異なる（望ましくない）方向のガラスの割れを引き起こす。これは最終的には、分離されたガラスパーツの強度を低下させ得る。というのは残留する微小割れは、ガラスを弱化させるきずとして作用することになるためである。各損傷トラックを形成するために使用されるバーストエネルギーが高過ぎる（例えば $> 2500 \mu\text{J}$ ／バースト、及びいくつかの実施形態では $> 500 \mu\text{J}$ ／バースト）と、既に形成された隣接する損傷トラックの微小割れの「治癒（healing）」又は再溶融を引き起こし得、これはガラスの分離を阻害することになる。従って、バーストエネルギーが $< 2500 \mu\text{J}$ ／バースト、例えば $500 \mu\text{J}$ ／バーストであることが好ましい。また、高過ぎるバーストエネルギーの使用は微小割れの形成を引き起こし得、これは極めて大きく、分離後のパーツの縁部強度を低減するきずを生成する。バーストエネルギーが低過ぎる（ $< 40 \mu\text{J}$ ／バースト）と、ガラス内に見える損傷トラックを形成できず、従って特に高い分離力又は穿通された輪郭に沿った分離の完全な不可能性につながり得る。

10

20

30

40

#### 【0066】

このプロセスが可能な典型的な切断速度の例は、例えば $0.25 \text{ m/sec}$ 以上である。いくつかの実施形態では、切断速度は少なくとも $300 \text{ mm/sec}$ である。本明細書に記載のいくつかの実施形態では、切断速度は少なくとも $400 \text{ mm/sec}$ 、例えば $500 \sim 2000 \text{ mm/sec}$ 以上である。いくつかの実施形態では、ピコ秒（ps）レーザはパルスバーストを利用して、 $0.5$ マイクロメートル～ $13$ マイクロメートル、例えば $0.5 \sim 3$ マイクロメートルの周期で欠陥線を生成する。いくつかの実施形態では、パルスレーザは $10 \text{ W} \sim 100 \text{ W}$ のレーザ出力を有し、材料及び／又はレーザビームは互いに対して、少なくとも $0.25 \text{ m/sec}$ ；例えば $0.25 \sim 0.35 \text{ m/sec}$ 、又は $0.4 \text{ m/sec} \sim 5 \text{ m/sec}$ の速度で並進移動する。好ましくは、パルスレーザビームの各パルスバーストは、加工物において測定した場合に、加工物の厚さ $1 \text{ mm}$ あたり $40$ マイクロジュール／バースト超の平均レーザエネルギーを有する。好ましくは、パルスレーザビームの各パルスバーストは、加工物において測定した場合に、加工物の厚さ $1 \text{ mm}$ あたり $2500$ マイクロジュール／バースト未満、及び好ましくは加工物の厚さ $1 \text{ mm}$ あたり約 $2000$ マイクロジュール／バースト未満、及びいくつかの実施形態では加工物の厚さ $1 \text{ mm}$ あたり $1500$ マイクロジュール／バースト未満、例えば加工物の厚さ $1 \text{ mm}$ あたり $500$ マイクロジュール／バースト以下の平均レーザエネルギーを有する。

30

40

#### 【0067】

「Corning」、「Gorilla」等のガラスに関してと比べてアルカリ含有量が低い又はゼロのアルカリ土類ボロアルミノシリケートガラスを穿通するためには、遙かに高い（ $5 \sim 10$ 倍高い）容積パルスエネルギー密度（ $\mu\text{J}/\mu\text{m}^3$ ）が必要となることが発見された。これは例えば、好ましくは少なくとも $1$ バーストあたり $2$ パルスを有するパルスバーストレーザを利用し、約 $0.05 \mu\text{J}/\mu\text{m}^3$ 以上、例えば少なくとも $0.1 \mu\text{J}/\mu\text{m}^3$ 、例えば $0.1 \sim 0.5 \mu\text{J}/\mu\text{m}^3$ の、上記アルカリ土類ボロアルミノシリケートガラス中の容積エネルギー密度を提供することによって、達成できる。

#### 【0068】

従って、レーザが、 $1$ バーストあたり少なくとも $2$ パルスを有するパルスバーストを生成することが好ましい。例えばいくつかの実施形態では、パルスレーザは $10 \text{ W} \sim 150$

50

W ( 例えは 10 ~ 100 W ) のレーザ出力を有し、 1 バーストあたり少なくとも 2 パルス ( 例えは 1 バーストあたり 2 ~ 25 パルス ) を有するパルスバーストを生成する。いくつかの実施形態では、パルスレーザは 25 ~ 60 W の出力を有し、 1 バーストあたり少なくとも 2 ~ 25 パルスを有するパルスバーストを生成し、このレーザバーストが生成する隣接する欠陥線間の周期又は距離は 2 ~ 10 マイクロメートルである。いくつかの実施形態では、パルスレーザは 10 ~ 100 W のレーザ出力を有し、 1 バーストあたり少なくとも 2 パルスを有するパルスバーストを生成し、加工物及びレーザビームは互いに対し、少なくとも 0.25 m / sec の速度で並進移動する。いくつかの実施形態では、加工物及び / 又はレーザビームは互いに対し、少なくとも 0.4 m / sec の速度で並進移動する。

10

### 【 0069 】

例えは、厚さ 0.7 mm の非イオン交換 Corning コード 2319 又はコード 2320 「 Gorilla 」ガラスを切断するために、約 150 ~ 250 μJ / バーストのパルスバーストエネルギー及び 2 ~ 15 のバーストパルス数を伴う 3 ~ 7 マイクロメートルのピッチ、また好ましくは 3 ~ 5 マイクロメートルのピッチ及び 2 ~ 5 のバーストパルス数 ( 1 バーストあたりのパルスの数 ) が、良好に作用できることが観察されている。

### 【 0070 】

1 m / sec の切断速度において、厚い EdgeXG ガラスの切断には典型的に、 15 ~ 84 ワットのレーザ出力の利用が必要となり、 30 ~ 45 ワットで十分である場合が多い。一般に、広範なガラス及び他の透明材料に亘って、出願人らは、 0.2 ~ 1 m / sec の切断速度を達成するために 10 ~ 100 W のレーザ出力が好ましく、多くのガラスに関しては 25 ~ 60 ワットのレーザ出力で十分である ( かつ最適である ) ことを発見した。 0.4 m ~ 5 m / sec の切断速度に関して、レーザ出力は好ましくは、 40 ~ 750 μJ / バーストのバーストエネルギー、 ( 切断される材料に応じて ) 1 バーストあたり 2 ~ 25 パルス、及び 3 ~ 15 μm 又は 3 ~ 10 μm の孔間隔 ( 又はピッチ ) を伴う 10 ~ 150 W とするべきである。これらの切断速度のためには、ピコ秒パルスバーストレーザの使用が好ましい。というのは、上記ピコ秒パルスバーストレーザは高い出力と、必要な 1 バーストあたりのパルス数とを生成するためである。従っていくつかの例示的実施形態によると、パルスレーザは 10 ~ 100 W 、例えは 25 ~ 60 ワットの出力を生成し、また 1 バーストあたり少なくとも 2 ~ 25 パルスのパルスバーストを生成し、欠陥線間の間隔は 2 ~ 15 マイクロメートルとなる。そしてレーザビーム及び / 又は加工物は互いに対し、少なくとも 0.25 m / sec 、いくつかの実施形態では少なくとも 0.4 m / sec 、例えは 0.5 ~ 5 m / sec 以上の速度で並進移動する。

20

### 【 0071 】

面取りされた縁部の切断及び分離

面取り方法 1

非強化 「 Gorilla 」ガラス、具体的には Corning コード 2320 を用いて、面取りされた縁部の分離を可能にする、異なる複数の条件が発見された。この第 1 の方法は、欠陥線を生成し、所望の形状 ( この場合は面取りされた縁部 ) に従った断層線を形成するためだけに、ピコレーザを使用するものである。このステップの後、破壊用プライヤを用いることによって、パーツを手で屈曲させることによって、又は分離を開始させて断層線に沿って伝播させる張力を生成するいずれの方法によって、機械的分離を達成できる。 700 μm 厚の非強化 「 Gorilla 」ガラスに欠陥線を有する面取りされた縁部を生成し、パーツを機械的に分離するために、以下の光学部品及びレーザパラメータに関して最良の結果が見られた：

30

ピコ秒レーザ ( 1064 nm )

アキシコンレンズへの入力ビーム直径 ~ 2 mm

アキシコン角度 = 10 °

40

初めのコリメートレンズ焦点距離 = 125 mm

最後の対物レンズ焦点距離 = 40 mm

50

$z = 0.7 \text{ mm}$  に設定された焦点 (即ちガラスの厚さに対して中央に設定された線状焦点)

最大出力 100 % のレーザ出力 (~ 40 ワット)

レーザのパルス繰り返し数 = 200 kHz

ピッチ = 5  $\mu\text{m}$

3 パルス / バースト

流経線あたり単回のパス

犠牲縁部。

#### 【0072】

ガラス内部に残存する欠陥線の存在は、縁部が衝撃を受けた場合に割れの伝播を阻止するためには有益となり得る。この場合、欠陥線平面を、損傷阻止位置として作用するよう、実際には、欠陥線に対して外側の、ガラスの領域の「犠牲」縁部部分を生成するように使用できる。実際、分離された縁部の内部への追加の欠陥線、又は実際の縁部の内側に更に複雑な内部斜角を形成するために交差した複数の欠陥線のセットを単に生成することが、いずれの物理的な面取り特徴部分をパーツの外側縁部に必要とすることなく、又はこのような特徴部分を生成するためのいずれの機械的研削及び研磨を必要とすることなく、パーツの信頼性を向上させる方法となり得る。このタイプの犠牲縁部のためのいくつかの選択肢を図 9 に示す。上述のピコ秒レーザプロセスは、各欠陥線を単回のパスにおいて最高 1 m / s の速度で生成するため、これらの追加の「損傷停止」線を生成するのは極めて容易であり、費用対効果が高い。

10

20

#### 【0073】

面取り方法 2 :

欠陥線の形成の例

700  $\mu\text{m}$  厚の非強化「Gorilla」ガラスに欠陥線を有する面取りされた縁部を生成し、パーツを機械的に分離するために、一実施形態によると、以下の光学部品及びレーザパラメータを利用した :

ピコ秒レーザ (1064 nm)

アキシコンレンズへの入力ビーム直径 ~ 2 mm

アキシコン角度 = 10°

初めのコリメートレンズ焦点距離 = 125 mm

30

最後の対物レンズ焦点距離 = 40 mm

$z = 0.7 \text{ mm}$  に設定された焦点 (即ちガラスの厚さに対して中央に設定された線状焦点)

最大出力 100 % のレーザ出力 (~ 40 ワット)

レーザのパルス繰り返し数 = 200 kHz

ピッチ = 5  $\mu\text{m}$

3 パルス / バースト

流経線あたり単回のパス。

#### 【0074】

レーザ、例えば上述のピコ秒レーザは、断層線を生成し、ガラスを切断する。欠陥線によって形成されたガラス外側縁部片の分離は、機械的力によって実施する必要はない。レーザ加工自体は、小さな面取り領域又は角部片をパーツから除去するのに十分な応力を生成できる。このレーザ切断プロセスは線状焦点を利用し、ガラス又は他の透明材料を 200 ~ 1000 mm / sec の速度で、垂直に又は角度を付けて切断して、面取り成形された縁部を生成できる。本明細書に記載のいくつかの実施形態によると、切断プロセス中、1 つ又は複数の強いレーザビームが薄型ガラスを切断及び分離し、これは 60  $\mu\text{m}$  未満の表面下損傷を引き起こし、その Ra 表面粗度は 400 nm 未満である。いくつかの実施形態によると、表面下損傷は 30  $\mu\text{m}$  未満であり、その Ra 表面粗度は 200 nm 未満である。レーザガラス切断ステップは、最終製品形状の数マイクロメートル以内まで達成でき、続いて最終仕上げプロセスにより、最小量のガラス原材料を除去して、顧客の縁部仕上

40

50

げ、強度及び縁部衝撃要件を満たすことができる。このプロセスは、ガラスの積層体をガラス表面に対して垂直に切断でき、これによって積層仕上げを実施できる。

#### 【0075】

欠陥線で形成されたガラス外側縁部片の分離は、CO<sub>2</sub>レーザの適用又は機械的力の適用によって実施する必要はない。多くの例では、ガラス基板から分離されたガラスパーツは、イオン交換プロセスでの化学強化のために送られる。イオン交換自体は、パーツの面取り領域又は角部における剥離又は分離を促進するために十分な応力を生成できる。ガラス表面に新たなイオンを導入すると、外側角部片を剥離又は分離させるために十分な応力を生成できる。更に、イオン交換プロセスで使用される高温塩浴は、断層線に沿った剥離又は分離を誘起して面取りされた縁部又はその他の成形された縁部を提供するために十分な熱応力を提供できる。いずれの場合においても、最終的な結果として、所望の面取り形状を形成するための内部欠陥線に更に良好に従う縁部が得られる（図10A～10C参照）。図10Aは、内部欠陥線を有する切断パーツをイオン交換に供している図であり、上記イオン交換は、穿通された縁部を除去して所望の縁部面取りを形成するために十分な応力を付与する。図10Bは、内部欠陥線を有する切断パーツをイオン交換（IOX）に供して面取りされた角部を取り除いている図であり、図10Aに示す図と同様であるが、欠陥線平面を2つしか有しない。図10Cは、多数の角度（4つ以上の欠陥線平面）を有する面取りの図である。

10

#### 【0076】

レーザ切断縁部に縁部仕上げを施して、レーザ切断及び分離を受ける領域の縁部に残存する損傷を除去してよい。少なくともいくつかの実施形態によると、レーザ切断によって調製された基板の縁部強度は、縁部仕上げ中に、適合性が高い摩碎縁部仕上げホイール（本明細書では研磨ホイールとも呼ばれる）を用いることにより、大幅に増大させることができる。適合性（バルク弾性率0.1～5GPa）の摩碎研磨ホイールの使用により、（例えば、加工物の平行な基板表面及び基板縁部によって形成される角部上にこのような除去を集中させる）部分延性方式での材料の除去が行われる。これを実施する際、縁部強度及び衝撃損傷耐性は、部分延性方式の材料除去によって（部分延性方式縁部仕上げにおける破碎力学によって決定されるような）表面下損傷を低減することによってのみならず、応力集中点（即ち平行な基板表面と基板縁部との間に形成される角部）の角を落とすことによってこれらを打ち消すことによって、上昇する。いくつかの実施形態では、研磨ホイールは、適合性固定摩碎縁部仕上げホイールである（摩碎材がポッティングされており、移動しない）。いくつかの実施形態では、研磨ホイールは適合性摩碎縁部仕上げホイールであり、摩碎材は外部から送達され、固定されていないが、研磨ホイールは、摩碎材を担持することにより、摩碎縁部仕上げを提供する。これらの実施形態では、研磨ホイール本体は依然として、0.1～5GPaのバルク弾性率に適合している。いくつかの実施形態では、研磨ホイールは適合性固定摩碎縁部仕上げホイールであり、追加の摩碎材が外部から送達され、上記摩碎材を担持することによって摩碎縁部仕上げを提供する。このような実施形態の研磨ホイール本体は依然として、0.1～5GPaのバルク弾性率に適合している。

20

30

#### 【0077】

従って、一実施形態によると、本方法は、所望の縁部仕上げを提供するための特定のタイプ、サイズ、濃度及び摩損度を有するある量の摩碎材を担持する、軟質の（金属又はセラミックでない）摩碎性結合材料を特徴とする構造によって適合性となった適合性固定摩碎ホイール100（本明細書では研磨ホイール又は仕上げホイール100とも呼ばれる）を採用した、定力縁部仕上げプロセスを利用する。上記結合材料は例えばポリマー材料であってよい。1つ又は複数の適合性固定摩碎ホイール100は、上記ホイールを高速で回転させると同時に、仕上げを施そうとする1つ又は複数の基板縁部に上記ホイールを接触させることができるものである。ホイール100を格納する上記装置によって横方向の力が印加され、これにより、1つ又は複数のガラス基板（加工物）の縁部は適合性ホイールに完全に押し付けられ、これにより、先進切断技術によって形成された1つ又

40

50

は複数の基板縁部プロファイル上の応力集中点の角を落としてこれを打ち消すことができる。当然のことながら、適合性ホイール100の形直し及び目直しが実施される。

### 【0078】

より具体的には、本明細書において言及する場合、「適合性( *compliance* )」は、縁部仕上げ過程で発生するに従って、空気シリンダ、単なるばね又は他の同様のデバイスといった外部ソースによって送達され、かつ代表的な基板縁部等の定義された接触領域を通して伝達される、横方向の力に対する固定仕上げホイールの相対的機械的耐性を指す。ある例示的実施形態では、典型的な矩形基板縁部を模して設計された試験プローブを通して上記固定仕上げホイール構造に圧縮力を送達するよう設定された、市販の *Ins tron* ( モデル番号 5500R ) 試験システムを採用して、適合性を定量した。ホイールは垂直に設置され、プローブはホイールの外径においてホイールの表面に接触させられ、これによってホイールに対して径方向に圧縮力を印加できる。適合性摩碎ホイール100はこのような試験において、縁部プローブによって径方向に伝達される圧縮応力に対して、比較的低い初期耐性を示し、従って基板縁部が固定ホイール材料にかなり貫入できる。本明細書に記載のいくつかの実施形態によると、研磨ホイールは適合性である。即ち研磨ホイールは、0.1 ~ 5 GPa ( 例えは 1 ~ 4 GPa 又は 2 ~ 4 GPa ) のバルク弾性率を有する。本明細書に記載のいくつかの実施形態によると、研磨ホイールは適合性であり、従って、1ミリメートルのプローブ延長分 ( ホイールへの貫入に実質的に等しい )において、上記適合性ホイールがもたらす耐性は 10 kgf ( 9.81 N ) 以下、例えは 0.1 ~ 6 kgf ( 0.98 ~ 58.8 N ) ( 乾燥状態、潤滑剤の適用なし ) である。例えは図 11A では、1ミリメートルのプローブ延長分 ( ホイールへの貫入に実質的に等しい )において、上記適合性ホイールがもたらす耐性は 3.73 kgf ( 36.58 N ) であることが確認できる。しかしながら図 11B からは、非適合性 ( ただし容易に摩碎される ) の従来のガラス質 ( V2 型 ) 研磨ホイールにおける同一のプローブ延長分は、36 kgf ( 353.0 N ) を超える耐性を生成することが確認でき、これは図 11A に対応する適合性ホイール100の実施形態の耐性の約 10 倍であり、またこのような非適合性ホイールは、切断縁部に 10 倍の力で適用しなければならず、このような大きな力は、基板の損傷、表面下割れの伝播、及び過剰なホイールの摩耗につながり得る。この実施形態で利用される適合性ホイール100は、合成ダイヤモンドを含んでいたが、酸化セリウム、酸化ジルコニア、炭化ケイ素等の他の摩碎材料タイプも採用してよい。この実施形態で使用される固定摩碎ホイール100の摩碎粒子サイズは、光学顕微鏡によって 5 ~ 10  $\mu$ m であると決定され、2.5 ~ 5 % の体積濃度で存在していた。しかしながら、この方法を用いた縁部仕上げは、これらの摩碎材サイズ及び濃度範囲に限定されない。広範な摩碎摩損度 ( 相対韌性 ) において、2.5 ~ 50 % の体積濃度の範囲の濃度で 0.1 ~ 100  $\mu$ m の摩碎粒子サイズを採用することもできる。更にこの例示的実施形態では、摩碎材の摩碎韌性は、上部範囲の韌性である ( 摩損しにくい ) と考えられ、順序尺度で MBG620 ~ 660 の範囲であると考えられる。しかしながら、MBG600 ~ MBG680 の摩損度を有する摩碎材を、この縁部仕上げ実施形態を構成する固定適合性ホイールの設定において使用してよく、適合性摩碎ホイール100は、幅広い摩碎材料 ( 即ち天然ダイヤモンド、合成ダイヤモンド、ジルコニア、酸化セリウム、炭化ケイ素及びその他多数 ) を利用してよい ( 又は幅広い摩碎材料から作製してよい )。上述のように、1つ又は複数の適合性固定摩碎ホイール100は、上記ホイールを高速で回転させると同時に、仕上げを施そうとする1つ又は複数の基板縁部に上記ホイールを接触させることができる装置に取り付けられる。ホイール回転速度を用いて、縁部仕上げ中に基板 ( 又は加工物 ) 縁部に対する摩碎ホイールの接触の率を付与 ( 及び測定 ) する。ホイール速度は典型的には 1 分あたりの回転数として測定されるが、個々の摩碎粒子が仕上げを施されている基板と成す接触の回数として表される基板縁部との摩碎材の相互作用も重要である。この接触の率は、1 分あたりの表面のフィート ( 又はメートル ) 数等の線形の率として表される。この例示的実施形態では、加工物の縁部研磨は、ホイール速度 500 ~ 6000 rpm で回転する直径 101.6 mm の適合性仕上げホイール100を用いて達成され、159.6 ~ 191

10

20

30

40

50

5.2 s m p m ( surface meters per minute : 1 分あたりの表面のメートル数 ) の線形接触率が得られた。出願人は、より高いホイール速度 ( 及び従って線形表面接触率 ) 、例えば約 7 0 0 0 r p m 又は 2 2 3 4 s m p m に近いホイール速度が、材料の除去及び基板縁部の表面下損傷を低減する上でより効果的であると考えている。更に、選択された仕上げホイールに対して機械的支持を提供することにより、最高ホイール動作速度を上昇させてよい。例えば、この実施形態を構成する適合性摩碎性ホイールは、1 0 1 . 6 mm の直径サイズで供給される場合には、7 0 0 0 r p m の最高動作速度 ( maximum operating speed : M O S ) を有する。しかしながら、このホイールの内径を例えば鋼又はセラミック圧入フランジで補強すると、M O S を有意に上昇させることができた ( > 8 0 0 0 r p m ) 。上述のように、この実施形態によると、ホイール 1 0 0 を格納する上記装置によって横方向の力が印加され、これにより、1 つ又は複数の基板縁部は適合性ホイールに完全に押し付けられ、これにより、先進切断技術によって形成された 1 つ又は複数の基板縁部プロファイル上の応力集中点の角を落としてこれを打ち消すことができる。この実施形態では、横方向の力の量は、高速 ( 1 0 0 0 0 r p m ) 空気軸受スピンドルを備えた研削システムを用いて測定され、上記スピンドルは、動作中にスピンドルの空隙を測定して記録できるように設置されたキャパシタンスゲージを有する。スピンドルの軸受自体が極めて高い剛性を有し、従ってその変形の大きさは無視できるため、スピンドル空隙の大きさの変化は、スピンドルの変形に正比例すると推定できる。従って、動作中に測定されたスピンドルの空隙の変化は、基板を仕上げホイールに押し当てるこによって付与される横方向の力の結果と考えることができる。この装置及び方法を用いると、横方向の力を、関心対象の縁部仕上げ条件の範囲全体に亘って測定できる。ある例示的実施形態では、横方向の力の範囲は、7 . 2 ~ 1 3 . 6 N であると測定された ( 加工物の寸法は 4 4 mm × 6 0 mm であった ) 。しかしながら、より大きい加工物に対してより大きい横方向の力を利用できる。例えば、代表的なタブレットのサイズにサイズ設定された 3 5 . 5 6 c m の対角線を有するパーツは、典型的な 4 4 mm × 6 0 mm にサイズ設定されたサンプルパーツに比べて、真空チャックに接する面積が 30 倍超である。より具体的には、タブレットのサイズにサイズ設定されたパーツをその真空チャックから移動させるためには、相当に大きい横方向の力が必要となり、従って、より大きいパーツ又は加工物は、仕上げ中に移動される、損傷する又は破壊されるまでに、遙かに大きい横方向の仕上げ力に耐えることができる。また、縁部仕上げにおいて基板の縁部に印加される横方向の力の量は、縁部プロファイルの幾何学的形状に対して調整する必要がある。例えば、直角に縁部形成されたプロファイル又は垂直に対して小さな角度の面取りを施されたプロファイル ( 図 1 2 A ~ 1 2 B 参照 ) は、遷移角部 ( 基板の平坦表面に形成される ) の角を効果的に落とすための、縁部仕上げ中の適合性ホイール内への貫入を、垂直に対してより大きな角度のプロファイル ( 図 1 2 C ~ D 参照 ) を担持する基板が必要とするほどには必要としない。化学強化後の縁部強度を最大化するという目的を達成するために、全ての応力集中領域に効果的に仕上げを施すことが重要である。縁部面取り角度射影を作製し、これらの交差部と遷移角部によって形成される平面との間の距離を計算すると、縁部仕上げ中の最適なホイールの貫入の良好な初期推定を実施できる。垂直に対する面取り角度が増大するにつれて、仕上げ中にホイール内に突出するパーツ縁部の侵入は増大すると予測できる。例えば面取り角度が垂直に対して 1 5 ° である場合 ( 図 1 2 B 参照 ) 、パーツ縁部は、遷移角部の角を高速で落とす場合にホイールに ~ 9 3 . 7 8 μ m だけ侵入する。本推定方法によると、面取り角度が垂直に対して 4 5 ° である場合 ( 図 1 2 C 参照 ) 、推奨されるホイール内へのパーツ縁部の侵入は 3 5 0 μ m まで増大し、面取り角度が垂直に対して 6 0 ° である場合 ( 図 1 2 D 参照 ) 、推奨されるホイール内へのパーツ縁部の侵入は 6 0 0 μ m を超える。縁部仕上げ中の仕上げステージへの冷却剤の適用は、好みしくは、上述のような縁部仕上げを実行するために使用される仕上げプラットフォーム上にあるマルチポート冷却剤リング送達システムを用いて実施される。例えばこの実施形態では、ニューヨーク州ヒックスヴィルの Universal Photonics Incorporated が市販している BlueKool 冷却剤を混合し ( 清淨 10 20 30 40 50 )

な飲用水中で濃度 3 % の Blue Kool ) 、これを 1 分あたり 1 ~ 10 ガロン ( 3 . 79 ~ 37 . 9 リットル ) の速度で、マルチポート冷却剤送達リング組立体を通して仕上げステージへと適用する。しかしながら、広範な濃度の広範な切断用流体を、この目的で採用してよい。機械用軽油、他の合成冷却剤 ( 例えばニュージャージー州バークレーハイツの Oakite Chemical が製造している Sabre lube ) 、及び更には清浄な水といった切断用流体も、冷却剤として使用してよい。本実施形態に記載の様式での縁部仕上げは、いずれの冷却剤の不在下でも実行してよく、即ち、適合性ホイール 100 のような適合性摩碎ホイールを用いて、乾燥した縁部を研磨する。適合性ホイール 100 の形直しは、縁部仕上げにおいて一般的に受け入れられている慣例に従って実施できる。本実施形態では、適合性ホイール 100 は、適切な研削プラットフォーム上で注意深くバランスを取ったスピンドル ( 5 マイクロメートル以内でバランスを取ったもの ) 上に設置され、カーバイド製工具を、横方向の力を制御下で印加しながらホイールの外径に接触させ、これにより、曝露された仕上げホイールが研削スピンドルの回転軸と同心となるまで、ホイールの真円から外れた部分を優先的に摩碎した。第 2 の実施形態では、( 上述のような ) レーザによる切断又は分離後の加工物に、適合性摩碎性固定摩碎複合体ホイール 100 ' を用いて縁部仕上げを施し、即ち上記ホイール 100 ' は、複数の摩碎性層、部分又はパーティを有する複合体ホイール構造を有してよい。このようなホイール 100 ' を構成するために使用される摩碎性パーティ ( 又は例えば層 ) の数は、エンドユーザが所望する縁部仕上げの分散の分解能によって決定されることになる。このような複合体ホイール構造の各摩碎層 ( 又はこれらの層のいくつか ) は、摩碎材の特性 ( タイプ、サイズ、濃度、摩損度、結合、混合 ) 、寸法特性 ( 厚さ、直径、形状 ) 及び物理的特性 ( 硬度、摩碎性、適合性 ) によって異なってよく、適用可能な場合は各特性に傾斜を付与する。パーティの加工条件、及び加工条件に関連する範囲は、上述の実施形態と同様である。しかしながらこの実施形態では、上述のような適合性固定摩碎ホイールを用いた、部分延性方式での研削の便益が増大する。即ちこの複合体固定摩碎ホイール構造は、材料の除去及び仕上げ動作を、機械加工される基板の異なる複数の領域に分散させることができるように設計及び製作してよい。例えば固定摩碎仕上げホイールを、縁部プロファイル及び幾何学的形状を好適なものとするために、仕上げ動作を基板縁部の異なる複数の領域に分散するよう設計された、摩碎材のタイプ、摩碎材のサイズ、摩碎材の摩損度、摩碎材の濃度、結合剛性及び更には直径 / 形状因子がそれぞれ異なる複数の層を担持するよう構成してよい。例えば、直角な縁部のプロファイルを生成できるように、レーザを用いて切断された基板

、即ち面取り又は斜角を有しないものの、基板の平行な表面に対して垂直な縁部のみを有する基板を考える。このような基板が、切断された表面に亘って均一な量の損傷を担持すること、ただし直角に切断された縁部と基板の平行な表面とによって形成される角部に材料の除去を集中させることによって、角が落とされた縁部プロファイルを形成することが望ましいことを考える。最も簡潔なケースでは、これは、図 13 A に示すように配向されてしまわりと所定の位置に取り付けられた 3 つの構造からなる、複合体ホイールを用いて達成してよい。図 13 A は、複合体固定摩碎研磨ホイールを示し、また、得られる縁部プロファイルを好適なものとするために仕上げ動作を集中させるために使用される、異なる複数の結合材料、摩碎材及び形状因子を、ホイールの設計がどのように利用するかを示す。

#### 【 0079 】

より具体的には、図 13 A に示す 3 層複合体固定摩碎研磨ホイールは、角部に仕上げ動作を集中させるよう設計され、これは、所望の縁部プロファイルを生成するため並びに縁部衝撃耐性及び曲げ強度を最大化するために必要であると考えられる。この構造は対称性であり、即ち「強進行性領域 ( aggressive zone ) 」と標識された層は、複合体構造の各側部において同一であり、ホイールのコアの材料のみが異なっている。

#### 【 0080 】

第 3 の実施形態では、レーザ切断縁部に、固定された摩碎材を有する又は有しない、ただし問題となる縁部仕上げ界面に対して好適な速度である量の遊離した摩碎材を送達する

10

20

30

40

50

、適合性摩碎性ホイール 100 ”を用いて、縁部仕上げを施してよい。固定ホイールは上述の実施形態（即ち適合性ホイール 100 ）において記載したように適合性であり、また同一の摩碎材のタイプ、濃度及び摩損度の、ある量の摩碎材が装填されていてよい。この実施形態では、縁部仕上げは、ある量の固定された摩碎材を担持する軟性摩碎性ホイール本体（即ち適合性ホイール 100 と同様）を特徴とする一方で、動作中に基板とホイールとの間の界面に遊離した摩碎材を送達できる手段を備える構成（図 13 B 参照）によって適合性となったホイール 100 ’’を採用した、定力縁部仕上げプロセスを利用して実施される。上記遊離した摩碎材は、ポンプ又は他のいずれの同様のデバイスを用いて基板固定ホイール界面に送達される、10100 マイクロメートルの範囲の小さな摩碎粒子の懸濁液の形態であってよい。遊離した摩碎材は、爆発合成ナノダイヤモンド粉末の場合のように、粒径が極めて小さく、極めて高い摩碎の完全性及び相対韌性（摩損度）を有してよく、又は単結晶ダイヤモンド粉末若しくは金属結合ダイヤモンド粉末の場合のように、遙かに大きくかつ相当に高い摩損度を有してよい。遊離した摩碎材は、適切に狙いを定めた濃縮した流れの形態で、基板 ホイール界面へと直接配向してよく、又はこの形態の摩碎材料を受承及び分散できる 1 つ若しくは複数の回転ユニオン及び 1 つ若しくは複数の流体チャネルを備えた研削スピンドルを用いて、ホイールのコアを通して上記界面へと送達してよい。遊離した摩碎材は濃縮した形態で送達してよく、又は摩碎材と仕上げの対象となる基板表面との必要な接触が可能となるように好適に希釈してよい。遊離した摩碎材はまた、適合性ホイール構造内へと押しやられ、高速回転（500 ~ 10000 r p m ）による支援によってホイール構造を通って流れて、目標とする基板表面と接触できるよう、供給してもよい。遊離した摩碎材はまた、縁部仕上げ動作の分散を更に増強するために、複合体ホイール構造の個々のセクションへと送達してもよい。例えば図 13 B に示すように、本出願において概説された実施形態による基板レーザ切断の縁部処理の目的が、基板の角部に仕上げ動作を集中させることである場合、より強い進行性を有する遊離した摩碎材（即ち摩碎材のサイズ、濃度及び韌性がより高い）を、ホイール断面の外側領域に配置されたスラリー経路へと吐出してよく、より微細で進行性が弱い遊離した摩碎材（即ち摩碎材のサイズがより小さく、濃度がより低く、摩損度がより高い）を複合体構造のコアの中心へと配向してよい（図 13 B 参照）。固定摩碎ホイール複合体構造の寸法、材料及び物理的特性並びに遊離した摩碎材の特性のいずれの組み合わせを用いて、分散性の部分延性方式での縁部仕上げをこの様式で実行できる。

#### 【 0081 】

本実施形態において、縁部仕上げプロセスのパラメータ及び上記パラメータに関連する動作範囲は、上述の実施形態においてと同様であり、以下に例示的な動作範囲と共にまとめる。

#### 【 0082 】

ホイール速度 500 ~ 10000 r p m いくつかの実施形態では 500 ~ 8000 r p m 、例えば一実施形態では 6000 r p m (1915 s m p m )

ホイール直径 50.8 ~ 203.2 mm 例えば一実施形態では 101.6 mm

ホイールの準備 高精度スピンドル及びカーバイド製工具を用いた形直し

摩碎材の特性 :

a ) 摩碎材のサイズ 0.1 ~ 100  $\mu$  m 、例えば 5 ~ 10  $\mu$  m

b ) 摩碎材の摩損度 M B G 600 ~ M B G 680 、例えばいくつかの実施形態では M B G 650 ~ M B G 680 ( 例えば M B G 660 )

c ) 摩碎材の濃度 2.5 ~ 50 体積 % 、例えばいくつかの実施形態では 2.5 ~ 5 体積 %

d ) 摩碎材のタイプ タイプは限定されないが、いくつかの実施形態では合成ダイヤモンド

適合性ホイール 100 、 100 ’ 、 100 ”

供給速度（加工物の直線運動） : 2 ~ 10000 mm / min 、例えば 100 ~ 300 mm / min ( 例えばいくつかの例示的実施形態では 254 mm / min )

10

20

30

40

50

冷却剤を利用する場合の例示的な冷却剤流量 1 ~ 10 g p m (ガロン / 分) (3.79 ~ 37.9 リットル / 分)、例えば ~ 5 g p m (18.95 リットル / 分)

例示的な冷却剤送達法 例えば：(例えばノズルを介した) 高圧によって配向された又は制御された流出

冷却剤の組成 なし、又は水、又は軽油、いくつかの実施形態では、水中の 3 % B 1 u e K o o 1 冷却剤

切断の深さ (横方向の力) : 0.1 ~ 100 N、例えば 10 ~ 20 N 例えば 13.6 N。

#### 【0083】

この技術は、以下の利点のうちの 1 つ又は複数をもたらす：

1. 正確なレーザ切断技術及びこれに続く適合性縁部仕上げホイール 100、100' 又は 100" を用いた機械的加工と、上述の定力研磨との組み合わせは、全ての縁部研削加工ステップ及び殆どの後続の縁部研磨ステップの必要を排除し、これによって、縁部仕上げ加工を単一のステップまで削減して、対応するサイクル時間及び関連する費用を削減する。

#### 【0084】

2. 上述の定力研磨は、矩形基板を加工する場合は基板角部の高品質の研磨を可能とし；定力研磨は、角部等の遷移点においてさえ、基板縁部への仕上げホイールの良好な接触を可能とし、これによってパーツ周縁部の周りの縁部仕上げの一貫性を改善する。

#### 【0085】

3. 本明細書に記載のレーザ切断に続く縁部仕上げは、高価で機械的に剛性の、高精度の研削プラットフォームの使用を必要としないが、既存の市販の研削プラットフォームをホイール 100 と共に使用してこの縁部仕上げを実施してもよい。

#### 【0086】

4. 本実施形態の適用により、研磨後の化学強化 (即ちガラスをホイール 100 で研磨した後にイオン交換した) 後の、800 MPa を超える縁部強度が実証された。具体的には、基板の平坦部分が目標の縁部プロファイルへと遷移する点においてさえ、応力集中点が除去される。例えば一実施形態では、本明細書に記載の様式での縁部仕上げによる、4 ~ 8 μm の材料除去により、(イオン交換後に) IOX 後の B10 強度が 15 % (659 MPa B10 から 761 MPa B10 へと) 上昇し、IOX 後の最大縁部強度が 32 % (720 MPa から 950 MPa へと) 上昇した。

#### 【0087】

5. パーツを正味の形状に近づくように高精度で切断するため、本方法によって寸法制御が大幅に改善される。縁部仕上げは、角を落として応力集中点を除去するためにのみ必要であるため、除去は小さく、有意な寸法変化のリスクがほとんどない。

#### 【0088】

6. 本明細書に記載の実施形態の方法による縁部仕上げは、脆性破断方式の研削ではなく、大半が部分延性方式の仕上げにおいて実施されるため、ブロックの欠けが、基板縁部上の平坦な平行表面 (前面及び背面) が縁部斜角形状へと遷移する点において発生しない。

#### 【0089】

7. 本実施形態の方法による縁部仕上げは、脆性破断方式の研削ではなく、大半が部分延性方式の仕上げにおいて実施されるため、縁部プロファイルの一貫性が、縁部仕上げによってではなく、より一貫した、信頼性の高いレーザ切断及び面取り方法によって規定される。研削溝における基板縁部の良好でない位置合わせは、従来の縁部仕上げの方法に比べると遙かに問題にならなくなる。

#### 【0090】

より具体的には、上述のようにレーザを用いて実施される切断に続いて、いくつかの実施形態によると、切断されたガラス基板 (加工物) は所定の位置に設置され、ホイール 100、100'、100" によって縁部研磨を施される。この実施形態により、定力研磨

10

20

30

40

50

の実装によって縁部研磨を高速で実施できる。縁部研磨ステップは、切断表面に完全な仕上げを施し、また本実施形態では、追加の機械的研削又は研磨ステップを用いずに実施される（即ちこのプロセスは、最終的な研磨を生成するために、複数の研削及び研磨ホイール、並びに／又は機械的研削と、これに続く、（粗いものから微細なものまで）異なる摩碎特性を有する複数のタイプの研磨ホイールを用いた後続の研磨ステップとを使用する必要がない）。

#### 【0091】

本明細書に記載の装置では、（上述のレーザ系によって）加工されるガラス基板は、回転が可能なチャック及び1つ又は複数の縁部仕上げホイールの上に設置され、スピンドルは、摩擦が略無い直線状のスライドに取り付けられる。空気シリンダを採用して、回転する仕上げホイールを、研磨の対象のガラス基板の縁部へと付勢し、ホイールに対する一定の横方向の力を維持する。上記空気シリンダは、大きくストロークできるよう設計され、このような大きなストロークにより、全ての発生し得るホイールの摩耗を補償でき、これによって基板縁部に対して一定の研磨力を維持できる。ピコ秒レーザによって加工されるガラス基板自体は、上記ガラス基板が真空によって取り付けられているチャック上において、目標とする直線状の縁部仕上げ供給速度に適合するよう設計された速度で回転させられる。このようにして、基板縁部は定力供給研磨ホイール内へと供給され、基板縁部と仕上げホイールとの間には、角部等の遷移点においてさえ、良好な接触が維持される。図14は、適合性研磨ホイール100、100'、100"を利用した定力研磨装置の一実施形態を概略的に示す。図15Aは、図14の装置において利用される、レーザ切断ガラスを機械的に加工するために利用される適合性ホイール100の一実施形態を示す。

10

20

30

#### 【0092】

本発明の一実施形態では、正味の形状に近い形状に切断された「Gorilla」ガラス基板に、本発明を構成する方法を用いて縁部仕上げを施した。基板は、上述のレーザ加工方法を用いて、矩形の形状因子へとレーザ切断された、厚さ0.70mmの2320「Gorilla」ガラス材料であった。これらのガラス基板（サンプル）を製造する際、1064nmピコ秒レーザ切断システムを、切断速度200mm/secで動作させた。

#### 【0093】

この実施形態では、ガラス基板を、縁部処理中の基板表面に対する損傷を防止するため軟質プラスチックカバーを担持する、アルミニウム真空チャック上に設置した。チャックを通して真空を引き、基板をチャックに強固に付着させ、仕上げ中に所定の位置に保持する。市販の固定摩碎研削ホイール製品を用いて、縁部研磨を上述の様式で実施した。本実施形態において選択される縁部仕上げホイールは、図15Aに示すダイヤモンド研磨ホイールであり、これは図15B～15Eの顕微鏡画像に対応し、図16に示す摩碎材サイズを有する。使用される例示的なホイール100の物理的寸法は、以下の通りである：

30

外径4.0インチ(101.6mm)

内径1.25インチ(31.75mm)

厚さ0.25インチ(6.35mm)。

#### 【0094】

本実施形態の場合にこのホイールを用いた研磨のために利用したプロセス条件は、以下の通りであった：

40

・スピンドル速度=6000rpm、～6283spm(1915spm)の動作が得られる

・直線状パーティ供給速度=10インチ/分(254mm/分)

・切断の深さ=1つのパーティに対して1サイクルあたり0.001インチ若しくは25.4μm、又は13.6Nの定力

・冷却剤の流れパターン=激しく流れる冷却剤

・冷却剤流量～2～10gpm(例えば5gpm)

・冷却剤製品=Buekool

・冷却剤濃度=水中で3～5%

50

・研削プラットフォーム = H U R C O M X 2 4 M a c h i n e S y s t e m  
 摩碎適合性ホイール（本明細書では研磨ホイールとも呼ばれる）100、100'、100"を用いた切断の所望の深さは、パーツを公知の縁部プロファイルに研磨し、研磨後にこれらのパーツを点検して、縁部の頂点だけでなく基板表面と縁部プロファイルとの間の遷移点における研磨の効果を評価することによって決定した。

【0095】

ホイール100は以下の理由で選択した：

1. ホイール100は、上記ホイールへの基板の適度な押圧力をもたらし、これにより基板縁部の完全な侵入（前面と背面とが重なる）が得られた；

2. ホイール100は、基板を製造するために使用されるレーザ切断プロセスによって形成された鋭い角部遷移点を削減した。これらの鋭い角部遷移点は、研磨中に、全ての問題となる領域においてホイール100によって角を落とされた；

3. ホイール100は、主として縁部の全ての領域における基板表面下損傷を低減するため、また視覚的に魅力的な基板縁部を製造するために十分な、摩碎材タイプ、サイズ及び濃度を有する。

【0096】

図17は、ホイール100による適合性ホイール研磨によって達成された例示的な縁部強度性能を示す。図18A及び18Bは、それぞれ図15Aのホイール100による機械的研磨の前及び後の、レーザ切断基板縁部のA p e x M i c r o s c o p e 画像である。図19A及び19Bは、それぞれ一実施形態によるホイールによる機械的研磨の前及び後の、レーザ切断基板縁部のA p e x M i c r o s c o p e 画像である。図20A及び20Bは、それぞれ別の実施形態によるホイールによる機械的研磨の前及び後の、レーザ切断基板角部のA p e x M i c r o s c o p e 画像である。これらの図が示すように、レーザ切断縁部をホイール100で研磨することによって、視覚的に魅力的な、透明の、光沢のある縁部表面が製造された。ホイール100による材料の除去は少なく、即ち2~10 μmであり、いくつかの実施形態では約4~8 μmであった。レーザ切断縁部プロファイルは、大幅に角が落とされたことが観察されるレーザ切断角部により、かなり平滑化された。縁部強度の改善は、レーザ切断しただけのパーツ全体に亘って増大したことが観察された（図17参照）。

【0097】

方法1のピコ秒レーザ穿通部分を上記機械的加工（ホイール100による研磨）と併用して、面取りプロファイルを生成した。このプロセスは透明材料、例えば薄型ガラス（例えば<2 m）又は湾曲したガラスに適用でき、得られるガラスは強靭な縁部を有し、また極めて高品質である。イオン交換によって生成される応力プロファイルは、穿通された縁部を解放する。

【0098】

上述の方法は、レーザ加工性能の向上及びコスト節減、並びにこれによるより低いコストでの製造へつながり得る、以下の便益を提供する。本実施形態において、切断及び面取りプロセスは、以下をもたらす：

面取りされた縁部を有する、面取りされた又は完全に切断されたパーツ：本開示の方法は、「G o r i l l a」ガラス及び他のタイプの透明ガラスを、清浄かつ制御された様式で完全に分離／切断できる。完全な分離及び／又は縁部面取りは、2つの方法を用いて実証された。方法1では、面取りされた縁部を有するガラスマトリクスからパーツが適切なサイズに切断され、又は分離され、原則として更なる後続加工は行われない。第2の方法では、パーツは既に適切なサイズに切断され、穿通され、I O X プロセスを用いて縁部が面取りされる。

【0099】

表面下欠陥の削減：方法1では、レーザと材料との間の超短パルス相互作用により、熱的相互作用がほとんど存在せず、従って、望ましくない応力及び微小割れをもたらし得る熱の影響を受ける領域が最小となる。更に、レーザビームをガラスに集束させる光学部品

10

20

30

40

50

は、典型的には直径 2 ~ 5 マイクロメートルの欠陥線をパーツの表面に生成する。分離後、表面下損傷は  $< 30 \mu\text{m}$  ものの小ささとなり得る。これはパーツの縁部強度に大きく影響し、縁部を更に研削及び研磨する必要が低減される。というのは、これらの表面下損傷は、パーツが引張応力を受けた場合に成長して微小割れへと発展し、縁部の強度を弱める場合があるためである。

#### 【 0 1 0 0 】

プロセスの清浄度：本開示の方法 1 は、清浄かつ制御された様式でガラスの面取りを実施できる。従来の切除プロセスは多量の破片を生成するため、その使用には大いに問題がある。このような切除によって生成される破片は、様々な清浄化及び洗浄プロトコルを用いても除去が難しい場合があるため、問題である。付着したいずれの粒子は、ガラスをコーティング又は金属化して薄膜トランジスタ等を生成する後続のプロセスに関して欠陥を引き起こし得る。本開示の方法のレーザパルス及び誘起される材料との相互作用の特性により、この問題は回避される。というのは、上記相互作用は極めて短いタイムスケールで発生し、レーザ放射に対する材料の透過性により、誘起される熱的影響が最小化されるためである。欠陥線は物体内で生成されるため、切断ステップ中の破片及び付着する粒子の存在は、実質的に排除される。生成された欠陥線に起因するいずれの粒子が存在する場合、これらの粒子はパーツが分離されるまで良好に内包される。

10

#### 【 0 1 0 1 】

##### プロセスステップの削減

新しいガラスパネルから最終サイズ及び形状のガラスプレート又は基板を製作するためのステップは、パネルを切断するステップ、適切なサイズに切断するステップ、仕上げ及び縁部成形ステップ、パーツを目標の厚さまで薄くするステップ、研磨ステップ、並びに場合によっては化学強化ステップまでも包含する複数のステップを伴う。これらのステップのうちのいずれを削除すると、プロセス時間及び資本経費の観点において製造コストが改善される。本明細書で提示した方法は、例えば以下によって、ステップの数を低減できる：

20

- 1 . 破片及び縁部欠陥の生成の低下 洗浄及び乾燥ステーションの潜在的排除；
- 2 . 成形された縁部、形状及び厚さを有する最終サイズへの、サンプルの直接の切断機械的仕上げラインの必要を低減又は排除する（例えば、切断されたパーツに仕上げを施す方法は、追加の研削又は研磨、及びこれらに関連する多大な無価値な追加コストを要しない単一の研磨ステップである。

30

#### 【 0 1 0 2 】

従って、いくつかの実施形態によると、加工物を加工する方法は、以下のステップを含む：

30

( i ) ビーム伝播方向に沿って見てレーザビーム焦線にパルスレーザビームを集束させるステップ；

( i i ) レーザビーム焦線を加工物に向かって、上記加工物への第 1 の入射角で配向するステップであって、上記第 1 の角度は上記加工物の縁部と交差し、レーザビーム焦線は加工物内で誘起吸収を生成し、上記誘起吸収は加工物内のレーザビーム焦線に沿って欠陥線を形成する、ステップ；

40

( i i i ) 加工物及びレーザビームを互いにに対して並進移動させることによって、レーザが加工物内において上記第 1 の角度で、第 1 の平面に沿って複数の欠陥線を掘削するステップであって、各上記欠陥線の直径は  $5 \mu\text{m}$  以下である、ステップ；

( i v ) 上記平面に沿って加工物を分離させ、少なくとも 1 つの切断表面を有するレーザ切断済み加工物を形成するステップ；並びに

( v ) 体積弾性率 0 . 1 ~ 5 GPa の研磨ホイールによってレーザ切断済み加工物の上記切断表面を研磨（即ち縁部仕上げ）するステップ。

#### 【 0 1 0 3 】

いくつかの実施形態によると、加工物のレーザ切断表面は極めて迅速に研磨され、即ち切断表面の縁部仕上げステップ全体、つまり総研磨時間  $t$  は、 $1 \text{秒} < t < 1 \text{分}$  である。い

50

くつかの実施形態によると  $t = 30$  秒であり、またいくつかの実施形態では、レーザで切断された加工物の外側縁部全てに 10 秒で仕上げが施された（即ちレーザ切断縁部は 10 秒以内で研磨された）。研削ホイールによる機械的ガラス研削ステップは全く必要なく、即ち加工物の 1 つ又は複数のレーザ切断表面は、分離又はレーザ切断後に、機械的研削を行わずに、また複数の研削 / 研磨ステップの使用を必要とせずに、1 回の研磨ステップで研磨された。好ましくは、研磨ホイール 100、100' 又は 100" の外径は 40 ~ 250 mm であり、いくつかの実施形態では研磨ホイールの外径は 50 ~ 200 mm であり、またいくつかの実施形態では研磨ホイールの外径は 80 ~ 120 mm である。ホイールの直径は、基板縁部と研磨ホイール 100、100'、100" との間の接触面積を決定する。直径が大きなホイールは、より大きな接触面積（及びより遅い 1 分あたりの回転）をもたらし、比較的厚いガラス片に対してより好ましく、直径がより小さなホイールはより小さな接触面積（及びより多い 1 分あたりの回転数）をもたらし、比較的小さい又は薄いガラス加工物に対して好ましい。好ましくは、研磨ホイール 100、100' 又は 100" は 500 ~ 10000 rpm で回転する。ホイール速度が速くなると、ホイールと加工物との全体的な接触が大きくなる。回転速度が大きいと、摩碎粒子と加工物縁部との間の接触の数が多くなるため、好ましい。いくつかの実施形態によると、研磨ホイール 100、100' 又は 100" は 500 ~ 8000 rpm、例えば 5000 ~ 7000 rpm で回転する。本明細書に記載のいくつかの実施形態によると、研磨ホイール 100、100' 又は 100" は、典型的には 0.1 ~ 100  $\mu\text{m}$  の断面幅を有する複数の摩碎粒子で構成され、上記摩碎粒子の相対韌性（破壊韌性）は 600 ~ 680 MPG（例えば 620 ~ 670 MPG 又は 650 ~ 670 MPG）である。得られるガラス基板は例えば、600 ~ 1000 MPa の縁部強度を有し得る。いくつかの実施形態によると、研磨ホイール 100、100' 又は 100" の外径は 80 ~ 120 mm であり、研磨ホイールは 500 ~ 8000 rpm で回転し、研磨ホイールは複数の摩碎粒子で構成され、上記摩碎粒子の断面幅は 0.1 ~ 100  $\mu\text{m}$  であり、相対韌性（破壊韌性）は 650 ~ 670 MPG であり、摩碎摩損度は MBG 650 ~ MBG 680 である。少なくともいくつかの実施形態によると、まず非強化ガラスを上述のようにレーザ切断して、少なくとも 1 つの面取りされた縁部を生成し、本明細書に開示の実施形態に従って上述のようにホイール 100、100' 又は 100" を用いて縁部研磨し、続いてイオン交換又は化学強化によって、イオン交換後にガラス加工物に 600 ~ 1000 MPa の縁部強度（IOX 後縁部強度）をもたらしたことに留意されたい。従っていくつかの実施形態によると、上記ガラスは高レベル（例えば > 5 重量% 又は 7 重量%、例えば 7 ~ 12 重量%）のアルカリを含有し、またイオン交換可能である。このようなガラスの実施形態は例えば、~ 7 ~ 9 ppm / の CTE、組成中の多量のナトリウム等のアルカリ（これによってイオン交換が可能となる）、及び比較的高い熱拡散率を有する。

#### 【0104】

本明細書に記載の方法によって加工される 1 つの例示的実施形態は、Corning 'Gorilla' ガラス加工物である。

#### 【0105】

他の実施形態によると、ガラスはアルカリ土類ボロアルミノシリケートガラス複合体（アルカリを少量有するか又は有しない）である。

#### 【0106】

本明細書において挙げられている全ての特許、公開出願及び参考文献の関連する教示は、その全体が参照により本出願に援用される。

#### 【0107】

本明細書では複数の例示的実施形態について記載したが、添付の請求項が包含する本発明の範囲から逸脱することなく、上記例示的実施形態において形態及び細部の様々な変更を実施してよいことは、当業者には理解されるだろう。

#### 【0108】

以下、本発明の好ましい実施形態を項分け記載する。

10

20

30

40

50

## 【0109】

## 実施形態1

加工物を加工する方法であって、以下のステップ：

(i) ビーム伝播方向に沿って見てレーザビーム焦線にパルスレーザビームを集束させるステップ；

(ii) レーザビーム焦線を加工物に向かって、上記加工物への第1の入射角で配向するステップであって、上記第1の角度は上記加工物の縁部と交差し、レーザビーム焦線は加工物内で誘起吸収を生成し、上記誘起吸収は加工物内のレーザビーム焦線に沿って欠陥線を形成する、ステップ；

(iii) 加工物及びレーザビームを互いに対して並進移動させることによって、レーザが加工物内において上記第1の角度で、第1の平面に沿って複数の欠陥線を掘削するステップであって、各上記欠陥線の直径は5μm以下である、ステップ；

(iv) 上記平面に沿って加工物を分離させ、少なくとも1つの切断表面を有するレーザ切断済み加工物を形成するステップ；並びに

(v) 研磨ホイールによってレーザ切断済み加工物の上記切断表面を研磨することによって、加工物を加工するステップであって、上記研磨ホイールの体積弾性率は0.1～5GPaである、ステップ

を含む、方法。

## 【0110】

## 実施形態2

レーザビーム焦線を材料に向かって、上記材料への第2の入射角において配向するステップであって、レーザビーム焦線は材料内で誘起吸収を生成し、上記誘起吸収は材料内のレーザビーム焦線に沿って欠陥線を形成する、ステップ；

材料及びレーザビームを互いに対して並進移動させることによって、レーザが材料内において上記第2の角度で、第2の平面に沿って複数の欠陥線を掘削するステップであって、各上記欠陥線の直径は5μm以下である、ステップ  
を更に含み、

上記分離させるステップは、上記第1の平面及び第2の平面に沿って材料を分離させ、上記レーザ切断済み材料を形成することによって実施される、実施形態1に記載の方法。

## 【0111】

## 実施形態3

ガラス材料をレーザ加工する方法であって、以下のステップ：

ビーム伝播方向に沿って見てレーザビーム焦線にパルスレーザビームを集束させるステップ；並びに

材料内のN個の平面それぞれに関して：

レーザビーム焦線を材料に向かって、上記材料への対応する入射角で配向するステップであって、レーザビーム焦線は材料内で誘起吸収を生成し、上記誘起吸収は材料内のレーザビーム焦線に沿って欠陥線を形成する、ステップ；

材料及びレーザビームを互いに対して並進移動させることによって、レーザが上記N個の平面のうちの対応する平面に沿って複数の欠陥線を掘削するステップであって、各上記欠陥線の直径は5μm以下である、ステップ；

上記加工物にイオン交換プロセスを適用することによって、上記N個の平面のうちの少なくとも1つに沿って加工物を分離させ、レーザ切断表面を有するレーザ切断済み加工物を形成するステップ；並びに

研磨ホイールによって上記レーザ切断済み加工物の上記レーザ切断表面を時間t（ただし1秒 < t < 1分）だけ研磨するステップであって、上記研磨ホイールの体積弾性率は0.1～5GPaである、ステップ

によって、上記N個の平面に沿って複数の欠陥線をレーザ掘削するステップ  
を含む、方法。

## 【0112】

10

20

30

40

50

## 実施形態 4

上記研磨ホイールの外径は 40 ~ 250 mm である、実施形態 1 ~ 3 に記載の方法。

## 【0113】

## 実施形態 5

上記研磨ホイールの外径は 50 ~ 200 mm である、実施形態 4 に記載の方法。

## 【0114】

## 実施形態 6

上記研磨ホイールの外径は 80 ~ 120 mm である、実施形態 5 に記載の方法。

## 【0115】

## 実施形態 7

10

上記研磨ホイールは 500 ~ 10000 rpm で回転する、実施形態 1 ~ 6 のいずれか 1 つに記載の方法。

## 【0116】

## 実施形態 8

上記研磨ホイールは 500 ~ 8000 rpm で回転する、実施形態 7 に記載の方法。

## 【0117】

## 実施形態 9

上記研磨ホイールは複数の摩碎粒子を含み、上記摩碎粒子の断面幅は 0.1 ~ 100 μm である、実施形態 1 ~ 8 のいずれか 1 つに記載の方法。

## 【0118】

20

## 実施形態 10

上記研磨ホイールは複数の摩碎粒子を含み、上記摩碎粒子の相対韌性は 600 ~ 680 MPG である、実施形態 1 ~ 9 のいずれか 1 つに記載の方法。

## 【0119】

## 実施形態 11

上記レーザは、パルス持続時間が約 5 ピコ秒超かつ約 20 ピコ秒未満、バースト繰り返し数が約 1 kHz ~ 2 MHz のバーストパルスレーザである、実施形態 1 ~ 10 のいずれか 1 つに記載の方法。

## 【0120】

30

## 実施形態 12

上記バースト繰り返し数は約 10 ~ 650 kHz である、実施形態 11 に記載の方法。

## 【0121】

## 実施形態 13

上記バーストパルスは、1 バーストあたり 2 ~ 25 パルスを含む、実施形態 11 又は 12 に記載の方法。

## 【0122】

## 実施形態 14

上記レーザの出力は 8 ワット以上である、実施形態 1 ~ 13 のいずれか 1 つに記載の方法。

## 【0123】

40

## 実施形態 15

上記レーザの出力は 10 ~ 100 ワットである、実施形態 1 ~ 14 のいずれか 1 つに記載の方法。

## 【0124】

## 実施形態 16

上記レーザの出力は、加工物材料の厚さ 1 mm あたり 40 マイクロジュール ~ 加工物材料の厚さ 1 mm あたり 1000 マイクロジュールである、実施形態 1 ~ 15 のいずれか 1 つに記載の方法。

## 【0125】

50

## 実施形態 17

実施形態 1 ~ 1 6 の方法によって調製されるガラス物品。

【 0 1 2 6 】

実施形態 1 8

上記ガラス物品は、縁部強度が 6 0 0 ~ 1 0 0 0 M P a の縁部を有する、実施形態 1 7 に記載のガラス物品。

【 0 1 2 7 】

実施形態 1 9

面取りされた縁部は、約 6 0  $\mu$  m 以下の深さまでの表面下損傷を有する、実施形態 1 7 又は 1 8 に記載のガラス物品。

【 0 1 2 8 】

実施形態 2 0

上記ガラス物品は、縁部強度が 6 0 0 ~ 1 0 0 0 M P a の縁部を有する、実施形態 1 7 又は 1 9 に記載のガラス物品。

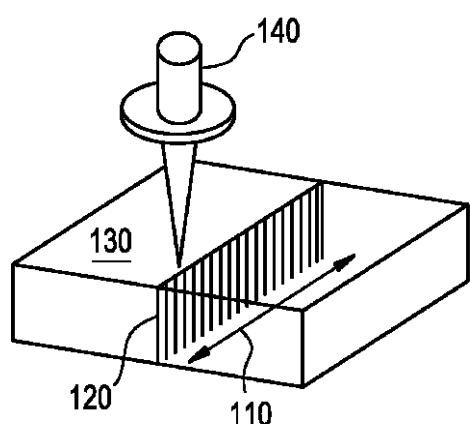
【 符号の説明 】

【 0 1 2 9 】

1	基板	10
1 a	基板の表面	
1 b	基板の反対側の表面	
2	パルスレーザビーム	
2 a	レーザ照射、ビーム束	20
2 a R	辺縁光線	
2 a Z	中央ビーム	
2 b	レーザビーム焦線	
2 c	誘起吸収のセクション	
3	レーザ	
6	光学組立体	
7	両凸面レンズ	
8	開口	
9	アキシコン	
1 0	アキシコン	30
1 1	平凸レンズ	
1 2	コリメートレンズ	
1 0 0	適合性固定摩碎ホイール	
1 0 0 ,	適合性固定摩碎ホイール	
1 0 0 "	適合性固定摩碎ホイール	

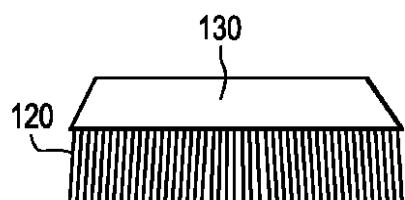
【図 1 A】

FIG. 1A



【図 1 B】

FIG. 1B

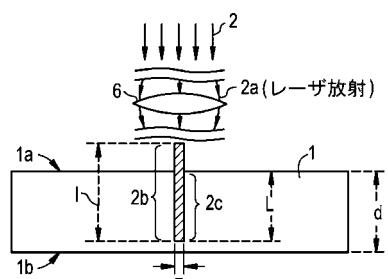


【図 1 C】

FIG. 1C

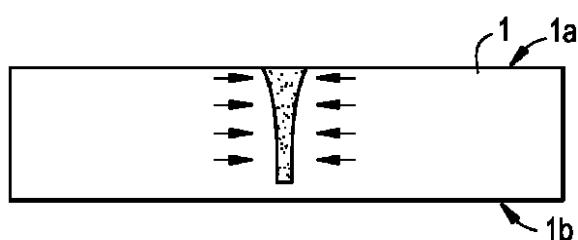


【図 2 A】

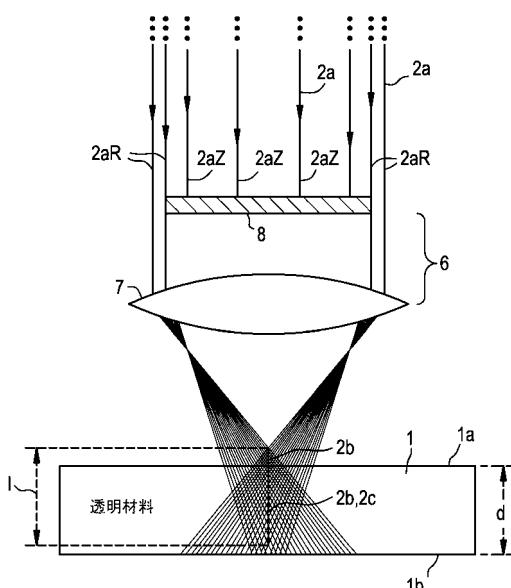


【図 2 B】

FIG. 2B

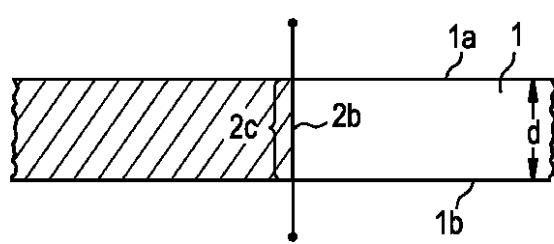


【図 3 A】



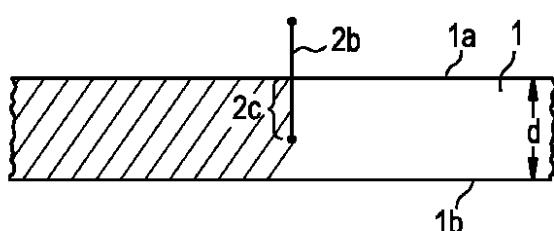
【図 3B-1】

FIG. 3B-1



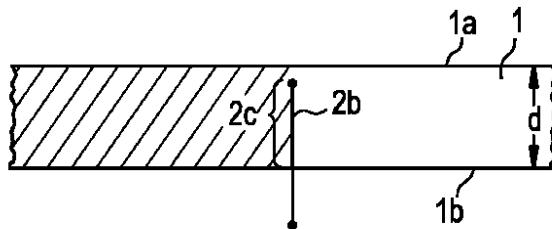
【図 3B-2】

FIG. 3B-2



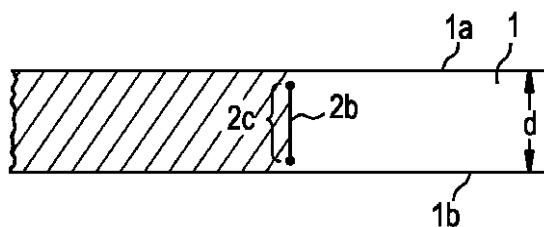
【図 3B-3】

FIG. 3B-3

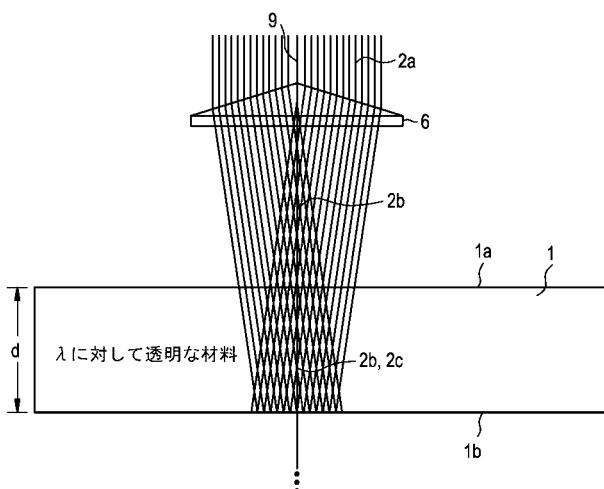


【図 3B-4】

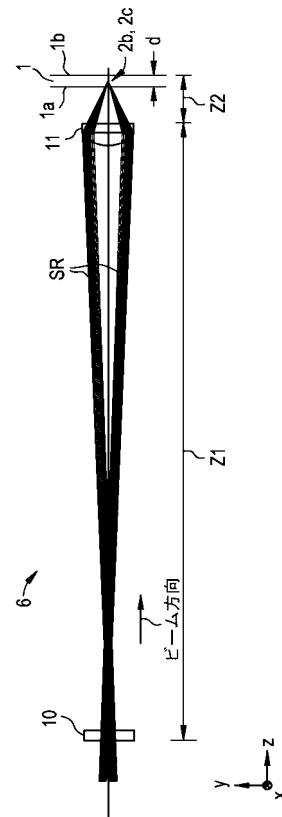
FIG. 3B-4



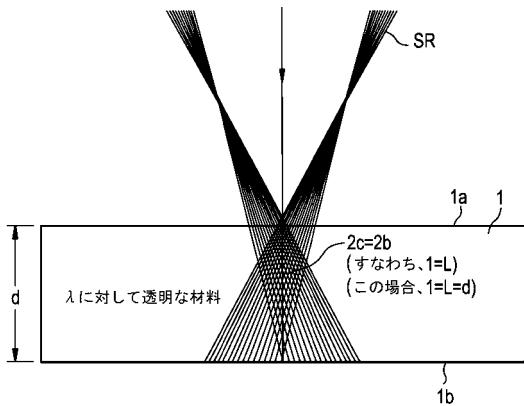
【図 4】



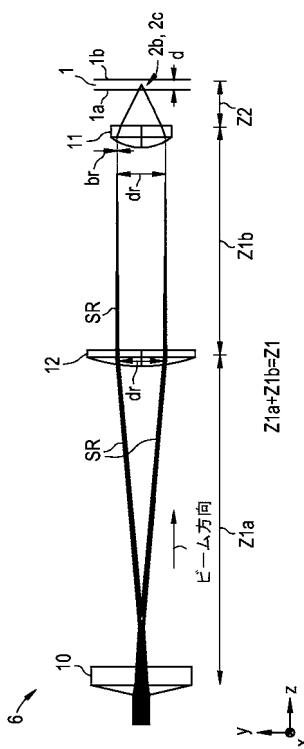
【図 5A】



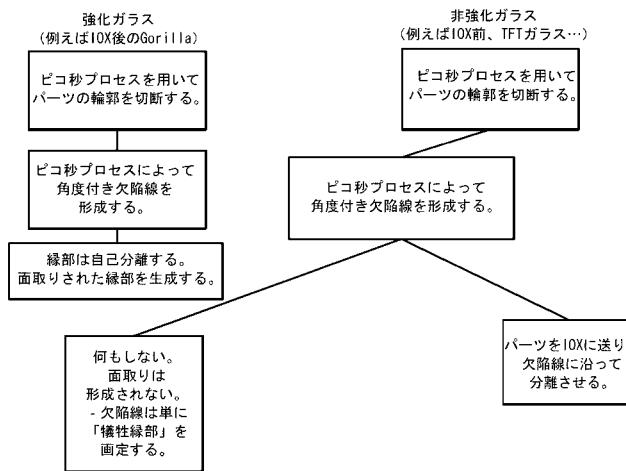
【図 5 B】



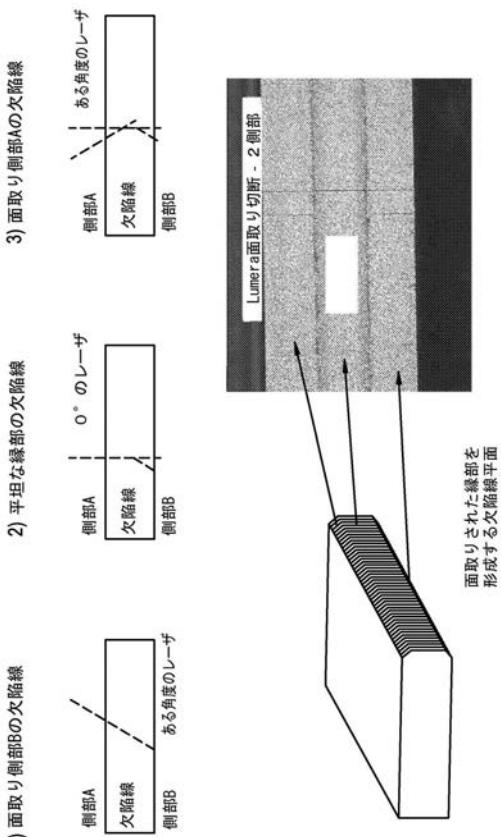
【図 6】



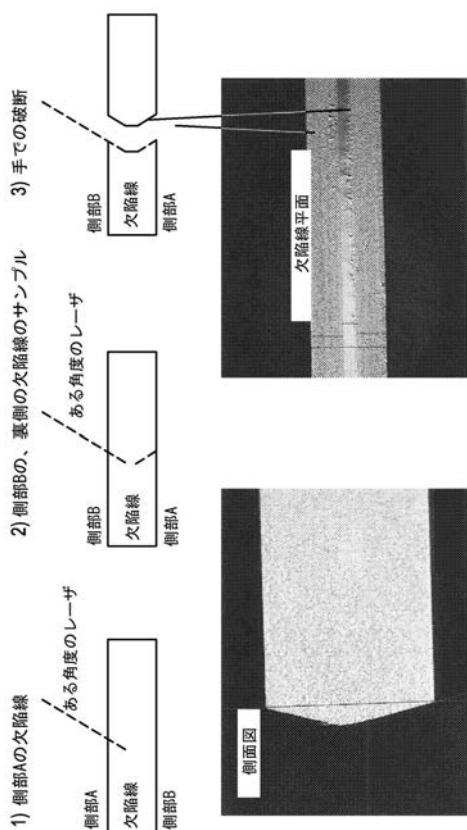
【図 7 A】



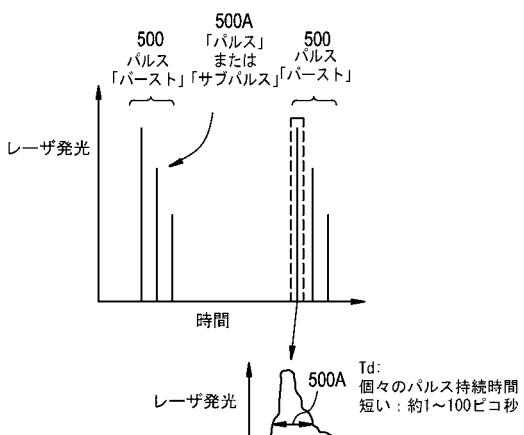
【図 7 B】



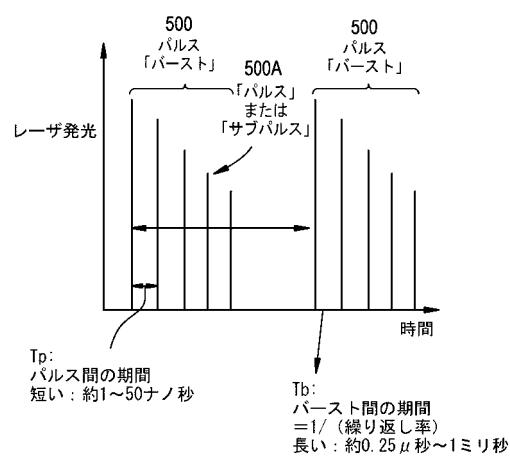
【図 7 C】



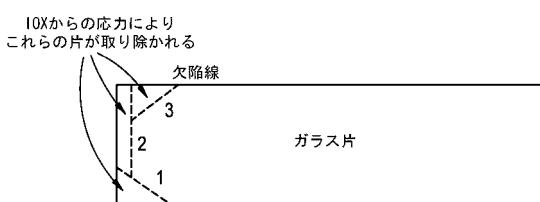
【図 8 A】



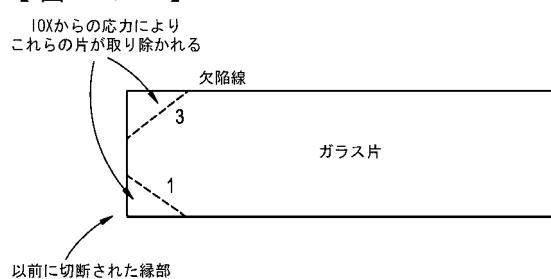
【図 8 B】



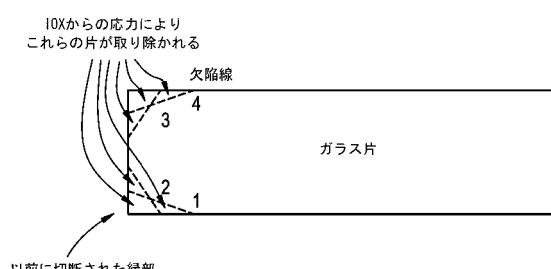
【図 10 A】



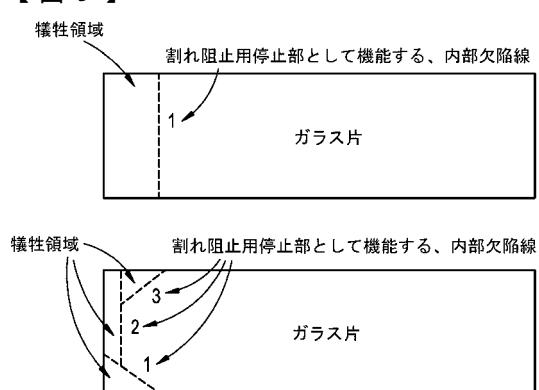
【図 10 B】



【図 10 C】

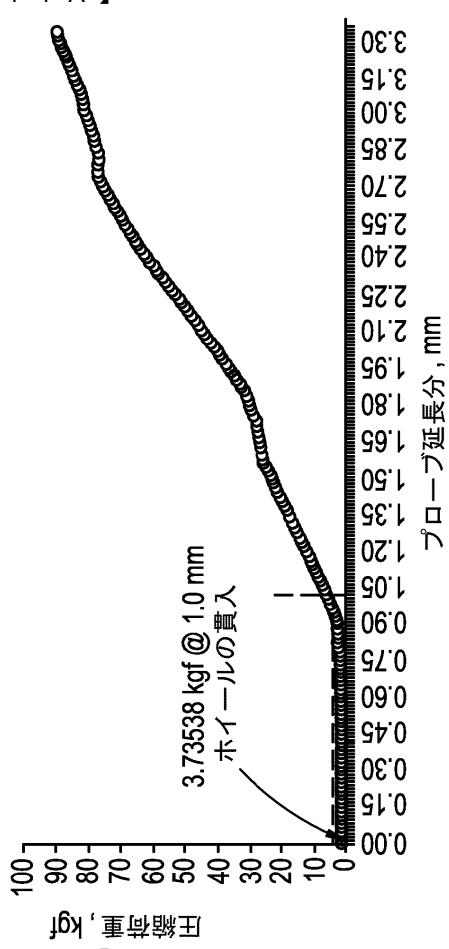


【図 9】



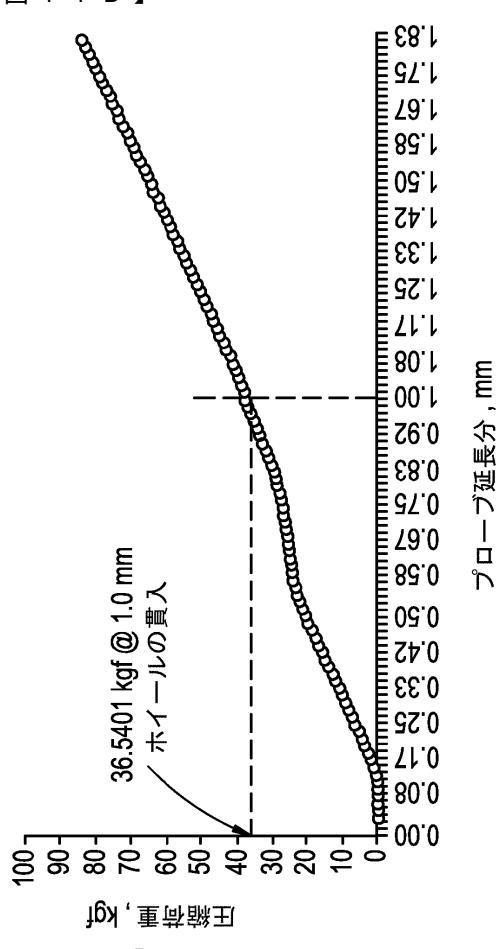
【図 1 1 A】

Trizact685DCホイールによるINSTRON圧縮試験の概要



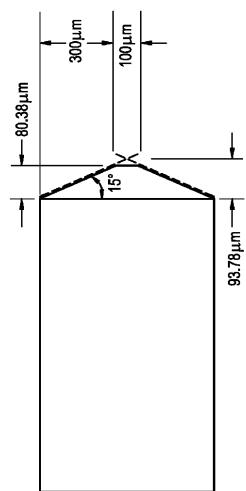
【図 1 1 B】

V2ホイールによるINSTRON圧縮試験の概要



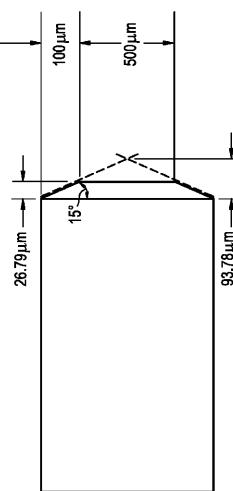
【図 1 2 A】

FIG. 12A



【図 1 2 B】

FIG. 12B



【図 1 2 C】

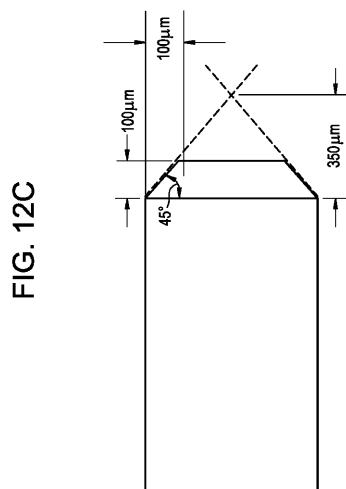


FIG. 12C

【図 1 2 D】

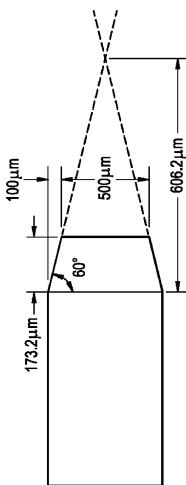
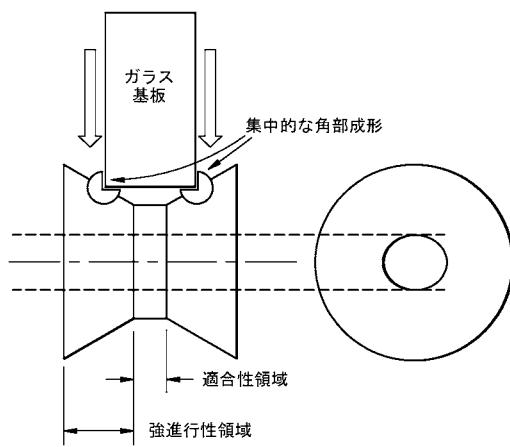
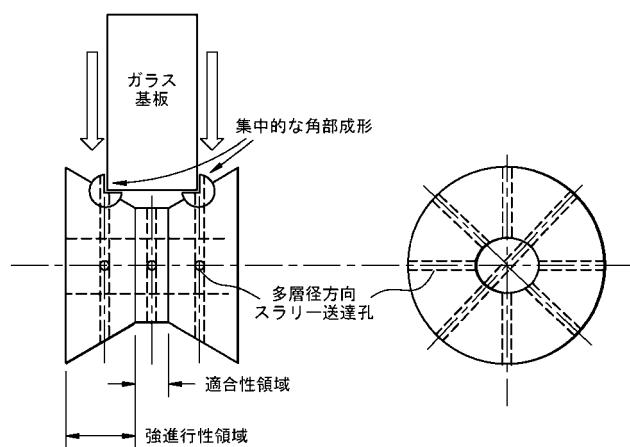


FIG. 12D

【図 1 3 A】



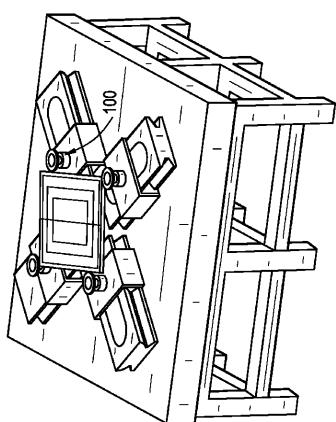
【図 1 3 B】



強進行性領域

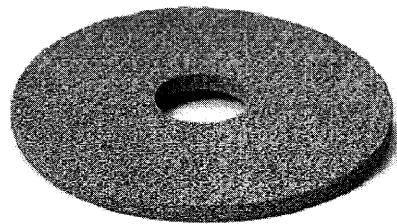
【図 14】

FIG. 14



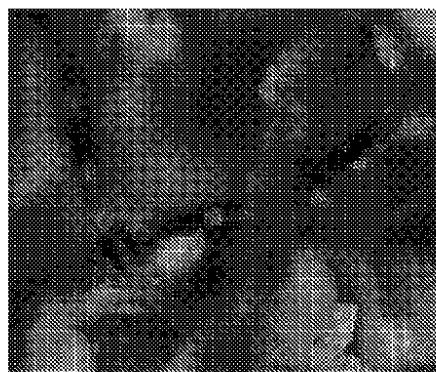
【図 15 A】

FIG. 15A



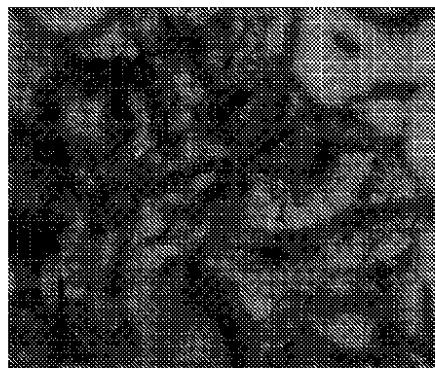
【図 15 C】

FIG. 15C



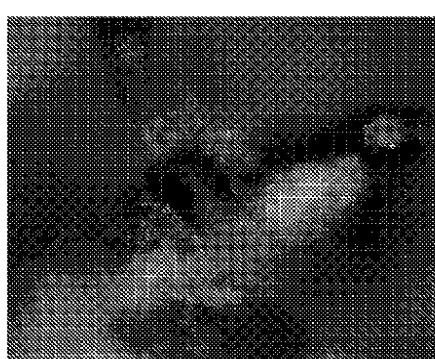
【図 15 B】

FIG. 15B



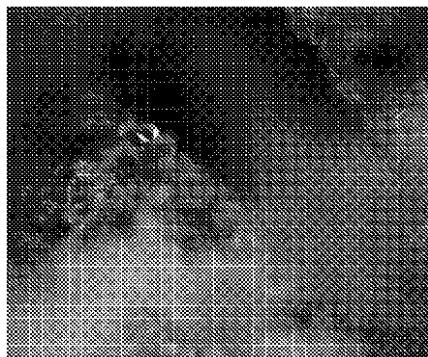
【図 15 D】

FIG. 15D

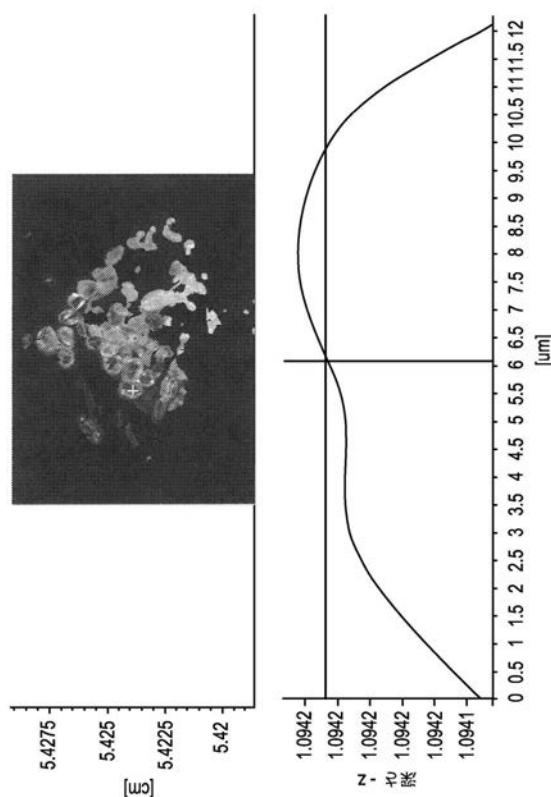


【図 15 E】

FIG. 15E

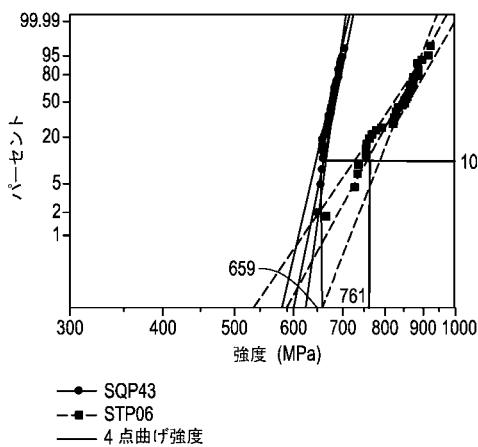


【図 16】

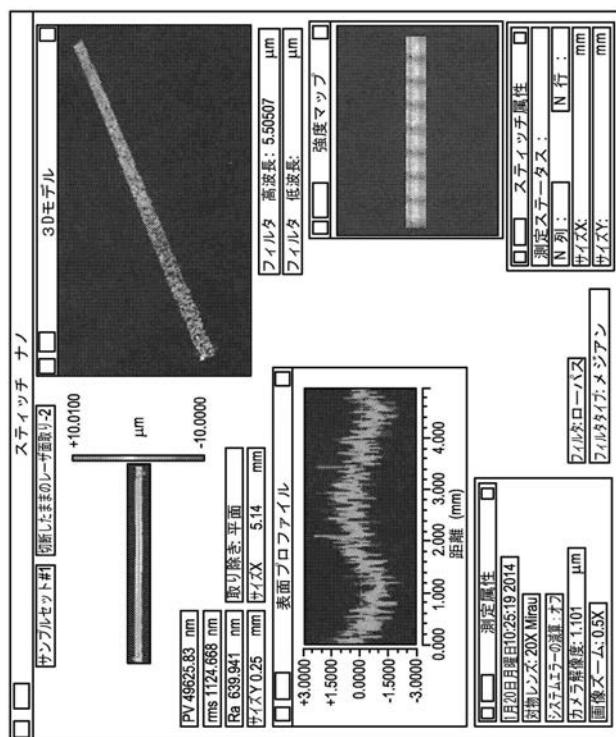


【図 17】

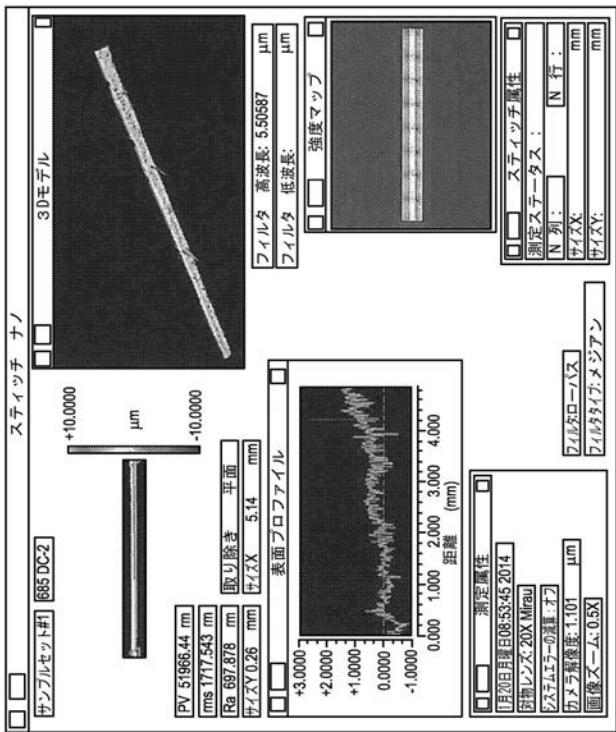
高速・低コスト精密CNCによるプロセスの進行



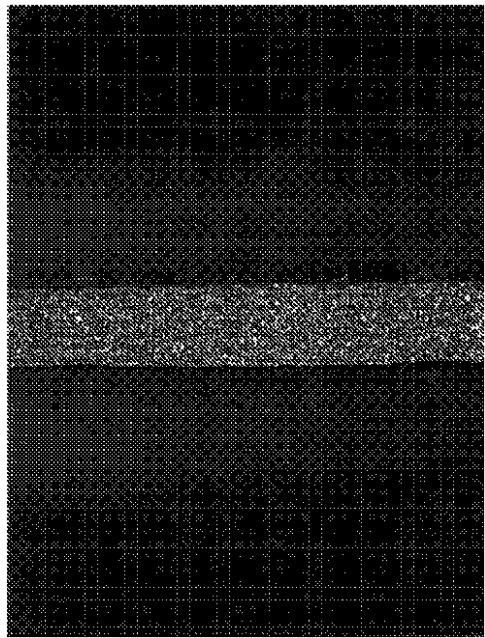
【図 18 A】



【図 18B】



【図19A】



【図19B】

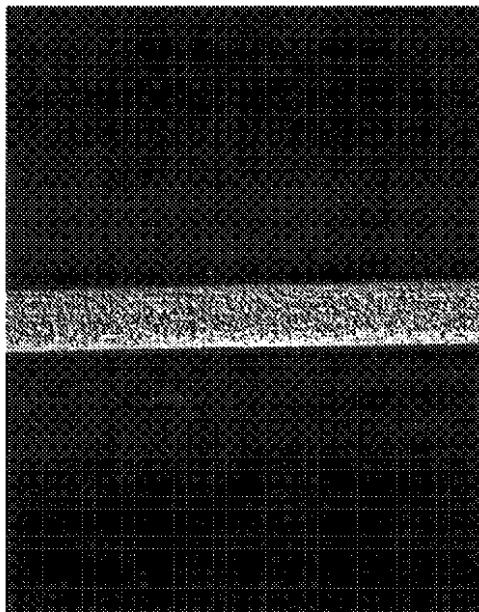


FIG. 19B

【 図 2 0 A 】

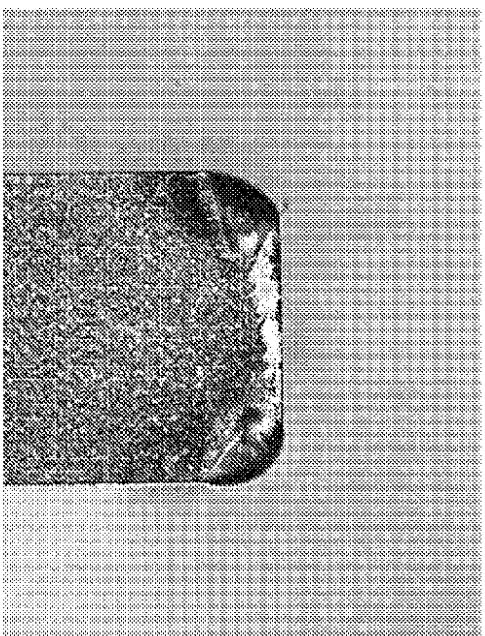


FIG. 20A

【図 20B】

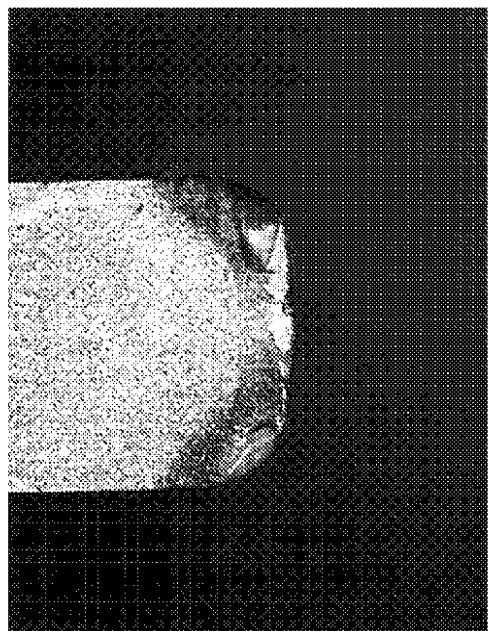


FIG. 20B

## 【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT					
International application No PCT/US2015/013026					
<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> INV. C03B33/02 B23K26/00 B23K26/06 B23K26/40 B23K26/02 B23K26/36 B24D9/02 B24B9/10 ADD. C03B33/07 C03B33/09 C03B25/087 C03B29/10					
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC					
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) C03B B23K B24D B24B					
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched					
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  EPO-Internal, WPI Data					
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>					
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages				Relevant to claim No.
Y	US 2013/126573 A1 (HOSSEINI S ABBAS [CA] ET AL) 23 May 2013 (2013-05-23) paragraphs [0062], [0075]; figure 6				1-16
Y	US 2013/149494 A1 (KOIKE AKIO [JP] ET AL) 13 June 2013 (2013-06-13) the whole document				1-16
A	US 2010/147813 A1 (LEI WEISHENG [US] ET AL) 17 June 2010 (2010-06-17) figures 2,6d,7d				1-16
A	WO 2014/012125 A1 (LISEC AUSTRIA GMBH [AT]) 23 January 2014 (2014-01-23) figures 7-11				1-16
					-/-
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.			<input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed					
*T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family					
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report			
28 July 2015		10/08/2015			
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.O. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel: (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer  Marrec, Patrick			

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2015/013026

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2013/288010 A1 (AKARAPU RAVINDRA KUMAR [US] ET AL) 31 October 2013 (2013-10-31) paragraphs [0032], [0033], [0044], [0049], [0051]; figure 1 -----	17-20
X	US 2012/302139 A1 (DARCANEGLO CHARLES M [US] ET AL) 29 November 2012 (2012-11-29) paragraph [0070] -----	17-20
X	US 2012/196071 A1 (CORNEJO IVAN A [US] ET AL) 2 August 2012 (2012-08-02) paragraph [0039] -----	17-20
X	US 2010/279067 A1 (SABIA ROBERT [US] ET AL) 4 November 2010 (2010-11-04) paragraph [0043] -----	17-20

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/US2015/013026

## Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of Item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1.  Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
  
  
  
  
  
2.  Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
  
  
  
  
  
3.  Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

## Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of Item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

see additional sheet

1.  As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2.  As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3.  As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
  
  
  
  
  
4.  No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

## Remark on Protest

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

International Application No. PCT/ US2015/ 013026

**FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210**

This International Searching Authority found multiple (groups of) inventions in this international application, as follows:

1. claims: 1-16

Claim 1, Method of laser cutting and polishing workpiece.

---

2. claims: 17-20

Claim 18, Glass article.

---

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No  
PCT/US2015/013026

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)			Publication date
US 2013126573	A1 23-05-2013	AU 2011279374 A1 CA 2805003 A1 CN 103079747 A EP 2593266 A2 JP 2013536081 A KR 20130031377 A RU 2013102422 A SG 187059 A1 US 2013126573 A1 WO 2012006736 A2			07-02-2013 19-01-2012 01-05-2013 22-05-2013 19-09-2013 28-03-2013 20-08-2014 28-02-2013 23-05-2013 19-01-2012
US 2013149494	A1 13-06-2013	CN 103003054 A KR 20130091313 A TW 201206677 A US 2013149494 A1 US 2015097304 A1 WO 2012008343 A1			27-03-2013 16-08-2013 16-02-2012 13-06-2013 09-04-2015 19-01-2012
US 2010147813	A1 17-06-2010	CN 102271860 A JP 5432285 B2 JP 2012512131 A KR 20110120862 A SG 172237 A1 TW 201033144 A US 2010147813 A1 WO 2010077845 A2			07-12-2011 05-03-2014 31-05-2012 04-11-2011 28-07-2011 16-09-2010 17-06-2010 08-07-2010
WO 2014012125	A1 23-01-2014	AT 13206 U1 CN 104364209 A EP 2734480 A1 KR 20150032864 A US 2015075222 A1 WO 2014012125 A1			15-08-2013 18-02-2015 28-05-2014 30-03-2015 19-03-2015 23-01-2014
US 2013288010	A1 31-10-2013	KR 20150013200 A TW 201402493 A US 2013288010 A1 WO 2013163524 A1			04-02-2015 16-01-2014 31-10-2013 31-10-2013
US 2012302139	A1 29-11-2012	CN 103747916 A EP 2714329 A1 JP 2014517776 A KR 20140028026 A TW 201249761 A US 2012302139 A1 US 2015190898 A1 WO 2012162223 A1			23-04-2014 09-04-2014 24-07-2014 07-03-2014 16-12-2012 29-11-2012 09-07-2015 29-11-2012
US 2012196071	A1 02-08-2012	US 2012196071 A1 WO 2012106280 A1			02-08-2012 09-08-2012
US 2010279067	A1 04-11-2010	TW 201107253 A US 2010279067 A1 WO 2010126977 A1			01-03-2011 04-11-2010 04-11-2010

## フロントページの続き

(51) Int.CI.

F I

テーマコード(参考)

B 2 4 B 9/10

E

(81) 指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MK,MT,NL,NO,PL,PT,R0,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IR,IS,JP,KE,KG,KN,KP,KR,KZ,LA,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US

(72) 発明者 ウーリヒ, ケヴィン ウィリアム

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 4 8 4 5 ホースヘッズ アップランド ラン 2 0 0

F ターム(参考) 3C049 AA03 AA16 AB01 AC04 CA06 CB01

4E168 AE01 CB11 CB18 DA02 DA03 DA04 DA43 DA46 DA47 EA11

EA14 JA14

4G015 FA07 FB01 FC02 FC10 FC11

4G059 AA01 AB09 AB13 AC16