

(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2004-166300

(P2004-166300A)

(43) 公開日 平成16年6月10日(2004.6.10)

(51) Int.Cl.⁷

H04B 10/02

H04B 10/18

H04J 14/00

H04J 14/02

F I

H04B 9/00

H04B 9/00

M

E

テーマコード(参考)

5K102

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2004-1578 (P2004-1578)
 (22) 出願日 平成16年1月7日(2004.1.7)
 (62) 分割の表示 特願2000-43229 (P2000-43229)
 の分割
 原出願日 平成12年2月21日(2000.2.21)
 (31) 優先権主張番号 09/255454
 (32) 優先日 平成11年2月19日(1999.2.19)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(71) 出願人 596092698
 ルーセント テクノロジーズ インコーポ
 レーテッド
 アメリカ合衆国, 07974-0636
 ニュージャージー, マレイ ヒル, マウン
 テン アヴェニュー 600
 (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

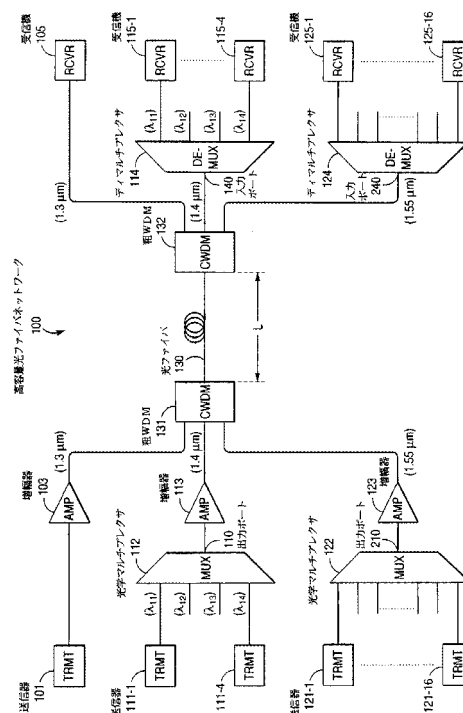
(54) 【発明の名称】 波長分割多重化システム

(57) 【要約】

【課題】 シングルモードファイバシステムを用いてWDM信号とアナログTV信号間の干渉を回避するような光学伝送システムを提供する。

【解決手段】 本発明の波長分割多重化システムは、複数のデジタル情報チャネルを伝送パスに接続する第1マルチプレクサ112と、ゼロ分散波長 λ_0 が1310nmでその長さが10kmを超えるスパンの光ファイバ130を含む伝送パスとを有し、前記光ファイバは1385nmでの損失が1310nmでの損失よりも小さく、1.4 μ m波長領域において色素分散が1.5-8.0ps/nm-kmの範囲内にあり、前記第1マルチプレクサ112は、1.4 μ m波長領域の波長分割多重化信号の3個以上のチャネルを前記伝送パスに与える。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数のデジタル情報チャネルを伝送パス上に相互接続する第 1 マルチプレクサ、及び長さ (L) が 10 km を超え、そしてゼロ分散波長 (λ_0) が約 1310 nm である光ファイバのスパンを含む伝送パスとからなる波長分割多重 (WDM) システムにおいて、
該光ファイバが、クラッド層の直径 (D) とコアの直径 (d) との比が $2.0 < D/d < 7.5$ のコアロッド (50) から製造され、1310 nm での損失よりも小さい 1385 nm での損失を有し、そして 1335 nm ~ 1435 nm の領域である 1.4 μ m 波長領域で 1.5 ps/nm-km と 8.0 ps/nm-km との間の色分散を有し、そして
該第 1 マルチプレクサは、該 1.4 μ m 波長領域で波長分割多重 (WDM) 信号の少なくとも 3 つのチャネルを伝送パス上に提供していることを特徴とする波長分割多重 (WDM) システム。 10

【請求項 2】

複数のデジタル情報チャネルを有する光伝送パスを複数の受信器に相互接続する第 1 のデマルチプレクサ、及び長さ (L) が 10 km を越えて、そしてそのゼロ分散波長 (λ_0) が約 1310 nm である光ファイバのスパンを含む伝送パスとからなる波長分割多重 (WDM) システムにおいて、
該光ファイバが、クラッド層の直径 (D) とコアの直径 (d) との比が $2.0 < D/d < 7.5$ のコアロッド (50) から製造され、波長 1310 nm での損失よりも少ない波長 1385 nm での損失を有し、そして 1335 nm ~ 1435 nm の領域である 1.4 μ m 波長領域において 1.5 ~ 8.0 ps/nm-km の色分散を有し、
該第 1 のマルチプレクサは、該伝送パスから該 1.4 μ m 波長領域における多重化光信号の少なくとも 3 つのチャネルを受信している波長分割多重システム。 20

【請求項 3】

伝送ライン上での伝送のために、チャネルキャリアを発生し、変調し該変調チャネルキャリアを多重する第 1 の送信器であって、1335 nm ~ 1435 nm の領域である 1.4 μ m 波長領域内の平均システム波長により特徴づけられている第 1 の送信器、
変調チャネルキャリアをデマルチプレックスする機能を行なう第 1 の受信器、及び
送信器により一端が規定されそして受信器により他端が規定されて少なくとも 1 つのファイバスパンを含む約 1310 nm でゼロ分散波長 (λ_0) を有する光ファイバの伝送ラインとからなる波長分割多重光導波路システムにおいて、
該スパンを規定する実質的に全てのファイバが、クラッド層の直径 (D) とコアの直径 (d) との比が $2.0 < D/d < 7.5$ のコアロッド (50) から製造され、該平均システム波長で 1.5 ~ 8.0 ps/nm-km の色分散を有し、
該スパンを規定する実質的に全てのファイバが波長 1310 nm での伝送損失より小さい波長 1385 nm での伝送損失を有している波長分割多重光導波路システム。 30

【請求項 4】

10 Gb/s レートで 1335 nm ~ 1435 nm の領域である 1.4 μ m 波長領域内の異なる波長で動作している複数のデジタル情報チャネルを送・受信する装置、
2.5 Gb/s レートで 1.55 μ m 波長領域内の異なる波長で動作している複数のデジタル情報チャネルを送・受信する装置、及び
分散補償なしに送・受信装置間に設置された 10 km ~ 200 km の長さの光ファイバからなる伝送ラインとからなり、
該光ファイバは、(i) クラッド層の直径 (D) とコアの直径 (d) との比が $2.0 < D/d < 7.5$ のコアロッド (50) から製造され、(ii) 約 1310 nm でゼロ分散波長、(iii) 1.4 μ m 波長領域内の動作しているチャネルに関し約 8.0 ps/nm-km より小さい分散、及び (iv) 波長 1310 nm での伝送損失よりも小さい波長 1385 nm での伝送損失を特徴としている波長分割多重導波路システム。 40

【請求項 5】

1385 nm にて低損失を有するシングルモード光ファイバを製造するコアロッド (5 50

0) を製造する方法であって、

直径 d を有するコア (51) に直径 D を有するクラッド層 (52) をスート堆積することによりコアロッドを形成する工程とからなり、ここで、 D/d は、 $2.0 < D/d < 7.5$ の関係を有し、該方法はさらに、

該コアロッドの OH 含有量が 0.8 ppb 以下となるように、塩素またはフッ素を含む雰囲気中で該コアロッドを脱水する工程と、

該コアロッドを固化する工程とからなることを特徴とする方法。

【請求項 6】

1335 nm ~ 1435 nm の領域である $1.4 \mu\text{m}$ 波長領域内の異なる波長で複数のデジタル信号を送信する第 1 の送信器 (111、112) と、

10

アナログ信号を $1.55 \mu\text{m}$ 波長領域で送信する第 2 の送信器 (121) と、

該第 1 の送信器からの信号と該第 2 の送信器からの信号とを多重化する第 1 の装置 (151) と、

約 1310 nm でゼロ分散波長を有し、1310 nm での損失よりも小さい 1385 nm での損失を有し、そして $1.4 \mu\text{m}$ 波長領域で 1.5 ps/nm-km と 8.0 ps/nm-km との間の色分散を有する光ファイバを含む、該第 1 の装置に結合された伝送パスと、

該伝送パスに結合され、該伝送パスからの信号を該第 1 の送信器からの信号と該第 2 の送信器からの信号とに分離する第 2 の装置 (152) と、

該複数のデジタル信号を受信する第 1 の受信器 (114、115) と、

20

該アナログ信号を受信する第 2 の受信器 (125) とからなることを特徴とする波長分割多重 (WDM) システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、シングルモード光ファイバシステムに関し、特にこのようなシステム上で波長分割多重化 (WDM) のシステムに関する。

【背景技術】

【0002】

分散とは、ガラスのような分散機能を有する媒体内を異なる波長が異なる速度でもって伝播する現象を言う。変調キャリア信号は、多くの波長を含むためにガラス製の光ファイバの遠端から放射された光学信号が近端に入射する際ににじむ (分散する) ようになる。線形分散の場合には、これは光ファイバルートにとって補償を周期的に与えることにより解決することができ、そしてこの補償を行う段は少ないほど好ましい。

30

【0003】

従来のシングルモード光ファイバシステムは、1285 nm と 1335 nm の間の波長領域で動作し、そして 1310 nm でゼロ分散波長を有する。しかし、このようなシステムで使用される光ファイバは、非線形の相互作用およびチャネル間の混合により近接した複数のキャリア波長を伝送するのにはあまり適していない。

【0004】

40

このような非線形現象のある限られた形態 (4 光子混合 (4-photon mixing = 4 PM)) は、例えば非特許文献 1 に記載されている。簡単に説明すると、4 PM は異なる信号チャネル間での建設的および破壊的な干渉に起因して利得あるいは損失が変動する現象として表れる。4 PM の大きさはパワーに依存し放射パワーを減少することにより減らすことができる。

【非特許文献 1】 D. Marcuse, A. Chraplyvy, R. Tkach 著の「Effect of Fiber Nonlinearity on Long-Distance Transmission」 (Journal of Lightwave Technology, vol. 9, No. 1, January 1991, pp.121-128)

【0005】

マルチチャネル光学システムは、光ファイバを最も効率的に使用することができ、波長

50

分割多重化装置を有し、この装置が近接した複数のチャネル（波長領域）を一伝送方向では1本のシングル光学パスに結合し、他の伝送方向ではこの光学パスからこれらのチャネルを分離している。従来のシングルモード光ファイバシステムは、 $1.55\mu\text{m}$ の波長領域でWDM動作を行うことができるが、補償しなければならない線形分散が多すぎる（例えば、 17ps/nm-km ）。例えば、50から100km毎に補償する必要がある、これは実際問題としては短すぎる。

【0006】

光ファイバの考え得る使用例は、あらゆるタイプのデジタル情報とアナログ情報を別個にあるいは一緒に伝送することを含む。ある使用例は、データ（例、インターネットトラフィック）とテレビ（TV）信号を伝送することを含み、これは通常振幅変調の縮退サイドバンド（AM-VSB）変調を利用している。アナログ信号は、本来的にノイズに対し敏感であり、そしてノイズはTVの画像で容易に観測しうる。特にWDM信号のような複数の波長を1本のファイバで伝送する場合には、励起ラマン散乱（stimulated Raman scattering = SRS）によりWDM信号から120nmも長い別の波長領域にエネルギーが伝播してしまう。現在のところWDM信号とアナログTV信号を同一の光ファイバで伝送するシステムは存在しない。

10

【0007】

非特許文献2によれば、完全にOHのない光ファイバ（紫外線から赤外線までの損失スペクトラムにおいて、いかなる波長においてもOHイオンに起因する損失ピークが存在しないもの）が将来必要とされ、このような光ファイバがWDMシステムの伝送媒体として重要な役目を担うことになる。しかし、上記の文献は、このような光ファイバの分散特性に関する情報は開示されておらず、また光ファイバの利用可能な損失スペクトラム内での光学チャネルの割当てに関しても記載されていない。

20

【非特許文献2】「Fabrication Of Completely OH-Free V.A.D. Fiber」（in Electronics Letters, August 28, 1980 Vol. 16 No. 19）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明の目的は、従来のシングルモードファイバシステム用に設計された装置と適合性を有し、WDM信号間での4PM干渉のないWDM操作が可能で、WDM信号とアナログTV信号間のSRS干渉を回避するような光学伝送システムを提供することである。

30

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明は、 $1.4\mu\text{m}$ の波長領域で複数のWDMチャネルを伝送するよう構成された光学通信システムでの従来システムの欠点を解決するものである。本発明のシステムは、 1385nm で低損失特性を有し、 1310nm でのゼロ分散波長（ λ_0 ）で、 $1.4\mu\text{m}$ 波長領域で $1.5-8.0\text{ps/nm-km}$ の線形分散を有する光ファイバを含む。

【発明の効果】

【0010】

この小さいがしかし重要な分散が4光子混合の影響を低減する。本発明の広義の概念においては、本発明は数多くの観測結果を反映したものである。即ち、（1）4光子混合は、WDMシステムの設計に際し考慮しなければならない関連機構であること。（2）WDMチャネルからの励起ラマン散乱は 1550nm におけるアナログ信号の伝送に悪影響を及ぼすこと。（3）好ましくは、新たなWDMシステムは、従来のシングルモードファイバシステムで使用される装置と置換可能と適合性を有しなければならない。

40

【0011】

本発明の効果としては、 $1.4\mu\text{m}$ 波長領域に、WDMチャネルを配置することにより 1310nm と 1550nm の波長領域は、これらの領域の従来装置により利用可能となる。

【0012】

50

本発明の他の利点としては、 $1.4\ \mu\text{m}$ 波長領域にWDMチャネルを配置することにより、分散は、 $8\ \text{ps}/\text{nm}\cdot\text{km}$ 以下となり、 $200\ \text{km}$ 以下の大部分の市街地での光学伝送システムでは分散補償は必要となくなる。

【0013】

本発明のさらに別の利点としては、 $1.4\ \mu\text{m}$ の波長領域にWDMチャネルを配置することにより、 $1550\ \text{nm}$ で動作するアナログ信号（テレビ放送用）をSRSのノイズから保護するためのバッファ波長領域（約 $120\ \text{nm}$ ）が存在する。

【0014】

本発明の一実施例では、ラマン増幅器を $1.4\ \mu\text{m}$ 領域でのWDMチャネルの増幅用に用い、その際エルビウムドープの増幅器が $1.55\ \mu\text{m}$ 領域で動作するチャネルの増幅に用いられる。 10

【0015】

用語の説明

従来のシングルモードのガラス製光ファイバで、その特徴は、波長が $1310\ \text{nm}$ のときに分散がゼロ（0）で、波長が $1550\ \text{nm}$ のときに損失が最小で、 $1385\ \text{nm}$ での損失が高い領域が水酸基（OH）イオンが原因である光学エネルギーの吸収となるものである。

分散－単独で用いられた場合には、この用語は色素分散を意味し、キャリアスペクトラム内の波長依存性の速度に起因する線形効果を意味する。

【0016】

スパン－再生機を有しない光ファイバの長さを意味する。この長さは、光学増幅器を含むことがあるが、これは電子の形態への信号の変換あるいは電子の形態からの信号の変換が行われるステーション間の距離である（通常最も近い信号再生機間の距離）。このスパンは、全体のシステムを規定し、さらに別のスパンと組み合わせることもできる。

平均システム波長－WDMチャネルのグループのキャリア周波数の算術平均で決定される特定の波長を意味する。

【0017】

波長領域－波長の特定の領域に対する短縮表現である。本明細書において、 $1.3\ \mu\text{m}$ の波長領域は、 $1285\ \text{nm}$ と $1335\ \text{nm}$ の間の波長を含む。 $1.4\ \mu\text{m}$ の波長領域は、 $1335\ \text{nm}$ と $1435\ \text{nm}$ との間の波長領域を含む。 $1.55\ \mu\text{m}$ 波長領域は、 $1500\ \text{nm}$ と $1600\ \text{nm}$ の間の波長を含む。 30

WDM－波長分割多重化。異なる中心波長を有する複数の通信チャネルが光ファイバのような1本の信号伝送パスに結合される状況を表す。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

図1には本発明の高容量の光ファイバネットワーク100を示す。重要な点は、複数の波長分割多重化（WDM）チャネルは $1.4\ \mu\text{m}$ 波長領域（即ち、 $1335\text{--}1435\ \text{nm}$ ）で動作する点である。さらにまた、このWDMチャネルは、 $1.3\ \mu\text{m}$ 波長領域（即ち、 $1285\text{--}1335\ \text{nm}$ ）で動作するアナログCATV信号と、 $1.55\ \mu\text{m}$ 波長領域（即ち、 $1500\text{--}1600\ \text{nm}$ ）で動作する他のWDMチャネルと光ファイバを共有している。 40

【0019】

図にはキャリア波長（ λ_{11} ， λ_{12} ， λ_{13} ， λ_{14} ）を有する4本の高速データチャネルが示されており、各キャリアは、 $10\ \text{Gb}/\text{s}$ のデータレートで送信器111で変調される。このようなチャネルは、電話，データ，画像を含む大量のデジタル信号を送信できる。これらのチャネルは、 $1400\ \text{nm}$ を中心に $100\ \text{GHz}$ の中心間チャネルスペースを有するよう示されている。

【0020】

同図には4本のチャネルが示されているが、これ以上の数のチャネルあるいはこれ以下の数のチャネルも使用することができる。さらにまた、チャネルスペースは、増幅器のバ 50

ンド幅およびマルチプレクサとディマルチプレクサのような装置の入手製および／または価格に基づいてネットワークの設計者により決定されるように100GHz以上あるいはそれ以下でもよい。送信器111-1は、10Gb/sのレートで入力データを受信し、コヒーレントな光ソースを変調し、その公称波長 λ_{11} は1400nmである。その後この光学信号は、光学マルチプレクサ112に入力され、そのタスクは異なる波長を有する複数の入力を1本の出力ポート110上に結合することである。

【0021】

さらにまた16本のデジタルチャネルが1.55 μ m波長領域で示されており、各チャネルは2.5Gb/sのレートで送信器121内で変調されたキャリア信号を含む。このチャネルは、電話とデータと画像を含むデジタル情報を伝送するためのものである。これらのチャネルは、1550nmを中心に分散しており、1550nmで0.8nmに対応する100GHzのキャリアスペースを有する。

10

【0022】

同図には16本のチャネルが示されているが、これ以上の数のチャネルあるいはこれ以下の数のチャネルも使用することができる。さらにまたチャネルスペースは、増幅器のバンド幅およびマルチプレクサとディマルチプレクサのような装置の入手製および／または価格に基づいて、ネットワークの設計者により決定されるように100GHz以上あるいは以下でもよい。その後送信器121からの光学信号は、光学マルチプレクサ122に入力され、そのタスクは異なる波長を有する複数の入力を1本の出力ポート210上に結合することである。

20

【0023】

光学多重化と分離化は、光学グレーティング（即ち、複数の並列導波路で隣の導波路とそれぞれ所定量だけ長さが異なる）に接続された一対のスターカプラを介して行われる。このような装置の例は、特許文献1乃至3に開示されている。

【特許文献1】米国特許第5,002,350号

【特許文献2】米国特許第5,136,671号

【特許文献3】米国特許第5,412,744号

【0024】

光学送信の位置方向においては、マルチプレクサは複数の別々の波長（ λ_{11} , λ_{12} , $\dots$, λ_{1n} ）が1個のスターカプラの別々の入力ポートに入射され、そして他のスターカプラの1本の出力ポートから放出されるようなマルチプレクサとして用いることができる。光学伝送の他の方向においては、マルチプレクサは、複数の異なる波長がスターカプラの1個のポートに入射され、それぞれの波長にしたがって他のスターカプラの複数のポートから放射されるようなディマルチプレクサとして機能する。

30

【0025】

ネットワーク100における送信器（101, 111, 121）と受信機（105, 115, 125）との間の距離によっては光学信号を増幅する必要がある。光学増幅器は再生機が好ましい。その理由は再生機は電子的増幅を行うために、光学信号を電気信号に変換しそしてその後再び光学信号に戻すことをせずに直接光学信号を増幅するからである。

【0026】

好ましくはラマン増幅器103, 113が、1.3と1.4 μ mの波長領域で用いられ、エルビウム増幅器123が1.55 μ m領域で用いられる。しかし、ラマン増幅器は、ネットワーク100内の全ての波長で用いることもできる。ラマン増幅器は、25-30nmの利用可能バンド幅を有し（これに関しては、特許文献4を参照のこと）、これは本発明での使用に適したものである。

40

【特許文献4】米国特許第5,623,508号

【0027】

さらにまたラマン増幅器は、バンド幅を増加させるような並列構成で配置することができる。実際のところかなりの努力が多段の非常に広い光学増幅器の設計に向けられている。非特許文献3を参照のこと。半導体光学増幅器も全ての関連波長で低コストで本発明で

50

用いることができるが性能は落ちる。

【非特許文献3】M. Yamada et al著の論文 (vol. 33, No. 8, Electronics Letters, on April 10, 1997, pp. 710-711)

【0028】

3つの異なる波長領域における光学信号を組み合わせることは、粗WDM (CWDM) 131により行うことができる。このCWDM 131における「粗(coarse)」とはWDMチャネルの組の近接したチャネルを受け入れるルータから分別するためのものである。粗WDM 131は、1.3 μm 領域と1.4 μm 領域と1.55 μm 領域の光学信号を1本の光ファイバ130に結合する。

【0029】

マッハツェンダー干渉系が粗WDM 131を構成するのに用いられるのに適したものである。光ファイバ130はシングルモード光ファイバを含み、その損失と分散特性は図3に示した通りである。光ファイバ130の構造と特性については、後述するがこの光ファイバ130は再生あるいは分散の補償を行うことなく長さLだけ延びることができる。

【0030】

大部分の光学デバイスは双方向性であり、図1に示されたネットワーク100は、対称であるので右半分の動作は容易に推論することができる。例えば、CWDM 132は1.3 μm 領域の波長を受信機105に向け、1.4 μm 領域の波長をディマルチプレクサ114に、そして1.55 μm 領域の波長をディマルチプレクサ124に向ける。同様にディマルチプレクサ114は入力ポート140上の光学信号を波長に従った特定の出力ポート 20

【0031】

これはキャリア波長 λ_{11} を有する10Gb/sのチャネルの1つの出力ポートに経路指定し、キャリア波長 λ_{12} を有する別の10Gb/sのチャネルを別の出力ポートに経路指定するものである。そして10Gb/sチャネルの各々は、受信機115に分配され、そこで光学信号から電気信号に復調し変換する。図1の下部は、1.55 μm 領域の伝送を取り扱っており、そこでは16本のチャネルが送信器121から受信機125に送信される。この波長領域においては、エルビウム増幅器123が好ましい。

【0032】

光学マルチプレクサ122とディマルチプレクサ124は、機能的に上記の光学マルチプレクサ112とディマルチプレクサ114に類似する。図においては送信器121と受信機125は、2.5Gb/sのレートでデジタル情報を通信する。送信器(101, 111, 121)、受信機(105, 115, 125)、マルチプレクサ(112, 122)、ディマルチプレクサ(114, 124)は当業者に公知のものである。

【0033】

ネットワーク100内の光ファイバ130のスペンは、10Gb/sのビットレートで分散補償を必要とせずに200kmもの長さである点は本発明の大きな利点である。これが可能な理由は、光ファイバ130の分散は1.4 μm 波長領域では8.0ps/nm-km以下であり、また1.55 μm 領域におけるWDMチャネルのデータレートは2.5Gb/s以下だからである。このような距離は市街のネットワークのほとんど全てをカバーするのに十分の長さである。

【0034】

図2は、最大100Gb/sの速度で動作する1.4 μm 波長領域におけるWDMチャネルと、1.55 μm 波長領域のアナログCATVチャネルとを有する高容量光ファイバネットワーク200の第2実施例である。ネットワーク200内で用いられる素子は、ネットワーク100内で使用されたそれとほぼ同一である。ただし送信器141と受信機145は振幅変調の縮退サイドバンド(AM-VSB)変調を用いた1.55 μm 領域のTV用放送信号を送受信するものに適したものである。

【0035】

AM-VSBアナログ変調は、不正信号が追加された場合にはTVピクチャーの画像が 50

10

20

30

40

50

劣化する点でノイズに対し感受性が高い（ノイズに弱い）。図2は、放送用TV信号と共にデジタル伝送の多くの光学信号を搬送する技術を開示したもので、同図においては、TV光学チャネルはSuper Head Endから広い分散の好ましい波長（即ち、1550nm）である。

【0036】

複数の波長を1本の光ファイバ上で伝送する場合には、ある波長から別の波長に信号エネルギーを伝播する非線形のメカニズムがいくつかある。これらのメカニズムのうちの1つは、励起ラマン散乱であり、これは特に1本の光ファイバ上で搬送される複数の波長がある場合に、励起ラマン散乱（SR S）はエネルギーをより高い波長に伝播する手段を与えるために特に問題である。以下の議論は非特許文献4の抜粋である。

10

【非特許文献4】Kaminow及びKochの「Optical Fiber Telecommunications IIIA」の第139頁乃至第248頁

【0037】

励起ラマン散乱（SR S）は、光の振動と分子の振動の間の非線形のパラメトリック相互作用である。1本の光ファイバに入射された光は、部分的に散乱され、周波数がダウンシフトする。光学周波数のこの変化は、分子振動周波数に対応する。励起ラマン散乱（SR S）は、励起ブリリアン散乱（SB S）に類似するが、順方向あるいは逆方向の何れかで起きる。

【0038】

ラマンゲイン係数は、ブリリアンゲイン係数よりも約3桁小さく、その結果単一チャネルシステムにおいては、SR Sのしきい値は、SB Sのしきい値よりも約3桁大きい。しかしSR Sのゲインバンド幅は12THz、即ち120nmのオーダーであり、SB Sのそれよりも遙かに大きい。このSR Sは、WDMシステム内の別々のチャネルを結合させ、その結果クロストークを引き起こす。

20

【0039】

同文献の図7を参照すると、同図は溶融シリカ製のファイバ内のラマンゲインを示す。WDMシステムにおいては、SR Sに起因してより長い波長の信号は、より短い波長の信号により増幅され、これによりより短信号における劣化と長波長におけるノイズを引き起こす。SR Sは、最大140nmで分離された波長のチャネルを結合するが、120nmを超えると大幅に小さくなる。

30

【0040】

高密度WDM伝送システムに対し好ましい方法として、そして最っも効率的なものとして多数の波長を搬送する信号が存在する場合には、これらの信号は、累積的に最大120nmだけ長い波長上で搬送される信号にエネルギーを与える。図2に示すように、1.55μm領域内で伝播するAM-VSB信号にとっては、このことは1430nmと1550nmの間の波長上のいかなる信号もエネルギーをAM-VSB信号に与えそれを劣化させることを意味する。その結果、一方では放送用TV信号はできるだけ分離しなければならない、他方ではできるだけ多くの活性波長用の光ファイバを開発する必要がある。

【0041】

図3は、本発明で使用されるのに適した光ファイバの線形分散（303）と伝送損失（301）の特性を示す。ここに示された波長領域における損失は、主にレイリー散乱と水酸基イオン（OH）吸収に起因する。レイリー散乱とは、光ファイバの材料内での密度と組成の変動から生じる現象である。レイリー散乱は、 $1/\lambda^4$ に比例する。ここでλは光の波長である。

40

【0042】

光ファイバの損失に下限を設定することが重要である。例えば、1.4μm領域における損失は、ガラス内に存在するOHイオンの数で決定される。このような損失は、異なる振動モードに関連する波長におけるOHイオンにより吸収される光波エネルギーから生ずる。そのため1.4μm領域内における動作は、長距離光学伝送（即ち、10km以上）に対しては、除外されるが、その理由はOHイオンによるエネルギー吸収に起因する損失のため

50

めである。

【0043】

この損失は、図3に示すようにウォーター（水分）ピーク302で、これは従来のガラス製ファイバのものである。このような損失は本発明で使用するガラス製ファイバでは表れない。本発明で使用するのに適した光ファイバの仕様を示す。しかし、本発明で受け入れ可能な光ファイバの全体の範囲を規定するものでなく、単なる説明のためのものである。

【0044】

代表的な光ファイバの仕様

最大減衰：

1310nm 0.35-0.40 dB/km

1385nm 0.31 dB/km

1550nm 0.21-0.25 dB/km

モードフィールド直径：

1310nm 9.3±0.5 μm

1550nm 10.5±1.0 μm

コア／クラッド層の非同心性 < 0.6 μm

クラッド層の直径 125±1.0 μm

カットオフ波長 < 1260 nm

ゼロ分散波長 1300-1322 nm

分散 > 0.8 ps/nm-km (1335-1435 nm)

分散傾斜 < 0.092 ps/nm²-km (最大)

マイクロベンディング 1550nmで< 0.5 dB (直径32mmで1回転)

マイクロベンディング 1550nmで< 0.05 dB (直径75mmで100回転)

コーティング層の直径 245±10 μm

引っ張り強度 100 kpsi

【0045】

本発明は1.4 μm波長領域で低損失の光ファイバを用いている。ここで低損失とは、光学信号が受ける減衰量が従来のシングルモード光ファイバに比較して大幅に低いものを意味する。このような光ファイバの製造方法を次に説明する。

【0046】

図4は、1385nmで低損失を有する光ファイバの製造方法のステップを示す。最初の3つのステップ(41-43)は、ガラス製のチューブで被覆するOH含有量が低い(即ち、0.8 ppb以下の)コアロッドの製造に関連する。したがって最初の3つのステップは、クラッド層／コアの比率が7.5以下で、OH含有量が0.8 ppb以下のコアロッドを形成する単一のステップで置換することができる。好ましくはコアロッドは以下に説明するように、ステップ41で示す気相軸方向堆積(Vapor Axial Deposition=VAD)プロセスにより形成される。

【0047】

コアロッドの製造

図5を参照して、ガラス製粒子即ち「スート」がシリカ製のスターティングロッド上に堆積されるVADプロセスを説明する。コアロッド50はコア51を有し、このコア51の屈折率はクラッド層52の屈折率よりも大きい。光は屈折率の大きい領域の方向に曲がり、これは光ファイバの中心軸に沿って光を導波する物理学の法則である。高屈折率の領域を形成するためにトーチ501に燃料(例、酸素と水素)と原材料(例、GeCl₄とSiCl₄)を供給し、そのトーチで火炎内に蒸気となった原材料をガラスロッドの中心方向に向けて流す。

10

20

30

40

50

【0048】

このフレームにより原材料が反応してコアロッド50の上にガラス粒子（スート＝すす）を堆積する。コアロッドは、最初の堆積場所はその上端で垂直方向に延びている。そして垂直方向の上方に回転しながら動かし、その結果ガラス製スートが長さ方向全体とその周囲に沿って堆積される。別のトーチ502を用いてコア51の上にクラッド層52を堆積する。クラッド層52を形成するためにトーチ502内で用いられる原材料は、例えばSiCl₄である。コア51のGeドーピングは、クラッド層よりも大きな屈折率を有するコアを形成する1つの方法である。

【0049】

別法として、堆積したクラッド層にフッ素をドーピングしてコアよりも低い屈折率のクラッド層を形成するために、SiCl₄はコア51を形成するのに用いられる原材料である。このような状況において、例えばSF₆、CCl₂F₂、CF₄のようなフッ化物をクラッド層用のトーチ502内でSiCl₄と混合する。様々な光ファイバの製造方法の詳細は、非特許文献5に記載されている。特にセクション4.4.4（169-180頁）は、VADプロセスを取り扱っている。

【非特許文献5】Chapter 4 in 「Optical Fiber Telecommunications II」 (Academic Press, Inc., (C) 1988 AT&T and Bell Communications Research, Inc.)

【0050】

上記のVADプロセスにおいては、堆積したクラッド層の直径(D)は、コアの直径(d)の7.5倍以下である。コアロッドの形成は、高価なプロセスであるのでコアロッドの製造に対し時間を節約することは、光ファイバの低コスト化に直接結びつく。実際コアロッドに必要なVAD体積の量は $(D/d)^2$ に比例する。コアロッドのD/dが小さくなると、オーバクラッド層のチューブの純粋性の必要も大きくなる。

【0051】

D/dを減らすことにより、光ファイバ内の光学パワーは、オーバクラッドチューブ内を伝播し、そしてOHイオンのような不純物によりさらに吸収損失が増える。これはOHイオンは移動性であり、光ファイバを引き抜く動作中に特にコアの方向に移動するためである。そしてさらに悪いことにOHイオンは、水素に分解し、そしてこの水素はOHそのものよりも遙かに移動性が高く、その結果光ファイバを引き抜き作業中に光ファイバのコア内に拡散する。

【0052】

光ファイバのコア内の水素と原子欠陥との間の反応によりOHイオンがそこに形成される。クラッド層／コアの比率が2.0以下のコアロッドは、異常に低いOH含有量を有するオーバクラッドチューブを必要とし、これは現在のところコスト的に合うものではない。したがって堆積したクラッド層／コアの比率の実際的な範囲としては $2.0 < D/d < 7.5$ である。

【0053】

図4のステップ42は、約1200℃の温度で塩素またはフッ素含有雰囲気中にコアロッドを配置することにより脱水素化を行うことを示す。このステップにおいては、コアロッドは多孔性のスートボディであり、例えば塩素ガスがこのスートボディの光子内に容易に入り込みOHイオンを塩素イオンで置換し、その結果殆ど水分のないスートボディが得られる。このOHイオンの置換速度は、塩素ガスの流速と脱水素化の温度に関連する。

【0054】

図4のステップ43は、コアロッドを温度が1500℃でヘリウム雰囲気中に配置することにより合体強化することを意味する。このステップにおける合体強化は、多孔質のスートロッドを粒子境界のない高密度のガラスに変換することである。この脱水素化ステップと合体強化ステップの詳細は、特許文献5に開示されている。

【特許文献5】米国特許第3,933,454号

【0055】

図4のステップ44は、コアロッドは酸素-水素トーチを用いて細長くすることを示す

。これは、このステップに必要とされる大量の熱を供給する最も対コスト比の良いものである。別法としてこのステップは、以下に説明するような水素のないプラズマトーチを用いて行われる。そしてこれによりエッチング（ステップ４５）が必要でなくなる。通常、VADプロセスにより成長したコアロッドは、適当な大きさのオーバクラッドチューブに適合させるのには大きすぎ、通常挿入する前にその直径を減らすように引き延ばす。

【００５６】

引き延ばしは、ガラス製の旋盤上で行われ、そしてその構造は公知である。このコアロッドを回転させるために、旋盤上のヘッドストックとテイルストックとの間に搭載する。コアロッドが回転するにつれて、トーチは一定の速度で中心軸に沿ってヘッドストックの方向に移動させる。トーチを移動させるのと同時にテイルストックをヘッドストックの方から離すように動かし、これによりコアロッドを引き延ばして直径を小さくする。

【００５７】

水素と酸素のような爆発性のガスをそれぞれ３０リットル／分（１ｐｍ）と１５１ｐｍの流速でトーチ内に流す。水素の使用が商業的には一般的であり、これによりコアロッドの表面上にOH層が形成される。コアロッドの引き延ばしは、従来公知のもので、例えば、特許文献６に開示されている。

【特許文献６】米国特許第４，５７８，１０１号

【００５８】

コアロッドのエッチング

ステップ４５は、細長い状態のコアロッドを水素のないプラズマトーチでもってエッチングする。プラズマによるエッチングプロセスの詳細を次に述べる。他のエッチング技術を用いてコアロッドの表面からOHイオンを除去することができるが、これらの他のエッチング技術が例えば機械的研磨、化学的エッチングを含む。

【００５９】

等温プラズマは、シリカとシリケートガラスをガラスロッドの外部表面から高速で除去する（エッチングする）のに用いることができる（これに関しては、特許文献７を参照のこと）。等温プラズマトーチを用いる際の、材料除去の主なメカニズムは、プラズマの高温（通常、プラズマの中心部の９０００℃以上のレベルに達する）に起因する蒸気化である。導電性のファイヤボールを耐火性の誘電体表面に接触させることにより、エネルギーを表面に移動させ表面温度を誘電体材料の気化温度以上にさせる。

【特許文献７】米国特許第５，０００，７７１号

【００６０】

光ファイバの全体コストは、より大きなオーバクラッドチューブを用いることにより下げることができる。好ましくはこのオーバクラッドチューブは合成シリカを含み、これは高純度／低減衰／高引っ張り強度を有する。オーバクラッドチューブの純粋性がコアに近づくにつれてチューブを配置できるかを決定する。ステップ４６は、コアロッドが十分に低レベルのOHしか有さないガラス製チューブで被覆することであり、これはD／dの値が小さくなればなるほどチューブの純粋性は高くなる（即ち、そのOHの含有量は低い必要がある）。例えば、以下の表は、オーバクラッドチューブ内の様々なOH濃度レベルを示し、そしてこれらは本発明で使用するのに十分低いものである。

【００６１】

D／d	OH濃度
7. 5	< 200 ppm
5. 2	< 1. 0 ppm
4. 4	< 0. 5 ppm

【００６２】

図４のステップ４７は、ガラス製チューブをコアロッドの上にコラップスしてプリフォ

ーム60を形成した断面を図6に示す。コラップスは、オーバクラッドチューブ62を加熱するために、リング形状のトーチを用いて行われ、そしてこのオーバクラッドチューブ62はコアロッド50の包囲して垂直方向に延びる。このプロセスの詳細は、特許文献8に開示されている。最後に図4のステップ48は、光ファイバを加熱した（約2000℃）のプリフォームの端部から引き抜くプロセスを示す。

【特許文献8】米国特許第4,820,322号

【0063】

本発明は、図1,2に示した実施例とは別の多重化チャネルに適用できる。エルビウム増幅器またはラマン増幅器以外の半導体製の光学増幅器の使用およびWDMチャネルの均一でないスペーシングおよび本明細書で開示した以外のデータレートでの動作も本発明の 10 変形例にすぎない。

【図面の簡単な説明】

【0064】

【図1】最大10Gb/sの速度で動作する1.4μm波長領域内のWDMチャネルと、最大2.5Gb/sの速度で動作する1.55μm波長領域内のWDMチャネルを含む高容量の光ファイバネットワークの第1実施例を表す図である。

【図2】最大10Gb/sの速度で動作する1.4μm波長領域内のWDMチャネルと、1.55μm波長領域内のアナログCATVチャネルを含む高容量の光ファイバネットワークの第2実施例を表す図である。

【図3】本発明で使用する光ファイバの色素（線形）分散と伝送損失を表すグラフである。 20

【図4】本発明で使用する光ファイバを製造するステップを表すフローチャート図である。

【図5】軸方向堆積プロセスによりコアロッドを製造する方法を表す図である。

【図6】本発明で使用するガラス製光ファイバを引き抜くのに用いられる光ファイバプリフォームの断面図である。

【図7】1500nmのポンプ波長での溶融シリカ用のラマンゲイン係数対周波数シフトの関係を表すグラフである。

【符号の説明】

【0065】

30

50 コアロッド

51 コア

52 クラッド層

501, 502 トーチ

60 プリフォーム

62 オーバクラッドチューブ

100, 200 高容量光ファイバネットワーク

101, 111, 121, 141 送信器

103, 113, 123 増幅器

105, 115, 125, 145 受信機

40

110, 210 出力ポート

112, 122 光学マルチプレクサ

114, 124 ディマルチプレクサ

130 光ファイバ

131, 132 粗WDM (CWDM)

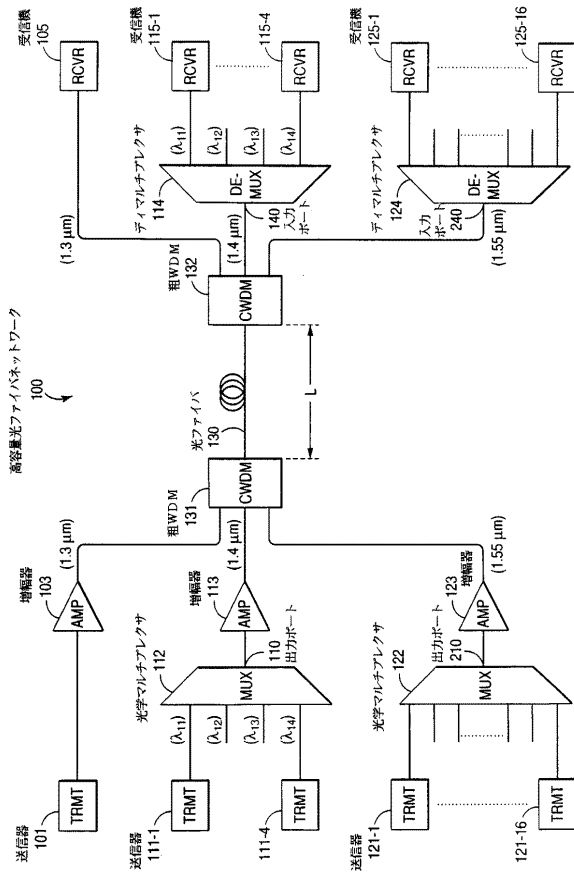
140, 240 入力ポート

301 損失

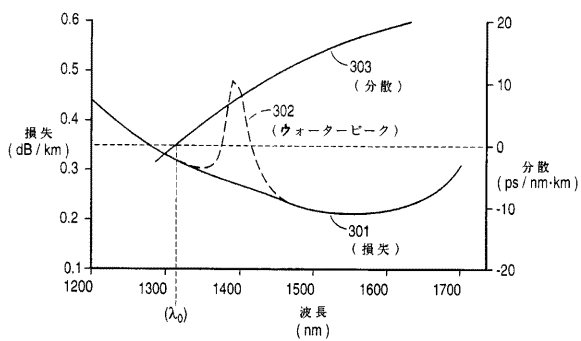
302 フォーターピーク

303 分散

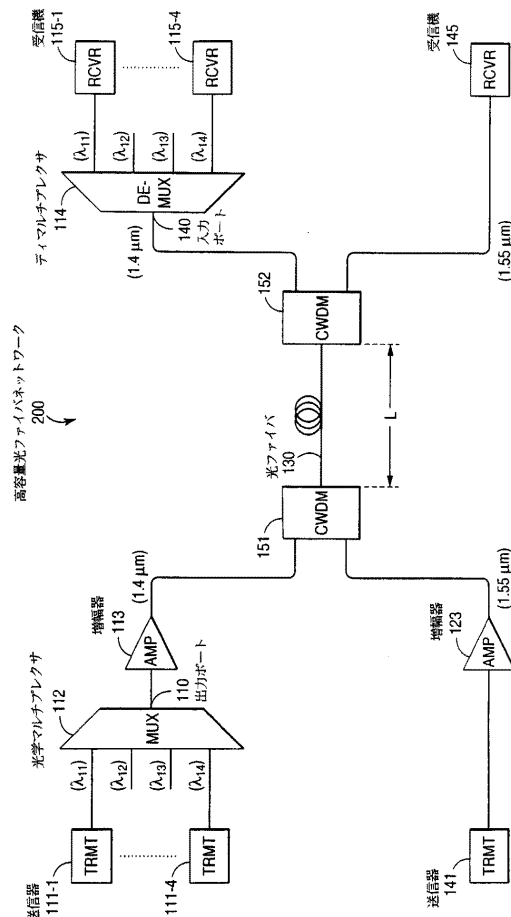
【図 1】



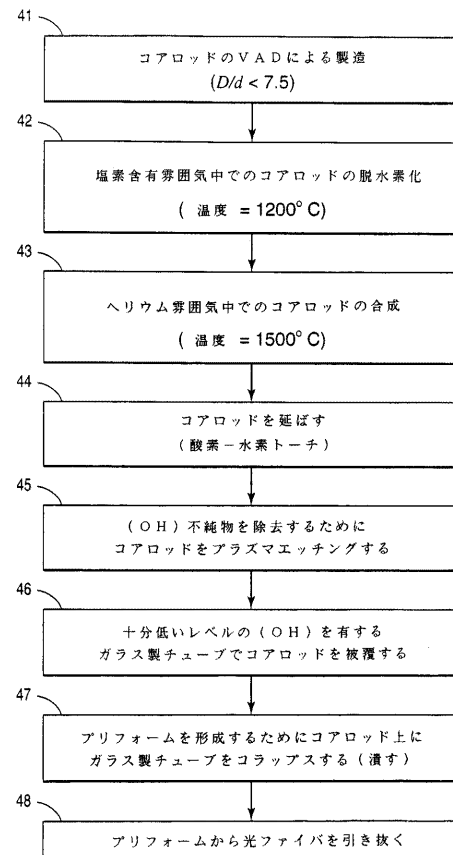
【図 3】



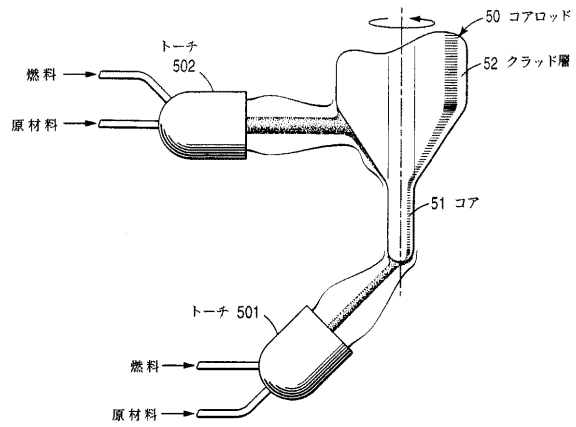
【図 2】



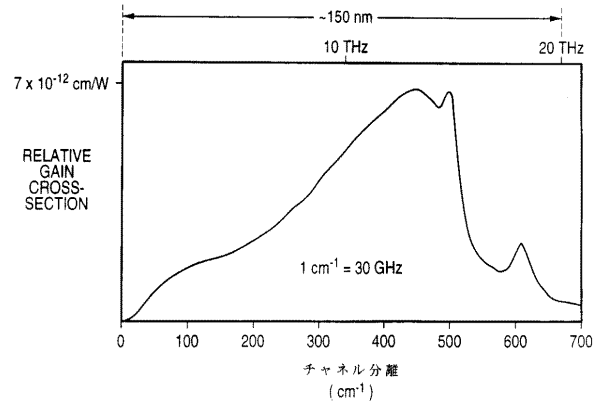
【図 4】



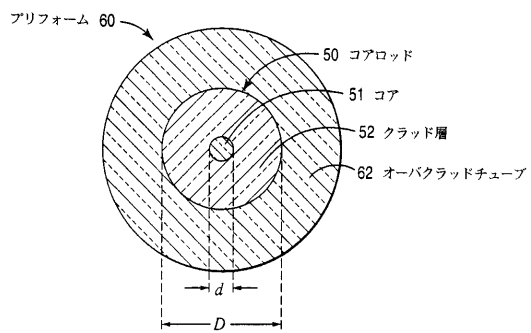
【図 5】



【図 7】



【図 6】



フロントページの続き

- (74)代理人 100091889
弁理士 藤野 育男
- (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 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
- (72)発明者 アンドリュー ローマン チュラプリヴィ
アメリカ合衆国、07747 ニュージャージー、マタワン、ソマーセット 32
- (72)発明者 バーナード レイモンド エイチェンバウム
アメリカ合衆国、07920 ニュージャージー、バスキング リッジ、ジュニファー ウェイ
18
- (72)発明者 ギャリー パトリック エメリー
アメリカ合衆国、07750 ニュージャージー、モンマウス ビーチ、メドウ アヴェニュー
9
- (72)発明者 ジャニス ビレッキー ヘーバー
アメリカ合衆国、30075 ジョージア、ロスウェル、リヴァー ブラフ パークウェイ 40
0
- (72)発明者 デヴィッド ケーリッシュ
アメリカ合衆国、30076 ジョージア、ロスウェル、トゥルーヘッジ トレース 330
- (72)発明者 レイモンド ブラッドフィールド
アメリカ合衆国、30247 ジョージア、リルバーン、フィンガー クリーク 3532
- Fターム(参考) 5K102 AA01 AB02 AD01 AH21 AH22 AH26 KA02 KA06 KA07 KA42
PA03 PA05