

(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2005-189525

(P2005-189525A)

(43) 公開日 平成17年7月14日(2005.7.14)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	F I	テーマコード (参考)
GO2B 6/00	GO2B 6/00 311	2H038
GO2B 5/00	GO2B 5/00 A	2H042
HO1S 3/10	HO1S 3/10 A	5F072

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2003-431100 (P2003-431100)	(71) 出願人	000232243 日本電気硝子株式会社 滋賀県大津市晴嵐2丁目7番1号
(22) 出願日	平成15年12月25日(2003.12.25)	(72) 発明者	姫井 裕助 滋賀県大津市晴嵐2丁目7番1号 日本電気硝子株式会社内
		(72) 発明者	中島 外博 滋賀県大津市晴嵐2丁目7番1号 日本電気硝子株式会社内
		(72) 発明者	坂本 明彦 滋賀県大津市晴嵐2丁目7番1号 日本電気硝子株式会社内
		(72) 発明者	平尾 一之 京都府相楽郡木津町木津川台3-5-8
		Fターム(参考)	2H038 BA22

最終頁に続く

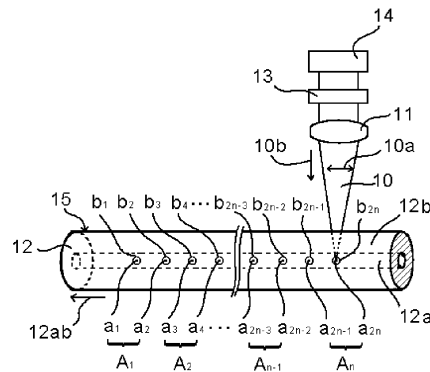
(54) 【発明の名称】 光減衰性光導波材料およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 安価でかつ簡便にあらゆる光減衰率を有する光減衰性光導波部品に使用でき、入射光（導波光）の偏波状態による光減衰率の変動が低減される光減衰性光導波材料、その製造方法及びそれを用いた光減衰性光導波部品を提供することを目的とする。

【解決手段】 光導波材料の光導波部分において、フェムト秒レーザー光を、その偏光方向が光導波方向と略平行になるように照射する又は、フェムト秒レーザー光を、 $n$ 組の2個の照射点からなる照射点对におけるフェムト秒レーザー光の照射方向又は偏光方向が互いに略直交するように照射することによって、光導波部分にフェムト秒レーザー光によって誘起されてなる構造変化部を有し、 $1.55\ \mu\text{m}$ の波長を有する赤外光の偏波依存性損失が $0.4\ \text{dB}$ 以下である光減衰性光導波材料を得る。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

光導波部分にフェムト秒レーザー光によって誘起されてなる構造変化部を有し、 $1.5 \mu\text{m}$ の波長を有する赤外光の偏波依存性損失が $0.4 \text{ dB}$ 以下である光減衰性光導波材料。

**【請求項 2】**

光ファイバ形状を有する請求項 1 に記載の光減衰性光導波材料。

**【請求項 3】**

光導波材料の光導波部分において、フェムト秒レーザー光を、その偏光方向が光導波方向と略平行になるように照射する光減衰性光導波材料の製造方法。

10

**【請求項 4】**

光導波材料の光導波部分において、偶数 ( $2n$ ) 個又は奇数 ( $2n+1$ ) 個の照射点にフェムト秒レーザー光を照射する光減衰性光導波材料の製造方法であって、フェムト秒レーザー光を、 $n$ 組の 2 個の照射点からなる照射点对におけるフェムト秒レーザー光の照射方向又は偏光方向が互いに略直交するように照射する光減衰性光導波材料の製造方法。

**【請求項 5】**

フェムト秒レーザー光を、 $n$ 個の照射点におけるフェムト秒レーザー光の照射方向及び/又は偏光方向が同一になるように照射し、前記フェムト秒レーザー光の照射方向又は偏光方向に対し、残りの照射点のうち、 $n$ 個の照射点におけるフェムト秒レーザー光の照射方向又は偏光方向が略直交するように照射する請求項 4 に記載の光減衰性光導波材料の製造方法。

20

**【請求項 6】**

フェムト秒レーザー光が、 $10 \sim 1000$  フェムト秒のパルス幅と、 $250 \sim 3000 \text{ nm}$ の波長とを有する請求項 4 又は 5 に記載の光減衰性光導波材料の製造方法。

**【請求項 7】**

光導波材料が光ファイバである請求項 4 ~ 6 のいずれかに記載の光減衰性光導波材料の製造方法。

**【請求項 8】**

請求項 1 又は 2 に記載の光減衰性光導波材料を用いた光減衰性光導波部品。

**【請求項 9】**

波長  $0.25 \sim 3 \mu\text{m}$ の光を透過するフェルールを用いた請求項 8 に記載の光減衰性光導波部品。

30

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は、光通信等の分野において、光信号の強度を所定の割合で減衰させる光固定減衰器等の光導波部品に使用される光減衰性光導波材料、光減衰性光導波材料の製造方法および光減衰性光導波部品に関する。

**【背景技術】****【0002】**

光信号のパワーに所定の減衰率を与え、光パワーのレベルを適正範囲に調整する目的で使用される光固定減衰器は、光通信システムにおいて、重要なデバイスである。

40

**【0003】**

従来、光導波材料として光ファイバを利用した光固定減衰器において、光ファイバ内部にドーパントとして $\text{Co}$ 等の遷移金属イオンを添加することにより光信号のパワーを減衰させる方法が知られている。この光固定減衰器は、光ファイバの光導波部分(コア)に $\text{Co}$ 等の遷移金属イオンを添加した光減衰性光ファイバを利用しており、光通信波長に対する遷移金属イオンの光吸収特性を利用することにより所定の光減衰率を得るものである(例えば、特許文献 1 参照。)

**【0004】**

50

また、近年、パルス幅が約1000フェムト秒(1000×10<sup>-15</sup>秒)程度以下の超短パルスレーザー光を集光した場合に得られる大きなピークパワーの光を利用して、ガラス、プラスチック等種々の透明材料内部における任意の個所に、屈折率増加、ボイドあるいはマイクロクラック等の光学的損傷等を誘起した構造変化部が形成されることが報告されている。このような超短パルスレーザー光を利用した空間選択的な構造変化部の形成は、三次元光メモリ(例えば、特許文献2参照。)や光導波路(例えば、特許文献3参照。)等を作製するために応用されている。また、このような超短パルスレーザー光を利用した空間選択的な材料の改質手法を、光ファイバのコア領域に屈折率増加部および/または光学的損傷部を形成させた光減衰性光ファイバを作製するために適用したことが開示されている(例えば、非特許文献1参照。)

10

【特許文献1】特許第3271886号公報

【特許文献2】特開平8 220688号公報

【特許文献3】特開平9 311237号公報

【非特許文献1】姫井裕助、外5名、「光ファイバーへのフェムト秒レーザー照射による誘起現象と新しい光減衰器の作製」、第50回応用物理学関係連合講演会講演予稿集、2003年3月27~30日、(No.3、P1294、28p-K-3)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献1に記載の光固定減衰器に使用される光減衰性光ファイバを得るためには、Co等の遷移金属イオンをドーブした特殊なファイバ用プリフォームを作製する必要がある。また、その光減衰率は、コアに添加された遷移金属イオンの濃度に依存するため、所望の光減衰率および光固定減衰器の規格長に応じてそれぞれ専用のファイバ用プリフォームが必要となる。結果として、この種の光減衰性光ファイバを使用した光固定減衰器は一般に高価なものとなっている。

20

【0006】

また、非特許文献1における光減衰性光ファイバは、フェムト秒レーザー光を光ファイバのコア部分に集光照射することによって形成された構造変化部において、信号光が散乱あるいは反射される現象を利用している。しかしながら、光通信システムにおいて上記の光減衰性光ファイバを使用する場合、入射光(導波光)の偏波状態による光減衰率の変動が大きく、これを光固定減衰器に使用すると、光通信システムにおいて使用されている各種光デバイスの偏光特性の劣化をもたらすという問題点を有していた。

30

【0007】

本発明は、上記事情に鑑みなされたものであり、安価でかつ簡便にあらゆる光減衰率を有する光減衰性光導波部品に使用でき、入射光(導波光)の偏波状態による光減衰率の変動が低減される光減衰性光導波材料、その製造方法及びそれを用いた光減衰性光導波部品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】

【0008】

本発明の光減衰性光導波材料は、光導波部分にフェムト秒レーザー光によって誘起されてなる構造変化部を有し、1.55μmの波長を有する赤外光の偏波依存性損失が0.4dB以下であることを特徴とする。

40

【0009】

本発明の光減衰性光導波材料の製造方法は、光導波材料の光導波部分において、フェムト秒レーザー光を、その偏光方向が光導波方向と略平行になるように照射することを特徴とする。

【0010】

また、本発明の光減衰性光導波材料の製造方法は、光導波材料の光導波部分において、偶数(2n)個又は奇数(2n+1)個の照射点にフェムト秒レーザー光を照射する光減衰性光導波材料の製造方法であって、フェムト秒レーザー光を、n組の2個の照射点から

50

なる照射点对におけるフェムト秒レーザー光の照射方向又は偏光方向が互いに略直交するように照射することを特徴とする。

【0011】

本発明の光減衰性光導波部品は、光導波部分にフェムト秒レーザー光によって誘起されてなる構造変化部を有し、 $1.55\mu\text{m}$ の波長を有する赤外光の偏波依存性損失が $0.4\text{dB}$ 以下である光減衰性光導波材料を用いることを特徴とする。

【発明の効果】

【0012】

本発明の光減衰性光導波材料は、光導波部分にフェムト秒レーザー光によって誘起されてなる構造変化部を有するため、あらゆる光減衰率の光減衰性光導波部品に使用できる。すなわち、構造変化部は、屈折率増加部および/またはポイド等の光学的損傷部より形成され、導波光を散乱あるいは反射することによって光を減衰させるが、その光減衰率は、構造変化部の数、構造変化部に誘起される屈折率変化量、および構造変化部のサイズ等によって、容易に調節することができる。 $1.55\mu\text{m}$ の波長を有する赤外光の偏波依存性損失が $0.4\text{dB}$ 以下であるため、光固定減衰器に使用した場合、入射光(導波光)の偏光状態による光減衰率の変動が低減され、光通信システムにおいて使用されている各種光デバイスの偏光特性の劣化が抑制される。

10

【0013】

ここで、偏波依存性損失とは、光デバイスに入射する光の偏光状態の変化に伴う光損失の変動量であり、入射光の偏光状態の変化に対する透過光パワーの最大値と最小値を用いて、次式により定義される。

20

【0014】

偏波依存性損失(dB)

$$= 10 \log_{10} (P_{\max}) - 10 \log_{10} (P_{\min})$$

$P_{\max}$ : 最大透過光パワー(mW),  $P_{\min}$ : 最小透過光パワー(mW)

本発明の光減衰性光導波材料の製造方法は、光導波材料の光導波部分において、フェムト秒レーザー光を、その偏光方向が光導波方向と略平行になるように照射するため、フェムト秒レーザー光を収束させるための集光レンズの開口数が $0.5$ よりも小さい場合、偏波依存性損失が $0.4\text{dB}$ 以下となる。

【0015】

また、本発明の光減衰性光導波材料の製造方法は、光導波材料の光導波部分において、偶数( $2n$ )個又は奇数( $2n+1$ )個の照射点にフェムト秒レーザー光を照射する光減衰性光導波材料の製造方法であって、フェムト秒レーザー光を、 $n$ 組の2個の照射点からなる照射点对におけるフェムト秒レーザー光の照射方向又は偏光方向が互いに略直交するように照射するため、フェムト秒レーザー光を収束させるための集光レンズの開口数が $0.5 \sim 1.4$ である場合、偏波依存性損失が $0.4\text{dB}$ 以下となる。

30

【0016】

上記した光減衰性光導波材料の製造方法によれば、Co等の遷移金属イオンを含む特殊な光ファイバ用プリフォームを作製する必要が一切なく、一般的な通信用光ファイバを用いて作製することができる。これにより、光減衰性光導波材料を安価に製造することができる。更に、フェムト秒レーザー光の焦点でのピークパワー密度、照射時間、照射点数等を変化させることによって、光減衰率を調整することができるため、光減衰率の異なる光減衰性光導波材料を簡便に作製することができる。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

本発明の光減衰性光導波材料は、赤外光の偏波依存性損失が、 $0.2\text{dB}$ 以下であると、入射光(導波光)の偏光状態による光減衰率の変動がほとんど無くなるため、偏波無依存型の光減衰性光導波部品に使用可能となる。

【0018】

また、本発明の光減衰性光導波材料は、 $1.3 \sim 1.6\mu\text{m}$ の波長を有する赤外光の反

50

射減衰量が45～70 dBであると、反射戻り光が実用上無視でき、これを光減衰性光導波部品に使用しても、光アイソレータあるいは光サーキュレータ等の光デバイスを必要としない。尚、反射減衰量は、光部品からの反射によって光信号のパワーが減少する割合をデシベル(dB)表示したものであり、入射光パワーと入射端における反射光パワーとの比で次式により定義される。

【0019】

$$\text{反射減衰量 (dB)} = -10 \log_{10} (P_r / P_i)$$

$P_r$  : 反射光パワー (mW)、 $P_i$  : 入射光パワー (mW)

この式から、反射光パワーが増大すれば、反射減衰量は減少する関係にあることがわかる。

10

【0020】

また、本発明の光減衰性光導波材料は、構造変化部を複数個有し、構造変化部が重なり合わないよう間隔をおいて形成されていれば、構造変化部が等間隔で形成されていても、又異なった間隔で形成されていても、光減衰率、反射減衰量、偏波依存性損失を精度良く制御することができるため好ましい。また隣接する構造変化部の間隔が20 μm以上であればさらに好ましい。尚、隣接する構造変化部の間隔は、構造変化部の中心間の距離を指す。

【0021】

また、光減衰性光導波材料が光ファイバ形状を有してなると、フェルール内に固定されたコネクタ形状の光固定減衰器に好適である。

20

【0022】

次に、本発明の光減衰性光導波材料の製造方法について詳細に説明する。

【0023】

図1に示すように、フェムト秒レーザー光10は、一般に直線偏光した光であるため、偏光方向10aを有している。本発明においては、そのフェムト秒レーザー光10を集光レンズ11によって収束し、光導波材料12の光導波部分12aの2n個(又は2n+1個)の照射点(a<sub>1</sub>、a<sub>2</sub>、a<sub>3</sub>、a<sub>4</sub>・・・a<sub>2n-3</sub>、a<sub>2n-2</sub>、a<sub>2n-1</sub>、a<sub>2n</sub>、(a<sub>2n+1</sub>))に、下記のように順次照射する。

【0024】

ここで、フェムト秒レーザー光10が光導波材料12に照射される方向を照射方向10bとし、光導波部分12aにおいて、赤外光が導波する方向を光導波方向12abとする。また、2個の照射点を照射点对(A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>・・・A<sub>n-1</sub>、A<sub>n</sub>)とする。具体的には、照射点a<sub>1</sub>とa<sub>2</sub>とを照射点对A<sub>1</sub>とし、照射点a<sub>3</sub>とa<sub>4</sub>との照射点对A<sub>2</sub>とし、・・・照射点a<sub>2n-3</sub>とa<sub>2n-2</sub>とを照射点对A<sub>n-1</sub>とし、照射点a<sub>2n-1</sub>とa<sub>2n</sub>とを照射点对A<sub>n</sub>とする。

30

【0025】

フェムト秒レーザー光10を開口率が0.5よりも小さい集光レンズ11によって収束させる場合は、光導波材料12の光導波部分12aにおいて、フェムト秒レーザー光10を、1/2波長板等の位相板13を用いてその偏光方向10aが光導波方向10abと略平行になるように照射する。この場合、偏波依存性損失が0.4 dB以下となり、あらゆる光減衰率を有する光減衰性光導波材料を容易に作製することができる。

40

【0026】

一方、フェムト秒レーザー光10を開口率が0.5～1.4の集光レンズ11によって収束させる場合、その偏光方向10aが光導波方向10abと略平行になるように照射し、それらの照射方向10bが同一であると、照射点数が多くなるに従って(光減衰率が大きくなるに従って)、偏波依存性損失が大きくなるため好ましくない。特に、5個以上の照射点がある場合に、偏波依存性損失が0.4 dBよりも大きくなりやすい。

【0027】

そこで、フェムト秒レーザー光10を開口率が0.5～1.4の集光レンズ11によって収束させる場合は、以下に記載の手順により光減衰性光導波材料を作製すると、偏波依存性損失が0.4 dB以下となる。まず、照射点a<sub>1</sub>に、フェムト秒レーザー光10を照

50

射する。照射点  $a_2$  においては、フェムト秒レーザー光 10 を、照射点  $a_1$  と照射点  $a_2$  との照射方向 10 b が略直交するように、光導波部分 12 a を軸として、光導波材料 12 を  $90^\circ$  回転させて照射する。あるいはフェムト秒レーザー光 10 の光源 14 を光導波材料 12 の円周 12 b に沿って  $90^\circ$  回転させて照射してもよい。もしくは、照射点  $a_2$  において、照射点  $a_1$  と照射点  $a_2$  との偏光方向 10 a が略直交するように、照射点  $a_1$  での照射方向を軸として、光導波材料 12 又は  $1/2$  波長板等の位相板 14 を  $90^\circ$  回転させて照射する。この操作を残りの照射点对においても同様に行うことによって、 $2n$  個又は  $2n+1$  個の構造変化部 ( $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$ 、 $b_4 \cdots b_{2n-3}$ 、 $b_{2n-2}$ 、 $b_{2n-1}$ 、 $b_{2n}$ 、( $b_{2n+1}$ )) を有する光減衰性光導波材料 15 が作製される。尚、照射点对として、上記のように隣接する 2 個の照射点を選択するほかに、隣接しない 2 個の照射点を選択してもよい。

10

#### 【0028】

また、フェムト秒レーザー光 10 を開口率が  $0.5 \sim 1.4$  の集光レンズ 11 によって収束させる場合に、フェムト秒レーザー光 10 を、 $2n$  個又は  $2n+1$  個の照射点のうち、前半の  $n$  個の照射点におけるフェムト秒レーザー光 10 の照射方向 10 b 及び / 又は偏光方向 10 a が同一になるように照射し、次いで、前半のフェムト秒レーザー光 10 の照射方向 10 b に対し、残りの照射点のうち、後半の  $n$  個の照射点におけるフェムト秒レーザー光 10 の照射方向 10 b が略直交するように、光導波部分 12 a を軸として、光導波材料 12 を  $90^\circ$  回転させて照射する。あるいはフェムト秒レーザー光 10 の光源 13 を光導波材料 12 の円周 12 b に沿って  $90^\circ$  回転させて照射してもよい。もしくは、前半のフェムト秒レーザー光 10 の照射方向 10 b に対し、後半の  $n$  個の照射点におけるフェムト秒レーザー光 10 の偏光方向 10 a が略直交するように、前半の  $n$  個の照射点における照射方向 10 b を軸として光導波材料 12 又は  $1/2$  波長板等の位相板 13 を  $90^\circ$  回転させて照射する。

20

#### 【0029】

このような照射方法によれば、光源 14 を光導波材料 12 の円周 12 b に沿って  $90^\circ$  回転させる操作や光導波材料 12 又は  $1/2$  波長板等の位相板 13 を  $90^\circ$  回転させる操作を、最小限の回数 (1 回) にとどめることができ、光減衰性光導波材料 15 を効率よく作製できるため好ましい。

#### 【0030】

また、本発明の光減衰性光導波材料の製造方法は、フェムト秒レーザー光を、開口数  $0.5 \sim 1.4$  のレンズを通して光導波材料の光導波部分に照射することにより、構造変化部を形成すると、 $1.3 \sim 1.6 \mu\text{m}$  の波長を有する赤外光の反射減衰量が  $45 \sim 70 \text{ dB}$  である光減衰性光導波材料を得ることができるため好ましい。すなわち、開口数が  $0.5 \sim 1.4$  (好ましくは  $0.5 \sim 1.0$ ) のレンズを用いると、フェムト秒レーザー光の焦点 (照射点) でのビームサイズが小さくなり、形成された構造変化部のサイズが小さくなるため、赤外光の反射減衰量が大きくなる (反射戻り光が少なくなる) からである。さらに、形成された構造変化部のサイズが小さくなくても、フェムト秒レーザー光の焦点 (照射点) でのピークパワー密度が大きく、構造変化部の屈折率増加が顕著であるため、導波光 (赤外光) を散乱あるいは反射する効果が高くなり、導波光を減衰する能力は低下しない。開口数が  $0.5$  よりも小さいレンズを用いると、フェムト秒レーザー光の焦点 (照射点) でのビームサイズが大きくなりやすいため、構造変化部のサイズが大きくなり、赤外光の反射減衰量が  $45 \text{ dB}$  よりも小さくなる。また、開口数が  $1.4$  よりも大きいレンズを用いると、フェムト秒レーザー光の焦点 (照射点) でのピークパワー密度が大きくなりやすいため、構造変化部のダメージが大きくなる。また、レンズの焦点距離が短くなり、フェムト秒レーザー光の焦点が光導波部分の照射点に届かなくなるため好ましくない。

30

40

#### 【0031】

フェムト秒レーザー光は、パルス幅が  $10 \sim 1000$  フェムト秒であり、かつ波長が  $0.25 \sim 3 \mu\text{m}$  の超短パルスレーザー光であると、光導波材料の光導波部分に構造変化部を形成しやすいため好ましい。すなわち、パルス幅が、 $1000$  フェムト秒を超えると、

50

集光照射を行っても、焦点（照射点）でのピークパワー密度が小さくなり、構造変化部を形成することが困難である。またパルス幅が、10フェムト秒よりも短い場合、焦点（照射点）でのピークパワー密度が高くなりすぎて、光導波材料へのダメージが大きくなるとともに、光減衰率、反射減衰量および偏波依存性損失の制御が困難になりやすい。

【0032】

また、フェムト秒レーザー光の焦点（照射点）でのピークパワー密度は、 $1 \times 10^8 \sim 9 \times 10^{15} \text{ W/cm}^2$ であることが好ましい。ピークパワー密度が $1 \times 10^8 \text{ W/cm}^2$ よりも小さいと、構造変化部を形成することが難しくなる。またピークパワー密度が $9 \times 10^{15} \text{ W/cm}^2$ よりも大きいと、構造変化部のダメージが大きくなり好ましくない。ピークパワー密度の好ましい範囲は $1 \times 10^{14} \sim 1 \times 10^{15} \text{ W/cm}^2$ である。尚、フェムト秒レーザー光のピークパワーは、1パルス当たりの出力エネルギー（J）をパルス幅（秒）で割ったパワー（W）で表され、焦点でのピークパワー密度は焦点でのビーム単位面積（ $\text{cm}^2$ ）当たりのピークパワー（ $\text{W/cm}^2$ ）で表される。

10

【0033】

フェムト秒レーザー光を、光導波材料の光導波部分に照射する照射時間は、光導波材料の材質あるいはフェムト秒レーザー光の照射条件に応じて異なるが、10秒以下であると、光導波材料に対するダメージが少ないため好ましい。また、照射時間が0.001秒以上であると容易に構造変化部を形成できる。

【0034】

光導波材料は、波長250～3000nmの光を透過するガラス、結晶、プラスチック、あるいはそれらの材料により構成される光ファイバや光導波路であると、光学顕微鏡を用いることにより、容易にそのフェムト秒レーザー光の照射点を確認でき、所望の位置に構造変化部を形成しやすいため好ましい。

20

【0035】

本発明の光減衰性光導波部品は、波長250～3000nmの光を透過するフェルールを用いてなると、光ファイバをフェルール内孔に挿入固定した後であっても、光学顕微鏡を用いれば、目視によってフェムト秒レーザー光の焦点をコア部分の照射点に合わせることが容易となり、フェルールを通してフェムト秒レーザー光を光ファイバのコア部分の照射点に集光照射して、所望の位置に構造変化部を形成することができる。また取扱い時に光ファイバが破損しにくく、フェムト秒レーザー光の照射時に光ファイバを固定しやすい利点がある。

30

【実施例】

【0036】

本発明を、実施例に基づいて詳細に説明する。表1は、実施例1～7を、表2は実施例8～11と比較例1～4を示す。図2は、本発明の光減衰性光ファイバの製造方法を示す説明図である。

【0037】

【表 1】

	実施例						
	1	2	3	4	5	6	7
集光レンズの開口数	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46
焦点でのピークパワー密度 / $\times 10^{13}$ (W/cm <sup>2</sup> )	1.2	1.2	1.2	1.2	3	3	3
照射時間 (秒) / 照射点	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
照射点の数	3	5	11	23	2	7	10
光減衰率 / dB (1.55 $\mu$ m)	1.3	1.9	5.2	9.7	1.0	3.1	9.0
偏波依存性損失 / dB (1.55 $\mu$ m)	0.01	0.02	0.04	0.10	0.05	0.05	0.09
反射減衰量 / dB (1.55 $\mu$ m)	43.1	42.9	41.6	40.8	44.1	43.2	41.5

10

【0038】

【表 2】

	実施例				比較例			
	8	9	10	11	1	2	3	4
集光レンズの開口数	0.90	0.90	0.90	0.90	0.46	0.46	0.46	0.46
焦点でのピークパワー密度 / $\times 10^{13}$ (W/cm <sup>2</sup> )	100	100	100	100	1.2	1.2	1.2	3
照射時間 (秒) / 照射点	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
照射点の数	4	10	12	16	6	11	12	25
光減衰率 / dB (1.55 $\mu$ m)	2.1	5.5	7.5	9.3	2.1	4.8	5.6	9.0
偏波依存性損失 / dB (1.55 $\mu$ m)	0.16	0.11	0.16	0.15	0.43	0.63	1.25	0.49
反射減衰量 / dB (1.55 $\mu$ m)	60.9	61.8	58.5	54.1	43.4	42.1	41.3	41.2

20

30

【0039】

図 2 に示すように、光導波材料として市販のシリカガラス製シングルモード光ファイバ 20 (外径 125  $\mu$ m) を、コンピュータ 21 を用いた位置の精密制御を可能とした X Y Z ステージ 22 上に固定し、光ファイバ 20 の光導波部分であるコア部分 20 a (直径 10  $\mu$ m) に、波長 800 nm、パルス幅 120 フェムト秒、パルス繰り返し周期 200 kHz、平均パワー 400 mW のフェムト秒レーザー光 23 を、表に示す開口数を有する対物レンズ 24 を用いて、表に示す 1 照射点 20 a b 当たりの照射時間で、200  $\mu$ m 間隔で照射し、照射点 20 a b の数に相当する数の構造変化部 30 a を有する実施例 1 ~ 4 及び比較例 1 ~ 3 の光減衰性光ファイバ 30 を得た。

40

【0040】

また、波長 800 nm、パルス幅 120 フェムト秒、パルス繰り返し周期 1 kHz、平均パワー 5 mW のフェムト秒レーザー光 23 を用いた以外は実施例 1 と同様にして実施例 5 ~ 11 及び比較例 4 の光減衰性光ファイバ 30 を得た。

【0041】

尚、実施例 1 ~ 7 については、フェムト秒レーザー光 23 の偏光方向 23 a とコア部分

50



20 a の光導波方向 20 b が略平行になるように、1 / 2 波長板 25 を使用した。また、実施例 8 ~ 11 については、フェムト秒レーザー光 23 を、前半の半数の照射点 20 a b において、偏光方向 23 a と照射方向 23 b を変えずに照射し、前半の半数の照射点 20 a b におけるフェムト秒レーザー光 23 の照射方向 23 b に対し、後半の半数の照射点 20 a b における照射方向 23 b が直交するように、光ファイバ 20 のコア部分 20 a を軸として、光ファイバ 20 を 90° 回転させて照射した。また、比較例 1、2 及び 4 については、フェムト秒レーザー光 23 の偏光状態を解消し、非偏光状態になるように、水晶偏光解消板（図示せず）を使用した。比較例 3 については、フェムト秒レーザー光 23 の偏光方向 23 a とコア部分 20 a の光導波方向 20 b が略直交するように、1 / 2 波長板 25 を使用した。

10

## 【0042】

尚、フェムト秒レーザー光 23 の平均パワーは、ND (Neutral Density) フィルター 26 によって調整し、照射時間はシャッター 27 により調整した。

## 【0043】

光減衰性光ファイバにおける波長 1.55 μm の赤外光の光減衰率は、XYZ ステージ 22 上に固定した光減衰性光ファイバ 30 の両端と接続したレーザー光源内蔵パワーメーター（アンリツ製 MT9810A）を用いて評価した。

## 【0044】

波長 1.55 μm の赤外光の偏波依存性損失は、偏波スクランブラ（アドバンテスト製 Q8163）およびパワーメーター（アドバンテスト製 本体：Q8221，レーザー光源：Q81212DFB，センサー：Q82233）を使用して評価した。

20

## 【0045】

また波長 1.55 μm の赤外光の反射減衰量は、XYZ ステージ 22 上に固定した光減衰性光ファイバ 30 の片端と接続した後方散乱光測定装置（アンリツ製 MW9070B）を用いて評価した。

## 【0046】

表 1 より明らかのように、実施例 1 ~ 11 は、フェムト秒レーザー光の照射時間、照射点数、集光レンズの開口数等を変えるだけで、光減衰率の異なる光減衰性光ファイバとすることができた。また偏波依存性損失が小さかった。特に、実施例 8 ~ 11 は、反射減衰率が 45 dB よりも大きかった。

30

## 【0047】

一方、比較例 1 ~ 4 は、偏波依存性損失が大きかった。

## 【産業上の利用可能性】

## 【0048】

以上説明したように、本発明の光減衰性光導波材料は、安価でかつ簡便にあらゆる光減衰率を有する光減衰性光導波部品に使用でき、入射光（導波光）の偏光状態による光減衰性光導波部品の光減衰特性が変動し難いため、光固定減衰器、光導波デバイスに好適である。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0049】

40

【図 1】本発明における光減衰性光導波材料の製造方法を示す概念図である。

【図 2】本発明における実施例の光減衰性光ファイバの製造方法を示す説明図である。

## 【符号の説明】

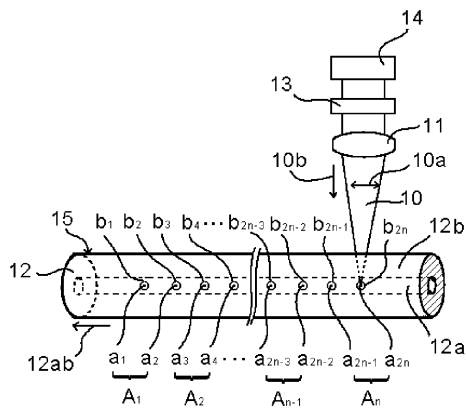
## 【0050】

- 10、23 フェムト秒レーザー光
- 10 a、23 a 偏光方向
- 10 b、23 b 照射方向
- 11 集光レンズ
- 12 光導波材料
- 12 a 光導波部分

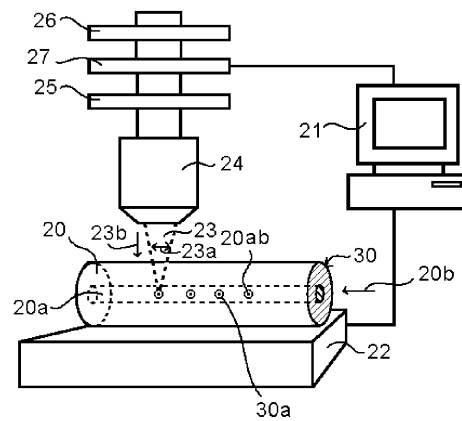
50

- 1 2 a b、2 0 b 光導波方向
- 1 2 b 円周
- 1 3 光源
- 1 4 位相板
- 1 5 光減衰性光導波材料
- 2 0 シリカガラス製シングルモード光ファイバ
- 2 0 a コア部分
- 2 0 a b 照射点
- 2 1 制御用コンピュータ
- 2 2 X Y Z ステージ
- 2 4 対物レンズ
- 2 5 1 / 2 波長板
- 2 6 ND ( N e u t r a l D e n s i t y ) フィルター
- 2 7 シャッター
- 3 0 光減衰性光ファイバ
- 3 0 a 構造変化部

【 図 1 】



【 図 2 】



---

フロントページの続き

Fターム(参考) 2H042 AA06 AA11 AA30  
5F072 JJ20 MM02 RR01 SS08 YY15