

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2003年2月27日 (27.02.2003)

PCT

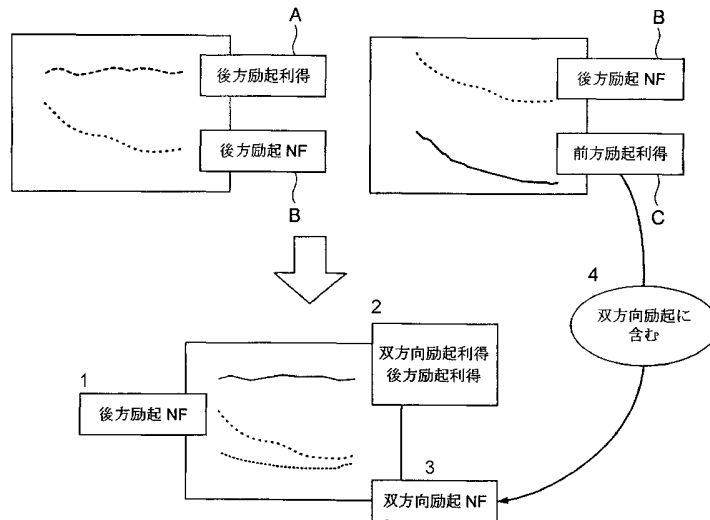
(10) 国際公開番号  
WO 03/016996 A1

- (51) 国際特許分類: G02F 1/35, H04B 10/17, H01S 3/30
- (21) 国際出願番号: PCT/JP02/08371
- (22) 国際出願日: 2002年8月20日 (20.08.2002)
- (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2001-250817 2001年8月21日 (21.08.2001) JP  
特願2001-307461 2001年10月3日 (03.10.2001) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 古河電気工業株式会社 (THE FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒100-8322 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 門 想子 (KADO, Soko) [JP/JP]; 〒100-8322 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 江森 芳博 (EMORI, Yoshihiro) [JP/JP]; 〒100-8322 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 並木 周 (NAMIKI, Shu) [JP/JP]; 〒100-8322 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 小林 正治 (KOBAYASHI, Masaharu); 〒101-0032 東京都千代田区岩本町三丁目4番5号 第一東ビル Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (国内): CN, JP, US.
- 添付公開書類:  
— 国際調査報告書

[続葉有]

(54) Title: RAMAN-AMPLIFYING METHOD

(54) 発明の名称: ラマン増幅方法



- A...BACKWARD PUMPING GAIN
- B...BACKWARD PUMPING NF
- C...FORWARD PUMPING GAIN
- 1...BACKWARD PUMPING NF
- 2...BIDIRECTIONAL PUMPING GAIN, BACKWARD PUMPING GAIN
- 3...BIDIRECTIONAL PUMPING NF
- 4...INCLUSION IN BIDIRECTIONAL PUMPING

(57) Abstract: A Raman amplifying method in which a signal light is pumped by two or more pumping lights of different wavelengths, in which the wavelengths and powers of the two or more pumping lights are combined, a part or all of the combined-wavelength pumping lights are used for bidirectional pumping, and the distribution

[続葉有]



WO 03/016996 A1



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。

---

of power of pumping light to the wavelengths is varied not varying the total power for bidirectional pumping or almost not varying it. A part of the combined-wavelength-and-power pumping lights are used for the forward pumping, and all the combined-wavelength-and-power pumping lights are used for the backward pumping. Among the combined-wavelength-and-power pumping lights, the pumping lights of the short wavelengths are used for the forward pumping, and all the pumping lights are used for the backward pumping. In any combination, the power of the forward pumping lights is larger than that of the backward pumping lights. The LD used is an iGM (trademark of an LD applied for trademark registration by the present applicant of this international application).

(57) 要約:

波長の異なる二以上の励起光により信号光を励起するラマン増幅方法において、二以上の励起光の波長とパワーを組み合わせ、組み合わせた励起光の一部または全てを双方向励起とし、その双方向励起の総パワーは変えずに又は殆ど変えずに各波長への励起光のパワーの分配を変えるようにした。組み合わせた励起光の一部を前方励起に、組み合わせに使用された励起光の全てを後方励起に使用する。組み合わせた励起光のうち短波長側の励起光を前方励起に、組み合わせに使用された励起光の全てを後方励起に使用する。いずれの組み合わせにおいても前方励起光のパワーよりも後方励起光のパワーを大きくする。LDにiGM（：本件出願人の商標登録出願中の商標）を使用した。

## 明細書

## ラマン増幅方法

## 技術分野

本発明は光通信に使用されるラマン増幅方法に関するものである。

## 背景技術

近年は光通信における情報量の増加が著しい。そのため伝送容量の拡大が要求されている。それに伴い、大容量伝送を実現するための光伝送方式として、WDM伝送が広く用いられるようになってきている。また、WDM伝送の伝送容量拡大に不可欠な伝送帯の広帯域化を実現するための光増幅器としてラマン増幅器が注目されている。

ラマン増幅器の特徴の一つとして、伝送路である光ファイバそのものを増幅媒体として使用する分布型増幅であることがあげられる。この特徴により、従来のEDFA (Erbium-Doped Fiber Amplifier) に代表されるような、数十m程度の短い添加物光ファイバを増幅媒体として使用する集中型光増幅器と比べ、雑音特性などにも優れるという利点がある。

光伝送システムやそこで使用されるラマン増幅器の雑音特性はNF (Noise Figure) によって示される。NFとは、光増幅器において、増幅前のSN (signal-to-noise) 比と、増幅後のSN比との比を示すパラメータである。このNFの値が小さいほど雑音特性に優れたシステムだということができる。

NFは、図6のように、増幅媒体として用いられる伝送用のファイバが長くなると大きくなる。これはファイバ長が長くなって伝送ロスが大きくなると、信号光が減衰し、相対的にノイズが増加するためである。

同じ励起条件の場合、前方励起と後方励起の各々におけるNFの波長特性は、図5に示したようになっている。後方励起の場合は信号光がファイバ内を伝搬してから増幅され、それに対し前方励起の場合は信号光が増幅されてからファイバ

内を伝搬するため、前方励起では後方励起の場合に比べNFとしては小さくなる。

一方、NFの波長依存性は主にファイバの伝送ロスの波長特性によって生じる。通常、伝送用のファイバとして使用され、分布型ラマン増幅器の場合は増幅媒体でもあるNZ-DSF(Non-Zero Dispersion-Shifted Fiber)や、集中型ラマン増幅器で増幅媒体として使用されるDCF(Dispersion Compensation Fiber)などにおいては、短波長側の伝送ロスが大きいため、短波長側でNFが大きくなる傾向がある。

したがって伝送用のファイバが長くなると、ロスの増大によってNFが大きくなるだけでなく、波長ごとのロスの偏差が累積されることによって波長依存性が増大する。図6に示すように伝送用のファイバが長くなるにつれ、異なる信号光波長間でのNFの偏差は大きくなる。特に、ファイバ長が伝送システムの中継器間隔である数十km程度以上になる場合は、この偏差が無視できないレベルになる。それだけでなく、中継器間隔が短い場合でも、複数のラマン増幅器を中継器として使用しつつ各中継器間などでNFの波長特性を相殺しなければ、累積されたファイバの長さが直接NFの波長依存性を増大させる。

前記のように、NFは前方励起を行うことにより低減させることができるが、NFを低減させるために前方励起のみに頼って利得の高い増幅をしようとするるとRIN(Relative Intensity Noise: 相対強度雑音)の増大など、別の要因によって雑音特性を悪化させることがある。また、波長依存性については、前方励起と後方励起いずれの方法によっても解決することができない。その場合、伝送ロスの大きい短波長側においてNFも大きくなる。

NFが大きいことやRINが大きいことは信号光の歪みを招くことになるので、信号光の伝送品質上、好ましくない。また、NFの各信号光チャネル間の偏差が大き過ぎると伝送品質が不均一になるため、システムとして問題となる。

#### 発明の開示

本発明はNFについての前記問題を解決し、より効率的に信号光帯域において平坦な伝送特性を得られるようにしたラマン増幅方法を提供するものである。

本発明の第1のラマン増幅方法は、増幅媒体にファイバが使用されたラマン増幅器において、波長の異なる二以上の励起光により信号光を励起するラマン増幅方法であり、後方励起により信号光帯域内で平坦なラマン利得が得られるように二以上の励起光の波長とパワーを組合せ、組合せた励起光の一部または全てを用いて双方向励起とし、この双方向励起において、各波長への励起光のパワーの分配を後方励起時と変えるようにしたラマン増幅方法である。

本発明の第2のラマン増幅方法は、増幅媒体にファイバが使用されたラマン増幅器において、波長の異なる二以上の励起光により信号光を励起するラマン増幅方法であり、後方励起により信号光帯域内で平坦なラマン利得が得られるように二以上の励起光の波長とパワーを組合せ、組合せた励起光の一部または全てを用いて双方向励起とし、双方向励起の総パワーは変えずに各波長への励起光のパワーの分配を変えようとしたラマン増幅方法である。

本発明の第3のラマン増幅方法は、前記第1又は第2のラマン増幅方法において、組合せた励起光の一部を前方励起に、組合せに使用された励起光の全てを後方励起に使用するラマン増幅方法である。

本発明の第4のラマン増幅方法は、前記第1乃至第3のいずれかに記載のラマン増幅方法において、組合せた励起光のうち短波長側の励起光を前方励起に、組合せに使用された励起光の全てを後方励起に使用したことを特徴とするラマン増幅方法である。

本発明の第5のラマン増幅方法は、前記第1乃至第4のいずれかのラマン増幅方法において、いずれの組合せにおいても、前方励起光のパワーよりも後方励起光のパワーを大きくするラマン増幅方法である。

本発明の第6のラマン増幅方法は、前記第1乃至第5のいずれかのラマン増幅方法において、LDチップが波長安定用グレーティング構造を備えたマルチモード励起レーザ(iGM)を前方励起用光源として用いたラマン増幅方法である。

本発明の第7のラマン増幅方法は、請求項1乃至請求項6のいずれかに記載の

ラマン増幅方法を多段に行う光伝送システムを構成し、少なくとも一箇所以上で NF を調節するラマン増幅方法である。

#### 図面の簡単な説明

- 図 1 は本発明のラマン増幅方法の説明図。
- 図 2 は本発明のラマン増幅方法の実施例 1 の説明図。
- 図 3 は本発明のラマン増幅方法の実施例 2 の説明図。
- 図 4 は本発明のラマン増幅方法の実施例 3 の説明図。
- 図 5 はラマン増幅器における前方励起と後方励起の場合の、波長と NF の関係を示す説明図。
- 図 6 はラマン増幅のファイバ長と NF の説明図。
- 図 7 は本発明のラマン増幅方法の後方励起の場合の説明図。
- 図 8 は本発明のラマン増幅方法の双方向励起の場合の説明図。
- 図 9 は本発明のラマン増幅方法の実施例 4 の説明図。
- 図 10 は本発明のラマン増幅方法の実施例 5 の説明図。
- 図 11 はラマン増幅器における信号光波長とラマン利得との関係を示す説明図。
- 図 12 はラマン増幅器における信号光波長とラマン利得との関係を示す説明図。
- 図 13 はラマン増幅器 A、B を光中継器として使用した光伝送システムの一例を示す説明図。
- 図 14 は図 13 に使用されるラマン増幅器 A の NF 説明図。
- 図 15 は図 13 に使用されるラマン増幅器 B の NF 説明図。
- 図 16 は図 13 の伝送システムの NF 説明図。

#### 発明を実施するための最良の形態

本発明のラマン増幅方法の一例を図 1 に基づいて説明する。この実施形態では任意の信号光帯域において、後方励起により平坦な利得（図 1 の後方励

起利得：A）が得られるように、励起波長と励起パワーの組合せを計算によって求める。次に、このときのNF（図1の後方励起NF：B）とほぼ同じ傾きを持つ利得（図1の前方励起利得：C）が得られる前方励起光のパワーを計算によって求める。この前方励起光を含む励起光により双方向励起する。この場合、各波長への励起光のパワーの分配を変えるが、励起光の総パワーは変えない。即ち、総パワーは前記後方励起の場合と等しくする。

（実施例1）

後方励起により平坦な利得（後方励起利得）が得られる励起波長と励起パワーの組合せとして、表1に示すような組合せがあるとき、短波長側の3波を前方励起とし、組合せに使用された励起光の全て（全波長：5波）を後方励起とし、これら励起光の総パワーを変えずに（後方励起の場合と等しくして）各波長のパワー配分のみを変えて励起した。この場合、いずれの波長においても、前方励起光のパワーよりも後方励起光のパワーを大きくした。この実験では図2に示すように利得とNFが共に平坦なラマン増幅を行うことができた。

【表 1】

励起波長 n m	後方励起パワー mW	双方向励起	
		前方励起パワー mW	後方励起パワー mW
1426.2	166.0	33.2	105.6
1438.5	158.0	34.8	106.2
1451.8	89.0	21.4	64.2
1466.0	81.0	0	94.6
1495.2	142.0	0	176.0
総パワー mW	636.0	小計 89.4	小計 546.6
		総パワー 636.0	

## (実施例 2)

後方励起により平坦な利得（後方励起利得）が得られる励起波長と励起パワーの組合せとして、表 2 に示すような組合せがあるとき、短波長側の 3 波を前方励起とし、組合せに使用された励起光の全て（全波長：5 波）を後方励起とし、これら励起光の総パワーを変えずに（後方励起の場合と等しくして）各波長のパワー配分のみを変えて励起した。この場合、いずれの波長においても、前方励起光のパワーよりも後方励起光のパワーを大きくした。この実験では図 3 に示すように利得と N F が共に平坦なラマン増幅を行うことができた。

【表 2】

励起波長 nm	後方励起パワー mW	双方向励起	
		前方励起パワー mW	後方励起パワー mW
1426.2	500.0	65.0	370.0
1438.5	430.0	63.0	340.0
1451.8	220.0	30.0	195.0
1466.0	140.0	0	170.0
1495.2	124.0	0	181.0
総パワー mW	1414.0	小計 158.0	小計 1256.0
		総パワー 1414.0	

## (実施例 3)

後方励起により平坦な利得（後方励起利得）が得られる励起波長と励起パワーの組合せとして、表 3 に示すような組合せがあるとき、短波長側から 5 波を前方励起光とし、組合せに使用された励起光の全て（全波長：9 波）を後方励起とし、これら励起光の総パワーを変えずに（後方励起の場合と等しくして）各波長のパワー配分のみを変えて励起した。この場合、いずれの波長においても、前方励起光のパワーよりも後方励起光のパワーを大きくした。この実験では図 4 に示すように利得と NF が共に平坦なラマン増幅を行うことができた。

【表 3】

励起波長 n m	後方励起パワー m W	双方向励起	
		前方励起パワー m W	後方励起パワー m W
1424.2	322.0	77.0	117.0
1431.7	250.0	35.0	197.0
1439.2	235.0	30.0	198.0
1446.9	145.0	20.0	141.0
1454.6	110.0	22.0	95.0
1462.4	78.0	0	100.0
1470.3	55.0	0	74.0
1478.3	50.0	0	71.0
1500.5	90.0	0	158.0
総パワー m W	1335.0	小計 184.0	小計 1151.0
		総パワー 1335.0	

## (実施例 4)

表 4 に示す励起波長と励起光源パワーの組合せで図 7 のように後方励起することにより、図 9 に示す傾きを持った利得が得られる。図 8 のように表 4 の短波長側の 3 波を前方励起光として使用し、組合せに使用された全ての励起光（全波長：5 波）を後方励起光として、励起光の総パワーを変えずに表 4 に示すパワー配分で双方向励起した。また、この場合、いずれの波長においても、前方励起光のパワーよりも後方励起光のパワーを大きくした。これにより、図 9 に示すように利得を変えずに NF が平坦なラマン増幅を行うことができる。

【表 4】

励起波長 n m	後方励起パワー mW	双方向励起	
		前方励起パワー mW	後方励起パワー mW
1426.2	277.0	45.0	197.0
1438.5	206.0	30.0	176.0
1451.8	100.0	10.0	90.0
1466.0	95.0	0	107.0
1495.2	112.0	0	135.0
総パワー mW	790.0	小計 85.0	小計 705.0
		総パワー 790.0	

## (実施例 5)

後方励起により平坦な利得が得られる励起波長と、励起パワーの組合わせとして、表 5 のような組合せがある。このとき、図 8 のように表 4 の短波長側の 3 波を前方励起光として使用し、組合せに使用された全ての励起光（全波長：5 波）を後方励起光として、励起光の総パワーを変えずに表 5 に示すパワー配分で双方向励起した。また、この場合、いずれの波長においても、前方励起光のパワーよりも後方励起光のパワーを大きくした。これにより、図 10 に示すように利得を変えずに NF の傾きが逆向きになるラマン増幅を行うことができる。

【表 5】

励起波長 n m	後方励起パワー mW	双方向励起	
		前方励起パワー mW	後方励起パワー mW
1426.2	185.0	88.0	21.0
1438.5	165.0	64.0	74.0
1451.8	101.0	56.0	28.0
1466.0	85.0	0	111.0
1495.2	155.0	0	249.0
総パワー mW	691.0	小計 208.0	小計 483.0
		総パワー 691.0	

実施例 1 から実施例 5 の実験においては、増幅媒体となるファイバは 80km のシングルモードファイバ (SMF) を使用した。本発明における後方励起、双方向励起の構成例を図 7、図 8 に示す。本発明では図 7、図 8 の LD に既存の LD を使用することができるのはもちろんのこと、本件出願人が先に開発した LD (iGM: 本件出願人の商標登録出願中の商標) を使用することも、他の LD を使用することも可能である。なお、iGM は LD チップが波長安定用グレーティング構造を備えたマルチモード励起レーザである。

(実施例 6)

図 8 と同じ構成で後方励起と、2 パターンの双方向励起の実験をした。励起波長は表 6 の通りであり、増幅媒体となるファイバは 76km のシングルモードファイバ (SMF) を使用した。得られた結果を図 11、図 12 に示す。表 6 の後方励起と 2 パターンの双方向励起のいずれのパターンでも利得に変わりはないが (図 11)、NF に関しては図 12 のように後方励起では短波長側で高くなっている。一方、双方向励起では励起パワーの配分によって平坦または後方励起の場合とは逆の傾きが得られている。この実験では、表 6 のように、双方向励起 2 の場合の

総パワーが、後方励起及び双方向励起 1 の場合よりも多少減少しているが、その減少値はそれほど大きくはない。この減少は実験時の誤差の範囲である。

【表 6】

実験における励起パワー

	励起波長 nm	後方励起 パワー mW	双方向励起：1		双方向励起：2	
			前方励起 パワーmW	後方励起 パワーmW	前方励起 パワーmW	後方励起 パワーmW
$\lambda_1$	1426.2	149.0	31.0	96.0	78.0	32.0
$\lambda_2$	1438.5	161.0	36.0	108.0	54.0	78.0
$\lambda_3$	1451.8	91.0	22.0	65.0	45.0	26.0
$\lambda_4$	1466.0	83.0	—	105.0	—	100.0
$\lambda_5$	1495.2	184.0	—	206.0	—	210.0
総パワー mW		668.0	668.0		623.0	

本件出願の請求項 2、発明の詳細な説明では、双方向励起の総パワーは変えずに各波長への励起光のパワーの分配を変える、となっている。この総パワーは変えずに、ということは、全く変えない（変化しない）ということではなく、前記実験で見られる程度の誤差を含み得るということである。

まず、励起パワーについての誤差は本質的に、利得の差と同一のものであって、両者は密接に関連している。そのため、前記実験において、必ずしも励起光のパワーと利得の双方が完全に一致するものではなく、励起光のパワーが一致している場合には利得が、利得が一致している場合には励起光のパワーが前記誤差を含み得ることを意味している。また、ひいては、励起光のパワーと利得の双方に対し、前記誤差が適当な割合をもって配分されうるという意味をも含むものである。

誤差の具体的な程度について以下に示す。実施例 6 においては、各実験条件に対し図 11 に示したように、ほぼ同等の波長利得プロファイルを得ることができた。しかし、詳細にこれらと比較すると、必ずしも厳密に一致しているという訳ではない。このように、実際には個々の励起光が持つ波長スペクトル形状のばら

つきや、波長依存性を持ったファイバのロスなどをはじめとする種々の実験系におけるロスなどの違いにより、後方励起での波長プロファイルと双方向励起時の波長プロファイルの間で実用上許容しうる程度の差異を生じることがある。

実施例 6 の結果を例にとってこれについて説明する。まず、後方励起と双方向励起で短波長側の励起パワーが小さい場合（表 6 の双方向励起：1）の利得プロファイルについて比較をすると、励起光の総パワーはほぼ等しくなっているものの、図 11 に示された両者の利得プロファイルの間には 0.3dB 程度の差異が見られる。一方、双方向励起で短波長側の励起パワーが大きい双方向励起：2 の場合（総パワー：623mW）の利得プロファイルは、その他の励起光の総パワーが等しい二つの場合（総パワー：668mW）に比べほぼ同等のレベルになっているが、励起光の総パワーにおいては 0.3dB 程度低めの結果が得られている。

また、図 3 に示された実施例 2、および図 9 に示された実施例 4 の場合においても、同様な差異を実験結果から読み取ることができる。まず、励起光の総パワーについては共に後方励起と双方向励起の 2 つの場合でよく一致する結果が得られている。しかし、実施例 2 の場合には波長 1540nm から 1580nm 程度の範囲において、後方励起と双方向励起の利得プロファイルの間におよそ 0.3dB 程度の差異があることがわかる。また、実施例 4 の場合には、波長 1590nm 以上の長波長領域において、後方励起と双方向励起の利得プロファイルの間におよそ 0.2dB 程度の差異がみられ、その他の波長においても局所的には同程度の差異を確認することができる。

これらの結果を鑑みると、各波長における局所的な利得の差異が 0.3dB 程度、ないしは、励起光の総パワーにおいて同程度の差異が生じることが実験の誤差範囲内にて同様に生じうることであって、これらの実験条件が直接反映されているとは考えにくい。すなわち、最悪時において、これら 0.3dB 程度の差異が正負両方に渡って発生すると考えれば、およそ 0.5 ないし 0.6dB 程度の局所的な利得の差異もしくは励起光の総パワーの差異は通常起こりうる誤差範囲内であると解することができる。このことは、実システム上で通例、利得波長帯域全体において 0.5dB 程度の波長プロファイルの差異が概ね許容されるものであることからもち

ることができる。

(実施例7)

図13にラマン増幅器A、Bを光中継器として使用した光伝送システムのラマン増幅方法の一例を示す。光送信機10側にて電気信号は信号光に変換され、伝送路11に出力される。該信号光は伝送路11に縦列に接続された複数のラマン増幅器A、Bによって伝送ロスを補償しながら伝送され、光受信機20側にて受光された後に、電気信号に変換される。各々の光中継器には双方向励起によるラマン増幅器や後方励起のみのラマン増幅器等が任意に組み合わせられ、所望の利得が得られるように調整されている。なお、この光伝送システムの一部には、本発明による、任意のNF波長特性が得られる双方向励起のラマン増幅器が少なくとも一以上(本実施例の場合はラマン増幅器A、Bで示す)接続されている。

最初、光受信機10側におけるNFの波長特性について評価したところ、一部の波長においてNFが仕様値を満足していないことが明らかになった(図16の3a)。このような場合、増幅器A、BのNF波長特性(図14、図15のそれぞれ1a、2a)をそれぞれ波長に対し略増加、もしくは略減少の傾向をもつ任意の形状(図14、図15のそれぞれ1b、2b)に調整を行うことによって、利得の波長特性を崩すことなく、光伝送システムの全波長帯において所望のNFを得るように(図16の3b)調整することができる。

なお、ラマン増幅器A、Bの調整を行うことに伴い、利得の波長プロファイルに変化を伴った場合は、光受信機20の手前に、所望の波長特性を持った光減衰器を挿入することにより利得を調整することが可能である。

また、本実施例においては、光伝送システムにおけるラマン増幅器の数が4の場合について記載したが、ラマン増幅器数は2以上であればいくつであってもよい。さらに、本実施例においては、NFの調整を行うラマン増幅器の数が2の場合について記載したが、この数は1以上であればいくつであってもよく、光伝送システムを構成する全てのラマン増幅器のNFを調整してもよい。

産業上の利用可能性

本発明の請求項 1～請求項 7 のラマン増幅方法は次のような効果がある。

(1) 二以上の励起光の波長とパワーを組合せ、組合せた励起光の一部または全てにより双方向励起するので、NF が信号光帯域内で平坦である光増幅を行うことができる。

(2) 二以上の励起光の波長とパワーを組合せ、組合せた励起光の一部または全てにより双方向励起するので、(1) に示したように NF が信号光帯域内で平坦になるよう調節できるだけでなく、波長に対し NF が略増加もしくは略減少などの任意の傾向を持つように調節することができる。

(3) 二以上の励起光の波長とパワーを組合せ、組合せた励起光の一部または全てにより双方向励起し、NF が信号光帯域内で波長に対し略増加もしくは略減少などの任意の傾向をもつように調節した一以上のラマン増幅器を含むように複数のラマン増幅器を組合せるので、該複数のラマン増幅器の間で NF の波長特性を補償しあい、利得が平坦なだけでなく、NF も波長に対し平坦な光伝送システムを得ることができる。

(4) 二以上の励起光の波長とパワーを組合せ、組合せた励起光の一部または全てにより双方向励起し、NF が信号光帯域内で波長に対し略増加もしくは略減少などの任意の傾向をもつように調節した一以上のラマン増幅器を含むように複数のラマン増幅器を組合せるので、(3) に示したように NF が波長に対して平坦なだけでなく、システムからの要求に従い、NF の波長特性を任意に設定可能な光伝送システムを得ることができる。

本発明の請求項 2 のラマン増幅方法は、双方向励起において各波長への励起光のパワーの分配を変える場合に、励起光の総パワーは後方励起の場合と変えないので、後方励起の場合と同じ又はほぼ同じパワーで、信号光帯域内で利得が平坦で、しかも利得の大きなラマン光増幅を行うことができる。

本発明の請求項 3 のラマン増幅方法は、組合せた励起光の一部を前方励起に使用し、その組合せに使用された励起光の全てを後方励起に使用するので、前方励起に使用される励起光が後方励起にも使用されることとなる。このため、前方励起もしくは後方励起のみの場合に生じていた、NF が短波長側で

大きくなるという課題が解消され、N Fが信号光帯域内全般で平坦な光増幅を行うことができる。

本発明の請求項4のラマン増幅方法は、組合せた励起光の短波長側を前方励起に、その組合せに使用された励起光の全てを後方励起に使用するので、短波長側の励起光が前方励起と後方励起の双方に使用されることとなる。このため、ファイバロスの大きい信号光の短波長側が前方励起と後方励起との双方で励起され、短波長側の信号光劣化が少なくなり、短波長側でのN Fが低下し、信号光帯域内全般で平坦な光増幅を行うことができる。

本発明の請求項5のラマン増幅方法は、励起光のいずれの組合わせにおいても、前方励起光のパワーよりも後方励起光のパワーを大きくしたので、前方励起によるR I Nの悪化が抑えられ、かつ、前方励起もしくは後方励起のみの場合に生じていた短波長側でのN Fの増加が抑制される。また、パワーの大きな励起光で後方励起を行うため利得の大きな光増幅を行うことができる。

本発明の請求項6のラマン増幅方法は、L Dにi G Mを使用したもので、既存のL Dを使用した場合と同様、或はそれ以上の効果が期待できる。

本発明の請求項7のラマン増幅方法は、請求項1乃至請求項6のいずれかに記載のラマン増幅方法を多段に行う光伝送システムを構成し、少なくとも一箇所以上でN Fを調節するので、ラマン増幅を多段に行う光伝送システムで請求項1乃至請求項6のラマン増幅方法と同様の効果が得られる。

## 請求の範囲

1. 増幅媒体にファイバが使用されたラマン増幅器において、波長の異なる二以上の励起光により信号光を励起するラマン増幅方法であり、後方励起により信号光帯域内で平坦なラマン利得が得られるように二以上の励起光の波長とパワーを組合せ、組合せた励起光の一部または全てを用いて双方向励起とし、この双方向励起において、各波長への励起光のパワーの分配を後方励起時と変えるようにしたことを特徴とするラマン増幅方法。
2. 増幅媒体にファイバが使用されたラマン増幅器において、波長の異なる二以上の励起光により信号光を励起するラマン増幅方法であり、後方励起により信号光帯域内で平坦なラマン利得が得られるように二以上の励起光の波長とパワーを組合せ、組合せた励起光の一部または全てを用いて双方向励起とし、この双方向励起の総パワーは変えずに各波長への励起光のパワーの分配を後方励起時と変えるようにしたことを特徴とするラマン増幅方法。
3. 請求項 1 又は請求項 2 記載のラマン増幅方法において、組合せた励起光の一部を前方励起に、組合せに使用された励起光の全てを後方励起に使用したことを特徴とするラマン増幅方法。
4. 請求項 1 乃至請求項 3 のいずれかに記載のラマン増幅方法において、組合せた励起光のうち短波長側の励起光を前方励起に、組合せに使用された励起光の全てを後方励起に使用したことを特徴とするラマン増幅方法。
5. 請求項 1 乃至請求項 4 のいずれかに記載のラマン増幅方法において、いずれの組合せにおいても、前方励起光のパワーよりも後方励起光のパワーが大きいことを特徴とするラマン増幅方法。
6. 請求項 1 乃至請求項 5 のいずれかに記載のラマン増幅方法において、LDチップが波長安定用グレーティング構造を備えたマルチモード励起レーザを前方励起用光源として用いることを特徴とするラマン増幅方法。
7. 請求項 1 乃至請求項 6 のいずれかに記載のラマン増幅方法を多段に行う光伝送システムを構成し、少なくとも一箇所以上でNFを調節することを特徴とする

るラマン増幅方法。

FIG. 1

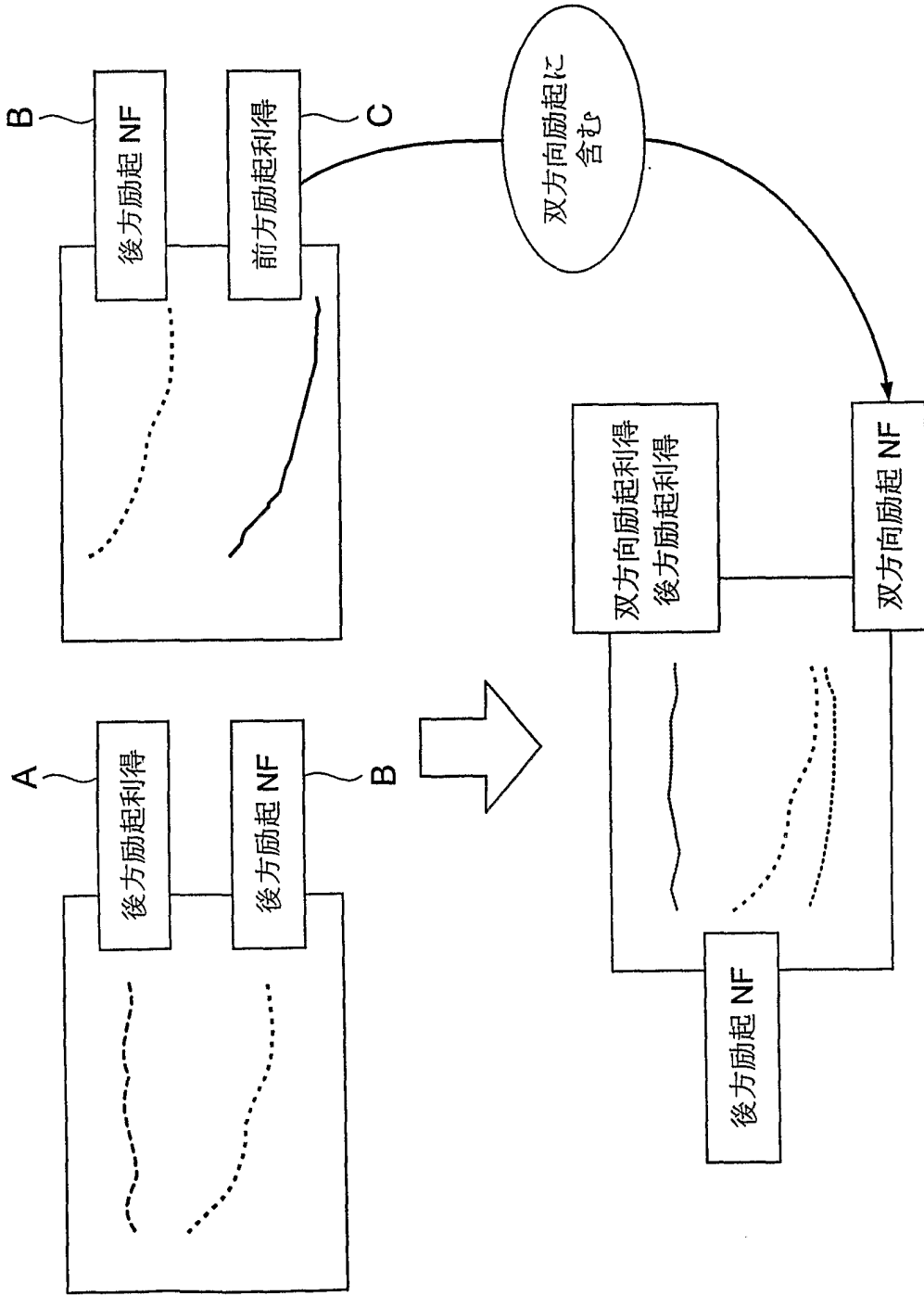


FIG. 2

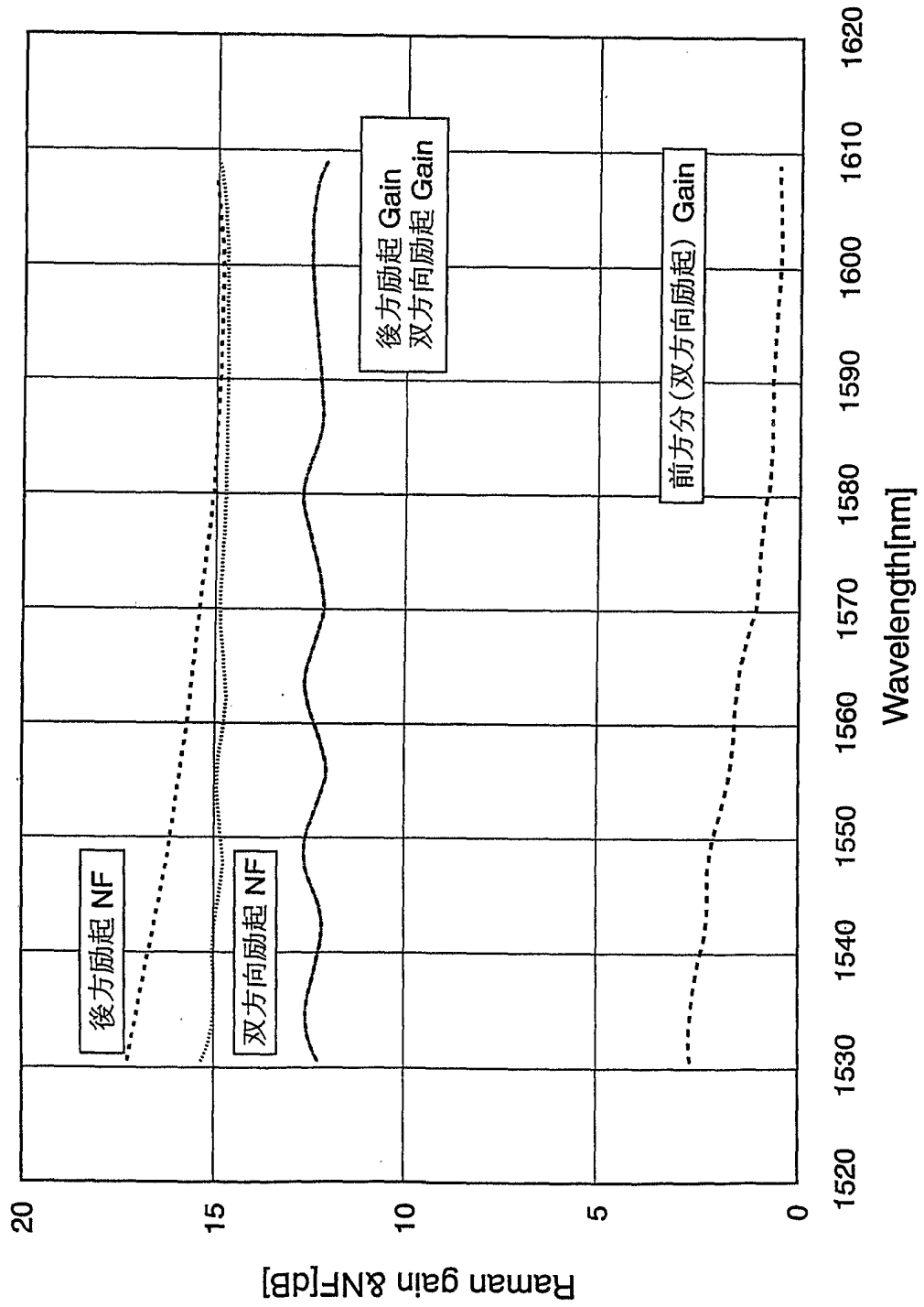


FIG. 3

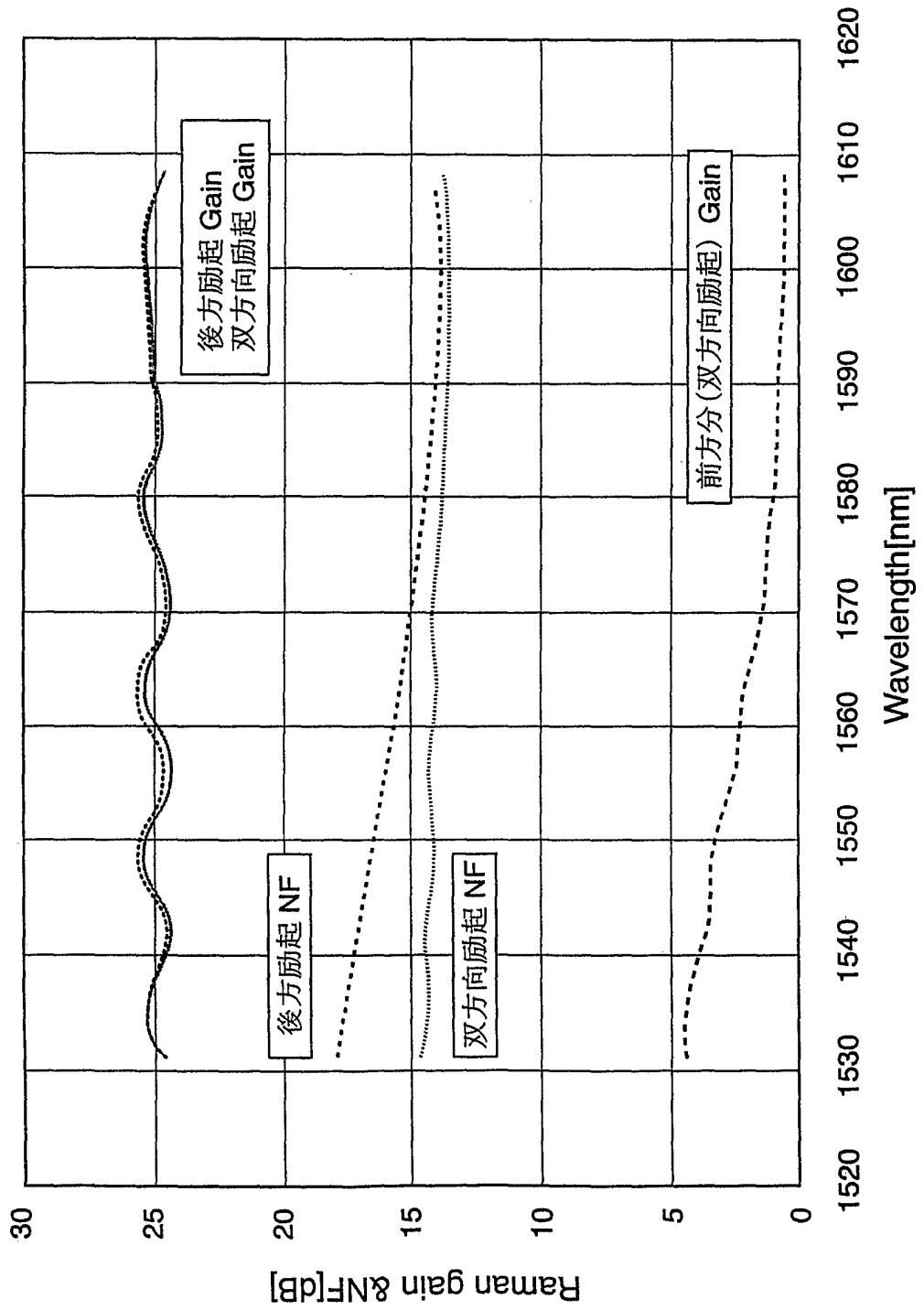


FIG. 4

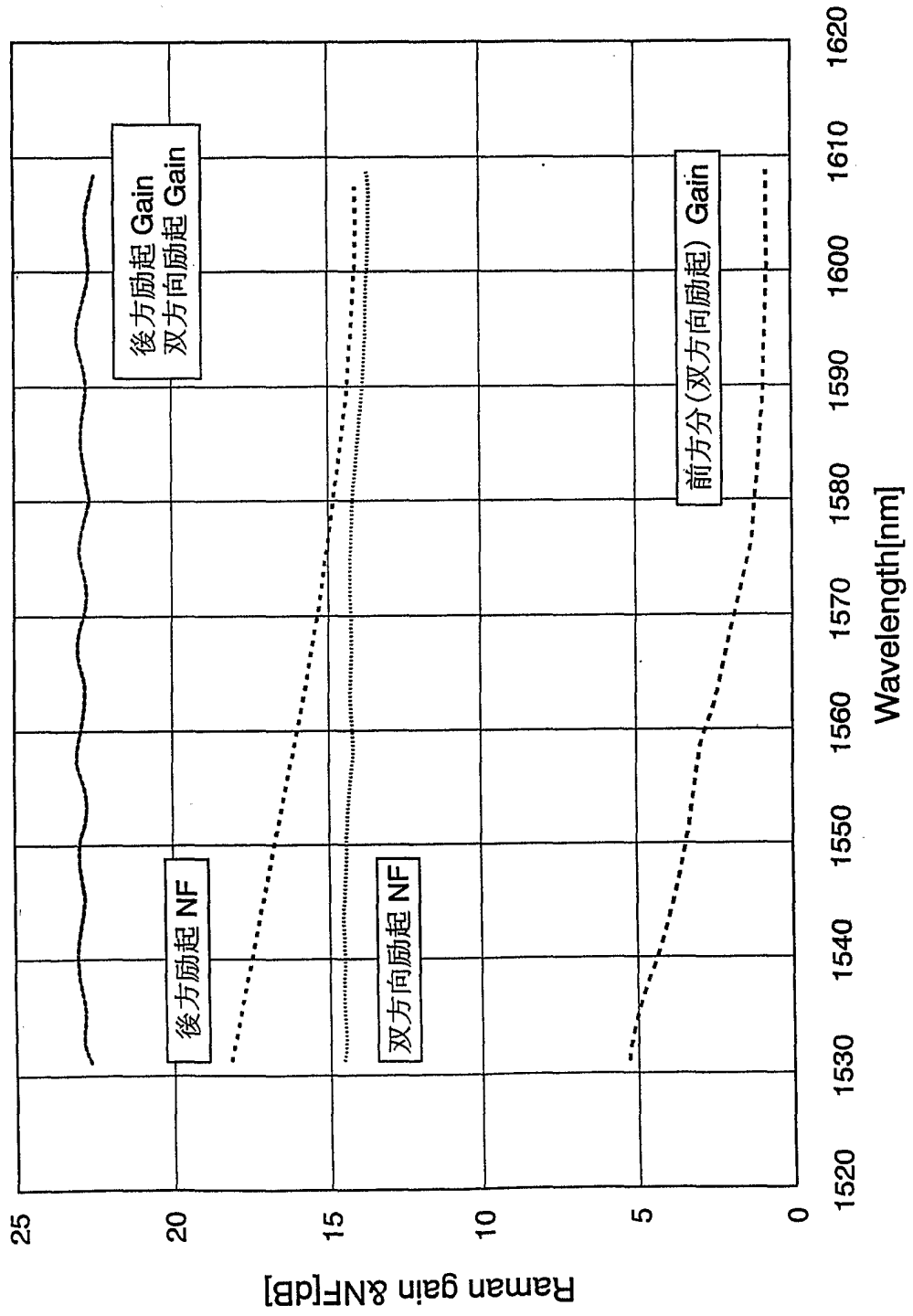


FIG. 5

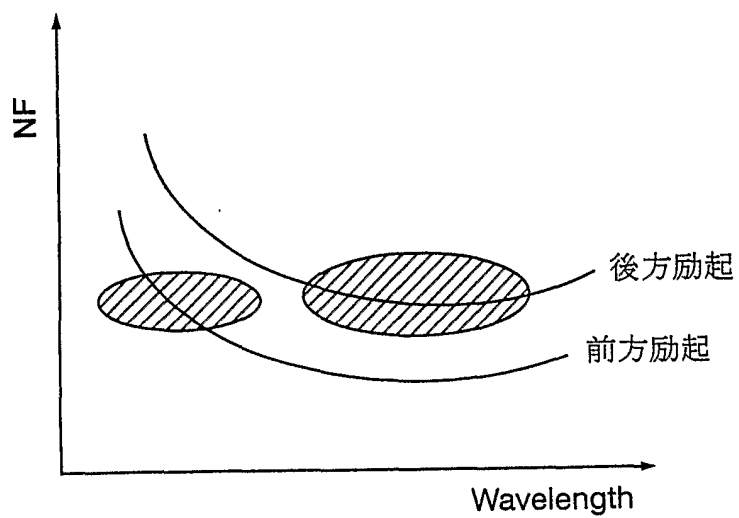
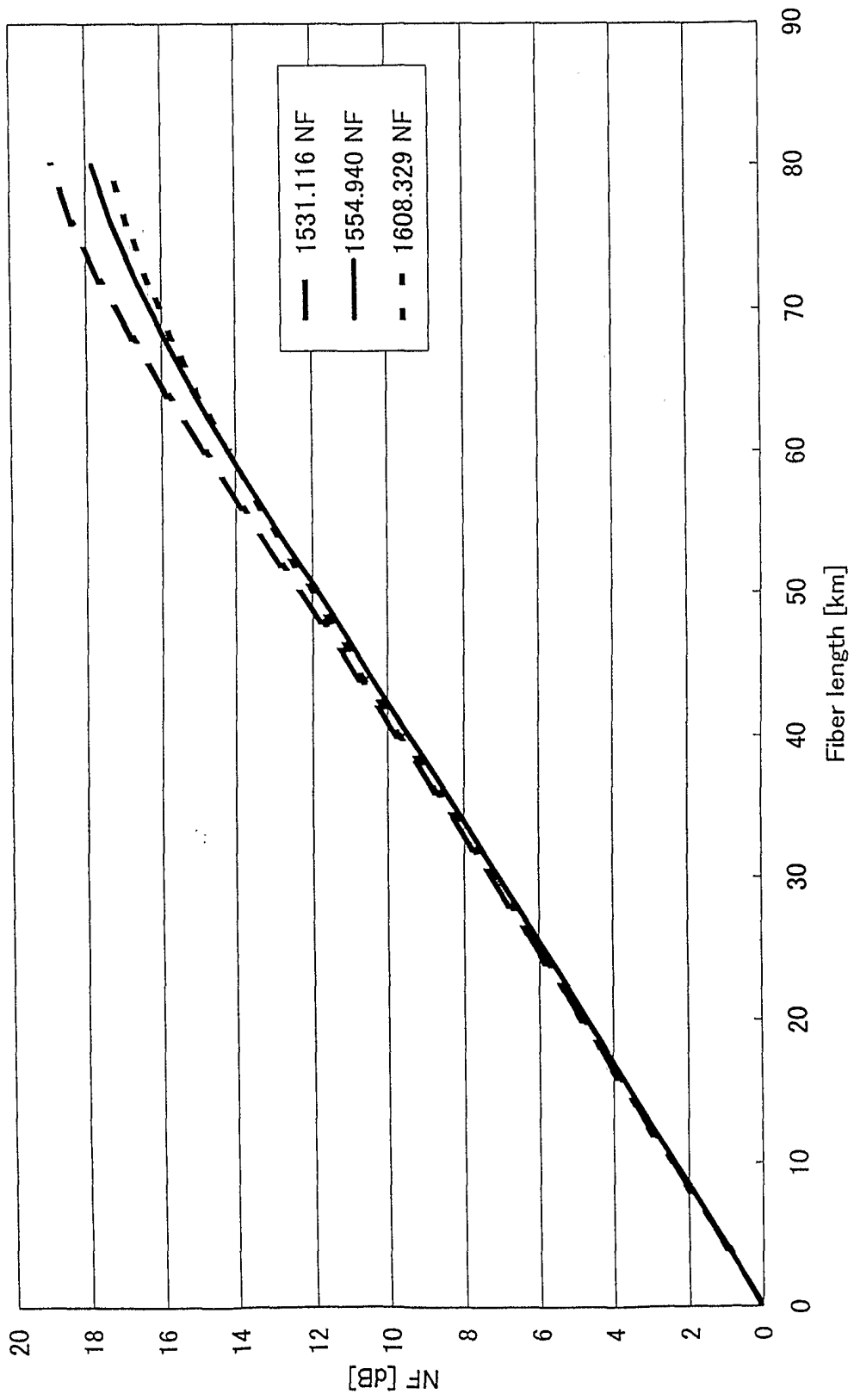
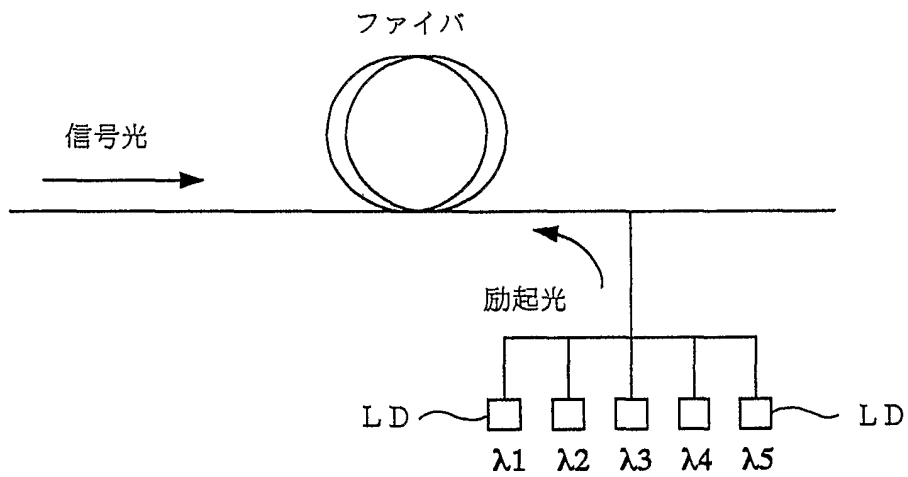


FIG. 6



# FIG. 7

後方励起の構成図



# FIG. 8

双方向励起の構成図

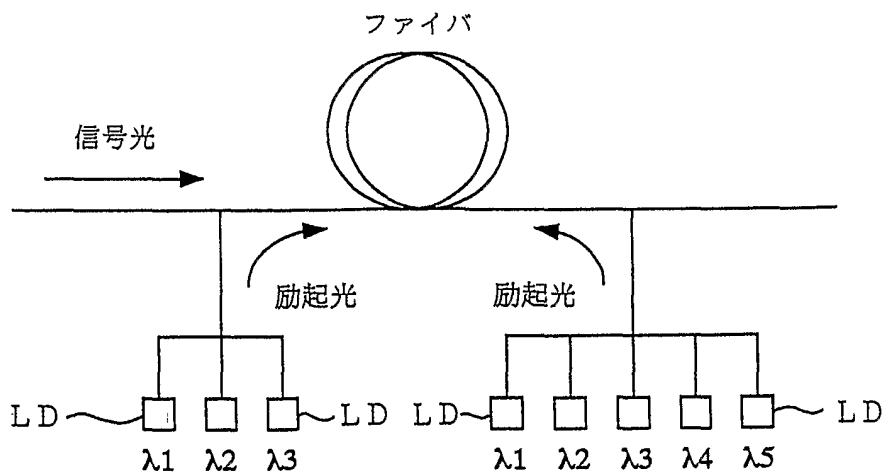


FIG. 9

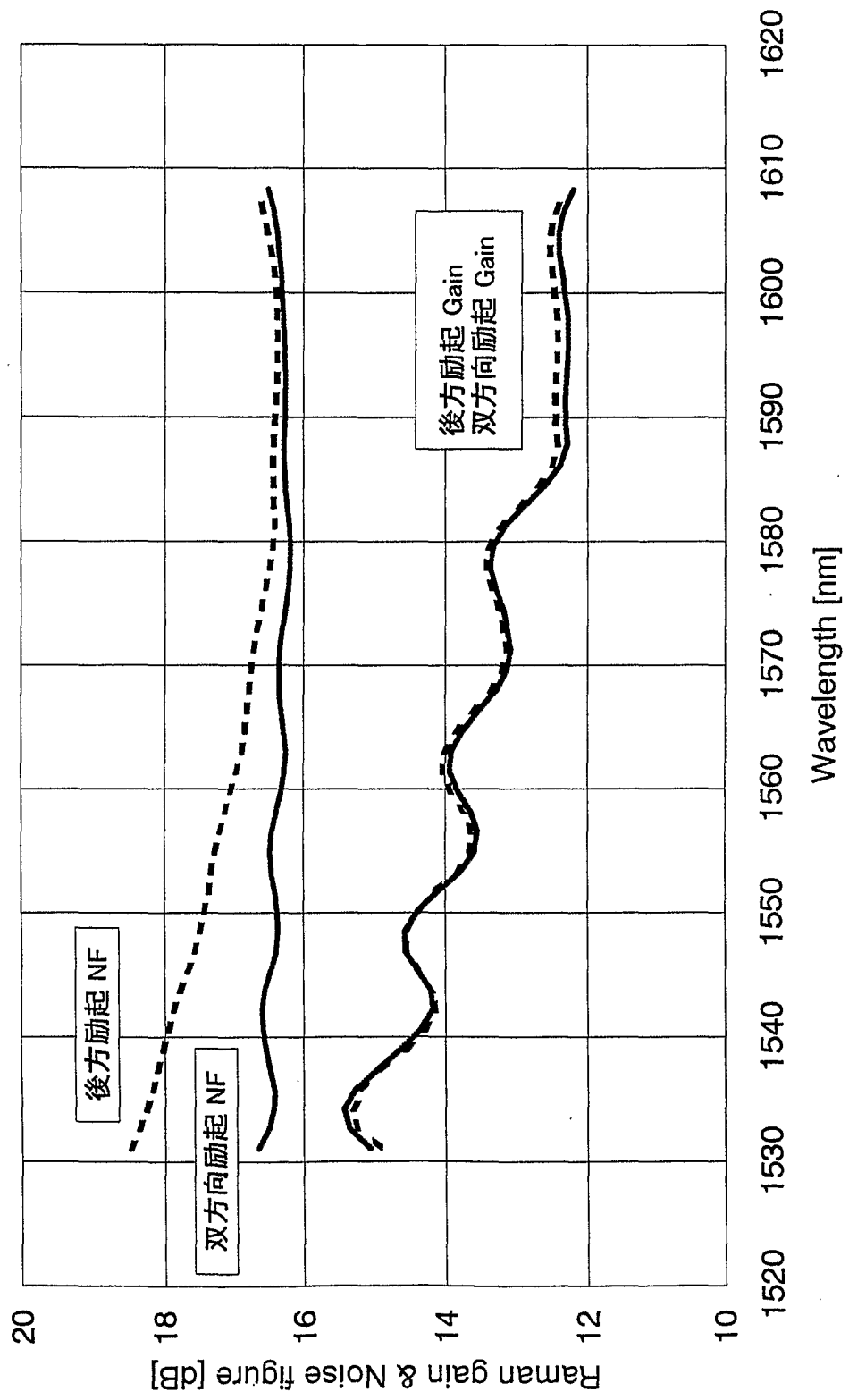


FIG.10

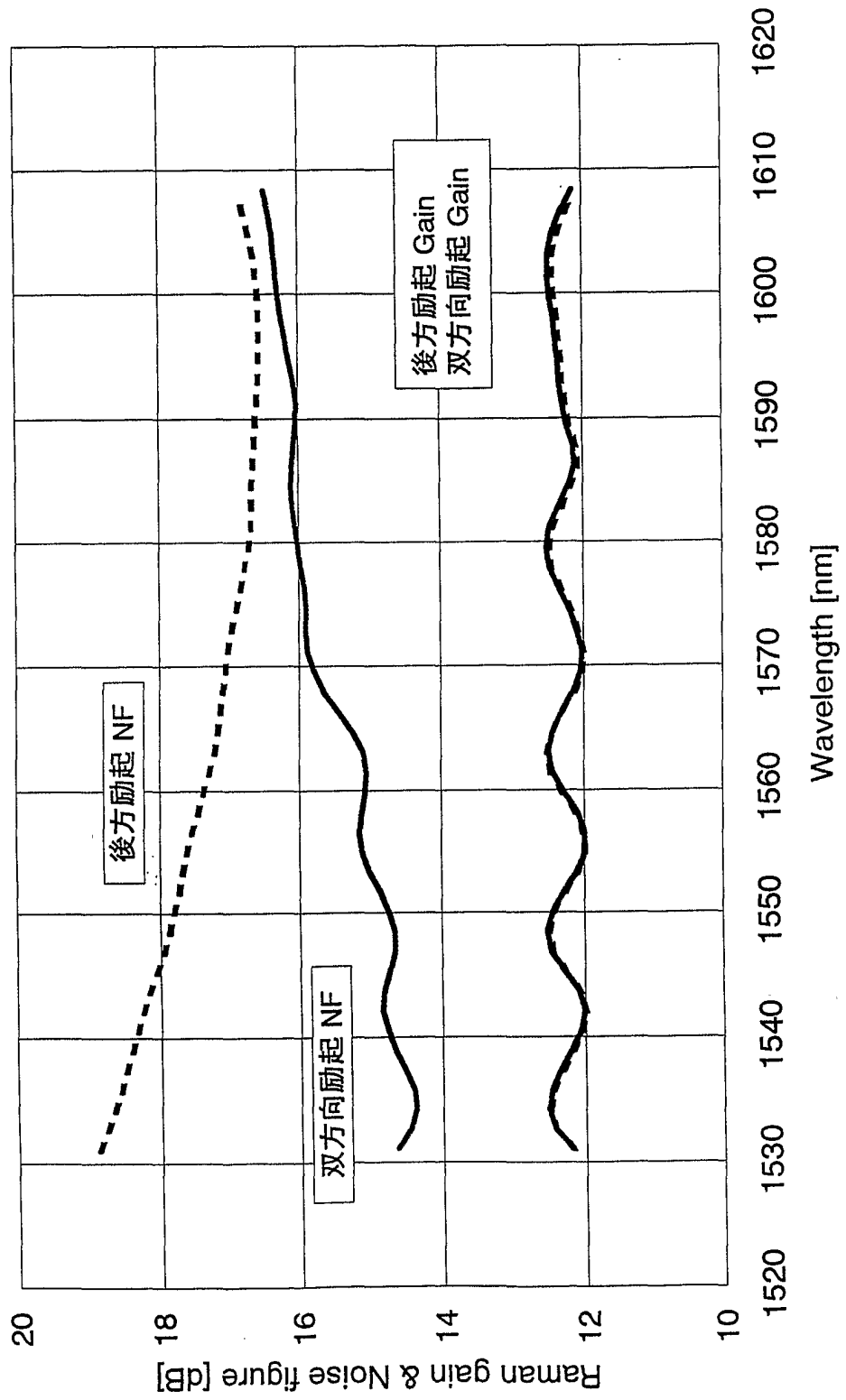


FIG.11

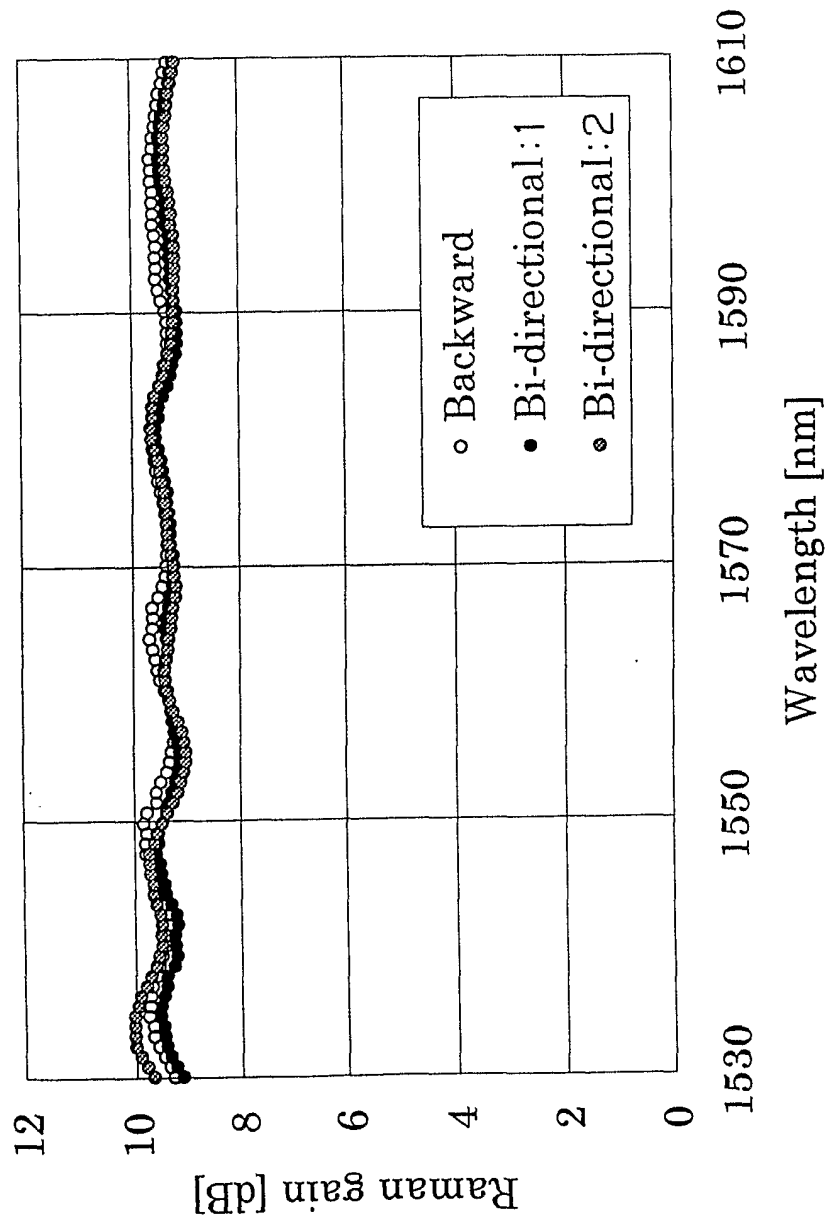


FIG.12

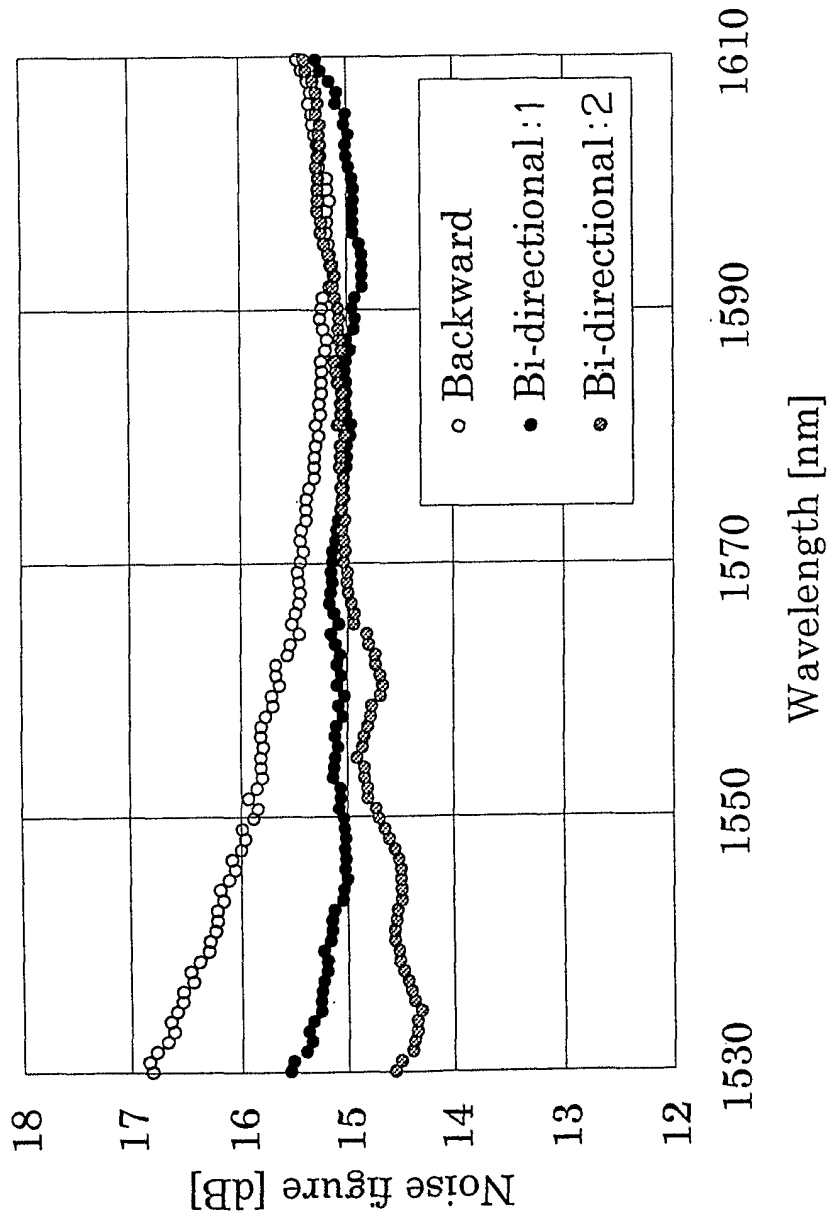


FIG. 13

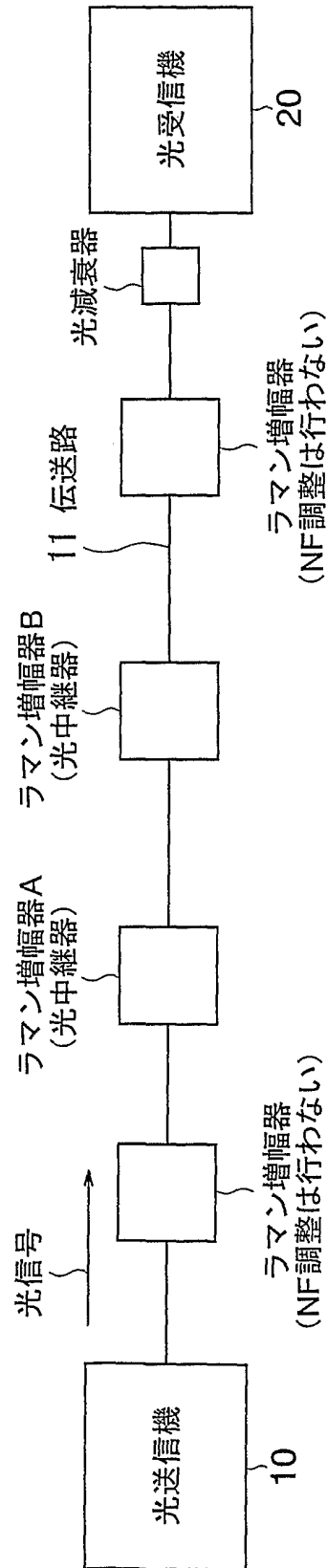
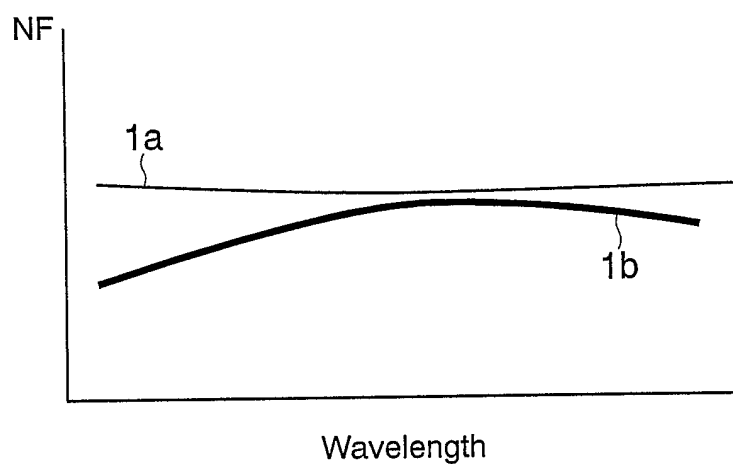
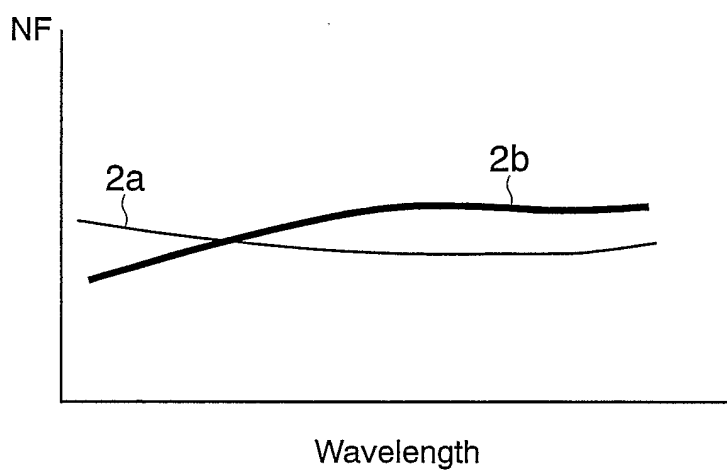


FIG. 14



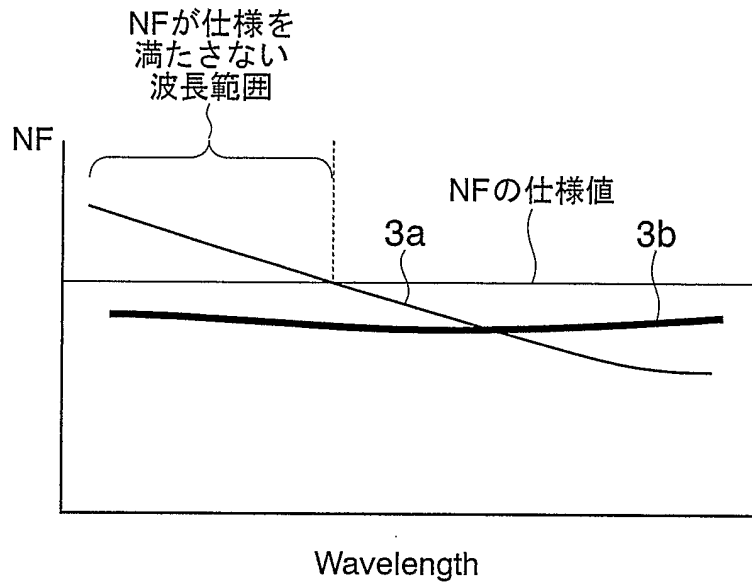
ラマン増幅器AのNF

FIG. 15



ラマン増幅器BのNF

FIG. 16



伝送システムのNF

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/08371

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl<sup>7</sup> G02F1/35, H04B10/17, H01S3/30

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)  
Int.Cl<sup>7</sup> G02F1/35, H04B10/00-10/28, H01S3/00-5/50

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2002
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2002	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2002

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
WPI (DIALOG), INSPEC (DIALOG), JOIS (JICST FILE)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, X	KADO, S. et al., Broadband flat-noise Raman amplifier using low-noise bi-directionally pumping sources. 27th European Conference on Optical Communication ECOC'01 Proceedings, Post-Deadline Papers, 04 October, 2001 (04.10.01), Vol.6, pages 38 to 39	1-7
A	FLUDGER, C.R.S. et al., Fundamental Noise Limits in Broadband Raman Amplifiers. Optical Fiber Communication Conference OFC 2001, Technical Digest, Postconference Edition, 19 March, 2001 (19.03.01), Vol.54, Paper MA5	1-7
A	FLUDGER, C.R.S. et al., Pump to signal RIN transfer in Raman fibre amplifiers. Electronics Letters, 04 January, 2001 (04.01.01), Vol.37, No.1, pages 15 to 17	1-7

Further documents are listed in the continuation of Box C.  See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search  
05 September, 2002 (05.09.02)

Date of mailing of the international search report  
17 September, 2002 (17.09.02)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/08371

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 01/52372 A1 (Xtera Communications, Inc.), 19 July, 2001 (19.07.01), Full text; Figs. 1 to 52 & AU 2784401 A	1-7
P,A	Takashi KOTANIGAWA et al., "Kotaiiki Raman Zofukuki no Hikari Zatsuon Tokusei Sokutei", 2002nen The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Sogo Taikai Koen Ronbunshu Tsushin 2, 07 March, 2002 (07.03.02), page 476	1-7
P,A	Akira NAKA et al., "Bunpu Raman Zofuku Chuokeiki no Hikari Shingo Tai Zatsuon Hyoka", 2002nen The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Sogo Taikai Koen Ronbunshu Tsushin 2, 07 March, 2002 (07.03.02), page 477	1-7
P,A	Toshiyuki MIYAMOTO et al., "Kotaiiki Ikkatsu Bunsan Hosho Fiber o Mochiita Raman Zofukuki", 2002nen The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Sogo Taikai Koen Ronbunshu Tsushin 2, 07 March, 2002 (07.03.02), page 488	1-7
P,A	ESPINDOLA, R.P. et al., Penalty-free 10 Gbit/s single-channel co-pumped distributed Raman amplification using low RIN 14xx nm DFB pump. Electronics Letters, 31 January, 2002 (31.01.02), Vol.38, No.3, pages 113 to 115	1-7
A	Hirotsugu MASUDA, "Laser Diode Reiki Fiber Raman Zofukuki no Rieki Anteika no Kento", 1999nen The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Sogo Taikai Koen Ronbunshu Tsushin 2, 08 March, 1999 (08.03.99), page 467	6
A	EMORI, Y. et al., Broadband Raman Amplifier for WDM. IEICE Transactions on Electronics, 01 May, 2001 (01.05.01), Vol.E84-C, pages 593 to 597	1-7
P,A	JP 2002-204024 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 19 July, 2002 (19.07.02), Full text; Figs. 1 to 26 (Family: none)	1-7
P,A	JP 2002-122897 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 26 April, 2002 (26.04.02), Full text; Figs. 1 to 16 (Family: none)	1-7
P,A	JP 2001-249369 A (NEC Corp.), 14 September, 2001 (14.09.01), Full text; Figs. 1 to 15 (Family: none)	1-7

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/08371

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2001-7768 A (Fujitsu Ltd.), 12 January, 2001 (12.01.01), Full text; Figs. 1 to 55 (Family: none)	1-7
A	JP 2000-314902 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 14 November, 2000 (14.11.00), Full text; Figs. 1 to 18 (Family: none)	1-7
A	US 6263139 B1 (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 17 July, 2001 (17.07.01), Full text; Figs. 1 to 8 & JP 2000-151507 A	1-7
A	EP 1018666 A1 (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 12 July, 2000 (12.07.00), Full text; Fig. 3 & JP 2000-98433 A & JP 2000-105395 A & WO 00/5622 A1 & WO 01/51986 A1 & US 6292288 B1 & EP 1170628 A1	1-7
A	EP 1102114 A1 (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 23 May, 2001 (23.05.01), Full text; Figs. 7, 12, 20 & JP 2001-222036 A & WO 00/73849 A1	1-7
A	US 6212310 B1 (SDL, Inc.), 03 April, 2001 (03.04.01), Full text; Fig. 7 & US 6275632 B1 & US 6298187 B1	1-7
A	US 6163636 A (Lucent Technologies Inc.), 19 December, 2000 (19.12.00), Full text; Fig. 7 & JP 2000-214503 A & EP 1022870 A2	1-7

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G02F1/35, H04B10/17, H01S3/30

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<sup>7</sup> G02F1/35, H04B10/00-10/28,  
H01S3/00-5/50

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 1971-2002年  
日本国登録実用新案公報 1994-2002年  
日本国実用新案登録公報 1996-2002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)

WPI (DIALOG) , INSPEC (DIALOG) , JOIS (JICSTファイル)

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
P, X	KADO, S. et al. Broadband flat-noise Raman amplifier using low-noise bi-directionally pumping sources. 27th European Conference on Optical Communication ECOC'01 Proceedings, Post-Deadline Papers, 2001.10.04, Vol.6, p.38-39	1-7
A	FLUDGER, C. R. S. et al. Fundamental Noise Limits in Broadband Raman Amplifiers. Optical Fiber Communication Conference OFC 2001, Technical Digest, Postconference Edition, 2001.03.19, Vol.54, Paper MA5	1-7

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

「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  
「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  
「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)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「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  
「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  
「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  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

05.09.02

国際調査報告の発送日

17.09.02

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)

高 芳徳

2K 9813

電話番号 03-3581-1101 内線 3253

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
A	FLUDGER, C. R. S. et al. Pump to signal RIN transfer in Raman fibre amplifiers. Electronics Letters, 2001.01.04, Vol.37, No.1, p.15-17	1-7
A	WO 01/52372 A1 (XTERA COMMUNICATIONS, INC.) 2001.07.19 全文, 第1-52図 & AU 2784401 A	1-7
P, A	小谷川 喬 他, 広帯域ラマン増幅器の光雑音特性測定 2002年電子情報通信学会総合大会講演論文集 通信 2, 2002.03.07, p.476	1-7
P, A	那賀 明 他, 分布ラマン増幅中継系の光信号対雑音評価 2002年電子情報通信学会総合大会講演論文集 通信 2, 2002.03.07, p.477	1-7
P, A	宮本 敏行 他, 広帯域一括分散補償ファイバを用いたラマン増幅器 2002年電子情報通信学会総合大会講演論文集 通信 2, 2002.03.07, p.488	1-7
P, A	ESPINDOLA, R. P. et al. Penalty-free 10 Gbit/s single-channel co-pumped distributed Raman amplification using low RIN 14xx nm DFB pump. Electronics Letters, 2002.01.31, Vol.38, No.3, p.113-115	1-7
A	増田 浩次, レーザダイオード励起ファイバラマン増幅器の利得安定化の検討 1999年電子情報通信学会総合大会講演論文集 通信 2, 1999.03.08, p.467	6
A	EMORI, Y. et al. Broadband Raman Amplifier for WDM. IEICE Transactions on Electronics, 2001.05.01, Vol.E84-C, p.593-597	1-7
P, A	JP 2002-204024 A (古河電気工業株式会社) 2002.07.19 全文, 第1-26図 (ファミリーなし)	1-7
P, A	JP 2002-122897 A (古河電気工業株式会社) 2002.04.26 全文, 第1-16図 (ファミリーなし)	1-7
P, A	JP 2001-249369 A (日本電気株式会社) 2001.09.14 全文, 第1-15図 (ファミリーなし)	1-7
A	JP 2001-7768 A (富士通株式会社) 2001.01.12 全文, 第1-55図 (ファミリーなし)	1-7
A	JP 2000-314902 A (日本電信電話株式会社) 2000.11.14 全文, 第1-18図 (ファミリーなし)	1-7
A	US 6263139 B1 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 2001.07.17 全文, 第1-8図 & JP 2000-151507 A	1-7

- |   |   |     |
|---|---|-----|
| A | EP 1018666 A1 (THE FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD) 2000.07.12 全文,<br>第3図 & JP 2000-98433 A & JP 2000-105395 A & WO 00/5622 A1<br>& WO 01/51986 A1 & US 6292288 B1 & EP 1170628 A1 | 1-7 |
| A | EP 1102114 A1 (THE FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD) 2001.05.23 全文,<br>第7, 12, 20図 & JP 2001-222036 A & WO 00/73849 A1  | 1-7 |
| A | US 6212310 B1 (SDL, INC.) 2001.04.03 全文, 第7図<br>& US 6275632 B1 & US 6298187 B1   | 1-7 |
| A | US 6163636 A (LUCENT TECHNOLOGIES INC.) 2000.12.19 全文,<br>第7図 & JP 2000-214503 A & EP 1022870 A2  | 1-7 |