

(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2006-510057**

**(P2006-510057A)**

(43) 公表日 **平成18年3月23日(2006.3.23)**

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>GO2B 6/02 (2006.01)</b>	GO2B 6/10	D 2H050
<b>GO2B 6/32 (2006.01)</b>	GO2B 6/32	2H137
<b>GO2B 6/122 (2006.01)</b>	GO2B 6/12	C 2H147

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 14 頁)

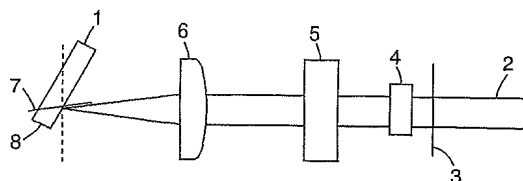
(21) 出願番号	特願2004-560305 (P2004-560305)	(71) 出願人	599056437 スリーエム イノベイティブ プロパティ ズ カンパニー
(86) (22) 出願日	平成15年11月6日 (2003.11.6)		
(85) 翻訳文提出日	平成17年6月9日 (2005.6.9)		
(86) 国際出願番号	PCT/US2003/035362		アメリカ合衆国, ミネソタ 55144- 1000, セント ポール, スリーエム センター
(87) 国際公開番号	W02004/055565	(74) 代理人	100099759 弁理士 青木 篤
(87) 国際公開日	平成16年7月1日 (2004.7.1)	(74) 代理人	100077517 弁理士 石田 敬
(31) 優先権主張番号	10/317,734	(74) 代理人	100087413 弁理士 古賀 哲次
(32) 優先日	平成14年12月12日 (2002.12.12)	(74) 代理人	100111903 弁理士 永坂 友康
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバまたは導波路レンズ

(57) 【要約】

フェムト秒レーザを用いて光ファイバ(1)または導波路上にレンズを作製する方法。レンズは、熱を適用することによってさらに滑らかにすることができる。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

少なくとも  $10^{15} \text{ W/m}^2$  の出力密度および 1 ピコ秒以下のレーザーパルス持続時間を有するレーザーシステムを設けることと、

光ファイバの端部を前記レーザーに当て、所望のレンズ形状が得られるように前記光ファイバの一部を切除することと、

を含む、光ファイバ上にレンズを作製する方法。

## 【請求項 2】

前記光ファイバの切除された部分が、前記レンズ面を平滑化するために熱源に当てられる、請求項 1 に記載の方法。

10

## 【請求項 3】

前記熱源が、電気アーク、 $\text{CO}_2$  レーザおよび火炎からなる群から選択される、請求項 2 に記載の方法。

## 【請求項 4】

前記出力密度が約  $10^{17} \sim 10^{18} \text{ W/m}^2$  である、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 5】

前記レーザーシステムが、異なる焦点距離の 2 枚のレンズを具備する、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 6】

前記レーザーシステムが、非球面レンズを具備する、請求項 1 に記載の方法。

20

## 【請求項 7】

前記レーザーの切削角を調整することによって、前記レンズ形状を制御することができる、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 8】

前記熱適用の強度および持続時間を調整することによって、前記レンズ形状を制御することができる、請求項 2 に記載の方法。

## 【請求項 9】

前記光ファイバが、2 つ以上の経路で前記レーザーに当てられる、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 10】

前記レーザーが、約  $900 \text{ nm}$  以下の波長で動作する、請求項 1 に記載の方法。

30

## 【請求項 11】

少なくとも  $10^{15} \text{ W/m}^2$  の出力密度および 1 ピコ秒以下のレーザーパルス持続時間を有するレーザーシステムを設けることと、

光導波路の端部を前記レーザーに当て、所望のレンズ形状が得られるように前記導波路の一部を切除することと、

を含む、光導波路上にレンズを作製する方法。

## 【請求項 12】

前記導波路の切除された部分が、前記レンズ面を平滑化するために熱源に当てられる、請求項 11 に記載の方法。

40

## 【請求項 13】

前記熱源が、電気アーク、 $\text{CO}_2$  レーザおよび火炎からなる群から選択される、請求項 12 に記載の方法。

## 【請求項 14】

前記出力密度が約  $10^{17} \sim 10^{18} \text{ W/m}^2$  である、請求項 11 に記載の方法。

## 【請求項 15】

前記レーザーシステムが、異なる焦点距離の 2 枚のレンズを具備する、請求項 11 に記載の方法。

## 【請求項 16】

前記レーザーシステムが、非球面レンズを具備する、請求項 11 に記載の方法。

50

## 【請求項 17】

前記レーザの切削角を調整することによって、前記レンズ形状を制御することができる、請求項 11 に記載の方法。

## 【請求項 18】

前記熱適用の強度および持続時間を調整することによって、前記レンズ形状を制御することができる、請求項 12 に記載の方法。

## 【請求項 19】

前記導波路が、2つ以上の経路で前記レーザに当てられる、請求項 11 に記載の方法。

## 【請求項 20】

前記レーザが、約 900 nm 以下の波長で動作する、請求項 11 に記載の方法。

10

## 【請求項 21】

前記光導波路が、平面型光回路である、請求項 11 に記載の方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、光ファイバまたは導波路レンズの作製方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

ガラスから構成される光ファイバおよび導波路は、光透過系および他の光学系に用いられることが多い。これらのファイバおよび導波路の端面の機械加工は、このような単一モードまたは多モードのファイバおよび導波路の使用中に、きわめて重大な役割を果たす。端面は、最小の減衰値で光学系のある素子から別の素子への移行を行うことができるように特に均一な表面を有することが重要である。また、ファイバおよび導波路の端面を所定の角度で作製することができ、これらの角度が高信頼性および再現可能であることも重要である。

20

## 【0003】

光源からファイバまたは導波路への光の効率的な結合、またはファイバまたは導波路からの光の効率的な結合を行うためにレンズを利用することが、公知である。光源とファイバまたは導波路との光の結合効率、ファイバまたは導波路の端部の形状およびその端部から発せられる光の量を決定することにより、レンズ付きファイバまたは導波路の性能に関する情報を提供することができる。

30

## 【発明の開示】

## 【課題を解決するための手段】

## 【0004】

本発明の一面は、光ファイバにレンズを作製する方法であって、少なくとも  $10^{15} \text{ W} / \text{m}^2$  の出力密度および 1 ピコ秒以下のレーザパルス持続時間を有するレーザシステムを設けることと、光ファイバの端部をレーザに当て、所望のレンズ形状が得られるように光ファイバの一部を切除することと、を含む方法の特徴とする。

## 【0005】

本発明のもう一つの面は、光導波路にレンズを作製する方法であって、少なくとも  $10^{15} \text{ W} / \text{m}^2$  の出力密度および 1 ピコ秒以下のレーザパルス持続時間を有するレーザシステムを設けることと、光導波路の端部をレーザに当て、所望のレンズ形状が得られるように導波路の一部を切除することと、を含む方法の特徴とする。

40

## 【0006】

本発明で用いられるとき、

「レンズ」は、光の屈折のために用いられる、通常はガラスで、通常は湾曲した材料を指し、

「導波路」は、所定の経路に従うために、波の形のエネルギーの伝搬を導く構造を指す。

## 【発明の効果】

## 【0007】

50

本発明の少なくとも1つの実施形態の利点は、レーザアブレーション工程を用いて、ファイバまたは導波路の大部分における熱応力および機械応力を実質的に欠如することなく、ファイバまたは導波路のレンズの表面成形を制御することができることである。数ナノ秒以上のパルス幅を有するエキシマレーザ、Nd:YAGレーザおよびCO<sub>2</sub>レーザなどのより長いパルス幅を利用する他のレーザ工程に比べて、本発明の超高速レーザ処理は、最小の付随する熱効果によって材料を除去する。所望の形状を形成する際に、熱の欠如は、リフロすることなく所望の形状を作製することができるため、火炎研磨などの他の技術に比べて利点がある。

**【0008】**

本発明の少なくとも1つの実施形態の別の利点は、材料を除去するための機械加工に比べて、本発明の工程は、ファイバまたは導波路の端部に曲げ応力を印加しないことから、取り扱いにおける利点がある。

**【0009】**

本発明の他の特徴及び利点は、以下に参照する図面や詳細な説明及び特許請求の範囲から明白となるであろう。

**【発明を実施するための最良の形態】****【0010】**

フェムト秒レーザは、短い高出力パルスを提供する。パルスのピーク出力は、 $10^5 \sim 10^{10}$ ワットである。パルス長は一般に約100フェムト秒(fs)までである。本発明では、パルス長の適切な範囲は、約50～約150fsである。出力密度レーザは、約 $10^{17} \sim 10^{18} \text{ W/m}^2$ であることが好ましい。

**【0011】**

従来材料レーザ機械加工は、レーザビームからのエネルギーを伝達するために、レーザ波長における材料の固有吸光度に左右される。その結果、エネルギーがレーザから処理対象の材料におけるビームの全経路長にわたって吸収される。したがって、材料における特定の体積にレーザエネルギーを局部集中させることは困難である。

**【0012】**

本発明におけるように、フェムト秒レーザによる機械加工の場合には、用いられるレーザ波長は一般に、材料の固有吸光度がきわめて小さい波長である。したがって、実質的には、低いレーザ強度から中程度のレーザ強度までビームからエネルギーが吸収されることはない。しかし、きわめて短いレーザパルス持続時間(約100fs)を用い、ビームをきわめて密に集光することによって実現されるように、レーザ強度が十分に高い場合には、非線形機構(すなわち2つ以上の光子が同時に吸収される)によって材料がレーザビームと相互に作用することができ、エネルギーはレーザから材料に伝達される。多光子吸収は、1ピコ秒(ps)より短いレーザパルス持続時間ではきわめて効果的である。短パルスにより、最小の溶融で材料を除去することができ、正確な機械加工という結果になる。しかし、この非線形な吸光度は、強度がきわめて高いレーザ焦点の周囲の小さな体積に生じるに過ぎない。これは、固有吸光度によって生じるレーザ経路全体に沿った吸光度とは対照的である。したがって、フェムト秒レーザは、レーザ機械加工処理中に除去される材料の体積をきわめて正確に制御することができる。最後に、100fsのパルス持続時間は短く、パルス中に生成される熱がレーザ吸収体積から拡散するためには不十分な時間である。したがって、付随的な熱による損傷もまた最小限に抑えられ、他のレーザによる機械加工に対してフェムト秒レーザ機械加工工程の精度をさらに向上する。一般に、レーザは、約900nm以下の波長で作動する。ファイバまたは導波路は、1つの経路または2つ以上の経路でレーザに当てられてもよい。最初の切削は完全にするために複数の経路をとり、第2の切削およびそれ以降の切削は1つの経路で行われることが多い。

**【0013】**

本発明の一面によれば、レーザビームの断面の形状は円形から直線までの範囲であってよい。断面は円形であれば好ましく、楕円形であればさらに好ましい。図1に示されるようなレーザシステムを用いることによって、楕円形の断面を実現してもよい。2つ以上

10

20

30

40

50

のレンズが用いられる場合には、レンズ間の距離を変更することによって、レーザビーム断面の形状を変更してもよい。たとえば、少なくとも2つの交差する円筒形レンズの焦点が一致せず、適切な距離だけ離隔されている場合には、楕円形を成すレーザ断面を実現することができる。具体的に言えば、第1のレンズの焦点は、第2のレンズの焦点の前に生じる。別の実施例の場合には、円形を成すレーザビーム断面を構成するために、1枚の非球面レンズを用いることができる。さらに別の実施例の場合には、円形のレーザビーム断面を形成するために、集光素子として反射対物を用いることができる。当業者に周知であるように、光学素子は、屈折性、反射性または拡散性であってもよい。当業者はまた、所望の出力密度および強度分布を得るためにレーザビームを集光するために用いる光学素子の適切な数および光学素子の適切な離隔距離を決定することができる。

10

## 【0014】

光ファイバは一般に、光波長の単一モードまたは多モードを伝搬する比較的低い屈折率材料からなるクラディングによって少なくとも部分的に包囲される比較的高い屈折率のガラスからなるコアを具備する円筒形構造である。

## 【0015】

光導波路は、一般に比較的低い屈折率材料からなるクラディングによって少なくとも部分的に包囲される比較的高い屈折率のガラスからなるコアを具備し、たとえば $0.4 \sim 1.7 \mu\text{m}$ の範囲にある光波長の電磁放射線（一般に長手方向に）を透過するように適合される細長い構造である。導波路構造としては、多モードファイバ、平面型光回路、ホーリーファイバおよびフォトニックバンドギャップファイバなどが挙げられるが、これらに

20

## 【0016】

ファイバまたは導波路レンズは、簡素な構造または複雑な構造に成形されてもよい。適切な形状としては、シングルウェッジ（図2）、切頭ウェッジ（図3）、対称なダブルウェッジ（図4）および非対称なダブルウェッジ（図5）などが挙げられる。一般に、レンズの目的は、光学系における2つの隣接する構成要素の光モードに適合させることである。たとえば、レンズは、レーザ光が進むファイバのモードに発散光源（たとえばレーザ光源）に適合させることができる。

## 【0017】

レーザビームがファイバまたは導波路と交差する角度を調整することによって、異なるレンズ形状を実現してもよい。図6によって示されているように、ウェッジ角度は、切削線Aのように急勾配であってもよく、または切削線Dのように浅くてもよい。行われる切削は、切削線AおよびDのように、点としてレンズの先端で交差してもよく、または切削線BおよびCのように先端が一定の長さを有するように中心からずれていてもよい。たとえば、 $40 \sim 120$ の角度をはじめとする切削角を変更することによって、広範囲のフルウェッジ角を作製することができる。

30

## 【0018】

レンズ付き光ファイバ端部の利点は、レンズ付きでないファイバ端部に比した場合、ファイバへの光の効率的な結合、またはファイバからの光の効率的な結合を行う性能が向上されることである。同様の利点は、レンズ付きの端部を有する導波路にも当てはまる。

40

## 【0019】

レンズ付きファイバまたは導波路の結合効率は、ファイバまたは導波路の端部の幾何的形狀に左右される。ファイバまたは導波路の端部の幾何的形狀は、セントレーション、ウェッジ角およびファイバまたは導波路の端部の丸みを帯びた先端の半径を用いて表現されることができる。セントレーションは、レンズ付きファイバまたは導波路の先端がファイバまたは導波路の光コアに対してどれほど中心に配置されているかの測定値である。ウェッジ角は、ウェッジの一方の面から対向する面までの角度である。ファイバまたは導波路の端部は、2つ以上の半径を備えていてもよい。すなわちレンズ付き端部の表面に2つの垂直半径を備えていてもよい。

## 【0020】

50

ファイバまたは導波路のレンズは、フェムト秒レーザーによって切削された後、平滑化を実現するために、熱源に当てることができる。熱源は、たとえば、電気アーク、CO<sub>2</sub>レーザーまたは火炎であってもよい。レンズを熱に当てることにより、レンズにより滑らかな仕上げを提供する。ファイバまたは導波路は、クラディングからコアまで実質的に均一の熔融温度を有することが好ましい。より滑らかな仕上げにより、ファイバまたは導波路の端部を通る光のより低い散乱率およびより高い透過率を実現することができる。この差異が、図7および図8を比較するによって示されている。図7および図8はそれぞれ、熱源に曝す前および曝した後のファイバレンズを示している。特に、図7cおよび図8cは、レンズを熱による平滑化によって実現することができる強度分布における改善を示している。熱適用の強度および持続時間を調整することによって、ある程度までレンズ形状を制御することができる。当然のことながら、強度および/または持続時間の増加は、レンズの形状により大きな影響をもたらす。

10

## 【実施例】

## 【0021】

本発明は、以下の実施例によって説明することができる。

## 【0022】

## 試験方法

ファイバレンズは、ウェッジ角、セントレーションおよび半径に関して測定された。平滑化されたファイバ端部のウェッジ角およびセントレーションは、40～100倍の倍率で光学顕微鏡を用いて測定された。半径は、以下の遠視野レーザービームプロファイリング技術を用いて決定された。レーザー光源（但し、任意の適切な光源であってもよい）は、レンズ付きでないファイバ端部に発せられ、レンズ付き端部を通り、電荷結合素子カメラ上に結像された。発せられた光は、レンズから2つの異なる距離/位置で集光された。ビーム強度プロファイルの形状は、以下の式を用いてファイバ先端の半径を計算するために用いられた。

20

## 【0023】

## 【数1】

$$R = \frac{(n_2 - n_1) \cdot \omega_0}{\arctan\left(\frac{\omega_2 - \omega_1}{\delta}\right)} \sqrt{1 - \left[ \frac{\lambda}{\pi \cdot \omega_0 \cdot \arctan\left(\frac{\omega_2 - \omega_1}{\delta}\right)} \right]^2}$$

30

## 【0024】

上式において、Rは先端の半径であり、 $\omega_1$ および $\omega_2$ はそれぞれ位置1および位置2で測定されたビームプロファイルのウエストの半径であり、 $n_1$ はファイバにおける光の屈折率であり、 $n_2$ は空気の屈折率であり、 $\omega_0$ はファイバのモードフィールド半径であり、 $\lambda$ は空気における光の波長であり、 $\delta$ は2つのビームウエスト測定のz軸に沿った位置1と位置2との間の距離である。本発明のレンズ付きファイバ端部に関する先端の半径は、以下の表1に示されている。

40

## 【0025】

## 実施例

さまざまな形状のレンズが、一般に図1に示されている以下の技術を用いて、光ファイ

50

バの端部に作製された。単一モードの980nmの光ファイバ1(ニューヨーク州コーニングのコーニング・インコーポレイテッド(Corning, Inc. (Corning, NY))の1060パーモード(1060 Purmode))が、サーボモータ制御式可動ステージ(図示せず)に取付けられた溝付きホルダに配置された。5mmのファイバがホルダの縁を過ぎて延在するようにファイバが配置された。ファイバは、ファイバの端部を切削するために、250マイクロン/秒の速度で、レーザービーム2の経路を通過した。レーザー工程用の光学部品は、レーザー、シャッタ、ニュートラルデンシティフィルタホイールおよび1対の交差する円柱レンズからなる。レーザー(図示せず)は、100フェムト秒のパルス幅を有し、1kHzで動作し、1.0ワットの平均出力を有するハリケーンTi:サファイア800nm赤外線レーザー(カリフォルニア州マウンテン・ビューのスペクトラ・フィジクス(Spectra-Physics (Mountain View, CA)))であった。シャッタ3は、レーザービーム用の簡素で機械的なストップであった。ファイバにおけるレーザーの平均出力は、レーザービームの経路に適切なニュートラルデンシティフィルタ4を配置することによって制御された。レンズは、それぞれ焦点距離220mmおよび170mmを有する800nm出力のレーザーに適した簡素な円柱レンズ5、6であった。レンズは、互いに垂直に向けられ、ファイバが通過する位置からそれぞれ240mmおよび170mmに配置された。レンズのこの配置によって、楕円形のスポット形状が、ファイバが通過する位置で形成された。ガラスのスライドカバーにおける画像がフルレーザー出力で低下するため、この楕円形のスポット形状は長軸および短軸に関して一般にそれぞれ300マイクロン×40マイクロンであった。ファイバは、長軸の方向に沿って進めることによってレーザースポットを横断することになる。

10

20

#### 【0026】

ファイバは、所望の切削角で位置決めされ、切削線7に沿った第1の切削を成すために、2つ以上の経路によって楕円形のスポットの長軸に沿ってレーザービームを移動させた。一般に、ファイバは、第1の切削を完成するために、400mW、525mWおよび700mWの平均出力でレーザービームを通過させ、それによって切り取られるファイバ部分8を除去した。

#### 【0027】

次に、ファイバは、ファイバ軸およびレーザービーム方向を含む平面において異なる切削角までその先端を中心にして回転された。この向きでは、ファイバは、第2の切削を切削するために、700mWの平均出力でレーザービームを移動させた。シングルウェッジの場合には、レーザー処理ステップは完成することになる。切頭ウェッジおよびダブルウェッジの場合には、レーザー処理は、もう2回の切削のために続行された。ファイバは、その軸を中心にして90°回転され、適切な切削角まで回転され、ファイバの中心または所望の量だけ中心からずれた位置に第3の切削を成すように位置合せされた。続いて、ファイバは、700mWの平均出力でレーザービームを移動させた。ファイバは、その軸を中心にして180°回転され、ファイバの中心または所望の量だけ中心からずれた位置に第4の切削を成すように位置合せされた。これらのステップの後、切頭ウェッジおよびダブルウェッジのレーザー処理が終了した。

30

40

#### 【0028】

この処理は、以下に記載される実施例の代表である。この説明は、レーザービームを集光するために用いられるレンズの数または種類、レーザービームの形状、通過回数またはこれらの形状を形成するために用いることができるファイバの可能な向きに限定するわけではない。実際には、平均出力およびスポットサイズの要件のみは、そのレーザービームに対してファイバを曝すことによって材料除去を生じるようになっている。各切削角に関する通過の実行もまた、適切に変更することができる。

#### 【0029】

#### 実施例1(シングルウェッジ)

図2に示されているように、光ファイバの端部にウェッジ形状のレンズを作製するために、(レーザーの伝搬方向からファイバの光軸まで測定したときに)18°の切削角で楕円

50

形のレーザスポットにファイバを最初に通過させ、ファイバを切削した。次に、ファイバは180°回転され、続いて、第2回目のスポットを通過し、ウェッジを成した端部を作製した。形成された光ファイバの端部は、次に、2つの電極の間に端部を配置することによって溶融して平滑化した。10～13ミリアンペアの電流および1～3秒の持続時間で、2つの電極間に電気アークが形成された。エリクソン(Ericsson) FUS 995融着スプライサ(スウェーデンストックホルムのエリクソン・ケーブルズ・AB(Ericsson Cables AB (Stockholm, Sweden)))が、平滑化ステップに用いられた。平滑化されたファイバは、62°のウェッジ角(ウェッジの一方の面から対向する面まで測定)、125ミクロンの先端長さ、10.6ミクロンの先端半径および0.1ミクロンのファイバコアに対する先端のセントレーションを備えていた。 10

【0030】

#### 実施例2(シングルウェッジ)

ファイバが25°の切削角で切削された点を除き、ウェッジ形状のレンズは実施例1と同様に作製された。平滑化されたファイバは、72°のウェッジ角(ウェッジの一方の面から対向する面まで測定)、125ミクロンの先端長さ、11.4ミクロンの先端半径および0.1ミクロンのファイバコアに対する先端のセントレーションを備えていた。

【0031】

#### 実施例3(切頭ウェッジ)

図3に示されているように、光ファイバの端部に切頭ウェッジ形状のレンズを作製するために、最初の2つの切削では22°の切削角が用いられた点を除き、実施例1の手順に従った。互いから180°で最初の2つの切削から90°を成す2つのさらなる切削が、22°の切削角でファイバ端部に施された。平滑化されたファイバは、63°のウェッジ角(ウェッジの一方の面から対向する面まで測定)、30ミクロンの先端長さ、12.8ミクロンの先端半径および0.1ミクロンのファイバコアに対する先端のセントレーションを備えていた。 20

【0032】

#### 実施例4(対称なダブルウェッジ)

図4に示されているように、光ファイバの端部にダブルウェッジ(ピラミッド)形状のレンズを作製するために、最初の2つの切削では22°の切削角が用いられた点を除き、実施例1の手順に従った。互いから180°で最初の2つの切削から90°を成す2つのさらなる切削が、22°の切削角でファイバ端部に施された。切削は、2組の面が互いに対称であり、ファイバの先端が点で終端されるように位置決めされた。平滑化されたファイバは、14.3ミクロンの第1の半径、13.9ミクロンの第2の半径(第1の半径から直角に測定)、63°のウェッジ角(ウェッジの一方の面から対向する面まで測定)、1.4ミクロンのファイバコアに対する先端のセントレーションを有する2つの凸状の先端を備えていた。 30

【0033】

#### 実施例5(非対称なダブルウェッジ)

図5に示されているように、光ファイバの端部にダブルウェッジ(ピラミッド)形状のレンズを作製するために、非対称のファイバ端部を生じる第2の2つの切削では52°の切削角が用いられた点を除き、実施例4の手順に従った。切削は、ファイバの先端が点で終端されるように位置決めされた。平滑化されたファイバは、13ミクロンの第1の半径、16.1ミクロンの第2の半径(第1の半径から直角に測定)、第1の組のウェッジ面には63°のウェッジ角、第2の組のウェッジ面には138°のウェッジ角、0.4ミクロンのファイバコアに対する先端のセントレーションを有する2つの凸状の先端を備えていた。 40

【0034】

本発明の種々の修正および変更は、本発明の範囲および精神を逸脱することなく当業者には明白となるであろう。また、本発明は、本願明細書に記載された例示の実施形態に過 50

度に制限するわけではないことを理解すべきである。

【図面の簡単な説明】

【0035】

【図1】本発明に適した具体的なレーザシステムを示した模式図である。

【図2a】本発明によって実現することができるテーパ型円柱シングルウェッジレンズを備えたファイバの形状を示した模式図である。

【図2b】本発明によって実現することができるテーパ型円柱シングルウェッジレンズを備えたファイバの形状を示した模式図である。

【図2c】本発明によって実現することができるテーパ型円柱シングルウェッジレンズを備えたファイバの形状を示した模式図である。

10

【図3a】本発明によって実現することができるテーパ型の切頭シングルウェッジレンズを備えたファイバの形状を示した模式図である。

【図3b】本発明によって実現することができるテーパ型の切頭シングルウェッジレンズを備えたファイバの形状を示した模式図である。

【図3c】本発明によって実現することができるテーパ型の切頭シングルウェッジレンズを備えたファイバの形状を示した模式図である。

【図4a】本発明によって実現することができるテーパ型の対称ダブルウェッジレンズを備えたファイバの形状を示した模式図である。

【図4b】本発明によって実現することができるテーパ型の対称ダブルウェッジレンズを備えたファイバの形状を示した模式図である。

20

【図4c】本発明によって実現することができるテーパ型の対称ダブルウェッジレンズを備えたファイバの形状を示した模式図である。

【図5a】本発明によって実現することができるテーパ型の非対称ダブルウェッジレンズを備えたファイバの形状を示した模式図である。

【図5b】本発明によって実現することができるテーパ型の非対称ダブルウェッジレンズを備えたファイバの形状を示した模式図である。

【図5c】本発明によって実現することができるテーパ型の非対称ダブルウェッジレンズを備えたファイバの形状を示した模式図である。

【図6】本発明によって実現することができる複数の切削線の角度を示した模式図である。

30

【図7a】レーザ切削後であって研磨前の光ファイバレンズの顕微鏡写真のデジタル画像である。

【図7b】レーザ切削後であって研磨前の光ファイバレンズの顕微鏡写真のデジタル画像である。

【図7c】異なる色の陰影が一定の強度の領域を表す遠視野ビームのプロファイルのデジタル画像である。

【図8a】レーザ切削およびアーク研磨後の光ファイバレンズの顕微鏡写真のデジタル画像である。

【図8b】レーザ切削およびアーク研磨後の光ファイバレンズの顕微鏡写真のデジタル画像である。

40

【図8c】異なる色の陰影が一定の強度の領域を表す遠視野ビームのプロファイルのデジタル画像である。

【 図 1 】

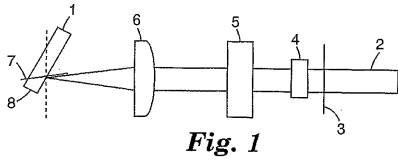


Fig. 1

【 図 6 】

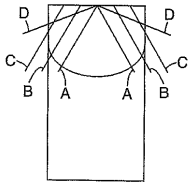


Fig. 6



Fig. 3a

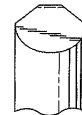


Fig. 3b

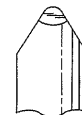


Fig. 3c



Fig. 4a

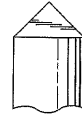


Fig. 4b

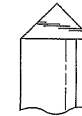


Fig. 4c



Fig. 5a

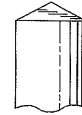


Fig. 5b

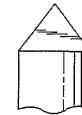


Fig. 5c



Fig. 2a



Fig. 2b



Fig. 2c

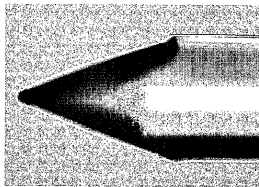


Fig. 7a

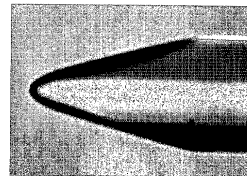


Fig. 8a

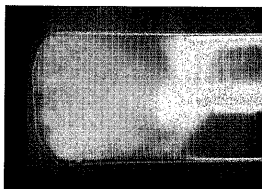


Fig. 7b

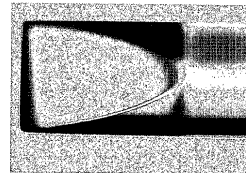


Fig. 8b

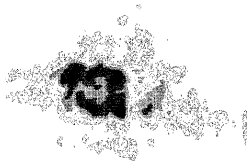


Fig. 7c



Fig. 8c

## 【 国際調査報告 】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 Int  
 nal Application No  
 PCT/US 03/35362

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 G02B6/26 G02B6/255		
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) IPC 7 G02B		
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 practical, search terms used) INSPEC, EPO-Internal, PAJ		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 22, 9 March 2001 (2001-03-09) -& JP 2001 124932 A (WHITAKER CORP:THE), 11 May 2001 (2001-05-11)	1-4, 7-14, 17-20
A	abstract; figures 1,4  paragraphs '0011!', '0013!', '0020!	5,6,15, 16
A	PRESBY H M ET AL: "LASER MICROMACHINING OF EFFICIENT FIBER MICROLENSES" APPLIED OPTICS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, US, vol. 29, no. 18, 20 June 1990 (1990-06-20), pages 2692-2695, XP000134525 ISSN: 0003-6935 the whole document	1-21
-/-		
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.		<input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in 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 principles 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  2 April 2004		Date of mailing of the international search report  23/04/2004
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer  Elflein, W

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 In  
 Application No  
 PCT/US 03/35362

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 558 230 A (AMERICAN TELEPHONE & TELEGRAPH) 1 September 1993 (1993-09-01) abstract column 4, line 20-25 column 4, line 35-40 column 6, line 30-50	1-21
A	WO 02 34452 A (OSBORNE MICHAEL R ;OPTEK LTD (GB)) 2 May 2002 (2002-05-02) abstract; figure 7 page 8, line 4-9 page 12, line 15-19 page 17, line 18 -page 18, line 11	5,6,15, 16,21
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 014, no. 088 (P-1008), 19 February 1990 (1990-02-19) -& JP 01 297601 A (MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD), 30 November 1989 (1989-11-30) abstract; figure 2	1
A	VAREL H ET AL: "MICROMACHINING OF QUARTZ WITH ULTRASHORT LASER PULSES" APPLIED PHYSICS A. MATERIALS SCIENCE AND PROCESSING, SPRINGER VERLAG, BERLIN, DE, vol. 65, no. 4/5, 1997, pages 367-373, XP001051284 ISSN: 0947-8396 abstract page 367, right-hand column, paragraph 2 page 368, left-hand column, paragraph 2	1,4,11, 14
L	DATABASE INSPEC 'Online! THE INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS, STEVENAGE, GB; Inspec No. 7812200, 5 July 2002 (2002-07-05) FEDOTOV ET AL.: "Laser micromachining of microstructure fibers with femtosecond pulses" XP002275912 abstract	1,10
P,A	FEDOTOV: "Laser micromachining of microstructure fibers with femtosecond pulses" LASER PHYSICS, vol. 13, no. 4, April 2003 (2003-04), pages 657-663, XP002275911 Russia abstract page 658, right-hand column, paragraph 2 page 660, left-hand column, paragraph 1	1,10

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int nal Application No PCT/US 03/35362
--

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP 2001124932	A	11-05-2001	AU 5942000 A	15-03-2001
			CN 1308031 A	15-08-2001
			US 2003205562 A1	06-11-2003
			CA 2319632 A1	05-12-2001
EP 0558230	A	01-09-1993	US 5256851 A	26-10-1993
			CA 2085498 A1	29-08-1993
			DE 69309748 D1	22-05-1997
			DE 69309748 T2	30-10-1997
			EP 0558230 A1	01-09-1993
			JP 6043336 A	18-02-1994
			KR 155393 B1	15-12-1998
			SG 65542 A1	22-06-1999
WO 0234452	A	02-05-2002	AU 9579701 A	06-05-2002
			CA 2426848 A1	02-05-2002
			EP 1330331 A1	30-07-2003
			WO 0234452 A1	02-05-2002
			US 2004047587 A1	11-03-2004
JP 01297601 2	A		NONE	

---

 フロントページの続き

(81) 指定国 AP(GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(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), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

(74) 代理人 100082898

弁理士 西山 雅也

(72) 発明者 スミスソン, ロバート エル. ダブリュ.

アメリカ合衆国, ミネソタ 5 5 1 3 3 - 3 4 2 7, セント ポール, ポスト オフィス ボックス 3 3 4 2 7

(72) 発明者 ヒル, ジェフリー ピー.

アメリカ合衆国, ミネソタ 5 5 1 3 3 - 3 4 2 7, セント ポール, ポスト オフィス ボックス 3 3 4 2 7

(72) 発明者 ルブラン, スティーブン, ピー.

アメリカ合衆国, ミネソタ 5 5 1 3 3 - 3 4 2 7, セント ポール, ポスト オフィス ボックス 3 3 4 2 7

F ターム(参考) 2H050 AB02Z AC03 AC62 AC87

2H137 AB15 BA03 BA04 BA11 BA21 BA22 BA35 BA52 BC14 EA08

FA06 GA01 HA12

2H147 AB24 BB02 BB03 BB05 BD09 EA14A EA14B FA25 FC09 FD16

FE03 FE04