(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2003 年12 月4 日 (04.12.2003)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 03/099507 A1

(51) 国際特許分類[7]: B23K 26/40, C03C 23/00

(21) 国際出願番号: PCT/JP03/06039

(22) 国際出願日: 2003 年5 月15 日 (15.05.2003)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2002-149931 2002 年5 月24 日 (24.05.2002) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 理化学研究所 (RIKEN) [JP/JP]; 〒351-0198 埼玉県 和光市 広沢２番１号 Saitama (JP).

(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 杉岡 幸次 (SUGIOKA,Koji) [JP/JP]; 〒351-0198 埼玉県 和光市 広沢２番１号 理化学研究所内 Saitama (JP). チェン ヤ (CHENG,Ya) [CN/JP]; 〒351-0198 埼玉県 和光市 広沢２番１号 理化学研究所内 Saitama (JP). 緑川 克美 (MIDORIKAWA,Katsumi) [JP/JP]; 〒351-0198 埼玉県 和光市 広沢２番１号 理化学研究所内 Saitama (JP).

(74) 代理人: 上島 淳一 (UESHIMA,Junichi); 〒171-0021 東京都 豊島区 西池袋１－５－１１－４０４ Tokyo (JP).

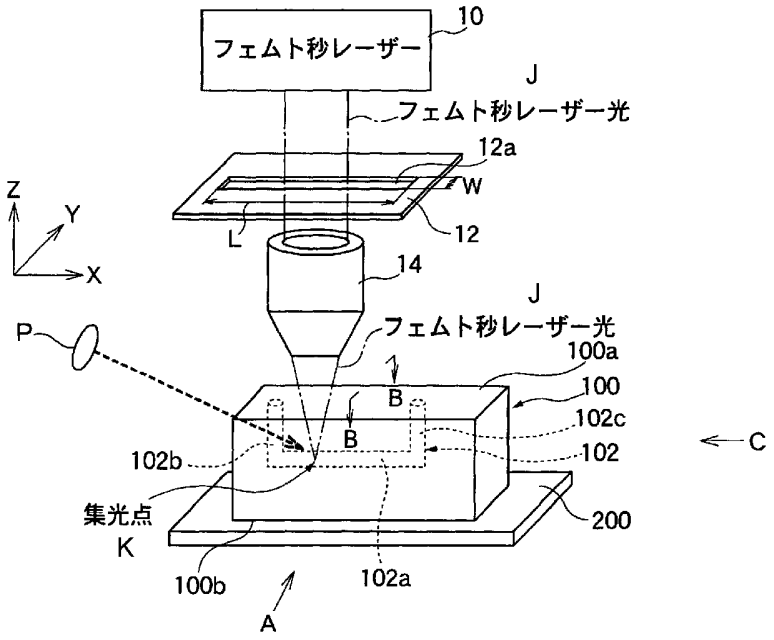
(81) 指定国 (国内): CA, KR, US.

(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

[続葉有]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR PROCESSING INSIDE OF TRANSPARENT MATERIAL

(54) 発明の名称: 透明材料内部の処理方法およびその装置



10...FEMTOSECOND LASER
J...FEMTOSECOND LASER LIGHT
K...LIGHT FOCUS POINT

(57) Abstract: A shape with a substantially perfect circle is obtained as a processed shape such as a modified shape or a worked shape at a light focus point in a cross-section in a direction parallel to an advance direction of a femtosecond laser light beam. A section in a direction perpendicular to an advance direction of a laser light beam emitted from a femtosecond laser (10) is formed in a predetermined shape. The laser light of which sectional shape in the direction perpendicular to the advance direction is formed in the predetermined shape is entered into a lens (14). The light is focused by the lens inside a transparent material (100) and processes the inside of the transparent material.

[続葉有]

WO 03/099507 A1

添付公開書類:
— 国際調査報告書

２文字コード及び他の略語については、定期発行される各*PCT*ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約:

集光点における改質形状や加工形状などの処理形状としてフェムト秒レーザー光のビームの進行方向に平行な方向の断面の形状が真円に近いものを得る。

フェムト秒レーザー（１０）から出射されるレーザー光のビームの進行方向に直交する方向の断面を所定の形状に成形し（１２）、上記進行方向に直交する方向の断面のビーム形状を上記所定の形状に成形したレーザー光をレンズ（１４）に入射して該レンズにより透明材料（１００）の内部に集光し、上記透明材料の内部を処理するようにした。

明 細 書

透明材料内部の処理方法およびその装置

技術分野

本発明は、透明材料内部の処理方法およびその装置に関し、さらに詳細には、10^{-13}秒オーダーのパルス幅を有するフェムト秒レーザーのレーザー光に対して透明な材料の内部の改質や加工などの処理を行う際に用いて好適な透明材料内部の処理方法およびその装置に関する。

背景技術

従来より、サブピコ秒以下のレーザー光源として、10^{-13}秒オーダーのパルス幅を有するフェムト秒レーザーが知られている。

こうしたフェムト秒レーザー、例えば、パルス幅が１００～１５０フェムト秒ほどのフェムト秒レーザーから出射されたレーザー光たるフェムト秒レーザー光（本明細書においては、「フェムト秒レーザーから出射されたレーザー光」を「フェムト秒レーザー光」と適宜に称することとする。）を、レンズを用いて当該フェムト秒レーザー光に対して透明な材料（本明細書においては、所定のレーザー光に対して透明な材料を称するにあたって、単に「透明材料」と適宜に称することとする。）の内部に集光すると、当該フェムト秒レーザー光を集光された集光位置たる集光点のみに多光子吸収を生じさせ、透明材料内部における集光点の改質や

加工などの処理を行うことができるという現象が知られている。

近年においては、こうした現象を利用して、フェムト秒レーザー光に対して透明なガラス材料内部において屈折率を変化させたり、結晶析出を行ったり、マイクロボイドを生成したりすることが可能であることが報告されており、さらには、光導波路や３次元メモリーあるいはフォトニック結晶やマイクロチャネルなどの作成が報告されている。

ところで、上記した現象を利用して作成された上記したマイクロチャネルなどの構造について、フェムト秒レーザー光のビームの進行方向に平行する方向の断面の形状を観察すると、その断面形状は、フェムト秒レーザー光の集光点における当該フェムト秒レーザー光の縦方向、即ち、当該フェムト秒レーザー光のビームの進行方向に平行する方向の空間強度分布に大きく依存していることが判明した。

即ち、本願発明者の計算結果によれば、例えば、開口数（Ｎｕｍｅｒｉｃａｌ Ａｐｅｒｔｕｒｅ：ＮＡ）が０．４６（「開口数＝０．４６」は、倍率２０倍に相当する。）の対物レンズを用いてフェムト秒レーザー光を集光した場合には、当該集光点におけるフェムト秒レーザー光のビームの進行方向に平行する方向の空間強度分布（図２におけるＹ－Ｚ平面の空間強度分布である。）は、図１（ａ）に示すようにフェムト秒レーザー光のビームの進行方向に延びた縦長の楕円形状の強度分布を持つことになる。

その結果、透明材料内部における改質形状や加工形状などの処理形状も、透明

材料内部の集光点におけるフェムト秒レーザー光のビームの進行方向に平行する方向の空間強度分布の影響を受けて、フェムト秒レーザー光のビームの進行方向に延びた縦長の楕円形状となってしまうものであった。

しかしながら、透明材料内部における改質形状や加工形状などの処理形状が、フェムト秒レーザー光のビームの進行方向に延びた縦長の楕円形状となることは、工業的にマイクロチャネルや光導波路などを作成して利用することを考慮した場合には望ましいものではないという問題点があった。即ち、多くの場合に、透明材料内部における改質形状や加工形状などの処理形状としては、フェムト秒レーザー光のビームの進行方向に平行する方向の断面の形状が真円に近いものであることが要求されるものであった。

ここで、透明材料内部における改質形状や加工形状などの処理形状として、フェムト秒レーザー光のビームの進行方向に平行する方向の断面の形状が真円に近いものを得るためには、透明材料内部の集光点におけるフェムト秒レーザー光のビームの進行方向に平行する方向の空間強度分布を真円に近いものとすればよいことになる。

一般に、透明材料内部の集光点において、フェムト秒レーザー光のビームの進行方向に平行する方向における真円に近い空間強度分布を得て、透明材料内部における改質形状や加工形状などの処理形状として、フェムト秒レーザー光のビームの進行方向に平行する方向の断面の形状が真円に近いものを得るための手法と

しては、例えば、開口数の大きい対物レンズを利用することが考えられる。

確かに、開口数が１以上の対物レンズを用いてフェムト秒レーザー光を透明材料内部に集光して、当該透明材料内部における改質や加工などの処理を行った場合には、当該集光点における改質形状や加工形状などの処理形状としては、フェムト秒レーザー光のビームの進行方向に平行する方向の断面の形状に関して真円に近い形状を得られることが知られている（Ｈｉｒｏａｋｉ　ＭＩＳＡＷＡ　ｅｔ　ａｌ.，　Ｐｒｏｃ．ＳＰＩＥ　Ｖｏｌ．４０８８，　ｐ２９－３２）。

しかしながら、開口数が１以上の対物レンズを用いてフェムト秒レーザー光を透明材料内部に集光する場合には、ワーキングディスタンス（ワーキングディスタンスとは、対物レンズと試料、即ち、改質や加工などの処理対象の透明材料との間の距離である。）が数百μm以下（開口数が１の対物レンズを用いてフェムト秒レーザー光を透明材料内部に集光する場合には、ワーキングディスタンスは２００～３００μmとなる。）となるため、透明材料内部の深い位置の領域に対して改質や加工などの処理を行うことは不可能であるという問題点が指摘されていた。

本発明は、上記したような従来の技術の有する問題点に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、数mm以上のワーキングディスタンスをとることのできる開口数の比較的小さい集光レンズを用いてフェムト秒レーザー光を透明材料内部に集光するようにしても、集光位置たる集光点における改質形状や加工形状などの処理形状として、フェムト秒レーザー光のビームの進行方向に平行する方向の断面の形状が真円に近いものを得ることができるようにした透明材料

内部の処理方法およびその装置を提供しようとするものである。

発明の開示

上記目的を達成するために、本発明は、フェムト秒レーザーから出射されるレーザー光のビームの進行方向に直交する方向の断面のビーム形状を所定の形状に成形し、上記進行方向に直交する方向の断面のビーム形状を上記所定の形状に成形したレーザー光をレンズに入射して該レンズにより透明材料の内部に集光し、上記透明材料の内部に集光したレーザー光の作用により上記透明材料の内部を処理するようにしたものである。

また、本発明は、上記所定の形状を略長方形状としたものである。

また、本発明は、上記所定の形状を略十字型状としたものである。

また、本発明は、レーザー光を出射するフェムト秒レーザーと、上記フェムト秒レーザーから出射されたレーザー光のビームの進行方向に直交する方向の断面のビーム形状を所定の形状に成形するビーム形状成形手段と、上記ビーム形状成形手段により上記進行方向に直交する方向の断面のビーム形状を所定の形状に成形されたレーザー光を入射して、該レーザー光を透明材料の内部に集光するレンズとを有し、上記レンズにより上記透明材料の内部に集光されたレーザー光の作用により上記透明材料の内部を処理するようにしたものである。

また、本発明は、さらに、上記透明材料の内部に集光されるレーザー光の集光位置を上記透明材料に対して相対的に移動する移動手段とを有するようにしたものである。

また、本発明は、上記ビーム形状成形手段が、上記フェムト秒レーザーから出射されたレーザー光が通過する略長方形状のスリットを備えるようにして、上記フェムト秒レーザーから出射されたレーザー光のビームの進行方向に直交する方向の断面のビーム形状を略長方形状に成形するようにしたものである。

また、本発明は、上記ビーム形状成形手段が、上記フェムト秒レーザーから出射されたレーザー光が通過する略十字型状のスリットを備えるようにして、上記フェムト秒レーザーから出射されたレーザー光のビームの進行方向に直交する方向の断面のビーム形状を略十字型状に成形するようにしたものである。

また、本発明は、上記ビーム形状成形手段が、第１のシリドリカルレンズと第２のシリンドリカルレンズとを順次平行に配置するようにして、上記フェムト秒レーザーから出射されたレーザー光のビームの進行方向に直交する方向の断面のビーム形状を略長方形状に成形するようにしたものである。

従って、上記した本発明によれば、透明材料内部の集光点におけるフェムト秒レーザー光のビームの進行方向に平行する方向の空間強度分布が真円に近いものとなり、その結果、透明材料内部における改質形状や加工形状などの処理形状として、フェムト秒レーザー光のビームの進行方向に平行する方向の断面の形状が真円に近いものを得ることができるようになる。

即ち、上記した本発明のように、フェムト秒レーザーから出射されるレーザー光のビームの進行方向に直交する方向の断面のビーム形状を所定の形状、例えば、略長方形状や略十字型状に成形してレンズに入射すると、回折効果により、透明

材料内部の集光点におけるフェムト秒レーザー光のビームの進行方向に平行する方向の空間強度分布が真円に近いものとなるので、透明材料内部における改質形状や加工形状などの処理形状として、フェムト秒レーザー光のビームの進行方向に平行する方向の断面の形状が真円に近いものを得ることができる。

5

図面の簡単な説明

図１（ａ）は、開口数が０．４６の対物レンズを用いてフェムト秒レーザー光を集光した場合における、当該集光点におけるフェムト秒レーザー光のビームの進行方向に平行する方向の空間強度分布の計算結果を示すシミュレーション図を
10 示す写真である。

図１（ｂ）は、本発明による透明材料内部の処理装置（対物レンズとしては、開口数が０．４６の対物レンズを用いている。また、対物レンズに入射されるビームの形状は「０．５ｍｍ×３ｍｍ」である。）を用いてフェムト秒レーザー光を集光した場合における、当該集光点におけるフェムト秒レーザー光のビームの
15 進行方向に平行する方向の空間強度分布の計算結果を示すシミュレーション図を示す写真である。

なお、図１（ａ）ならびに図１（ｂ）においては、シミュレーション図の中心ほど強度が高い状態を示している。

図２は、本発明による透明材料内部の処理装置の概念構成説明図である。

20 図３（ａ）、図３（ｂ）、図３（ｃ）ならびに図３（ｄ）は、本願発明者による実験により作成されたマイクロチャネルの顕微鏡写真である。なお、図３（ａ）

および図３（ｂ）は、スリット部材を用いずにフェムト秒レーザー光を直接に対物レンズで集光して試料の内部に照射したという従来の場合を示し、図３（ｃ）および図３（ｄ）は、スリット部材を用いてフェムト秒レーザー光を略長方形状のスリットを通過させた後に対物レンズで集光して試料の内部に照射した本発明の場合を示している。

また、図３（ａ）および図３（ｃ）は試料の側面、即ち、図２におけるＡ矢視から観察した結果を示し、図３（ｂ）および図３（ｄ）は試料を上面から下面に向けて図２におけるＢ－Ｂ線に沿って機械的に切断して当該切断した試料の内部に形成されたマイクロチャネルのフェムト秒レーザー光のビームの走査方向に直交する方向の断面をＣ矢視から観察した結果を示している。

図４（ａ）ならびに図４（ｂ）は、本願発明者による実験により作成されたマイクロチャネルの顕微鏡写真である。なお、図４（ａ）は試料の側面、即ち、図２におけるＡ矢視から観察した結果を示し、図４（ｂ）は試料を上面から下面に向けて図２におけるＢ－Ｂ線に沿って機械的に切断して当該切断した試料の内部に形成されたマイクロチャネルのフェムト秒レーザー光のビームの走査方向に直交する方向の断面をＣ矢視から観察した結果を示している。

図５（ａ）ならびに図５（ｂ）は、スリット部材の他の構成例を示す説明図である。

図６は、スリット部材とは異なるビーム形状成形手段の構成例を示す説明図である。

符号の説明

１０　　フェムト秒レーザー

１２、１２’、１２’’　　スリット部材

１２ａ、１２ａ’、１２ａ’’　　スリット

１４　　対物レンズ

１００　　試料

１００ａ　　上面

１００ｂ　　下面

１０２　　マイクロチャネル

１０２ａ、１０２ｂ、１０２ｃ　　流路

２００　　移動テーブル

３００　　第１のシリンドリカルレンズ

３０２　　第２のシリンドリカルレンズ

Ｐ　　図２のＸ－Ｙ平面におけるフェムト秒レーザー光の集光点の形状

発明を実施するための最良の形態

以下、添付の図面に基づいて、本発明による透明材料内部の処理方法およびその装置の実施の形態の一例について詳細に説明するものとする。

図２には、本発明による透明材料内部の処理装置の概念構成説明図が示されている。なお、この図２においては、本発明による透明材料内部の処理装置を用い

て、透明材料としての感光性ガラス製の試料１００の内部における処理として、試料１００の内部にマイクロチャネル１０２を形成するために、マイクロチャネル１０２となる領域の改質の処理を行う場合が示されている。なお、感光性ガラスとしては、例えば、フォーチュランガラス（Ｆｏｒｔｕｒａｎ　Ｇｌａｓｓ）を用いることができる。

この図２に示す透明材料内部の処理装置は、10^{-13}秒オーダーのパルス幅を有するフェムト秒レーザー光として、例えば、パルス幅が１００～１５０フェムト秒ほどのフェムト秒レーザー光を照射するフェムト秒レーザー１０と、フェムト秒レーザー１０から出射されたレーザー光のビームの進行方向に直交する方向の断面のビーム形状を所定の形状に成形するビーム形状成形手段としてフェムト秒レーザー１０から出射されたフェムト秒レーザー光が通過する略長方形状のスリット１２ａが形成されたスリット部材１２と、スリット部材１２のスリット１２ａを通過したフェムト秒レーザー光を試料１００の内部に集光するレンズとしての対物レンズ１４とを有して構成されている。

また、この透明材料内部の処理装置は、対物レンズ１４により試料１００の内部に集光されるフェムト秒レーザー光の集光位置を、試料１００に対して相対的に移動する移動手段としての移動テーブル２００を備えており、この移動テーブル２００上に試料１００が載置されている。なお、移動テーブル２００は、図２においてＸ方向、Ｙ方向ならびにＺ方向に任意に移動可能なようになされており、この移動はモータなどの駆動手段（図示せず）により制御されるものとする。

即ち、この透明材料内部の処理装置は試料１００に対して位置決めされて固定

されているが、試料１００を移動テーブル２００上に載置してX方向、Y方向ならびにZ方向に任意に移動することにより、試料１００の内部に集光されるフェムト秒レーザー光の集光位置を試料１００に対して相対的にX方向、Y方向ならびにZ方向に任意に移動し、試料１００の内部でフェムト秒レーザー光をX方向、Y方向ならびにZ方向に任意に走査することができるように構成されている。

ここで、スリット部材１２に形成された略長方形状のスリット１２ａは、試料１００に対してフェムト秒レーザー光が相対的に走査されるX方向に延長するように形成されており、長手方向の長さLは、例えば、３mmであり、幅方向の長さWは、例えば、０．５mmである。

また、この透明材料内部の処理装置においては、対物レンズ１４としては、例えば、開口数が０．４６（倍率２０倍）のものを用いることができる。

以上の構成において、フェムト秒レーザー１０から出射されたフェムト秒レーザー光は、スリット部材１２のスリット１２ａを通過して、スリット１２ａの形状と同じビーム形状をもって対物レンズ１４に入射される。即ち、フェムト秒レーザー１０から出射されたフェムト秒レーザー光のビームの進行方向に直交する方向の断面のビーム形状は、当該フェムト秒レーザー光がスリット部材１２のスリット１２ａを通過することにより略長方形状に成形され、ビームの進行方向に直交する方向の断面のビーム形状が略長方形状に成形されたフェムト秒レーザー光が対物レンズ１４に入射される。

そして、対物レンズ１４に入射されたフェムト秒レーザー光たる、ビームの進

行方向に直交する方向の断面のビーム形状がスリット１２ａの形状と同じ略長方形状に成形されたビーム形状をもったフェムト秒レーザー光は、対物レンズ１４により集光されて、試料１００の内部に位置する集光位置たる集光点に集光される。

上記のようにして、フェムト秒レーザー光をスリット１２ａを通過させてから対物レンズ１４により集光することにより、本願発明者の計算結果によれば、集光点におけるフェムト秒レーザー光のビームの進行方向に平行する方向の空間強度分布（図２におけるＹ－Ｚ平面の空間強度分布である。）は大幅に改善され、図１（ｂ）に示すように集光点の中心部では真円に近い形状の空間強度分布が得られる。

なお、図２において、符号Ｐは、図２のＸ－Ｙ平面におけるフェムト秒レーザー光の集光点の形状を示している。

ここで、本発明による透明材料内部の処理装置により空間強度分布が改善された理由は、フェムト秒レーザー光のビーム形状をスリット１２ａによりＸ方向に対して細長いビーム形状に成形したため、この方向に対して回折効果が生じ、対物レンズ１４によって集光された地点でビームがＹ方向に広がったためである（集光点におけるフェムト秒レーザー光のビーム形状は、対物レンズ１４に入射されたフェムト秒レーザー光のビーム形状をフーリエ変換したものに一致する。）。

従って、フェムト秒レーザー光のビーム形状をＸ方向に対して細長く成形した

とき、Y方向のビーム幅は増加することになるが、集光位置における中心部分の空間強度が成形しなかった場合に比べてかなり弱くなっているため、フェムト秒レーザー光により処理される領域をより細く限定することができるようになる。

このため、Y方向のビーム幅が増加したにもかかわらず、図3乃至図4に示すように、ビームを成形した方が形成されたマイクロチャネルの幅は細くなっている。

また、図5（a）に示すように、スリット（図5（a）において符号12a'により示す。)が位置する方向を図2に示すスリット12aの方向から90度回転させて、Y方向に細長いビーム形状に成形すると、フェムト秒レーザー光の集光位置ではビームを走査する方向たるX方向に細長いビーム形状となるので、さらに細いチャネルの作成が可能となる。

次に、図2に示す透明材料内部の処理装置を用いて行われた、本願発明者による実験結果について説明する。

なお、この実験において用いた透明材料内部の処理装置においては、スリット部材12に形成された略長方形状のスリット12aの大きさを、長手方向の長さL（図2参照）を3mmとし、幅方向の長さW（図2参照）を0．5mmとした。また、対物レンズ14は、開口数が0．46（倍率20倍）のものを用いた。さらに、フェムト秒レーザー10から出射されるフェムト秒レーザー光としては、「エネルギー＝490nJ」のものを用いた。そして、試料100の内部に集光したフェムト秒レーザー光を当該試料100の内部で走査させる際の速度は、

「速度＝２５０μｍ／ｓ」とした。

この実験は、透明材料内部の処理装置を用いて、感光性ガラス製の試料１００の内部にマイクロチャネル１０２を形成するものであり、まず、フェムト秒レーザー光を試料１００の内部で集光し、移動テーブル２００をX方向に移動することにより、移動テーブル２００上に載置された試料１００をX方向に移動して、試料１００に対して相対的にフェムト秒レーザー光をX方向に走査することにより、マイクロチャネル１０２の流路１０２ａの改質を行う。

続いて、フェムト秒レーザー光をX方向に走査して改質した流路１０２ａの一方の端部にフェムト秒レーザー光の集光点を位置させてから、移動テーブル２００をZ方向に移動することにより、移動テーブル上に載置された試料１００をZ方向に移動して、試料１００に対して相対的にフェムト秒レーザー光をZ方向に走査することにより、マイクロチャネル１０２の流路１０２ｂの改質を行う。なお、この際に、フェムト秒レーザー光の集光点が試料１００の上面１００ａまで走査されるように、試料１００をZ方向に移動する。

同様に、フェムト秒レーザー光をX方向に走査して改質した流路１０２ａの他方の端部にフェムト秒レーザー光の集光点を位置させてから、移動テーブル２００をZ方向に移動することにより、移動テーブル２００上に載置された試料１００をZ方向に移動して、試料１００に対して相対的にフェムト秒レーザー光をZ方向に走査することにより、マイクロチャネル１０２の流路１０２ｃの改質を行う。なお、この際に、フェムト秒レーザー光の集光点が試料１００の上面１００ａまで走査されるように、試料１００をZ方向に移動する。

以上のようにして、試料１００に対してフェムト秒レーザー光を照射した後に熱処理を行うと、フェムト秒レーザー光を照射した領域は、フェムト秒レーザー光を照射されていない領域に対して、フッ酸溶液に関して数十倍のエッチング速度を持つ。このエッチング速度の差を利用して、フェムト秒レーザー光を照射した領域のみを選択的にエッチングすることができ、試料１００の内部にマイクロチャネル１０２を穿設して形成した。

図３（ａ）（ｂ）（ｃ）（ｄ）には、上記のようにして試料１００に作成されたマイクロチャネル１０２の顕微鏡写真が示されている。なお、図３（ａ）（ｂ）は、スリット部材１２を用いずにフェムト秒レーザー光を直接に対物レンズ１４で集光して試料１００の内部に照射したという従来の場合を示し、図３（ｃ）（ｄ）は、スリット部材１２を用いてフェムト秒レーザー光を略長方形状のスリット１２ａを通過させた後に対物レンズ１４で集光して試料１００の内部に照射した本発明の場合を示している。

また、図３（ａ）（ｃ）は試料１００の側面、即ち、図２におけるＡ矢視から観察した結果を示し、図３（ｂ）（ｄ）は試料１００を上面１００ａから下面１００ｂに向けて図２におけるＢ－Ｂ線に沿って機械的に切断して当該切断した試料１００の内部に形成されたマイクロチャネル１０２のフェムト秒レーザー光のビームの走査方向に直交する方向の断面をＣ矢視から観察した結果を示している。

これら図３（ａ）（ｂ）（ｃ）（ｄ）に示されているように、マイクロチャネル１０２の断面形状の横方向（幅方向）の長さは、図３（ｂ）に示すものが４０μｍであり、図３（ｄ）に示すものが３８μｍであって、スリット部材１２を用いた

方がわずかに細くなっている。

さらに、マイクロチャネル１０２の断面形状の縦方向（高さ方向）の長さは、図３（ｂ）に示すものが１１９μｍであり、図３（ｄ）に示すものが６０μｍであって、両者の間には大きな差異がある。従って、マイクロチャネル１０２の断面形状の縦方向と横方向との長さの比である縦横比（アスペクト比：Ａｓｐｅｃｔ　ｒａｔｉｏ）は、図３（ｂ）に示すものが「３：１」となり、図３（ｄ）に示すものが「１．６」となって、フェムト秒レーザー光がスリット１２ａを通過することによって、縦横比が「３」から「１．６」に大幅に改善された。

図４（ａ）（ｂ）には、スリット部材１２に形成された略長方形状のスリット１２ａの大きさを、長手方向の長さＬを３ｍｍとし、幅方向の長さＷを０．２ｍｍとする点を除いては、図３に示す実験と全く同一の実験条件において実験した結果を示している。なお、図４（ａ）は試料１００の側面、即ち、図２におけるＡ矢視から観察した結果を示し、図４（ｂ）は試料１００を上面１００ａから下面１００ｂに向けて図２におけるＢ－Ｂ線に沿って機械的に切断して当該切断した試料１００の内部に形成されたマイクロチャネル１０２のフェムト秒レーザー光のビームの進行方向に直交する方向の断面をＣ矢視から観察した結果を示している。

図４（ａ）（ｂ）に示す実験結果によれば、略長方形状のスリット１２ａの幅方向の長さを０．２ｍｍとすることにより、マイクロチャネル１０２の断面形状の横方向の長さが２５μｍとなり、マイクロチャネル１０２の断面形状の縦方向の

長さが３３μｍとなって、縦横比は「１．３」にさらに改善された。

従って、略長方形状のスリット１２ａの幅方向Ｗの長さを短くすれば、縦横比が改善されて、マイクロチャネル１０２の断面形状は真円に近づく。

なお、上記した実施の形態は、以下の（１）乃至（５）に示すように変形してもよい。

（１）上記した実施の形態においては、フェムト秒レーザーから出射されたレーザー光のビームの進行方向に直交する方向の断面のビーム形状を所定の形状に成形するビーム形状成形手段として、フェムト秒レーザー１０から出射されたフェムト秒レーザー光が通過する略長方形状のスリット１２ａが、フェムト秒レーザー光の走査方向のうちの図２におけるＸ方向に沿って形成されたスリット部材１２を用いたが、これに限られるものではないことは勿論である。

例えば、フェムト秒レーザー１０から出射されたフェムト秒レーザー光が通過する略長方形状のスリット１２ａ’が、フェムト秒レーザー光の走査方向のうちの図２におけるＸ方向と直交するＹ方向に沿って形成されたスリット部材１２’（図５（ａ）参照）を用いてもよい。

また、フェムト秒レーザー１０から出射されたフェムト秒レーザー光が通過するスリットとして、十字型状のスリット１２ａ’’が形成されたスリット部材１２（図５（ｂ）参照）を用いてもよい。

さらには、フェムト秒レーザー１０から出射されたフェムト秒レーザー光が通過するスリットの形状は適宜の形状を選択することができ、また、フェムト秒レ

ーザー１０から出射されたフェムト秒レーザー光に対してスリットを配置する際の配置位置も適宜に選択することができる。

ここで、図５（ａ）に示すようなスリットを用いた場合には、上記において説明したように、より細いマイクロチャネルを形成することが可能になる。

また、図５（ｂ）に示すようなスリットを用いた場合には、真円（一方向に対してのみ円形）状ではなくて真球（全ての方向に対して円形）状の強度分布が得られる。従って、この図５（ｂ）に示すようなスリットを用いることにより、マイクロチャネルや光導波路だけではなく、マイクロボイドや屈折率変化による３次元メモリーやフォトニック結晶の作成にも応用することができる。

（２）上記した実施の形態においては、フェムト秒レーザーから出射されたレーザー光のビームの進行方向に直交する方向の断面のビーム形状を所定の形状に成形するビーム形状成形手段として、フェムト秒レーザー１０から出射されたフェムト秒レーザー光が通過する略長方形状のスリット１２ａが、フェムト秒レーザー光の走査方向に沿って形成されたスリット部材１２を用いたが、これに限られるものではないことは勿論である。

即ち、スリット部材１２を用いてフェムト秒レーザー１０から出射されたフェムト秒レーザー光のビームの進行方向に直交する方向の断面のビーム形状を所定の形状に成形する場合には、多くのエネルギーを損失する恐れがある。こうしたエネルギーの損失の恐れを排除するためには、図６に示したように、焦点距離がｆ１の第１のシリンドリカルレンズ３００と、焦点距離がｆ２の第２のシリンドリカルレンズ３０２とを、フェムト秒レーザー１０から出射されたフェムト秒レ

ーザー光のビームの進行方向に対して直交するとともに、互いに平行かつ同一方向に延長するようにして、フェムト秒レーザー１０と対物レンズ１４との間に順次配置すればよい。この際に、第１のシリンドリカルレンズ３００と第２のシリンドリカルレンズ３０２との間の距離は、「ｆ１＋ｆ２」とする。

以上のように構成すると、フェムト秒レーザー１０から出射されて第１のシリンドリカルレンズ３００と第２のシリンドリカルレンズ３０２とに順次に入射されたフェムト秒レーザー光のビームの進行方向に直交する方向の断面のビーム形状は、第２のシリンドリカルレンズ３０２から出射された際には略長方形状となり、ビームの進行方向に直交する方向の断面のビーム形状が略長方形状に成形されたフェムト秒レーザー光が対物レンズ１４へ入射されて集光される。

従って、上記したように、例えば、２枚のシリンドリカルレンズを用いてフェムト秒レーザー光のビームの進行方向に直交する方向の断面のビーム形状を成形するようにすれば、損失をほとんどなくしてスリット１２ａを形成されたスリット部材１２を用いた場合と同じ略長方形状のビーム形状を得ることができる。

（３）上記した実施の形態においては、移動テーブル２００により試料１００を移動することにより、試料１００に対して相対的にフェムト秒レーザー光の集光点を移動したが、これに限られるものではないことは勿論である。

即ち、上記した実施の形態とは逆に、試料１００に対して透明材料内部の処理装置を移動するように構成し、透明材料内部の処理装置が移動することにより試料１００内部におけるフェムト秒レーザー光の集光点を走査するように構成してもよい。

（４）上記した実施の形態においては、マイクロチャネルを作成する場合について説明したが、これに限られるものではないことは勿論であり、本発明は光導波路や３次元メモリなどのその他の構造の作成にも応用することができる。

（５）上記した実施の形態ならびに上記した（１）乃至（４）に示す変形例は、適宜に組み合わせて用いるようにしてもよい。

産業上の利用可能性

本発明は、以上説明したように構成されているので、数mm以上のワーキングディスタンスをとることのできる開口数の比較的小さい集光レンズを用いてフェムト秒レーザー光を透明材料内部に集光するようにしても、集光点における改質形状や加工形状などの処理形状として、フェムト秒レーザー光のビームの進行方向に平行する方向の断面の形状が真円に近いものを得ることができるようになるという優れた効果を奏する。

請 求 の 範 囲

1．フェムト秒レーザーから出射されるレーザー光のビームの進行方向に直交する方向の断面のビーム形状を所定の形状に成形し、

前記進行方向に直交する方向の断面のビーム形状を前記所定の形状に成形したレーザー光をレンズに入射して該レンズにより透明材料の内部に集光し、

前記透明材料の内部に集光したレーザー光の作用により前記透明材料の内部を処理する

透明材料内部の処理方法。

2．請求項1に記載の透明材料内部の処理方法において、

前記所定の形状は、略長方形状である

透明材料内部の処理方法。

3．請求項1に記載の透明材料内部の処理方法において、

前記所定の形状は、略十字型状である

透明材料内部の処理方法。

4．レーザー光を出射するフェムト秒レーザーと、

前記フェムト秒レーザーから出射されたレーザー光のビームの進行方向に直交する方向の断面のビーム形状を所定の形状に成形するビーム形状成形手段と、

前記ビーム形状成形手段により前記進行方向に直交する方向の断面のビーム形状を所定の形状に成形されたレーザー光を入射して、該レーザー光を透明材料の内部に集光するレンズと

を有し、

前記レンズにより前記透明材料の内部に集光されたレーザー光の作用により前記透明材料の内部を処理する

透明材料内部の処理装置。

5．請求項４に記載の透明材料内部の処理装置において、さらに、

前記透明材料の内部に集光されるレーザー光の集光位置を前記透明材料に対して相対的に移動する移動手段と

を有する透明材料内部の処理装置。

6．請求項４または請求項５のいずれか１項に記載の透明材料内部の処理装置において、

前記ビーム形状成形手段は、前記フェムト秒レーザーから出射されたレーザー光が通過する略長方形状のスリットを備え、前記フェムト秒レーザーから出射されたレーザー光のビームの進行方向に直交する方向の断面のビーム形状を略長方形状に成形するものである

透明材料内部の処理装置。

7．請求項４または請求項５のいずれか１項に記載の透明材料内部の処理装置において、

前記ビーム形状成形手段は、前記フェムト秒レーザーから出射されたレーザー光が通過する略十字型状のスリットを備え、前記フェムト秒レーザーから出射されたレーザー光のビームの進行方向に直交する方向の断面のビーム形状を略十字型状に成形するものである

透明材料内部の処理装置。

８．請求項４または請求項５のいずれか１項に記載の透明材料内部の処理装置において、

前記ビーム形状成形手段は、第１のシリドリカルレンズと第２のシリンドリカルレンズとを順次平行に配置し、前記フェムト秒レーザーから出射されたレーザー光のビームの進行方向に直交する方向の断面のビーム形状を略長方形状に成形するものである

透明材料内部の処理装置。

図1(a)

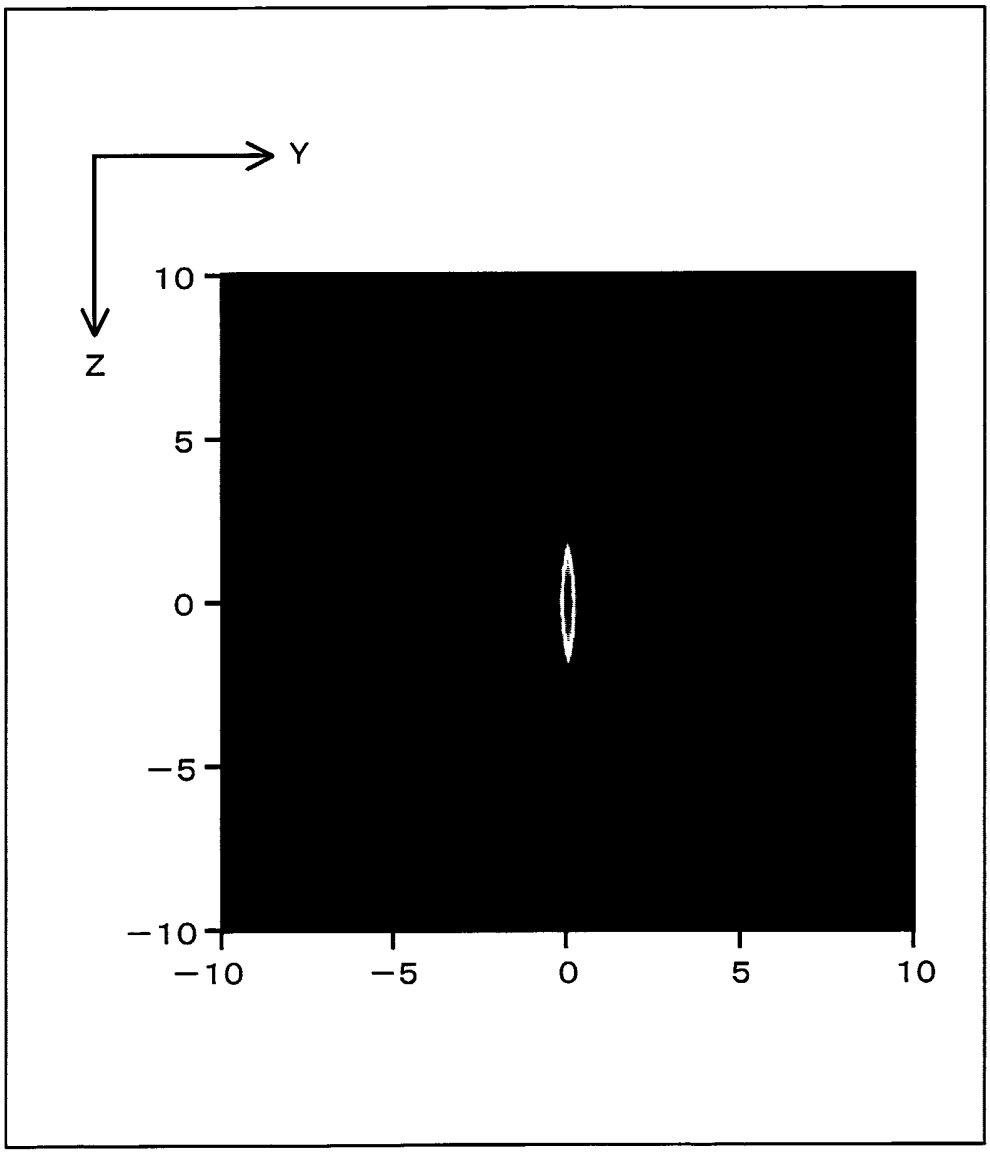
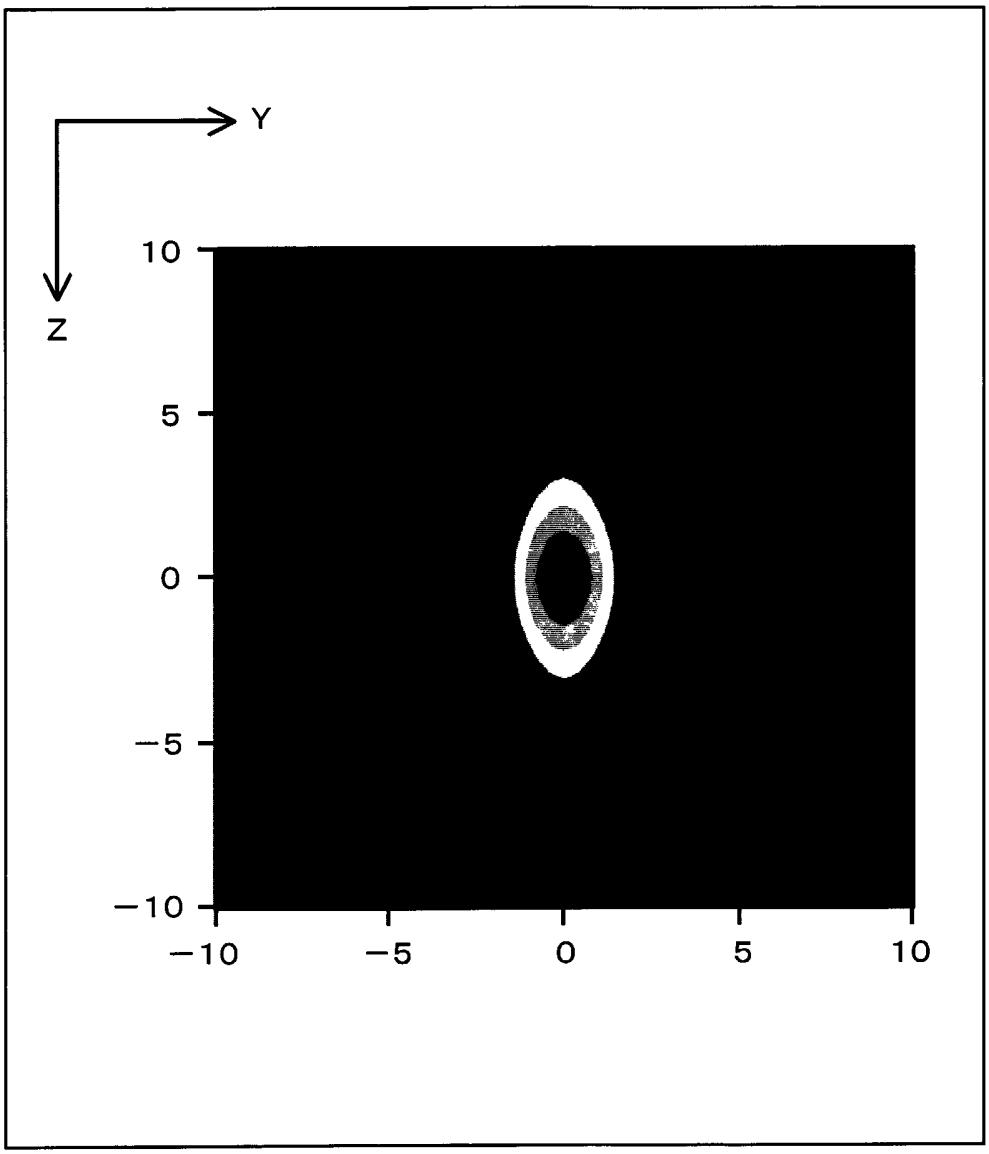


図1(b)



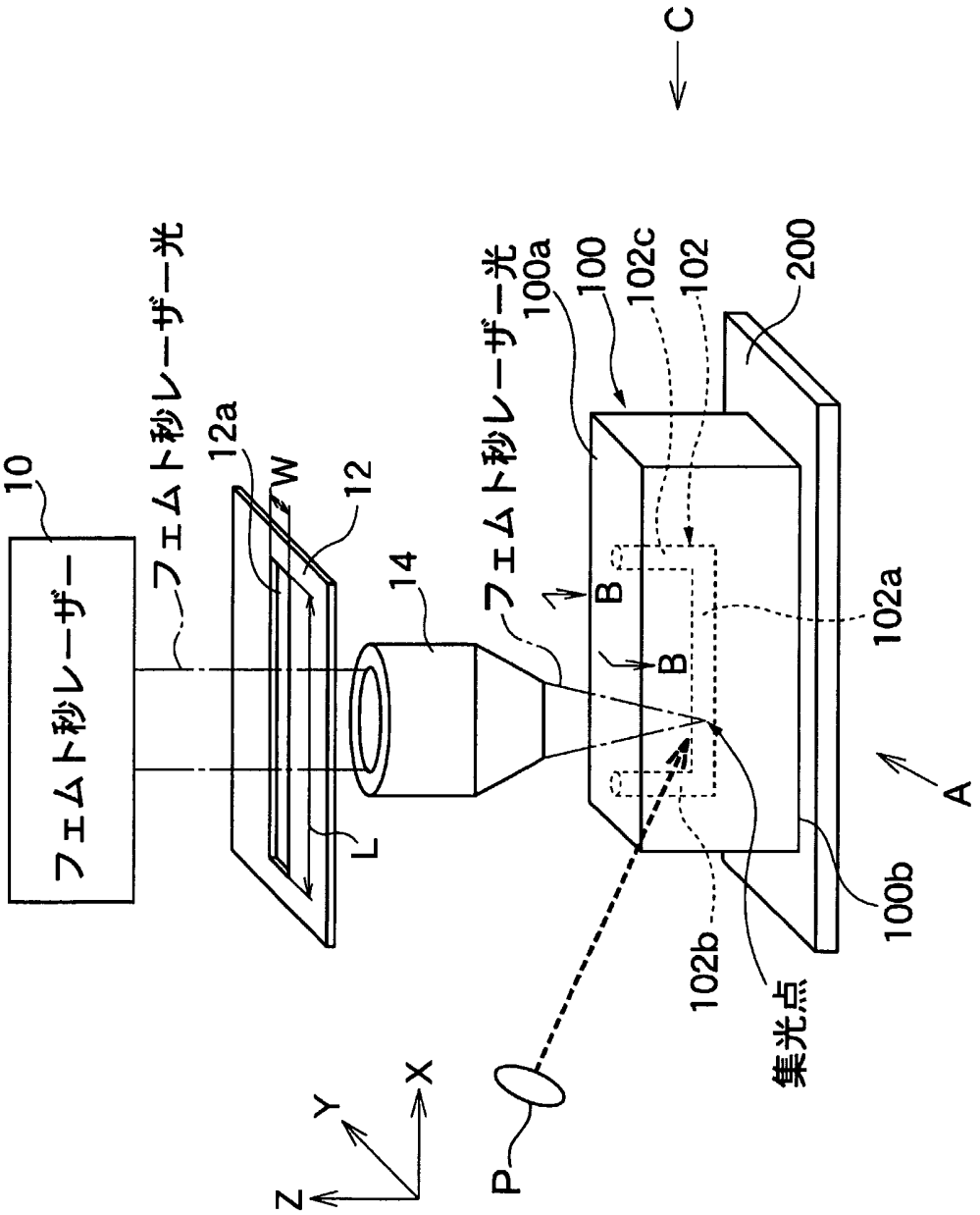

C
フェムト秒レーザー光
10
フェムト秒レーザー
12a
W
12
14
フェムト秒レーザー光
100a
100
102c
102
200
B
B
102a
L
A
100b
102b
集光点
P
Y
X
Z

図2

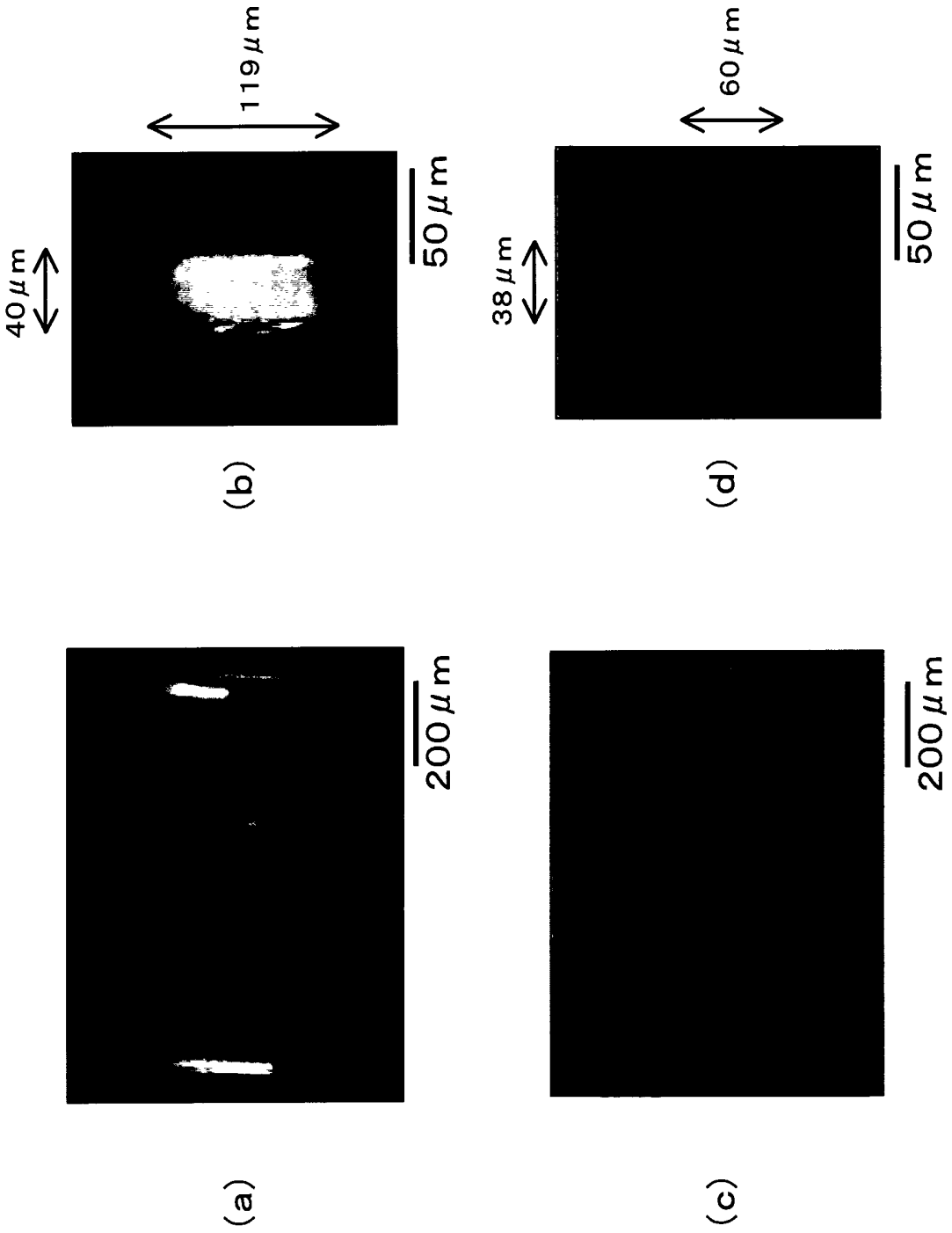


図3

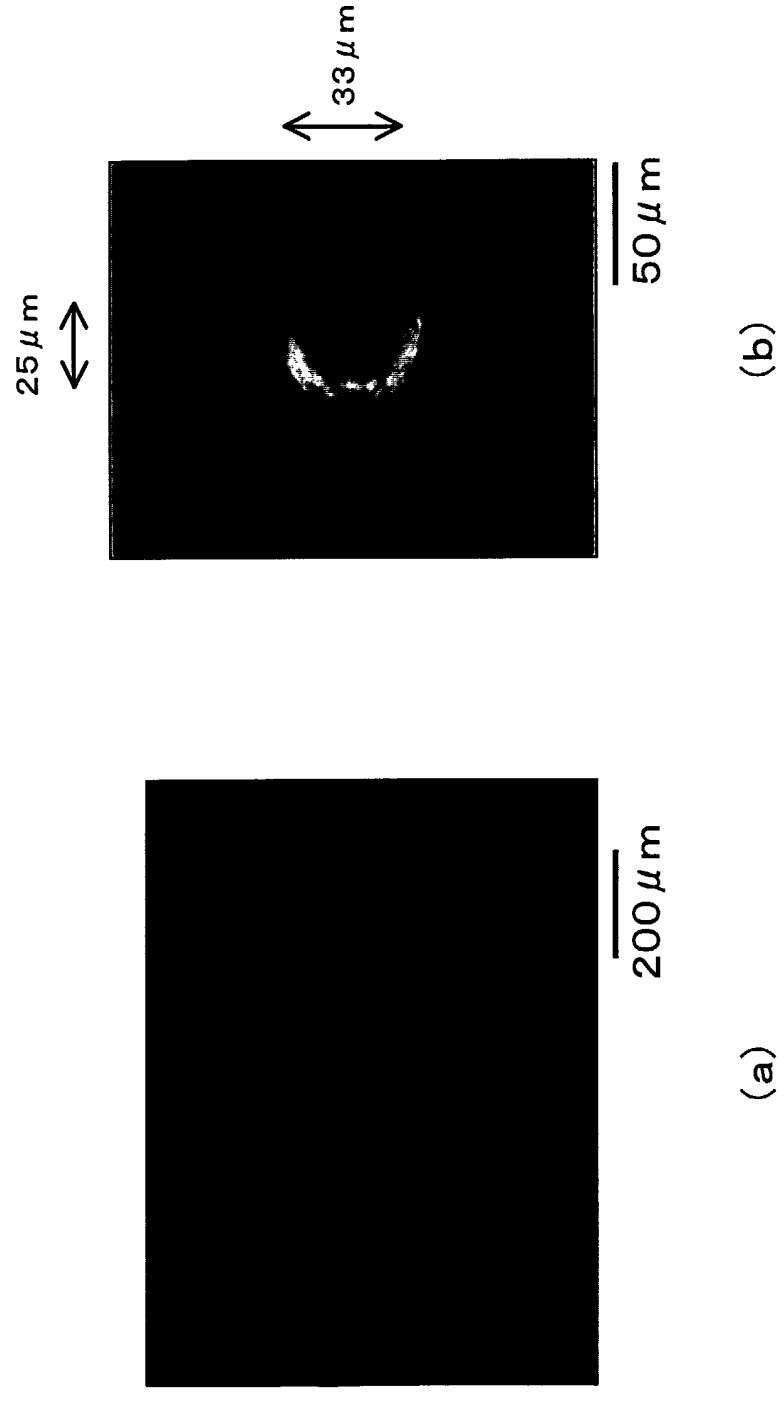
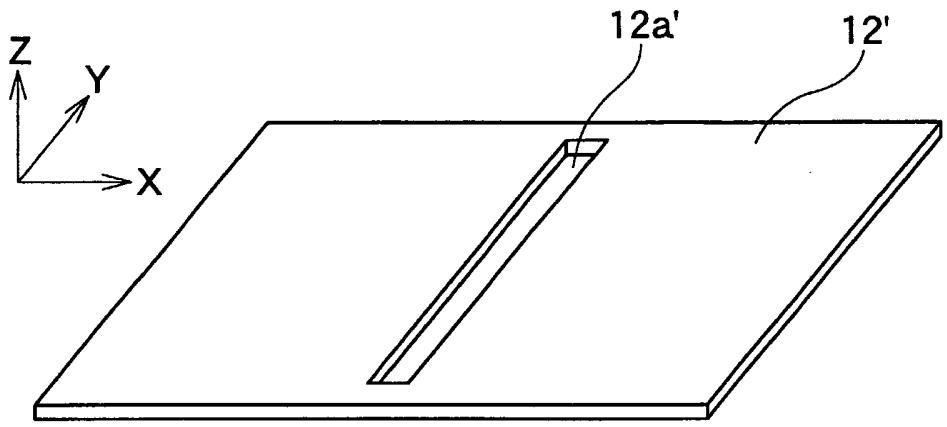
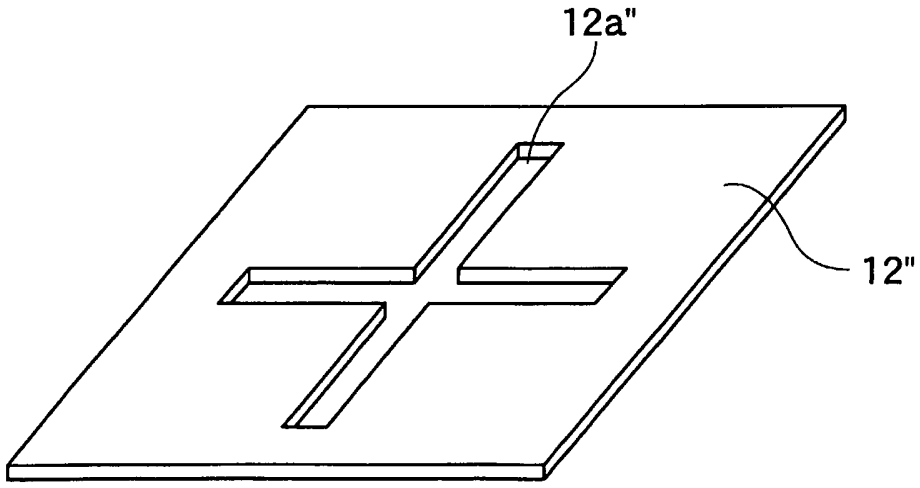


図4

図5

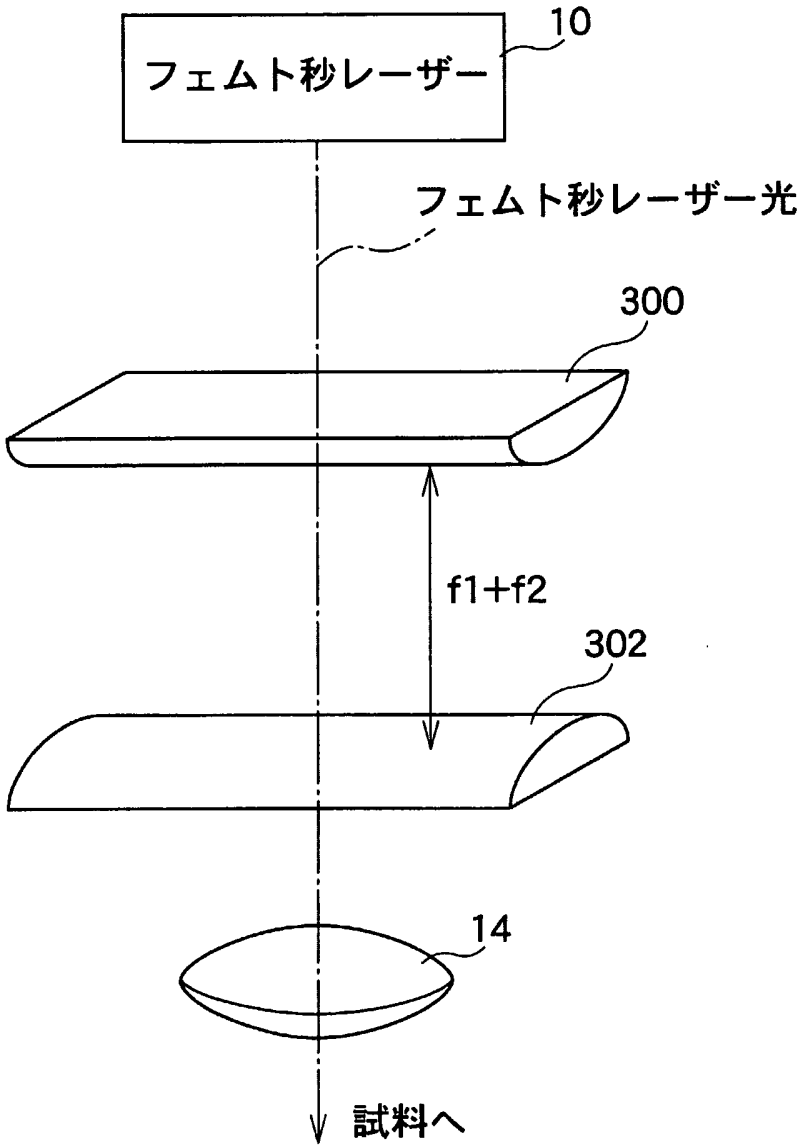


(a)



(b)

図6



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP03/06039

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl[7] B23K26/40, C03C23/00

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[7] B23K26/40, C03C23/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003

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 Y A	US 2001/0050312 A1 (Jun KOIDE), 13 December, 2001 (13.12.01), Par. Nos. [0041] to [0056]; Figs. 1 to 2 & JP 2001-212680 A	1-5,7 8 6
X Y A	US 2002/0041323 A1 (SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES, Ltd.), 11 April, 2002 (11.04.02), Par. Nos. [0026] to [0042]; Fig. 1 & JP 2001-276985 A	1-5,7 8 6
Y A	US 5736709 A (ARMCO Inc.), 07 April, 1998 (07.04.98), Column 8, line 45 to column 9, line 23; column 10, lines 1 to 34; Fig. 1 & JP 11-269683 A	8 1-7

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ 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 document 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
22 August, 2003 (22.08.03)	09 September, 2003 (09.09.03)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1998)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP03/06039

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Kiyotaka MIURA, Kazuyuki HIRAO, "Femto-byo Laser Shosya ni yoru Glass Naibu eno Hikari Yuki Kozo Keisei", Dai 42 Kai Laser Netsukako Kenkyukai Ronbunsyu, 1997, pages 106 to 107, ISBN: 4-947684-15-1, '2. Hikari Yuki Kussetsuritsu oyobi Kodo Haro no Kakikomi Hoho'	1-8
T	CHENG et al., 3D microstructuring inside Forturan glass by femtosecond laser, RIKEN Review, January 2003, No.50, pages 101 to 106, ISSN 0919-3405	1-8

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ０３／０６０３９

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int. Cl[7] B23K26/40, C03C23/00

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[7] B23K26/40, C03C23/00

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	１９７１－２００３年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２００３年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２００３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	関連する請求の範囲の番号
X Y A	US 2001/0050312 A1(Jun KOIDE)2001.12.13, 段落[0041]-[0056],第1-2図 & JP 2001-212680 A	1-5,7 8 6
X Y A	US 2002/0041323 A1(SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES, Ltd.) 2002.04.11,段落[0026]-[0042],第1図 & JP 2001-276985 A	1-5,7 8 6
Y A	US 5736709 A(ARMCO Inc.)1998.04.07,第8欄第45行-第9欄第23行, 第10欄第1-34行,第1図 & JP 11- 269683 A	8 1-7

☒ Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　☐ 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
「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
「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
「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）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「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
「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
「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
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 ２２．０８．０３	国際調査報告の発送日 09.09.03
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 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） 加藤　昌人　　３Ｐ　９２５７ 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３６２

様式ＰＣＴ／ＩＳＡ／２１０（第２ページ）（１９９８年７月）

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	関連する請求の範囲の番号
A	三浦清貴・平尾一之, フェムト秒レーザー照射によるガラス内部への光誘起構造形成, 第４２回レーザ熱加工研究会論文集, 1997, P106-107, ISBN:4-947684-15-1, 「２．光誘起屈折率及び光導波路の書き込み方法」	1-8
T	CHENG et al, 3D microstructuring inside Foturan glass by femtosecond laser, RIKEN Review, January 2003, No. 50, pages 101 to 106, ISSN 0919-3405	1-8