

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02019/135362

発行日 令和2年12月24日 (2020.12.24)

(43) 国際公開日 令和1年7月11日 (2019.7.11)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
B 2 3 K 26/57 (2014.01)	B 2 3 K 26/57	4 E 1 6 8
B 2 3 K 26/55 (2014.01)	B 2 3 K 26/55	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 17 頁)

出願番号 特願2019-563963 (P2019-563963)	(71) 出願人 504229284 国立大学法人弘前大学 青森県弘前市文京町 1 番地
(21) 国際出願番号 PCT/JP2018/047072	
(22) 国際出願日 平成30年12月20日 (2018.12.20)	
(31) 優先権主張番号 特願2018-508 (P2018-508)	(74) 代理人 100088155 弁理士 長谷川 芳樹
(32) 優先日 平成30年1月5日 (2018.1.5)	(74) 代理人 100113435 弁理士 黒木 義樹
(33) 優先権主張国・地域又は機関 日本国 (JP)	(74) 代理人 100124800 弁理士 諏澤 勇司
	(74) 代理人 100128107 弁理士 深石 賢治
	(72) 発明者 花田 修賢 青森県弘前市文京町 1 番地 国立大学法人 弘前大学内

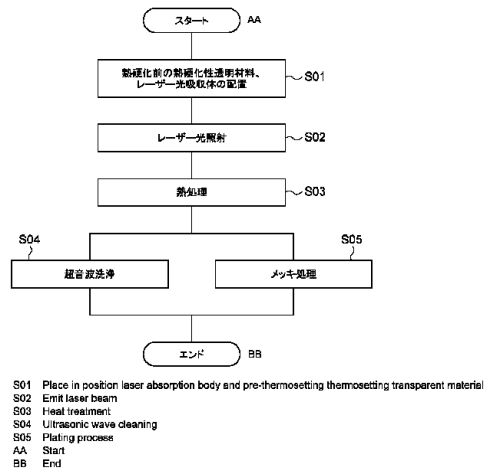
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 透明材料加工方法、透明材料加工装置及び透明材料

(57) 【要約】

材料の加工を簡易かつ高効率で行う。

透明材料加工方法は、熱硬化性透明材料を加工する方法である。透明材料加工方法は、熱硬化前の熱硬化性透明材料を配置する配置工程 (S 0 1) と、配置された熱硬化前の熱硬化性透明材料にレーザー光を照射して、当該熱硬化前の熱硬化性透明材料にキャビテーションバブルを発生させるレーザー光照射工程 (S 0 2) と、キャビテーションバブルが発生した熱硬化前の熱硬化性透明材料に対して硬化処理を行う硬化処理工程 (S 0 3) とを含む。



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

熱に応じて硬化する透明材料を加工する透明材料加工方法であって、
硬化前の透明材料を配置する配置工程と、
前記配置工程において配置された前記硬化前の透明材料にレーザー光を照射して、当該硬化前の透明材料にキャビテーションバブルを発生させるレーザー光照射工程と、
前記レーザー光照射工程においてキャビテーションバブルが発生した硬化前の透明材料に対して硬化処理を行う硬化処理工程と、
を含む透明材料加工方法。

【請求項 2】

前記配置工程において、前記硬化前の透明材料をレーザー光吸収体に接触させて配置し、
前記レーザー光照射工程において、前記配置工程において配置されたレーザー光吸収体に対して、前記硬化前の透明材料を介してレーザー光を照射して、当該硬化前の透明材料にキャビテーションバブルを発生させる、請求項 1 に記載の透明材料加工方法。

【請求項 3】

前記レーザー光吸収体は、金属であり、
前記硬化処理工程において硬化処理が行われた透明材料に対してメッキ処理を行うメッキ処理工程を更に含む請求項 2 に記載の透明材料加工方法。

【請求項 4】

前記レーザー光照射工程において、前記レーザー光吸収体に対して、レーザー光を集光して照射する請求項 2 又は 3 に記載の透明材料加工方法。

【請求項 5】

前記配置工程において、前記レーザー光照射工程において前記硬化前の透明材料に照射されるレーザー光の出射位置から当該硬化前の透明材料にかけて、固体及び液体の少なくとも何れかから構成される透明な物質を配置する請求項 1 ~ 4 の何れか一項に記載の透明材料加工方法。

【請求項 6】

熱に応じて硬化する透明材料を加工する透明材料加工装置であって、
硬化前の透明材料を収容する容器と、
前記容器に収容された前記硬化前の透明材料にレーザー光を照射するレーザー光照射装置と、
前記容器に収容された前記硬化前の透明材料における、前記レーザー光照射装置によってレーザー光が照射される位置が移動するように、前記容器及び前記レーザー光照射装置の少なくとも何れか一方を移動させる移動手段と、
を備える透明材料加工装置。

【請求項 7】

前記レーザー光照射装置によって前記硬化前の透明材料に照射されるレーザー光の出射位置から当該硬化前の透明材料にかけて配置される固体及び液体の少なくとも何れかから構成される透明な物質を更に備える請求項 6 に記載の透明材料加工装置。

【請求項 8】

請求項 1 ~ 5 の何れか一項に記載の透明材料加工方法によって加工された熱に応じて硬化する透明材料。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、熱に応じて硬化する透明材料を加工する透明材料加工方法及び透明材料加工装置、並びに透明材料に関する。

【背景技術】**【0002】**

10

20

30

40

50

ポリジメチルシロキサン（PDMS）に代表される熱硬化性透明材料は、高い透過性、化学的安定性、軽量かつ安価である等の優れた諸特性を有する。そのため、電子・電気等の工業分野における基板としての利用はもちろんのこと、バイオ及び医療分野でも、バイオチップ及び医療デバイスの材料として近年利用がされている。現在、これらの材料の微細加工技術には、鋳型を用いたモールドイング又はフォトリソグラフィが主に用いられている。また、レーザーを用いた微細加工技術は、レーザー光を走査するだけで任意形状の微細加工を実現することができる。汎用レーザーを用いた透明材料の微細加工技術には、LIPAA法（例えば、特許文献1参照）及びLIBWE法（例えば、特許文献2参照）がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2005-079245号公報

【特許文献2】特開2009-136912号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、上記の従来各技術には、以下のような問題がある。モールドイングの場合、鋳型を作製し、射出成形等により微細加工を実現する。しかし、任意の加工形状を作成するには、新たに鋳型を作製する必要があり、生産性及びコストの面で問題がある。フォトリソグラフィは、微細加工を可能にするが光照射、エッチング、スパッタ等の工程を繰り返し行う多重ステップであり、深溝加工が困難である等の問題がある。深溝加工の場合、数十 μm オーダーが限界であり、それ以上になると更なる多重ステップに繋がる。よって、モールドイング及びフォトリソグラフィでは、ラピッドプロトタイピングが困難である。

【0005】

レーザーを用いた方法であるLIPAA法及びLIBWE法は、加工効率（速度）が低い。また、LIPAA法は、溝加工に関しては数 μm オーダーの溝加工が限界であり、深溝加工の場合には複数のステップを要する等の問題点がある。

【0006】

本発明の一実施形態は、上記に鑑みてなされたものであり、材料の加工を簡易かつ高効率で行うことができる透明材料加工方法及び透明材料加工装置、並びに透明材料を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記目的を達成するために、本発明の一実施形態に係る透明材料加工方法は、熱に応じて硬化する透明材料を加工する透明材料加工方法であって、硬化前の透明材料を配置する配置工程と、配置工程において配置された硬化前の透明材料にレーザー光を照射して、当該硬化前の透明材料にキャビテーションバブルを発生させるレーザー光照射工程と、レーザー光照射工程においてキャビテーションバブルが発生した硬化前の透明材料に対して硬化処理を行う硬化処理工程と、を含む。

【0008】

本発明の一実施形態に係る透明材料加工方法では、レーザー光を照射することで、硬化前の透明材料に発生するキャビテーションバブルにより透明材料の加工が行われる。このため、本発明の一実施形態に係る透明材料加工方法によれば、材料の加工を簡易かつ高効率で行うことができる。

【0009】

配置工程において、硬化前の透明材料をレーザー光吸収体に接触させて配置し、レーザー光照射工程において、配置工程において配置されたレーザー光吸収体に対して、硬化前の透明材料を介してレーザー光を照射して、当該硬化前の透明材料にキャビテーションバ

10

20

30

40

50

ブルを発生させることとしてもよい。この構成によれば、透明材料の加工部分にレーザー光吸収体が付着し、透明材料の加工部分に対するメッキ処理等を容易に行うことができる。

【0010】

レーザー光吸収体は、金属であり、透明材料加工方法は、硬化処理工程において硬化処理が行われた透明材料に対してメッキ処理を行うメッキ処理工程を更に含むこととしてもよい。この構成によれば、透明材料における金属配線の形成等を簡易かつ高効率で行うことができる。

【0011】

レーザー光照射工程において、レーザー光吸収体に対して、レーザー光を集光して照射することとしてもよい。この構成によれば、レーザーの照射をより適切に行うことができ、キャビテーションバブルをより適切に発生させることができる。これにより、材料の加工をより適切に行うことができる。

10

【0012】

配置工程において、レーザー光照射工程において硬化前の透明材料に照射されるレーザー光の出射位置から当該硬化前の透明材料にかけて、固体及び液体の少なくとも何れかから構成される透明な物質を配置することとしてもよい。この構成によれば、照射されるレーザー光の経路における屈折率の変動を抑えることができる。これによって、適切に硬化前の透明材料にレーザー光を照射することができ、その結果、適切な材料の加工を行うことができる。

20

【0013】

また、本発明の一実施形態に係る透明材料加工方法に用いることができる透明材料加工装置も新規な構成を有する発明である。本発明の一実施形態に係る透明材料加工装置は、熱に応じて硬化する透明材料を加工する透明材料加工装置であって、硬化前の透明材料を収容する容器と、容器に収容された前記硬化前の透明材料にレーザー光を照射するレーザー光照射装置と、前記容器に収容された前記硬化前の透明材料における、前記レーザー光照射装置によってレーザー光が照射される位置が移動するように、前記容器又は前記レーザー光照射装置の少なくとも何れか一方を移動させる移動手段と、を備える。

【0014】

透明材料加工装置は、レーザー光照射装置によって前記硬化前の透明材料に照射されるレーザー光の出射位置から当該硬化前の透明材料にかけて配置される固体及び液体の少なくとも何れかから構成される透明な物質を更に備えることとしてもよい。

30

【0015】

また、本発明の一実施形態に係る透明材料加工方法によって加工された熱に応じて硬化する透明材料も新規な構成を有する発明である。

【発明の効果】

【0016】

本発明の一実施形態では、レーザー光を照射することで、硬化前の透明材料に発生するキャビテーションバブルにより透明材料の加工が行われる。このため、本発明の一実施形態によれば、材料の加工を簡易かつ高効率で行うことができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明の実施形態に係る透明材料加工方法に用いられる加工装置を示す図である。

【図2】本発明の実施形態に係る透明材料加工方法を示すフローチャートである。

【図3】熱硬化性透明材料及びレーザー光吸収体の配置、及びレーザー光の走査を模式的に示す図である。

【図4】キャビテーションバブルの発生を模式的に示す図である。

【図5】本発明の実施形態で加工された溝を示す図である。

【図6】本発明の実施形態で加工された溝を示す図である。

50

【図 7】本発明の実施形態で加工された溝及びメッキを示す図である。

【図 8】本発明の実施形態で加工された溝を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、図面と共に本発明に係る透明材料加工方法、透明材料加工装置及び透明材料の実施形態について詳細に説明する。なお、図面の説明においては同一要素には同一符号を付し、重複する説明を省略する。また、図面の寸法比率は、説明のものと必ずしも一致していない。

【0019】

本実施形態に係る透明材料加工方法は、熱に応じて硬化する透明材料、例えば、熱硬化性透明材料を加工する方法である。加工対象となる熱硬化性透明材料としては、P D M S（シリコン）、エポキシ、不飽和ポリエステル、ポリウレタン、メラミン及びユリア等の熱硬化性透明樹脂がある。

10

【0020】

本実施形態に係る加工は、例えば、熱硬化性透明材料の表面に数～数十 μ m程度の幅の微細な溝を設けるものである。本実施形態に係る加工は、溝以外にも熱硬化性透明材料の表面に微細な窪みを設けるものであってもよい。また、本実施形態に係る加工は、設けられた溝に金属配線として用いることができる金属薄膜を形成するものであってもよい。

【0021】

図 1 に本実施形態に係る透明材料加工方法の実行に用いる加工装置 1 を示す。即ち、加工装置 1 は、上記の透明材料を加工する本実施形態に係る透明材料加工装置である。図 1 に示すように、加工装置 1 は、容器 10 と、レーザー光源 20 と、集光レンズ 30 と、自動ステージ 40 とを備えて構成される。

20

【0022】

容器 10 は、加工時に加工対象の熱硬化性透明材料 100 と加工に用いられるレーザー光吸収体 200 とを収容する容器である。容器 10 は、例えば、透明なものが用いられる。加工対象の熱硬化性透明材料 100 は、容器 10 に入れられた際の形状となるため、容器 10 の形状は、それに応じたものとされる。

【0023】

図 1 に示すように、容器 10 の下側にレーザー光吸収体 200 が入れられる。レーザー光吸収体 200 としては、金属板（例えば、銅板）が用いられる。但し、レーザー光吸収体 200 として金属以外のものが用いられてもよい。容器 10 のレーザー光吸収体 200 の上に、熱硬化前の熱硬化性透明材料 100、即ち、液状の熱硬化性透明材料 100 が入れられる。容器 10 の内部では、板状のレーザー光吸収体 200 の一方の面上に熱硬化前の熱硬化性透明材料 100 が乗っている状態、即ち、熱硬化性透明材料 100 がレーザー光吸収体 200 に接触している状態となる。熱硬化性透明材料 100 のレーザー光吸収体 200 に接触している部分が、加工される部分となる。

30

【0024】

レーザー光源 20 は、熱硬化性透明材料 100 の加工に用いられるレーザー光 300 を出射する装置である。レーザー光源 20 によって出力されるレーザー光 300 の波長は、熱硬化前の熱硬化性透明材料 100 に対して透明な波長（熱硬化前の熱硬化性透明材料 100 を透過する波長）である。即ち、熱硬化性透明材料 100 は、熱硬化前にレーザー光 300 の波長に対して透明であればよい。レーザー光源 20 としては、従来の Y A G レーザー等の汎用レーザーの光源等を用いることができる。

40

【0025】

集光レンズ 30 は、レーザー光源 20 から出射されたレーザー光 300 を集光して出射するレンズである。集光レンズ 30 から出射されるレーザー光 300 は、熱硬化性透明材料 100 を介してレーザー光吸収体 200 に照射される。その際、レーザー光吸収体 200 の位置（表面）が、レーザー光 300 の焦点位置とされる。このようにレーザー光 300 がレーザー光吸収体 200 に照射されるように、レーザー光源 20 及び集光レンズ 30

50

は、位置決めされて配置される。また、レーザー光源 20 及び集光レンズ 30 以外の光学系が配置されていてもよい。集光レンズ 30 としては、従来の対物レンズとして用いられているレンズを用いることができる。例えば、集光レンズ 30 として、倍率が 20 倍、NA (開口数) が 0.35 の対物レンズを用いることができる。レーザー光源 20 及び集光レンズ 30 は、容器 10 に収容された熱硬化前の透明材料にレーザー光 300 を照射するレーザー照射装置を構成する。なお、レーザー照射装置は、上記以外の構成を取ることとしてもよい。

【0026】

自動ステージ 40 は、レーザー光 300 の照射位置、即ち、熱硬化性透明材料 100 の加工位置を位置決めできるステージである。自動ステージ 40 には、容器 10 が載せられる。自動ステージ 40 としては、従来の XYZ 軸の全軸方向に駆動する自動ステージを用いることができる。自動ステージ 40 は、容器 10 に収容された熱硬化前の透明材料における、レーザー光源 20 及び集光レンズ 30 によってレーザー光 300 が照射される位置が移動するように、容器 10 を移動させる移動手段である。なお、レーザー光 300 の照射位置の位置決めは、自動ステージ 40、即ち、容器 10 が移動するのではなく、レーザー光 300 の出射位置が移動して行われてもよい。また、それらの両方が移動されてもよい。即ち、上記の移動手段は、容器 10 に収容された熱硬化前の透明材料における、レーザー照射装置によってレーザー光が照射される位置が移動するように、容器 10 及びレーザー照射装置の少なくとも何れか一方を移動させるものであればよい。以上が、本実施形態に係る透明材料加工方法の実行に用いる加工装置 1 である。

10

20

【0027】

引き続き、図 2 のフローチャートを用いて、本実施形態に係る透明材料加工方法を説明する。まず、容器 10 内に熱硬化前の熱硬化性透明材料 100 及びレーザー光吸収体 200 が配置される (S01、配置工程)。当該配置は、例えば、作業者によって行われる。この際、図 1 に示すように、熱硬化性透明材料 100 はレーザー光吸収体 200 に接触させて配置される。例えば、図 3 の上側の図に示すようにレーザー光吸収体 200 が配置された容器 10 内に、熱硬化前の熱硬化性透明材料 100 が流し込まれることで当該配置が行われる。

【0028】

続いて、レーザー光源 20 から出射されて集光レンズ 30 によって集光されたレーザー光 300 が、熱硬化性透明材料 100 を介してレーザー光吸収体 200 に対して照射される (S02、レーザー照射工程)。レーザー光 300 のレーザー光吸収体 200 に対する照射によって、照射位置の熱硬化性透明材料 100 にキャビテーションバブルが発生する。レーザー光吸収体 200 の照射位置は、自動ステージ 40 によって移動される。即ち、レーザー光 300 は、レーザー光吸収体 200 上を走査する (移動する)。レーザー光 300 の走査は、熱硬化性透明材料 100 の加工領域に対して行われ、作業者の操作又は予めの設定等によって行われる。

30

【0029】

図 4 に示すように各照射位置には、それぞれキャビテーションバブル 400 が発生する。図 3 の上側の図に示すように直線状にレーザー光 300 を走査させたとすると、図 3 の下側の図に示すように熱硬化性透明材料 100 には直線状 (ライン状) の連続したキャビテーションバブル 400 が発生する。

40

【0030】

キャビテーションバブル 400 は、熱硬化性透明材料 100 に持続して存在する。レーザー光 300 の照射後、キャビテーションバブル 400 が発生した熱硬化性透明材料 100 に対して容器 10 ごと熱処理 (硬化処理) が行われて、熱硬化性透明材料 100 が熱硬化される (S03、硬化処理工程)。熱処理は、従来の熱硬化性透明材料 100 に対する熱処理と同様に行われる。

【0031】

熱硬化後の熱硬化性透明材料 100 のキャビテーションバブル 400 の部分は、窪みと

50

なっている。即ち、熱硬化性透明材料 100 には、鑄型となるキャビテーションバブル 400 の形状を反映した微細加工がなされる。上記の例のように直線状の連続したキャビテーションバブル 400 が発生した場合には、熱硬化性透明材料 100 には直線状の溝が形成される。

【0032】

キャビテーションバブル 400 のサイズ（形状）は、レーザー光 300 の照射条件（例えば、レーザー光 300 のパワー及び照射時間）によって制御することができる。通常、レーザー光 300 のパワー及び照射時間のそれぞれを大きくすると、キャビテーションバブル 400 のサイズは大きくなる。当該制御を μm オーダーで行うことが可能である。これらの制御は、例えば、レーザー光 300 の波面を制御する光学系（例えば、空間光変調器又はアキシコンレンズ）をレーザー光 300 の光路上に設けることでも行われる。

10

【0033】

熱硬化後の熱硬化性透明材料 100 は、容器 10 から取り出される。レーザー光吸収体 200 として金属を用いた場合、上記の窪み（溝）には当該金属の微粒子が付着する。これを除去する場合には、熱処理後、塩酸等の溶媒による超音波洗浄が行われる（S04）。

【0034】

一方で、金属微粒子を除去せず、熱硬化性透明材料 100 の窪み部分（溝）、即ち、加工部分にメッキ処理が行われてもよい（S05、メッキ処理工程）。メッキ処理は、例えば、従来と同様に熱硬化性透明材料 100 をメッキ処理液に浸すことで行うことができる。これによって、加工された窪み（溝）のみに金属配線として用いることができる金属薄膜を堆積することができる。即ち、加工領域への選択的な金属配線が可能になる。以上が、本実施形態に係る透明材料加工方法である。

20

【0035】

上述したように、本実施形態では、レーザー光 300 の照射によって、熱硬化前の熱硬化性透明材料 100 にキャビテーションバブル 400 が発生し、熱硬化性透明材料 100 の加工が行われる。本実施形態によれば、モルディング及びフォトリソグラフィと比べて少ない工程数での微細加工が可能となり、ラピッドプロトタイピングが可能となる。具体的には、本実施形態によれば、リソグラフィ工程にかかる時間を 5 ~ 10 分の 1 程度に減少することができる。また、本実施形態では、汎用レーザーが使用可能であることから、リソグラフィに必要なクリーンルーム等の高額設備を必要としない。

30

【0036】

また、本実施形態では、熱硬化前の熱硬化性透明材料 100 に発生するキャビテーションバブル 400 による加工を行うため、既に硬化している固体材料に対して加工を行う LIPAA 法及び LIBWE 法と比べると高効率（高速）で加工を行うことができる。例えば、本実施形態によれば、LIPAA 法及び LIBWE 法と比べると容易に深溝加工を実現することができる。具体的には、LIPAA 法及び LIBWE 法では、溝加工に関しては 1 度のレーザー照射で数 μm オーダーの溝加工が限界であるが、本実施形態ではそれ以上の深溝加工を容易に実現することができる。このように本実施形態によれば、材料の加工を簡易かつ高効率で行うことができる。また、本実施形態に係る透明材料加工方法によって加工された熱硬化性透明材料 100 は、本実施形態に係る透明材料である。

40

【0037】

また、本実施形態のように、配置工程において、熱硬化前の熱硬化性透明材料 100 をレーザー光吸収体 200 に接触させて配置し、レーザー光照射工程において、レーザー光吸収体 200 に対して、熱硬化前の熱硬化性透明材料 100 を介してレーザー光を照射して、当該熱硬化前の熱硬化性透明材料 100 にキャビテーションバブル 400 を発生させることとしてもよい。この構成によれば、熱硬化性透明材料 100 の加工部分に、キャビテーションバブル 400 の発生によって削り取られたレーザー光吸収体 200 が付着し、熱硬化性透明材料 100 の加工部分に対するメッキ処理等を容易に行うことができる。但し、熱硬化性透明材料 100 の加工にレーザー光吸収体 200 を必ずしも用いる必要はな

50

い。レーザー光吸収体 200 を用いない場合、熱硬化前の熱硬化性透明材料 100 の加工対象となる部分にレーザー光を照射して、当該加工対象となる部分にキャビテーションバブルを発生させればよい。

【0038】

また、本実施形態のようにレーザー光吸収体 200 として金属板を用いて、メッキ処理を行って、加工された熱硬化性透明材料 100 に金属薄膜を形成することとしてもよい。この構成によれば、熱硬化性透明材料 100 における金属配線の形成等を簡易かつ高効率で行うことができる。例えば、LIBWE 法では、加工領域への金属配線を行うためには新たな工程を必要とするが、本実施形態では当該新たな工程に比べて容易に金属配線の形成を行うことができる。但し、金属薄膜を形成する必要がない場合には、メッキ処理を行う必要はなく、例えば、上述したように超音波洗浄等によって加工部分の金属の微粒子を除去してもよい。また、この場合、レーザー光吸収体 200 として金属以外のものが用いられてもよい。

10

【0039】

また、本実施形態のように、レーザー光 300 を集光レンズ 30 によって集光して照射することとしてもよい。この構成によれば、レーザー光の照射をより適切に行うことができ、キャビテーションバブル 400 をより適切に発生させることができる。これにより、熱硬化性透明材料 100 の加工をより適切に行うことができる。但し、レーザー光 300 のパワーによっては、レーザー光 300 の集光は必ずしも行われる必要はない。集光が行われない場合には、レーザー光 300 のビーム径を反映した加工スケールになる。

20

【0040】

なお、本実施形態では、加工対象を熱硬化性透明材料としたが、熱に応じて硬化する透明材料であれば熱硬化性透明材料以外を加工対象としてもよい。熱硬化性透明材料は加熱によって硬化するが、熱硬化性透明材料とは逆に冷却によって硬化する材料（例えば、ガラス）を加工対象としてもよい。また、本実施形態では、熱硬化性透明材料 100 とレーザー光吸収体 200 とが鉛直方向で接触している例を示したが、この接触に限らずどのように接触していてもよい。

【0041】

図 5 に本実施形態によって熱硬化性透明材料 100 (PDM S) に形成された溝の例を示す。図 5 (a) は当該溝の上面図、図 5 (b) は当該溝の断面図である。レーザー光 300 の照射条件によるが、図 5 (b) に示されるように溝の深さと幅とのアスペクト比がおよそ 1 : 1 になっている。図 6 に本実施形態によって熱硬化性透明材料 100 (PDM S) に形成された溝のレーザー顕微鏡像（倍率：100 倍）の例を示す。本例は、レーザー光 300 のパワーが $1 \mu\text{J} / \text{pulse}$ であり、走査の速度が $5000 \mu\text{m} / \text{s}$ である例である。アスペクト比は同様におよそ 1 : 1 になっている。図 7 (a) は、本実施形態によって熱硬化性透明材料 100 (PDM S) に形成された溝の反射顕微鏡像（倍率：20 倍）を、図 7 (b) は、メッキがされた溝の反射顕微鏡像（倍率：20 倍）である。上記の図 5 ~ 図 7 にも示されるように本実施形態によれば、熱硬化性透明材料 100 (PDM S) の加工が適切に行えている。

30

【0042】

引き続き、本実施形態の変形例について説明する。上述した実施形態は、熱硬化性透明材料 100 の表面に沿った溝を設けるものであった。本発明の実施形態による加工は、上記のような熱硬化性透明材料 100 に溝を設けるものに限られず、熱硬化性透明材料 100 に貫通孔又は貫通していない穴（深溝）を形成する場合にも用いることができる。

40

【0043】

その場合、レーザー光 300 を照射する部分（レーザー光 300 の焦点位置）は、熱硬化性透明材料 100 に形成される貫通孔又は貫通していない穴に相当する部分となる。例えば、図 1、図 3 及び図 4 において、鉛直方向（紙面の上下方向）にレーザー光 300 を照射する部分を走査（移動）させる。具体的には、集光したレーザー光 300 を光軸に対して水平方向に下から上げる。このような走査は、レーザー光源 20 及び集光レンズ 30

50

によるレーザー光300の出射位置をレーザー光の光軸に沿って移動させる、又は自動ステージ40をレーザー光の光軸に沿って移動させることで実現することができる。

【0044】

また、レーザー光300を熱硬化前の熱硬化性透明材料100に照射する前に、即ち、配置工程において、レーザー光300の出射位置から当該熱硬化前の熱硬化性透明材料100にかけて、固体及び液体の少なくとも何れかから構成される透明な物質を配置することとしてもよい。例えば、熱硬化前の熱硬化性透明材料100の上にガラス板を配置し、その上に水の膜を乗せ、水の膜にレーザー光300の出射位置である集光レンズ30を接触させる。この構成では、出射されるレーザー光300は、水及びガラス板を經由して熱硬化前の熱硬化性透明材料100に入射する。

10

【0045】

上記の構成は、レーザー光300の経路の屈折率を考慮したものである。例えば、熱硬化前の熱硬化性透明材料100であるPDMSの屈折率は、1.41程度である。上記のガラス板及び水の膜を設けない場合、レーザー光300は、空気を經由して熱硬化前の熱硬化性透明材料100に入射する。空気の屈折率は、約1であるため、熱硬化前の熱硬化性透明材料100との屈折率の差が大きくなる。ガラス板の屈折率は、1.45程度、水の屈折率は、1.3程度であるため、熱硬化前の熱硬化性透明材料100との屈折率の差を小さくすることができる。即ち、この構成によれば、照射されるレーザー光300の経路における屈折率の変動を抑えることができる。これによって、適切に熱硬化前の熱硬化性透明材料100にレーザー光300を照射することができ、その結果、適切な材料の加工を行うことができる。

20

【0046】

なお、本変形例のようにレーザー光300の出射位置、即ち、集光レンズ30を鉛直方向に移動させる場合であっても、移動させる長さが短ければ、例えば、1500 μ m程度であれば、水の表面張力で集光レンズ30に水が接触したままとなる。

【0047】

また、レーザー光300の経路に設けられる透明な物質は、ガラス板及び水に限られず、屈折率の変動を抑える固体及び液体の少なくとも何れかから構成される透明な物質であればよい。また、当該透明な物質は、上記のように固体（ガラス板）及び液体（水）の組み合わせであってもよい。また、当該透明な物質は、加工装置1に含まれていてもよい。

30

【0048】

また、変形例を含む本実施形態では、発生したキャビテーションバブル400が、移動等せず安定して熱硬化前の熱硬化性透明材料100に位置するように熱硬化前の熱硬化性透明材料100の粘度を調整することとしてもよい。

【0049】

図8に本実施形態及び変形例によって熱硬化性透明材料100であるPDMSに形成された溝の例を示す。図8では、熱硬化性透明材料100は、レーザー光吸収体200である銅板の上のっている。レーザー光吸収体200との境目に形成された溝110は、上述した実施形態によって形成されたものである。レーザー光吸収体200から垂直に延びる溝（貫通孔）120は、上述した変形例によって形成されたものである。即ち、T字型に溝110、120が形成されている。このような溝110、120は、流路として用いることができる。レーザー光吸収体200の溝120が延びる方向の長さ（レーザー光吸収体200の厚さ）は、1500 μ m程度であり、この長さ全体にわたって溝120（即ち、貫通孔）が形成されている。なお、図8におけるレーザー光吸収体200の当該方向の長さは、173.8 μ mである。

40

【0050】

溝120の幅は、およそ7.4 μ mである。溝120における長さとのアスペクト比は、およそ202（1500/7.4）である。このように本方法によれば、アスペクト比が200以上の溝を熱硬化性透明材料100の貼り合わせ等の方法によらずに形成することができる。

50

【 0 0 5 1 】

上記目的を達成するために、本発明の一実施形態に係る透明材料加工方法は、熱に応じて硬化する透明材料を加工する透明材料加工方法であって、硬化前の透明材料をレーザー光吸収体に接触させて配置する配置工程と、配置工程において配置されたレーザー光吸収体に対して、硬化前の透明材料を介してレーザー光を照射して、当該硬化前の透明材料にキャビテーションバブルを発生させるレーザー光照射工程と、レーザー光照射工程においてキャビテーションバブルが発生した硬化前の透明材料に対して硬化処理を行う硬化処理工程と、を含む。

【 0 0 5 2 】

本発明の一実施形態に係る透明材料加工方法では、レーザー光を照射することで、硬化前の透明材料に発生するキャビテーションバブルにより透明材料の加工が行われる。このため、本発明の一実施形態に係る透明材料加工方法によれば、材料の加工を簡易かつ高効率で行うことができる。

10

【 0 0 5 3 】

レーザー光吸収体は、金属であり、透明材料加工方法は、硬化処理工程において硬化処理が行われた透明材料に対してメッキ処理を行うメッキ処理工程を更に含むこととしてもよい。この構成によれば、透明材料における金属配線の形成等を簡易かつ高効率で行うことができる。

【 0 0 5 4 】

レーザー光照射工程において、レーザー光吸収体に対して、レーザー光を集光して照射することとしてもよい。この構成によれば、レーザーの照射をより適切に行うことができ、キャビテーションバブルをより適切に発生させることができる。これにより、材料の加工をより適切に行うことができる。

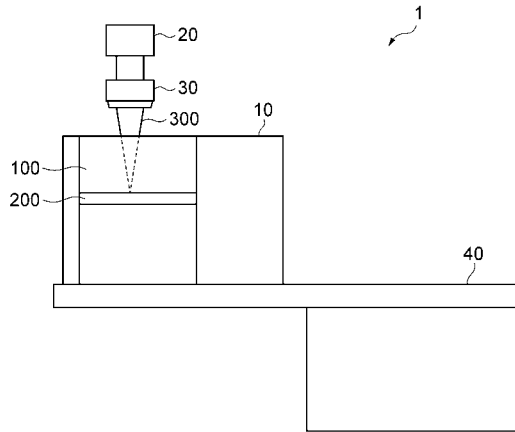
20

【 符号の説明 】

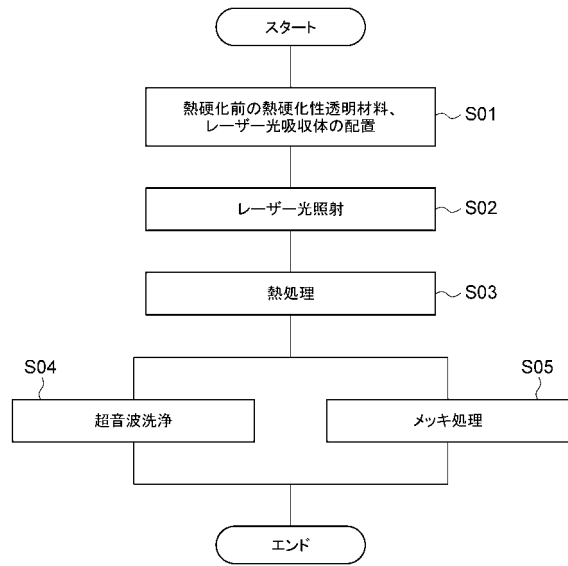
【 0 0 5 5 】

1 ... 加工装置、 10 ... 容器、 20 ... レーザー光源、 30 ... 集光レンズ、 40 ... 自動ステージ、 100 ... 熱硬化性透明材料、 200 ... レーザー光吸収体、 300 ... レーザー光、 400 ... キャビテーションバブル。

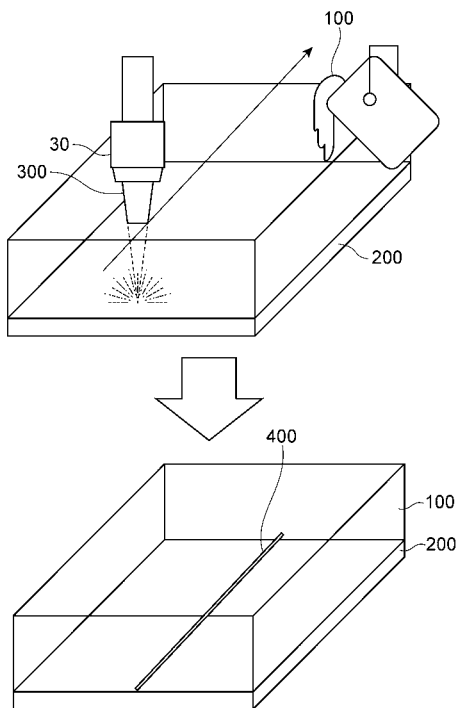
【 図 1 】



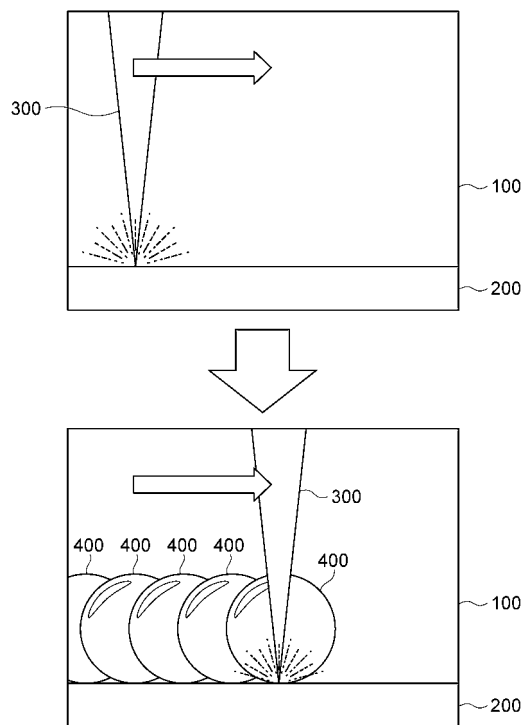
【 図 2 】



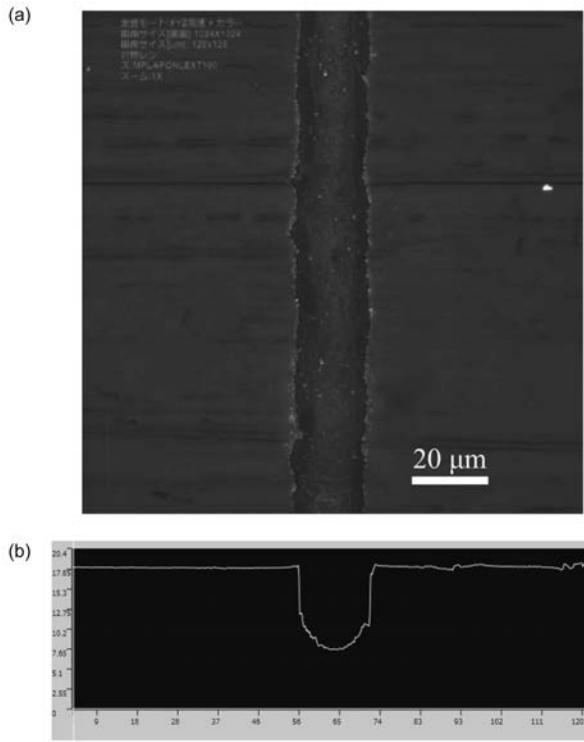
【 図 3 】



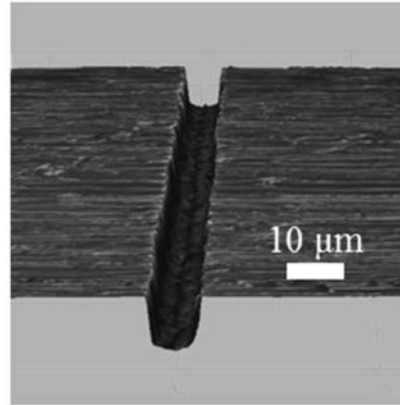
【 図 4 】



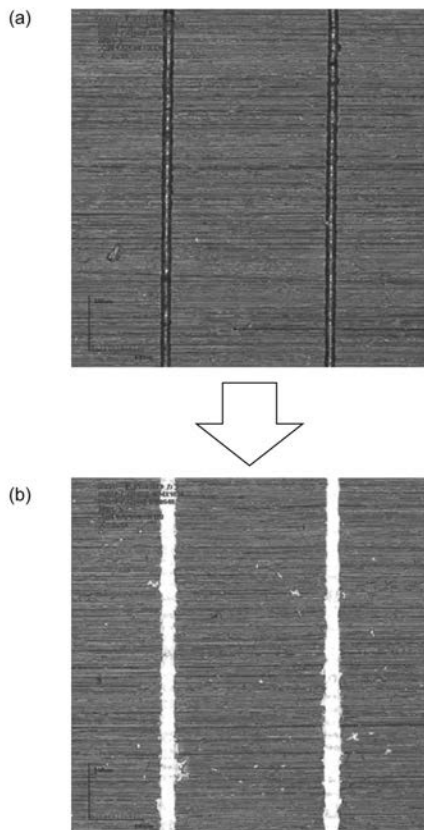
【 図 5 】



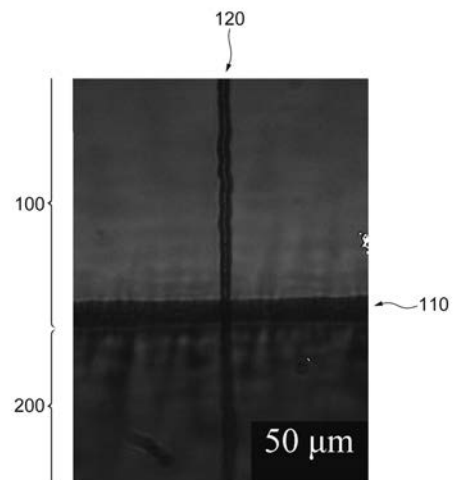
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP2018/047072
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl. B23K26/57 (2014.01) i, B23K26/55 (2014.01) i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl. B23K26/57, B23K26/55 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2019 Registered utility model specifications of Japan 1996-2019 Published registered utility model applications of Japan 1994-2019 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 8-97513 A (KUBOTA CORP.) 12 April 1996, claim 1, paragraphs [0005], [0013]-[0015], [0018], [0021], fig. 5 (Family: none)	6-7 1-5, 8
A	JP 2004-306134 A (NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY) 04 November 2004, claims, fig. 1-9 (Family: none)	1-8
A	JP 9-216292 A (RIKEN, JAPAN) 19 August 1997, claims, fig. 1-4 & US 5780070 A & EP 790119 A2	1-8
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input 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 14 March 2019 (14.03.2019)		Date of mailing of the international search report 26 March 2019 (26.03.2019)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/047072

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 8-156109 A (DENKEN ENG KK) 18 June 1996, claims, fig. 1-5 (Family: none)	1-8
A	JP 2007-245460 A (ALPS ELECTRIC CO., LTD.) 27 September 2007, claims, fig. 1-6 (Family: none)	1-8
A	WO 2017/057723 A1 (TOPPAN PRINTING CO., LTD.) 06 April 2017, paragraphs [0056]-[0084], [0094], [0188]-[0191], fig. 4-6 & US 2018/0222243 A1 & EP 3357706 A1 & CN 108136811 A & KR 10-2018-0066055 A	1-8

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 8 / 0 4 7 0 7 2	
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. B23K26/57(2014,01)i, B23K26/55(2014,01)i			
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. B23K26/57, B23K26/55			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2019年 日本国実用新案登録公報 1996-2019年 日本国登録実用新案公報 1994-2019年			
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号	
X A	JP 8-97513 A (株式会社クボタ) 1996.04.12, 請求項1, 段落0005, 段落0013-段落0015, 段落0018, 段落0021, 図5 (ファミリーなし)	6-7 1-5, 8	
A	JP 2004-306134 A (独立行政法人産業技術総合研究所) 2004.11.04, 特許請求の範囲, 図1-図9 (ファミリーなし)	1-8	
A	JP 9-216292 A (理化学研究所) 1997.08.19, 特許請求の範囲, 図1-図4 & US 5780070 A & EP 790119 A2	1-8	
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリー		の日の後に公表された文献	
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの		「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの		「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの	
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)		「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの	
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		「&」同一パテントファミリー文献	
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願			
国際調査を完了した日 14.03.2019		国際調査報告の発送日 26.03.2019	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 黒石 孝志	3 P 9527
		電話番号 03-3581-1101 内線 3363	

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 8 / 0 4 7 0 7 2
C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 8-156109 A (デンケンエンジニアリング株式会社) 1996.06.18, 特許請求の範囲, 図1-図5 (ファミリーなし)	1-8
A	JP 2007-245460 A (アルプス電気株式会社) 2007.09.27, 特許請求の範囲, 図1-図6 (ファミリーなし)	1-8
A	WO 2017/057723 A1 (凸版印刷株式会社) 2017.04.06, 段落0056-段落0084, 段落0094, 段落0188-段落0191, 図4-図6 & US 2018/0222243 A1 & EP 3357706 A1 & CN 108136811 A & KR 10-2018-0066055 A	1-8

フロントページの続き

(81)指定国・地域 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, RO, 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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, 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

Fターム(参考) 4E168 AE04 AE05 DA24 EA11 EA13 JA01 JA04 JA14 KA04

(注) この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。