

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2006年4月6日 (06.04.2006)

PCT

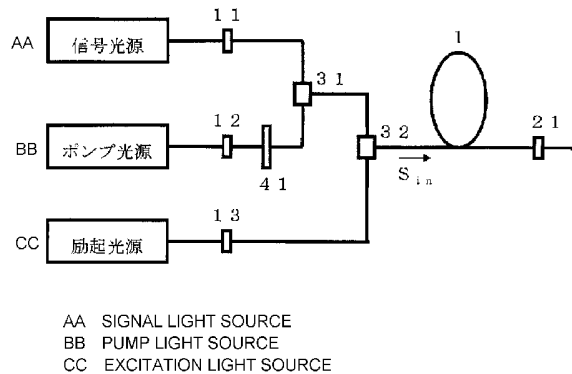
(10) 国際公開番号
WO 2006/035722 A1

- (51) 国際特許分類: *G02F 1/365* (2006.01) *G02B 6/02* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2005/017639
- (22) 国際出願日: 2005年9月26日 (26.09.2005)
- (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2004-284466 2004年9月29日 (29.09.2004) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 旭硝子株式会社 (ASAHI GLASS COMPANY, LIMITED) [JP/JP]; 〒1008405 東京都千代田区有楽町一丁目12番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (73) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 長谷川 智晴 (HASEGAWA, Tomoharu) [JP/JP]; 〒2218755 神奈川県横浜市神奈川区羽沢町1150番地 旭硝子株式会社内 Kanagawa (JP). 杉本 直樹 (SUGIMOTO, Naoki) [JP/JP]; 〒2218755 神奈川県横浜市神奈川区羽沢町1150番地 旭硝子株式会社内 Kanagawa (JP). 長嶋 達雄 (NAGASHIMA, Tatsuo) [JP/JP]; 〒2218755 神奈川県横浜市神奈川区羽沢町1150番地 旭硝子株式会社内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 泉名 謙治, 外 (SENMYO, Kenji et al.); 〒1010042 東京都千代田区神田東松下町38番地 鳥本鋼業ビル 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, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR,

[続葉有]

(54) Title: NON-LINEAR FIBER, WAVELENGTH CONVERSION METHOD, AND WAVELENGTH CONVERTER

(54) 発明の名称: 非線形ファイバ、波長変換方法および波長変換器



(57) Abstract: There is provided a non-linear fiber having a tertiary non-linear coefficient $30W^{-1} km^{-1}$ or above and contains Er or Tm at the portion positioned at $3 \mu m$ or less from the boundary between the clad and the core. There is also provided a wavelength conversion method for introducing a signal light having a wavelength λ_s and intensity I_s and a pump light having a wavelength λ_p smaller than $2\lambda_s$ and an intensity greater than I_s into the non-linear fiber (1) so as to generate a converted light having a wavelength λ_c which is $\lambda_s \lambda_p / (2\lambda_s - \lambda_p)$ and an intensity I_c by four-light wave mixing. Er or Tm exists in the clad portion having a diameter in the non-linear fiber (1) not greater than the mode field diameter and the Er or Tm is excited by the excitation light while generating a converted light by the four-light wave mixing.

(57) 要約: 3次非線形係数が $30W^{-1} km^{-1}$ 以上であり、クラッドのコアとの界面から $3 \mu m$ 以下の部分に Er または Tm を含有する非線形ファイバ。波長が λ_s 、強度が I_s である信号光と、波長 λ_p が $2\lambda_s$ よりも小さく、強度が I_s よりも大きいポンプ光とを非線形ファイバ1に入射して四光波混合により波長 λ_c が $\lambda_s \lambda_p / (2\lambda_s - \lambda_p)$ 、強度が I_c

[続葉有]



WO 2006/035722 A1



BW, 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, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, 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, 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, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, 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。

である変換光を発生させる波長変換方法であって、非線形ファイバ1における直径がモードフィールド径以下のクラッド部分にErまたはTmが存在し、当該ErまたはTmを励起光によって励起しながら四光波混合により変換光を発生させる波長変換方法。

明 細 書

非線形ファイバ、波長変換方法および波長変換器

技術分野

[0001] 本発明は四光波混合による波長変換方法、波長変換器およびそれらに好適な非線形ファイバに関する。

背景技術

[0002] 3次非線形係数(γ)が大きな非線形ファイバを用いた種々の光信号処理技術が開発されているが、そのような技術の一つとして四光波混合による波長変換(以下、FWM波長変換という。)が挙げられる。

[0003] FWM波長変換は、波長が λ_s 、強度が I_s である信号光と、波長が λ_p (ここで $\lambda_p < 2\lambda_s$)、強度が I_p (ここで $I_p > I_s$)であるポンプ光とを長さ L 、吸収係数が α である非線形ファイバに入射し、波長 λ_c が $\lambda_s \lambda_p / (2\lambda_s - \lambda_p)$ 、強度が I_c である変換光を発生させるものであり、その波長変換効率(η)すなわち I_c/I_s は $\langle \gamma \times I_p \times \{1 - \exp(-\alpha \times L)\} \div \alpha \rangle^2$ に比例する。

FWM波長変換には通常、非線形ファイバとしては石英系非線形ファイバが使用され、たとえば $I_p = 5\text{mW}$ 、 $L = 4.43\text{km}$ における η として -28dB が報告されている(Kimiya Kawanami、外3名、Fiber Nonlinear Coefficient Measurement Based on FWM Method with Depolarized Pump Light, 29th European Conference on Optical Communication Proceedings, 2003年9月, 第3巻, p. 552-553、を参照)。

[0004] 石英系非線形ファイバの波長 1550nm の光に対する γ (以下、 γ は波長 1550nm の光に対する3次非線形係数を表すものとする。)は典型的には $10 \sim 25\text{W}^{-1}\text{km}^{-1}$ であるが、 η をより大きくするためには γ がより大きな非線形ファイバを使用すればよいと考えられる。そのような非線形ファイバとして酸化ビスマス系ガラスからなるものが知られている(たとえば特開2001-213640号公報を参照)。

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0005] 前記 η としては通常 -40dB 以上であることが必要とされており、先に述べたように石英系非線形ファイバを使用したFWM波長変換でこの条件を満たすものは知られている。しかしこのFWM波長変換を用いると石英系非線形ファイバのLが大きいために、ファイバ断線箇所の発見が容易でない、波長変換器をコンパクトなものにしにくい等の問題があった。

一方、石英系非線形ファイバの代わりに前記酸化ビスマス系ガラスからなる非線形ファイバを使用してLを小さくしようとする、同非線形ファイバの伝播損失が典型的には 1dB/m 以上という大きなものであるために信号光、ポンプ光または波長変換された光(変換光)、特にポンプ光が非線形ファイバ中を伝播する間に減衰してしまい所望の η が得られない問題があった。

本発明はこのような問題を解決できる非線形ファイバ、波長変換方法および波長変換器の提供を目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明は、コアとクラッドを有し、波長 1550nm の光に対する3次非線形係数が $30\text{W}^{-1}\text{km}^{-1}$ 以上である非線形ファイバであって、クラッドのコアとの界面から $3\mu\text{m}$ 以下の部分にErまたはTmを含有する非線形ファイバを提供する。

また、波長が λ_s 、強度が I_s である信号光と、波長 λ_p が $2\lambda_s$ よりも小さく、強度が I_s よりも大きいポンプ光とを、コアとクラッドを有する非線形ファイバに入射して四光波混合により波長 λ_c が $\lambda_s \lambda_p / (2\lambda_s - \lambda_p)$ 、強度が I_c である変換光を発生させる波長変換方法であって、非線形ファイバにおける直径がモードフィールド径以下のクラッド部分にErまたはTmが存在し、当該ErまたはTmを励起光によって励起しながら四光波混合により変換光を発生させる波長変換方法を提供する。

[0007] また、波長が λ_s 、強度が I_s である信号光と、波長 λ_p が $2\lambda_s$ よりも小さく、強度が I_s よりも大きいポンプ光とを非線形ファイバに入射して四光波混合により波長 λ_c が $\lambda_s \lambda_p / (2\lambda_s - \lambda_p)$ である変換光を発生させる波長変換器であって、非線形ファイバが前記非線形ファイバであり、当該非線形ファイバのクラッドのコアとの界面から $3\mu\text{m}$ 以下の部分に存在するErまたはTmを励起するための励起光の入力端子を有する波長変換器(第1の波長変換器)を提供する。

また、波長が λ_s 、強度が I_s である信号光と、波長 λ_p が $2\lambda_s$ よりも小さく、強度が I_s よりも大きいポンプ光とを非線形ファイバに入力して四光波混合により波長 λ_c が $\lambda_s \lambda_p / (2\lambda_s - \lambda_p)$ である変換光を発生させる波長変換器であって、ポンプ光強度が20mW以下であっても変換光の強度を($I_s \times 10^{-4}$)以上とすることができ、非線形ファイバの長さが10m以下である波長変換器(第2の波長変換器)を提供する。

- [0008] 本発明者は、酸化ビスマス系ガラスからなる非線形ファイバのクラッドのコア近傍部分に存在する信号光、ポンプ光または変換光を、当該部分に含有させたErまたはTmを励起光によって励起しその誘導放出によって増幅すれば、その増幅された光がコアを伝播して信号光、ポンプ光または変換光の前記減衰を補い、所望の η が得られるようになると考え、本発明に至った。

発明の効果

- [0009] 本発明によれば、短い非線形ファイバによって高効率のFWM波長変換を行うことができる。

また、高効率のFWM波長変換を行うことができる波長変換器をコンパクトにすることが可能になる。

また、非線形ファイバが短い場合その断線箇所の発見が容易になる。

信号処理に必要な時間(レイテンシ)を短くすることができ、より高速の信号処理が可能になる。

図面の簡単な説明

- [0010] [図1]本発明の波長変換器の構成の一例を示すための概略図である。

符号の説明

- [0011] 1:非線形ファイバ
 11、12、13:入力端子
 21:出力端子
 31、32:光合波器
 41:波長可変フィルタ
 S_{in} :信号光

発明を実施するための最良の形態

- [0012] 本発明の非線形ファイバ(以下、本発明のファイバという。)の波長1550nmの光に対する非線形係数(γ)は $30\text{W}^{-1}\text{km}^{-1}$ 以上であるので、これをFWM波長変換に用いた場合 η を大きくできる。 γ は好ましくは $50\text{W}^{-1}\text{km}^{-1}$ 以上、より好ましくは $70\text{W}^{-1}\text{km}^{-1}$ 以上である。
- [0013] 本発明のファイバは、そのクラッドのコア近傍部分すなわちコアとの界面から $3\mu\text{m}$ 以下の部分(以下、この部分をコア近傍部分という。)にErまたはTmを含有し、当該部分に存在するErまたはTmと、当該部分以外のクラッドにErまたはTmが存在する場合にはそのErまたはTmとを励起光によって励起し、その誘導放出によってErまたはTmが存在する部分の信号光、ポンプ光または変換光を増幅し、当該増幅された光の一部がコアに戻るにより前記減衰が補われる。その結果、前記励起が行われない場合に比べて η が大きくなる。
- [0014] 本発明のファイバは、コアがモル%表示で、 Bi_2O_3 35~50%、 $\text{B}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$ 30~40%、 $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Ga}_2\text{O}_3$ 15~25%、 CeO_2 0~1%、から本質的になるガラスであり、クラッドのコアとの界面から $3\mu\text{m}$ 以下の部分がモル%表示で、 Bi_2O_3 35~50%、 $\text{B}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$ 30~40%、 $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Ga}_2\text{O}_3$ 15~25%、 CeO_2 0~1%、から本質的になる母ガラスがErまたはTmを含有するガラスであることが好ましい。
- [0015] 本発明のファイバの γ をより大きくしたい等の場合には、コアがモル%表示で、 Bi_2O_3 45~70%、 B_2O_3 12~30%、 Ga_2O_3 7~20%、 In_2O_3 2~15%、 ZnO 0~15%、 CeO_2 0~3%、から本質的になるガラスであり、クラッドのコアとの界面から $3\mu\text{m}$ 以下の部分がモル%表示で、 Bi_2O_3 45~60%、 B_2O_3 12~30%、 Ga_2O_3 7~20%、 In_2O_3 2~15%、 ZnO 0~15%、 CeO_2 0~3%、から本質的になる母ガラスがErまたはTmを含有するガラスであることが好ましい。
- [0016] ここで、たとえば前記コアを構成する好ましいガラスが上記成分から本質的になるガラスであるとは、本発明の目的を損なわないで上記成分(本質的成分)以外の成分を含有してもよいという意であり、また、 CeO_2 が0~3%であるとは、 CeO_2 は必須ではないが3%まで含有してもよいという意である。なお、本質的成分以外の成分を含有する場合そのような成分の含有量の合計は8モル%以下であることが好ましい。

[0017] クラッドのコア近傍部分がErを含有する本発明のファイバは、信号光の波長(λ_s)が1530~1620nmである場合のFWM波長変換に好適である。

クラッドのコア近傍がTmを含有する本発明のファイバは、 λ_s が1450~1520nmである場合のFWM波長変換に好適である。

[0018] クラッドにおいてErまたはTmを含有する部分(以下、増幅部分という。)はコア界面から少なくとも3 μ mまで及んでおり、一方、コア近傍部分に存在する信号光、ポンプ光または変換光の各強度は、クラッド全体における各強度の典型的には90%以上(後述する実施例については計算したところ98%であった。)であるので、クラッドに存在する信号光、ポンプ光または変換光の大部分を増幅できる。

クラッドにおいて増幅部分はコア近傍部分以外に及んでもよく、典型的にはコア界面から8 μ mまで及び、通常はクラッド全体に及ぶ。

[0019] 増幅部分がErを含有する場合、その質量百万分率表示含有量は40ppm以上であることが好ましい。含有量が40ppm未満では増幅効果が不十分になるおそれがあり、より好ましくは100ppm以上である。また、当該含有量は10000ppm以下であることが好ましい。含有量が10000ppm超ではアップコンバージョン効果により増幅効率が低下するおそれがあり、より好ましくは2000ppm以下である。

[0020] 次に、本発明の波長変換方法および波長変換器を図1を用いて説明する。なお、本発明はこれに限定されない。

図1は、本発明の波長変換器の構成の一例と、当該一例におけるポンプ光源、信号光源および励起光源との接続の一例とを示す概略図である。

[0021] 信号光源から発せられた信号光は入力端子11に入力され、光合波器31でポンプ光と合波され、さらにその後光合波器32で励起光と合波され非線形ファイバ1に至る。

信号光波長 λ_s は通常1530~1620nmまたは1450~1520nmである。

λ_s が1530~1620nmである場合非線形ファイバ1はErを含有し、 λ_s が1450~1520nmである場合非線形ファイバ1はTmを含有することがそれぞれ典型的である。

非線形ファイバ1に入力される信号光 S_{in} の強度 I_s は、連続光で1mW以上であることが好ましい。 I_s が1mW未満では変換光の強度が不十分になるおそれがある。 I_s は

通常1～100mWである。

[0022] ポンプ光源から発せられたポンプ光は入力端子12に入力され、波長可変フィルタ41を経て光合波器31で信号光と合波され、さらにその後光合波器32で励起光と合波され非線形ファイバ1に至る。

ポンプ光の波長 λ_p は $2\lambda_s$ より大きく、また、 $|\lambda_p - \lambda_s|$ は通常1～10nmである。

非線形ファイバ1に入力されるポンプ光の強度 I_p は I_s より大きく、好ましくは連続光の場合2mW以上である。 I_p が2mW未満では波長変換効率が低下するおそれがある。また、 I_p は典型的には連続光の場合20mW以下であるが、波長変換効率をより大きくしたい場合には20mW超としてもよい。

[0023] 励起光源から発せられた励起光は入力端子13に入力され、光合波器32で信号光およびポンプ光と合波され、非線形ファイバ1に至り当該ファイバ中に存在するErまたはTmを励起する。

励起光の波長 λ_E は、 λ_s が1530～1620nmである場合は後述する非線形ファイバ1中のErを励起すべく1475～1485nmに、 λ_s が1450～1520nmである場合は後述する非線形ファイバ1中のTmを励起すべく1060～1070nmにすることが典型的である。

λ_s が1530～1620nmである場合、励起光源としては半導体レーザー(LD)が好適である。

[0024] 本発明の波長変換方法においては、非線形ファイバ1は直径がモードフィールド径以下のクラッド部分にはErまたはTmが存在するものとされる。当該部分にErおよびTmのいずれも含有しないものであると前記 η を大きくできない。 λ_s が1530～1620nmである場合はErを、 λ_s が1450～1520nmである場合はTmが存在するものとされる。なお、本発明におけるモードフィールド径は波長が1550nmの光に対するものとし、以下MFDと記す。

[0025] また、 λ_s が1530～1620nmである場合、非線形ファイバ1における直径がMFD以下のクラッド部分にはErが存在し、 λ_E は1475～1485nmであることが典型的である。

また、非線形ファイバ1のコア径とMFDの差が $3\mu\text{m}$ 以下である場合、非線形ファイバ1は本発明のファイバであることが好ましい。

[0026] 第1の波長変換器において非線形ファイバ1は本発明のファイバであるので、当該波長変換器を本発明の波長変換方法に使用できる。

非線形ファイバ1の長さは10m以下であることが好ましい。10m超では断線箇所を容易に見出できなくなる、または吸収もしくは分散のために波長変換効率が低下するおそれがある。

第2の波長変換器において非線形ファイバ1の長さは10m以下であるが、当該ファイバは典型的には本発明のファイバである。

[0027] 非線形ファイバ1の一端に信号光、ポンプ光および励起光を同時に入射し、当該ファイバ中のErまたはTmを励起しながらFWM波長変換を行って変換光を発生させ、非線形ファイバ1の他の一端から出射させる。

変換光の波長 λ_c は λ_s および λ_p と次式で表される関係にある。

$$1/\lambda_c = 2/\lambda_p - 1/\lambda_s$$

[0028] 非線形ファイバ1から出射された変換光の強度 I_c は $0.1\mu\text{W}$ 以上であることが好ましい。 I_c が $0.1\mu\text{W}$ 未満では雑音の影響が大きくなるおそれがある。

I_c と I_s の比である η は、 10^{-4} 以上すなわち -40dB 以上であることが好ましい。

変換光は出力端子21に至り出力される。

[0029] 波長可変フィルタ41は必須ではないが、入力端子12に入力されるポンプ光がポンプ光源からの光を増幅したものである場合には、その増幅された自然放出光(ASE)を遮断するべく使用してもよい。

実施例

[0030] コア用ガラスからなるガラスロッドを次のようにして作製した。

モル%表示組成が、 Bi_2O_3 43.0%、 SiO_2 36.0%、 Al_2O_3 3.5%、 Ga_2O_3 18.0%、 CeO_2 0.5%、であるガラス(ガラスA)となるように原料を調合、混合して400gの調合原料を作製し、この調合原料を白金ルツボに入れ大気雰囲気中で 1150°C に2時間保持して溶解した。

[0031] 得られた熔融ガラスを、内径が15mm、高さが180mmであるSUS310S製の茶筒

状モールド(底面を有する円筒状モールド)に流し出し、徐冷してロッド状ガラスとした。
このロッド状ガラスを加熱してリドローし、直径が3mmであるガラスロッドを作製した。
。

なお、前記徐冷はこのガラスのガラス転移点すなわち488°Cに4時間保持後常温まで毎分1°Cの速度で冷却して行い、またこのガラスの波長1550nmの光に対する屈折率(n)は2.03であった。

[0032] 一方、2種類のガラス管1、2を次のようにして作製した。

モル%表示組成が、 Bi_2O_3 43.0%、 SiO_2 36.0%、 Al_2O_3 7.5%、 Ga_2O_3 14.0%、 CeO_2 0.5%、である母ガラスがErを質量百万分率表示で150ppm含有するガラス(ガラスB1)となるように原料を調合、混合して400gの調合原料を作製し、この調合原料を白金ルツボに入れ大気雰囲気中で1150°Cに2時間保持して溶解した。

得られた熔融ガラスを周知のローテーションキャスト法を用いて加工し、外径が15mm、内径が7mm、高さが150mmであるガラス管1を作製した。

[0033] また、モル%表示組成が、 Bi_2O_3 43.0%、 SiO_2 36.0%、 Al_2O_3 7.5%、 Ga_2O_3 14.0%、 CeO_2 0.5%、であるガラス(ガラスB2)となるように原料を調合、混合して400gの調合原料を作製し、この調合原料を白金ルツボに入れ大気雰囲気中で1150°Cに2時間保持して溶解した。

得られた熔融ガラスを周知のローテーションキャスト法を用いて加工し、外径が15mm、内径が3mm、高さが150mmであるガラス管2を作製した。なお、ガラスB2のガラス転移点は494°C、nは2.02であった。

[0034] 次に、ガラス管1に前記ガラスロッドを挿入し、ガラス管1とガラスロッドの隙間を真空ポンプによって減圧しながら加熱してリドローし、直径5mmの2層ガラスロッドを作製した。

この2層ガラスロッドを再度加熱してリドローし、直径1.5mmの2層ガラスロッドを作製した。

[0035] この直径1.5mmの2層ガラスロッドを、ガラス管2に挿入し、ガラス管2と2層ガラスロッドの隙間を真空ポンプによって減圧しながら加熱してリドローし、直径5mmのファ

イバプリフォームを作製した。なお、以上で述べた加熱リドローはいずれもチューブ型電気炉を用い520～525℃の温度にて行った。

[0036] このようにして得られたファイバプリフォームを579℃に加熱して紡糸し、コア径が4.2 μm、クラッド径が125 μm、MFDが5.3 μm、 γ が70W⁻¹km⁻¹、伝播損失が2 dB/mである非線形ファイバを作製した。この非線形ファイバのコアはガラスAであり、同ファイバのクラッドはそのコアに近い層(クラッド第1層)はErを含有するガラスB1、コアから遠い層(クラッド第2層)はErおよびTmのいずれも含有しないガラスB2であり、クラッド第1層の直径は12.5 μmである。したがって、この非線形ファイバはそのクラッドのコアとの界面から4.15 μm以下の部分にErが存在するものである。

[0037] 長さが10mの前記非線形ファイバを図1の非線形ファイバ1として用い、以下に述べるようにして励起光強度 I_E (単位:mW)と波長変換効率 η (単位: dB)の関係を調べた。なお、非線形ファイバはその両端を、波長980nmにおけるMFDが4.2 μmである石英系シングルモードファイバHI980(コーニング社製)と融着接続して用い、また、その石英系シングルモードファイバHI980としてはその一端を予めTEC融着により石英系シングルモードファイバSMF28(コーニング社製)と融着接続したものをを用いた。

[0038] 信号光源としてLDを用い入力端子11に波長が1549nmである信号光を入力した。非線形ファイバ1に入射された信号光の強度 I_s は6mWであった。

ポンプ光源としてもLDを用い入力端子12に波長が1550nmであるポンプ光を入力し、波長可変フィルタとして応用光電社製TFM-NB-1560-1-S-FC(波長全幅1nm)を用いた。非線形ファイバ1に入射されたポンプ光の強度 I_p は56mWであった。

[0039] 励起光源としてもLDを用い入力端子13に波長が1480nmである励起光を入力した。

出力端子21には図示しない分光器、検出器を接続し、波長が1551nmである変換光の強度を測定し、 η を算出した。非線形ファイバ1に入射された励起光の強度 I_E と η の関係を表1に示す。なお、 I_E が350mWにおける η は、 I_E が0～195.0mWであるときの η のデータから外挿によって求めた値である。また、 I_p を20mWとしたときの

η の計算値を $\eta_{20\text{mW}}$ の欄に示す。

この結果から、 I_P が 20mW であっても I_E を 350mW とすれば η を -40dB 以上とすることができることがわかる。

[0040] [表1]

I_E	0	18.6	66.0	112.2	134.9	158.5	177.8	195.0	350.0
η	-43.0	-41.2	-38.3	-36.5	-35.7	-35.1	-34.7	-34.3	-30.7
$\eta_{20\text{mW}}$	-51.9	-50.1	-47.2	-45.4	-44.6	-44.0	-43.6	-43.2	-39.6

産業上の利用可能性

[0041] 本発明は、FWM波長変換等の光信号処理に適用できる。

なお、2004年9月29日に出願された日本特許出願2004-284466号の明細書、特許請求の範囲、図面及び要約書の全内容をここに引用し、本発明の明細書の開示として、取り入れるものである。

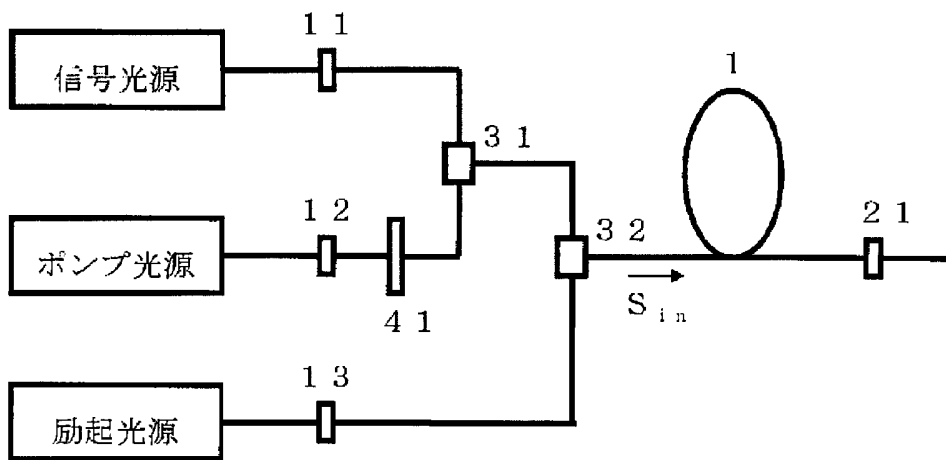
請求の範囲

- [1] コアとクラッドを有し、波長1550nmの光に対する3次非線形係数が $30\text{W}^{-1}\text{km}^{-1}$ 以上である非線形ファイバであって、クラッドのコアとの界面から $3\mu\text{m}$ 以下の部分にErまたはTmを含有する非線形ファイバ。
- [2] コアがモル%表示で、 Bi_2O_3 35~50%、 $\text{B}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$ 30~40%、 $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Ga}_2\text{O}_3$ 15~25%、 CeO_2 0~1%、から本質的になるガラスであり、クラッドのコアとの界面から $3\mu\text{m}$ 以下の部分がモル%表示で、 Bi_2O_3 35~50%、 $\text{B}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$ 30~40%、 $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Ga}_2\text{O}_3$ 15~25%、 CeO_2 0~1%、から本質的になる母ガラスがErまたはTmを含有するガラスである請求項1に記載の非線形ファイバ。
- [3] クラッドのコアとの界面から $3\mu\text{m}$ 以下の部分にErを含有し、その質量百万分率表示含有量が40ppm以上である請求項1または2に記載の非線形ファイバ。
- [4] 波長が λ_s 、強度が I_s である信号光と、波長 λ_p が $2\lambda_s$ よりも小さく、強度が I_s よりも大きいポンプ光とを、コアとクラッドを有する非線形ファイバに入射して四光波混合により波長 λ_c が $\lambda_s \lambda_p / (2\lambda_s - \lambda_p)$ 、強度が I_c である変換光を発生させる波長変換方法であって、非線形ファイバにおける直径がモードフィールド径以下のクラッド部分にErまたはTmが存在し、当該ErまたはTmを励起光によって励起しながら四光波混合により変換光を発生させる波長変換方法。
- [5] 非線形ファイバのコア径とモードフィールド径の差が $3\mu\text{m}$ 以下である請求項4に記載の波長変換方法であって、非線形ファイバが請求項1、2または3に記載の非線形ファイバである波長変換方法。
- [6] 請求項4または5に記載の波長変換方法であって、 λ_s が1530~1620nmであり、非線形ファイバにおける直径がモードフィールド径以下のクラッド部分にErが存在し、励起光の波長が1475~1485nmである波長変換方法。
- [7] 波長が λ_s 、強度が I_s である信号光と、波長 λ_p が $2\lambda_s$ よりも小さく、強度が I_s よりも大きいポンプ光とを非線形ファイバに入射して四光波混合により波長 λ_c が $\lambda_s \lambda_p / (2\lambda_s - \lambda_p)$ である変換光を発生させる波長変換器であって、非線形ファイバが請求項1、2または3に記載の非線形ファイバであり、当該非線形ファイバのクラッドのコアとの界面から $3\mu\text{m}$ 以下の部分に存在するErまたはTmを励起するための励起光の入

力端子を有する波長変換器。

- [8] 波長が λ_s 、強度が I_s である信号光と、波長 λ_p が $2\lambda_s$ よりも小さく、強度が I_s よりも大きいポンプ光とを非線形ファイバに入力して四光波混合により波長 λ_c が $\lambda_s \lambda_p / (2\lambda_s - \lambda_p)$ である変換光を発生させる波長変換器であって、ポンプ光強度が20mW以下であっても変換光の強度を $(I_s \times 10^{-4})$ 以上とすることができ、非線形ファイバの長さが10m以下である波長変換器。

[図1]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2005/017639

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G02F1/365 (2006.01), G02B6/02 (2006.01)		
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) G02F1/365 (2006.01), G02B6/02 (2006.01)		
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 1996-2005 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) IEEE, JSTPlus (JOIS)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2003-107540 A (Asahi Glass Co., Ltd.), 09 April, 2003 (09.04.03), (Family: none)	1-8
Y	EP 0981189 A2 (FUJITSU LTD.), 23 February, 2000 (23.02.00), & JP 2000-66253 A & US 6529314 B1	1-7
Y	KIKUCHI, K. et al., Highly-nonlinear bismuth oxide-based glass fibers for all- optical signal processing, OF2002, (March, 2002), pages 567 to 568	8
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> 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 19 December, 2005 (19.12.05)		Date of mailing of the international search report 27 December, 2005 (27.12.05)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/017639

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 3-289633 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd., Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 19 December, 1991 (19.12.91), (Family: none)	1-7
P,X	HASEGAWA, T. et al., Transparent Bi ₂ O ₃ -based nonlinear optical fiber with erbium doping, OFC 2005, Vol.4, (March, 2005), OThA1	1-8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/017639

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The inventions of claims 1-7 have "a special technical feature" relating to "a non-linear fiber containing Er or Tm in the clad portion". The invention of claim 8 does not have this technical feature. Accordingly, these inventions are not so linked as to form a single general inventive concept.

1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest
the

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, payment of a protest fee..
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. **G02F1/365** (2006.01), **G02B6/02** (2006.01)

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. **G02F1/365**(2006.01), **G02B6/00** (2006.01)

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	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005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)

IEEE
 JSTPlus(JOIS)

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
Y	JP 2003-107540 A (旭硝子株式会社) 2003.04.09 (ファミリーなし)	1-8
Y	EP 0981189 A2 (FUJITSU LIMITED) 2000.02.23 & JP 2000-66253 A & US 6529314 B1	1-7
Y	Kikuchi, K. et al. Highly-nonlinear bismuth oxide-based glass fibers for all-optical signal processing, OFC2002, (March 2002)p. 567-568	8

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	の日の後に公表された文献
「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	「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
「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	「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
「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)	「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
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日
 19.12.2005

国際調査報告の発送日
 27.12.2005

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)	2X	9316
佐藤 宙子		
電話番号 03-3581-1101 内線 3294		

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
Y	JP 3-289633 A (住友電気鋳業株式会社, 日本電信電話株式会社) 1991.12.19 (ファミリーなし)	1-7
P, X	Hasegawa, T. et al. Transparent Bi ₂ O ₃ -based nonlinear optical fiber with erbium doping, OFC 2005, Vol. 4, (March 2005) OThA1	1-8

第II欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項 (PCT17条(2)(a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、

2. 請求の範囲 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、

3. 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

請求の範囲1-7に係る発明の「特別な技術的特徴」は、「クラッド部分にErまたはTmを含有する非線形ファイバ」に関するものである一方、請求の範囲8に係る発明は該特徴を備えるものでなく、これらの発明が、単一の一般的発明概念を形成するように連関しているものと認められない。

1. 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- 追加調査手数料の納付を伴う異議申立てがなかった。