

(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2004-147199

(P2004-147199A)

(43) 公開日 平成16年5月20日(2004.5.20)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
H04B 10/16	H04B 9/00	5K102
H04B 10/17	H04B 9/00	
H04J 14/00		
H04J 14/02		

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2002-311412 (P2002-311412)	(71) 出願人	000002130 住友電気工業株式会社 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(22) 出願日	平成14年10月25日 (2002.10.25)	(74) 代理人	100088155 弁理士 長谷川 芳樹
		(74) 代理人	100089978 弁理士 塩田 辰也
		(74) 代理人	100092657 弁理士 寺崎 史朗
		(74) 代理人	100110582 弁理士 柴田 昌聰
		(72) 発明者	茂原 政一 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内

最終頁に続く

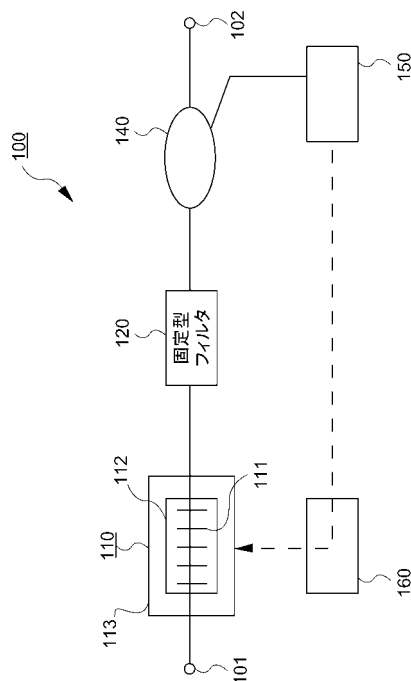
(54) 【発明の名称】 可変フィルタ、光増幅装置および光通信システム

(57) 【要約】

【課題】 所定波長帯域内の特定波長で利得の極大または極小が生じて極大値または極小値が変動するという光増幅部の利得スペクトルの変動に対して利得等化器として好適に用いられ得る可変フィルタを提供する。

【解決手段】 可変フィルタ100は、損失可変フィルタ110および固定型フィルタ120を備えている。損失可変フィルタ110は、所定波長帯域内の特定波長で損失が最大となる透過スペクトルを有しており、その損失の最大値が可変である。固定型フィルタ120は、特定波長で損失が最小となる透過スペクトルを有する。損失可変フィルタ110の透過スペクトルの損失の最大値の可変範囲内の何れかの値において、損失可変フィルタ110の透過スペクトルと固定型フィルタ120の透過スペクトルとを総合した全体の透過スペクトルが所定波長帯域内で透過率が略一定となる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

所定波長帯域内の特定波長で付与損失が最大となり、或る状態において第 1 透過スペクトルを有し、前記付与損失の最大値が可変である損失可変フィルタと、
前記損失可変フィルタと光学的に接続され、前記特定波長で付与損失が最小となる第 2 透過スペクトルを有する固定型フィルタと
を備え、
前記第 1 透過スペクトルと前記第 2 透過スペクトルとを総合した透過率が前記所定波長帯域内で略一定である
ことを特徴とする可変フィルタ。

10

【請求項 2】

所定波長帯域内で或る条件下で特定ピーク形状の透過スペクトルを有し、条件の変化に伴い前記特定ピーク形状を維持し、或る状態において第 1 透過スペクトルを有し、前記付与損失の最大値が可変である損失可変フィルタと、
前記損失可変フィルタと光学的に接続され、前記特定波長で付与損失が最小となる第 2 透過スペクトルを有する固定型フィルタと
を備え、
前記第 1 透過スペクトルと前記第 2 透過スペクトルとを総合した透過率が前記所定波長帯域内で略一定である
ことを特徴とする可変フィルタ。

20

【請求項 3】

前記損失可変フィルタまたは前記固定型フィルタと光学的に接続され、前記所定波長帯域内において損失傾斜が可変である損失傾斜可変フィルタを更に備えることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の可変フィルタ。

【請求項 4】

所定波長帯域内の信号光を光増幅する光増幅部と、
前記光増幅部と光学的に接続され、前記信号光に対して損失を付与する請求項 1 または 2 に記載の可変フィルタと、
前記可変フィルタの透過スペクトルを調整して、前記光増幅部および前記可変フィルタを含む利得を前記所定波長帯域内で一定となるように制御する制御部と
を備えることを特徴とする光増幅装置。

30

【請求項 5】

前記所定波長帯域内における前記全体の利得スペクトルの偏差が 1 . 5 d B 以下であることを特徴とする請求項 4 記載の光増幅装置。

【請求項 6】

前記所定波長帯域内における前記全体の利得スペクトルの偏差が 1 d B 以下であることを特徴とする請求項 4 記載の光増幅装置。

【請求項 7】

前記制御部が、信号光強度の波長依存性、入力信号光強度、入力信号光波数および温度のうち少なくとも 1 以上のものに基づいて、前記可変フィルタの透過スペクトルを調整する
ことを特徴とする請求項 4 記載の光増幅装置。

40

【請求項 8】

前記所定波長帯域が波長域 1 5 2 0 n m ~ 1 5 4 0 n m の全部または一部を含むことを特徴とする請求項 4 記載の光増幅装置。

【請求項 9】

請求項 4 記載の光増幅装置を含み、この光増幅装置により信号光を増幅して伝送することを特徴とする光通信システム。

【請求項 10】

請求項 4 記載の光増幅装置を複数含み、これら複数の光増幅装置により信号光を多段増幅して伝送することを特徴とする光通信システム。

50

【請求項 1 1】

信号光伝送経路上に設けられ所定波長帯域内の信号光を光増幅する複数の光増幅装置と、前記複数の光増幅装置と光学的に接続され、前記信号光に対して損失を付与する請求項 1 または 2 に記載の可変フィルタと、前記可変フィルタの透過スペクトルを調整して、前記複数の光増幅装置および前記可変フィルタを含む利得を前記所定波長帯域内で一定となるように制御する制御部とを備えることを特徴とする光通信システム。

【請求項 1 2】

前記制御部が、信号光強度の波長依存性、入力信号光強度、入力信号光波数および温度のうち少なくとも 1 以上のものに基づいて、前記可変フィルタの透過スペクトルを調整することを特徴とする請求項 1 1 記載の光通信システム。

10

【請求項 1 3】

前記所定波長帯域内における前記全体の利得スペクトルの偏差が 1 . 5 d B 以下であることを特徴とする請求項 1 1 記載の光通信システム。

【請求項 1 4】

前記所定波長帯域内における前記全体の利得スペクトルの偏差が 1 d B 以下であることを特徴とする請求項 1 1 記載の光通信システム。

【請求項 1 5】

前記所定波長帯域が波長域 1 5 2 0 n m ~ 1 5 4 0 n m の全部または一部を含むことを特徴とする請求項 1 1 記載の光通信システム。

20

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、透過スペクトルが可変である可変フィルタ、この可変フィルタを含む光増幅装置、および、この可変フィルタまたは光増幅装置を含む光通信システムに関するものである。

【0 0 0 2】

【従来技術】

光通信システムは、信号光を光ファイバ伝送路により伝送することで大容量の情報を高速に送受信することができる。特に、波長分割多重 (WDM: Wavelength Division Multiplexing) 光通信システムは、信号光波長帯域に含まれる多波長の信号光を多重化して伝送するものであって、更なる大容量化を図ることができる。また、光通信システムでは、光ファイバ伝送路により伝送される間に信号光が損失を被ることから、損失を補償するために信号光を光増幅する光増幅装置が設けられる。

30

【0 0 0 3】

光増幅装置としては、Er 元素が添加された増幅用光ファイバ (EDF: Erbium Doped Fiber) を光増幅媒体として用いる光ファイバ増幅器 (EDFA: Erbium Doped Fiber Amplifier) が知られている。この EDFA は、EDF に励起光 (波長 0 . 9 8 μ m 帯または 1 . 4 8 μ m 帯) を供給することで、EDF において波長 1 . 5 5 μ m 帯の多波長の信号光を一括して光増幅することができる。

40

【0 0 0 4】

また、光増幅装置は、光増幅媒体における利得スペクトルが信号光波長帯域で平坦でない場合があることから、利得スペクトルを等化する利得等化器を更に備えている (例えば非特許文献 1 および非特許文献 2 を参照)。すなわち、利得等化器の損失スペクトルは光増幅媒体の利得スペクトルと同様の形状のものでされており、光増幅装置の全体の利得スペクトルが信号光波長帯域で平坦とされる。

【0 0 0 5】

【非特許文献 1】

H . Nakaji , et al . , " Ultra - Wide Dynamic R 50

ange Erbium Doped Fiber Amplifiers Employing Variable Attenuation Slope Compensator", OAA2000, OWA2 (2000)

【非特許文献1】

H. J. Patrick, et al., "Analysis of the Resonance of Long Period Fiber Gratings to External Index of Refraction", Journal of Lightwave Technology, Vol. 16, No. 9, pp. 1606 - 1612 (1998)

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、上記のEDFの利得スペクトルは種々の要因（例えば、入力信号光強度、入力信号光波数、温度、など）により変動することが知られている。

【0007】

図11は、入力信号光強度が変動したときのEDFの利得スペクトルの変化の様子を示す図である。この図には、入力信号光強度が基準値（ $= 0$ ）であるときの利得スペクトルを基準として、入力信号光強度が3dBだけ大きい値（ $= +3.0$ dB）であるときの利得スペクトルの変化、および、入力信号光強度が3dBだけ小さい値（ $= -3.0$ dB）であるときの利得スペクトルの変化、それぞれが示されている。この図から判るように、波長1540nm以上の波長域では、利得が波長に対して略線型であって、その利得傾斜が入力信号光強度により変化している。一方、波長1540nm以下の波長域では、波長1530nm付近に利得の極大点または極小点が存在しており、入力信号光強度が増加した場合（ > 0 ）には利得の極小が生じ、入力信号光強度が減少した場合（ < 0 ）には利得の極大が生じている。

【0008】

図12は、ホールバーニングに因るEDFの利得スペクトルの変化の様子を示す図である（文献1「J. W. Sulhoff, et al., "Spectral-Hole Burning in Erbium-Doped Silica and Fluoride Fibers", IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 9, No. 19, pp. 1578 - 1579 (1997)」を参照）。この図に示されるように、ホールバーニングに因り波長1532nm付近に利得の極小が生じ、その極小値が変化する。

【0009】

図13は、温度が変動したときのEDFの利得スペクトルの変化の様子を示す図である。この図には、温度が8°Cであるときの利得スペクトルを基準として、温度が40°Cであるときの利得スペクトルの変化が示されている。この図から判るように、温度が高くなると、波長1533nm付近および1545nm付近それぞれに利得の極小が生じ、波長1565nm付近に利得の極大が生じる。

【0010】

図11の波長1540nm以上の波長域に示されるような利得スペクトルの変動に対しては、これを補償することができる利得等化器が知られている（文献2「H. Nakaji, et al., "Ultra-Wide Dynamic Range Erbium Doped Fiber Amplifiers Employing Variable Attenuation Slope Compensator", OAA'2000, OWA2, pp. 167 - 169 (2000)」を参照）。

【0011】

しかし、図11の波長1540nm以下の波長域、図12の波長1532nm付近の波長域、ならびに、図13の波長1533nm付近、波長1545nm付近および波長1565nm付近それぞれの波長域に示されるような、所定波長帯域内の特定波長で利得の極大または極小が生じて極大値または極小値が変動するという利得スペクトルの変動に対して

10

20

30

40

50

は、これを補償することができる利得等化器は知られていない。

【0012】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、所定波長帯域内の特定波長で利得の極大または極小が生じて極大値または極小値が変動するという光増幅部の利得スペクトルの変動に対して利得等化器として好適に用いられ得る可変フィルタ、この可変フィルタを利得等化器として含む光増幅装置、および、この可変フィルタまたは光増幅装置を含む光通信システムを提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る可変フィルタは、(1) 所定波長帯域内の特定波長で付与損失が最大となり、或る状態において第1透過スペクトルを有し、付与損失の最大値が可変である損失可変フィルタと、(2) 損失可変フィルタと光学的に接続され、特定波長で付与損失が最小となる第2透過スペクトルを有する固定型フィルタとを備えることを特徴とする。さらに、第1透過スペクトルと第2透過スペクトルとを総合した透過率が所定波長帯域内で略一定であることを特徴とする。

10

【0014】

本発明に係る可変フィルタは、(1) 所定波長帯域内で或る条件下で特定ピーク形状の透過スペクトルを有し、条件の変化に伴い特定ピーク形状を維持し、或る状態において第1透過スペクトルを有し、付与損失の最大値が可変である損失可変フィルタと、(2) 前記損失可変フィルタと光学的に接続され、前記特定波長で付与損失が最小となる第2透過スペクトルを有する固定型フィルタとを備えることを特徴とする。さらに、第1透過スペクトルと第2透過スペクトルとを総合した透過率が所定波長帯域内で略一定であることを特徴とする。

20

【0015】

本発明に係る可変フィルタの全体の透過スペクトルは、損失可変フィルタの第1透過スペクトルと固定型フィルタの第2透過スペクトルとを総合したものであり、第1透過スペクトルの損失の最大値の可変範囲内の何れかの値において、所定波長帯域内で透過率が略一定となっている。そして、損失可変フィルタの第1透過スペクトルは、所定波長帯域内の特定波長で付与損失が最大値となり、この付与損失の最大値が可変である。この損失可変フィルタの第1透過スペクトルの特定波長における損失の最大値が変化することにより、可変フィルタの全体の透過スペクトルは、所定波長帯域内の特定波長で透過率の極大または極小が生じて極大値または極小値が変動する。したがって、この可変フィルタは、所定波長帯域内の特定波長で利得の極大または極小が生じて極大値または極小値が変動するという光増幅部の利得スペクトルの変動に対して利得等化器として好適に用いられ得る。

30

【0016】

本発明に係る可変フィルタは、損失可変フィルタまたは固定型フィルタと光学的に接続され所定波長帯域内において損失傾斜が可変である損失傾斜可変フィルタを更に備えるのが好適である。この場合には、可変フィルタの全体の透過スペクトルは、損失可変フィルタの第1透過スペクトルと固定型フィルタの第2透過スペクトルと損失傾斜可変フィルタの透過スペクトルとを総合したものである。この可変フィルタの全体の透過スペクトルは、所定波長帯域内で全体として損失傾斜が生じ、これに加えて、所定波長帯域内の特定波長で透過率の極大または極小が生じて極大値または極小値が変動する。

40

【0017】

本発明に係る光増幅装置は、(1) 所定波長帯域内の信号光を光増幅する光増幅部と、(2) 光増幅部と光学的に接続され、信号光に対して損失を付与する上記の本発明に係る可変フィルタと、(3) 可変フィルタの透過スペクトルを調整して、光増幅部および可変フィルタを含む利得を所定波長帯域内で一定となるように制御する制御部とを備えることを特徴とする。また、利得等化器を更に備えるのも好適である。

【0018】

本発明に係る光増幅装置では、信号光は、光増幅部により光増幅され、可変フィルタによ

50

り損失を被る。この光増幅装置の全体の利得スペクトルは、光増幅部の利得スペクトルと可変フィルタの損失スペクトルとを総合したものである。或る条件下では、光増幅部の利得スペクトルは所定波長帯域において平坦とされている。しかし、他の条件下では、光増幅部の利得スペクトルは平坦性が損なわれる。このとき、可変フィルタに含まれる損失可変フィルタの透過スペクトルを調整することで、光増幅装置の全体の利得スペクトルを所定波長帯域において平坦とすることができる。

【0019】

また、本発明に係る光増幅装置は、制御部が、信号光強度の波長依存性、入力信号光強度、入力信号光波数および温度のうち少なくとも1以上のものに基づいて、可変フィルタの透過スペクトルを調整するのが好適である。この場合、可変フィルタの透過スペクトルは、入力信号光強度、入力信号光波数および温度のうち少なくとも1以上のものに基づいてフィードフォワード制御される。また、利得等化される所定波長帯域内において、光増幅装置の全体の利得スペクトルの偏差が1.5 dB以下であるのが好適であり、この偏差が1 dB以下であれば更に好適である。また、利得等化される所定波長帯域が波長域1520 nm ~ 1540 nmの全部または一部を含むのが好適である。

10

【0020】

本発明に係る光通信システムは、上記の本発明に係る光増幅装置を含み、この光増幅装置により信号光を増幅して伝送することを特徴とする。或いは、上記の本発明に係る光増幅装置を複数含み、これら複数の光増幅装置により信号光を多段増幅して伝送することを特徴とする。この光通信システムでは、上記の本発明に係る光増幅装置により信号光が増幅されて伝送されるので、高品質の信号光伝送が可能である。

20

【0021】

本発明に係る光通信システムは、(1) 信号光伝送経路上に設けられ所定波長帯域内の信号光を増幅する複数の光増幅装置と、(2) 複数の光増幅装置と光学的に接続され、信号光に対して損失を付与する上記の本発明に係る可変フィルタと、(3) 可変フィルタの透過スペクトルを調整して、複数の光増幅装置および可変フィルタを含む利得を所定波長帯域内で一定となるように制御する制御部とを備えることを特徴とする。この光通信システムでは、複数の光増幅装置それぞれにより信号光が増幅されるとともに、上記の本発明に係る可変フィルタにより波長に応じた損失が信号光に与えられて、全体の利得が所定波長帯域内で一定とされるので、高品質の信号光伝送が可能である。

30

【0022】

本発明に係る光通信システムは、制御部が、信号光強度の波長依存性、入力信号光強度、入力信号光波数および温度のうち少なくとも1以上のものに基づいて、可変フィルタの透過スペクトルを調整するのが好適である。利得等化される所定波長帯域内において、光増幅装置の全体の利得スペクトルの偏差が1.5 dB以下であるのが好適であり、この偏差が1 dB以下であれば更に好適である。また、利得等化される所定波長帯域が波長域1520 nm ~ 1540 nmの全部または一部を含むのが好適である。

【0023】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

40

【0024】

まず、本発明に係る可変フィルタの第1実施形態について説明する。図1は、第1実施形態に係る可変フィルタ100の構成図である。この図に示される可変フィルタ100は、入力端101から出力端102へ至る信号光伝送経路上に、損失可変フィルタ110、固定型フィルタ120および光カプラ140を順に備えており、また、光カプラ140に光学的に接続されたモニタ部150と、損失可変フィルタ110の透過スペクトルを調整する制御部160とを備えている。

【0025】

損失可変フィルタ110は、所定波長帯域内の特定波長で付与損失が最大となる透過スペ

50

クトルを有している。また、この損失可変フィルタ110は、その付与損失の最大値が可変であり、或いは、定波長帯域内で或る条件下で特定ピーク形状の透過スペクトルを有し、条件の変化に伴い特定ピーク形状を維持し、付与損失の最大値が可変である。

【0026】

損失可変フィルタ110は、光ファイバの長手方向に沿って長周期(数百 μm 程度)の格子間隔の回折格子が形成された長周期グレーティング111と、この長周期グレーティング111を浸漬するオイル112と、このオイル112の温度を調整するヒータ113とを有する。光ファイバの材料である石英ガラスの屈折率の温度依存性($5 \times 10^{-6} /$)より、オイル112の屈折率の温度依存性の方が1桁以上大きいことから、このように構成される損失可変フィルタ110は、ヒータ113による温度調整により、上述したよ

10

【0027】

固定型フィルタ120は、損失可変フィルタ110と光学的に接続され、特定波長で付与損失が最小となる透過スペクトルを有する。そして、損失可変フィルタ110の透過スペクトルの損失の最大値の可変範囲内の何れかの値において、損失可変フィルタ110の透過スペクトルと固定型フィルタ120の透過スペクトルとを総合した透過率が所定波長帯

20

【0028】

光カプラ140は、固定型フィルタ120より出力された信号光の一部を分岐してモニタ部150へ出力し、残部を出力端102へ出力する。モニタ部150は、光カプラ140より到達した信号光の強度または波数を検出し、その検出結果を表す検出信号を制御部160へ出力する。制御部160は、モニタ部150より出力された検出信号を入力して、これに基づいて、損失可変フィルタ110のヒータ113の温度を調整し、これにより、損失可変フィルタ110の透過スペクトルを調整する。或いは、制御部160は、可変フィルタ100の周辺の温度に基づいて、損失可変フィルタ110のヒータ113の温度を調整し、これにより、損失可変フィルタ110の透過スペクトルを調整するのも好適である。

30

【0029】

図2~図4は、第1実施形態に係る可変フィルタ100の透過スペクトルの説明図である。各図で、損失可変フィルタ110の透過スペクトル T_1 は、波長帯域1520nm~1550nm内の特定波長1530nmで損失が最大(透過率が最小)となっている。固定型フィルタ120の透過スペクトル T_2 は、波長帯域1520nm~1550nm内の特定波長1530nmで損失が最小(透過率が最大)となっている。可変フィルタ100の全体の透過スペクトル T_0 は、損失可変フィルタ110の透過スペクトル T_1 と固定型フィルタ120の透過スペクトル T_2 とを総合したものとなる。

【0030】

図2では、損失可変フィルタ110の透過スペクトル T_1 の損失の最大値が可変範囲内の所定値となっていて、可変フィルタ100の全体の透過スペクトル T_0 は所定波長帯域内で略一定となっている。図3では、損失可変フィルタ110の透過スペクトル T_1 の損失の最大値が上記所定値より大きくなっていて、可変フィルタ100の全体の透過スペクトル T_0 は特定波長1530nmで透過率が小さくなっている。逆に、図4では、損失可変フィルタ110の透過スペクトル T_1 の損失の最大値が上記所定値より小さくなっていて、可変フィルタ100の全体の透過スペクトル T_0 は特定波長1530nmで透過率が大きくなっている。

40

【0031】

次に、本発明に係る可変フィルタの第2実施形態について説明する。図5は、第2実施形

50

態に係る可変フィルタ100Aの構成図である。この図に示される可変フィルタ100Aは、入力端101から出力端102へ至る信号光伝送経路上に、損失可変フィルタ110、固定型フィルタ120、損失傾斜可変フィルタ130および光カプラ140を順に備えており、また、光カプラ140に光学的に接続されたモニタ部150と、損失可変フィルタ110の透過スペクトルを調整する制御部160とを備えている。この可変フィルタ100Aは、図1に示されたものと比較すると、損失傾斜可変フィルタ130を更に備えている点で相違する。損失傾斜可変フィルタ130の透過スペクトルは、所定波長帯域内において、損失が波長に対して略線型であって、損失傾斜が可変である。

【0032】

図6～図8は、第2実施形態に係る可変フィルタ100Aの透過スペクトルの説明図である。各図で、損失可変フィルタ110の透過スペクトル T_1 は、波長帯域1520nm～1570nm内の特定波長1530nmで損失が最大(透過率が最小)となっている。固定型フィルタ120の透過スペクトル T_2 は、波長帯域1520nm～1570nm内の特定波長1530nmで損失が最小(透過率が最大)となっている。損失傾斜可変フィルタ130の透過スペクトル T_3 は、波長帯域1520nm～1570nm内において損失が波長に対して略線型である。可変フィルタ100の全体の透過スペクトル T_0 は、損失可変フィルタ110の透過スペクトル T_1 と固定型フィルタ120の透過スペクトル T_2 と損失傾斜可変フィルタ130の透過スペクトル T_3 とを総合したものとなる。

【0033】

図6では、損失可変フィルタ110の透過スペクトル T_1 の損失の最大値が可変範囲内の所定値となっており、また、損失傾斜可変フィルタ130の透過スペクトル T_3 が平坦となっていて、可変フィルタ100の全体の透過スペクトル T_0 は所定波長帯域内で略一定となっている。

【0034】

図7では、損失可変フィルタ110の透過スペクトル T_1 の損失の最大値が上記所定値より大きくなっており、また、損失傾斜可変フィルタ130の透過スペクトル T_3 が右上がりとなっていて、可変フィルタ100の全体の透過スペクトル T_0 は、所定波長帯域内で全体としては右上がり(波長が長いほど透過率が大きい)となっていて、特定波長1530nmで透過率が小さくなっている。

【0035】

逆に、図8では、損失可変フィルタ110の透過スペクトル T_1 の損失の最大値が上記所定値より小さくなっており、また、損失傾斜可変フィルタ130の透過スペクトル T_3 が右下がりとなっていて、可変フィルタ100の全体の透過スペクトル T_0 は、所定波長帯域内で全体としては右下がり(波長が長いほど透過率が小さい)となっていて、特定波長1530nmで透過率が大きくなっている。

【0036】

次に、本発明に係る光増幅装置の実施形態について説明する。図9は、本実施形態に係る光増幅装置10の構成図である。この図に示される光増幅装置10は、入力端11から出力端12へ至る信号光伝送経路上に、光カプラ21、光増幅部としてのEDF22、利得等化器23および可変フィルタ100を順に備えており、また、光カプラ21に光学的に接続された励起光源24をも備えている。

【0037】

光カプラ21は、入力端11に入力した信号光と励起光源24より出力された励起光とを入力し、これらを合波してEDF22へ出力する。EDF22は、Er元素が添加された光ファイバであり、励起光が供給されることにより信号光を光増幅することができる。利得等化器23は、EDF22の利得を等化するものである。また、可変フィルタ100は、上述した本実施形態に係るものである。

【0038】

この光増幅装置10では、励起光源24より出力された励起光は、光カプラ21を経てEDF22に供給される。入力端11に入力した信号光は、光カプラ21を経てEDF22

10

20

30

40

50

に入力して、このEDF22において光増幅される。光増幅された信号光は、利得等化器23および可変フィルタ100それぞれにより波長に応じた損失が与えられて、出力端12より出力される。

【0039】

この光増幅装置10の全体の利得スペクトルは、EDF22の利得スペクトルと利得等化器23の損失スペクトルと可変フィルタ100の損失スペクトルとを総合したものとなる。或る条件下で、利得等化器23の損失スペクトルはEDF22の利得スペクトルを等化するように設定されており、両スペクトルを総合した利得スペクトルは所定波長帯域において平坦とされている。しかし、入力信号光強度、入力信号光波数または温度が変動すると、利得等化器23による利得等化の作用が不完全なものとなって、図11～図13に示されたように利得の平坦性が損なわれる。

10

【0040】

このとき、可変フィルタ100に含まれる損失可変フィルタ110の透過スペクトルを調整することで、光増幅装置10の全体の利得スペクトルを所定波長帯域において平坦とすることができる。図12または図13に示されるような利得変動に対しては、図2～図4に示されるような透過スペクトルの変化が可能な図1に示された可変フィルタ100が好適に用いられる。図11に示されるような利得変動に対しては、図6～図8に示されるような透過スペクトルの変化が可能な図5に示された可変フィルタ100Aが好適に用いられる。また、利得等化される所定波長帯域内において、光増幅装置10の全体の利得スペクトルの偏差が1.5dB以下であるのが好適であり、この偏差が1dB以下であれば更に好適である。また、利得等化される所定波長帯域が波長域1520nm～1540nmの全部または一部を含むのが好適である。これらの利得スペクトルの調整は、入力または出力の信号光強度の波長依存性をモニタして可変フィルタ100Aを制御することで精度が向上する。また、入力信号光強度、入力信号光波数および温度とスペクトルの変化との関係を予め把握しておくことで、これらをモニタすることでも制御が可能である。

20

【0041】

次に、本発明に係る光通信システムの実施形態について説明する。図10は、本実施形態に係る光通信システム1の構成図である。この図に示される光通信システム1は、信号光伝送経路上に設けられたN段(Nは2以上の整数)の光増幅装置30₁～30_Nおよび可変フィルタ100を備えている。光増幅装置30₁～30_Nそれぞれは、図9に示された構成から可変フィルタ100を除いた構成のものである。可変フィルタ100は、上述した本実施形態に係るものである。この光通信システム1では、信号光は、光増幅装置30₁～30_Nそれぞれにより光増幅された後に、可変フィルタ100により波長に応じた損失が与えられる。

30

【0042】

この光通信システム1の全体の利得スペクトルは、N段の光増幅装置30₁～30_Nそれぞれの利得スペクトルと可変フィルタ100の損失スペクトルとを総合したものとなる。或る条件下で、N段の光増幅装置30₁～30_Nそれぞれの利得スペクトルは所定波長帯域において平坦とされている。しかし、入力信号光強度、入力信号光波数または温度が変動すると、N段の光増幅装置30₁～30_Nそれぞれに含まれる利得等化器による利得等化の作用が不完全なものとなって、図11～図13に示されたように利得の平坦性が損なわれる。

40

【0043】

このとき、可変フィルタ100に含まれる損失可変フィルタ110の透過スペクトルを入力信号光強度の波長依存性に基づいて調整することで、光通信システム1の全体の利得スペクトルを所定波長帯域において平坦とすることができる。図12または図13に示されるような利得変動に対しては、図2～図4に示されるような透過スペクトルの変化が可能な図1に示された可変フィルタ100が好適に用いられる。図11に示されるような利得変動に対しては、図6～図8に示されるような透過スペクトルの変化が可能な図5に示された可変フィルタ100Aが好適に用いられる。また、利得等化される所定波長帯域内に

50

において、光通信システム 1 の全体の利得スペクトルの偏差が 1.5 dB 以下であるのが好適であり、この偏差が 1 dB 以下であれば更に好適である。また、利得等化される所定波長帯域が波長域 1520 nm ~ 1540 nm の全部または一部を含むのが好適である。

【0044】

本発明は、上記実施形態に限定されるものではなく、種々の変形が可能である。例えば、光通信システムは、1 または複数の光増幅装置 10 (図 9) を含み、この光増幅装置により信号光を光増幅して伝送するのも好適である。

【0045】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したとおり、本発明によれば、可変フィルタの全体の透過スペクトルは、損失可変フィルタの第 1 透過スペクトルと固定型フィルタの第 2 透過スペクトルとを総合したものであり、第 1 透過スペクトルの損失の最大値の可変範囲内の何れかの値において、所定波長帯域内で透過率が略一定となっている。そして、損失可変フィルタの第 1 透過スペクトルは、所定波長帯域内の特定波長で付与損失が最大値となり、この付与損失の最大値が可変である。この損失可変フィルタの第 1 透過スペクトルの特定波長における損失の最大値が変化することにより、可変フィルタの全体の透過スペクトルは、所定波長帯域内の特定波長で透過率の極大または極小が生じて極大値または極小値が変動する。したがって、この可変フィルタは、所定波長帯域内の特定波長で利得の極大または極小が生じて極大値または極小値が変動するという光増幅部の利得スペクトルの変動に対して利得等化器として好適に用いられ得る。

【図面の簡単な説明】

【図 1】第 1 実施形態に係る可変フィルタ 100 の構成図である。

【図 2】第 1 実施形態に係る可変フィルタ 100 の透過スペクトルの説明図である。

【図 3】第 1 実施形態に係る可変フィルタ 100 の透過スペクトルの説明図である。

【図 4】第 1 実施形態に係る可変フィルタ 100 の透過スペクトルの説明図である。

【図 5】第 2 実施形態に係る可変フィルタ 100A の構成図である。

【図 6】第 2 実施形態に係る可変フィルタ 100A の透過スペクトルの説明図である。

【図 7】第 2 実施形態に係る可変フィルタ 100A の透過スペクトルの説明図である。

【図 8】第 2 実施形態に係る可変フィルタ 100A の透過スペクトルの説明図である。

【図 9】本実施形態に係る光増幅装置 10 の構成図である。

【図 10】本実施形態に係る光通信システム 1 の構成図である。

【図 11】入力信号光強度が変動したときの EDF の利得スペクトルの変化の様子を示す図である。

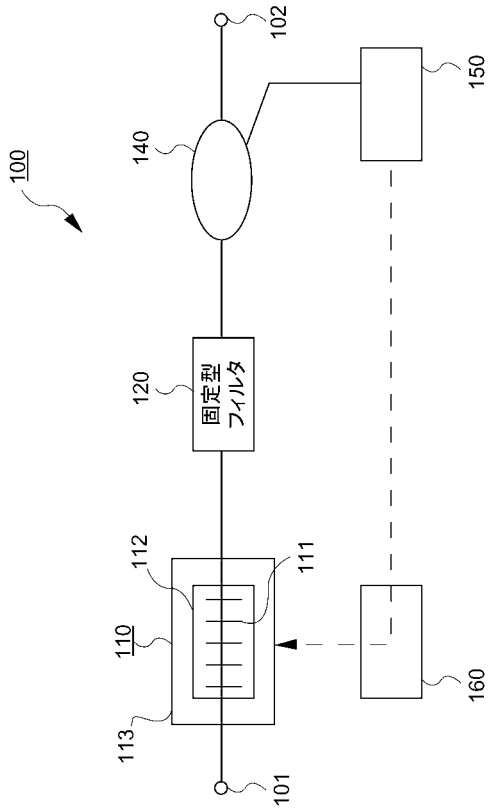
【図 12】ホールバーニングに因る EDF の利得スペクトルの変化の様子を示す図である。

【図 13】温度が変動したときの EDF の利得スペクトルの変化の様子を示す図である。

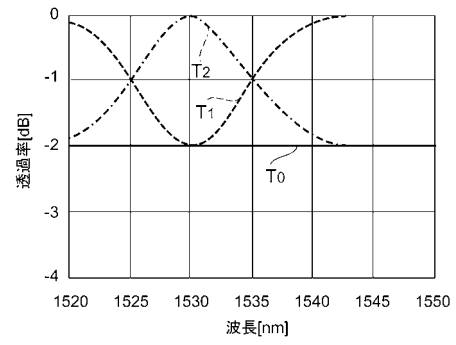
【符号の説明】

1 ... 光通信システム、10 ... 光増幅装置、21 ... 光カプラ、22 ... EDF、23 ... 利得等化器、24 ... 励起光源、30 ... 光増幅装置、100, 100A ... 可変フィルタ、110 ... 損失可変フィルタ、111 ... 長周期グレーティング、112 ... オイル、113 ... ヒータ、120 ... 固定型フィルタ、130 ... 損失傾斜可変フィルタ、140 ... 光カプラ、150 ... モニタ部、160 ... 制御部。

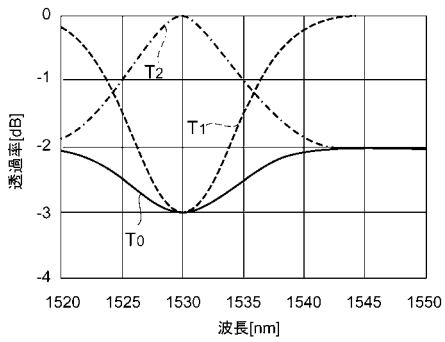
【 図 1 】



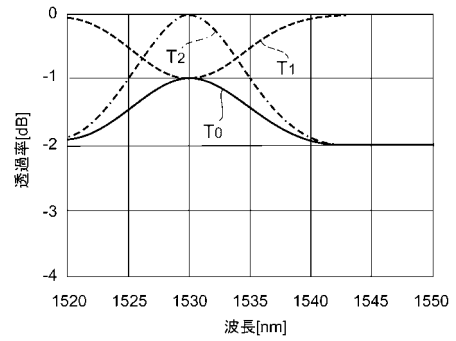
【 図 2 】



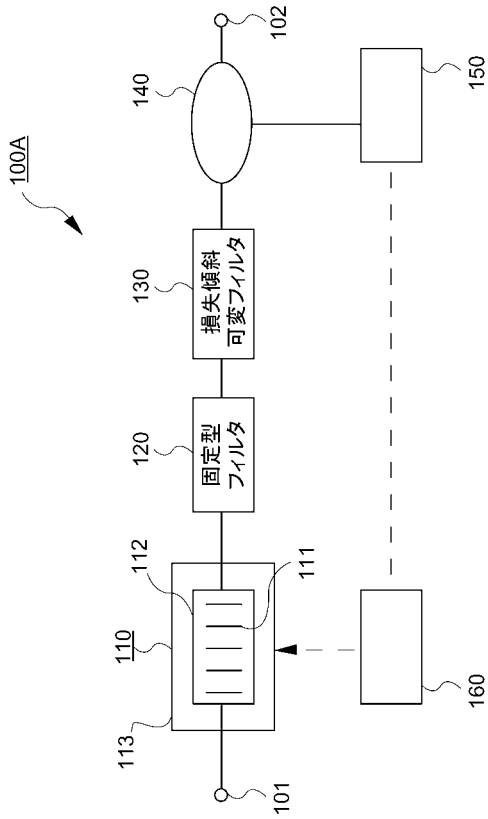
【 図 3 】



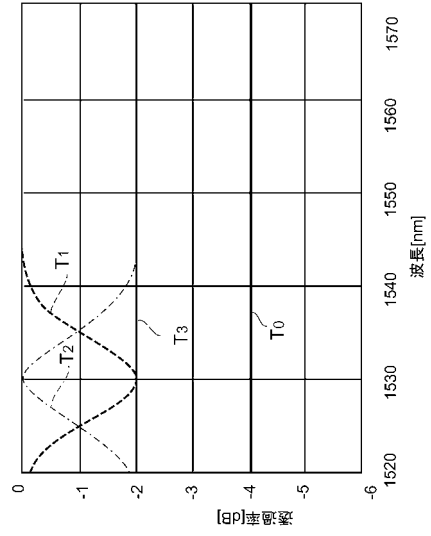
【 図 4 】



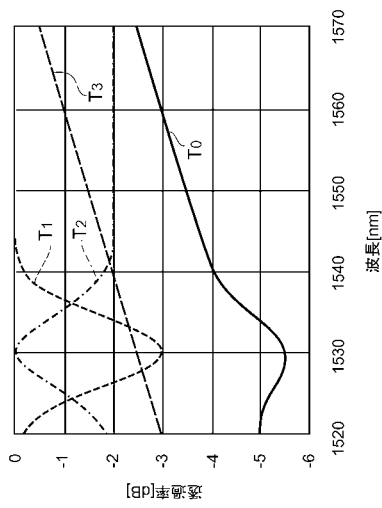
【 図 5 】



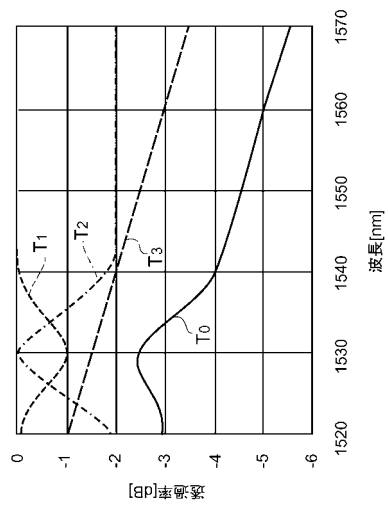
【 図 6 】



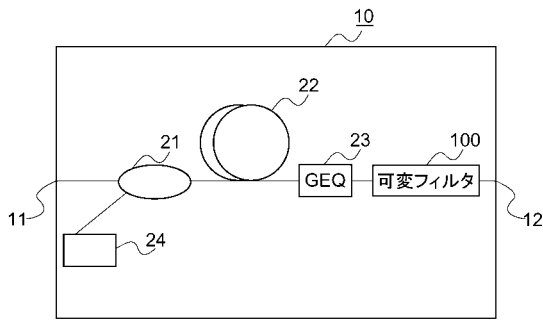
【 図 7 】



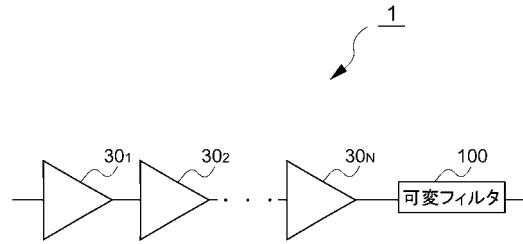
【 図 8 】



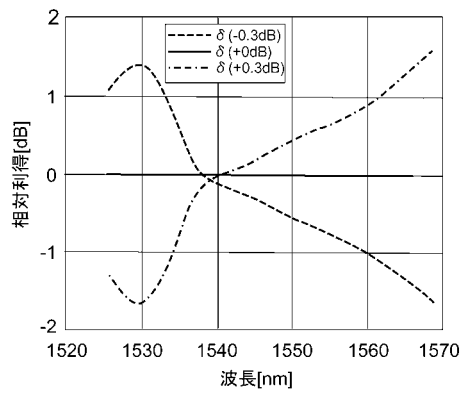
【図 9】



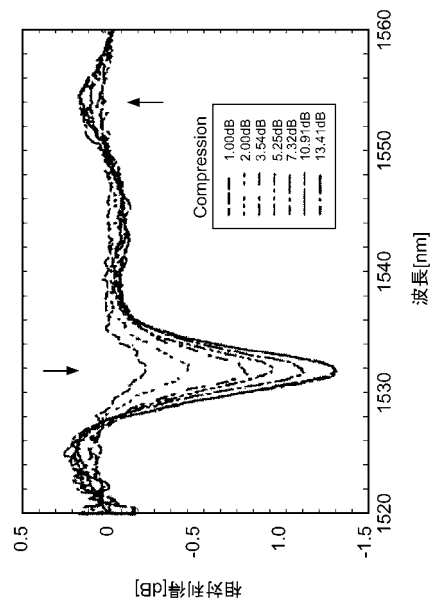
【図 10】



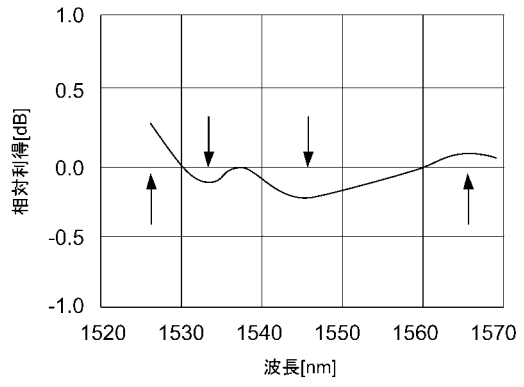
【図 11】



【図 12】



【 図 1 3 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5K102 AA55 AD01 MA03 MB10 MC14 MC15 MD01 MD03 MH04 MH13
MH22 MH26 PC03 PH11 PH46 PH49