

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4415746号

(P4415746)

(45) 発行日 平成22年2月17日(2010.2.17)

(24) 登録日 平成21年12月4日(2009.12.4)

(51) Int. Cl. F 1  
 G 0 2 F 1/35 (2006.01) G 0 2 F 1/35 5 0 1

請求項の数 7 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2004-128889 (P2004-128889)	(73) 特許権者	000002130
(22) 出願日	平成16年4月23日(2004.4.23)		住友電気工業株式会社
(65) 公開番号	特開2005-309250 (P2005-309250A)		大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(43) 公開日	平成17年11月4日(2005.11.4)	(74) 代理人	100088155
審査請求日	平成18年6月15日(2006.6.15)		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	中路 晴雄
			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】 ラマン増幅器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

入力される信号光をラマン増幅する光ファイバと、  
 複数波長の励起光を前記光ファイバに供給する励起光供給手段と、  
 前記励起光供給手段により供給される複数波長の励起光のうち最短波長の励起光のみの  
 パワーを、前記入力される信号光のパワーの変化に対して前記ラマン増幅の利得が一定に  
 なるように制御する制御手段と、  
 を備えるラマン増幅器。

【請求項2】

前記入力される信号光のパワーの値を検出する入力信号光パワー検出手段を更に備え、  
 前記制御手段は、前記入力される信号光のパワーの変化に対して前記利得を一定にする  
 前記最短波長の励起光のパワーの値と入力信号光のパワーの値との間の所定の関係に基づ  
 き、前記入力信号光パワー検出手段により検出された値を参照して、前記最短波長の励起  
 光のパワーを制御する、  
 ことを特徴とする請求項1記載のラマン増幅器。

【請求項3】

前記所定の関係は、一次関数で表される関係であることを特徴とする請求項2記載のラ  
 マン増幅器。

【請求項4】

前記励起光供給手段は、前記励起光を前記光ファイバの後方から供給し、

10

20

前記制御手段は、前記入力信号光パワー検出手段が値を検出した時刻から前記信号光が前記光ファイバを伝搬するのに要する時間が経過した時刻に、前記最短波長の励起光のパワーを制御する、  
ことを特徴とする請求項 2 記載のラマン増幅器。

【請求項 5】

前記励起光供給手段は、前記励起光を前記光ファイバの前方から供給し、  
前記ラマン増幅器は、前記信号光の経路における前記入力信号光パワー検出手段によって前記入力される信号光のパワーの値を検出する箇所から前記励起光供給手段によって供給される箇所までの間に、前記入力信号光パワー検出手段が前記値を検出してから前記制御手段が前記入力信号光パワー検出手段により検出された値を参照して前記最短波長の励起光のパワーを制御するまでの時間、信号光を遅延させる遅延媒体を更に備える、  
ことを特徴とする請求項 2 記載のラマン増幅器。

10

【請求項 6】

前記光ファイバに入力される信号光のパワーの値を検出する入力信号光パワー検出手段と、  
前記光ファイバから出力される信号光のパワーの値を検出する出力信号光パワー検出手段とを更に備え、  
前記制御手段は、前記入力信号光パワー検出手段により検出される値、及び前記出力信号光パワー検出手段により検出される値を参照して、前記最短波長の励起光のパワーを制御する、  
ことを特徴とする請求項 1 記載のラマン増幅器。

20

【請求項 7】

前記制御手段は、前記入力信号光パワー検出手段により検出される値と、該値が検出された時刻から前記信号光が前記光ファイバを伝搬するのに要する時間が経過した時刻に前記出力信号光パワー検出手段により検出される値とを対応付けて参照して、前記最短波長の励起光のパワーを制御することを特徴とする請求項 6 記載のラマン増幅器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、信号光をラマン増幅するラマン増幅器に関するものである。

30

【背景技術】

【0002】

従来から、ラマン増幅器において、複数波長の励起光のパワーの各々の値を適切に設定することにより、平坦な利得スペクトルを得る技術が提案されている（例えば、非特許文献 1 を参照）。

【非特許文献 1】Y. Emori et al., "Broadband lossless DCF using Raman amplification pumped by multichannel WDM laser diodes", Electron. Lett., vol. 34, no. 22, pp. 2145-2146, 1998.

【発明の開示】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

しかしながら、複数波長の励起光のパワーの各々の値が一定である上記非特許文献 1 に記載された技術では、入力信号光のパワーの値が変化した場合、ラマン増幅には利得の飽和特性があるため、利得変動が生じる。

【0004】

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、入力信号光のパワーの値が変化した場合でも、簡易にラマン増幅の利得変動を小さくすることができるラマン増幅器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】

50

## 【 0 0 0 5 】

本発明に係るラマン増幅器は、入力される信号光をラマン増幅する光ファイバと、複数波長の励起光を光ファイバに供給する励起光供給手段と、励起光供給手段により供給される複数波長の励起光のうち最短波長の励起光のみのパワーを、入力される信号光のパワーの変化に対してラマン増幅の利得が一定になるように制御する制御手段と、を備えることを特徴とする。

## 【 0 0 0 6 】

このラマン増幅器では、励起光供給手段により光ファイバに供給される複数波長の励起光のうち、最短波長の励起光のみのパワーが制御手段によりラマン増幅の利得が一定になるように制御される。このように構成されるラマン増幅器は、最短波長の励起光のみを制御することにより、簡易にラマン増幅の利得変動を小さくすることができる。

10

## 【 0 0 0 7 】

本発明に係るラマン増幅器は、入力される信号光のパワーの値を検出する入力信号光パワー検出手段を更に備え、制御手段は、入力される信号光のパワーの変化に対して利得を一定にする最短波長の励起光のパワーの値と入力信号光のパワーの値との間の所定の関係に基づき、入力信号光パワー検出手段により検出された値を参照して、最短波長の励起光のパワーを制御する、のが好適である。ここでより具体的には、所定の関係は、一次関数で表される関係であるのが好適である。

20

## 【 0 0 0 8 】

本発明に係るラマン増幅器において、励起光供給手段は、励起光を光ファイバの後方から供給し、制御手段は、入力信号光パワー検出手段が値を検出した時刻から信号光が光ファイバを伝搬するのに要する時間が経過した時刻に、最短波長の励起光のパワーを制御する、のが好適である。このように構成されるラマン増幅器は、信号光が光ファイバを伝搬する時間を考慮した制御が可能となる。

## 【 0 0 0 9 】

本発明に係るラマン増幅器において、励起光供給手段は、励起光を光ファイバの前方から供給し、ラマン増幅器は、信号光の経路における入力信号光パワー検出手段によって入力される信号光のパワーの値を検出する箇所から励起光供給手段によって供給される箇所までの間に、入力信号光パワー検出手段が値を検出してから制御手段が入力信号光パワー検出手段により検出された値を参照して最短波長の励起光のパワーを制御するまでの時間、信号光を遅延させる遅延媒体を更に備える、のが好適である。このように構成されるラマン増幅器は、入力信号光のパワーを検出してから励起光のパワーを制御するまでの時間を考慮した制御が可能となる。

30

## 【 0 0 1 0 】

本発明に係るラマン増幅器は、光ファイバに入力される信号光のパワーの値を検出する入力信号光パワー検出手段と、光ファイバから出力される信号光のパワーの値を検出する出力信号光パワー検出手段とを更に備え、制御手段は、入力信号光パワー検出手段により検出される値、及び出力信号光パワー検出手段により検出される値を参照して、最短波長の励起光のパワーを制御する、のが好適である。また、制御手段は、入力信号光パワー検出手段により検出される値と、該値が検出された時刻から信号光が光ファイバを伝搬するのに要する時間が経過した時刻に出力信号光パワー検出手段により検出される値とを対応付けて参照して、最短波長の励起光のパワーを制御するのが好適である。

40

## 【 発明の効果 】

## 【 0 0 1 1 】

本発明に係るラマン増幅器によれば、最短波長の励起光のみを制御することにより、入力信号光のパワーの値が変化した場合でも、簡易にラマン増幅の利得変動を小さくすることができる。

50

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0012】

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。

## 【0013】

本願発明者は、ラマン増幅の利得制御について鋭意研究を重ねた結果、入力信号光のパワーが変化しても、複数波長の励起光のうち最短波長の励起光のみのパワーを制御することにより、利得スペクトルの変動を小さくすることができることを見出し、本発明を完成させるに至った。

## 【0014】

## [第1実施形態]

図1に、第1実施形態に係るラマン増幅器100の構成を示す。ラマン増幅器100は、光入射端101に入力される信号光をラマン増幅し、ラマン増幅された信号光を光出射端102から出力する。ラマン増幅器100は、光入射端101から光出射端102へ至る信号光伝搬経路上に光カプラ111、光アイソレータ121、光カプラ112、ラマン増幅用光ファイバ130、光アイソレータ122及び光カプラ113を順に備える。また、ラマン増幅器100は、光カプラ111に接続されたフォトダイオード141、光カプラ112に接続された光カプラ114、該光カプラ114に接続されたレーザダイオード150a、150b、光カプラ113に接続されたフォトダイオード142、並びにフォトダイオード141、142及びレーザダイオード150aに接続された制御部160を備える。

## 【0015】

光カプラ111は、光入射端101に入力された信号光の一部を分岐してフォトダイオード141へ出力し、残部を光アイソレータ121へ出力する。フォトダイオード141は、光カプラ111から到達した信号光を受光して、入力信号光のパワーに応じた電気信号を出力し、その電気信号を制御部160へ出力する。

## 【0016】

光カプラ112は、光カプラ114から出力された複数波長の励起光を入力して、その複数波長の励起光を光ファイバ130に供給する。また、光カプラ112は、光カプラ111から出力され光アイソレータ121を経由して到達した信号光を入力して、その信号光を光ファイバ130へ出力する。

## 【0017】

光カプラ113は、光ファイバ130から出力され光アイソレータ122を経由して到達した信号光の一部を分岐してフォトダイオード142へ出力し、残部を光出射端102へ出力する。フォトダイオード142は、光カプラ113から到達した信号光を受光して、入力信号光のパワーに応じた電気信号を出力し、その電気信号を制御部160へ出力する。

## 【0018】

光カプラ114は、レーザダイオード150a、150b各々から出力された、互いに波長が異なる励起光を入力し、それぞれの励起光を合波し、合波された複数波長の励起光を光カプラ112へ出力する。

## 【0019】

光アイソレータ121、122は、光入射端101から光出射端102へ向かう順方向に光を通過させるが、逆方向には光を通過させない。

## 【0020】

光ファイバ130は、光カプラ112から励起光が供給されると共に、光カプラ112から出力された信号光を入力して、信号光をラマン増幅し、ラマン増幅した信号光を光アイソレータ122へ出力する。

## 【0021】

レーザダイオード150a、150b各々は、ラマン増幅用の励起光を出力するもので

10

20

30

40

50

あり、各々から出力される励起光の波長は互いに異なる。ここでレーザダイオード150aから出力される励起光の波長は、レーザダイオード150bから出力される励起光の波長よりも短いものとする。即ち、レーザダイオード150aから出力される励起光は、複数波長の励起光のうち最短波長の励起光であるものとする。

【0022】

制御部160は、フォトダイオード141, 142各々から出力された電気信号を入力して、これらの電気信号に基づいて、レーザダイオード150aから出力される励起光のパワーを、ラマン増幅の利得が一定になるように制御する。制御部160は、具体的には、制御を行う電気回路等で実現されることが好ましい。

【0023】

ここで、レーザダイオード150a, 150b及び光カプラ112, 114は、複数波長の励起光を光ファイバ130に供給する励起光供給手段の役割を果たす。フォトダイオード141及び光カプラ111は、光ファイバ130に入力される信号光のパワーの値を検出する入力信号光パワー検出手段の役割を果たす。フォトダイオード142及び光カプラ113は、光ファイバから出力される出力信号光のパワーの値を検出する出力信号光パワー検出手段の役割を果たす。

【0024】

ラマン増幅器100は以下のように動作する。レーザダイオード150a, 150b各々から出力された励起光は、光カプラ114により合波され、光カプラ112を経て、増幅用光ファイバ130へ前方から供給される。光入射端101に入力された信号光は、光カプラ111、光アイソレータ121及び光カプラ112を経て、光ファイバ130に入力され、光ファイバ130においてラマン増幅される。ラマン増幅された信号光は、光アイソレータ122及び光カプラ113を経て、光出射端102から出力される。

【0025】

光入射端101に入力された信号光の一部は、光カプラ111により分岐されてフォトダイオード141に入力され、フォトダイオード141により受光されて、受光量に応じた電気信号がフォトダイオード141から出力される。光出射端102から出力される信号光の一部は、光カプラ113により分岐されてフォトダイオード142に入力され、フォトダイオード142により受光されて、受光量に応じた電気信号がフォトダイオード142から出力される。

【0026】

制御部160では、フォトダイオード141から出力された電気信号に基づいて入力信号光のパワーがモニタされ、フォトダイオード142から出力された電気信号に基づいて出力信号光のパワーがモニタされる。制御部160により、モニタされた入力信号光及び出力信号光それぞれのパワーからラマン増幅の利得が算出されて、レーザダイオード150aから出力される励起光のパワーがラマン増幅の利得が一定になるように制御される。

【0027】

以下、本実施形態における実施例を示す。光ファイバ130は、長さ9.9kmの分散補償ファイバとする。レーザダイオード150a, 150b各々から出力される励起光の中心波長はそれぞれ1435.4nm, 1462.2nmとする。ラマン増幅器100に入力される信号光は32chで、それぞれ1534.25~1558.98nmの帯域に周波数100GHz間隔で配置されている。

【0028】

入力信号光のパワーを-32dBm/chから-5dBm/chまで変化させ、制御部160にて信号光帯域内の平均利得が一定となるように制御を行った。なお、レーザダイオード150bから出力される励起光のパワーの値は一定とする。図2に、入力信号光のパワー毎のラマン増幅の利得スペクトルを示す。図2において、横軸は信号光の波長、縦軸は利得である。図2に示すように、-32dBm/chから-5dBm/chまで27dBのパワーの変化に対して、利得変動が約±0.1dBppに抑制されている。

【0029】

10

20

30

40

50

上記制御の比較例として、レーザダイオード150aから出力される励起光のパワーを制御しない(複数波長の励起光のパワーの値が一定)ということ以外は上記と同じ条件でラマン増幅を行った。比較例における、入力信号光のパワー毎のラマン増幅の利得スペクトルを図3に示す。なお、レーザダイオード150a, 150b各々から出力される励起光のパワーは、入力信号光のパワーが $-5\text{ dBm/ch}$ のときにネット利得がほぼ $0\text{ dB}$ で、かつ利得スペクトルが最も平坦になるように設定している。図3に示すように、最大で $1.5\text{ dBpp}$ 程度の利得変動が発生している。また、入力信号光のパワーが減少するほど利得が増加している。

【0030】

この結果は、入力信号光のパワーが変化しても、信号光帯域内の平均利得が一定になるように最短波長の励起光のみのパワーを制御することにより、利得スペクトルの安定性を得られるということを示している。即ち、本実施形態によれば、簡易にラマン増幅の利得変動を小さくすることができる。

10

【0031】

また、本実施形態のように、入力信号光のパワーの値と出力信号光のパワーの値とをモニタし、それらの値を参照して最短波長の励起光のパワーを制御することとすれば、より適切なラマン増幅の利得変動の制御を行うことができる。

【0032】

[第2実施形態]

第1実施形態では、複数波長の励起光は光ファイバ130へ前方から供給されていた。次に、複数波長の励起光が光ファイバ130へ後方から供給される第2実施形態を説明する。図4に、第2実施形態に係るラマン増幅器200の構成を示す。

20

【0033】

図4に示すように、本実施形態においては、複数波長の励起光を光ファイバ130へ供給する光コプラ115は、信号光の経路における光ファイバ130と光アイソレータ122との間に設けられている。

【0034】

この光コプラ115は、光コプラ114から出力された複数波長の励起光を入力して、該複数波長の励起光を増幅用光ファイバ130へ後方から供給する。また、光コプラ115は、光ファイバ130から出力された信号光を入力して、該信号光を光アイソレータ122へ出力する。

30

【0035】

以下、本実施形態における実施例を示す。光ファイバ130、信号光、及びレーザダイオード150a, 150b各々から出力される励起光に関する条件は第1実施形態における条件と同じものとする。

【0036】

図5に、入力信号光のパワー毎のラマン増幅の利得スペクトルを示す。図5に示すように、 $-3.2\text{ dBm/ch}$ から $-5\text{ dBm/ch}$ まで $2.7\text{ dBm/ch}$ のパワーの変化に対して、利得変動が約 $\pm 0.15\text{ dBpp}$ に抑制されている。

【0037】

複数波長の励起光のパワーが一定である条件でラマン増幅を行った際の入力信号光のパワー毎のラマン増幅の利得スペクトルを、比較例として図6に示す。図6に示すように、最大で $1.0\text{ dBpp}$ 程度の利得変動が発生している。なお、図3で示した前方励起の場合と比較すると、入力信号光のパワーの変化による利得の変化量は前方励起の場合の方が大きい。これは前方励起のラマン増幅の方が利得の飽和が起きやすいためである。

40

【0038】

上記のように、後方励起の本実施形態によっても、簡易にラマン増幅の利得変動を小さくすることができる。

【0039】

[第3実施形態]

50

本願発明者は、上記の実施例をはじめとした検討及び研究において、ラマン増幅の利得を一定にする最短波長の励起光のパワーの値と入力信号光のパワーの値との間に所定の関係があることを見出した。

【 0 0 4 0 】

図 7 は、所定の関係を示すグラフである。図 7 は、第 1 及び第 2 実施形態の実施例における、平均利得を一定とするように最短波長の励起光（レーザダイオード 1 5 0 a から出力される、波長 1 4 3 5 . 4 n m の励起光）のパワーを制御したときの、入力信号光のパワーの値と最短波長の励起光のパワーの値との間の関係を示したグラフである。図 7 において、横軸は入力信号光のパワーの値、縦軸は最短波長の励起光のパワーの値を示す。図 7 に示すように、入力信号光のパワーの値と最短波長の励起光のパワーの値とは、一次関数で表される関係となっている。

10

【 0 0 4 1 】

第 3 実施形態は、この所定の関係を利用してラマン増幅の利得を制御するものである。図 8 に、第 3 実施形態に係るラマン増幅器 3 0 0 の構成を示す。図 8 に示すように、制御部 1 6 0 には、フォトダイオード 1 4 1 から出力された電気信号のみが入力される。制御部 1 6 0 は、上記の所定の関係を記憶しておき、この関係に基づきモニタされた入力信号光のパワーの値から、最短波長の励起光のパワーの値を算出する。そして、制御部 1 6 0 は、レーザダイオード 1 5 0 a から出力される励起光のパワーを、パワーの値が算出された値となるように制御する。最短波長の励起光のパワーの値は、具体的には、  
最短波長の励起光のパワー ( m W ) = a × 入力信号光のパワー ( m W ) + b

20

という一次関数で表される関係式により算出される。ここで、a 及び b は定数である。

【 0 0 4 2 】

本実施形態のように、利得を一定にする最短波長の励起光のパワーの値と入力信号光のパワーの値との間の所定の関係、特に一次関数で表される関係に基づき、最短波長の励起光のパワーを制御することとすれば、簡易にラマン増幅の利得変動を小さくすることができる。

【 0 0 4 3 】

[ 第 4 実施形態 ]

ラマン増幅器において、入力信号光のパワーの値が急激に変化すると、ラマン増幅の利得が過渡的に変化する。そのため、急激な入力信号光のパワー変動が生じても過渡的変動無しに利得を一定に制御するためには、高速に利得を一定とする制御が必要となる。ラマン増幅器用光ファイバは一般的に数 k m 以上と希土類添加ファイバ増幅器のものより長い。ため、増幅用光ファイバを信号光が伝搬する時間を考慮して制御系を設計する必要がある。

30

【 0 0 4 4 】

後方ラマン増幅器において、入力信号光のパワーの値が変化してから励起光のパワーの値を変化させるまでの時間を、増幅用光ファイバを信号光が伝搬する時間と同じにすることにより利得の過渡的変動を抑制することが可能である。よって、後方励起ラマン増幅器において入力信号光のパワーの値を検出して、励起光のパワーを制御するフィードフォワード制御をする際には、制御系に増幅用光ファイバの伝搬時間分だけの遅延時間を与える必要がある。遅延時間を与える方法としては、電気回路上で遅延を与えるものと光学的に遅延を与えるものがある。

40

【 0 0 4 5 】

図 9 に、光学的に遅延を与えるラマン増幅器 4 0 0 を示す。図 9 に示すように、ラマン増幅器 4 0 0 は、光カプラ 1 1 1 とフォトダイオード 1 4 1 との間に、信号光を所定の時間、遅延させる遅延媒体 1 7 1 を備える。遅延媒体 1 7 1 としては、遅延ファイバ等を用いるのが好ましい。ここで所定の時間とは、光ファイバの伝搬時間を考慮して、パワーの値が検出される信号光に対する、制御部 1 6 0 からレーザダイオード 1 5 0 a への制御が適切なタイミングでなされる時間であることが好ましい。例えば、光カプラ 1 1 1 から遅延ファイバ 1 7 1 へ信号光が出力された時刻から信号光が光ファイバ 1 3 0 を伝搬するの

50

に要する時間が経過した時刻に、該信号光のパワーの値を参照して最短波長の励起光のパワーを制御できるようにすることが好ましい。

【0046】

このような構成によれば、光ファイバ130での信号光の伝搬時間を考慮した励起光のパワーの制御が可能となる。従って、本実施形態によれば、ラマン増幅の利得の過渡的な変化を抑制することができる。

【0047】

上記で示したものは後方励起ラマン増幅器であるが、前方励起ラマン増幅器では、入力信号光のパワー変化とほぼ同時に励起光のパワーを変化させることによって利得の過渡的な変動を抑制することができる。しかし、通常、制御回路には応答時間（あるいは遅延時間）が存在するために、入力信号光のパワー変化と同時に励起光のパワーを制御することは非常に難しい。

10

【0048】

そこで前方励起において利得の過渡的な変化を抑制するラマン増幅器500を図10に示す。図10に示すようにラマン増幅器500は、光カプラ111と光アイソレータ121との間に、信号光を所定の時間、遅延させる遅延媒体172を備える。ここで、所定の時間は、フォトダイオード141に信号光が入力されてから、制御部160が該入力された信号光のパワーの値を参照して制御を行うまでの時間であることが好ましい。この時間は、制御部160の制御回路の遅延時間とほぼ同程度である。

【0049】

20

このような構成により、信号光と、この信号光のパワーの値に基づいて制御された励起光とがほぼ同時に光ファイバ130に入力されるので、ラマン増幅の利得の過渡的な変化を抑制することができる。

【0050】

また、入出力信号光それぞれのパワーをモニタする方式においても、光ファイバの長さ分だけ入力信号光のモニタと出力信号光のモニタとに時間的ずれが生じる。図11にこの方式において、時間的なずれを生じさせないラマン増幅器600を示す。図11に示すように、ラマン増幅器600は、光カプラ111とフォトダイオード141との間に、信号光を所定の時間、遅延させる遅延媒体173を備える。ここで所定の時間は、入力信号光のモニタと出力信号光のモニタとに時間的ずれを生じさせない時間であることが好ましい。

30

【0051】

このように構成により、ラマン増幅の利得の過渡的な変化を抑制することができ、かつ時間的に正確な利得を検出することができる。

【図面の簡単な説明】

【0052】

【図1】第1実施形態に係るラマン増幅器の構成図である。

【図2】第1実施形態における、入力信号光のパワーを変化させたときの利得スペクトルを示したグラフである。

【図3】第1実施形態における、励起光のパワーの制御を行わないときの利得スペクトル（比較例）を示したグラフである。

40

【図4】第2実施形態に係るラマン増幅器の構成図である。

【図5】第2実施形態における、入力信号光のパワーを変化させたときの利得スペクトルを示したグラフである。

【図6】第2実施形態における、励起光のパワーの制御を行わないときの利得スペクトル（比較例）を示したグラフである。

【図7】平均利得を一定とするように制御したときの、入力信号光のパワーと最短波長の励起光のパワーの値と間の関係を示したグラフである。

【図8】第3実施形態に係るラマン増幅器の構成図である。

【図9】第4実施形態に係るラマン増幅器の構成図である。

50

【図10】第4実施形態に係るラマン増幅器の別の例の構成図である。

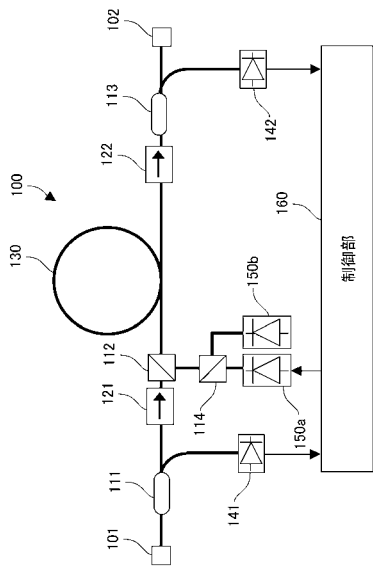
【図11】第4実施形態に係るラマン増幅器の別の例の構成図である。

【符号の説明】

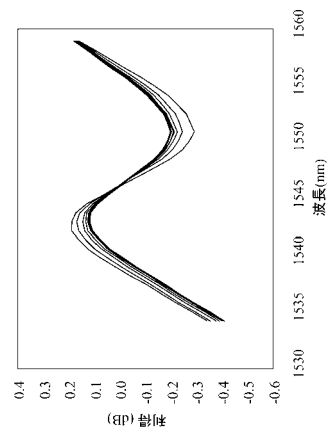
【0053】

100, 200, 300, 400, 500, 600...ラマン増幅器、101...光入射端、102...光射出端、111~115...光カプラ、121, 122...光アイソレータ、130...光ファイバ、141, 142...フォトダイオード、150a, 150b...レーザダイオード、160...制御部、171~173...遅延媒体(遅延ファイバ)。

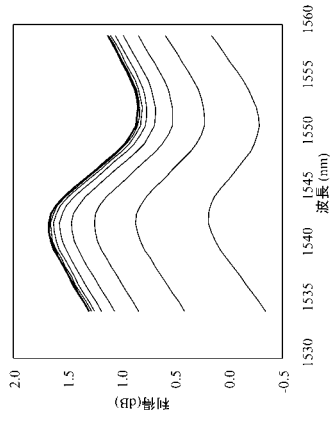
【図1】



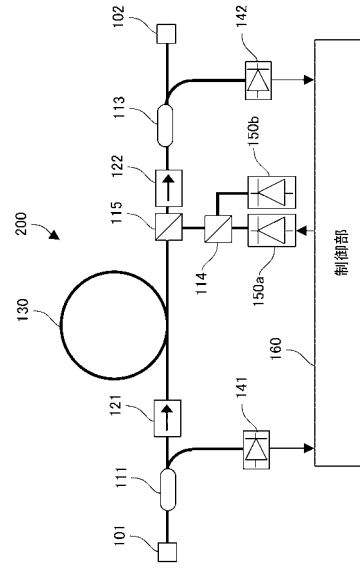
【図2】



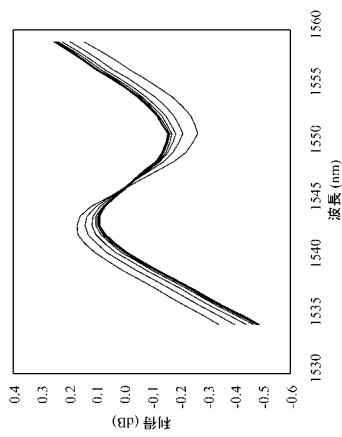
【図3】



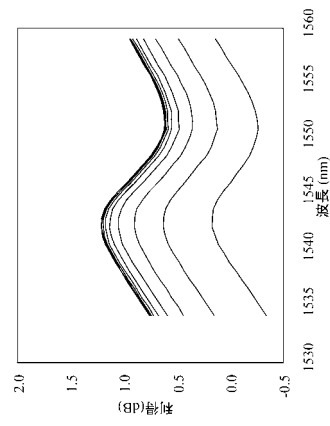
【図4】



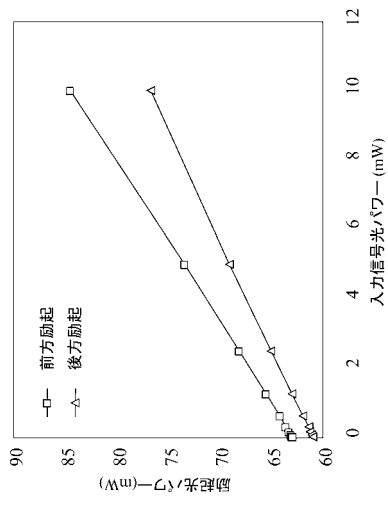
【図5】



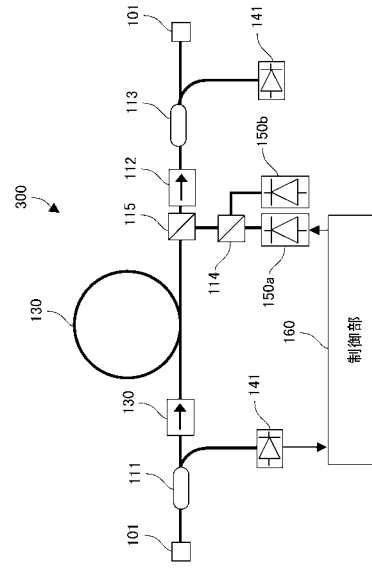
【図6】



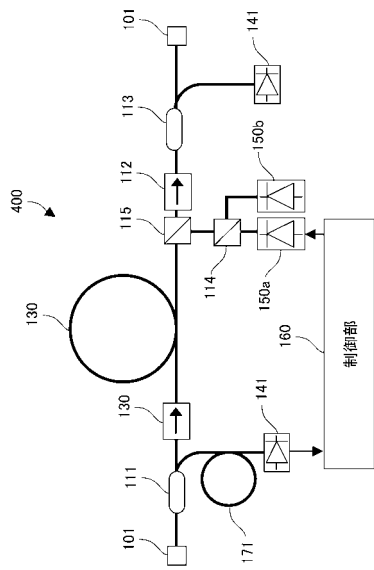
【 図 7 】



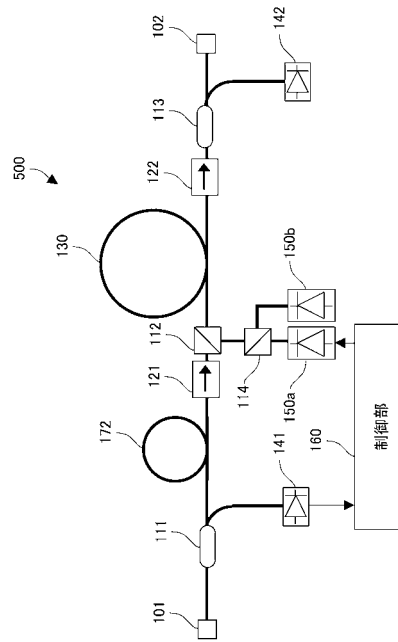
【 図 8 】



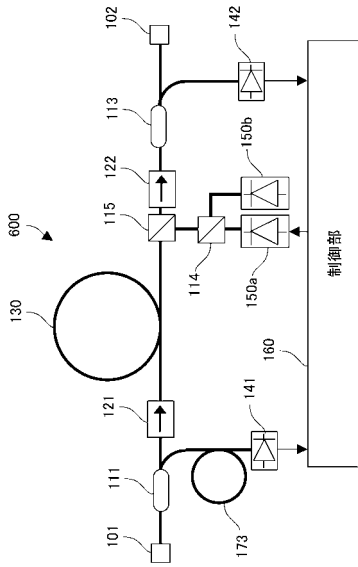
【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 1 1 】



---

フロントページの続き

審査官 植田 高盛

- (56)参考文献 特開2004-061647(JP,A)  
特開2000-105395(JP,A)  
特開2004-258622(JP,A)  
特開2004-301991(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02F 1/35  
H01S 3/06