

(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2010-103223

(P2010-103223A)

(43) 公開日 平成22年5月6日(2010.5.6)

(51) Int.Cl.		F 1			テーマコード (参考)	
<b>HO 1 S</b>	<b>3/06</b>	<b>(2006.01)</b>	HO 1 S	3/06	B	5 F 1 7 2
<b>CO 3 B</b>	<b>37/12</b>	<b>(2006.01)</b>	CO 3 B	37/12	A	

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2008-271808 (P2008-271808)  
 (22) 出願日 平成20年10月22日 (2008.10.22)

(71) 出願人 592032636  
 学校法人トヨタ学園  
 愛知県名古屋市天白区久方2丁目12番地  
 1

(74) 代理人 100068021  
 弁理士 絹谷 信雄

(72) 発明者 齋藤 和也  
 愛知県名古屋市天白区久方二丁目12番地  
 1 豊田工業大学内

最終頁に続く

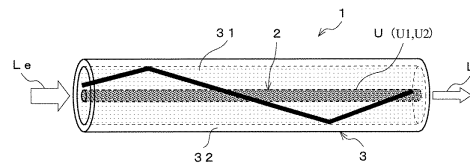
(54) 【発明の名称】 ファイバレーザ用ファイバ及びその製造方法、並びにファイバレーザ

(57) 【要約】

【課題】 希土類元素の添加濃度を増加させずに、高出力のレーザ光が得られるファイバレーザ用ファイバを提供する。

【解決手段】 希土類元素が添加されたコア2と、そのコア2の外周に形成されたクラッド3とを備えたファイバレーザ用ファイバ1において、コア2は、1720℃～2000℃の仮想温度を有するものである。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

希土類元素が添加されたコアと、そのコアの外周に形成されたクラッドとを備えたファイバレーザ用ファイバにおいて、前記コアは、1720℃～2000℃の仮想温度を有することを特徴とするファイバレーザ用ファイバ。

## 【請求項2】

前記コアは、前記仮想温度が長手方向で異なる請求項1に記載のファイバレーザ用ファイバ。

## 【請求項3】

光ファイバ母材を溶融して希土類元素が添加されたコアと該コアの外周に形成されたクラッドとからなる光ファイバ裸線を作製する光ファイバ裸線作製工程と、

前記光ファイバ裸線の周囲に被覆を施す被覆工程とを含むファイバレーザ用ファイバの製造方法において、

前記光ファイバ裸線作製工程と前記被覆工程との間、あるいは前記被覆工程後に、前記コアの内部に残留応力を付与して前記コアの仮想温度を1720℃～2000℃にする残留応力付与工程を有することを特徴とするファイバレーザ用ファイバの製造方法。

## 【請求項4】

前記残留応力付与工程は、前記光ファイバ裸線作製工程と前記被覆工程との間に、前記光ファイバ裸線にレーザ光を照射して前記コアの内部に前記残留応力を付与する請求項3に記載のファイバレーザ用ファイバの製造方法。

## 【請求項5】

前記残留応力付与工程は、前記被覆工程後に引張応力を印加して、前記コアの内部に前記残留応力を付与する請求項3に記載のファイバレーザ用ファイバの製造方法。

## 【請求項6】

前記残留応力付与工程は、前記コアの長手方向の一部、あるいは全体に前記残留応力を付与する請求項3～5のいずれかに記載のファイバレーザ用ファイバの製造方法。

## 【請求項7】

請求項1又は2に記載のファイバレーザ用ファイバと、前記ファイバレーザ用ファイバに励起光を入射させる励起光源とを少なくとも備えることを特徴とするファイバレーザ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、希土類元素が添加されたコアとクラッドを備えた高出力のファイバレーザ用ファイバ及びその製造方法、並びにファイバレーザに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

レーザ加工や医療用途などへの適用を目的として、より高出力で安価な光源の開発が求められている。これらの要求に対し、光ファイバレーザは、高効率でしかも高品質のレーザ光を簡単に取り出せるという理由で注目を集めている。

## 【0003】

このような高出力光ファイバレーザに使用される光ファイバとして、図8に示すような光ファイバ（ファイバレーザ用ファイバ）91がある。この光ファイバ91は、希土類元素（Yb、Er、Er/Yb、Tm、Ndなど）をドープしたコア92と、第1クラッド93a、第2クラッド93bからなるクラッド93とを備えたダブルクラッドファイバである。また、第2クラッド93bの外周に図示していないが、紫外線硬化型樹脂などからなる被覆層が設けられている。

## 【0004】

光ファイバ91の一端部には、励起光Le9として、マルチモードLD（半導体レーザ）から出射した光を入射する。第1クラッド93a内に集光した励起光Le9は、光ファ

10

20

30

40

50

イバ91中を伝搬し、コア92の希土類元素を励起する。そして、励起された希土類元素から発振光がコア92に伝播し、光ファイバ91の他端から高出力のレーザ発振光L9が出射する。

【0005】

このようなファイバレーザにおいて、光ファイバ中のコアの希土類元素イオン（例えば、Ybイオン（Yb<sup>3+</sup>））濃度を高くする、つまり希土類元素の添加濃度を増加させることにより、発光強度を増加させ、レーザ光の高出力化を図るという手法がある。

【0006】

なお、この出願の発明に関連する先行技術文献情報としては、次のものがある。

【0007】

【特許文献1】特開平5-249328号公報

【特許文献2】特開2004-43231号公報

【特許文献3】特開2004-107157号公報

【特許文献4】特開2005-250040号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら、希土類元素イオン濃度を高くすると、以下のデメリットがある。

【0009】

1) ガラスマトリクス中に希土類元素を均一に分散させるために、さらにA1などの分散剤（あるいは濃度消光抑制剤）を添加しなければならない。この結果、コアの屈折率が必要以上に高くなり、モードフィールド径が小さくなるので、特にLMAファイバ（Large Mode Area Fiber）やPCF（フォトニック結晶光ファイバ：Photonic Crystal Fiber）を作る場合、FまたはBなどの屈折率調整剤を添加してコアの屈折率を下げなければならない。このため、ファイバレーザ用ファイバの作製プロセスが複雑になり、コストもかかると同時に、精密な屈折率制御が困難になる。さらに、添加物が多くなることにより、ファイバ全体の線膨張係数（熱膨張係数）が大きくなってレーザ耐性も低くなる。レーザ耐性が低くなる別の理由として、ファイバレーザ用ファイバが細径であることも挙げられる。

【0010】

2) 希土類元素イオン濃度が高くなると希土類元素イオン間の平均距離が近くなる。その結果、隣り合う希土類元素イオン同士が発光強度を下げるような相互作用を行う協同ルミネッセンスなどにより、濃度消光が起こりやすくなり、増幅効率低下（レーザ出力低下）を招いてしまう。

【0011】

そこで、本発明の目的は、希土類元素の添加濃度を増加させずに、高出力のレーザ光が得られるファイバレーザ用ファイバ及びその製造方法、並びにファイバレーザを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0012】

前記目的を達成するために創案された本発明は、希土類元素が添加されたコアと、そのコアの外周に形成されたクラッドとを備えたファイバレーザ用ファイバにおいて、前記コアは、1720℃～2000℃の仮想温度を有するファイバレーザ用ファイバである。

【0013】

前記コアは、前記仮想温度が長手方向で異なるとよい。

【0014】

また本発明は、光ファイバ母材を熔融して希土類元素が添加されたコアと該コアの外周に形成されたクラッドとからなる光ファイバ裸線を作製する光ファイバ裸線作製工程と、前記光ファイバ裸線の周囲に被覆を施す被覆工程とを含むファイバレーザ用ファイバの製造方法において、前記光ファイバ裸線作製工程と前記被覆工程との間、あるいは前記被覆

10

20

30

40

50

工程後に、前記コアの内部に残留応力を付与して前記コアの仮想温度を $1720^{\circ}\text{C}\sim 2000^{\circ}\text{C}$ にする残留応力付与工程を有するファイバレーザ用ファイバの製造方法である。

【0015】

前記残留応力付与工程は、前記光ファイバ裸線作製工程と前記被覆工程との間に、前記光ファイバ裸線にレーザ光を照射して前記コアの内部に前記残留応力を付与するとよい。

【0016】

前記残留応力付与工程は、前記被覆工程後に引張応力を印加して、前記コアの内部に前記残留応力を付与してもよい。

【0017】

前記残留応力付与工程は、前記コアの長手方向の一部、あるいは全体に前記残留応力を付与するとよい。

10

【0018】

さらに本発明は、前記のファイバレーザ用ファイバと、前記ファイバレーザ用ファイバに励起光を入射させる励起用光源とを少なくとも備えるファイバレーザである。

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、希土類元素の添加濃度を増加させずに、高出力のレーザ光が得られるファイバレーザ用ファイバ及びその製造方法、並びにファイバレーザを提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

20

【0020】

以下、本発明の好適な実施形態を添付図面にしたがって説明する。

【0021】

[第1の実施形態]

図1は、本発明の好適な第1の実施形態を示すファイバレーザ用ファイバの概略図である。

【0022】

(ファイバレーザ用ファイバ)

図1に示すように、第1の実施形態に係るファイバレーザ用ファイバ1は、励起光 $L_e$ を入射して所定の励起を行うことで発光する発光機能(蛍光機能)を有し、その発光した光を反射励振させることでレーザ発振光 $L$ を出射するレーザ発振媒体となるものである。

30

【0023】

このファイバレーザ用ファイバ1は、希土類元素が添加されたコア2と、そのコア2の周囲に形成されたクラッド3とからなる。

【0024】

コア2は、石英材料(例えば、純粋石英、あるいは純粋石英に少量のGeを添加したもの)に、Yb、Er、Er/Yb、Tm、Ndなどの希土類元素と、希土類元素の分散剤(あるいは濃度消光剤)としてのAlとを微量添加(ドープ)したものである。Alを添加するのは、Si中の希土類元素イオン(特に、 $\text{Yb}^{3+}$ )が凝集しやすく、希土類元素が添加されたコアの蛍光強度が低下しやすいので、これを防止するためである。

40

【0025】

ファイバレーザ用ファイバ1では、希土類元素を添加する前のコアとクラッド3(例えば、純粋石英からなる)の組成は従来と同じであり、コアに添加する希土類元素の添加量は従来と同じか、あるいは少ない。

【0026】

本実施形態では、励起光 $L_e$ が波長 $\lambda_e$ ( $915\text{nm}$ あるいは $970\sim 980\text{nm}$ )であり、波長 $\lambda$ ( $1030\sim 1100\text{nm}$ )のレーザ発振光 $L$ を出射させるために、希土類元素としてYbを用いた。Ybは、波長 $\lambda_e$ の励起光 $L$ の吸収と、波長 $\lambda$ の光の増幅(誘導放出)とに適した希土類元素である。

【0027】

50

さて、ファイバレーザ用ファイバ1は、コア2の蛍光強度を増加させるべく、コア2の仮想温度が1720℃～2000℃となるようにコア2の内部に残留応力を付与したものである。

#### 【0028】

ここで蛍光強度とは、コア中の希土類元素に励起光を照射し、そのエネルギーを希土類元素が吸収することで電子が励起し、これが基底状態に戻るときに放出する電磁波の強度のことをいう。

#### 【0029】

また仮想温度とは、ガラスが液体から固化する温度、あるいは液相からガラス状態への凍結温度のことをいう。過冷却液体がガラス状態に変わる温度をガラス転移点といい、これは一般的に熱膨張曲線の解析から求められる。熱膨張曲線において、ガラス転移点の位置は冷却速度に依存し、急冷条件では高温側に移動するのに対し、徐冷すると低温側に移動する。ガラスはこのような熱履歴を反映した構造を有するため、ガラスが液体から固化する温度を仮想温度と呼び、所望の特性のガラスを得る際に、ガラスの構造決定温度の指標として用いられる。

10

#### 【0030】

仮想温度が1720℃未満では、コア2の蛍光強度が従来と同程度になってしまう。なお、仮想温度の上限を2000℃とする理由としては、現時点においてガラス構造が実現可能である仮想温度が2000℃であるため、仮想温度が2000℃を超える場合には、線引き中の光ファイバ裸線、又は光ファイバ素線が軟らかくなりすぎて製造が困難になったり、線引き中の光ファイバ裸線、又は光ファイバ素線が断線したりするなどの問題が発生してしまうおそれがあると推定される。

20

#### 【0031】

ファイバレーザ用ファイバ1は、長さ約5m以上であるとよく、出力が5kW以上、好ましくは10kW以上であるとよい。

#### 【0032】

(ファイバレーザ)

ここで、ファイバレーザ用ファイバ1を用いたファイバレーザの一例を、図6を用いて説明する。

#### 【0033】

図6に示すように、ファイバレーザ61は、光源を備えてレーザ発振光Lを出力するための光学部62と、その光学部62に接続されて光源を駆動する図示しないLDドライバなどの駆動装置とで主に構成される。

30

#### 【0034】

光学部62は、ファイバレーザ用ファイバ1と、そのファイバレーザ用ファイバ1の両端部近傍（後述する両光結合部66A、66Bよりも外側）にそれぞれ設けられる光源部63A、63Bとからなる。

#### 【0035】

光源部63Aは、高出力の励起光を出射するための複数個の励起用光源64と、これら励起用光源64にそれぞれ接続された複数本の励起用光路65と、これら励起用光路65にそれぞれ光学的に接続され、各励起用光源64からの出射光をファイバレーザ用ファイバ1に光結合する光結合部66Aとからなる。光源部63Bの構成も光源部63Aと同じである。光結合部は、ファイバレーザ用ファイバ1の一端部側を光結合部66A、他端部側を光結合部66Bとした。

40

#### 【0036】

各励起用光源64としては、安価な光伝送に適したマルチモードLDを用いる。本実施形態では、一例として、波長 $\lambda_e$ （915nmあるいは970～980nm）の励起光 $L_e$ を出射するマルチモードLDを用いた。

#### 【0037】

各励起用光源64は、光源部63A、63Bごとに直列接続され、これらが上述した駆

50

動装置に接続される。各励起用光路65としては、マルチモード光ファイバや光導波路を用いる。光結合部66A、66Bとしては、マルチコアや励起コンバイナを用いる。

【0038】

ファイバレーザ用ファイバ1の両端部で、両光結合部66A、66Bよりも内側には、ファイバレーザ用ファイバ1へ入射した励起光Leを反射励振するための光反射部67A、67Bが設けられる。本実施形態では、ファイバレーザ用ファイバ1に、励起光波長に対しては透過し、発振光波長に対しては高い反射率を有するFBG（ファイバブラッググレーティング）を2つ形成して、光反射部67A、67Bとした。

【0039】

光反射部67B（図6では、ファイバレーザ用ファイバ1のレーザ発振光Lの出射側）となるFBGは、部分的にレーザ発振光を反射するように、光反射部67AとなるFBGとは格子間隔を異ならせて形成される。

10

【0040】

励起方式については、特に限定されるものではないが、光ファイバレーザ61では側面励起、端面励起のどちらでも採用することができる。

【0041】

（ファイバレーザ用ファイバの製造装置）

次に、ファイバレーザ用ファイバ1の製造に適した光ファイバ製造装置を、図7を用いて説明する。

【0042】

図7に示すように、光ファイバ製造装置71は、後述する仮想温度調整部81を除き、慣用の光ファイバ製造装置とほぼ同じ構成である。

20

【0043】

この光ファイバ製造装置71は、光ファイバ母材72を下方に線引きし、仮想温度調整部81を通過させ光ファイバ裸線10とし、その光ファイバ裸線10に被覆材料を被覆し、ファイバレーザ用ファイバ1を巻取るものである。

【0044】

光ファイバ製造装置71は、光ファイバ母材72を加熱する線引炉73と、線引炉73で溶融して線引きが開始された光ファイバ裸線10pの外径を測定する第1外径測定器74aと、第1外径測定器74aを経た光ファイバ裸線10pの仮想温度を調整する仮想温度調整部81と、光ファイバ裸線10に被覆材料を被覆するためのダイス（ファイバ被覆樹脂用ダイス）75と、被覆材料を硬化させ、ファイバレーザ用ファイバ1とする硬化部（被覆樹脂硬化装置）76と、硬化部76を経たファイバレーザ用ファイバ1の外径を測定する第2外径測定器74bと、ファイバレーザ用ファイバ1を方向転換して下流側に送るターンプリー77と、ターンプリー77からのファイバレーザ用ファイバ1を巻き取る巻き取り装置78とを備える。

30

【0045】

硬化部76は、被覆材料の種類に応じて適宜変更でき、ポリイミド樹脂のような熱硬化性樹脂の場合はヒーター、UV（紫外線）硬化樹脂の場合はUVランプなどが用いられる。巻き取り装置78は、線引き中の光ファイバ裸線10やファイバレーザ用ファイバ1に張力を付与するための張力付与手段も兼ねる。

40

【0046】

仮想温度調整部81は、線引き中の光ファイバ裸線10に高出力熱エネルギーを周期的（間欠的）に与えるものである。この仮想温度調整部81は、線引き中の光ファイバ裸線10の周囲に複数個設けられる熱エネルギー源として、パルスレーザ光CLを照射するためのパルスレーザ装置82と、各パルスレーザ装置82と線引き中の光ファイバ裸線10間に進退自在に設けられ、パルスレーザ光CLを集光する集光レンズ83とを備える。

【0047】

パルスレーザ装置82に内蔵されるレーザとしては、CO<sub>2</sub>レーザ、YAGレーザ、半導体レーザなどの高出力熱エネルギーを線引き中の光ファイバ裸線10に局所的に供給（

50

与えることが)でき、かつ集光性を有するものであればよい。本実施形態では、パルスレーザ装置82に内蔵されるレーザとしてCO<sub>2</sub>レーザを用いた。

【0048】

パルスレーザ装置82は、線引き速度を考慮し、所定のパルス幅を有し、かつ仮想温度調整量に対応するパルス高さを有するパルス信号pが入力されることで、線引き中の光ファイバ裸線10に高出力熱エネルギーを周期的に与える。

【0049】

本実施形態では、パルスレーザ装置82を備える仮想温度調整部81を説明したが、仮想温度調整部としては、パルスレーザ光に代えて、CW (Continuous Wave) レーザ光を照射するための装置を備えるものを使用してもよい。

10

【0050】

また、仮想温度調整部81として、パルスレーザ光CLを照射した後に、光ファイバ裸線10をHeガス、Arガスなどで急冷する急冷装置を、パルスレーザ光CLの照射部と硬化部76との間に設けてもよい。この急冷装置により、急加熱された光ファイバ裸線10が急冷されるため、1720℃~2000℃の仮想温度が得られ易い。

【0051】

(ファイバレーザ用ファイバの製造方法)

ファイバレーザ用ファイバ1の製造方法を光ファイバ製造装置71の動作と共に説明する。

【0052】

まず、線引炉73で光ファイバ母材72を加熱溶融しながら垂直下方に線引きする。線引きは、第1外径測定器74aで光ファイバ裸線10pの外径を測定し、かつ線引炉73内温度、巻き取り装置78において張力、線引き速度(巻き取り速度)を制御しながら行う(光ファイバ裸線作製工程)。

20

【0053】

そして、光ファイバ裸線10pが仮想温度調整部81を通過するとき、光ファイバ裸線10pに、パルスレーザ装置82からパルス信号pに応じたパルスレーザ光CLを照射し、局所的に高出力熱エネルギーを周期的に与えることで、コアの仮想温度が1720℃~2000℃となるよう前記コアの内部に残留応力を付与する(残留応力付与工程)。

【0054】

本実施形態では、光ファイバ裸線10pに照射するパルスレーザ光CLの焦点を、集光レンズ72を進出あるいは後退させることで、コア2の軸近傍(コア2を含む)にした。

30

【0055】

線引き中の光ファイバ裸線10pへ局所的に高出力熱エネルギーを与えると、光ファイバ裸線10pはその部分にて急激に加熱されて溶融し、軟らかくなる(軟化する)。これに加え光ファイバ裸線10pには、張力が巻き取り装置78で印加されていることもあり、その溶融した箇所が、ガラスのネットワーク構造で密な状態からやや粗な状態になり、非常に高い仮想温度に対応した構造になると共に、伸びて細くなり、その後、急激に冷却されてガラス状態で固化する。

【0056】

これにより、コア2の長手方向に沿って、仮想温度増加部U1が周期的に形成された光ファイバ裸線10が得られる。その後、ダイス75、硬化部76を経て光ファイバ裸線10の周囲に被覆材料を被覆して(被覆工程)ファイバレーザ用ファイバ1とし、これを巻き取り装置78で巻き取って製品とする。

40

【0057】

第1の実施形態の作用を、図6の光ファイバレーザ61の動作と共に説明する。

【0058】

駆動装置により各励起用光源64を駆動すると、各励起用光源64から励起光が出射され、光源部63A、63B内の全励起用光源64からの励起光が各光結合部66、66で光結合され、ファイバレーザ用ファイバ1に両側方から励起光Leがそれぞれ入射される

50

。

## 【0059】

入射した励起光  $L_e$  は、ファイバレーザ用ファイバ1の内部で増幅され、さらに光反射部 67A、67Bがレーザ共振器の全反射鏡および出力鏡として働くことで、高出力のレーザ発振光  $L$  が生成され、ファイバレーザ用ファイバ1の出射端から出力される。

## 【0060】

ファイバレーザ用ファイバ1は、コア2の蛍光強度を増加させるべく、コア2の仮想温度が  $1720^{\circ}\text{C} \sim 2000^{\circ}\text{C}$  となるように線引きしている。

## 【0061】

ここで図2は、石英に希土類元素を添加したバルクを用いて、レーザ光を照射したときの仮想温度と蛍光温度との関係を示す図である。

10

## 【0062】

図2に示すように、仮想温度が上昇すると蛍光強度も高くなるのがわかる。これは希土類元素が添加されたバルクの吸収及び蛍光強度が、希土類元素イオンに配位している酸素六面体の非対称性に依存し、この酸素六面体の構造が乱れる（非対称になる）ほど蛍光強度は高くなるためである。

## 【0063】

このことから、ファイバレーザ用ファイバ1は、レーザを照射してコア2の仮想温度を  $1720^{\circ}\text{C} \sim 2000^{\circ}\text{C}$  と高くすることにより、コア2の内部に残留応力が付与され、酸素六面体の非対称性が増加する。その結果、コア2の蛍光強度が高くなると推定される。

20

## 【0064】

したがって、ファイバレーザ用ファイバ1によれば、希土類元素の添加濃度を増加させずに、蛍光強度を増加させる（仮想温度  $100^{\circ}\text{C}$  あたり蛍光強度を  $5 \sim 10\%$  増加させる）ことができる。

## 【0065】

これにより、ファイバレーザ用ファイバ1では、従来、希土類元素の添加濃度を高くすることに起因して発生していた濃度消光を抑制し、レーザ光の高出力化を効果的に行うことができる。

## 【0066】

また、ファイバレーザ用ファイバ1は、希土類元素の添加濃度を高くする必要がないことから、FやBなどの屈折率調整剤を添加して屈折率を制御することが不要、あるいは容易に制御することができる。このため、ファイバレーザ用ファイバ1では、コスト低減や、添加物の減少によってレーザ耐性も向上できる。

30

## 【0067】

第1の実施形態では、仮想温度がコアの長手方向で異なる一例として、コア2の長手方向に沿って、仮想温度増加部  $U_1$  が周期的に形成された例で説明したが、例えば、COレーザを連続照射するなどの方法により、希土類元素が添加されたコアの長手方向に沿って、一定の（コアの長手方向にわたり一様である）仮想温度増加部  $U_2$  が形成されたものでもよい。図1では、仮想温度増加部  $U_1$ 、 $U_2$  をまとめて仮想温度増加部  $U$  として描いた。

2

40

## 【0068】

仮想温度がコアの長手方向で異なる例としては、仮想温度  $1800^{\circ}\text{C}$ 、仮想温度  $1500^{\circ}\text{C}$  未満、仮想温度  $1800^{\circ}\text{C}$ 、仮想温度  $1500^{\circ}\text{C}$  未満、のように  $1720^{\circ}\text{C} \sim 2000^{\circ}\text{C}$  の仮想温度を1つだけ有する場合や、仮想温度  $1800^{\circ}\text{C}$ 、仮想温度  $2000^{\circ}\text{C}$ 、仮想温度  $1800^{\circ}\text{C}$ 、のように  $1720^{\circ}\text{C} \sim 2000^{\circ}\text{C}$  の仮想温度の範囲でファイバレーザ用ファイバの長手方向で異ならせる場合などがある。

## 【0069】

仮想温度を長手方向で異ならせる方法として、仮想温度がステップ状に変化するように異ならせる場合には、例えば、レーザ光の強度が異なる複数のレーザ装置を多段に配置し、自動制御などで各々のレーザ装置から発振されるレーザ光を切り替えることにより、仮

50



想温度が長手方向で異なるファイバレーザ用ファイバが得られる。

【0070】

また、仮想温度が連続して（なだらかに）変化するように異ならせる場合には、単体のレーザ装置のレーザ光の強度を徐々に変化させながらレーザ光を照射することにより、実現できる。

【0071】

コアの仮想温度が長手方向で異なるファイバレーザ用ファイバでは、例えば、光ファイバの先端部分（励起光が入射される部分）の仮想温度を、光ファイバの長手方向の中心部分の仮想温度よりも低くすることで、光ファイバ内で発生する熱を長手方向にわたり均一にすることができる。

10

【0072】

これによって、高出力のレーザ光を得るべく、励起光の入力パワーを増加させても、光ファイバ内の熱による光ファイバの断線など、レーザ光の出力を低下させる要因を低減できるため、高出力のレーザ光を得ることができる。

【0073】

〔第2の実施形態〕

本発明の第2の実施形態に係るファイバレーザ用ファイバ（構成は前述したファイバレーザ用ファイバと同じ）は、被覆工程後の光ファイバ素線の長手方向に引張応力を印加することで、コアの所定位置に残留応力を付与し、希土類元素が添加されたコアの仮想温度を1720℃～2000℃の範囲としたものである。この場合にも、図1のファイバレーザ用ファイバ1と同じ作用、効果が得られる。

20

【0074】

被覆工程後の光ファイバ素線の長手方向に印加する引張応力は、0.5GPa以下にするとよい。0.5GPaよりも大きい引張応力では、光ファイバ素線が断線してしまうおそれがある。

【0075】

また、被覆工程後の光ファイバ素線の長手方向に引張応力を印加する方法としては、巻き取り装置78で巻き取られた光ファイバ素線に引張応力を印加する方法がある。

【0076】

図3に、一般的な方法によって作製した光ファイバ素線の長手方向に、所望の引張応力を印加したときの引張応力と仮想温度との関係を示す。

30

【0077】

図3から、引張応力が増加するに従い、仮想温度も上昇することがわかる。このことから、線引きした後、光ファイバ素線の長手方向に引張応力を印加することによっても、CO<sub>2</sub>レーザ光を照射した場合と同様、図2に示すような仮想温度と蛍光強度との関係が得られ、Yb濃度を高くせずとも蛍光強度を増加させることができると推定される。すなわち、光ファイバ素線に引張応力を印加することで、光ファイバ素線の仮想温度を1720℃～2000℃となる範囲とすることにより、希土類元素の添加濃度を高くすることなく、ファイバレーザ用ファイバの蛍光強度を増加させることができ、実使用上、有効な高出力のレーザ光を得ることができる。

40

【0078】

このように、本発明のファイバ用レーザファイバでは、希土類元素が添加されたコアの仮想温度を、線引き中、あるいは線引き後に1720℃～2000℃とすることにより、希土類元素の添加濃度を増加させずに、高出力のレーザ光が得られる。

【0079】

また、希土類元素が添加されたコアの仮想温度を、反射励振によるファイバレーザ用ファイバの長手方向に沿った温度分布を平坦化すべく、その吸収特性を光ファイバの長手方向において制御して異ならせてもよい。

【0080】

例えば、本実施形態に係るファイバレーザ用ファイバを図6の光ファイバレーザ61に

50

用いる場合には、中央部の仮想温度を高く、両端部の仮想温度を低くすることで、フラットな温度分布を実現できる。

【0081】

希土類元素が添加されたコアの仮想温度を1720℃～2000℃にする、あるいはこれと同等にするために、第1、第2の実施形態の他にも、例えば、紡糸速度（線引き速度）を従来よりも速くして線引きしたり、急冷したりしてもよい。

【0082】

前述した仮想温度は、製品化後のファイバレーザ用ファイバ1から直接測定することはできないが、仮想温度 $T_f$ と、光ファイバの非対称伸縮振動モードにおける赤外反射ピーク $v_p$ とは、下式(1)

$$T_f = 160694 - 142.07 v_p \quad (1)$$

の関係がある。

【0083】

コア2の内部に残留応力を線引き中、あるいは線引き後に所望の手段により付与することで、コア2の内部に存在する希土類元素イオンに配位している酸素六面体の非対称性が変化（増加）するため、コア2の赤外反射ピークも変化する。

【0084】

このため、製造後のファイバレーザ用ファイバ1のコア2の赤外反射ピークを赤外分光法により測定することで、コア2の仮想温度が変化している（仮想温度が1720℃～2000℃である）ことが確認できる。

【0085】

前記の各実施の形態において、希土類元素が添加されたコアとクラッドとでPCFを構成するように、希土類元素が添加されたコアの周囲となる内側クラッドに、ファイバレーザ用ファイバの長手方向に沿って複数の空孔をハニカム状に形成しても、同様の作用、効果が得られる。

【0086】

図6の光ファイバレーザ61では、両側から励起光 $L_e$ を入射させる例で説明したが、ファイバレーザ用ファイバ1は、一般に使用される片側からのみ励起光を入射する光ファイバレーザにも利用できる。

【0087】

また、コアの仮想温度を線引き中、あるいは線引き後のいずれかにおいて1720℃～2000℃としたが、コアの仮想温度を線引き中に変化させた後、線引き後に引張応力をさらに加えることにより1720℃～2000℃としてもよい。

【実施例】

【0088】

希土類元素としてYbが添加された石英材料を用いたコアの周囲に、純粋石英からなるクラッドを有するファイバレーザ用ファイバ（Ybドープ光ファイバ）1について、光ファイバ母材72を一般的な線引き方法によって線引きする際、線引き途中（紫外線硬化樹脂からなる被膜が形成される前）に、表1に示す条件でCO<sub>2</sub>レーザ光を光ファイバ裸線10pに照射して、Ybドープ光ファイバ（試料1～3）を作製した。Ybドープ量は、試料1が500ppm、試料2が400ppm、試料3が300ppmである。線引き速度は100m/minとした。なお、表1における照射間隔とは、CO<sub>2</sub>レーザ光を光ファイバ裸線10pに連続して照射した長さを表したものである。

【0089】

10

20

30

40

【表1】

	CO <sub>2</sub> レーザの周波数 (Repetition) (Hz)	照射間隔 (Period) ( $\mu$ m)	出力 (Power) (mA)
試料 1	500	500	25
試料 2	500	500	25
試料 3	500	500	25

10

## 【0090】

作製した試料1～3のYbドープ光ファイバについて、非対称伸縮振動モードにおける赤外反射ピークを測定した。この測定結果を図4に示す。

## 【0091】

図4に示す通り、CO<sub>2</sub>レーザ光を照射した部分では、CO<sub>2</sub>レーザ光を照射していない部分と比較して赤外反射ピークが減少していることがわかる。ここで、前記の方法で作製した試料1～3のYbドープ光ファイバについて、前述した式(1)に基づき仮想温度との関係を算出した。この算出結果を図5に示す。

## 【0092】

図5に示す通り、CO<sub>2</sub>レーザ光を照射した部分では、CO<sub>2</sub>レーザ光を照射していない部分と比較して仮想温度が上昇していることがわかる。

20

## 【0093】

図2に示す通り、仮想温度が上昇するに伴い、蛍光強度が増加するという関係から、Ybドープ光ファイバの非対称伸縮振動モードにおける赤外反射ピークを減少させることによって、つまり、Ybドープ光ファイバの仮想温度が上昇することによって、Ybドープ光ファイバの蛍光強度を増加させることができる。仮想温度が1720℃～2000℃、つまり非対称伸縮振動モードにおける赤外反射ピークが1720℃～2000℃の仮想温度となる範囲であれば、ファイバレーザ用ファイバとして使用する上で、有効な高出力のレーザ光を得ることができる。

30

## 【図面の簡単な説明】

## 【0094】

【図1】本発明の好適な第1の実施形態を示すファイバレーザ用ファイバの概略図である。

【図2】仮想温度と蛍光強度との関係の一例を示す図である。

【図3】光ファイバ素線に加えた引張応力と仮想温度の関係の一例を示す図である。

【図4】実施例におけるファイバレーザ用ファイバの光ファイバ長手方向と赤外反射ピークの関係を示す図である。

【図5】実施例におけるファイバレーザ用ファイバの光ファイバ長手方向と仮想温度の関係を示す図である。

40

【図6】図1に示したファイバレーザ用ファイバを使用した光ファイバレーザの概略図である。

【図7】図1に示したファイバレーザ用ファイバの製造に用いるファイバレーザ製造装置の概略図である。

【図8】従来のファイバレーザ用ファイバの概略図である。

## 【符号の説明】

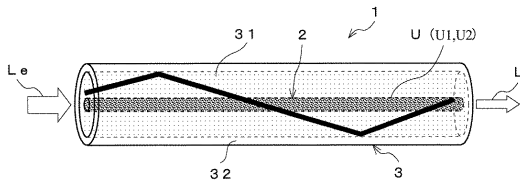
## 【0095】

- 1 ファイバレーザ用ファイバ
- 2 コア
- 3 クラッド

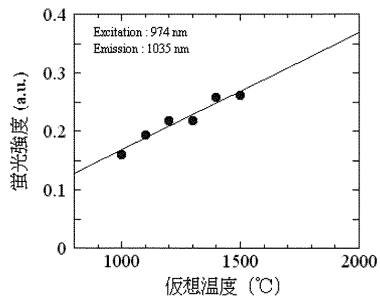
50

L レーザ発振光  
L e 励起光

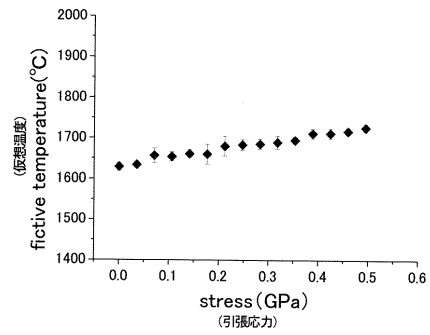
【図 1】



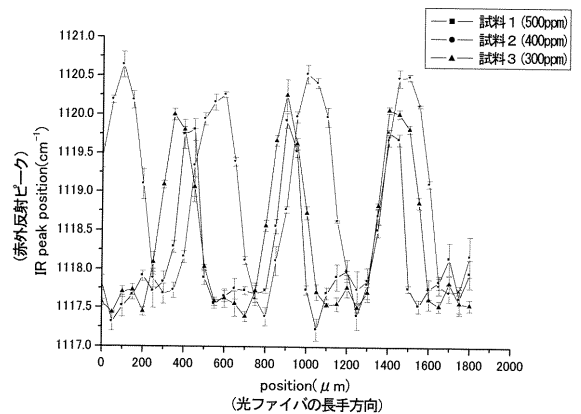
【図 2】



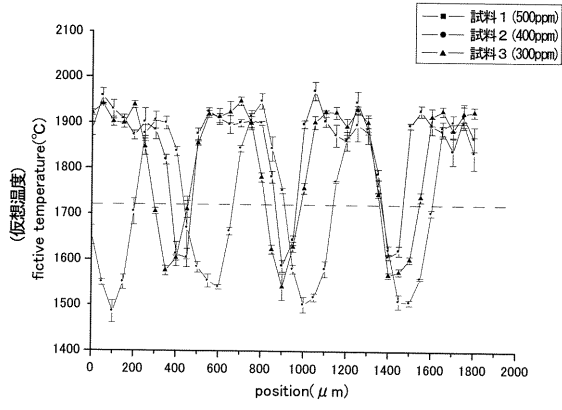
【図 3】



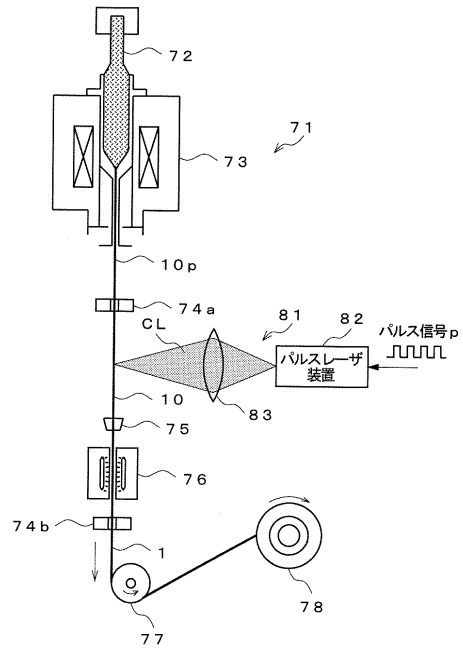
【図 4】



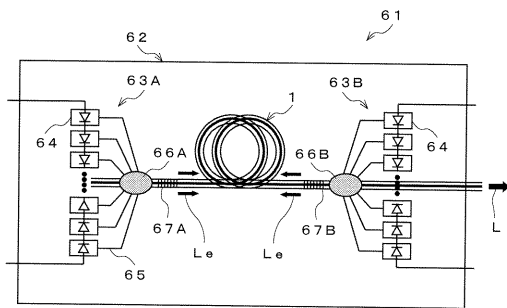
【図5】



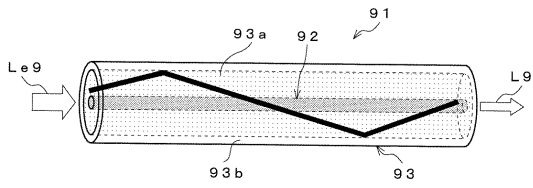
【図7】



【図6】



【図8】



---

フロントページの続き

Fターム(参考) 5F172 AE13 AF02 AF03 AF05 AF06 AF15 AM08