

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-189667

(P2015-189667A)

(43) 公開日 平成27年11月2日(2015.11.2)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>C03B 33/08 (2006.01)</b>	C03B 33/08	4E168
<b>C03B 33/04 (2006.01)</b>	C03B 33/04	4G015
<b>B23K 26/364 (2014.01)</b>	B23K 26/364	
<b>B23K 26/57 (2014.01)</b>	B23K 26/57	

審査請求 未請求 請求項の数 20 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2015-58977 (P2015-58977)  
 (22) 出願日 平成27年3月23日 (2015. 3. 23)  
 (31) 優先権主張番号 14/229, 347  
 (32) 優先日 平成26年3月28日 (2014. 3. 28)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 593141632  
 エレクトロ サイエントフィック イン  
 ダストリーズ インコーポレーテッド  
 アメリカ合衆国 97229 オレゴン州  
 ポートランド エヌ ダブリュ サイエ  
 ンス パーク ドライブ 13900  
 (74) 代理人 100109896  
 弁理士 森 友宏  
 (74) 代理人 100192809  
 弁理士 桑原 宏光

最終頁に続く

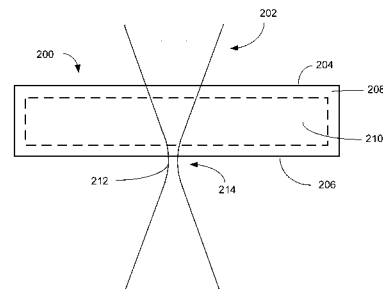
(54) 【発明の名称】 強化ガラスのレーザ加工方法

(57) 【要約】

【課題】レーザ加工システムを用いて強化ガラス基板をレーザ加工する方法を提供する。

【解決手段】まずレーザ加工する内部特徴部に近接する第1の面204に第1のスクライブをレーザ加工することにより強化ガラスシート又はパネルに内部特徴部をレーザ加工する。そして、第1の面204から強化ガラスパネルを透過させてレーザビーム202の焦点212を合わせることによってレーザビームのビームウエスト214を反対側の第2の面206に近接して位置させることにより内部特徴部をレーザ加工する。内部特徴部を囲む切溝から材料を除去しつつ、第2の面206から第1の面204にビームウエスト214の位置を変更することにより、内部特徴部をレーザ加工する。レーザビームウエスト214が最終的に材料の第1の面204に近接した位置にきたときに、レーザ加工により形成された内部形状を周りのガラスから簡単かつ綺麗に除去することができる。

【選択図】 図2



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

レーザの焦点を強化ガラスシートの第 1 の面に近接した第 1 の位置に導き、  
前記焦点を前記第 1 の位置にしつつ、閉じた経路に沿って前記レーザを使って前記強化  
ガラスシートから材料を除去して、前記強化ガラスシートの前記第 1 の面に前記閉じた経  
路に沿って延びる溝を形成し、

前記溝を形成した後に、前記レーザの前記焦点を前記強化ガラスシートの前記第 1 の面  
とは反対側の第 2 の面に近接した第 2 の位置に導き、

前記焦点を前記第 2 の位置にしつつ、前記レーザを使って前記第 2 の面で前記強化ガ  
ラス基板から材料層を除去して、新しい被覆されない面を形成し、

前記レーザを使って前記新しい被覆されない面から前記第 1 の面まで、前の層を除去  
することにより生じたそれぞれの新しい被覆されない面に近接した位置に前記焦点を再び  
位置決めすることによって、前記強化ガラスシートから少なくとも 1 つの付加的な材料層  
を除去する

ことによって切溝を形成し、

前記切溝は、前記閉じた経路に沿って前記溝と接触することによって前記強化ガラスシ  
ートの前記第 1 の面に交わる、

方法。

**【請求項 2】**

前記第 1 の面と、前記第 2 の面と、前記第 1 の面に隣接する前記強化ガラスシートの部  
分と、前記第 2 の面に隣接する前記強化ガラスシートの部分とはは圧縮応力が作用し、

前記第 1 の面に隣接する前記強化ガラスシートの前記部分と前記第 2 の面に隣接する前  
記強化ガラスシートの前記部分との間に延びる前記強化ガラスシートの内部部分には引  
張り応力が作用する、

請求項 1 の方法。

**【請求項 3】**

前記溝は、圧縮応力が作用する前記第 1 の面に隣接する前記強化ガラス基板の一部に制  
限されている、請求項 2 の方法。

**【請求項 4】**

さらに、前記レーザからのレーザパルスが前記強化ガラスシートを透過するように、前  
記切溝を形成する際に使用される前記レーザのレーザパラメータを設定する、  
請求項 1 から 3 のいずれか一項の方法。

**【請求項 5】**

さらに、前記焦点のサイズと略同一の直径を有するチップがレーザパルスにより前記強  
化ガラスシートから除去されるように前記レーザのレーザパラメータを設定する、  
請求項 1 から 4 のいずれか一項の方法。

**【請求項 6】**

前記レーザパラメータには、レーザ波長、レーザパワー、パルス持続時間、パルスエネ  
ルギー、パルス繰り返し率、焦点サイズ、偏光、及び走査速度が含まれる、請求項 4 又は  
5 の方法。

**【請求項 7】**

前記第 1 の面は、前記レーザに最も近い前記強化ガラスシートの上面である、請求項 1  
から 6 のいずれか一項の方法。

**【請求項 8】**

さらに、前記閉じた経路によって囲まれた前記強化ガラスシートの領域を前記強化ガラ  
スシートの残りの領域から除去する、  
請求項 1 から 7 のいずれか一項の方法。

**【請求項 9】**

前記切溝の外縁部は、前記閉じた経路に沿って前記溝の外縁部に接触することによって  
前記強化ガラス基板の前記第 1 の面に交わり、

10

20

30

40

50

前記切溝の前記外縁部と前記溝の前記外縁部とは前記閉じた経路により形成される形状に対して定義される、

請求項 1 から 8 のいずれか一項の方法。

【請求項 10】

前記切溝の内縁部は、前記閉じた経路に沿って前記溝の内縁部に接触することによって前記強化ガラス基板の前記第 1 の面に交わり、

前記切溝の前記内縁部と前記溝の前記内縁部とは前記閉じた経路により形成される形状に対して定義される、

請求項 1 から 9 のいずれか一項の方法。

【請求項 11】

前記閉じた経路は、角が丸められた正方形又は縁が丸められた円若しくはノッチのいずれかを形成する、請求項 1 から 10 のいずれか一項の方法。

【請求項 12】

前記レーザは、互いに隣接して配置された複数のレーザのうちの 1 つであり、

前記レーザの前記焦点を前記強化ガラスシートの前記第 2 の面に近接した前記第 2 の位置に導く際に、前記複数のレーザのそれぞれの焦点を前記第 2 の位置に導き、

さらに、前記切溝を規定する外縁から前記切溝を規定する内縁まで前記複数のレーザを移動するか、あるいは前記切溝を規定する内縁から前記切溝を規定する外縁まで前記複数のレーザを移動することによってそれぞれの層を除去して前記切溝を形成する、

請求項 1 から 11 のいずれか一項の方法。

【請求項 13】

前記複数のレーザの前記焦点は、直線状、曲線状、又は六方構造のいずれかである、請求項 12 の方法。

【請求項 14】

メモリと、

前記メモリに保存された指令を実行するように構成されたプロセッサであって、

レーザの焦点を強化ガラスシートの第 1 の面に近接した第 1 の位置に導き、

前記焦点を前記第 1 の位置にしつつ、閉じた経路に沿って前記レーザを使って前記強化ガラスシートから材料を除去して、前記強化ガラスシートの前記第 1 の面に前記閉じた経路に沿って延びる溝を形成し、

前記溝を形成した後に、前記レーザの前記焦点を前記強化ガラスシートの前記第 1 の面とは反対側の第 2 の面に近接した第 2 の位置に導き、

前記焦点を前記第 2 の位置にしつつ、前記レーザを使って前記第 2 の面で前記強化ガラス基板から材料層を除去して、新しい被覆されない面を形成し、

前記レーザを使って前記新しい被覆されない面から前記第 1 の面まで、前の層を除去することにより生じたそれぞれの新しい被覆されない面に近接した位置に前記焦点を再び位置決めすることによって、前記強化ガラスシートから少なくとも 1 つの付加的な材料層を除去する

ことによって切溝を形成するように前記指令を実行するように構成されたプロセッサと、を備え、

前記切溝は、前記閉じた経路に沿って前記溝と接触することによって前記強化ガラスシートの前記第 1 の面に交わる、

装置。

【請求項 15】

引っ張り応力が作用する前記強化ガラスシートの内部部分に前記溝が接触しないように、前記溝の深さが、圧縮応力が作用する前記第 1 の面に隣接する前記強化ガラスシートの外面の深さに制限される、請求項 14 の装置。

【請求項 16】

前記プロセッサは、

前記レーザからのレーザパルスが前記強化ガラスシートを透過するように、前記切溝を

形成する際に使用される前記レーザのレーザパラメータを設定するように構成される、請求項 14 又は 15 の装置。

【請求項 17】

前記プロセッサは、

前記焦点のサイズと略同一の直径を有するチップがレーザパルスにより前記強化ガラスシートから除去されるように前記レーザのレーザパラメータを設定するように構成される、

請求項 14 から 16 のいずれか一項の装置。

【請求項 18】

前記レーザの波長が約 515 nm である、請求項 17 の装置。

10

【請求項 19】

前記閉じた経路は、角が丸められた正方形又は縁が丸められた円若しくはノッチのいずれかを形成する、請求項 14 から 18 のいずれか一項の装置。

【請求項 20】

レーザと、

レーザステアリング光学系と、

レーザフィールド光学系と、

少なくとも 1 つの運動ステージと、

をさらに備え、

前記レーザ、前記レーザステアリング光学系、及び前記少なくとも 1 つの運動ステージは、前記レーザからのレーザパルスを前記レーザフィールド光学系に通過させて、

20

前記レーザの前記焦点を前記第 1 の位置に導き、

前記焦点を前記第 1 の位置にしつつ、前記閉じた経路に沿って前記レーザを使って前記強化ガラスシートから前記材料を除去し、

前記レーザの前記焦点を前記第 2 の位置に導き、

前記切溝を形成する

ように前記コントローラにより制御される、

請求項 14 から 19 のいずれか一項の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【0001】

本開示は、概してレーザ加工方法に関するものであり、特に強化ガラスをレーザ加工するための方法及び装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

例えば携帯電話やタブレットコンピュータなどの携帯コンピュータデバイスをはじめとする最近の民生用電子デバイスにおいては、そのデバイスの少なくとも一面の大部分をガラススクリーンが占めていることがある。これらのデバイスは、持ち運びできるように設計されているので、このガラススクリーンは、ガラススクリーンを壊したり割ったりすることのある様々な環境因子に晒されることがある。ガラススクリーンへのダメージのリスクを低減するために、デバイスメーカーは、化学的又は熱的強化ガラスあるいは化学的又は熱的硬化ガラスを使ってスクリーンを製造する場合がある。

40

【発明の概要】

【0003】

本明細書においては、レーザ加工システムを用いて強化ガラス基板をレーザ加工する方法が述べられる。ある方法においては、レーザの焦点を強化ガラスシートの第 1 の面に近接した第 1 の位置に導き、上記焦点を上記第 1 の位置にしつつ、閉じた経路に沿って上記レーザを使って上記強化ガラスシートから材料を除去して、上記強化ガラスシートの上記第 1 の面に上記閉じた経路に沿って延びる溝を形成する。また、この方法では、上記溝を形成した後に、上記レーザの上記焦点を上記強化ガラスシートの上記第 1 の面とは反対側

50

の第2の面に近接した第2の位置に導き、切溝を形成する。この切溝は、上記焦点を上記第2の位置にしつつ、上記レーザを使って上記第2の面で上記強化ガラス基板から材料層を除去して、新しい被覆されない面を形成し、上記レーザを使って上記新しい被覆されない面から上記第1の面まで、前の層を除去することにより生じたそれぞれの新しい被覆されない面に近接した位置に上記焦点を再び位置決めすることによって、上記強化ガラスシートから少なくとも1つの付加的な材料層を除去することによって形成される。上記切溝は、上記閉じた経路に沿って上記溝と接触することによって上記強化ガラスシートの上記第1の面に交わる。

【0004】

本明細書において述べられる装置は、メモリとプロセッサとを含んでいる。このプロセッサは、レーザの焦点を強化ガラスシートの第1の面に近接した第1の位置に導き、上記焦点を上記第1の位置にしつつ、閉じた経路に沿って上記レーザを使って上記強化ガラスシートから材料を除去して、上記強化ガラスシートの上記第1の面に上記閉じた経路に沿って延びる溝を形成し、上記溝を形成した後に、上記レーザの上記焦点を上記強化ガラスシートの上記第1の面とは反対側の第2の面に近接した第2の位置に導き、切溝を形成するように、上記メモリに保存された指令を実行するように構成される。この指令は、上記焦点を上記第2の位置にしつつ、上記レーザを使って上記第2の面で上記強化ガラス基板から材料層を除去して、新しい被覆されない面を形成し、上記レーザを使って上記新しい被覆されない面から上記第1の面まで、前の層を除去することにより生じたそれぞれの新しい被覆されない面に近接した位置に上記焦点を再び位置決めすることによって、上記強化ガラスシートから少なくとも1つの付加的な材料層を除去することにより上記切溝を形成してもよい。上記切溝は、上記閉じた経路に沿って上記溝と接触することによって上記強化ガラスシートの上記第1の面に交わる。

【図面の簡単な説明】

【0005】

【図1】図1は、本明細書において教示される実施形態に係るレーザ加工システムの模式図である。

【図2】図2は、ガラス基板をレーザ加工する方法を説明するための模式図であり、本明細書において使用される用語を説明するために使用される模式図である。

【図3】図3は、本明細書において教示された実施形態に係るガラス基板をレーザ加工する方法を説明するための模式図である。

【図4】図4は、本明細書において教示される実施形態に係る内部特徴部をレーザ加工したガラスの例を示す写真である。

【図5A】図5Aは、本明細書において教示される実施形態に係るレーザ加工された特徴部を含むガラスの詳細を示す拡大写真である。

【図5B】図5Bは、本明細書において教示される実施形態に係るレーザ加工された特徴部を含むガラスの詳細を示す拡大写真である。

【図5C】図5Cは、本明細書において教示される実施形態に係るレーザ加工された特徴部を含むガラスの詳細を示す拡大写真である。

【図5D】図5Dは、本明細書において教示される実施形態に係るレーザ加工された特徴部を含むガラスの詳細を示す拡大写真である。

【発明を実施するための形態】

【0006】

以下に、これらの実施形態及び他の実施形態の詳細とその変形例をより詳細に述べる。

【0007】

本明細書における説明では添付図面を参照する。複数の図にわたって同様の参照符号は同様の部分を示している。

【0008】

例えば、携帯電話、タブレットコンピュータ、メディアプレーヤやラップトップコンピュータディスプレイなどの携帯コンピュータデバイスをはじめとする様々な用途において

10

20

30

40

50

、強化ガラス（本明細書においては「硬化ガラス」ともいう）を利用することには利点がある。シリコン系のガラスからなる基板は、ガラスシートの表面を所定の薬品に晒すことにより強化することができる。例えば、ある種のガラスをカリウム塩に浸漬すると、ガラスの表面でナトリウムをより大きなカリウム原子に置換するプロセスが生じ、変形により表面上又は表面付近のガラスの一部が圧縮される一方で、ガラスシートの内部に張力が生じる場合がある。

#### 【0009】

強化ガラス内に圧縮領域と引っ張り領域が存在することにより、鋸歯や刃を用いる従来の機械的なガラス切断技術において問題が生じることがある。レーザ加工は、強化ガラス基板に直線状の切り欠きを形成する際に従来の鋸歯や刃に取って変わるものではあるが、特徴部の形状が小さくて湾曲していたり、切溝の側壁がテーパ状になっていたり、基板に割れが生じていたりすることによる問題のために、強化ガラス基板内に内部特徴部を効率的にレーザ加工することが難しい場合がある。

10

#### 【0010】

強化ガラスの圧縮応力は、ガラスの表面の領域又はその表面近傍の領域において600 MPaを超えることがある。強化ガラスの内部領域には90 MPaを超える引っ張り応力が作用することがある。例えば、厚さ700  $\mu\text{m}$ の強化ガラス基板の内部引っ張り応力は約40 MPaであり、厚さ400  $\mu\text{m}$ の強化ガラス基板の内部引っ張り応力は約91 MPaである。

#### 【0011】

本明細書における教示によれば、強化ガラス内に1以上の内部特徴部が形成される。内部特徴部は、強化ガラス基板内にレーザ加工された特徴部であって、基板の縁部に達することなく、基板の上面と底面との間の材料が除去された特徴部として定義される。レーザ加工された特徴部は、レーザ加工プロセスにより基板から分離された特徴部の内部におけるブランクを含んでいてもよく、これを簡単に除去することにより基板内に開口特徴部を形成することができる。

20

#### 【0012】

まず、浅い切り込み又はトレンチをガラスシート又は基板の第1の面にレーザ加工してもよい。基板の第1の面（上面）内のトレンチは、第1の面上にレーザパルスビームを照射し、当該面上の経路に沿ってレーザパルスビームを移動させることにより形成することができる。適切なレーザパラメータを選択し、トレンチの深さを基板の上記面の近傍の圧縮領域に制限することにより、基板の好ましくないクラックを避けることができる。

30

#### 【0013】

トレンチを形成した後、基板を通してガラス基板の反対側の面（第2の面）上にレーザパルスの焦点を合わせることができる。強化ガラスが透明となる波長及びパルスフルエンスでパルスを生成するようにレーザパラメータを選択することができ、これによりレーザビームパルスをガラス基板の第1の面を透過させ、さらにガラス基板の内部を透過させて、ガラス基板の第2の面（底面）上又はその近傍にレーザビームパルスの焦点を合わせることができる。このようにレーザビームパルスの焦点を合わせることにより、レーザビームパルスが基板に当たる際に入射する方向とは反対側の基板表面からガラス基板をレーザ加工することができる。

40

#### 【0014】

基板の底面から材料の除去を始めることにより、レーザパラメータを適切に選択することで以下に詳細に述べるように「チップ（chips）」の形態で材料を除去することができる。基板が完全にレーザ加工されるので、基板から除去されて切溝を形成するチップが表面から離脱する際に、害を及ぼすことなくこのチップを外部に落とすことができる。切溝を描く経路にレーザビームを繰り返し照射することによって、材料を除去して基板の底面から上面までにわたる貫通切断部を形成することができる。上面のトレンチを貫通切溝の外側近傍に配置することにより、圧縮領域内の表面内又はその近傍に形成されるクラックが、切溝とトレンチとの間の小さな領域に含まれることになる。

50

## 【 0 0 1 5 】

図 1 は、本明細書に開示される技術を実現するために使用可能なレーザ加工システム 100 を示している。レーザ加工システム 100 はレーザ 102 を有しており、このレーザ 102 は、固体ファイバレーザ又は他のレーザであり得る。レーザ 102 としてはその用途に応じたものが用いられる。レーザ 102 はレーザビーム 104 を出射し、レーザビーム 104 はレーザパルス光学系 106 で処理される。レーザパルス光学系 106 は、レンズのような単純な光学要素であってもよく、所望のレーザパラメータに応じた時間的及び空間的ビーム整形光学系を含むもっと複雑なアセンブリであってもよい。その後、レーザビーム 104 は、レーザステアリング光学系 108 によって、必要に応じて設けられるレーザフィールド光学系（レーザ場光学系）110 を介して基板 112 に導かれる。基板 112 は、運動ステージ 116 に取り付けられたチャック 114 上に支持される。この例では、運動ステージ 116 は、X 軸リニアモータ 118、Y 軸リニアモータ 120、及び Z 軸リニアモータ 115 により制御される。レーザ加工システム 100 は、Z 軸モータ 115 を用いてレーザフィールド光学系 110 に対してチャック 114 を移動させ、基板 112 の異なる位置にレーザビーム 104 の焦点を合わせることが可能である。Z 軸モータ 115 に加えて、あるいはこれに代えて、レーザ加工システム 100 は、ステアリング光学系 108 又はレーザフィールド光学系 110 の一部として、レーザ 102 の焦点を再び合わせるための光学系の移動又は光学系の調整によってワークピース 112 に対してレーザビーム 104 の焦点の位置決めを行うための Z 軸制御を含んでいてもよい。

10

## 【 0 0 1 6 】

コントローラ 122 は、レーザ 102、レーザパルス光学系 106、ステアリング光学系 108、及び運動ステージ 116 を制御し、リニアモータ 118、120 を介してレーザビーム 104 をワークピース又は基板 112 に照射する。コントローラ 122 としては、例えば、中央処理装置（CPU）、ランダムアクセスメモリ（RAM）、読取専用メモリ（ROM）、これらの構成要素から入力信号を受信する入力ポート、及びこれらの構成要素にコマンド信号を送信する出力ポートを含むマイクロコントローラなど、任意のコントローラを用いることができる。コマンド信号は、一般的に、メモリ内に格納したプログラム命令に基づいて出力され、それぞれのプログラム命令の機能が CPU の論理回路により実現される。様々な構成要素自身が、メインコントローラとしてのコントローラ 122 に対して通信経路に沿ってデータを送受信するコントローラを含んでいてもよい。また、コントローラ 122 は、パーソナルコンピュータのようなコンピュータに組み込むこともできる。また、外部メモリを使用する 1 以上のマイクロプロセッサによりコントローラ 122 を実現することもできる。

20

30

## 【 0 0 1 7 】

運動ステージ 116 に対しては任意の数の既知の構造を用いることができる。この例では、Y 軸リニアモータ 120 が、Y 軸に沿って設けられたレール（図示せず）に沿ってチャック 114 を移動させ、以下でより詳細に述べるスクライプラインを形成する。X 軸に沿ってスクライプラインを形成するために、X 軸リニアモータ 118 は、X 軸に沿って設けられた別のレール（図示せず）に沿ってチャック 114 及びレールを含む運動ステージを移動させる。上述した構成に代えて、レーザフィールド光学系 110、（必要に応じて）レーザ 102、レーザパルス光学系 106、及び/又はステアリング光学系 108 を X 軸及び Y 軸（及び必要に応じて Z 軸）のいずれかに沿って移動可能なヘッドに搭載し、例えば、レールに沿ってチャック 114 を移動するリニアモータを用いて X 軸及び Y 軸の他方に移動するように単一の運動ステージ 116 を構成してもよい。また、レーザフィールド光学系 110 と必要に応じてレーザ 102、レーザパルス光学系 106 及び/又はレーザビームステアリング光学系 108 を支持するヘッドを実装し、チャック 114 を固定ベース上に搭載しつつ、ヘッドを X 軸及び Y 軸（及び必要に応じて Z 軸）に沿って移動可能にしてもよい。レーザ加工システム 100 においては回転動作も行われる。

40

## 【 0 0 1 8 】

レーザビームステアリング光学系 108 は、一般的に、ガルバノメータ、ファーストス

50

テアリングミラー、圧電素子、電気光学変調器、音響光学変調器などを含んでいる。ビームステアリング光学系 108 などのビーム位置決め装置により比較的高速な位置決めが可能である。例えば、ビームステアリング光学系 108 の一実施形態は、X 軸上及び Y 軸上のそれぞれに配置されたガルバノメータを用いた 2 つのスクアナ（通常「ガルボ」と呼ばれる）を含み得る。それぞれのガルボは、3 つの主要素、すなわちガルバノメータ、（1 以上の）ミラー、及びシステムを制御するサーボドライバ回路を含んでいる。ガルボをそれぞれの軸に沿って配置し、それぞれのミラーを 1 方向に連続的に回転させるのではなく、高速で左右に回転させて、例えば横方向レーザ経路を形成してもよい。

#### 【0019】

レーザビームは、レーザパルスがレーザから出射されレーザ光学系又は自由空間を通過してターゲット又はワークピースに伝搬するときレーザパルスが描くボリュームである。レーザビームは、レーザパルスが通過する際にレーザパルスがその中に少なくともあるエネルギーを維持する包絡線として定義することができる。図 2 を参照すると、パルスレーザビーム 202 が強化ガラスシート又は基板 200 に照射される。最も小さな断面にまで集束されているレーザビーム 202 の部分は焦点 212 と呼ぶことができる。レーザビーム 202 が焦点 212 に近づいたり焦点 212 から離れたりとすると、レーザビーム 202 の経路が狭くなった後に広がるビームウェスト 214 が焦点 212 の近傍に形成され得る。レーザビーム 202 がビームウェスト 214 及び焦点 212 を通過すると、レーザビーム 202 が伝搬していく断面積が減少することによって、フルエンス、すなわち単位面積当たりのエネルギー（例えば、ジュール/cm<sup>2</sup>の単位で測定される）が増加する。レーザビーム 202 が焦点 212 を通過するときフルエンスが最大となり、その後レーザビーム 202 がビームウェスト 214 を経由して焦点 212 から離れていくとフルエンスは減少する。

#### 【0020】

上面から底面にわたって切溝をレーザ加工により形成してもよい。しかしながら、そのような加工によりデブリが生じるとそのデブリが切溝に集まることがある。切溝内のデブリは熱エネルギーを吸収し熱エネルギーを再度伝達することにより、加工速度を低下させ、デブリからの熱伝達によるクラックのような熱に関連する欠陥を生じる可能性がある。その代わりに、図 2 の構成を部分的に用いることによりレーザ加工を完全に行うことが可能である。レーザ加工システム 100 のようなレーザ加工システムによってレーザビーム 202 が強化ガラス基板 200 の上面（第 1 の面）204 を通り、圧縮領域 208 及び引っ張り領域 210 を通り、再び圧縮領域 208 を通り、底面（第 2 の面）206 を通って強化ガラス基板 200 から出ていくようにレーザビーム 202 を照射する。Z 軸モータ 115 を用いて、あるいは例えば強化ガラス基板 200 の底面（第 2 の面）206 上又はその近傍にレーザビーム 202 の焦点を再び合わせることにより、ビームウェスト 214 の焦点 212 の位置決めを行うことができる。上述したように、レーザパルスに対する材料の透過度は、波長及びフルエンスの関数となり得る。選択された波長及びフルエンスでレーザパルスビームを強化ガラス基板 200 の上面（第 1 の面）204 を通過させ、基板 200 の底面（第 2 の面）206 の下方で底面（第 2 の面）206 の近くにレーザパルスビームの焦点 212 を位置させることにより、強化ガラス基板の底面（第 2 の面）206 にチップを形成してデブリを切溝に追加することなく材料を除去することができる。

#### 【0021】

新しく形成された面上又はその近傍にレーザビーム焦点の Z 方向高さを維持するように強化ガラス基板 200 の第 2 の面 206 に対してレーザビーム焦点 212 を移動させることによって、レーザビームのそれぞれのパルスによって生じた複数のチップを結合して単一のチップよりも広くて長い切溝を形成するようにレーザパルスを位置決めすることができる。運動制御又は再焦点合わせによって新しく形成された面上にレーザビームパルスを繰り返し位置決めすることによって、所望の寸法及び形状の切溝を生成して強化ガラス基板の底面から上面まで完全に貫通する切溝を加工することができる。

#### 【0022】

10

20

30

40

50

上記で簡単に述べたように、強化ガラス基板をレーザ加工すると、レーザ加工プロセスにより生じたクラックが圧縮領域から内部の引っ張り領域に伝播する際に、内部の引っ張り領域内に無制約クラックが急速に生じることがある。特定の理論に拘束されるものではないが、開示された実施の態様によって、基板の表面から材料が「チップング (chipping)」することによって強化ガラス基板から材料を除去するためのレーザパラメータの調整の結果として急速に生じる無制約クラックを避けることができる。このプロセスにおいては、焦点のサイズとほぼ同じ直径で厚さ約 1 又は 2 ミクロンの薄いレーザ焦点サイズのチップ材料が単一のピコ秒レーザパルスによって強化ガラス基板の表面から除去される。それぞれのチップが基板から除去される際に、パルスが表面からチップを破壊した後の基板内に残った残留熱エネルギーのかなりの部分がチップとともに奪われていき、隣接する領域への熱伝達が防止される。

10

#### 【 0 0 2 3 】

熱的な効果に加えて、破壊機構は、それを超えると無制約クラックが発生する臨界クラック長さが存在することを示している。この臨界クラック長さ  $a (f)$  は、以下の式 (1) を使って算出することができる。

$$a (f) = (2 E) / (f^2) \dots (1)$$

ここで、

$f$  は作用している応力、

$E$  はガラスに対する表面エネルギー密度、

$E$  はヤング率である。

20

この式によれば、内部引っ張り応力が約 91 MPa のガラスでは臨界クラック長さが 5  $\mu$ m となる。特定の理論に拘束されるものではないが、臨界クラック長さよりも大きな焦点サイズを使用する場合にクラックが生成されることが抑制されると理論づけられる。クラックの生成を抑制することにより、引っ張り応力の作用する基板領域内に無制約クラックが急速に生成されることを防止することができる。図 3 は、開示された実施の形態におけるレーザ加工を示す強化ガラス基板 300 の断面図である。図 3 は、上面 302 及び底面 306 のそれぞれに隣接して圧縮領域 303, 305 を有する強化ガラス基板 300 を示している。点線 304, 308 はそれぞれ圧縮領域 303, 305 の表面 302, 306 からの深さを示している。点線 304 と点線 308 の間には、引っ張り応力が作用する内部領域 310 が存在し得る。

30

#### 【 0 0 2 4 】

強化ガラス板 300 内に内部特徴部をレーザ加工するプロセスにおける第 1 のステップでは、上面 302 の圧縮領域 303 内にトレンチ 312 をレーザ加工することができる。上面 302 上又はその近傍にレーザパルスのビームウェストの焦点を合わせ、例えば、コントローラ 122 からのコマンドに回答してステアリング光学系 108、運動ステージ 116、又はステアリング光学系 108 及び運動ステージ 116 の双方を用いて基板 300 の上面 302 上の経路に沿って選択された走査速度でレーザパルスを移動させることによってトレンチ 312 を加工することができる。レーザビームパルスパラメータを調整して、トレンチ 312 が焦点とほぼ同じくらい広くて平均経路半径 (mean path radius)  $D1$  で上面 302 から数ミクロン延びるようにトレンチ 312 を形成することができる。トレンチ 312 が圧縮領域 303 を越えて内部引っ張り領域 310 にまで延びることなくトレンチ 312 をレーザ加工できるようにレーザビームパラメータを調整することができる。トレンチ 312 を圧縮領域 303 に制限することにより、最終的な部品の欠陥を引き起こし得る無制約クラックが内部引っ張り領域 310 に伝搬することが防止される。

40

#### 【 0 0 2 5 】

クラックを避けつつ材料の除去レベルを所望なものとするために選択され得るレーザパラメータとしては、レーザ波長、レーザパワー、パルス持続時間、パルスエネルギー、焦点サイズ、パルス繰り返し率、偏光、及び走査速度などが挙げられる。強化ガラス基板をレーザ加工するために使用され得るレーザパラメータの例としては、波長 266 nm ~ 1064 nm、レーザパワー 1 ワット ~ 50 ワット、パルス持続時間 1 フェムト秒 ~ 100

50

ナノ秒、ワーク表面でのパルスエネルギー  $1 \mu\text{J} \sim 100 \mu\text{J}$ 、スポットサイズ  $1 \mu\text{m} \sim 100 \mu\text{m}$ 、パルス繰り返し率  $100 \text{kHz} \sim 10 \text{MHz}$ 、円偏光及び走査速度  $1,000 \text{mm/s} \sim 100,000 \text{mm/s}$  が挙げられる。ある実施形態におけるレーザパラメータは、波長約  $515 \text{nm}$ 、レーザパワー約  $6.2 \text{ワット} \sim 14.5 \text{ワット}$ 、パルス持続時間約  $27 \text{ps}$ 、ワーク表面でのパルスエネルギー約  $14.5 \mu\text{J}$ 、スポットサイズ約  $12 \mu\text{m}$ 、パルス繰り返し率  $100 \text{kHz} \sim 10 \text{MHz}$ 、走査速度約  $2,000 \text{mm/s} \sim 10,000 \text{mm/s}$  である。

#### 【0026】

レーザパルスパラメータは、先に述べた材料の微小な「チップ」が隣接する材料にクラックを生じさせることなく表面から離脱するのに十分な程度にパルス当たりのエネルギーを結合するように所望の形態で選択される。上述したように、レーザパルスにより生成されたチップは、1又は2ミクロンの厚さで、レーザパルスの焦点サイズとほぼ同一の面積であり得る。この例では、焦点サイズ(すなわち直径)は約  $8 \sim 12 \mu\text{m}$  であり得る。基板300の表面に対してレーザパルスを位置決めすることにより、繰り返されるレーザパルスによって所望の面積において所望の深さまで材料を除去することができる。この材料除去プロセスは、レーザビームの偏光状態による影響を受け得る。本明細書における教示による実施形態では、レーザビームを円偏光して例えば材料除去の均一性を改善することができる。直線偏光や楕円偏光をはじめとする他のタイプの偏光を用いることもできる。

#### 【0027】

図3に戻って、強化ガラス基板300の上面302にトレンチ312を形成した後、レーザ加工システムは、強化ガラス基板300の底面306上又はその下方にレーザパルスの焦点を合わせ、材料の除去を底面306から上面302まで行うことにより切溝320を形成する。例えば、切溝320は、1つのレーザパルス又は1群の個々のレーザパルスを後述する幅に沿った方向に照射して、底面306から始めて閉じた経路全体に沿ってチップとしての材料を1又は2ミクロンだけ除去し、焦点のZ方向高さを上げて焦点を加工される面に対して位置決めしつつ、このプロセスを繰り返すことにより形成することができる。基板300の処理面に対して移動するように、(例えば、Z軸モータ115を用いて)レーザに対して基板300を移動させる又は基板300に対してレーザを移動させるZ軸運動ステージを用いて焦点を移動させてもよい。あるいは、直径を変更することなく、あるいは機械的なZ軸方向の移動を必要とすることなく、焦点の位置を調整するようにレーザの制御を変更してもよい。1群の個々のレーザパルスを用いる場合には、それらのビームが直線状又は曲線状又は稠密六方構造のような何らかの規則的なパターンで照射されるように配置された複数のレーザによりこれらのレーザパルスを形成してもよい。

#### 【0028】

使用されるレーザパルスパラメータは上述したものと同様のものであってもよい。レーザパラメータを適切に選択することにより、焦点の合っていないレーザパルスは、焦点が交差する位置又は基板300に近い位置で強化ガラス基板300をアブレートするのに十分なエネルギーを有するものの、ダメージを与えることなく強化ガラス基板300を透過することができる。切溝320が初期加工面である底面306から延びるように、焦点の新しい位置は、現在加工されている表面に対応するか、あるいはほぼ対応する。

#### 【0029】

加工される内部特徴部の周りの閉じた経路をなぞりつつ、基板300の底部から上部まで材料を除去することにより、切溝320のレーザ加工が進行する。特定の内部特徴部(図3の例では丸くなっている)に対して直径D2が選択されているとすると、貫通切断部の幅としては、内部特徴部だけが残るように結果物である内部ブランク318を綺麗に除去するようなものを選択することができる。幅が選択されると、この材料を除去するために必要とされるレーザパルスの切溝パス数又は切溝経路数は、貫通切断部の幅をレーザのスポットサイズからパスの重なり部を引いたもの(「切溝ステップ」という)で除算することにより計算することができる。切溝ステップと閉じた経路周りのパス数と乗算すると、以下の式(2)により幅が得られる。

10

20

30

40

50

= 切溝ステップ × 切溝パス数 …… (2)

所望の内部特徴部の直径  $D_2$  は貫通切断部の直径から以下の式 (3) により求めることができる。

$D_1 = D_2 + \dots + N \times \text{切溝ステップ} \dots\dots (3)$

ここで、 $N$  は例えば 1 ~ 3 の値と仮定し得る整数である。焦点サイズが  $10 \mu\text{m}$  で  $N$  の値が  $N = 2$  であると仮定すると、この式 (3) から貫通切断部の外縁 314 とトレンチ 312 の外縁との間の距離  $D_3$  は約  $13 \sim 15 \mu\text{m}$  となる。外縁 314 と内縁 316 との間の材料を除去することにより、切り抜かれた部分又はブランク 318 を基板から完全に離すことができ、その後破棄することができる。

【0030】

パルスレーザービームのビームウェストが底面 306 から強化ガラス基板 300 の上面 302 に近づくと、上面 302 が下方からのエネルギーに晒されるので、切溝を広げる際にチップを生成しているレーザーパルスがある程度のクラックを引き起こすことがある。上面 302 上又はその近傍のレーザーパルスにより生成されたクラックを貫通切断部の外縁 314 とトレンチ 312 との間の領域に含めることができ、これにより、上面 302 における無制約クラックの伝搬を防止することができる。ブランク 318 内に生じたクラックはブランク 318 とともに破棄可能である。

【0031】

他の実施形態においては、得られる製品としての内部特徴部を生成するために 2 ステッププロセスを用いることができる。すなわち、中央の切り抜き部分をブランクとして破棄するのではなく、外側の部分を望ましくない部分と考えて、内部特徴部からなる製品に対して滑らかな外縁を生成するようにしてもよい。これは、図 3 に示されるような特徴部の外側とは反対に特徴部の内側に溝又はトレンチ 312 を形成することとなる。

【0032】

図 4 は、強化ガラス基板 400A ~ 400D に加工された内部特徴部の例を示している。図 4 は、基板 400A に加工された角が (半径 2 mm で) 丸められた  $10 \text{ mm}$  四方の正方形 402 と、基板 400B に加工された  $10 \text{ mm}$  の円 404 と、基板 400C に加工された角が半径  $0.5 \text{ mm}$  となった  $10 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$  のスロット 406 と、基板 400D に加工された  $1 \text{ mm}$  の円 408 とを示している。内部特徴部の特性は、加工の結果、内部ブランクが生成される場合にその内部ブランクを破棄できることである。したがって、内部ブランクに生じるすべてのクラックを破棄することができる。図 4 においては、 $10 \text{ mm}$  四方の正方形 402 のうちの 1 つの内部ブランク 410 と、 $10 \text{ mm}$  の円 404 のうちの 1 つの内部ブランク 412 が示されている。上述した加工により形成された内部ブランクが除去されて、図 4 の残った内部特徴部が完成する。例として、基板 400A ~ 400D はそれぞれ厚さ  $0.7 \text{ mm}$  で第 1 の中央引っ張り応力 (CT) 値を有する強化ガラスからなるものである。 $120$  個の切り抜いた特徴部に対して収率は  $100\%$  であった。正方形 402、円 404、及びスロット 406 についての切断スピードは約  $1.7 \text{ mm/s}$  であったが、円 408 については使用した走査ヘッドの制約のためにより遅いスピードにする必要があった。他の例においては、基板 400A ~ 400D はそれぞれ厚さ  $0.4 \text{ mm}$  で第 1 の CT 値よりも高い第 2 の CT 値を有する強化ガラスからなるものである。 $120$  個の切り抜いた特徴部に対して収率は  $100\%$  であった。正方形 402、円 404、及びスロット 406 についての切断スピードは約  $2.38 \text{ mm/s}$  であったが、円 408 については同様に使用した走査ヘッドの制約のためにより遅いスピードにする必要があった。

【0033】

図 5A ~ 図 5D は、開示された実施形態において強化ガラス基板内にレーザー加工された  $1 \text{ mm}$  の丸孔の写真である。図 5A は、孔の縁部を示している上面写真である。図 5B は、対応する底面から同じ縁部を撮影したものである。図 5C は、図 5A 及び図 5B における孔よりも低い解像度で  $1 \text{ mm}$  の孔の全体を上面から撮影した写真である。図 5D は、底面から図 5C と同じ孔を撮影した写真である。すべての縁部が傷ついておらず、滑らかでクラックもないように見えることに留意されたい。縁部近傍の暗い部分は影である。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 4 】

本明細書の説明によれば、レーザスクライブする第1のステップにより、強化ガラスのシートの上面に、所望の切り込み（内部特徴部ともいう）の形状を構成する閉じた経路に沿って1以上の浅い溝が形成される。その後、強化ガラスの底部にレーザの焦点が合わされ、直接アブレーションを用いてレーザの焦点を切断線に再び合わせることによってガラスが底部から上部に切断される。クラック及びチップングは溝によって制限され、チップングのない良質の縁部を実現することができる。比較的速いスピードで切断することができる、数百マイクロンほどの小さな特徴部に対して切断を行うことができる。テストしたところ、厚さが1mm～10mmのガラスシートが100%の収率で得られた（すなわち、クラックやチップによる製品の損失はなかった）。

10

## 【 0 0 3 5 】

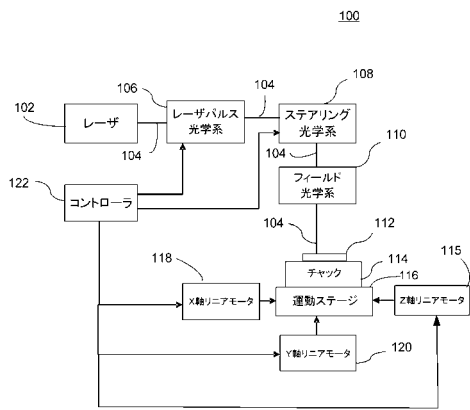
本発明の理解を容易にするために上述した実施形態を述べてきたが、上述した実施形態は本発明を限定するものではない。むしろ、本発明は、添付した特許請求の範囲の精神及び範囲内に含まれる種々の改変及び等価な構成を包含することを意図している。この特許請求の範囲に対しては、法の下で認められ得る改変及び等価な構造のすべてを包含するように、最も広い解釈がなされるべきである。

## 【 符号の説明 】

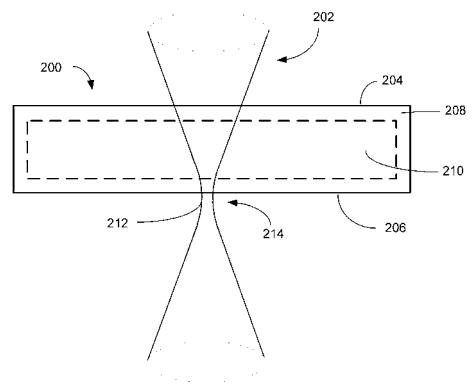
## 【 0 0 3 6 】

1 0 0	レーザ加工システム	
1 0 2	レーザ	20
1 0 4	レーザビーム	
1 0 6	レーザパルス光学系	
1 0 8	ステアリング光学系	
1 1 0	レーザフィールド光学系	
1 1 2	基板	
1 1 4	チャック	
1 1 5	Z軸リニアモータ	
1 1 6	運動ステージ	
1 1 8	X軸リニアモータ	
1 2 0	Y軸リニアモータ	30
1 2 2	コントローラ	
2 0 0	強化ガラス基板	
2 0 2	パルスレーザビーム	
2 0 4	上面	
2 0 6	第2の面	
2 0 8	圧縮領域	
2 1 0	引っ張り領域	
2 1 2	焦点	
2 1 4	ビームウェスト	
3 0 0	基板	40
3 0 0	強化ガラス基板	
3 0 2	上面	
3 0 3	圧縮領域	
3 0 5	圧縮領域	
3 0 6	底面	
3 1 0	内部引っ張り領域	
3 1 2	トレンチ	
3 1 4	外縁	
3 1 6	内縁	
3 1 8	ブランク	50

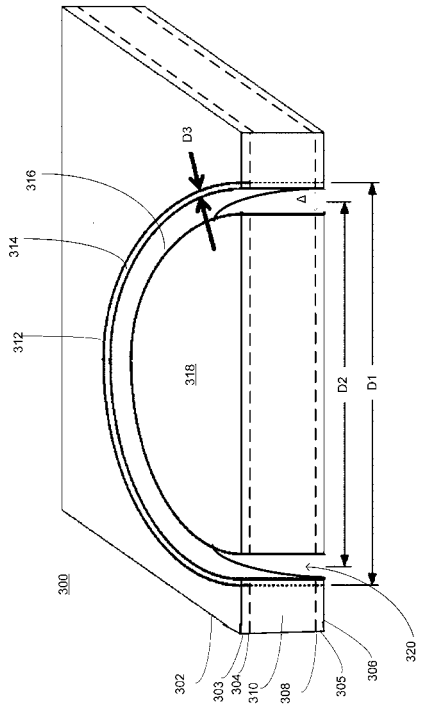
【 図 1 】



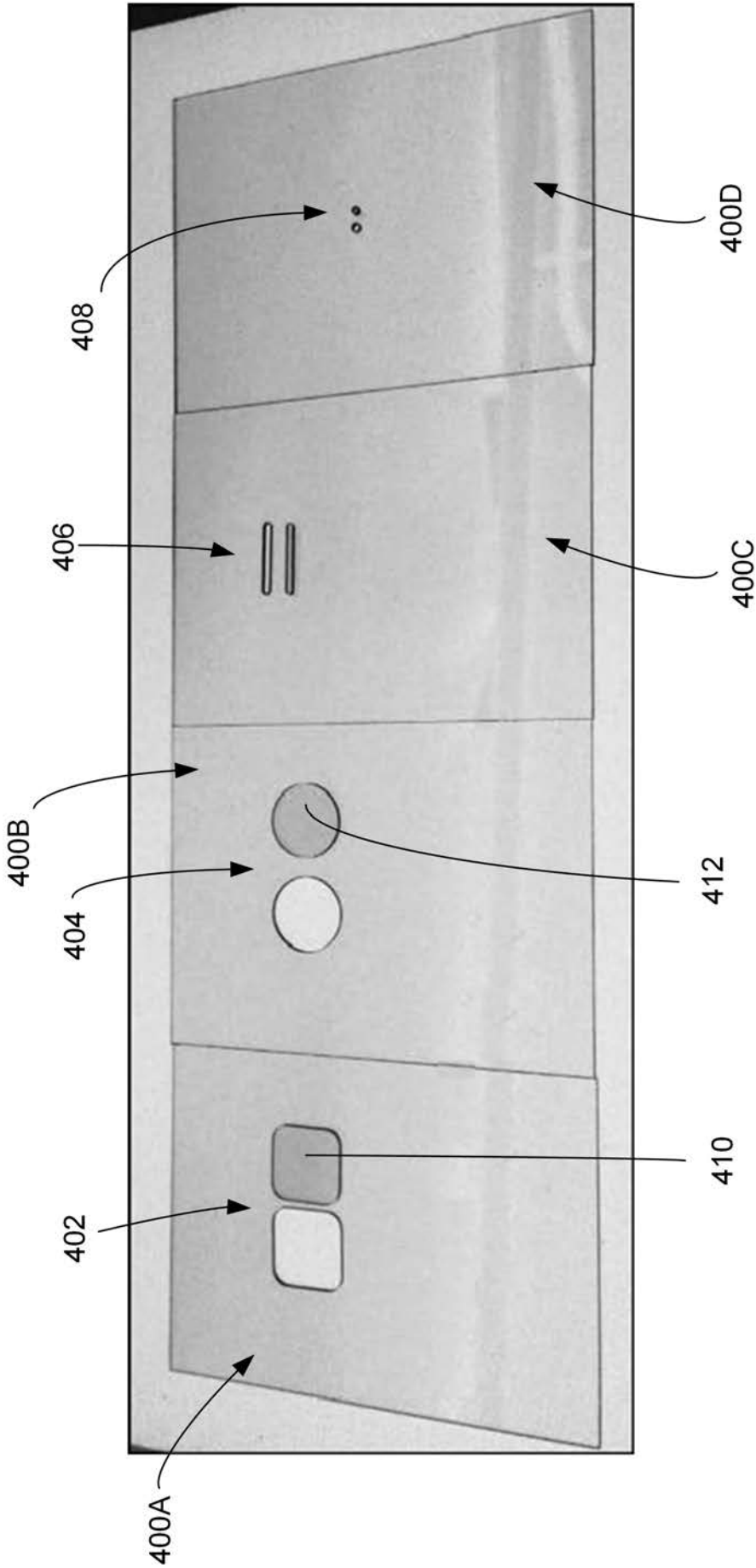
【 図 2 】




【 図 3 】




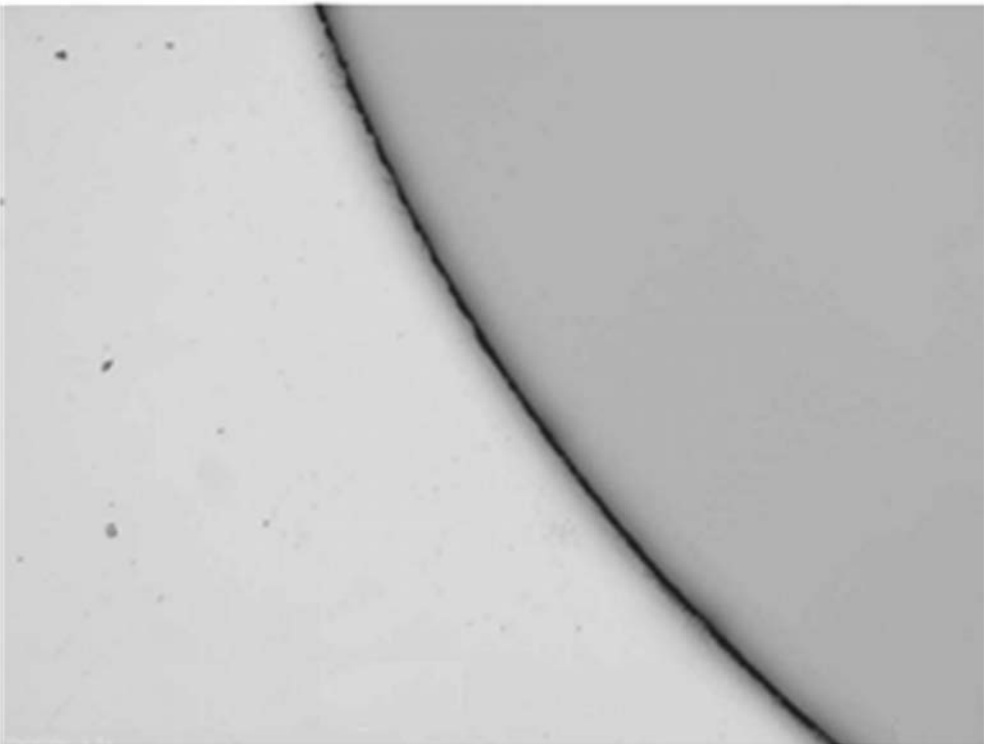
【 図 4 】




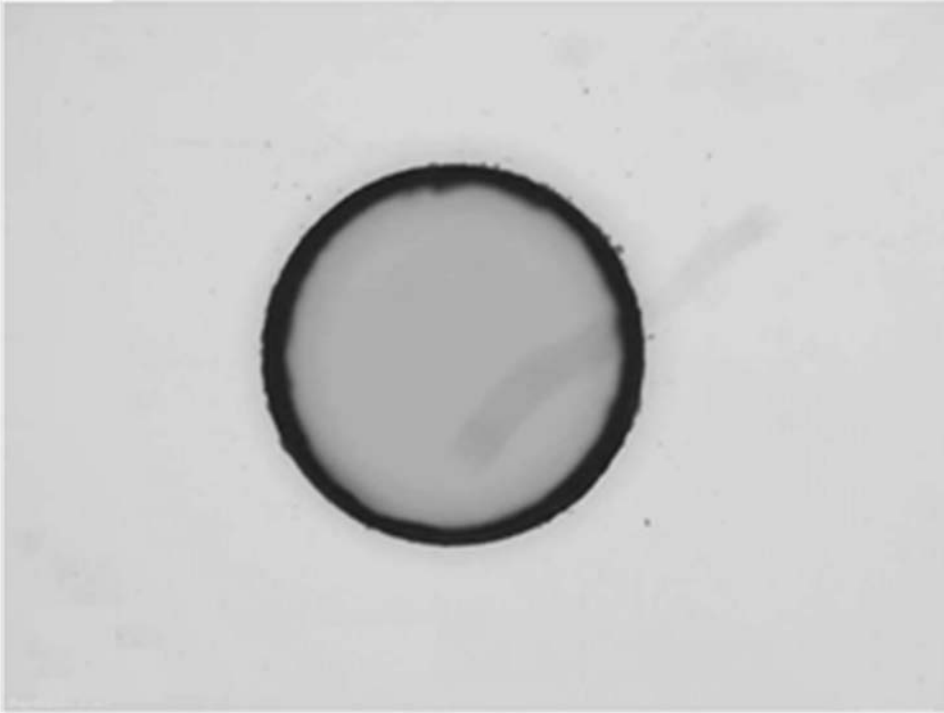
【 5 A】




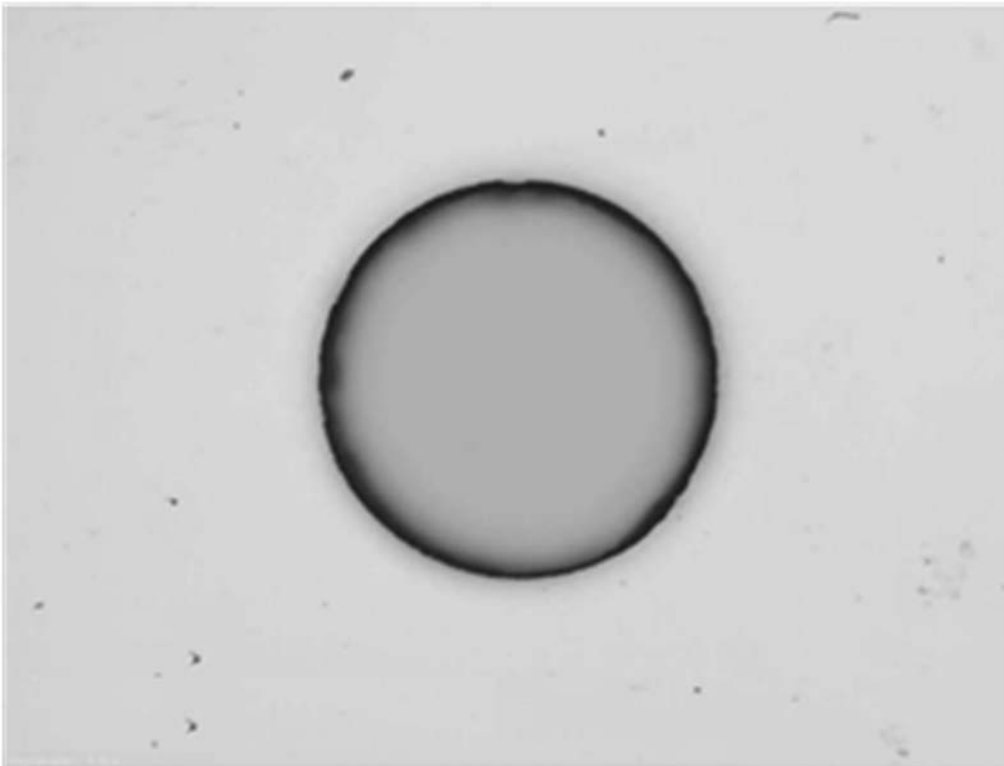
【 5 B】



【 5 C】



【 5 D】



---

フロントページの続き

(72)発明者 マシュー リコウ

アメリカ合衆国 97229 オレゴン州 ポートランド エヌダブリュ サイエンス パーク  
ドライブ 13900 エレクトロ サイエンティフィック インダストリーズ インコーポレー  
テッド内

(72)発明者 ユイン ジョウ

アメリカ合衆国 97229 オレゴン州 ポートランド エヌダブリュ サイエンス パーク  
ドライブ 13900 エレクトロ サイエンティフィック インダストリーズ インコーポレー  
テッド内

(72)発明者 ニコラス ファレット

アメリカ合衆国 97229 オレゴン州 ポートランド エヌダブリュ サイエンス パーク  
ドライブ 13900 エレクトロ サイエンティフィック インダストリーズ インコーポレー  
テッド内

Fターム(参考) 4E168 AD01 AE05 CB03 CB04 CB07 CB11 CB15 DA02 DA03 DA04  
DA28 DA32 DA40 DA45 DA46 DA47 EA15  
4G015 FA07 FB01 FC10