

(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  
2010年9月2日(02.09.2010)

PCT

(10) 国際公開番号  
**WO 2010/097872 A1**

- (51) 国際特許分類:  
H01S 3/06 (2006.01) G02B 6/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/006243
- (22) 国際出願日: 2009年11月19日(19.11.2009)
- (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 2009-043963 2009年2月26日(26.02.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社フジクラ (Fujikura Ltd.) [JP/JP]; 〒1358512 東京都江東区木場1丁目5番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 荒井智史 (ARAI, Tomofumi) [JP/JP]; 〒2858550 千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内 Chiba (JP). 市井健太郎 (ICHII, Ken-

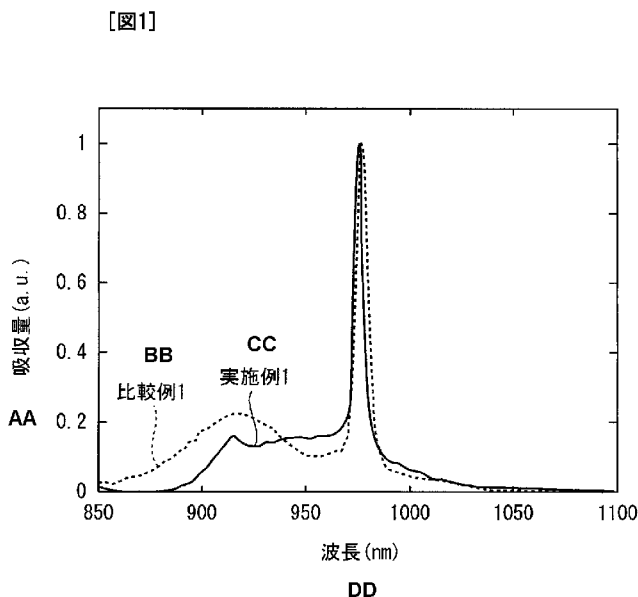
tarō) [JP/JP]; 〒2858550 千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内 Chiba (JP).

- (74) 代理人: 志賀正武, 外 (SHIGA, Masatake et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ,

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL FIBER FOR OPTICAL AMPLIFICATION, AND FIBER LASER

(54) 発明の名称: 光増幅用光ファイバおよびファイバレーザ



(57) Abstract: An optical fiber for optical amplification comprising a silica glass optical fiber constituting a core and cladding covering the outer circumference of the core; wherein the core contains 0.5 to 3 wt% of Yb, 3 to 15 wt% of P, and 0 to 10 wt% of Al; the concentration ratio of P and Yb contained in the core (P concentration (wt%)/Yb concentration (wt%)) is 3 or more; and the concentration ratio of P and Al contained in the core (P concentration (wt%)/Al concentration (wt%)) is 1 or more.

(57) 要約: 本発明の光増幅用光ファイバは、コアおよび前記コアの外周を覆うクラッドから構成される石英ガラス製光ファイバからなる光増幅用光ファイバであって、前記コアに、0.5~3wt%のYbと、3~15wt%のPと、0~10wt%のAlとが含有され、前記コアに含有されるPとYbとの濃度比(P濃度(wt%)/Yb濃度(wt%))が3以上であり、前記コアに含有されるPとAlとの濃度比(P濃度(wt%)/Al濃度(wt%))が1以上である。



NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア  
(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ  
(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, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ,

CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,  
TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

## 明 細 書

**発明の名称：** 光増幅用光ファイバおよびファイバレーザ

### 技術分野

[0001] 本発明は、光増幅用光ファイバおよびこれを用いたファイバレーザに関する。

本願は、２００９年０２月２６日に、日本国に出願された特願２００９－０４３９６３号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

### 背景技術

[0002] ファイバレーザは、従来の固体レーザと比べて、励起光からレーザ光への変換効率（以下、単に「変換効率」という）が高効率であるとともに、そのビーム品質、出力安定性、冷却効率に優れるといった利点を有しており、近年急速に用途が拡大している。特に、コアにイッテルビウム（Ｙｂ）が添加されたＹｂ添加光ファイバを光増幅用光ファイバとして用いたファイバレーザは、その変換効率が高いことや、Ｙｂ励起用の高出力ＬＤ光源が利用可能であることから、産業用光ファイバレーザとして多分野での利用が期待されている。

しかしながら、Ｙｂ添加光ファイバでは、この光ファイバへの励起光の入射・伝送とともにコア部分の透過損失が次第に増加する。その結果、レーザ出力が低下することがある。

この励起光の入射・伝送に伴うコアの透過損失の増加は、一般にフォトダークニングと呼ばれているが、その発現機構に関しては完全には明らかになっていない。

[0003] フォトダークニングを抑制する手段としては、光ファイバのコアに希土類元素以外の元素を、希土類元素と共に添加する手法が知られている。

例えば、非特許文献１には、Ｙｂとアルミニウム（Ａｌ）とをコアに共添加することにより、フォトダークニングが抑制されることが報告されている。また、特許文献１および非特許文献２には、Ｙｂとリン（Ｐ）とをコアに

共添加することにより、フォトダークニングが抑制されることが報告されている。

- [0004] 一方、ファイバレーザにおける実用上の観点からは、励起光の波長変動に対する光増幅の利得変動が小さいことが望ましい。これは、利得の励起光波長依存性が小さいほど、励起用光源の個体差や、温度による出力波長の変化の影響を受けにくくなり、その結果、ファイバレーザの出力安定性が向上するためである。また、励起用光源の波長の選択幅が広がるため、ファイバレーザの低コスト化にも寄与する。

利得の励起光波長依存性を低減させるためのひとつの方法としては、光増幅用光ファイバの吸収スペクトルを平坦化させることが知られている。

コアにYbが添加された光増幅用光ファイバにおいては、Ybの吸収ピークのある波長915nm、976nm、およびこれらの中間に位置する940nmのLDが主な励起光源として用いられている。しかしながら、この光増幅用光ファイバにおいては、これらの波長付近の吸収スペクトルは平坦ではない。

## 先行技術文献

## 特許文献

- [0005] 特許文献1：国際公開第2008/061530号パンフレット

## 非特許文献

- [0006] 非特許文献1：T. Kitabayashi et. al, “Population Inversion Factor Dependence of Photodarkening of Yb-doped Fibers and its Suppression by Highly Aluminum Doping”, the proceedings of OFC 2006, OThC5 (2006).  
非特許文献2：M. Engholm et. al, “Preventing photodarkening in ytterbium-doped high power fiber laser; correlation to the UV-transparency of the core glass” the proceeding of Optics Express Vol. 16, 1260-1268 (2008).

## 発明の概要

## 発明が解決しようとする課題

[0007] しかしながら、上記先行技術文献では、波長 940 nm 付近におけるコアの光の吸収量（以下、単に「吸収量」という）の変動という問題について触れられていない。また、上記先行技術文献に記載の技術では、フォトダークニングの抑制効果は決して十分とはいえない。

本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであって、波長 940 nm 付近における吸収量の変動を小さくでき、かつフォトダークニングによる透過損失の増加を抑制できる光増幅用光ファイバおよびこれを用いたファイバレーザ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] 本発明は上記課題を解決して係る目的を達成するために、以下の手段を採用した。

（１）本発明の光増幅用光ファイバは、コアおよび前記コアの外周を覆うクラッドから構成される石英ガラス製光ファイバからなる光増幅用光ファイバであって、前記コアに、0.5～3 wt %の Yb と、3～15 wt %の P と、0～10 wt %の Al とが含有され；前記コアに含有される P と Yb との濃度比（P 濃度（wt %）／Yb 濃度（wt %））が 3 以上であり；前記コアに含有される P と Al との濃度比（P 濃度（wt %）／Al 濃度（wt %））が 1 以上である。

（２）上記（１）に記載の光増幅用光ファイバは、波長域 930～950 nm における吸収量の変動率が 20 % 以下であってもよい。

（３）本発明のファイバレーザは、コアおよび前記コアの外周を覆うクラッドから構成される石英ガラス製光ファイバからなる光増幅用光ファイバと、励起光を出射する励起用光源と、を有するファイバレーザであって、前記光増幅用光ファイバは、前記コアに、0.5～3 wt %の Yb と、3～15 wt %の P と、0～10 wt %の Al とが含有され；前記コアに含有される P と Yb との濃度比（P 濃度（wt %）／Yb 濃度（wt %））が 3 以上であり；前記コアに含有される P と Al との濃度比（P 濃度（wt %）／Al

濃度（w t %））が1以上である。

### 発明の効果

[0009] 上記（1）に記載の光増幅用光ファイバでは、コアに0.5～3 w t %のY bと、3～15 w t %のPと、0～10 w t %のA lとを含有させ、PとY bの濃度比を3以上とし、PとA lの濃度比を1以上とすることによって、波長940 nm付近の領域（例えば930～950 nm）における吸収量の変動を小さくできる。

コアにPを添加し、その濃度を上記範囲に設定することにより、波長940 nm付近の領域における吸収量の変動を小さくできることは、本発明者により初めて見出された知見である。

このように吸収量の変動を小さくできるため、励起光の波長変動に対する光増幅の利得変動を小さくできる。また、Pの添加により、フォトダークニングによる透過損失の増加を抑制できる。

従って、ファイバレーザの出力安定性が向上する。また、励起用光源の波長の選択幅が広がるため、ファイバレーザの低コスト化が図れる。

### 図面の簡単な説明

[0010] [図1]本発明の光増幅用光ファイバの実施例および比較例における吸収スペクトルを示すものである。

[図2]本発明の光増幅用光ファイバの実施例および比較例におけるP／Y b濃度比と波長域930～950 nmにおける吸収量の変動率との関係を示すグラフである。

[図3]本発明の光増幅用光ファイバの実施例および比較例におけるP／A l濃度比と波長域930～950 nmにおける吸収量の変動率との関係を示すグラフである。

### 発明を実施するための形態

[0011] 本発明の光増幅用光ファイバは、少なくともコアおよび前記コアの外周を覆うクラッドから構成される石英ガラス製光ファイバからなる。

この光増幅用光ファイバのコアには、少なくとも0.5～3 w t %のY bと

、3～15 wt %のPと、0～10 wt %のA Iとが含有されている。コアに含有されるPとY bの濃度比（P濃度（wt %）／Y b濃度（wt %））が3以上である。コアに含有されるPとA Iの濃度比（P濃度（wt %）／A I濃度（wt %））が1以上である。

以下、詳しく説明する。

[0012] Y bは、光増幅作用を有するドーパントである。コアのY b濃度は0.5～3 wt %、好ましくは1～2.5 wt %とされる。Y b濃度が0.5 wt %未満となると、光の吸収量が小さくなり光増幅作用が低下する。Y b濃度を3 wt %より高くするのは製法上難しい。

このため、上記濃度範囲のY bをコアに添加することによって、優れた光増幅作用を有した光ファイバが得られる。

[0013] 本発明では、Pを所定の濃度でコアに含有させることによって、波長940 nm付近の領域（例えば930～950 nm）における吸収量の変動を抑えることができる。

コアのP濃度は3～15 wt %とされる。P濃度が3 wt %未満となると、波長940 nm付近の領域における吸収量の変動を抑える効果が小さくなる。また、フォトダークニング抑制作用も小さくなる。P濃度が15 wt %を越える範囲では、波長940 nm付近の領域における吸収量に大きな変化はない。

このように、上記濃度範囲のPをコアに添加することによって、波長940 nm付近の領域における吸収量の変動を小さくでき、しかもフォトダークニングの抑制も可能となる。

[0014] コアのA I濃度は0～10 wt %、好ましくは0.1～10 wt %とされる。

A Iの添加によって、母材製造時にY bの結晶化が抑制され、このY bが母材中に拡散する。このため、上記濃度範囲のA Iをコアに添加することによって、フォトダークニングが抑制される。また、母材製造時のY bの結晶化が抑制されるため、この母材が失透するのを抑制できる。このため、母材

製造時の歩留まりが向上する。一方、コアの A I 濃度が上記範囲より高くなると、A I の結晶化が生じるおそれがある。

[0015] Y b が添加された光増幅用光ファイバでは、波長 9 4 0 n m 付近の領域における吸収量の変動が大きく、その波長付近の領域の吸収スペクトルが平坦になりにくい。本発明者は、コアに P を添加し、その濃度を Y b および A I の濃度に対して所定の範囲に設定することにより、波長 9 4 0 n m 付近の領域における吸収量の変動を小さくできることを初めて見出し、本発明を完成させた。

すなわち、P と Y b との濃度比（P 濃度（w t %）／Y b 濃度（w t %））（以下、P／Y b 濃度比という）が 3 以上であり、かつ、P と A I との濃度比（P 濃度（w t %）／A I 濃度（w t %））（以下、P／A I 濃度比という）が 1 以上であれば、波長 9 4 0 n m 付近の領域における吸収量の変動を抑えられるとともに、フォトダークニングの抑制が可能となる。

[0016] 波長 9 4 0 n m 付近の領域における吸収量の変動は、この吸収量の変動率によって評価できる。吸収量の変動率は次の式で示され、吸収スペクトルの平坦性を表す指標となる。

吸収量の変動率＝（吸収量の最大値－吸収量の最小値）／（吸収量の最大値＋吸収量の最小値）／2 × 1 0 0（％）

この式において、吸収量の最大値および最小値とは、波長 9 3 0 ～ 9 5 0 n m における吸収量の最大値および最小値である。

吸収量の変動率は、ゼロであることが理想であるが、2 0 % 以下であれば実用レベルであると考えられる。

[0017] 本発明の光増幅用光ファイバは、コアに Y b、P、および A I を所定量添加すること以外は、公知の手法で製造できる。

この製造方法としては、M C V D 法（M C V D : Modified Chemical Vapor Deposition）、V A D 法（V A D : Vapor phase Axial Deposition）などで光ファイバ母材を作製し、これを紡糸し、その外周上に保護被覆層を形成する方法が挙げられる。以下に詳しく説明する。

[0018] 例えば、MCVD法により製造する場合、石英ガラス微粒子（スート）の堆積工程、液浸工程、焼結工程、および中実化工程を経て母材を製造する。

スートの堆積工程では、四塩化ケイ素（ $\text{SiCl}_4$ ）、酸素（ $\text{O}_2$ ）等を含む混合ガスを原料ガスとして石英管内に供給しながら、酸水素バーナによりこの石英管を加熱する。これにより、石英管の内壁面にスートが堆積される。

スートの堆積工程において、塩化ホスホリル（ $\text{POCl}_3$ ）を原料ガスと混合して石英管内に供給することにより、スートの堆積と同時に、この堆積物中にPを添加することができる。 $\text{POCl}_3$ の供給量は、コアのP濃度が上記範囲となるように調整される。

[0019] 液浸工程では、スートを堆積させた石英管内に、塩化イッテルビウム（ $\text{YbCl}_3$ ）および塩化アルミニウム（ $\text{AlCl}_3$ ）の水溶液を充填する。これにより、スート中にYbおよびAlが分散して供給される。

この際、水溶液の $\text{YbCl}_3$ および $\text{AlCl}_3$ の濃度を調節することによって、YbおよびAlの供給量を調整し、コアのYbおよびAlの濃度が上記範囲となるようにする。

この液浸工程は、DND（Direct Nanoparticle Deposition）法やエアロゾル法を用いて、スートの堆積工程と同時にYbおよびAlを供給する場合には省略できる。

[0020] 焼結工程では、 $\text{O}_2$ 、He等が含まれる混合ガスを石英管内に供給しながら、酸水素バーナにより石英管を加熱する。これにより、スートが焼結されガラス化される。

中実化工程では、石英管内に $\text{O}_2$ を供給しながら酸水素バーナにより石英管を例えば約2000℃に加熱する。これにより、石英管が中実化されて光ファイバ母材が得られる。

この光ファイバ母材を紡糸して、その外周上にUV硬化樹脂などで保護被覆層を形成することによって、光増幅用光ファイバが得られる。

[0021] 本発明によれば、上記光増幅用光ファイバと、励起光を出射する励起用光

源とを少なくとも有するファイバレーザが得られる。励起用光源としてはLD（レーザダイオード）が好適である。

[0022] 本発明の光増幅用光ファイバによれば、波長940nm付近の領域における吸収量の変動を小さくできる。

コアにPを添加し、その濃度を所定の範囲に設定することにより、波長940nm付近の領域における吸収量の変動を小さくできる。このことは、本発明者により初めて見出された知見である。

吸収量の変動を小さくできるため、励起光の波長変動に対する光増幅の利得変動を小さくできる。また、Pの添加により、フォトダークニングによる透過損失の増加を抑制できる。

従って、ファイバレーザの出力安定性が向上する。また、励起用光源の波長の選択幅が広がるため、ファイバレーザの低コスト化を図ることができる。

## 実施例

[0023] 以下、具体例により本発明をさらに詳細に説明する。なお、本発明は以下の実施例に限定されるものではない。

### 「実施例1」

MCVD法により、 $\text{SiCl}_4$ および $\text{POCl}_3$ を含む混合ガスを石英管内に供給しながら、酸水素バーナによりこの石英管を加熱し、石英管の内壁面にスートを堆積させた（スートの堆積工程）。

スートを堆積させた石英管を、 $\text{YbCl}_3$ および $\text{AlCl}_3$ の水溶液に浸漬したのち乾燥させた（液浸工程）。

次いで、 $\text{O}_2$ および $\text{He}$ の混合ガスを石英管内に供給しながら、酸水素バーナにより石英管を加熱し、スートを焼結させた（焼結工程）。

次いで、酸水素バーナにより石英管を約2000℃に加熱することによって、石英管を中実化して光ファイバ母材を得た（中実化工程）。

光ファイバ母材を溶融し紡糸して、その外周上にUV硬化樹脂などで保護被覆層を形成することによって、光増幅用光ファイバを得た。

[0024] この光増幅用光ファイバのコアのYb、PおよびAlの濃度をEPMA (Electron Probe Micro Analyzer) により測定した。この結果を表1に示す。表1に示すように、Yb、PおよびAlの濃度はそれぞれ0.5wt%、8.8wt%、および0.1wt%であった。コアのP/Yb濃度比は17.6であり、P/Al濃度比は88.0であった。

図1における実線は、この光増幅用光ファイバの吸収スペクトルを示すものである。この図より、実施例1の光増幅用光ファイバでは、波長域930～950nmにおける吸収量の変動が比較的小さいことがわかる。表1に示すように、実施例1の光増幅用光ファイバの吸収量の変動率は8.7%であった。

[0025] 「実施例2」

スートの堆積工程におけるPOCl<sub>3</sub>の流量、および液浸工程で用いる水溶液のYbCl<sub>3</sub>とAlCl<sub>3</sub>との濃度が異なること以外は実施例1と同様の方法で光増幅用光ファイバを作製した。

表1に示すように、コアのYb、PおよびAlの濃度はそれぞれ3.0wt%、16.5wt%、および5.2wt%であった。

コアのP/Yb濃度比は6.1であり、P/Al濃度比は3.2であった。波長域930～950nmにおける吸収量の変動率は8.3%であった。

[0026] 「実施例3」

スートの堆積工程におけるPOCl<sub>3</sub>の流量、および液浸工程で用いる水溶液のYbCl<sub>3</sub>とAlCl<sub>3</sub>との濃度が異なること以外は実施例1と同様の方法で光増幅用光ファイバを作製した。

表1に示すように、コアのYb、PおよびAlの濃度はそれぞれ0.9wt%、3.0wt%、および0.8wt%であった。

コアのP/Yb濃度比は3.3であり、P/Al濃度比は3.8であった。波長域930～950nmにおける吸収量の変動率は13.1%であった。

[0027] 「実施例4」

スートの堆積工程における $\text{POCl}_3$ の流量、および液浸工程で用いる水溶液の $\text{YbCl}_3$ と $\text{AlCl}_3$ との濃度が異なること以外は実施例1と同様の方法で光増幅用光ファイバを作製した。

表1に示すように、コアの $\text{Yb}$ 、 $\text{P}$ および $\text{Al}$ の濃度はそれぞれ2.7 wt %、15.0 wt %、および5.2 wt %であった。

コアの $\text{P}/\text{Yb}$ 濃度比は5.6であり、 $\text{P}/\text{Al}$ 濃度比は2.9であった。波長域930～950 nmにおける吸収量の変動率は8.3%であった。

[0028] 「実施例5」

石英管の内壁面にスートを堆積させた後、スートを $\text{YbCl}_3$ の水溶液に浸漬した。乾燥後、 $\text{O}_2$ および $\text{He}$ の混合ガスを石英管内に供給しながら、酸水素バーナによりこの石英管を加熱し、スートを焼結させた。次いで、同バーナにより実施例1と同様に石英管を中実化して光ファイバ母材を得た。この光ファイバ母材を紡糸し、保護被覆層を形成することによって、光増幅用光ファイバを得た。その他の条件は実施例1と同様とした。

表1に示すように、コアの $\text{Yb}$ 、および $\text{P}$ の濃度はそれぞれ0.6 wt %、および8.8 wt %であった。

コアの $\text{P}/\text{Yb}$ 濃度比は14.7であった。波長域930～950 nmにおける吸収量の変動率は10.4%であった。

[0029] 「実施例6」

スートの堆積工程における $\text{POCl}_3$ の流量、および液浸工程で用いる水溶液の $\text{YbCl}_3$ と $\text{AlCl}_3$ との濃度が異なること以外は実施例1と同様の方法で光増幅用光ファイバを作製した。

表1に示すように、コアの $\text{Yb}$ 、 $\text{P}$ および $\text{Al}$ の濃度はそれぞれ1.0 wt %、10.9 wt %、および10.0 wt %であった。

コアの $\text{P}/\text{Yb}$ 濃度比は10.9であり、 $\text{P}/\text{Al}$ 濃度比は1.1であった。波長域930～950 nmにおける吸収量の変動率は2.3%であった。

[0030] 「実施例7」

スートの堆積工程における $\text{POCl}_3$ の流量、および液浸工程で用いる水溶液の $\text{YbCl}_3$ と $\text{AlCl}_3$ との濃度が異なること以外は実施例 1 と同様の方法で光増幅用光ファイバを作製した。

表 1 に示すように、コアの $\text{Yb}$ 、 $\text{P}$ および $\text{Al}$ の濃度はそれぞれ 2.2 wt %、6.6 wt %、および 0.2 wt %であった。

コアの $\text{P}/\text{Yb}$ 濃度比は 3.0 であり、 $\text{P}/\text{Al}$ 濃度比は 33.0 であった。波長域 930 ~ 950 nm における吸収量の変動率は 12.5 %であった。

[0031] 「実施例 8」

スートの堆積工程における $\text{POCl}_3$ の流量、および液浸工程で用いる水溶液の $\text{YbCl}_3$ と $\text{AlCl}_3$ との濃度が異なること以外は実施例 1 と同様の方法で光増幅用光ファイバを作製した。

表 1 に示すように、コアの $\text{Yb}$ 、 $\text{P}$ および $\text{Al}$ の濃度はそれぞれ 1.5 wt %、8.1 wt %、および 7.9 wt %であった。

コアの $\text{P}/\text{Yb}$ 濃度比は 5.4 であり、 $\text{P}/\text{Al}$ 濃度比は 1.0 であった。波長域 930 ~ 950 nm における吸収量の変動率は 5.4 %であった。

[0032] 「比較例 1」

比較のため、スートの堆積工程における $\text{POCl}_3$ の流量を小さくしたこと、及び液浸工程で用いる水溶液の $\text{YbCl}_3$ と $\text{AlCl}_3$ との濃度が異なること以外は実施例 1 と同様の方法で光増幅用光ファイバを作製した。

表 1 に示すように、コアの $\text{Yb}$ 、 $\text{P}$ および $\text{Al}$ の濃度はそれぞれ 1.2 wt %、3.3 wt %、および 3.1 wt %であった。

コアの $\text{P}/\text{Yb}$ 濃度比は 2.8 であり、 $\text{P}/\text{Al}$ 濃度比は 1.1 であった。

図 1 における破線は、この光増幅用光ファイバの吸収スペクトルを示すものである。この図 1 より、比較例 1 の光増幅用光ファイバでは、波長域 930 ~ 950 nm における吸収量の変動が比較的大きいことがわかる。

表 1 に示すように、吸収量の変動率は 56.0 %であった。

## [0033] 「比較例 2」

スートの堆積工程における  $\text{POCl}_3$  の流量を小さくしたこと、及び液浸工程で用いる水溶液の  $\text{YbCl}_3$  と  $\text{AlCl}_3$  との濃度が異なること以外は実施例 1 と同様の方法で光増幅用光ファイバを作製した。

表 1 に示すように、コアの  $\text{Yb}$ 、 $\text{P}$  および  $\text{Al}$  の濃度はそれぞれ 1.4 wt %、4.2 wt %、および 4.7 wt % であった。

コアの  $\text{P}/\text{Yb}$  濃度比は 3.0 であり、 $\text{P}/\text{Al}$  濃度比は 0.9 であった。波長域 930 ~ 950 nm における吸収量の変動率は 33.4 % であった。

## [0034]

[表1]

|                            | 実施例  |      |      |      |      |      |      |     | 比較例  |      |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|
|                            | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8   | 1    | 2    |
| Yb濃度 (wt%)                 | 0.5  | 3.0  | 0.9  | 2.7  | 0.6  | 1.0  | 2.2  | 1.5 | 1.2  | 1.4  |
| P濃度 (wt%)                  | 8.8  | 16.5 | 3.0  | 15.0 | 8.8  | 10.9 | 6.6  | 8.1 | 3.3  | 4.2  |
| Al濃度 (wt%)                 | 0.1  | 5.2  | 0.8  | 5.2  | 0    | 10.0 | 0.2  | 7.9 | 3.1  | 4.7  |
| P濃度/Yb濃度 (-)               | 17.6 | 6.1  | 3.3  | 5.6  | 14.7 | 10.9 | 3.0  | 5.4 | 2.8  | 3.0  |
| P濃度/Al濃度 (-)               | 88.0 | 3.2  | 3.8  | 2.9  | 無限大  | 1.1  | 33.0 | 1.0 | 1.1  | 0.9  |
| 波長域930～950nmにおける吸収量の変動率(%) | 8.7  | 8.3  | 13.1 | 8.3  | 10.4 | 2.3  | 12.5 | 5.4 | 56.0 | 33.4 |

[0035] 図2は、上記実施例および比較例におけるP/Yb濃度比と波長域930～950nmにおける吸収量の変動率との関係を示すグラフである。

図3は、上記実施例および比較例におけるP/Al濃度比と波長域930～950nmにおける吸収量の変動率との関係を示すグラフである。

これら図3及び図4より、P/Yb濃度比が3以上、かつP/Al濃度比が1以上である場合に、波長域930～950nmにおける吸収量の変動率

が20%以下となることがわかる。

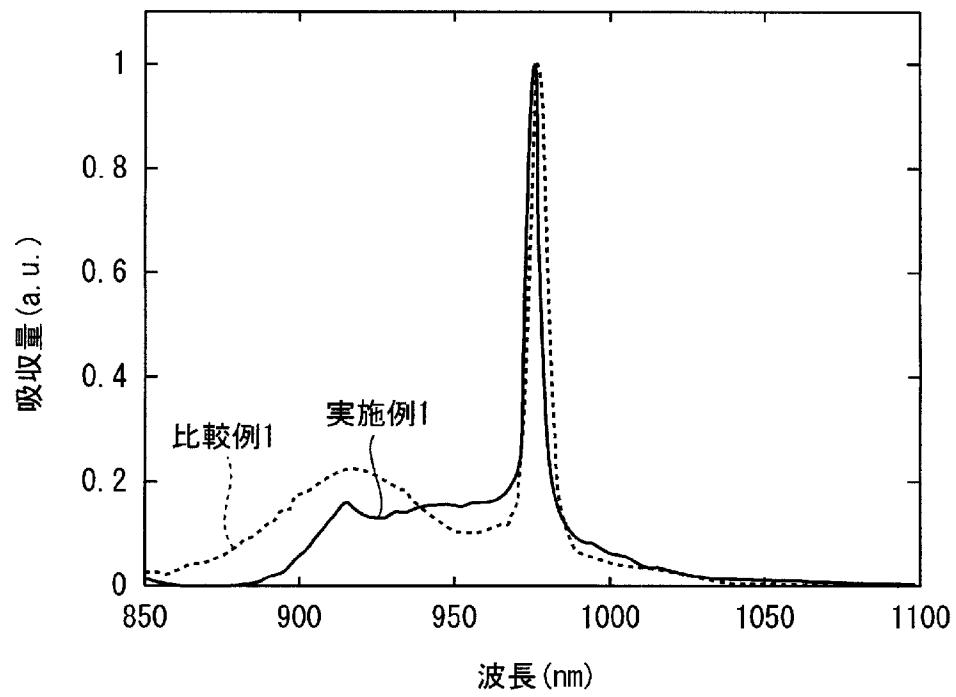
### 産業上の利用可能性

[0036] 本発明の光増幅用光ファイバによれば、波長940nm付近の領域（例えば930～950nm）における吸収量の変動を小さくできる。そのため、励起光の波長変動に対する光増幅の利得変動を小さくできる。また、Pの添加により、フォトダークニングによる透過損失の増加を抑制できる。従って、ファイバレーザの出力安定性が向上する。また、励起用光源の波長の選択幅が広がるため、ファイバレーザの低コスト化が図れる。

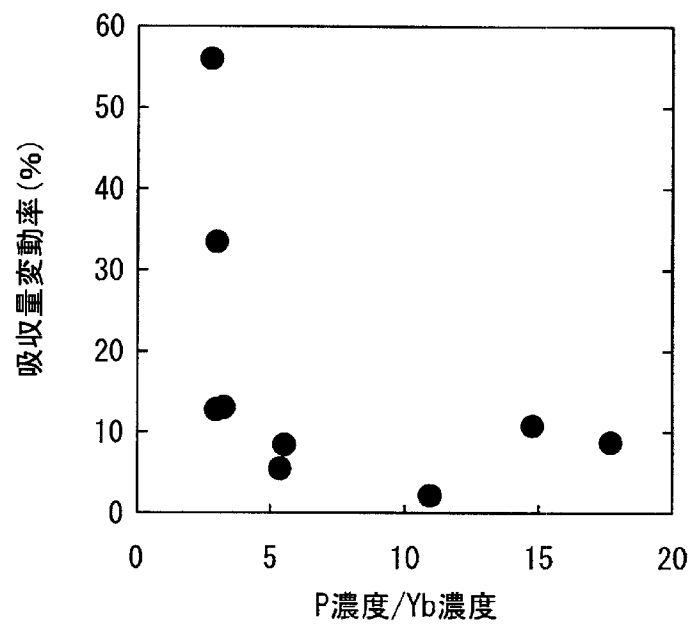
## 請求の範囲

- [請求項1]        コアおよび前記コアの外周を覆うクラッドから構成される石英ガラス製光ファイバからなる光増幅用光ファイバであって、  
前記コアに、0.5～3wt%のYbと、3～15wt%のPと、0～10wt%のAlとが含有され；  
前記コアに含有されるPとYbとの濃度比（P濃度（wt%）／Yb濃度（wt%））が3以上であり；  
前記コアに含有されるPとAlとの濃度比（P濃度（wt%）／Al濃度（wt%））が1以上である；  
ことを特徴とする光増幅用光ファイバ。
- [請求項2]        波長域930～950nmにおける吸収量の変動率が20%以下であることを特徴とする請求項1に記載の光増幅用光ファイバ。
- [請求項3]        コアおよび前記コアの外周を覆うクラッドから構成される石英ガラス製光ファイバからなる光増幅用光ファイバと、励起光を出射する励起用光源と、を有するファイバレーザであって、  
前記光増幅用光ファイバは、  
前記コアに、0.5～3wt%のYbと、3～15wt%のPと、0～10wt%のAlとが含有され；  
前記コアに含有されるPとYbとの濃度比（P濃度（wt%）／Yb濃度（wt%））が3以上であり；  
前記コアに含有されるPとAlとの濃度比（P濃度（wt%）／Al濃度（wt%））が1以上である；  
ことを特徴とするファイバレーザ。

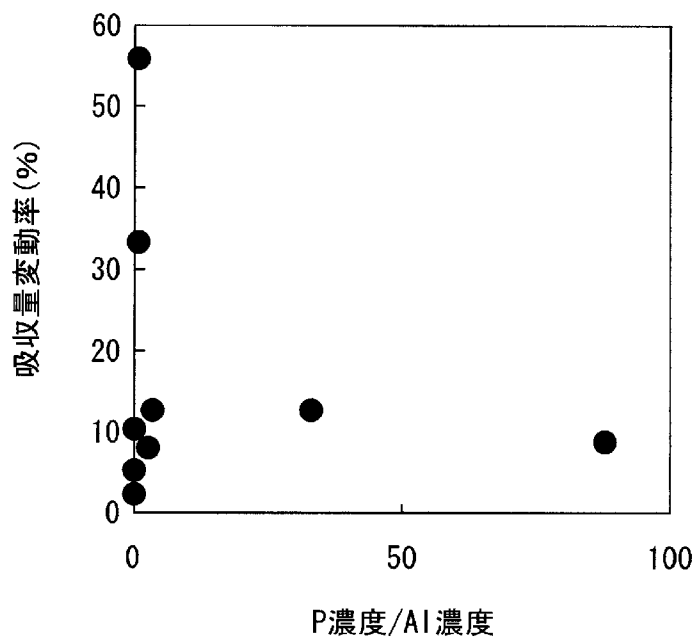
[図1]



[図2]



[図3]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/006243

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S3/06(2006.01) i, G02B6/00(2006.01) 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)

H01S3/00-4/00, G02B6/00-6/036, 6/44

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 | 1996-2009 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2009 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2009 |

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus (JDreamII)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                | Relevant to claim No. |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| X<br>Y    | Sylvia Jetschke et al., Efficient Yb laser fibers with low photodarkening by optimization of the core composition, Optics Express, 2008.09.29, Vol. 16, Issue 20, pp. 15540-15545 | 1, 3<br>2             |
| Y         | JP 8-330651 A (AT & T IPM Corp.),<br>13 December 1996 (13.12.1996),<br>paragraph [0024]<br>& US 5530710 A & US 5530710 A<br>& EP 743722 A2 & DE 69610455 D<br>& DE 69610455 T     | 2                     |

☒ 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 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  
04 December, 2009 (04.12.09)

Date of mailing of the international search report  
15 December, 2009 (15.12.09)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/006243

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                                      | Relevant to claim No. |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Y         | US 2006/0063660 A1 (Schreder Bianca),<br>23 March 2006 (23.03.2006),<br>paragraph [0010]<br>& JP 2006-518325 A & WO 2004/074197 A1<br>& DE 10308476 A & KR 10-2005-0117524 A<br>& CN 1753841 A                                          | 2                     |
| A         | S. Unger et al., Optical properties of Yb-doped<br>laser fibers in dependence on codopants and<br>preparation conditions, Proceedings of SPIE,<br>2008.02.05, Vol. 6890, 689016-1 to 689016-11                                          | 1-3                   |
| A         | J. Kirchhof et al., Yb-doped silica-based laser<br>fibers: correlation of photodarkening kinetics<br>and related optical properties with the glass<br>composition, Proceedings of SPIE, 2009.02.19,<br>Vol. 7195, 71950S-1 to 71950S-15 | 1-3                   |

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H01S3/06(2006.01) i, G02B6/00(2006.01) 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 (I P C))

Int.Cl. H01S3/00-4/00, G02B6/00-6/036, 6/44

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   | 1 9 2 2 - 1 9 9 6 年 |
| 日本国公開実用新案公報 | 1 9 7 1 - 2 0 0 9 年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1 9 9 6 - 2 0 0 9 年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1 9 9 4 - 2 0 0 9 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)

JSTPlus (JDreamII)

## C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の<br>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<br>請求項の番号 |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| X<br>Y          | Sylvia Jetschke et al., Efficient Yb laser fibers with low photodarkening by optimization of the core composition, Optics Express, 2008.09.29, Vol. 16, Issue 20, pp. 15540-15545 | 1, 3<br>2      |
| Y               | JP 8-330651 A (エイ・ティ・アンド・ティ・アイピーエム・コーポレーション) 1996.12.13, 【0024】 & US 5530710 A & US 5530710 A & EP 743722 A2 & DE 69610455 D & DE 69610455 T                                      | 2              |

☒ 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

0 4 . 1 2 . 2 0 0 9

国際調査報告の発送日

1 5 . 1 2 . 2 0 0 9

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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)

瀬川 勝久

2 K

3 8 1 1

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 5

| C (続き) . 関連すると認められる文献 |                                                                                                                                                                                                                          |                |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 引用文献の<br>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<br>請求項の番号 |
| Y                     | US 2006/0063660 A1 (Schreder Bianca) 2006.03.23, [0010] & JP 2006-518325 A & WO 2004/074197 A1 & DE 10308476 A & KR 10-2005-0117524 A & CN 1753841 A                                                                     | 2              |
| A                     | S. Unger et al., Optical properties of Yb-doped laser fibers in dependence on codopants and preparation conditions, Proceedings of SPIE, 2008.02.05, Vol. 6890, 689016-1~689016-11                                       | 1-3            |
| A                     | J. Kirchhof et al., Yb-doped silica-based laser fibers: correlation of photodarkening kinetics and related optical properties with the glass composition, Proceedings of SPIE, 2009.02.19, Vol. 7195, 71950S-1~71950S-15 | 1-3            |