

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4309071号
(P4309071)

(45) 発行日 平成21年8月5日(2009.8.5)

(24) 登録日 平成21年5月15日(2009.5.15)

(51) Int.Cl.

F I

H O 4 B 10/16 (2006.01)

H O 4 B 9/00 J

H O 4 B 10/17 (2006.01)

H O 4 B 9/00 M

H O 4 B 10/02 (2006.01)

H O 1 S 3/06 B

H O 4 B 10/18 (2006.01)

H O 1 S 3/10 Z

H O 1 S 3/06 (2006.01)

H O 1 S 3/30 Z

請求項の数 10 (全 10 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-58123 (P2001-58123)
 (22) 出願日 平成13年3月2日(2001.3.2)
 (65) 公開番号 特開2001-285198 (P2001-285198A)
 (43) 公開日 平成13年10月12日(2001.10.12)
 審査請求日 平成20年2月29日(2008.2.29)
 (31) 優先権主張番号 09/519654
 (32) 優先日 平成12年3月6日(2000.3.6)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 596092698
 アルカテルルーセント ユーエスエー
 インコーポレーテッド
 アメリカ合衆国 07974 ニュージャ
 ーシー, マレイ ヒル, マウンテン アヴ
 ェニュー 600-700
 (74) 代理人 100064447
 弁理士 岡部 正夫
 (74) 代理人 100085176
 弁理士 加藤 伸晃
 (74) 代理人 100106703
 弁理士 産形 和央
 (74) 代理人 100096943
 弁理士 臼井 伸一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光伝送システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

A) 既知の光電力吸収特性を有し、オリジナルの位相をもつ入力信号を光送信機から受信して、受信した前記入力信号を伝搬させる入力光ファイバの伝送スパンと、

B) 前記入力光ファイバの伝送スパンの終端に配置され、前記入力光ファイバの伝送スパンによる伝送に起因する非直線性を実質的に除去するために、位相共役化された光信号を形成することによって前記入力信号の前記オリジナルの位相を変換する光位相共役器と

C) 既知の光電力吸収特性を有し、前記光位相共役器に結合されて前記位相共役化された光信号を受信して、前記位相共役化された光信号を光受信機の側に伝搬させる出力光ファイバの伝送スパンと、

D) 前記出力光ファイバの伝送スパンに後方伝搬の利得信号を注入するために配置され、前記入力光ファイバと前記出力光ファイバとの間に実質的に対称な光電力分布を供給するラマン利得要素と

を備えた光伝送システム。

【請求項 2】

前記光位相共役器は、前記入力光ファイバの長さが前記出力光ファイバの長さを実質的に等しくなるように、システムの間接点に実質的に配置される

ことを特徴とする請求項 1 記載の光伝送システム。

【請求項 3】

10

20

前記入力光ファイバ内に後方伝搬の利得信号を注入するために配置された第2のラマン利得要素をさらに有する

ことを特徴とする請求項1記載の光伝送システム。

【請求項4】

前記光位相共役器は、カスケード式の $\times^{(2)}$ 波長変換器である

ことを特徴とする請求項1記載の光伝送システム。

【請求項5】

光増幅器は前記入力光ファイバの伝送スパンに沿って配置されている

ことを特徴とする請求項1記載の光伝送システム。

【請求項6】

前記光増幅器はエルビウム添加ファイバ増幅器からなる

ことを特徴とする請求項5記載の光伝送システム。

【請求項7】

光増幅器は前記出力光ファイバの伝送スパンに沿って配置されている

ことを特徴とする請求項1記載の光伝送システム。

【請求項8】

前記光増幅器はエルビウム添加ファイバ増幅器からなる

ことを特徴とする請求項7記載の光伝送システム。

【請求項9】

E) 前記入力光ファイバに沿って配置されている第1の光増幅器と、

F) 前記出力光ファイバに沿って配置されている第2の光増幅器と

をさらに有することを特徴とする請求項1記載の光伝送システム。

【請求項10】

前記第1及び第2の光増幅器はエルビウム添加ファイバ増幅器からなる

ことを特徴とする請求項9記載の光伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、高速の光伝送システムに関し、特に、ラマン増幅を有する光位相共役器を利用して伝送ファイバにおける4波混合及び他のカー効果の非線形性を低減する光伝送システムに関する。

【0002】

【従来の技術】

伝送媒体として光ファイバを利用する光通信システムにおいては、より高速のシステムデータレートやより長い非反復距離を実現するには、波長分散やファイバの非直線性という大きな障害がある。波長分散はしばしば単に「分散」として表現され、(光ファイバのような)光伝送媒体を通過する光信号の速度が光信号波長の関数として変化する現象である。

【0003】

波長分散の問題は、世界中に存在する光伝送システムの基礎構造の多くを編成している標準の単一モードファイバ(SMF)において特に大きい。標準のSMFは一般的に約1330nmの波長において分散ゼロを示し、分散ゼロの波長より長い波長になると正の分散をもつ。

【0004】

分散は周波数に対するファイバの伝搬定数における変化に置き換えて表される。一次及び二次の群速度分散は、角周波数 ω に対するファイバ伝搬定数 k の第2及び第3の微分係数又は k_2 及び k_3 を表す。これより高い次数の項はほとんどの場合において、ほぼゼロと見なすことができる。

【0005】

光波伝送システムにおいて使用する場合には、一次及び二次の分散は波長に対する微分係

10

20

30

40

50

数に置き換えて表現されるのが普通である。このため、一般的に一次の群速度分散は、パルス波長における変化に対するファイバの単位長さでのパルス伝搬時間における変化として表現される。この場合において、シンボル D () は一次の群速度分散を示すものとしてよく用いられ、その単位は一般的にナノキロメートルに対するピコ秒 ($\text{ps} / \text{nm} \cdot \text{km}$) である。二次の群速度分散は ps / nm^2 の単位が用いられ、 D () の波長に対する微分係数として表現される。

【0006】

さらに、波長分散及びグラスファイバ内における固有のカー効果の非直線性は伝送能力を制限する。このような非直線性のために、屈折率は適用する光信号の強度に応じて増加する。ファイバの屈折率の変化はファイバを通過する光信号の位相を変調し、これにより信号の周波数スペクトルが再分布する。マルチチャネルシステムにおいては、その中で1つの信号が他の信号の変調を生じることになり、この現象はそれ自身信号波長を取り囲む好ましくないスペクトルのサイドバンドとして現れる。

10

【0007】

通常、このような非直線性は4波混合 (FWM)、自己位相変調 (SPM) 及び直交位相変調 (XPM) として分類される。光ファイバでの遠距離通信においては、分散及び非直線性は制御されるか、補償されるか、又は抑圧されなければならない。

【0008】

さらに、このような非直線性は、ファイバ内に注入する光電力が増加するにつれてかえって悪くなる。光ファイバで搬送される情報の変調レートが速ければ速いほど、光の非直線性の悪化に対応してチャネルごとに使用される電力は増加する。同時に、低分散のファイバも広く用いられ、稠密波長分割多重 (DWDM) の光システムが情報能力において増加する要求の解決として期待されている。

20

【0009】

このような2つの決定的な要素は、上記した好ましくないスペクトルのサイドバンドの発生を激化させる一因になる。その上、XPM及びSPMのペナルティもまた、チャネル空間が低下する場合と同様に、低分散のファイバを使用する場合には増加する。したがって、このようなサイドバンド内に存在する光信号を低下するための技術及びその非直線性を低減するための技術が光通信システムにおいて強く要望されている。

【0010】

30

このような非直線性の存在を克服するための従来の技術の1つに中間スパン光位相伝搬の使用がある。光パルスの位相伝搬は結果においてパルスの時間反転であるので、光ファイバスパンの中間点に位置する光位相伝搬は、スパンの後半で共役信号が伝搬するときに生成される同一の一次の群速度分散によって、スパンの前半の一次の群速度分散が補償されるようにする。

【0011】

1998年の8月25日に渡辺氏に発行された米国特許5,798,853号には、このような従来の光位相共役のアレンジが記載されている。上記したように、中間スパン光位相共役は、ファイバ内における吸収が低い限り、同じ時間反転の論拠に基づいてファイバにおける非直線性を全体的に低減することができる。

40

【0012】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、ファイバの非直線性の問題に対するこの従来のソリューション及び他の従来のソリューションは、ファイバ吸収が低い状況においてしか光位相共役を適用できないという問題がある。通常、吸収はファイバの長さの関数であるので、従来の光位相共役技術は短いスパンの状況において最適であるので(また、非直線性はスパンが長くなるほど問題になるのが事実であるので)、長距離通信システムにおけるファイバの非直線性を解決する必要がある。

【0013】

【課題を解決するための手段】

50

本発明は従来技術の課題を解決するものであり、伝送ファイバにおける４波混合及びカー効果の非直線性の存在を低減するためにラマン増幅を有する光位相共役を利用する光伝送システムに関するものである。

【００１４】

本発明によれば、ファイバの長さに従って対称な電力分布を提供するために、各ファイバスパンに（又は、他の実施形態においては１つ置きファイバスパンに）、ラマン利得を挿入することによって位相共役の補償を改善する。指定したスパンにおけるこの利得の提供によって、４波混合及びその他の非直線性が十分に低減される。

【００１５】

本発明によれば、各ラマン増幅信号は、情報信号の方向に対して後方伝搬として適用される。あるいは、後方伝搬のラマン励起はＯＰＣデバイスの後のファイバスパンにおいてのみ使用可能とする。

本発明によれば、光位相共役器の周囲に対称な電力分布を提供するラマン増幅技術は、実質的にはいかなる共役器のアレンジにも使用することが可能である。

【００１６】

【発明の実施の形態】

光位相共役を利用した従来の光伝送システム１０を図１に示す。システム１０は、連続した光ファイバ部１６の間に配置されたいくつかのファイバ増幅器１４で形成された光ファイバ伝送経路の一方の端部に光信号送信機１２を備えている。その増幅器は、例えばエルビウム添加ファイバ増幅器（ＥＤＦＡ）であり、光ファイバの減衰を補償し、伝送経路全体で電力分散を無損失に近づけるように間隔をおいて配置される。

【００１７】

光受信機１８は、図に示すように、伝送経路の他方の端部に位置している。システム１０はまた、システムの「中間スパン」に配置された光位相共役器（ＯＰＣ）２０を備えている。ＯＰＣ２０はファイバにおける波長分散及び非直線性の影響を補償するために入力信号の位相共役を生成する。ＯＰＣ２０は各ファイバスパンの分散の正確な認識は要求とせず、中間点が知見でき、結果として２つの半分が累積された同じ分散を生成するだけでよい。また、図１に示すように、伝送システムの半分の各々に沿った光電力分散の（簡略化された）グラフがある。

【００１８】

図２は、周期的電極構造の LiNbO_3 の（ＰＰＬＮ）導波路のように、高い効率の非直線性の材料で形成されたカスケード式の二次の非直線性（⁽²⁾）デバイスとして定義されたＯＰＣ２０の例を示している。この特定の光位相共役器は単なる例にすぎず、光位相共役器を実現するための多様なアレンジが存在することはいうまでもない。

【００１９】

一般的に、光位相共役器は様々な ω_s の情報信号と同時に発射された ω_p の強度の励起信号を利用する。この特異なＯＰＣデバイスにおいては、励起及び信号はともに $1.5\mu\text{m}$ 帯域内にある。励起周波数は導波路内では２倍の $2\omega_p$ であり、信号のもつ異なる周波数と同時に混合されて、 $\omega_{out} = 2\omega_p - \omega_s$ の式で示す波長シフトされた出力が発生される。その変換された電界は入力信号の電界の複合共役であり、入力信号のチャープを反転するのを使用できるという特徴がある。

【００２０】

図２に示すように、ＯＰＣ２０は周期的電極構造の LiNbO_3 導波路の基板２２を有し、基板２２の中で所定の波長 ω_p と（この例では）波長 ω_A 乃至 ω_D で変調された複数の情報信号とが結合される。特に、 $1.5\mu\text{m}$ 帯域の波長変換における⁽²⁾に基づくデバイスは 1550nm 領域において励起を用いる。

【００２１】

励起信号は最初にエルビウム添加ファイバ増幅器２４によって増幅され、次にバンドパスフィルタ２６を通してフィルタ処理されて、存在するおそれがある自然放射増幅光（ＡＳＥ）をすべて抑制する。この増幅されフィルタ処理された励起信号は、次に４つの異なる

10

20

30

40

50

波長の光信号と合成されて、P P L N導波路22の中に注入される。

【0022】

図3は、P P L N導波路22からの出力を示し、入力信号(A, B, C及びD)と共に、P P L N導波路22で生成された位相共役信号(A', B', C'及びD')に関連するスペクトルが見られる。図3のグラフから明らかなように、各チャネルに対する波長の変換効率は実質的に同一である。これ以上の詳細な特性及び光位相共役の動作についてはこの明細書の別の箇所で明らかにされるが、このことは本発明の主要な事柄に密接な関係がある訳ではない。

【0023】

上記したように、図1に示す従来技術のアレンジの問題は、光位相共役が最適であるのは(非直線性を除去するという観点から)吸収が低いファイバでのシステムにおいてであり、このため比較的短いファイバスパンにO P Cの使用が制限されることである。

10

【0024】

図1に示すように、光電力は信号はO P C 20に到達する時間によって大きく低下することは明らかである。理論的に言えば、O P Cが最も効果的であるのは、図4に示すように、「対称」電力分散を示すシステムにおいてである。明らかに、このことは仮定的な状況である。ファイバの吸収は常に電力を減少させる結果になるからである。

【0025】

本発明のアレンジは、各ファイバスパンにラマン利得を挿入することによってこの制限を克服し、その結果、伝送システムの半分で共に「対称」電力分散を提供する。図5は本発明によって形成された光システム100の例を示し、図1に示した構成と同じものについては、図1の参照番号に「0」を追加して示されている。

20

【0026】

本発明において、第1のラマン光源220₁はシステム100内において第1の光ファイバ部160₁に沿って増幅を提供する。第2のラマン光源220₂は第2の光ファイバ部160₂に沿って増幅を提供する。ラマン増幅の結果、分離した各スパンに沿った光電力は実質的に「対称」になり、光電力分散は、図6に示すグラフのようになる。したがって、O P C 200の性能は大きく改善され、また一般的に、いかなる長さに対しても使用できるようになる。

【0027】

30

図7及び図8は、本発明によるラマン利得をO P Cの後に提供することによって実行できる直線性の改善を示している。図7(a)は、800km WDMネットワークにおける10Gb/sの中心チャネルに関連する「従来技術」のアイダイアグラムを示している。中心チャネルが分析のために選択されたのは、この領域に最大レベルの直交位相変調が存在するからである。図7(b)は、従来の中間スパンのO P Cデバイスを使用した場合の同じチャネルに関連するアイダイアグラムを示している。図に示すように、アイダイアグラムの「論理1」レベルにわたって比較的大きいノイズ量が残っている。

【0028】

これに対して、図7(c)は、O P Cデバイスの後のファイバスパンにラマン増幅を組み込んだ場合の10Gb/sシステムの同じ中心チャネルにおけるアイダイアグラムを示している。図7(a)~(c)は、800km WDMネットワークにおける10Gb/sにおける同様のアイダイアグラムを示している。どの場合においても、ラマン増幅を含むことによって、自己位相変調及び直交位相変調の両方の存在が大きく低減されているのがわかる。

40

【0029】

本発明による改善が実行された結果を図9のグラフに示す。図9に示すピークAは、ファイバの160kmを通して伝搬したときの变化しないWDMチャネルを表している。高い方のピーク(1)は望ましいWDMチャネルであり、弱い方のピーク(2)は4波混合及び非直線性の結果である。これに対して、ピークBは本発明のシステムに関連するものであり、4波混合サイドバンド(すなわち、望ましいWDMチャネルの強い方のピーク(1

50

）に対する弱い方のピーク）が大きく低減されているのがはっきりとわかる。

【 0 0 3 0 】

図 5 に示した本発明のアレンジにおいては、ファイバスパン 1 6 0₁ 及び 1 6 0₂ の両方において後方伝搬の利得信号を提供するようにラマン光源 2 2 0 が配置されている。しかしながら、最も一般的な形態において、本発明でカー効果の非直線性が補償できるのは、ラマン励起を O P C デバイスの後に行う場合のみである。図 1 0 は、同じように連合した電力分散スペクトルを有する本発明のアレンジをさらに一般化したものを示している。

【 0 0 3 1 】

図に示すように、光信号は最初に増幅器 3 0 0 (E D F A が望ましい) を通過し、第 1 のセクションである光伝送ファイバ 3 1 0 に結合される。スパン 3 1 0 を通過する信号と共に累積された非直線的な位相は、スパン 3 1 0 に関連する電力分布の影の部分 (網点部分) によって示される。この後、光信号は (上記したものと同一関数の) O P C 3 2 0 を通過して、第 2 のセクションである光伝送ファイバ 3 3 0 に結合される。

【 0 0 3 2 】

ラマン励起 3 4 0 はファイバ 3 3 0 の出力端において利得を結合するのに用いられる。この第 2 のファイバスパン 3 3 0 に関連する電力分布も図 1 0 において影の領域 (網点部分) に示され、ファイバの出力端に向かう補償により入力部分であるファイバ 3 1 0 における非直線的な存在とバランスを採ることになる。一般的に、図 1 0 に示すようなアレンジは、完全な伝送システムについて全体として所望の長さを得るために何回も反復することができる。

【 0 0 3 3 】

言うまでもなく、本発明のこれらのアレンジ及び本発明の他のアレンジは、光位相共役アレンジのどのようなタイプにも有効であり、図 2 に示した特定の実施形態は一例に過ぎない。

【 0 0 3 4 】

特許請求の範囲に記載した発明の構成要件の後の括弧内の符号は、構成要件と実施例と対応づけて発明を容易に理解させる為のものであり、特許請求の範囲の解釈に用いるべきのものではない。

【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 】 システムの長さに従って光電力分布を描写した従来の光伝送システムを示す図。

【 図 2 】 光位相共役器の例を示す図。

【 図 3 】 図 2 のカスケード式の ⁽²⁾ の光共役器を用いた光位相共役の結果であるグラフを示す図。

【 図 4 】 伝送システムの長さに従った対称な電力分布を有する仮定的な光伝送システムを示す図。

【 図 5 】 各ファイバスパンにラマン利得を加えて後方伝搬のラマン利得により対称な電力分布を提供する本発明の伝送システムの例を示す図。

【 図 6 】 本発明によるラマン利得を有することによって対称な電力分布における改善のグラフを示す図。

【 図 7 】 本発明におけるラマン増幅を用いて性能の改善を示す 1 0 G b / s の W D M でのアイダイアグラムを示す図。

【 図 8 】 本発明におけるラマン増幅を用いて性能の改善を示す 4 0 G b / s の W D M でのアイダイアグラムを示す図。

【 図 9 】 従来のシステムと本発明のアレンジとにおいて波長の関数としての光電力について比較して本発明によるサイドローブ低減の可能性のグラフを示す図。

【 図 1 0 】 O P C の後のスパンにおいてのみラマン利得を有し光伝送システムの所望の長さに達するために多数回の反復が可能なラマン増幅ユニットの例を示す図。

【 符号の説明 】

1 0 従来の光伝送システム

1 2 光送信機

10

20

30

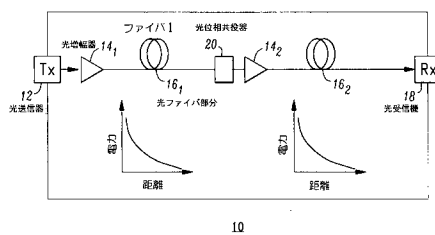
40

50

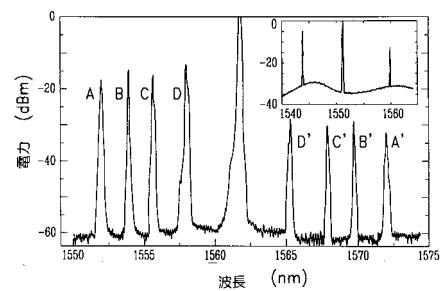
- 1 4 光増幅器
- 1 6 光ファイバ部分
- 1 8 光受信機
- 2 0 光位相共役器 (O P C)
- 2 2 周期的電極構造の LiNbO_3 の (P P L N) 導波路
- 2 4 エルビウム添加ファイバ増幅器 (E D F A)
- 2 6 バンドパスフィルタ
- 1 0 0 本発明の光伝送システム
- 1 2 0 光送信機
- 1 4 0 光増幅器
- 1 6 0 光ファイバ
- 1 8 0 光受信機
- 2 0 0 光位相共役器 (O P C)
- 2 2 0 , 3 4 0 ラマン励起
- 3 0 0 エルビウム添加ファイバ増幅器 (E D F A)
- 3 1 0 , 3 3 0 光ファイバ
- 3 2 0 周期的電極構造の LiNbO_3 の光位相共役器

10

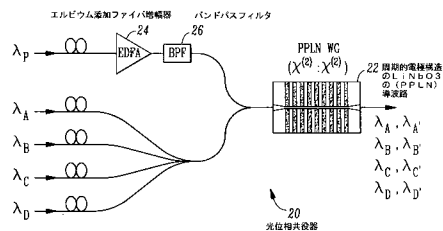
【図 1】



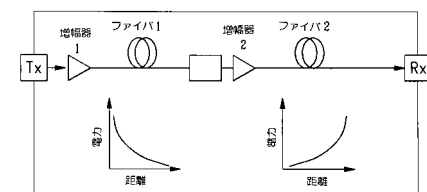
【図 3】



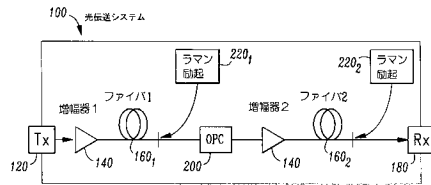
【図 2】



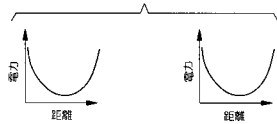
【図 4】



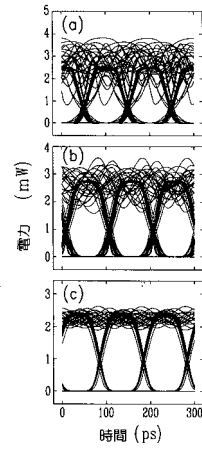
【図 5】



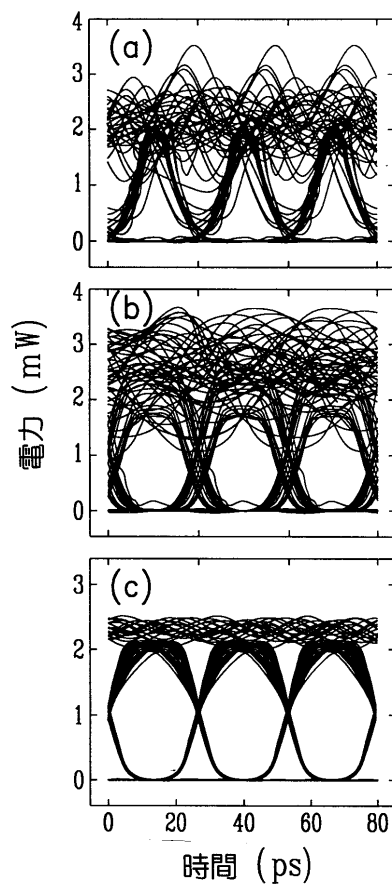
【図 6】



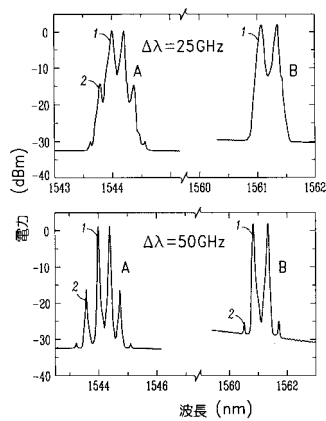
【図 7】



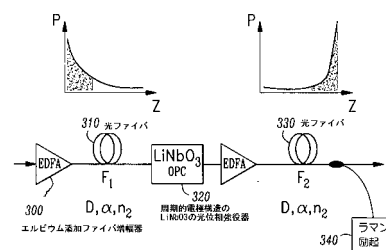
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 1 S 3/10 (2006.01) G 0 2 F 1/35 5 0 1
H 0 1 S 3/30 (2006.01) G 0 2 F 1/35
G 0 2 F 1/35 (2006.01)

(74)代理人 100101498
 弁理士 越智 隆夫
 (74)代理人 100096688
 弁理士 本宮 照久
 (74)代理人 100091889
 弁理士 藤野 育男
 (74)代理人 100102808
 弁理士 高梨 憲通
 (74)代理人 100104352
 弁理士 朝日 伸光
 (74)代理人 100107401
 弁理士 高橋 誠一郎
 (74)代理人 100106183
 弁理士 吉澤 弘司
 (74)代理人 100081053
 弁理士 三俣 弘文
 (72)発明者 イガル エム プレナー
 アメリカ合衆国、07090 ニュージャージー、ウェストフィールド、モス アベニュー 18
 (72)発明者 ベニー ミッケルソン
 アメリカ合衆国、07716 ニュージャージー、アトランティック ハイランド、オーシャン
 ブルバード 10、アパートメント 4C
 (72)発明者 カーステン ロットウィット
 アメリカ合衆国、07920 ニュージャージー、バスキング リッジ、イングリッシュ プレイ
 ス 291
 (72)発明者 ジェイソン ブレイン スターク
 アメリカ合衆国、07733 ニュージャージー、ホルムデル、サンライズ サークル 4

審査官 工藤 一光

(56)参考文献 特開平04-191709(JP,A)
 特開平04-368028(JP,A)
 特開平08-022038(JP,A)
 I. Brener, B. Mikkelsen, K. Rottwitt, W. Burkett, G. Raybon, J.B. Stark, K. Parameswar
 an, M.H. Chou, M.M. Fejer, E.E. Chaban, R. Harel, D.L. Philen, S. Kosinski, Cancellati
 on of all Kerr nonlinearities in long fiber spans using a LiNbO3 phase conjugator and
 Raman amplification, Optical Fiber Communication Conference, 2000, 米国, IEEE, 200
 0年 3月 7日, vol.4, p. 266 - 268

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04B10/00-10/28

H04J14/00-14/08

H01S3/06

H01S3/10

H01S3/30
G02F1/35