

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2001年7月19日 (19.07.2001)

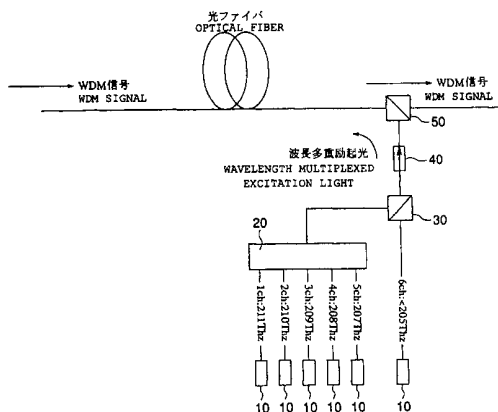
PCT

(10) 国際公開番号
WO 01/51986 A1

- (51) 国際特許分類: G02F 1/35 (72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 江森芳博 (EMORI, Yoshihiro) [JP/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).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP01/00094
- (22) 国際出願日: 2001年1月11日 (11.01.2001)
- (25) 国際出願の言語: 日本語 (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).
- (26) 国際公開の言語: 日本語 (81) 指定国 (国内): CA, US.
- (30) 優先権データ: (84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (DE, FR, GB, IT).
特願2000-6567 2000年1月14日 (14.01.2000) JP
特願2000-199548 2000年6月30日 (30.06.2000) 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).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告書
- 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。

(54) Title: RAMAN AMPLIFIER

(54) 発明の名称: ラマン増幅器



(57) Abstract: A Raman amplifier using at least three excitation frequencies, wherein, when excitation wavelengths are divided into groups of excitation wavelengths on a short wavelength side and a long wavelength side with an excitation wavelength having the widest interval between adjacent wavelengths used as a boundary, a group on the short wavelength side contains at least two excitation wavelengths with almost equal wavelength intervals, and a group on the long wavelength side comprises up to two excitation wavelengths. When a certain excitation wavelength is defined as a first channel and second to n-th channels located from there toward the long wavelength side at about 1THz intervals are defined, excitation lights with wavelengths corresponding to the first to n-th channels are multiplexed and then further multiplexed with an excitation light having a wavelength at least 2THz away from the n-th channel toward the long wavelength side, for use as an excitation light source. Excitation lights having wavelengths corresponding to channels other than (n-1)-th and (n-2)-th channels are multiplexed for use as an excitation light source. Excitation lights having wavelengths corresponding to channels other than (n-2)-th and (n-3)-th channels are multiplexed for use as an excitation light source.

[続葉有]

WO 01/51986 A1





(57) 要約:

3以上の励起波長を用いたラマン増幅器において、隣り合う波長間隔が最も広い励起波長を境界として、短波長側と長波長側の励起波長のグループに分けたときに、短波長側のグループは二つ以上の励起波長を含み、その波長間隔がほぼ等間隔であり、長波長側のグループは二つ以下の励起波長で構成する。ある励起波長を第一チャンネルと定義し、そこから長波長側に約1 THz間隔で第二から第nチャンネルを定義するとき、第一から第nチャンネルに相当する波長の励起光を多重化したものに加えて、さらに長波長側に第nチャンネルから2 THz以上離れた波長をもつ励起光を合波し、これを励起光源とした。第n-1および第n-2チャンネル以外のチャンネルに相当する波長の励起光を多重化したものを励起光源とした。第n-2および第n-3チャンネル以外のチャンネルに相当する波長の励起光を多重化したものを励起光源とした。

明細書

ラマン増幅器

技術分野

本発明は光増幅器のうち、特にラマン増幅器に関するものである。

背景技術

現在の光通信システムに用いられている波長分割多重（WDM）システムでは、伝送容量を拡大する方法として、信号波長帯域を拡大して多重波長数を増大させる方法と、1波長当たりの伝送速度（ビットレート）を向上させる方法とがある。通常のWDMシステムでは、エルビウム添加光ファイバ増幅器（EDFA）の利得波長帯域の制約から、信号光の波長として、Cバンドと呼ばれる約1530から1565nmの波長帯から波長を選ぶのが最も一般的である。一方で、Lバンドと呼ばれる約1575から1610nmの波長帯でも、EDFAによる光増幅が可能であることから、最近はこの帯域でのWDMシステムの開発が進められている。

前記の様に波長帯域を拡大することで、一つのWDMシステムで伝送可能な容量を拡大することができる。WDMシステムはCバンドのWDMシステムから導入され始めているため、WDMシステムの伝送容量を拡大するには、既存のCバンドのWDMシステムの設備を生かし、それにLバンドのWDMシステムを追加して段階的に大容量化を実施することが望ましい。従来、EDFAを用いたWDMシステムでは、伝送システムを構成する各種要素の技術改善により1波長当たりの伝送速度を向上（高速化）させてきたが、EDFAのような集中型増幅器を用いたシステムでは高速化の限界に近づいている。更なる高速化や長距離化のためには、ラマン増幅器のような分布型増幅器との併用が不可欠と言われており、実用化に向けて盛んに開発が行われている。

ラマン増幅器は図20の様に、増幅用媒体としての光ファイバと、その中で

誘導ラマン散乱を起こすための励起光源で構成される。その増幅用媒体に石英系の光ファイバを用いた場合、励起光の波長よりも長波長側、周波数にして約 13.2 THz 低い周波数帯に利得のピークが現れる。例えば、波長 1450 nm と 1550 nm の周波数の差が 13.2 THz であるため、Cバンドをラマン増幅するためには 1450 nm 付近の波長をもつ励起光を、Lバンドをラマン増幅するためには 1490 nm 付近の波長をもつ励起光を用いることになる（図21）。

ところが、一波励起のラマン利得は波長依存性が大きく、図22から明らかな様に、ラマン利得が 5 dB を超えたあたりから、 30 nm の動作帯域幅に対して利得偏差を 1 dB 以下に抑えることができなくなってくる。この問題を解決するには、適切な波長間隔の複数の励起光をラマン増幅器に適用する（波長多重励起する）ことが効果的である。この方法によると従来よりも広帯域で且つ利得平坦度の良好なラマン増幅器を実現することができる。

このような考え方自体は、特公平7-99787号の図4の説明でも述べられているように、直感的に理解されうることである。特願平10-208450号、特願平11-34833号では、波長間隔の具体的な数値について言及しており、その値として 6 nm から 35 nm が適当であると主張している。

図23A、23Bは励起光間隔をそれぞれ 4.5 THz 、 5 THz とし、増幅用ファイバとしてDSFを用いた場合のラマン利得プロファイルの例である。図23A、23Bより明らかなように、励起光の間隔が大きくなると利得の谷が深くなり利得偏差が大きくなる。尚、図23Aでは励起光の周波数（波長）として次の表1に示す値を用いており、図23Bでは励起光の周波数（波長）として次の表2に示す値を用いた。この場合、励起光間隔 4.5 THz は 33 nm に対応し、 5 THz は 36.6 nm に対応する。即ち、励起光間隔が 35 nm 以上になると、利得平坦度があまり良くないことがこの例によって示されている。

(表 1)

| 励起周波数 T H z | 励起波長 n m | 波長間隔 n m |
|----------------|-------------|-------------|
| 2 0 4 . 5 | 1 4 6 6 . 0 | 3 3 . 0 |
| 2 0 0 . 0 | 1 4 9 9 . 0 | |

(表 2)

| 励起周波数 T H z | 励起波長 n m | 波長間隔 n m |
|----------------|-------------|-------------|
| 2 0 5 . 0 | 1 4 6 2 . 4 | 3 6 . 6 |
| 2 0 0 . 0 | 1 4 9 9 . 0 | |

次に、励起光間隔を 4.5 THzとして3波長使用した場合の利得プロファイルを図 2 4 に示す。この図より、3 番目の励起波長を付加する場合には、励起光間隔が 4.5 THzでは利得の谷が深くなってしまふことがわかる。図 2 5 は励起光間隔を 2.5 THzと 4.5 THzとして3波長使用した場合の利得プロファイルを示したものであり、図 2 4 と比較すると利得の谷は浅くなっている。ここで用いている周波数間隔 2.5 THzは波長間隔にして約 1 8 nmであるから、この場合も 6 nmから 3 5 nmの範囲に入っていると見える。しかしながら、逆の捕らえ方をすると、この範囲の中であっても波長間隔を適切に設定しなければ平坦な利得が得られないとも見える。

ところで、従来のWDM用光増幅器の設計では、利得平坦度をできるだけ小さくすることが課題であり、全ての信号光が同じ利得を受けるような光増幅器が理想的とされていた。使用する信号の数、パワー、帯域幅が小さい場合には、このような設計思想で十分であったのだが、信号光の使用帯域が拡大するにつれて、信号光間のラマン増幅効果が問題となってきている。この現象は、文献(例えば、S. Bigo et al., IEEE Photonics Technology Letters, pp.671-673, 1999)でも示されているように、伝送路に入射するときと同じパワーに設定されていたWDM信号が、伝搬後には短波長側が小さく長波長側が大きくなるような直線的な傾きをもってしまふものである。この傾きは、信号光の数、パワー、帯域幅、伝送路を

構成するファイバの特性、伝送距離など様々な要因によって決まる。この問題に対処する手段として、波長依存性のある損失媒体を用いて長波長側の信号を減衰させる傾斜補償器(T. Naito et al., OAA'99, WC5)やラマン利得の波長依存性を用いて、短波長側の信号に相対的に大きな利得を与えて傾斜を補償する方法(M. Takeda et al., OAA'99, ThA3)が提案されている。前者の損失を与える方法は雑音の点で不利となるため、後者の方が優れている。ただし、Takeda らの文献では、ラマン利得の傾きが直線状でないため、傾斜を補償した後の利得平坦度が 1 dB 以上と比較的大きい。

ラマン増幅器を用いた WDM システムでも、先に述べた EDFA のみを用いた WDM システムと同様に、C バンド用の WDM システムが導入されているところでは、その設備を生かしたまま L バンドの WDM システムを追加できるような構成が望まれる。

波長多重励起によるラマン増幅器において、C バンドから C+L バンドに代表されるような利得帯域の拡張を考えた場合、拡張前に使用していた励起波長の全てを利用した上で、拡張後に C+L バンド用として動作するように設計する必要がある。即ち、C バンド用に使用していた励起波長に、新たな励起波長を追加することで、C+L バンド用として動作するように設計しなければならない。この場合、C バンドと C+L バンドで利得を平坦化するための波長配置が共通化されている必要がある。

利得偏差はピーク利得の大きさに比例するので、利得が大きい場合は励起光間隔を小さく設定する必要が生じる。また、先に示したように、励起光を等間隔に配置する場合には、波長間隔が 3.5 nm 以下であっても、利得偏差を十分に小さくできないこともある。このような場合にも、もっと狭い波長間隔を用いる必要性が生じる。原理的には励起光間隔を小さくしていけば利得偏差を小さくできるのだが、合波技術の問題とコストの問題から励起光間隔には現実的な下限値が存在する。特願平 10-208450 号、特願平 11-34833 号においては、合波技術を根拠に下限を 6 nm としている。

しかしながら、特願平 10-208450 号、特願平 11-34833 号では、

隣合う二つの励起波長の間隔が 6 nm から 35 nm の範囲にあるとよいことは開示されているが、詳細な設計値については十分な情報が開示されていない。また、公知文献 (Y. Emori et al., OFC'99 PD19) の設計では、利得偏差が 1 dB となっており、もっと小さな利得平坦度を要求された場合には適用できない。

発明の開示

本発明では、3 以上の励起波長を用いたラマン増幅器における波長配置の選択方法を示し、利得平坦度のよいラマン増幅器を提供することを第一の目的とし、さらにはラマン利得のピーク値 10 dB に対して利得偏差が 0.1 dB 程度となるようなラマン増幅器を提供することを目的とする。

また、本発明は、広帯域 WDM 伝送時に問題となる信号間ラマン効果を補償するのに適したラマン増幅器を提供することを別の目的とする。

本発明では、新たな励起光を追加して利得帯域を拡張する場合に、拡張後の利得及び利得平坦度が拡張前よりも著しく劣化しないようにしたラマン増幅器を提供することも合わせて検討する。

本件発明者は本件発明の開発に先立って、波長多重励起によるラマン増幅器の利得プロファイルについて研究し、その利得を平坦化するための波長配置を解明した。その原理は次の通りである。

波長多重励起によるラマン増幅器の利得プロファイルは各励起波長によって生じる利得の重ね合わせで成り立っている。従って、互いに打ち消し合う利得傾斜を組み合わせることが平坦な利得を得る要件となる。即ち、短波長側から長波長側に向かって利得が減少する右下がりの曲線と、短波長側から長波長側に向かって利得が増加する右上がりの曲線を組み合わせることによって波長平坦度の良い利得特性が得られる。励起波長数が二つの場合は、短波長の励起光によって生じる利得曲線の利得ピークよりも長波長側の傾斜と、長波長の励起光によって生じる利得曲線の利得ピークよりも短波長側の傾斜とを組み合わせることになる。重ね合わせの基本である一波長励起のラマン利得曲線は、図 2-1 から明らかな様に利得ピークが単峰ではなく二つあり、しかも、Cバンドで

は一つ目の右上り傾斜のピークが1550nm、二つ目の右下がり傾斜のピークが1560nmである。また、Lバンドでは一つ目の右上り傾斜のピークが1595nm、二つ目の右下がり傾斜のピークが1605nmである。このため、いずれの場合も二つの励起波長は最低でも10nm以上離す必要がある。図21の曲線Aは、励起波長の中心波長が1450nm、曲線Bは、励起波長の中心波長が1490nmの場合である。

図26にCバンド用に設計したラマン増幅器の利得プロファイルの例を、表3にそのとき使用した励起波長を示す。想定ファイバは通常のシングルモードファイバ、利得帯域は1530nmから1565nmをカバーするように設計されている。波長多重励起によるラマン増幅器の利得プロファイルは、各励起波長によって生じる利得の重ね合わせで成り立つ。図26では足し合わせた利得の平坦度が最小になるように各波長の利得配分を最適化している。励起波長数は要求される利得平坦度に応じて適宜選択される。同様に、Lバンド用に設計したラマン増幅器の利得プロファイルの例を図27に、そのとき使用した励起波長を表4に示す。

(表3)

| 2波長励起 | 3波長励起 | 4波長励起 |
|-------|-------|-------|
| 1426 | 1424 | 1423 |
| 1453 | 1435 | 1430 |
| | 1460 | 1438 |
| 単位はnm | | 1462 |

(表 4)

| 2 波長励起 | 3 波長励起 | 4 波長励起 |
|---------|---------|---------|
| 1 4 6 4 | 1 4 6 3 | 1 4 6 2 |
| 1 4 9 3 | 1 4 7 5 | 1 4 7 0 |
| | 1 5 0 0 | 1 4 7 8 |
| 単位は n m | | 1 5 0 1 |

励起波長が二つの場合、それらの間隔を大きくすることで、利得帯域幅を広げることができるが、離れすぎると帯域内に利得の谷ができる。従って、利得平坦度と利得帯域はトレードオフの関係となる。図 2 6、図 2 7 では予め決められた利得帯域で最適化するように励起波長間隔が決められており、その間隔は 2 7 n m と 2 9 n m であった (表 3, 4 参照)。

重ね合わせの基本となる一波長励起のラマン利得曲線は、図 2 1 の様に利得ピークよりも長波長側の利得傾斜の方が、短波長側の利得傾斜よりも急であり、傾斜を利用できる帯域幅が狭い。右下がりの傾斜を緩やかにして広帯域化するためには複数の励起波長を用いて右下がりの利得曲線を作る必要がある。

前記右下がりの利得傾斜をもつ利得曲線を三以上の励起波長を用いて作る場合も、励起波長が二つ場合と同様に、右下がりの利得傾斜を作るための励起波長と、右上がりの利得傾斜を作るための励起波長を最低でも 1 0 n m 以上離す必要がある。ただし、右下がりの利得傾斜を作るための励起光が複数の波長で構成されているので、その中の最も長い励起波長と右上がりの利得傾斜を作るための励起波長を 1 0 n m 以上離すことになる。表 3 における三波長励起の 1 4 3 5 n m と 1 4 6 0 n m の間隔、4 波長励起の 1 4 3 8 n m と 1 4 6 2 n m の間隔がこれに相当する。また、表 4 における 3 波長励起の 1 4 7 5 n m と 1 5 0 0 n m の間隔、4 波長励起の 1 4 7 8 n m と 1 5 0 1 n m の間隔がこれに相当する。

三以上の励起波長を用いる場合、励起波長の間隔が等間隔に近いときは、重ね合わせによって生じた右下がりの利得傾斜に現れるリップルが小さくなる。

右上がりの曲線と組み合わせて平坦化を行ったときには、このリップルが最終的な利得平坦度を定める。図 26, 27 における 4 波長励起の場合がこの例に相当する。表 3, 4 に示されるように、最適化された波長が 1423 nm, 1430 nm, 1438 nm や 1462 nm, 1470 nm, 1478 nm であり、等間隔に近い配置となっている。

図 28 から図 30 は励起光間隔を等間隔とした場合のラマン利得曲線の振る舞いを示したものである。図 28 は、各励起光から生じる利得が同じであるという条件下で、ピーク利得が 10 dB になるように調整したものである。図 28 より、励起光間隔が小さいほど、利得の凹凸は小さくなっていることがわかる。図 29 は、利得が平坦になるように個々の励起光による利得を調整した例である。この場合にも、図 28 と同様に励起光間隔が小さいほど、利得の凹凸は小さくなっている。また、図 28 における利得曲線のうねりが図 29 における最大利得偏差を決定している様子もわかる。以上より、利得偏差を 0.1 dB 程度とするためには、2 THz の励起光間隔では大き過ぎるが、1 THz なら十分であるといえる。

次に、励起光間隔を 1 THz として、多重数を変えた場合の振る舞いを図 30 に示す。1 ch 励起の利得曲線を見るとわかるように、シリカ系のファイバの場合、利得ピークよりも短波長側は凹凸のない滑らかな曲線であるが、長波長側には比較的大きな凹凸が 3 つ存在し、これが平坦化の限界を決定する要因となっている。この凹凸は、多重数を増やすにつれて小さくなっていく。例えば、1 ch の利得曲線を見ると、187 THz 付近に 1 dB 近い突起があるが、多重数を増やすごとにこれが小さくなっていく。これは、ピーク利得を同じに設定しているために、多重数が増えるにつれて、一波当たりの利得が小さくなり、突起の大きさ自体が小さくなることと、同じ形の凹凸が等間隔で僅かにずれて足し合わされることによるものである。即ち、ある励起波長の利得曲線の凸部と別の励起波長の利得曲線の凹部が足し合わされることにより、全体としての凹凸が小さくなるのである。請求項 2 乃至 4 に記載の約 1 THz という数値は、この原理を根拠としており、図 30 に示されている 1 ch 励起の利得曲線において、187 THz 付近の突起とそのすぐ隣にある 188 THz 付近の窪みの周波数差が約 1 THz であることが根拠となっ

ている。従って、使用するファイバによっては、1 ch励起の利得曲線が若干異なる場合もあり、請求項2乃至4で約1 THzと記述されている数値が変わる可能性もある。いずれにしても、利得偏差を小さくするためには、足し合わせのもとになる利得曲線の凹凸が打ち消し合うことが必要である。

利得偏差の限界は、重ね合わせのもとになる利得曲線のうねりや凹凸によって決まるので、凹凸の小さい利得曲線を組み合わせることで平坦かつ利得偏差の小さい利得プロファイルが得られると考えられる。従って、約1 THz間隔で多重化された励起光による利得曲線と、その励起波長よりも長波側の励起光による利得曲線を組み合わせることによってこれが達成される。このとき、二つの利得曲線のピークは適度に離れている方が、広帯域化の点で望ましい。

これまで述べてきた効果は、利得平坦度を小さくするという目的に対する説明であったが、長波側の励起光による利得を減少させることで、短波側から長波側へ直線的に利得が減少するような利得プロファイルを実現することも可能である。これを、信号光間のラマン効果によって生じるレベル傾斜と合わせれば、信号光のレベルを平坦にすることができる。短波側と長波側の利得の配分を調整することによって、任意の傾きを実現することができるため、いかなるラマン傾斜をも補償しうる。

Cバンド、Lバンドの利得帯域の拡張を試みる場合、Cバンド用とLバンド用の両方の励起波長を同時に用いるのが最適な方法と考えられる。

しかし、図26のCバンド用の励起光と、図27のLバンド用の励起光とを同時に用いて、各励起波長の利得配分を最適化したときの利得プロファイルは図31のようになる。そのとき使用した励起波長を表5に示す。この場合、C+Lバンドの全帯域にわたって利得平坦度を図26、27と同等にするように試みても、図31の様にCバンドの帯域内に大きな窪みができてしまい、拡張前よりも利得平坦度が悪くなってしまいうという課題があった。

(表 5)

| C用2波+L用2波 | C用3波+L用3波 | C用4波+L用4波 |
|-----------|-----------|-----------|
| 1 4 2 6 | 1 4 2 4 | 1 4 2 3 |
| 1 4 5 3 | 1 4 3 5 | 1 4 3 0 |
| 1 4 6 4 | 1 4 6 0 | 1 4 3 8 |
| 1 4 9 3 | 1 4 6 3 | 1 4 6 2 |
| | 1 4 7 5 | 1 4 7 0 |
| | 1 5 0 0 | 1 4 7 8 |
| 単位は n m | | 1 5 0 1 |

これまで述べてきたのと同様の理由から、C+Lバンドで利得平坦度の良い動作をさせる場合も、ほぼ等間隔に配置された複数の励起波長を用いて右下がりの利得曲線を作り、その中の最も長い励起波長より10nm以上長波長側の励起光を用いて右上がりの利得曲線を作る必要がある。しかしながら、図31に用いられている励起波長は、図26と図27の励起波長を同時に用いただけであるため、Cバンド用の励起波長帯域において、等間隔に近い配置という条件が満たされなくなる。表5は図31に用いた励起波長を示したものである。これによると、短波長側を等間隔に近い配置にするためには、Cバンド用の励起波長帯域に励起波長が不足していることがわかる。この不足分が図31に示された利得の窪みを生じさせる要因であることが究明された。

以上の結果から、前記目的を達成するために必要な手段は次に示す通りであるということが解明された。

本発明の一つの手段は、3以上の励起波長を用いたラマン増幅器において、隣り合う波長間隔が最も広い励起波長を境界として、短波長側と長波長側の励起波長のグループに分けたときに、短波長側のグループは二つ以上の励起波長を含み、その波長間隔がほぼ等間隔であり、長波長側のグループは二つ以下の励起波長で構成されていることを特徴とする。

本発明の別の手段では、最短励起波長を第一チャンネルと定義し、そこから長

波長側に約 1 THz 間隔で第二から第 n チャンネルを定義するとき、第一から第 n チャンネルに相当する波長の励起光を多重化したものに加えて、さらに長波長側に第 n チャンネルから 2 THz 以上離れた波長をもつ励起光を合波し、これをラマン増幅器の励起光として用いた。また、最短励起波長を第一チャンネルと定義し、そこから長波長側に約 1 THz 間隔で第二から第 n チャンネルを定義するとき、第 n - 1 および第 n - 2 チャンネル以外のチャンネルに相当する波長の全てを合波したものをラマン増幅器の励起光として用いた。あるいは、第 n - 2 および第 n - 3 チャンネル以外のチャンネルに相当する波長の全てを合波したものをラマン増幅器の励起光として用いた。

本発明の他の一つは、利得波長帯域を拡張するラマン増幅器において、拡張前の励起波長が二以上であり、利得波長帯域拡張のために二以上の励起波長を追加し、追加する励起波長の一以上を拡張前使用の励起波長と異なるものとし、その一以上の励起波長を拡張前使用の励起波長帯域内に配置している。

本発明の他の一つは、利得波長帯域を拡張するラマン増幅器において、拡張前の励起波長が二以上であり、利得波長帯域拡張のために二以上の励起波長を追加し、追加する励起波長の一以上を拡張前使用の励起波長と異なるものとし、その一以上の励起波長を拡張前使用の励起波長帯域内のうち利得不足の波長帯域に配置している。

本発明の他の一つは、利得波長帯域を拡張するラマン増幅器において、拡張前の励起波長が二以上であり、利得波長帯域拡張のために拡張前の励起波長帯域内に一以上の励起波長を追加し、その追加により拡張前の励起波長帯域内の励起波長が等間隔又は等間隔に近い間隔となるようにしている。

本発明の他の一つは、Cバンドを増幅するための二以上の励起波長と、Lバンドを増幅するための二以上の励起波長とを同時に使用して、CバンドとLバンドとを同時に増幅するに際し、拡張前使用のCバンドの励起波長と異なる波長の一以上の励起波長をCバンドの励起波長帯域内に追加するラマン増幅器である。

本発明の他の一つは、Cバンドを増幅するための二以上の励起波長と、Lバ

ンドを増幅するための二以上の励起波長とを同時に使用して、CバンドとLバンドとを同時に増幅するに際し、拡張前使用のCバンドの励起波長と異なる波長の一以上の励起波長を、Cバンドの励起波長帯域における利得不足の波長帯域に追加するラマン増幅器である。

本発明の他の一つは、Cバンドを増幅するための二以上の励起波長と、Lバンドを増幅するための二以上の励起波長とを同時に使用して、CバンドとLバンドとを同時に増幅するに際し、拡張前使用のCバンドの励起波長と異なる波長の一以上の励起波長を、Cバンドの励起波長帯域に追加し、その追加により拡張前の励起波長帯域内の励起波長が等間隔又は等間隔に近い間隔となるようにしたラマン増幅器である。

図面の簡単な説明

図1は本発明のラマン増幅器の第1の実施形態を示す説明図。

図2は図1に示す励起光源を用いた場合のラマン利得プロファイルを示す図。

図3は図2に示すトータル利得の拡大図。

図4は図1に示すラマン増幅器において、第六チャンネルの波長を第五チャンネルよりも長波長側に2.5 THz離れた波長とした場合のラマン利得プロファイルを示す図。

図5は図4に示すトータル利得の拡大図。

図6は本発明のラマン増幅器の第2の実施形態を示す説明図。

図7は図6に示す励起光源を用いた場合のラマン利得プロファイルを示す図。

図8は図7に示すトータル利得の拡大図。

図9は本発明のラマン増幅器の第3の実施形態を示す説明図。

図10は図9に示す励起光源を用いた場合のラマン利得プロファイルを示す図。

図11は図10に示すトータル利得の拡大図。

図12は211 THz から199 THz まで1 THz 間隔で13チャンネルある中から11チャンネルを使用する場合であって、201 THz と200 THz 以外の励起光を用いた場合のラマン利得プロファイルを示す図。

図 1 3 は図 1 2 に示すトータル利得の拡大図。

図 1 4 は 2 1 1 THz から 1 9 9 THz まで 1 THz 間隔で 1 3 チャンネルある中から 1 1 チャンネルを使用する場合であって、2 0 2 THz と 2 0 1 THz 以外の励起光を用いた場合のラマン利得プロファイルを示す図。

図 1 5 は図 1 4 に示すトータル利得の拡大図。

図 1 6 は図 1 2 と同じ励起光源を用いた場合のラマン利得プロファイルを示す図。

図 1 7 は拡張前の励起光が二波長の場合の利得特性説明図。

図 1 8 は拡張前の励起光が三波長の場合の利得特性説明図。

図 1 9 は拡張前の励起光が四波長の場合の利得特性説明図。

図 2 0 はラマン増幅器の説明図。

図 2 1 は C バンド、L バンドをそれぞれ一波長で励起した場合の利得特性説明図。

図 2 2 は利得の大きさと利得帯域幅の関係を示した図。

図 2 3 A、2 3 B は励起光間隔を夫々 4.5 THz、5 THz とし、増幅用ファイバに D S F を用いた場合のラマン利得プロファイルを示す図。

図 2 4 は励起光間隔を 4.5 THz として 3 波長使用した場合のラマン利得プロファイルを示す図。

図 2 5 は励起光間隔を 2.5 THz と 4.5 THz として 3 波長使用した場合のラマン利得プロファイルを示す図。

図 2 6 は本発明のラマン増幅方法を C バンドに応用した例の波形説明図。

図 2 7 は本発明のラマン増幅方法を L バンドに応用した例の波形説明図。

図 2 8 は励起光間隔を等間隔とした場合のラマン利得曲線の振る舞いを示したものであり、各励起光から生じる利得が同じであるという条件下で、ピーク利得が 1 0 dB になるように調整した場合の図。

図 2 9 は励起光間隔を等間隔とした場合のラマン利得曲線の振る舞いを示したものであり、利得が平坦になるように個々の励起光による利得を調整した場合の図。

図30は励起光間隔を等間隔とした場合のラマン利得曲線の振る舞いを示したものであり、励起光間隔を1 THzとして多重数を変えた場合の図。

図31は本発明のラマン増幅方法をC+Lバンドに適用した場合の利得特性説明図。

発明を実施するための最良の形態

以下に示す実施例では、第一チャンネルを211 THzとした例を示している。これは、現在のWDM伝送システムで用いられている1530 nm以上（周波数表示で約196 THz以下）を増幅帯域として想定したためである。従って、増幅帯域としてLバンドと呼ばれる1580 nm以上（周波数表示で約190 THz以下）を想定するならば、励起帯域を6 THzシフトさせればよいので、第一チャンネルは205 THzとすればよい。それ以外の増幅帯域に対しても同様な考え方で第一チャンネルを決めることができる。

図1は本発明の第一の実施形態であり、請求項2に対応する実施例である。第一チャンネルの周波数は211 THz(波長1420.8 nm)で、第二チャンネル以下の周波数は210 THz(波長1427.6 nm)から207 THz(波長1448.3 nm)まで1 THz間隔に並んでいる。これに、第五チャンネルよりも長波長側に2 THz離れた波長をもつ励起光（周波数205 THz、波長1462.4 nm）を合波してラマン増幅用波長多重励起光源を構成する。図1に示す各波長の励起光源10にはファイバブラッググレーティング（FBG）で波長安定化されたファブリペロー型の半導体レーザーを偏波合成器（PBC）で合波されたものを用いている。偏波合成は各波長の励起パワーを増加させると同時にラマン利得の偏波依存性を低減するための措置である。レーザー一台の出力で励起パワーが足りるときには、レーザー出力を非偏向化した後に波長合波器に接続する形態をとってもよい。図1に示すマツハツェンダ干渉計型合波器20は隣り合う周波数間隔が一定であるような複数の波長の励起光を合波するのに適している。図1に示す誘電体多層膜フィルタ30は二つの比較的広帯域な波長帯を合波するのに適しており、ある特定波長よりも長いものと短いものとを合波することが可能である。この実施例で

は、 207 THz よりも高い周波数（ 1448.3 nm よりも短い波長）と 205 THz よりも低い周波数（ 1462.4 nm よりも長い波長）とを合波できるものを用いている。図1では、誘電体多層膜フィルタ30により合波された励起光をアイソレータ40を通して誘電体多層膜フィルタ50に送りだし、光ファイバ中でWDM信号を増幅するようにしてある。

図1の励起光源を用いた場合のラマン利得プロファイルを図2に示す。曲線Aはトータルの利得を表わしており、曲線Bは第一から第五チャンネルの励起光による利得の和、曲線Cは第六チャンネルの利得、細線は第一から第五チャンネルの各励起波長による利得を表している。効果の欄で説明する通り、短波側の励起光を 1 THz 間隔で多重化することにより、右下がりの滑らかな曲線が形成され、これと長波側の励起光による右上がりの利得曲線が足し合わされて、トータルのラマン利得が平坦になる。図2より、 1 THz という間隔を用いたことにより、複数の利得曲線の凹凸がうまく打ち消し合っている様子がわかる。図3にトータル利得の拡大図を示す。ピーク利得が 10 dB 、利得帯域は 196 THz (波長 1529.6 nm)から 193 THz (波長 1553.3 nm)のあたりにあり、利得偏差が 0.1 dB 程度という特性が実現されている。

図1において、第六チャンネルの波長を第五チャンネルよりも長波長側に 2.5 THz 離れた波長（周波数 204.5 THz 、波長 1465.5 nm ）とした場合の利得プロファイルを図4に示す。図2と同様に、曲線Aはトータルの利得を表わしており、曲線Bは第一から第五チャンネルの励起光による利得の和、曲線Cは第六チャンネルの利得、細線は第一から第五チャンネルの各励起波長による利得を表している。ここでも、短波側の励起光による右下がりの曲線と長波側の励起光による右上がりの利得曲線が足し合わされて、トータルのラマン利得が平坦になっている。図5にトータル利得の拡大図を示す。ピーク利得が 10 dB 、利得帯域は 196 THz (波長 1529.6 nm)から 192 THz (波長 1561.4 nm)のあたりにあり、利得偏差が 0.1 dB 程度という特性が実現されている。図3よりも利得帯域が広がっているが、帯域の中間における利得の窪みが若干大きくなっている。これは、第五と第六チャンネルの間隔が広がったためである。

図6は本発明の第二の実施形態であり、請求項2および請求項3に対応する実施例である。第一チャンネルの周波数は211 THz(波長1420.8 nm)で、第二チャンネル以下の周波数は210 THz(波長1427.6 nm)から204 THz(波長1469.6 nm)まで1 THz間隔に並んでいる。全チャンネル数は8で、第六チャンネルと第七チャンネルを除く6波長を用いて励起光源が構成されている。各チャンネルの励起光は第一の実施形態の説明にある通り必要に応じて構成を選択する。図6に示す各波長の励起光源10にはファイバブラッググレーティング(FBG)で波長安定化されたファブリペロー型の半導体レーザーを偏波合成器(PBC)で合波されたものを用いている。偏波合成は各波長の励起パワーを増加させると同時にラマン利得の偏波依存性を低減するための措置である。レーザー一台の出力で励起パワーが足りるときには、レーザー出力を非偏向化した後に波長合波器に接続する形態をとってもよい。図6に示すマッハツェンダ干渉計型合波器20は隣り合う周波数間隔が一定であるような複数の波長の励起光を合波するのに適している。図6に示す誘電体多層膜フィルタ30は二つの比較的広帯域な波長帯を合波するのに適しており、ある特定波長よりも長いものと短いものとを合波することが可能である。図6では、マッハツェンダ干渉計型合波器20から出力される励起光をアイソレータ40を通して誘電体多層膜フィルタ50に送りだし、光ファイバ中でWDM信号を増幅するようにしてある。図6の励起光源を用いた場合のラマン利得プロファイルを図7に示す。曲線Aはトータルの利得を表わしており、曲線Bは第一から第五チャンネルの励起光による利得の和、曲線Cは第八チャンネルの利得、細線は第一から第五チャンネルの各励起波長による利得を表している。ここでも、短波側の励起光による右下がりの曲線と長波側の励起光による右上がりの利得曲線が足し合わされて、トータルのラマン利得が平坦になっている。図8にトータル利得の拡大図を示す。ピーク利得が10 dB、利得帯域は196 THz(波長1529.6 nm)から191 THz(波長1569.6 nm)のあたりにあり、利得偏差が0.1 dB程度という特性が実現されている。図3、図5と比較すると、利得帯域が更に広がっている。これは、最長励起波長がより長波長に設定されているからである。

図9は本発明の第三の実施形態であり、請求項2および請求項4に対応する実施例である。第二の実施形態と同様に、第一チャンネルの周波数は211 THz(波長1420.8 nm)で、第二チャンネル以下の周波数は210 THz(波長1427.6 nm)から204 THz(波長1469.6 nm)まで1 THz間隔に並んでいる。全チャンネル数は8で、第五チャンネルと第六チャンネルを除く6波長を用いて励起光源が構成されている。各チャンネルの励起光は第一の実施形態の説明にある通り必要に応じて構成を選択する。図9に示す各波長の励起光源10にはファイバブラッググレーティング(FBG)で波長安定化されたファブリペロー型の半導体レーザーを偏波合成器(PBC)で合波されたものを用いている。偏波合成は各波長の励起パワーを増加させると同時にラマン利得の偏波依存性を低減するための措置である。レーザー一台の出力で励起パワーが足りるときには、レーザー出力を非偏向化した後に波長合波器に接続する形態をとってもよい。図9に示すマッハツェンダ干渉計型合波器20は隣り合う周波数間隔が一定であるような複数の波長の励起光を合波するのに適している。図9に示す誘電体多層膜フィルタ30は二つの比較的広帯域な波長帯を合波するのに適しており、ある特定波長よりも長いものと短いものとを合波することが可能である。図9では、マッハツェンダ干渉計型合波器20から出力される励起光をアイソレータ40を通して誘電体多層膜フィルタ50に送りだし、光ファイバ中でWDM信号を増幅するようにしてある。図9の励起光源を用いた場合のラマン利得プロファイルを図10に示す。曲線Aはトータルの利得を表わしており、曲線Bは第一から第四チャンネルの励起光による利得の和、曲線Cは第七、第八チャンネルの利得の和、細線は各励起波長による利得を表している。ここでも、短波側の励起光による右下がりの曲線と長波側の励起光による右上がりの利得曲線が足し合わされて、トータルのラマン利得が平坦になっている。図11にトータル利得の拡大図を示す。ピーク利得が10 dB、利得帯域は196 THz(波長1529.6 nm)から191 THz(波長1569.6 nm)のあたりにあり、利得偏差が0.1 dB程度という特性が実現されている。ここで注目すべきことは、第二と第三の実施形態における各励起波長による利得の大きさの違いで、図7では最大で8 dB近いチャンネルがあるのに対して、

図10では5dB程度が最大となっている。これは、第二の実施形態が曲線Cで示される長波側の利得を一つのチャンネルの利得で形成するのに対して、第三の実施形態では二つのチャンネルの利得の和で形成するためである。このことは、一波あたりに必要とされる励起光パワーの最大値を小さくできることを意味しており、実用の観点では大変効果的である。

図12から図15は211THz(波長1420.8nm)から199THz(波長1506.5nm)まで1THz間隔で13チャンネルある中から11チャンネルを使用する場合の利得プロファイルである。図12は請求項3に記載の構成を用いており、201THzと200THz以外の励起光を用いている。曲線Aはトータルの利得を表わしており、曲線Bは第一から第十チャンネルの励起光による利得の和、曲線Cは第十三チャンネルの利得、細線は第一から第十チャンネルの各励起波長による利得を表している。ここでも、短波側の励起光による右下がりの曲線と長波側の励起光による右上がりの利得曲線が足し合わされて、トータルのラマン利得が平坦になっている。図13にトータル利得の拡大図を示す。ピーク利得が10dB、利得帯域は196THz(波長1529.6nm)から186THz(波長1611.8nm)のあたりにあり、利得偏差が0.1dB程度という特性が実現されている。

図14は請求項4に記載の構成を用いており、202THzと201THz以外の励起光を用いている。曲線Aはトータルの利得を表わしており、曲線Bは第一から第九チャンネルの励起光による利得の和、曲線Cは第十二、第十三チャンネルの利得の和、細線は各励起波長による利得を表している。ここでも、短波側の励起光による右下がりの曲線と長波側の励起光による右上がりの利得曲線が足し合わされて、トータルのラマン利得が平坦になっている。図15にトータル利得の拡大図を示す。ピーク利得が10dB、利得帯域は196THz(波長1529.6nm)から186THz(波長1611.8nm)のあたりにあり、利得偏差が0.1dB程度という特性が実現されている。また、図12と図14を比較するとわかるように、第二の実施形態が曲線Cで示される長波側の利得を一つのチャンネルの利得で形成するのに対して、第三の実施形態では二つのチャンネルの利得の和で形成するため、図14の方が一波あたりに必要とされる利得の最大値が小さくなっている。

このことは、一波当たりが必要とされる励起光パワーの最大値を小さくできることを意味しており、実用の観点では大変効果的である。

図16は図12と同じ励起光源を用いた場合の利得プロファイルで、長波側の利得を減少させることで右下がりの直線的な傾斜を実現している。このようなラマン増幅器を用いることで、Bigoらの文献に示されているような信号光間のラマン効果による右上がりの傾斜を補償し、光増幅中継システムにおいてWDM信号を平坦なレベルに保つことができる。例えば、Bigoらの文献の図2では、25 nmで2.3 dBの利得傾斜が生じており、80 nmに換算すると7.4 dB減少するような逆傾斜を合わせることで信号間ラマン効果によるレベル傾斜を打ち消すことができる。図16には、80 nmで3 dB、5 dB、7 dB減少する利得傾斜が示されているが、これを25 nmに換算すると2.2 dB、1.6 dB、0.9 dBであるから、前記文献の図3に示されている様々な条件に対しても、利得傾斜の補償が可能であると考えられる。

(実施例1)

本発明のラマン増幅器を、CバンドとLバンドを組合わせて、C+Lバンドに拡張する場合を一例として説明する。図17は拡張前の励起光が二波長の例であり、拡張前後の励起波長は表6の通りである。拡張のために追加する励起波長のうちのの一つを1439 nmにすることで、拡張のために追加する励起光のうちの少なくとも一つを、拡張前の励起光の帯域(1426～1453 nm)に配置する。この励起光の存在によって利得平坦度を保った拡張が実現される。

(表 6)

| 励起波長 [nm] | 拡張後 | 拡張前 | 追加分 |
|-----------|-----|-----|-----|
| 1 4 2 6 | ○ | ○ | |
| 1 4 3 9 | ○ | | ○ |
| 1 4 5 3 | ○ | ○ | |
| 1 4 6 4 | ○ | | ○ |
| 1 4 9 3 | ○ | | ○ |

図 1 8 は拡張前の励起光が三波長の例であり、拡張前後の励起波長は表 7 の通りである。拡張のために追加する励起波長のうちの一つを 1 4 4 6 nm にすることで、拡張のために追加する励起光のうち少なくとも一つを、拡張前の励起光の帯域 (1 4 2 4 ~ 1 4 6 0 nm) に配置する。この励起光の存在によって利得平坦度を保った拡張が実現される。

(表 7)

| 励起波長 [nm] | 拡張後 | 拡張前 | 追加分 |
|-----------|-----|-----|-----|
| 1 4 2 4 | ○ | ○ | |
| 1 4 3 5 | ○ | ○ | |
| 1 4 4 6 | ○ | | ○ |
| 1 4 6 0 | ○ | ○ | |
| 1 4 6 3 | ○ | | ○ |
| 1 4 7 5 | ○ | | ○ |
| 1 5 0 0 | ○ | | ○ |

図 1 9 は拡張前の励起光が四波長の例であり、拡張前後の励起波長は表 8 の通りである。拡張のために追加する励起波長のうちの一つを 1 4 4 5 nm と 1 4 5 3 nm にすることで、拡張のために追加する励起光のうちの一つが拡張前の励起光の帯域 (1 4 2 3 ~ 1 4 6 2 nm) に配置する。この励起

光の存在によって利得平坦度を保った拡張が実現される。尚、この例では、励起波長 1 4 6 2 n m が C バンドと L バンドの両方の単独設計で用いられているため、拡張の際に追加する必要がなくなっている。

(表 8)

| 励起波長 [n m] | 拡張後 | 拡張前 | 追加分 |
|--------------|-----|-----|-----|
| 1 4 2 3 | ○ | ○ | |
| 1 4 3 0 | ○ | ○ | |
| 1 4 3 8 | ○ | ○ | |
| 1 4 4 5 | ○ | | ○ |
| 1 4 5 3 | ○ | | ○ |
| 1 4 6 2 | ○ | ○ | |
| 1 4 7 0 | ○ | | ○ |
| 1 4 7 8 | ○ | | ○ |
| 1 5 0 1 | ○ | | ○ |

(実施例 2)

この実施例は拡張前の励起光が二波長励起の例であり、しかも拡張前の励起光の波長が実施例 1 の場合よりも長い場合である。この例では、C バンドの利得帯域を 1 5 3 5 から 1 5 7 0 n m として設計している。拡張前後の励起波長は表 7 の通りである。拡張のために追加する励起波長のうちの一つを 1 4 4 4 n m とすることで、拡張のために追加する励起光のうちの少なくとも一つが拡張前の励起光の帯域 (1 4 3 0 ~ 1 4 5 7 n m) に配置される。この励起光の存在によって利得平坦度を保った拡張が実現される。

(表 9)

| 励起波長 [nm] | 拡張後 | 拡張前 | 追加分 |
|-----------|-----|-----|-----|
| 1 4 3 0 | ○ | ○ | |
| 1 4 4 4 | ○ | | ○ |
| 1 4 5 7 | ○ | ○ | |
| 1 4 6 4 | ○ | | ○ |
| 1 4 9 3 | ○ | | ○ |

(実施例 3)

この実施例は拡張前の励起光が二波長励起の例であり、しかも拡張前の励起光の波長が実施例 1 の場合よりも短い場合である。この例では、Cバンドの利得帯域を 1 5 2 5 から 1 5 6 0 nm として設計している。拡張前後の励起波長は表 1 0 の通りである。拡張のために追加する励起波長のうちの一つを 1 4 3 8 nm とすることで、拡張のために追加する励起光のうちの少なくとも一つが拡張前の励起光の帯域 (1 4 2 2 ~ 1 4 5 0 nm) に配置される。この励起光の存在によって利得平坦度を保った拡張が実現される。

(表 1 0)

| 励起波長 [nm] | 拡張後 | 拡張前 | 追加分 |
|-----------|-----|-----|-----|
| 1 4 2 2 | ○ | ○ | |
| 1 4 3 8 | ○ | | ○ |
| 1 4 5 0 | ○ | ○ | |
| 1 4 6 4 | ○ | | ○ |
| 1 4 9 3 | ○ | | ○ |

産業上の利用可能性

請求項 1 のラマン増幅器では、3 以上の励起波長を用いたラマン増幅器において、隣り合う波長間隔が最も広い励起波長を境界として、短波長側と長波長

側の励起波長のグループに分けたときに、短波長側のグループは二つ以上の励起波長を含み、その波長間隔がほぼ等間隔であり、長波長側のグループは二つ以下の励起波長で構成されているので、短波長側のグループによって広帯域で凹凸の小さい右下がりの利得曲線が形成され、長波長側のグループによって形成される右上がりの利得曲線と組合されることで、広帯域かつ利得平坦度のよいラマン増幅器が実現される。

請求項 2 乃至 4 のラマン増幅器では、短波長側のグループの励起波長間隔が約 1 THz であるため、ラマン利得のピーク値 10 dB に対して利得偏差が 0.1 dB 程度となるラマン増幅器が実現される。

請求項 5 のラマン増幅器では、利得帯域拡張前の励起波長が二以上である場合に、拡張前使用の励起波長と異なる二以上の新たな励起波長を追加し、そのうちの一以上の励起波長を拡張前使用の励起波長と異なるものとし、その追加励起波長を拡張前使用の励起波長帯域内に配置したので、追加帯域が励起されてその帯域の利得が高まり、広帯域に互って利得が平坦化され、利得帯域が拡張される。

請求項 6 のラマン増幅器では、追加する励起波長の一以上を拡張前使用の励起波長と異なるものとし、その一以上の励起波長を拡張前使用の励起波長帯域内のうち利得不足の波長帯域に配置するので、その励起波長不足帯域が励起されてその帯域の利得が高まり、広帯域に互って利得が平坦化され、利得帯域が拡張される。

請求項 7 のラマン増幅器では、追加する励起波長の一以上を拡張前使用の励起波長と異なるものとし、その一以上の励起波長を追加することにより、拡張前の励起波長帯域内の励起波長が等間隔又は等間隔に近い間隔となるようにしたので、励起波長帯域全般が励起され、広帯域に互って利得が平坦化され、利得帯域が拡張される。

請求項 8 のラマン増幅器では、CバンドとLバンドとを同時に増幅するとき、拡張前使用のCバンドの励起波長と異なる一以上の励起波長を、Cバンドの励起波長帯域内に追加したので、Cバンドにおける追加帯域が励起されてそ

の帯域の利得が高まり、広帯域に亙って利得が平坦化され、利得帯域が拡張される。

請求項 9 のラマン増幅器では、CバンドとLバンドとを同時に増幅するとき、拡張前使用のCバンドの励起波長と異なる一以上の励起波長を、Cバンドの励起波長帯域における利得不足の波長帯域に追加するので、Cバンドにおける励起波長不足帯域が励起されて利得が高まり、広帯域に亙って利得が平坦化され、利得帯域が拡張される。

本発明の請求項 10 のラマン増幅器では、CバンドとLバンドとを同時に増幅するとき、拡張前使用のCバンドの励起波長と異なる一以上の励起波長を、拡張前の励起波長帯域内に追加して、拡張前のCバンドの励起波長帯域内の励起波長が等間隔又は等間隔に近い間隔となるようにするので、Cバンドの励起波長帯域全般が励起され、広帯域に亙って利得が平坦化され、利得帯域が拡張される。

請求の範囲

1. 3以上の励起波長を用いたラマン増幅器において、隣り合う波長間隔が最も広い励起波長を境界として、短波長側と長波長側の励起波長のグループに分けたときに、短波長側のグループは二つ以上の励起波長を含み、その波長間隔がほぼ等間隔であり、長波長側のグループは二つ以下の励起波長で構成されていることを特徴とするラマン増幅器。
2. ある励起波長を第一チャンネルと定義し、そこから長波長側に約1 THz間隔で第二から第nチャンネルを定義するとき、第一から第nチャンネルに相当する波長の励起光を多重化したものに加えて、さらに長波長側に第nチャンネルから2 THz以上離れた波長をもつ励起光を合波し、これを励起光源として用いたことを特徴とするラマン増幅器。
3. ある励起波長を第一チャンネルと定義し、そこから長波長側に約1 THz間隔で第二から第nチャンネルを定義するとき、第n-1および第n-2チャンネル以外のチャンネルに相当する波長の励起光を多重化したものを励起光源として用いたことを特徴とするラマン増幅器。
4. ある励起波長を第一チャンネルと定義し、そこから長波長側に約1 THz間隔で第二から第nチャンネルを定義するとき、第n-2および第n-3チャンネル以外のチャンネルに相当する波長の励起光を多重化したものを励起光源として用いたことを特徴とするラマン増幅器。
5. 利得波長帯域を拡張するラマン増幅方法において、拡張前の励起波長が二以上であり、利得波長帯域拡張のために二以上の励起波長を追加し、追加する励起波長の一以上を拡張前使用の励起波長と異なるものとし、その一以上の励起波長を拡張前使用の励起波長帯域内に配置することを特徴とするラマン増幅

器。

6. 利得波長帯域を拡張するラマン増幅方法において、拡張前の励起波長が二以上であり、利得波長帯域拡張のために二以上の励起波長を追加し、追加する励起波長の一以上を拡張前使用の励起波長と異なるものとし、その一以上の励起波長を拡張前使用の励起波長帯域内のうち利得不足の波長帯域に配置することを特徴とするラマン増幅器。

7. 利得波長帯域を拡張するラマン増幅方法において、拡張前の励起波長が二以上であり、利得波長帯域拡張のために拡張前の励起波長帯域内に一以上の励起波長を追加し、その追加により拡張前の励起波長帯域内の励起波長が等間隔又は等間隔に近い間隔となるようにしたことを特徴とするラマン増幅器。

8. Cバンドを増幅するための二以上の励起波長と、Lバンドを増幅するための二以上の励起波長とを同時に使用して、CバンドとLバンドとを同時に増幅するに際し、拡張前使用のCバンドの励起波長と異なる波長の一以上の励起波長をCバンドの励起波長帯域内に追加することを特徴とするラマン増幅器。

9. Cバンドを増幅するための二以上の励起波長と、Lバンドを増幅するための二以上の励起波長とを同時に使用して、CバンドとLバンドとを同時に増幅するに際し、拡張前使用のCバンドの励起波長と異なる波長の一以上の励起波長を、Cバンドの励起波長帯域における利得不足の波長帯域に追加することを特徴とするラマン増幅器。

10. Cバンドを増幅するための二以上の励起波長と、Lバンドを増幅するための二以上の励起波長とを同時に使用して、CバンドとLバンドとを同時に増幅するに際し、拡張前使用のCバンドの励起波長と異なる波長の一以上の励起波長を、Cバンドの励起波長帯域に追加し、その追加により拡張前の励起波長

帯域内の励起波長が等間隔又は等間隔に近い間隔となるようにしたことを特徴とするラマン増幅器。

FIG. 1

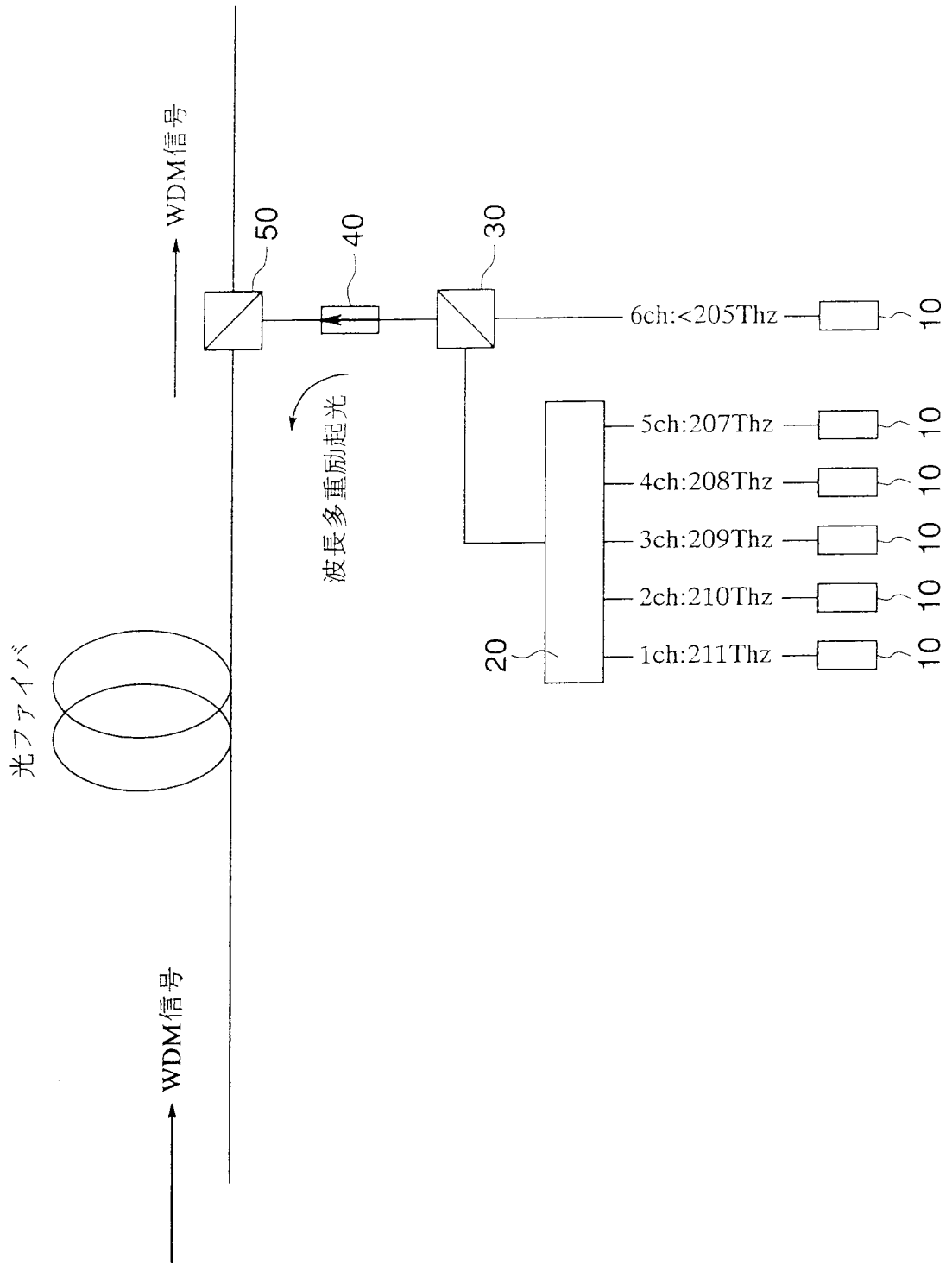


FIG. 3

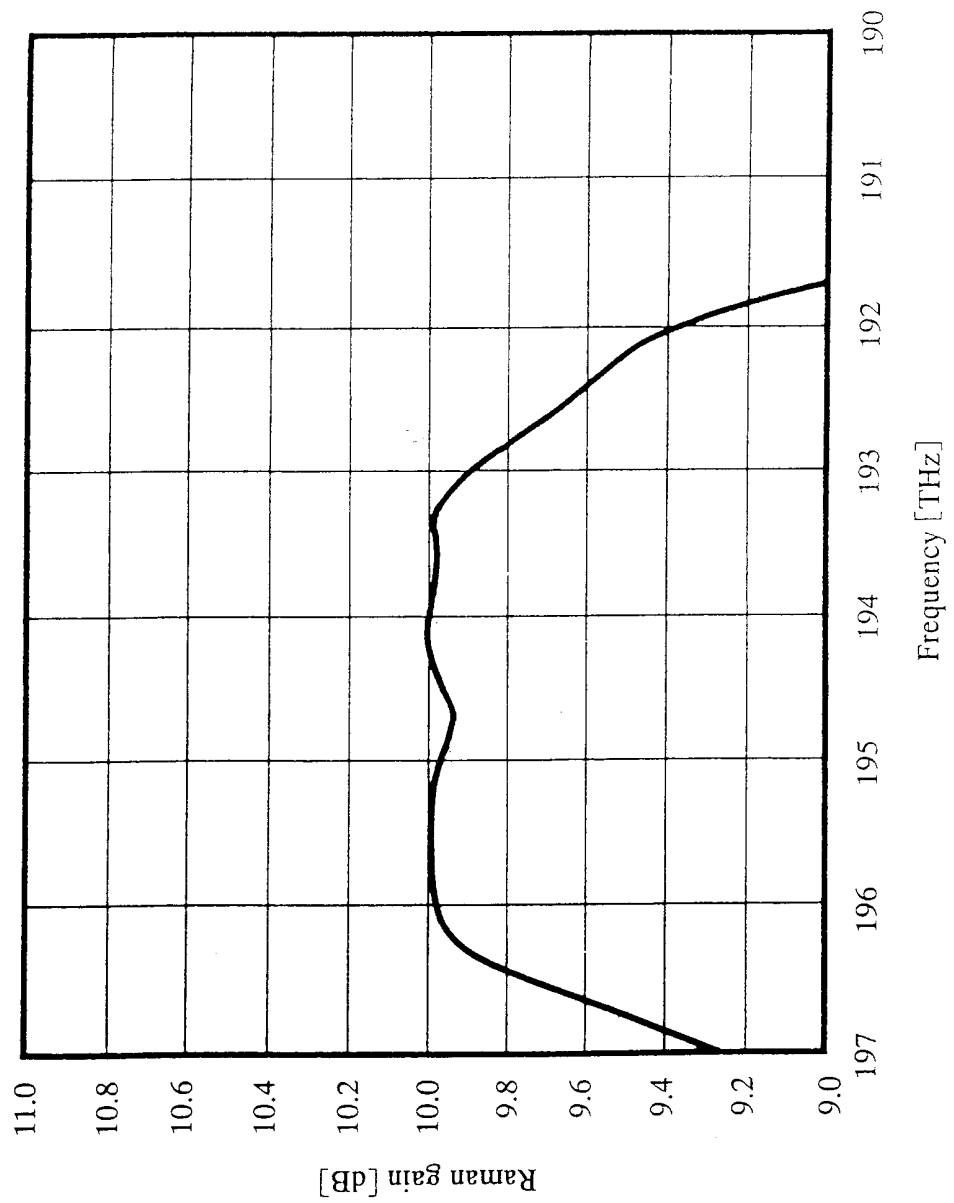


FIG. 4

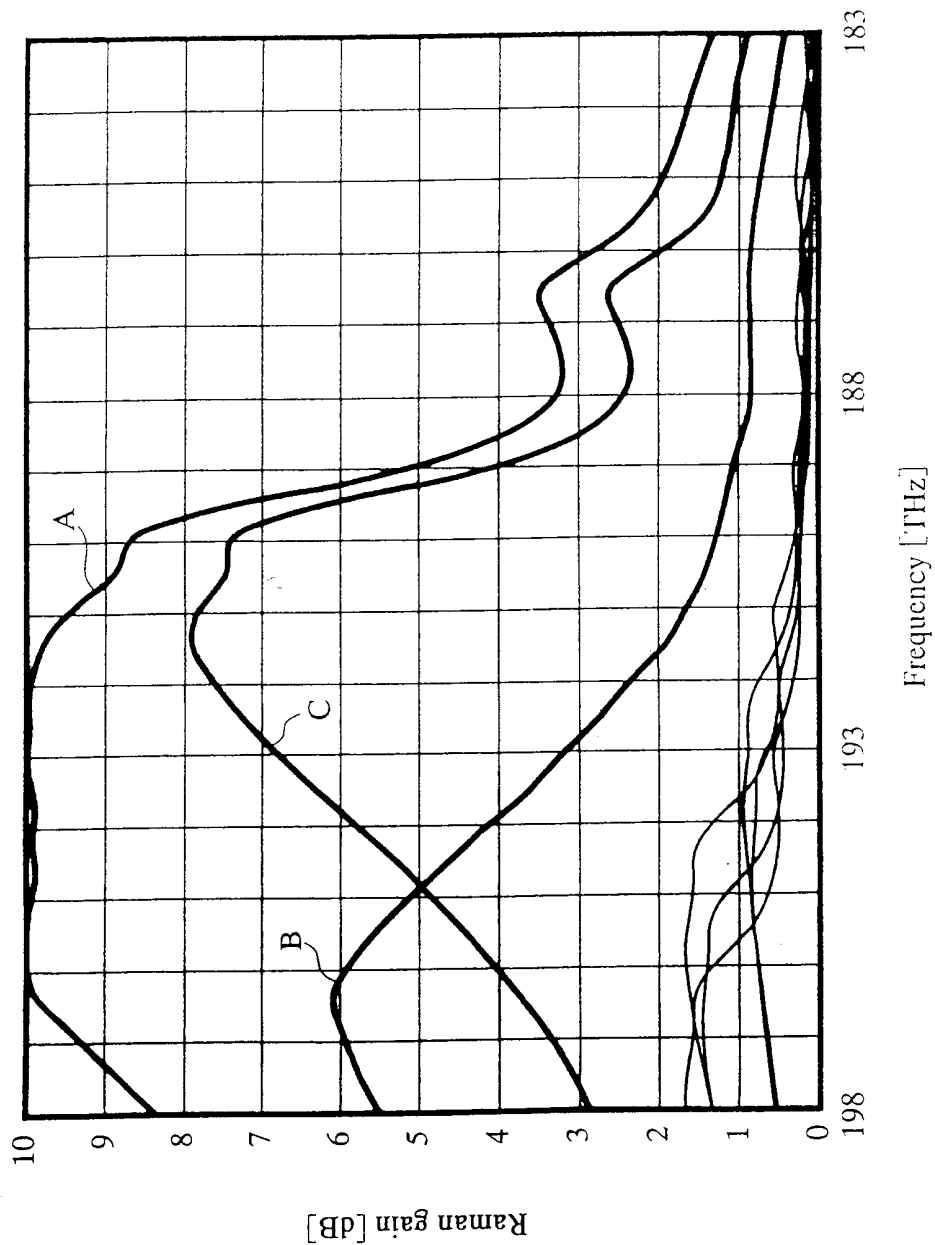


FIG. 5

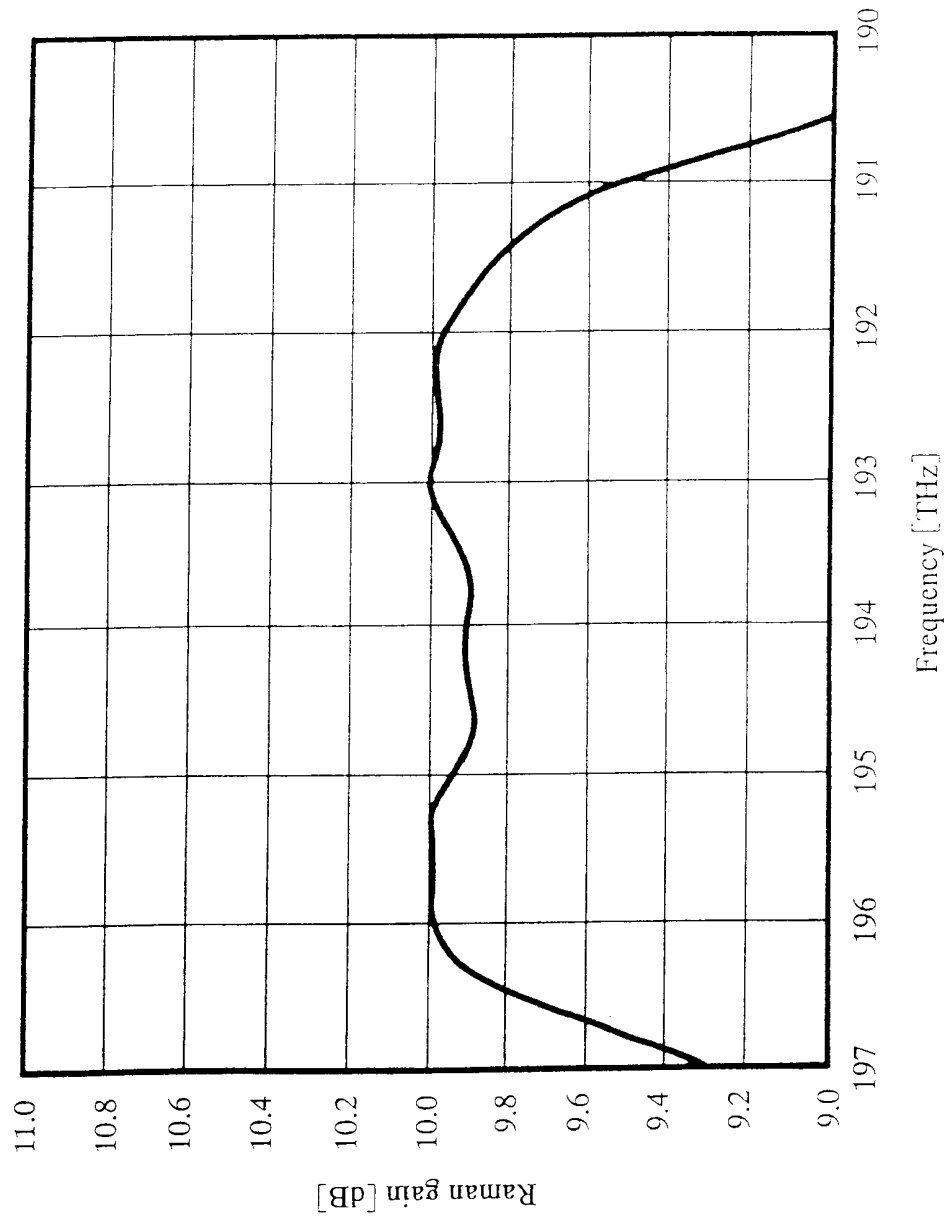


FIG. 6

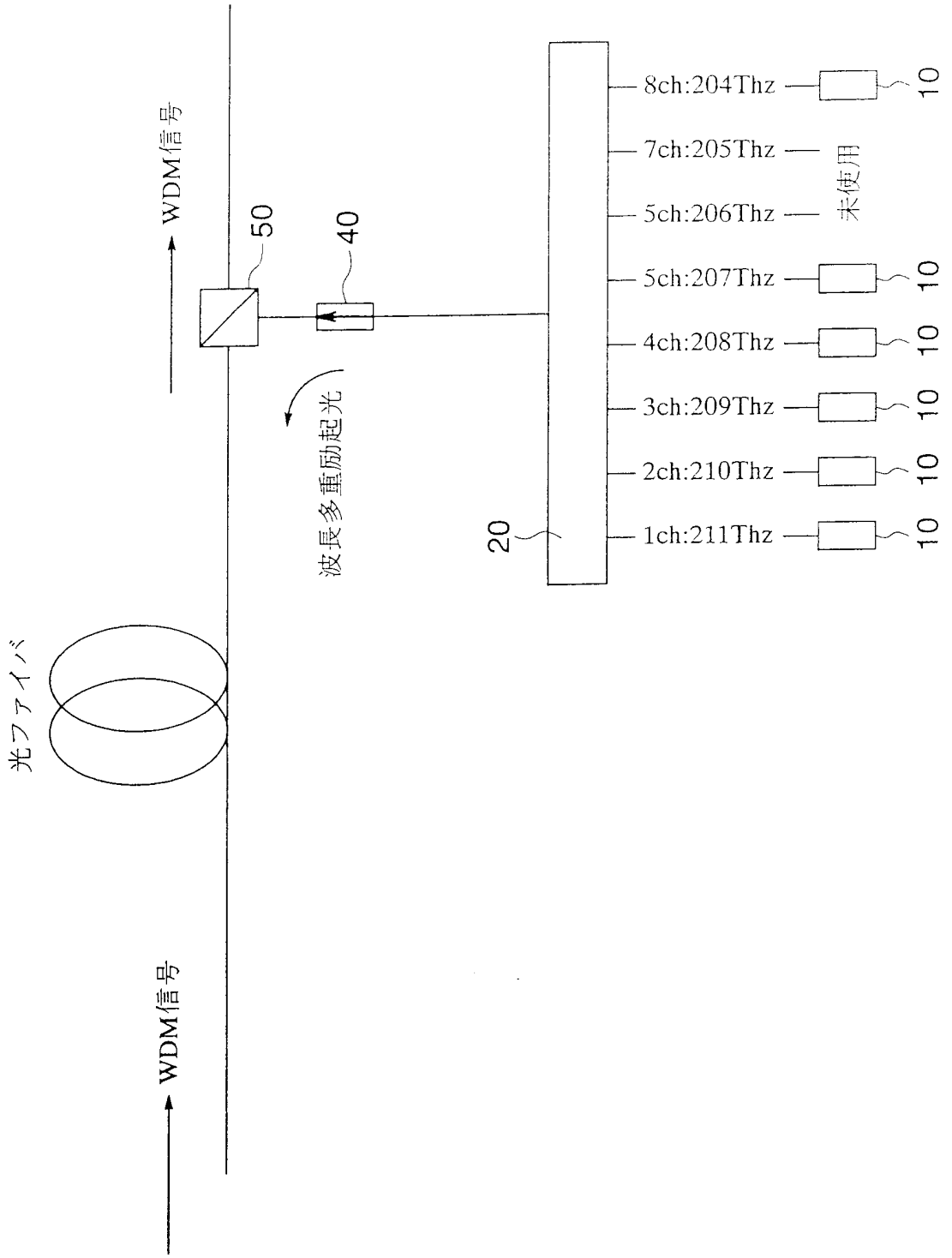


FIG. 7

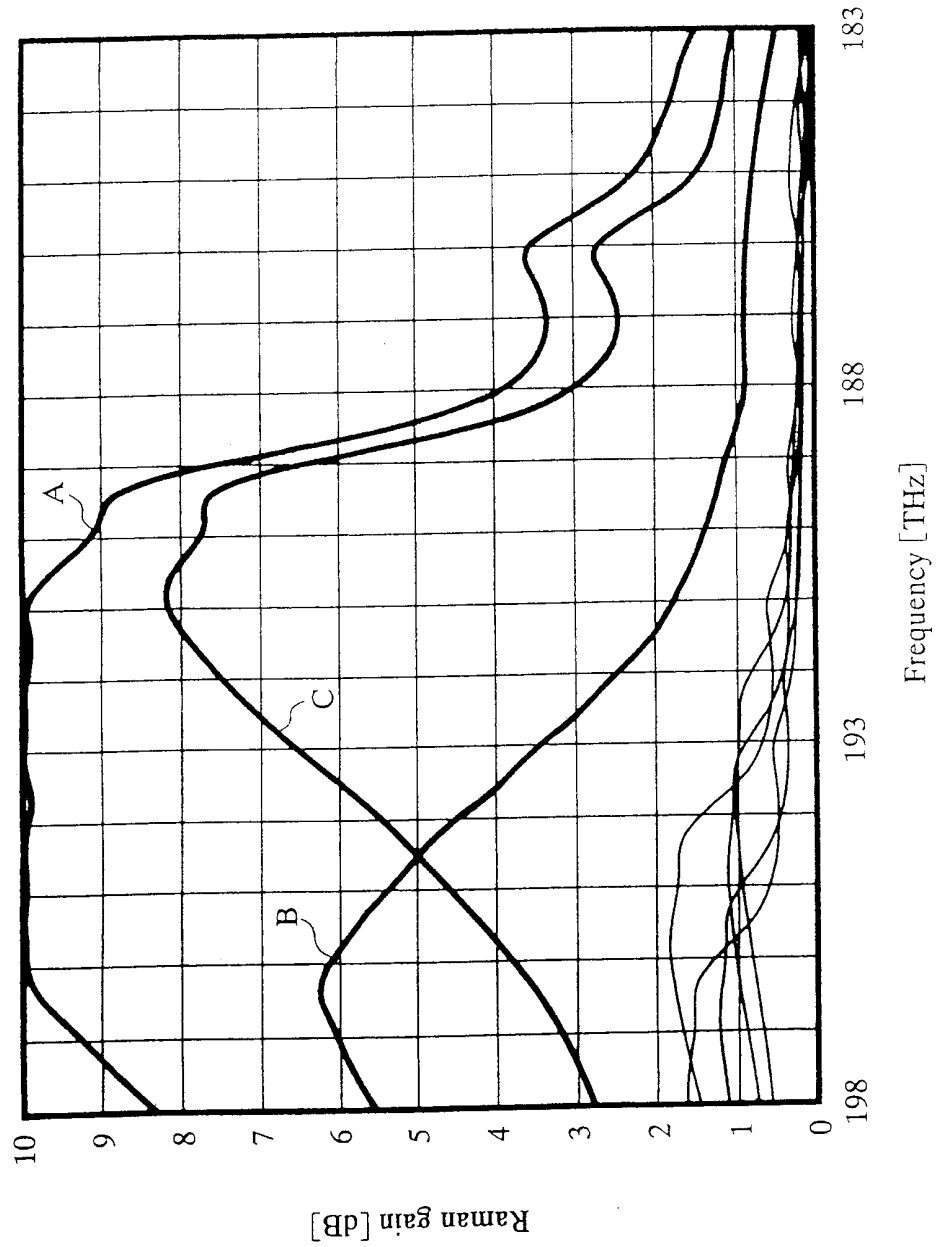


FIG. 8

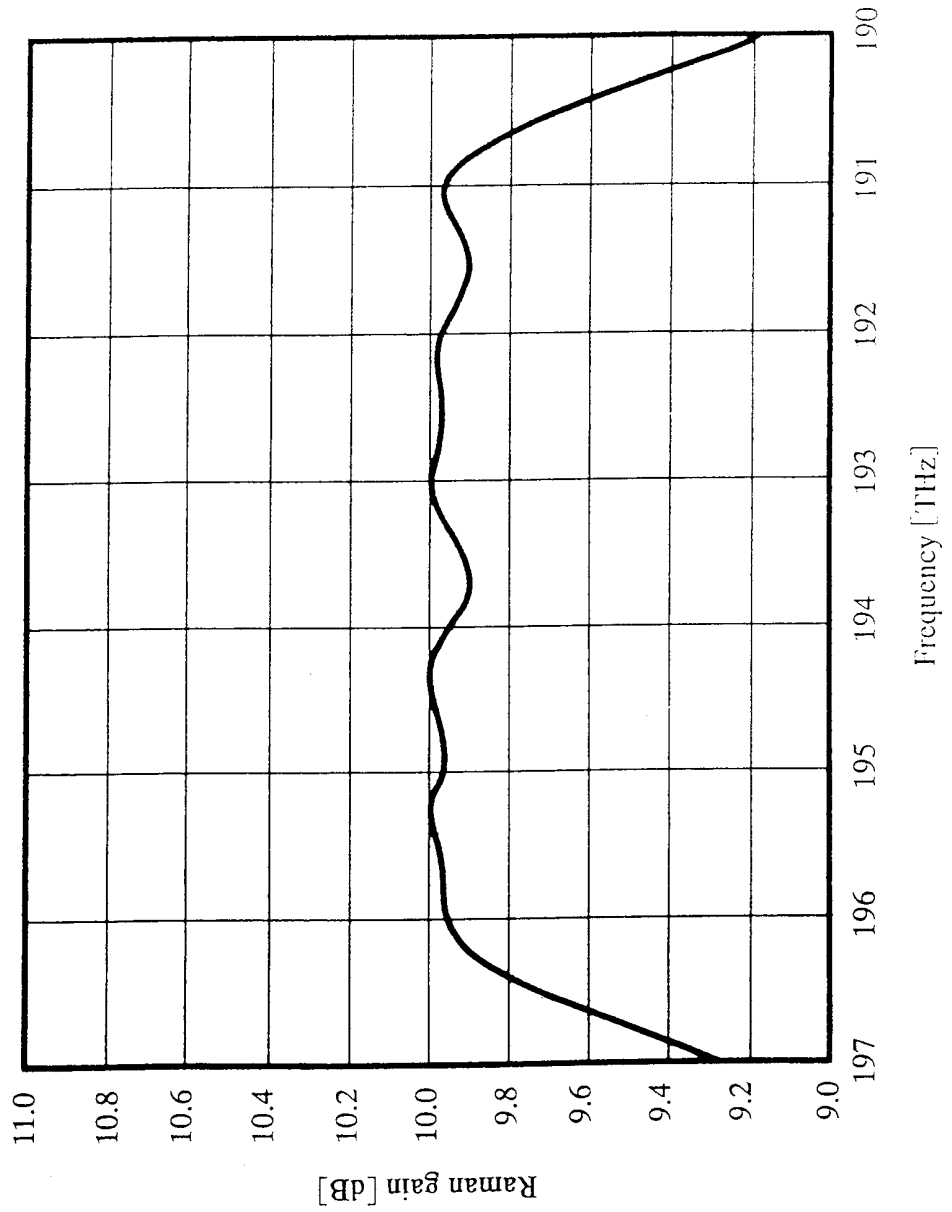


FIG. 9

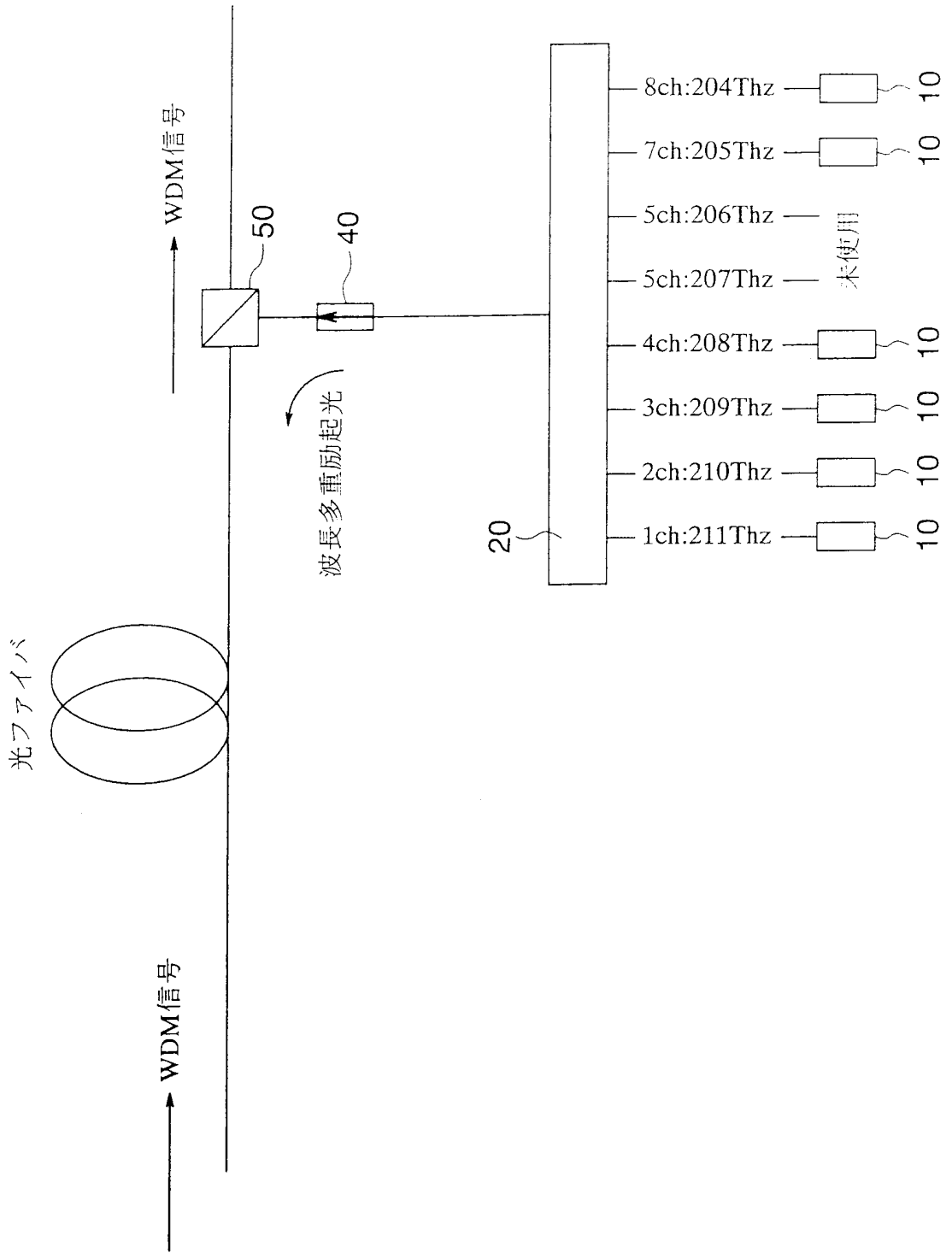


FIG. 10

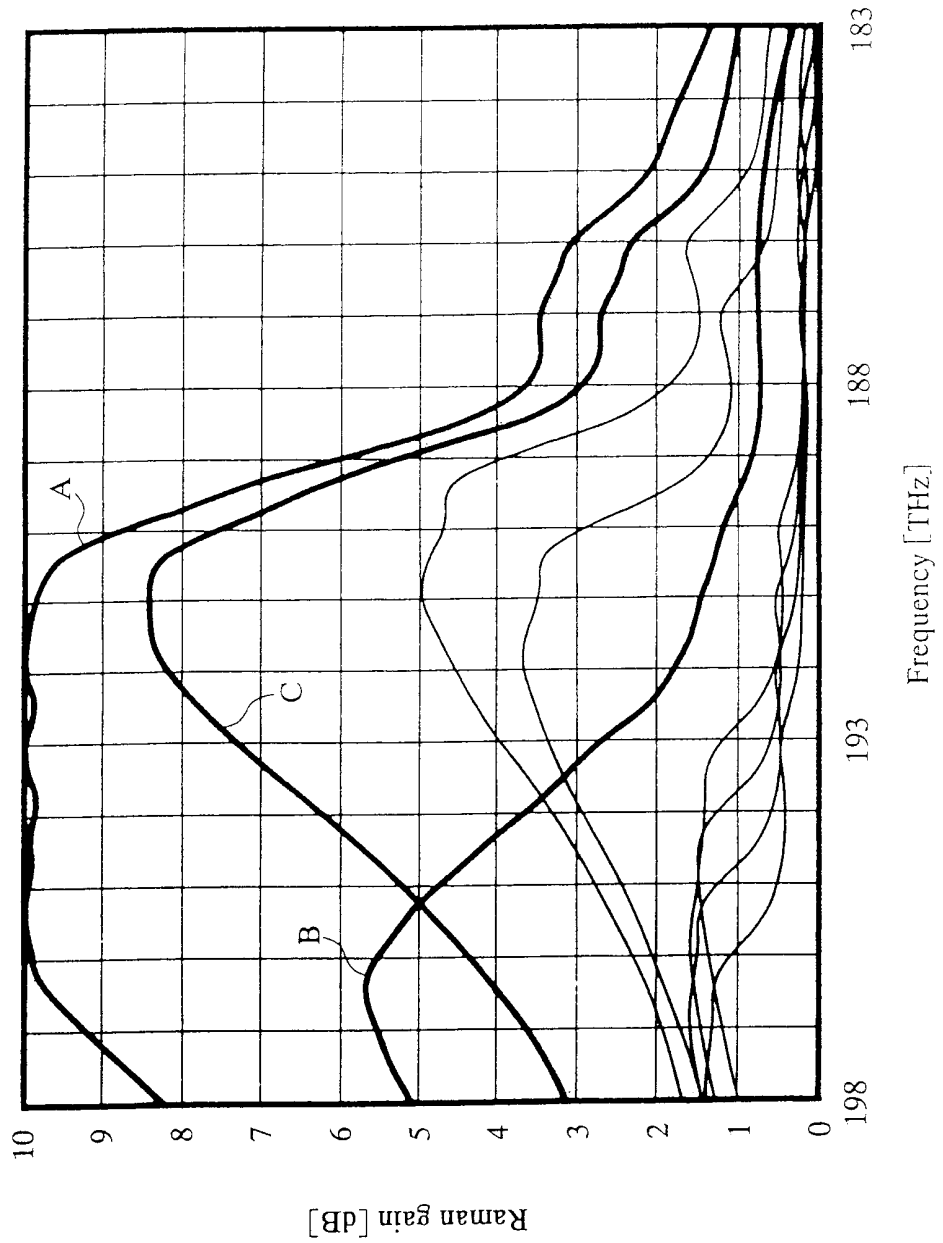


FIG. 11

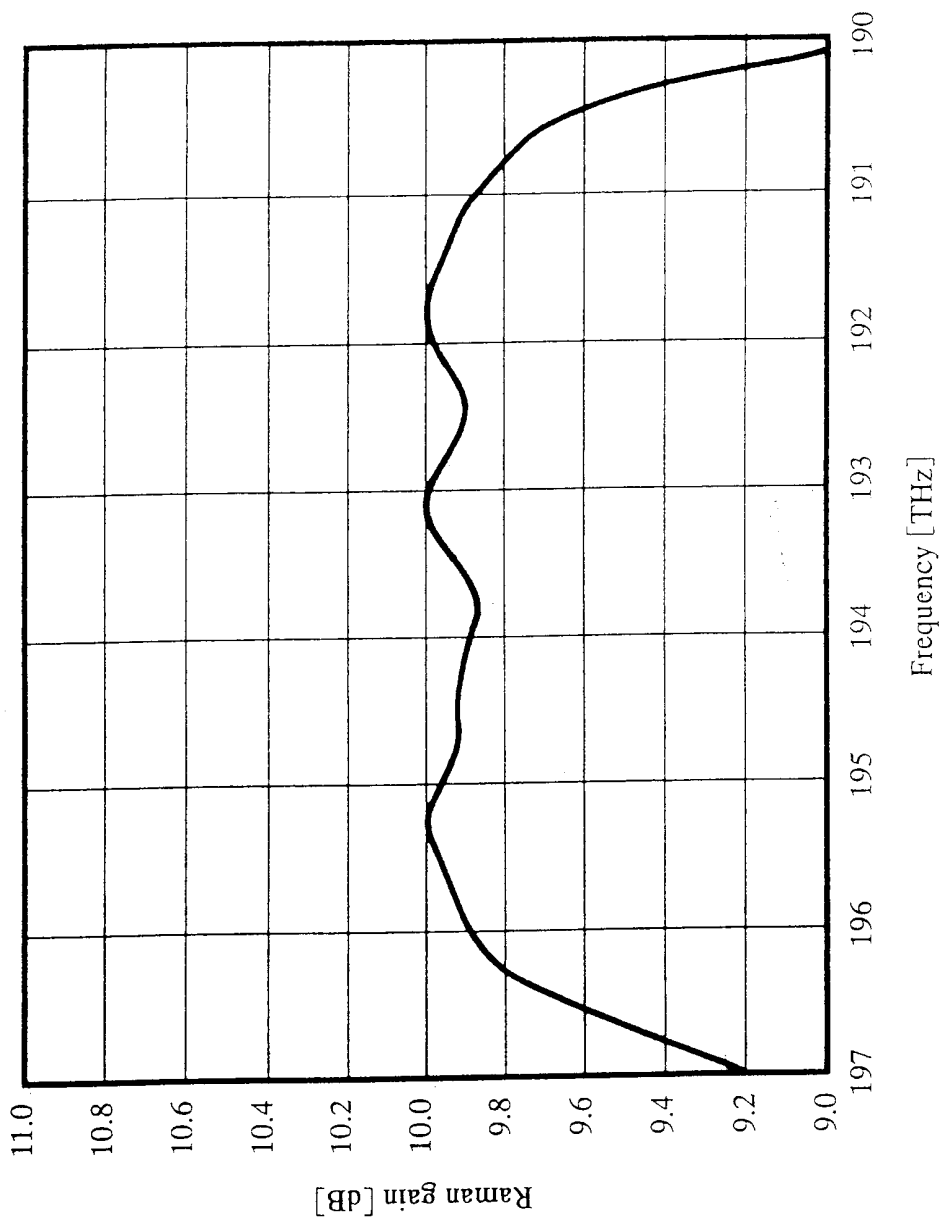


FIG. 12

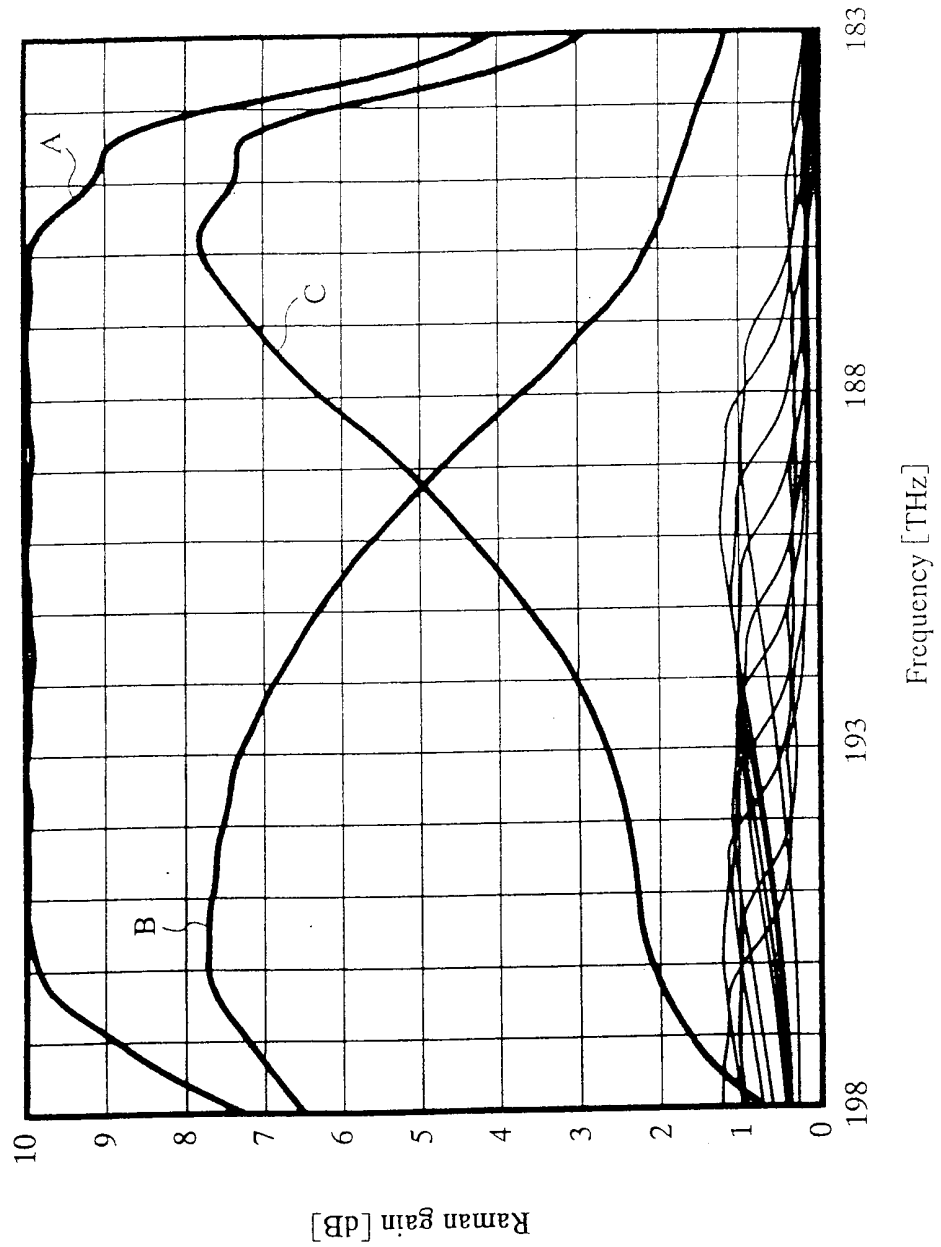


FIG. 13

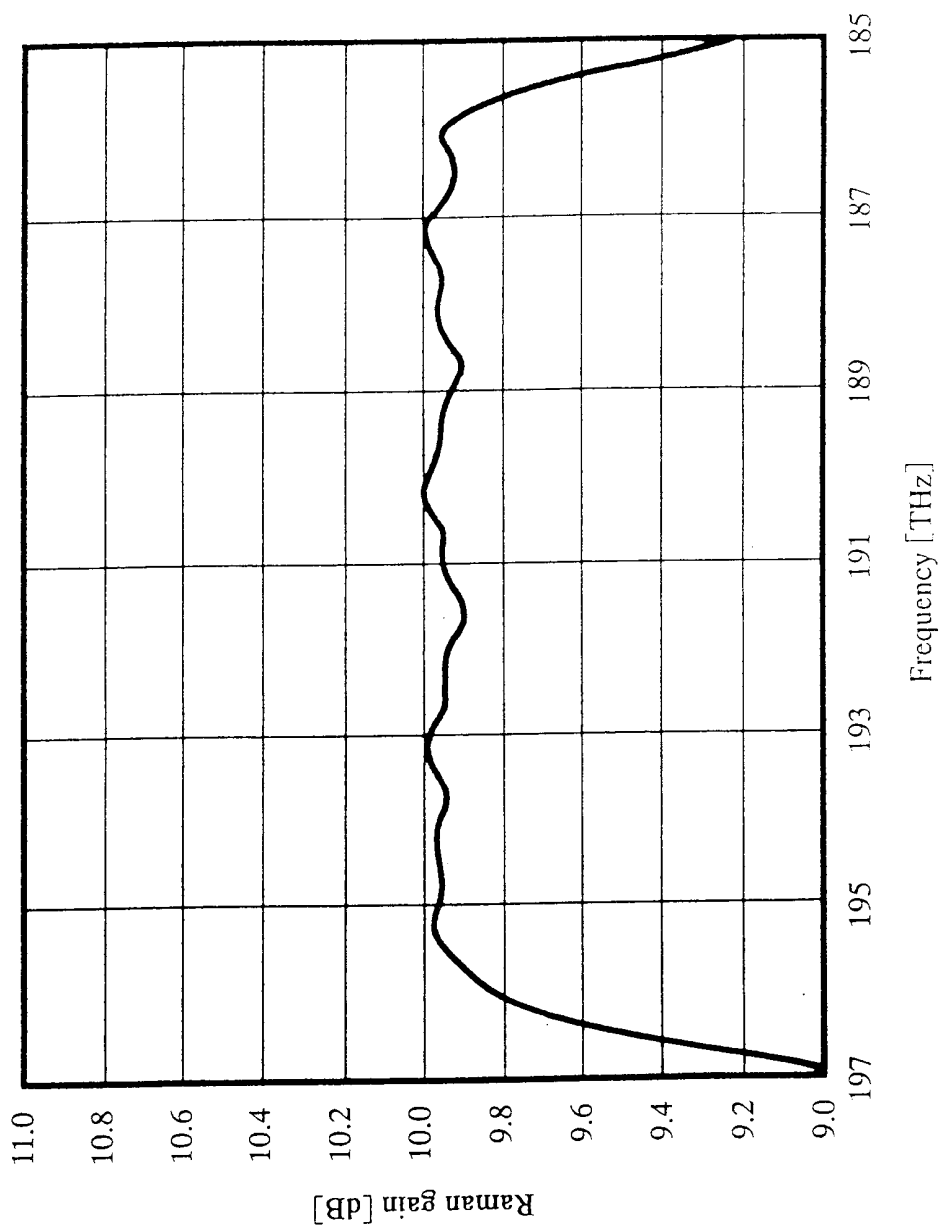


FIG. 14

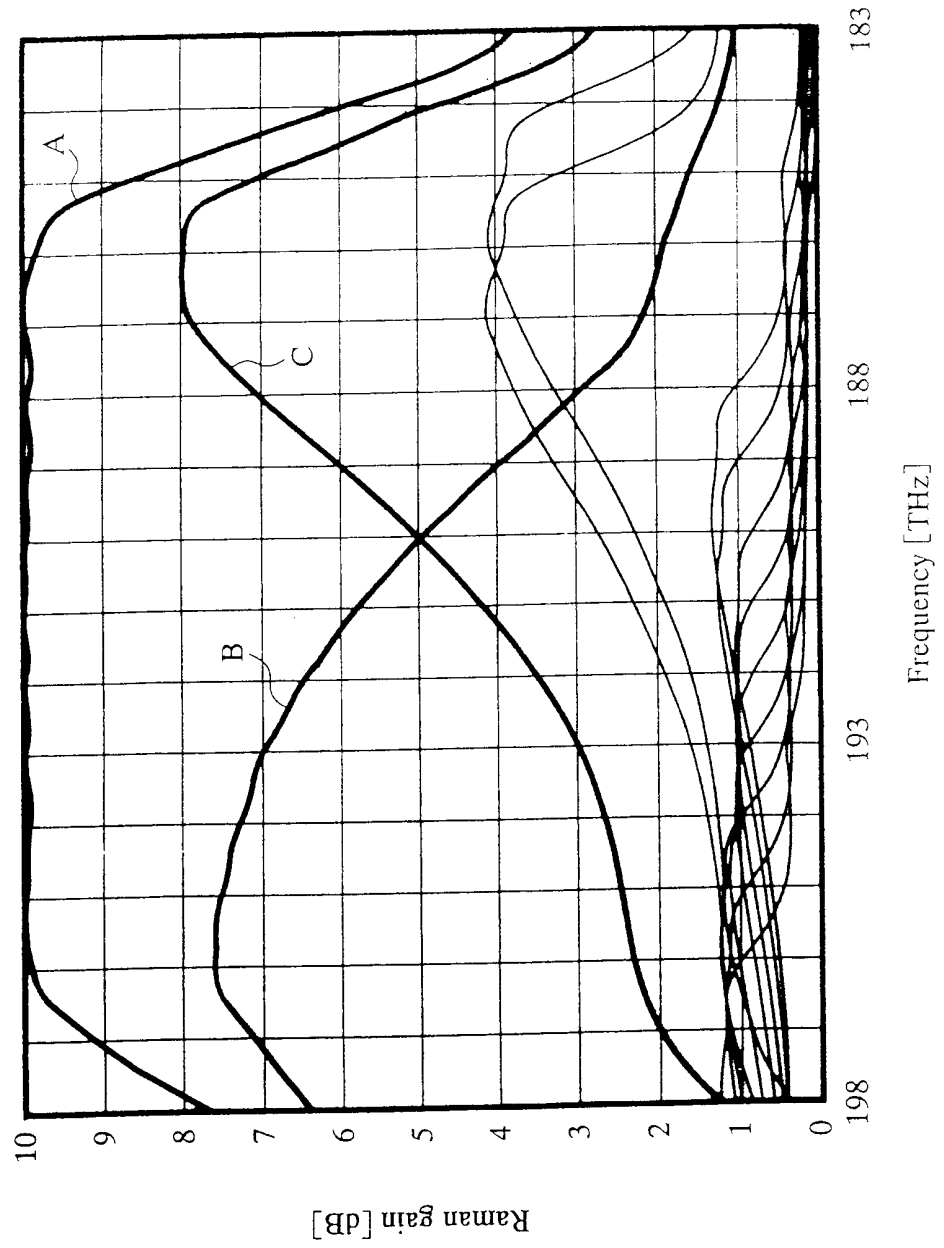


FIG. 15

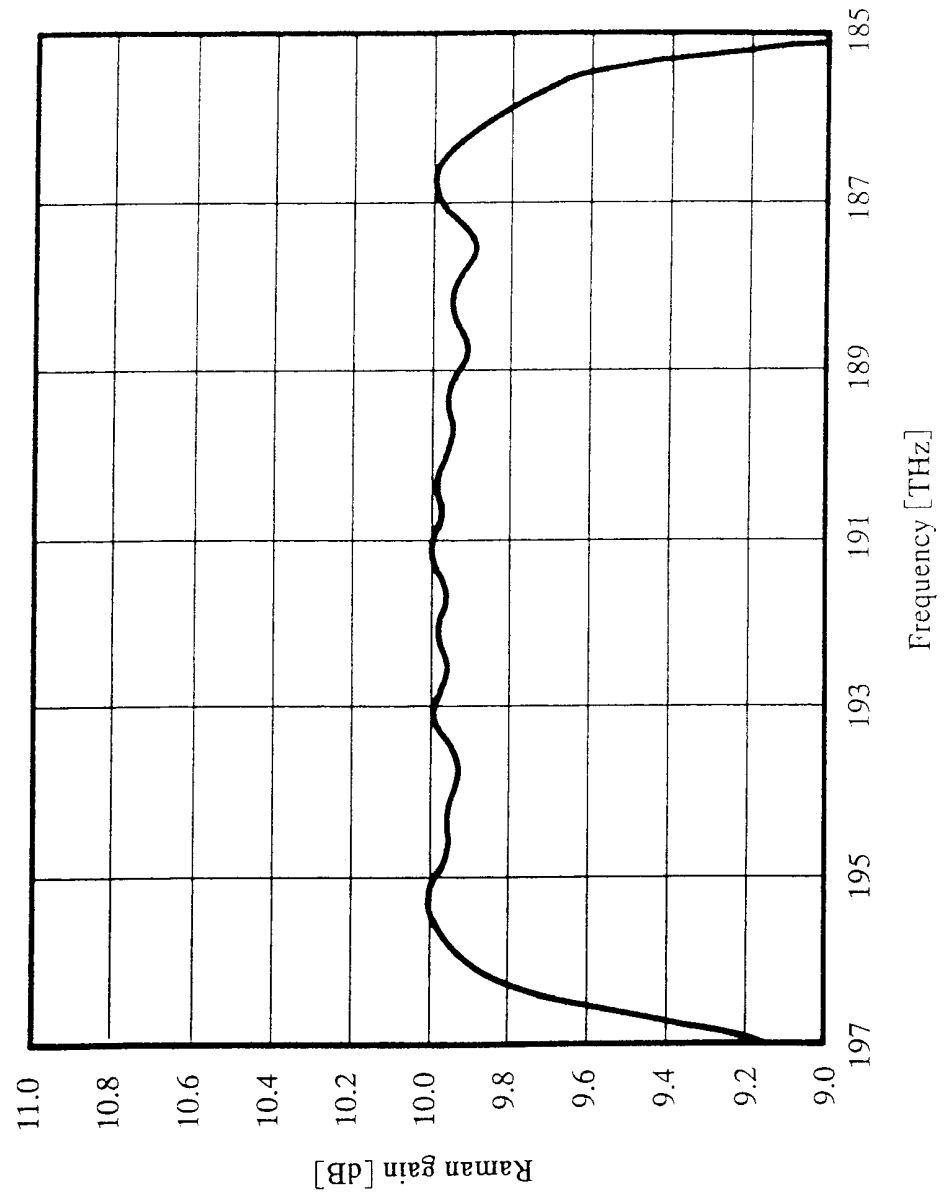


FIG. 16

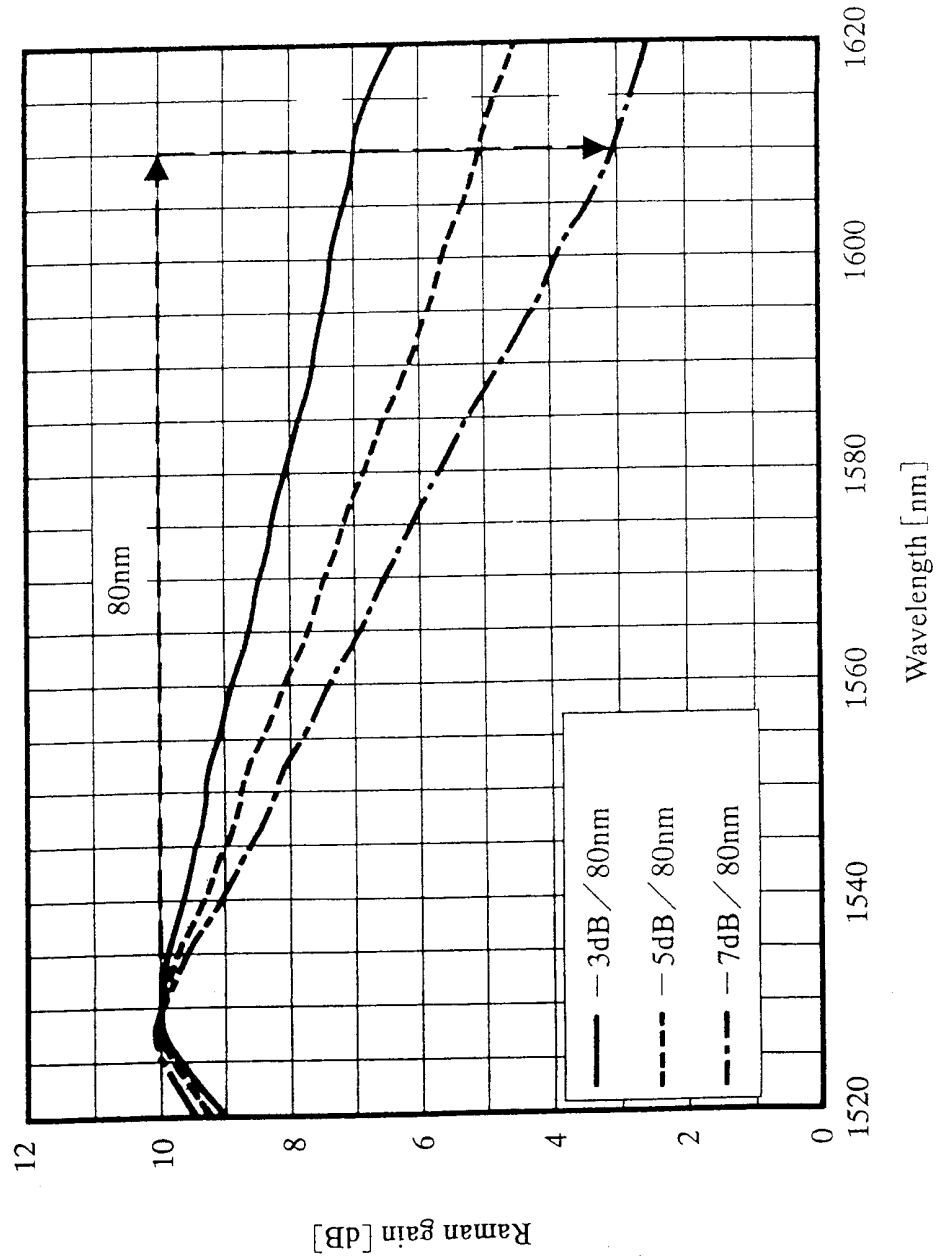


FIG. 17

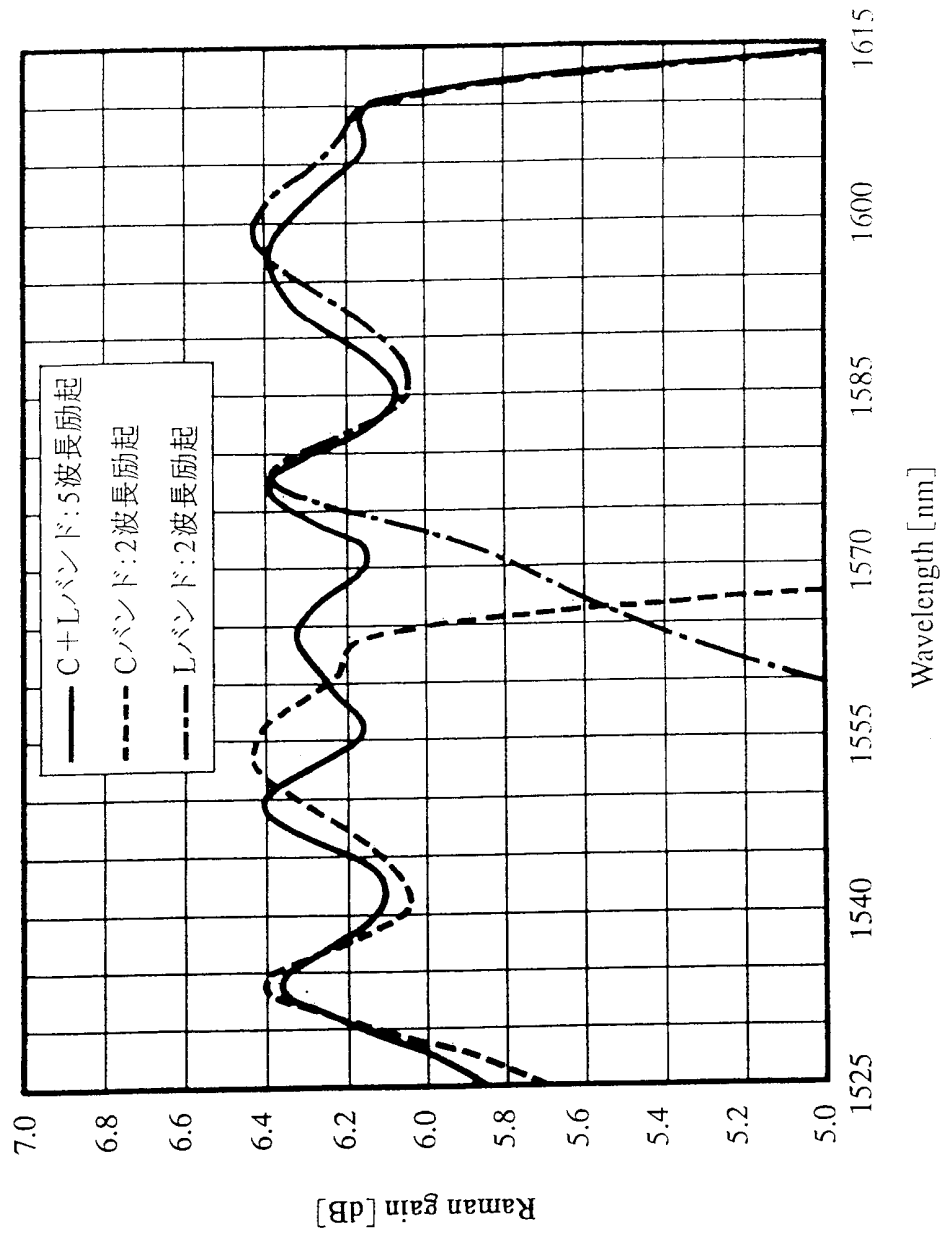


FIG. 18

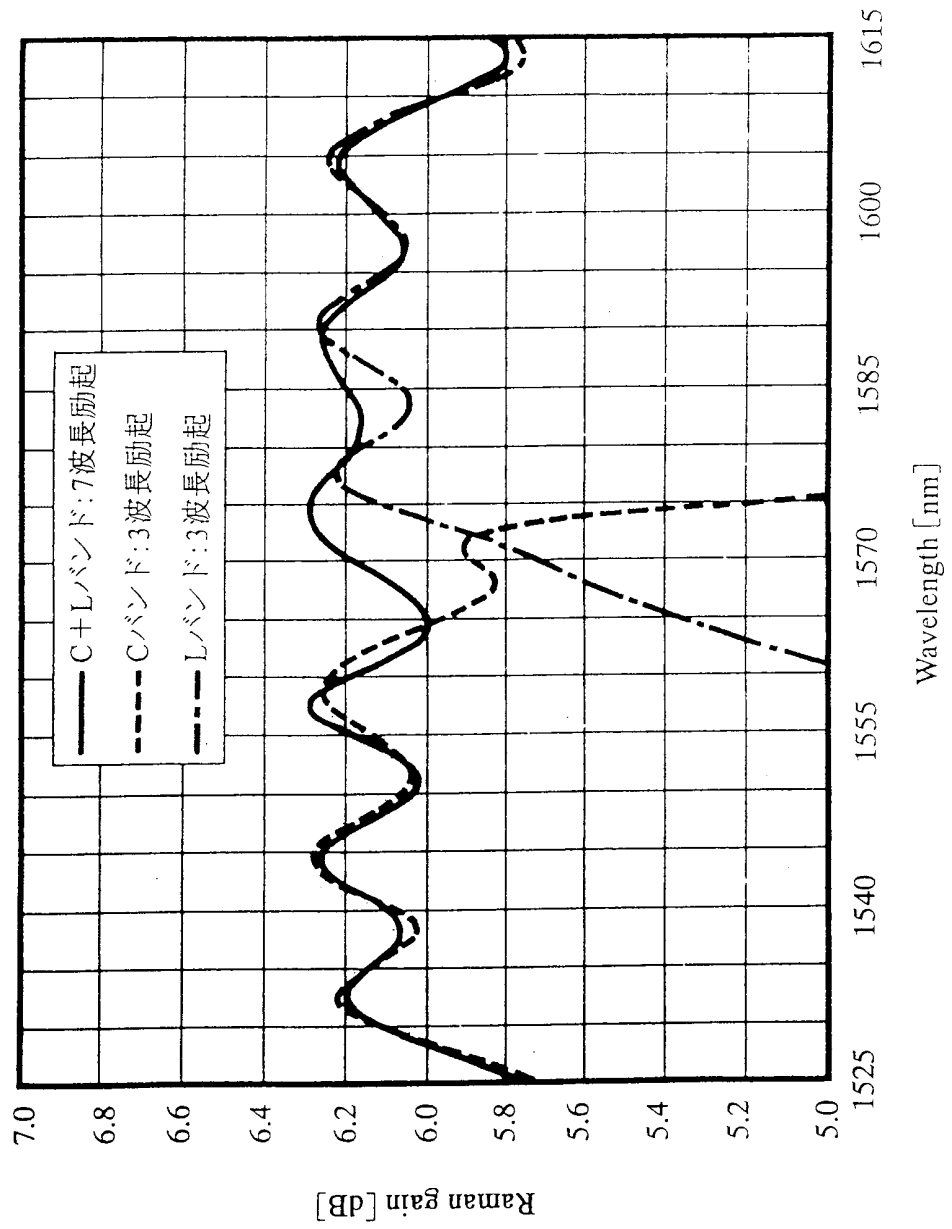


FIG. 19

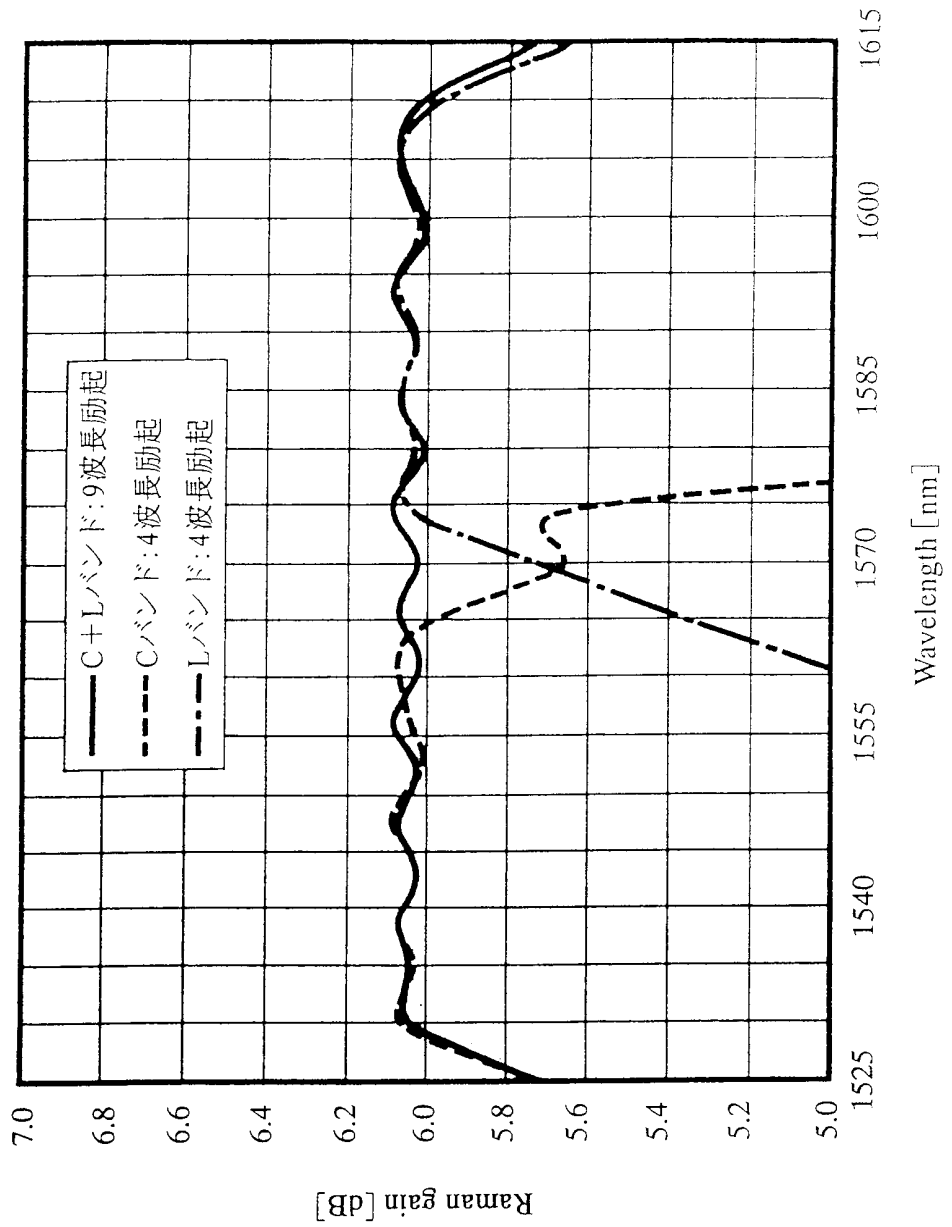


FIG. 20

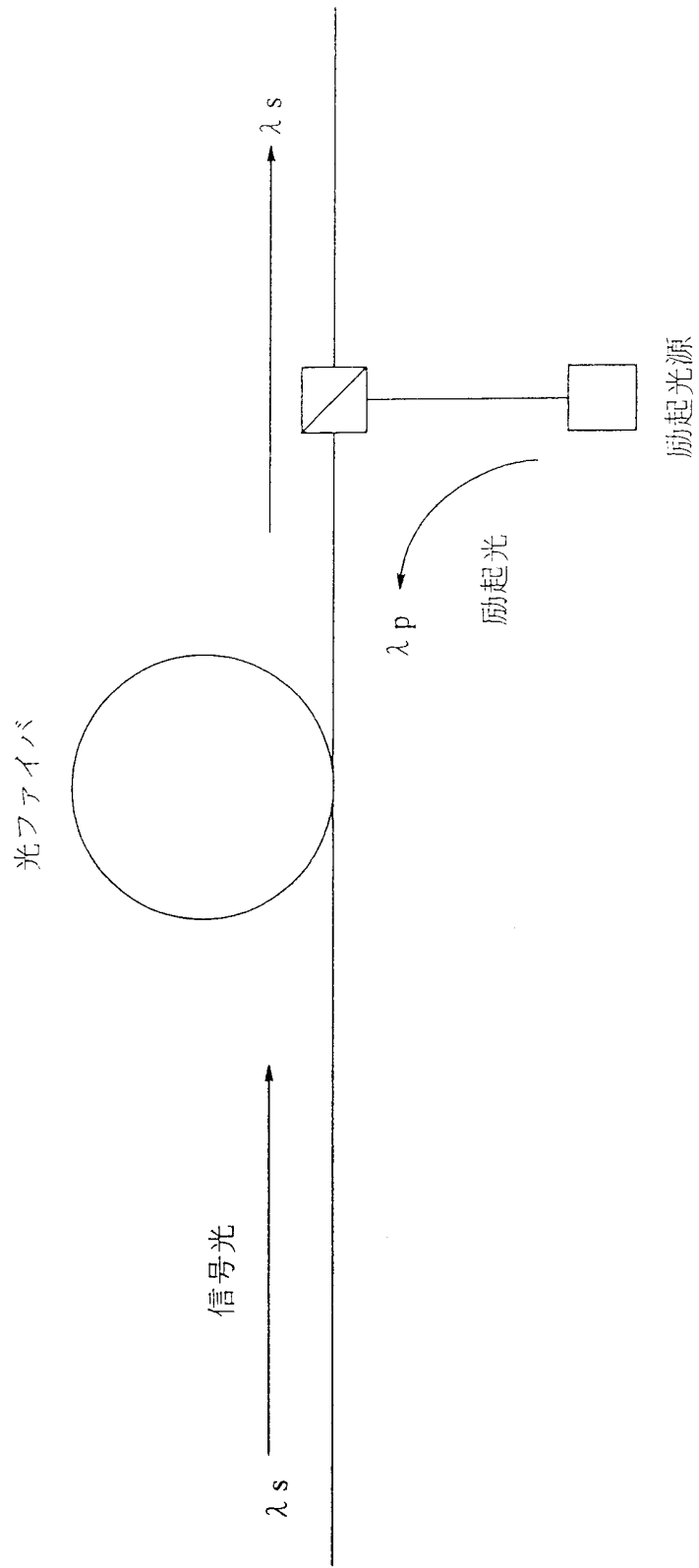


FIG. 21

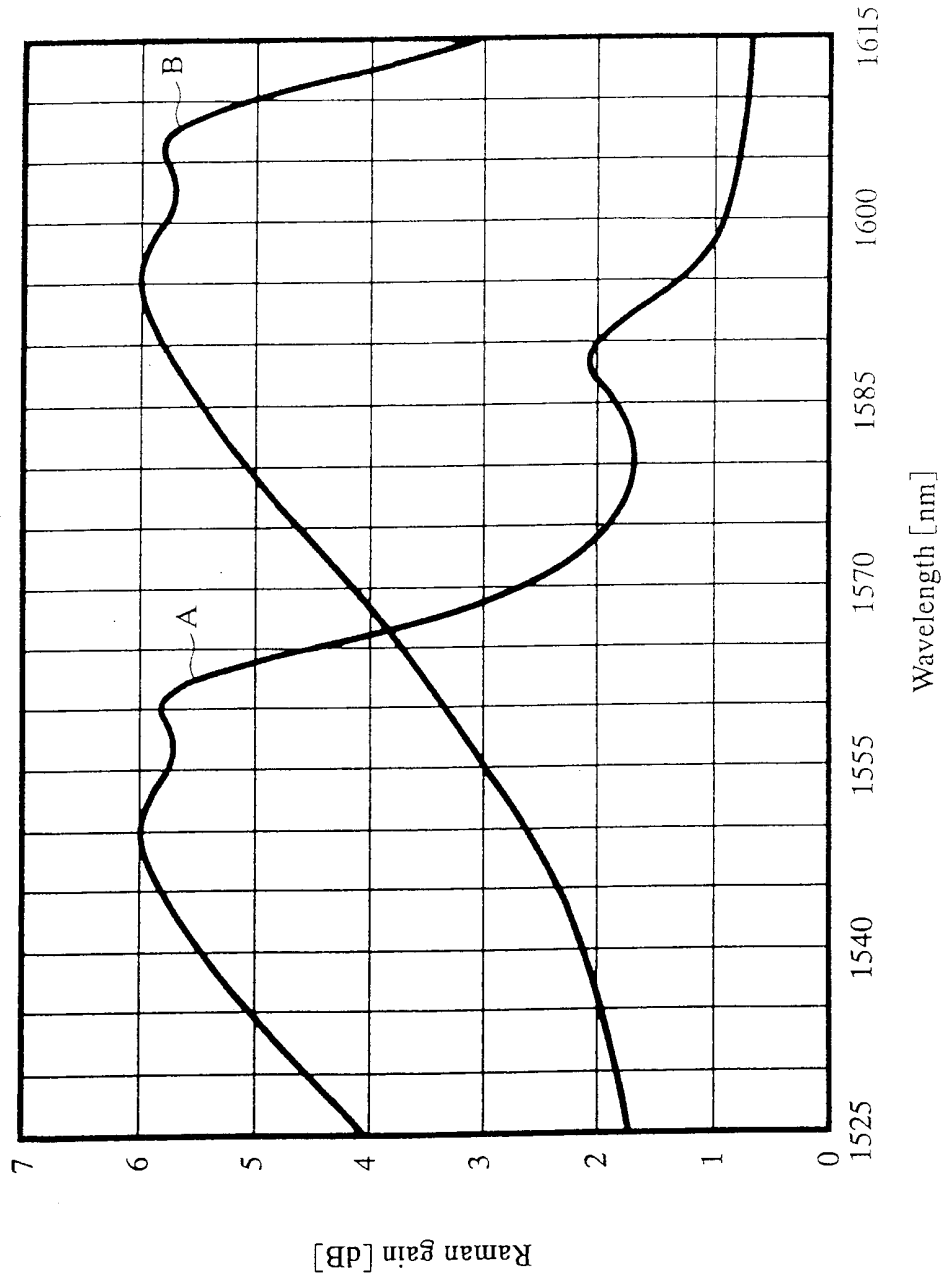


FIG. 22

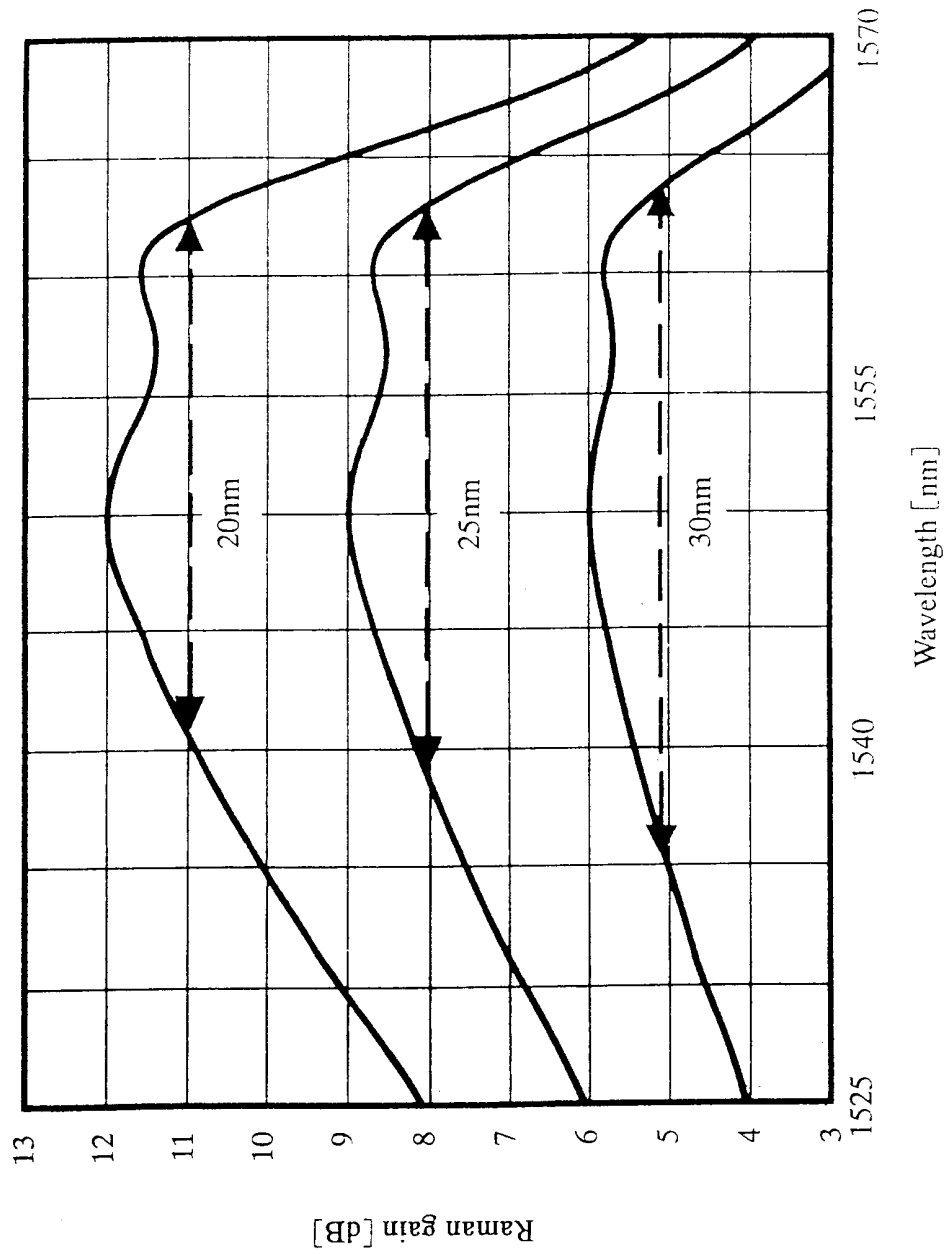


FIG. 23A

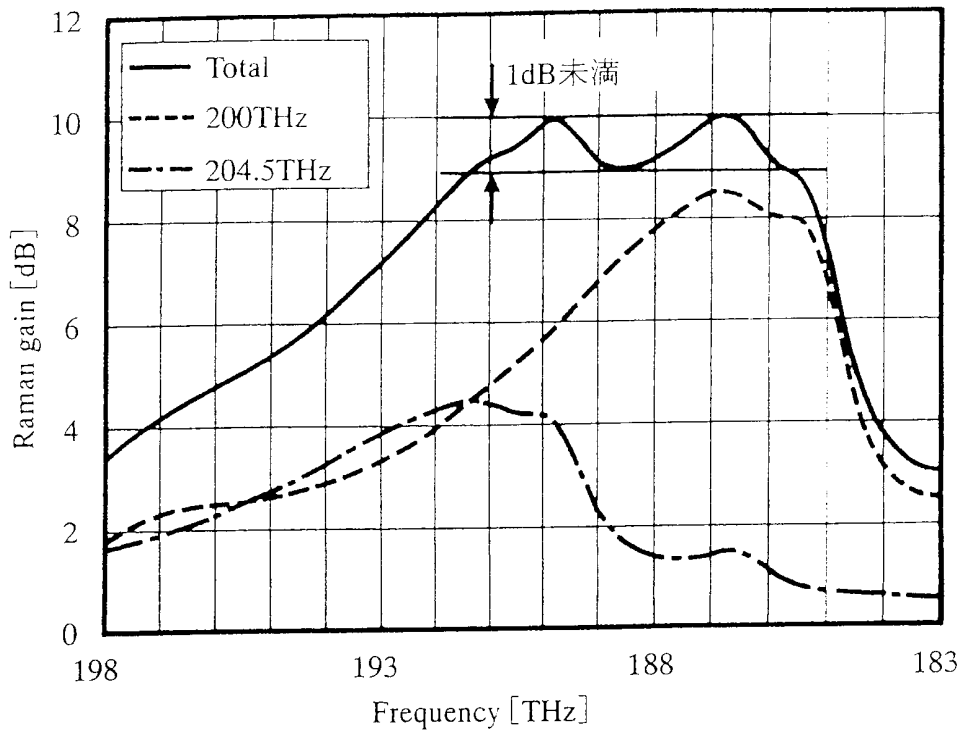


FIG. 23B

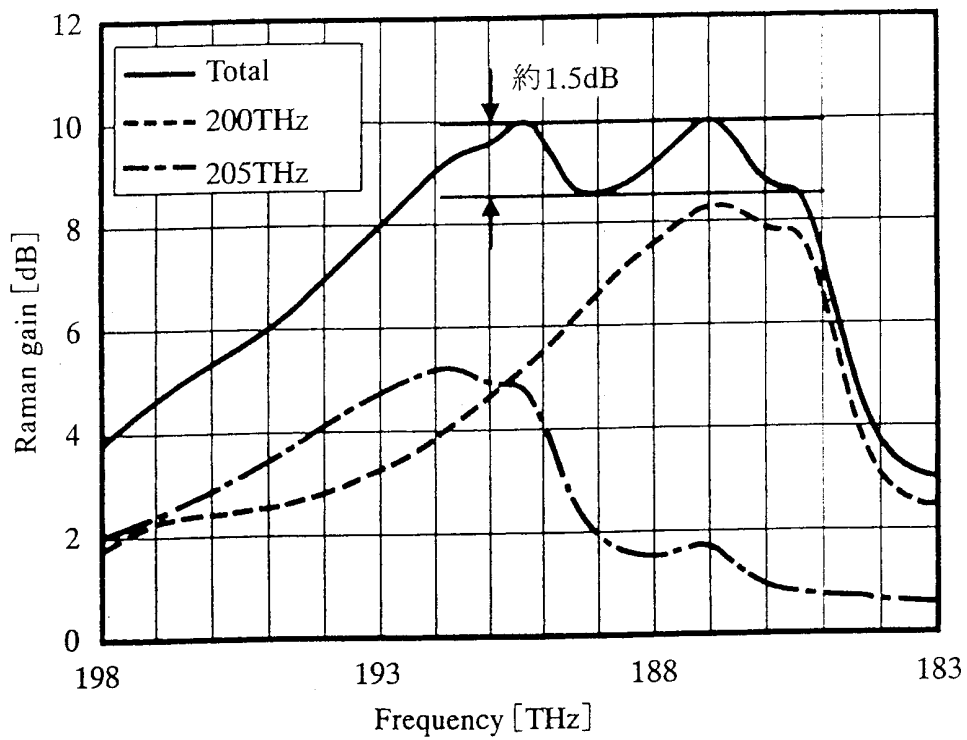


FIG. 24

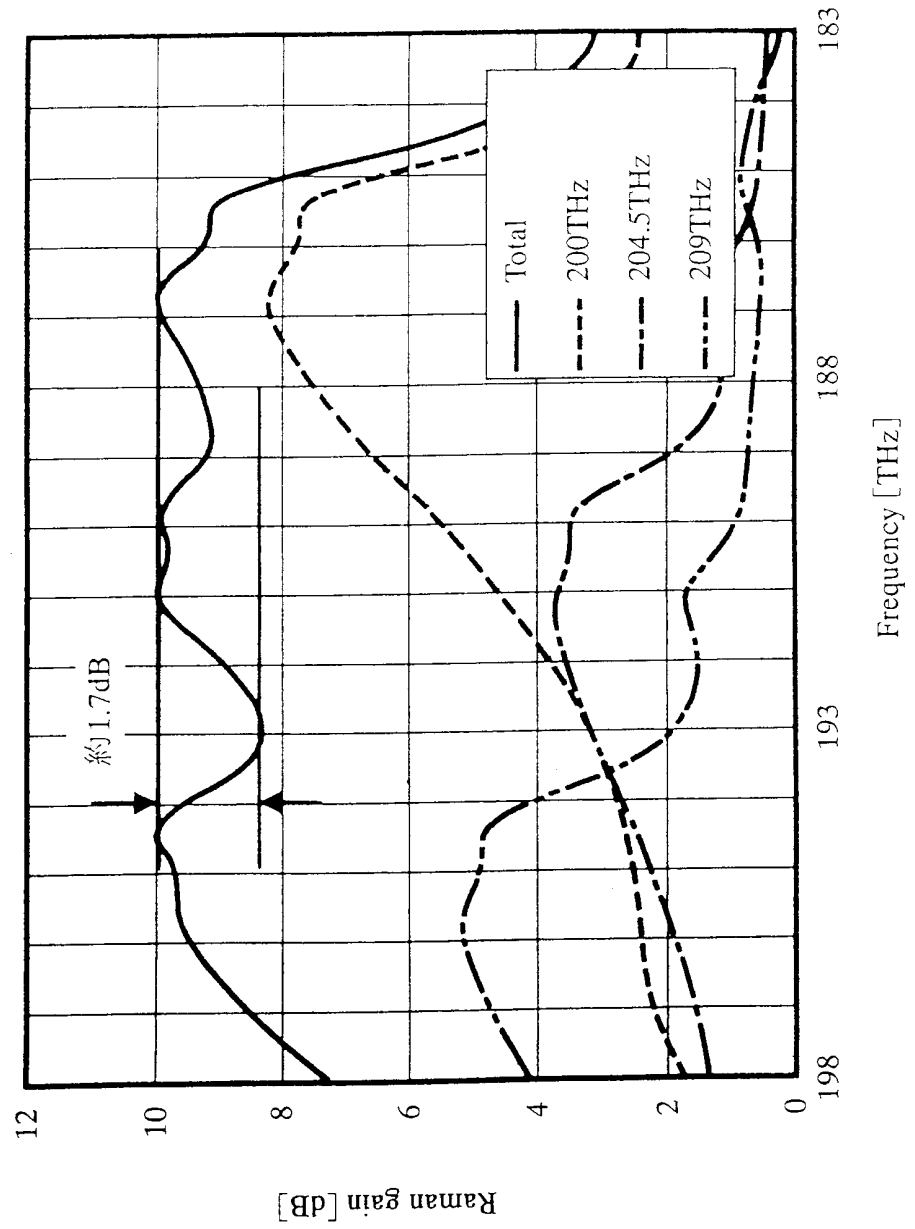


FIG. 25

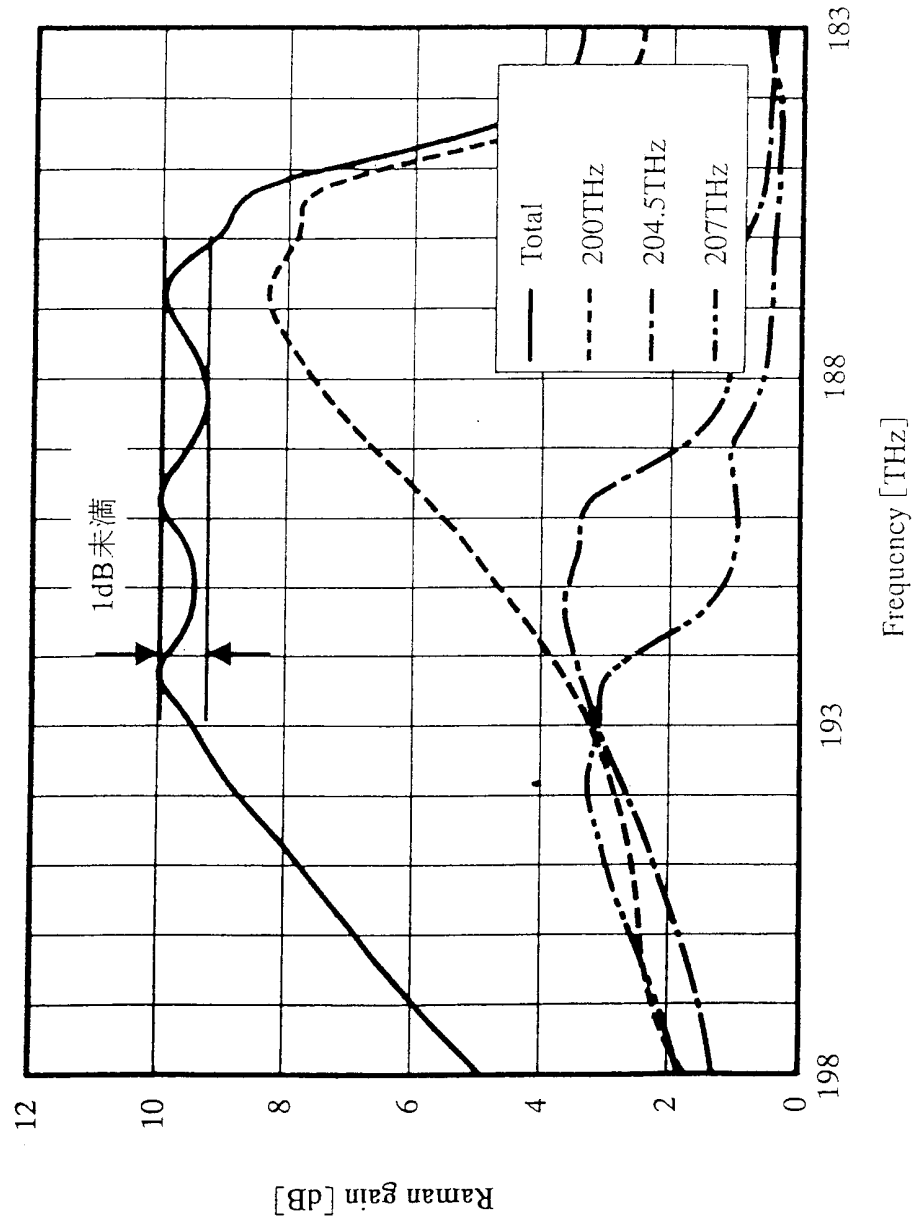


FIG. 26

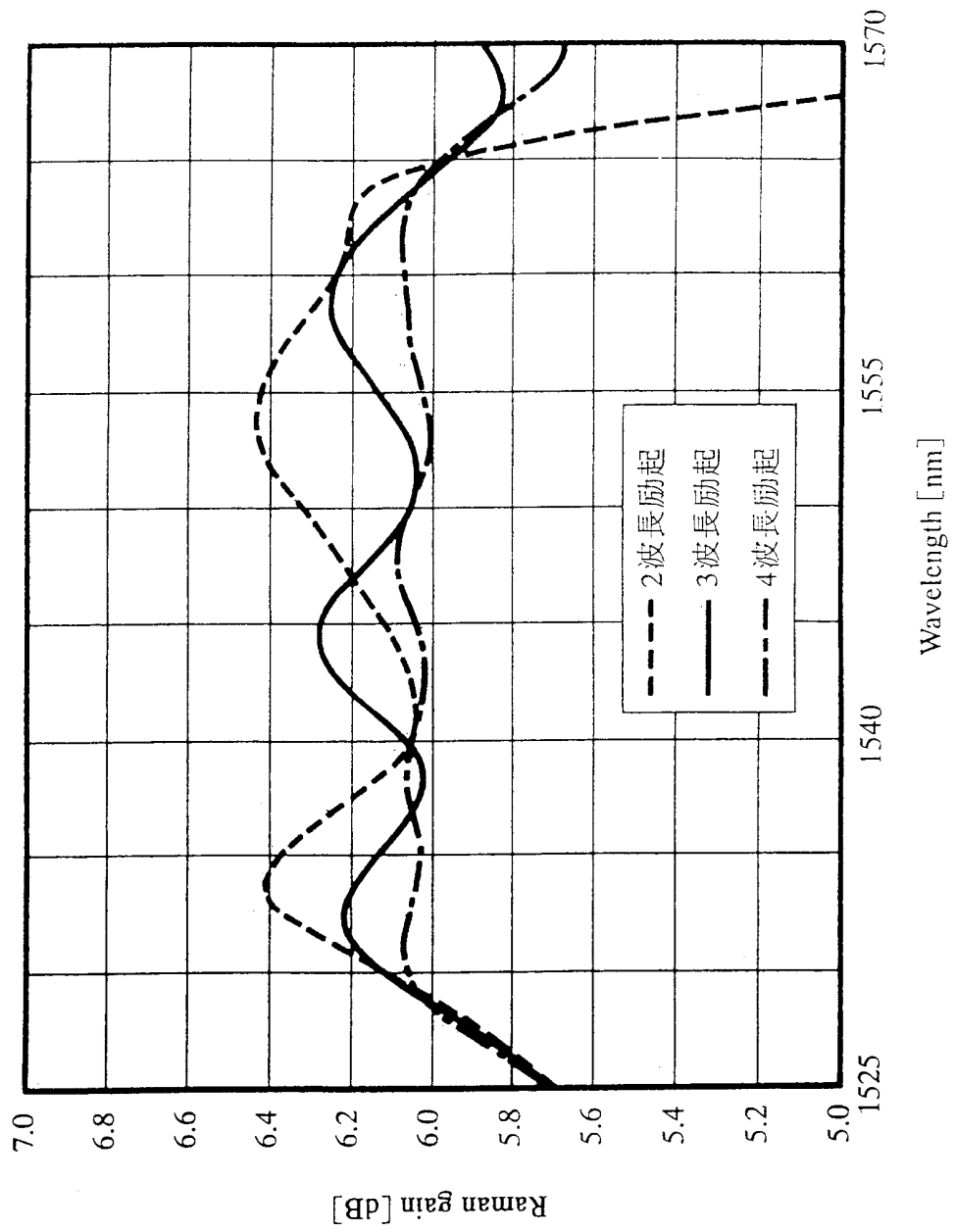


FIG. 27

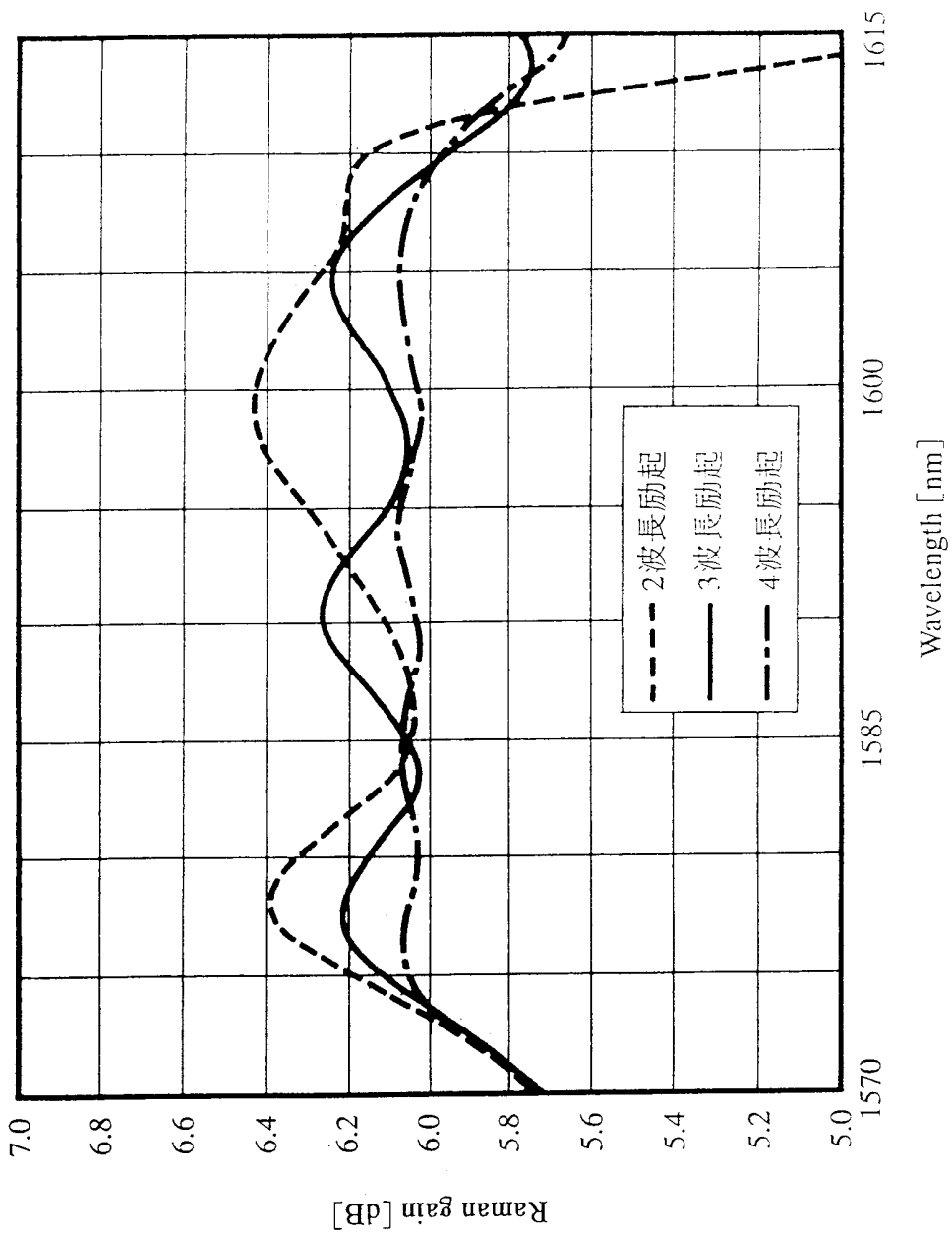


FIG. 28

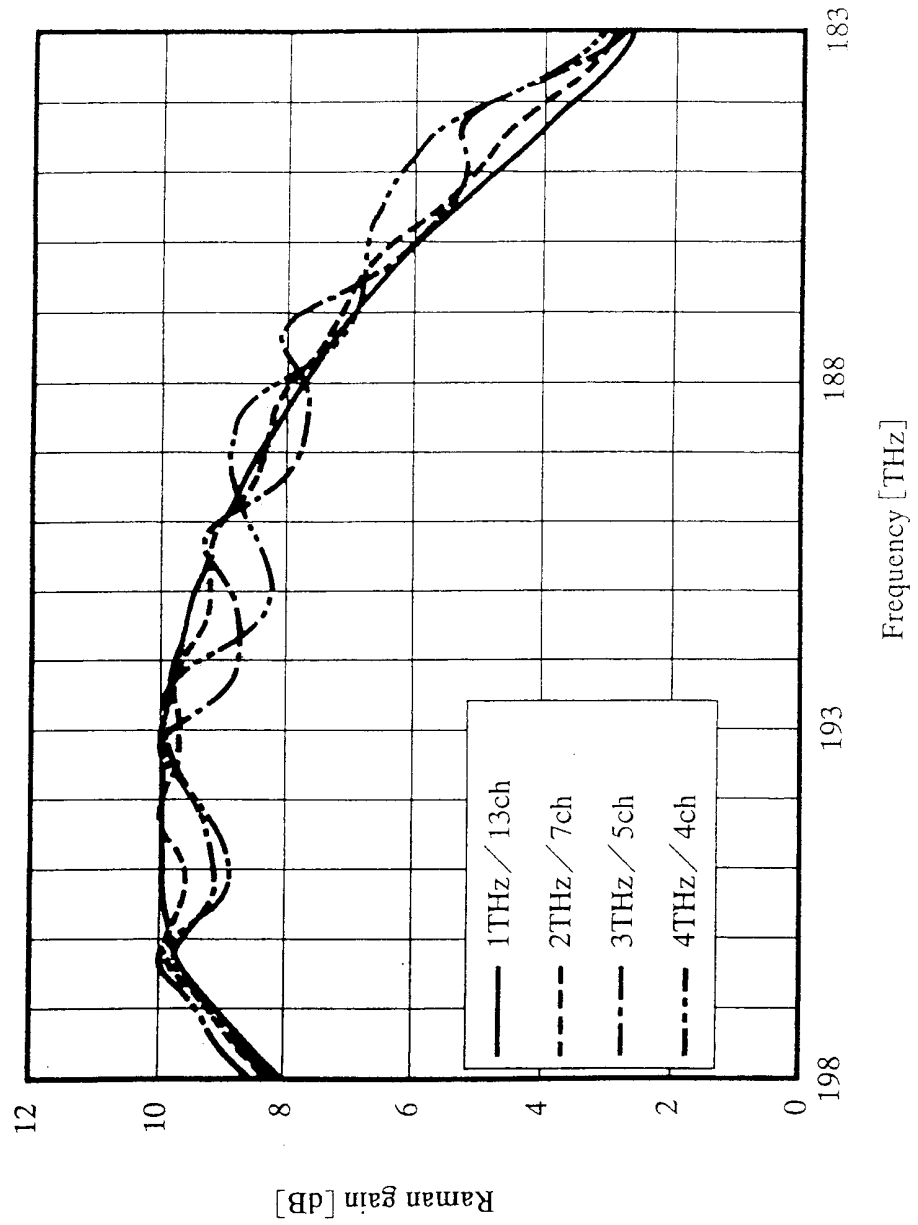


FIG. 29

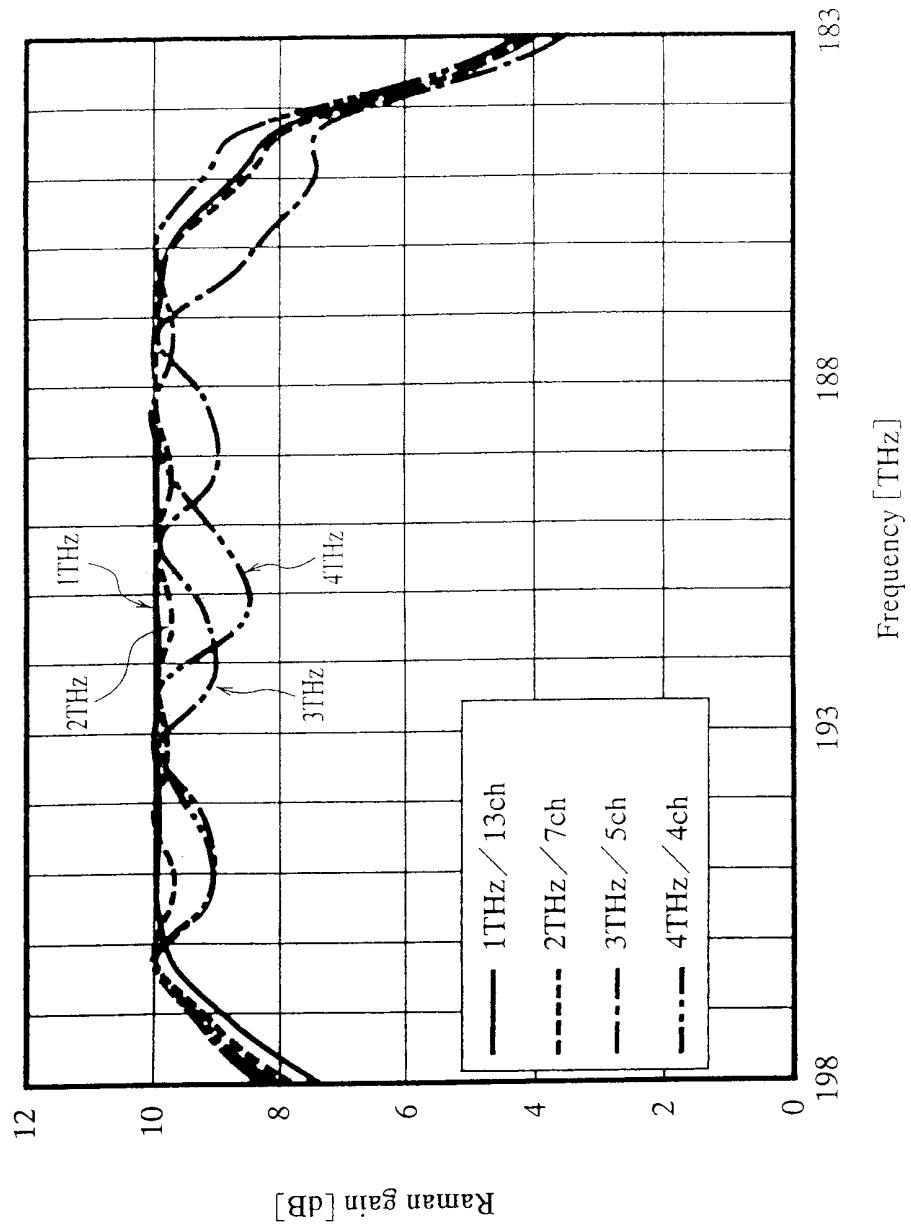


FIG. 30

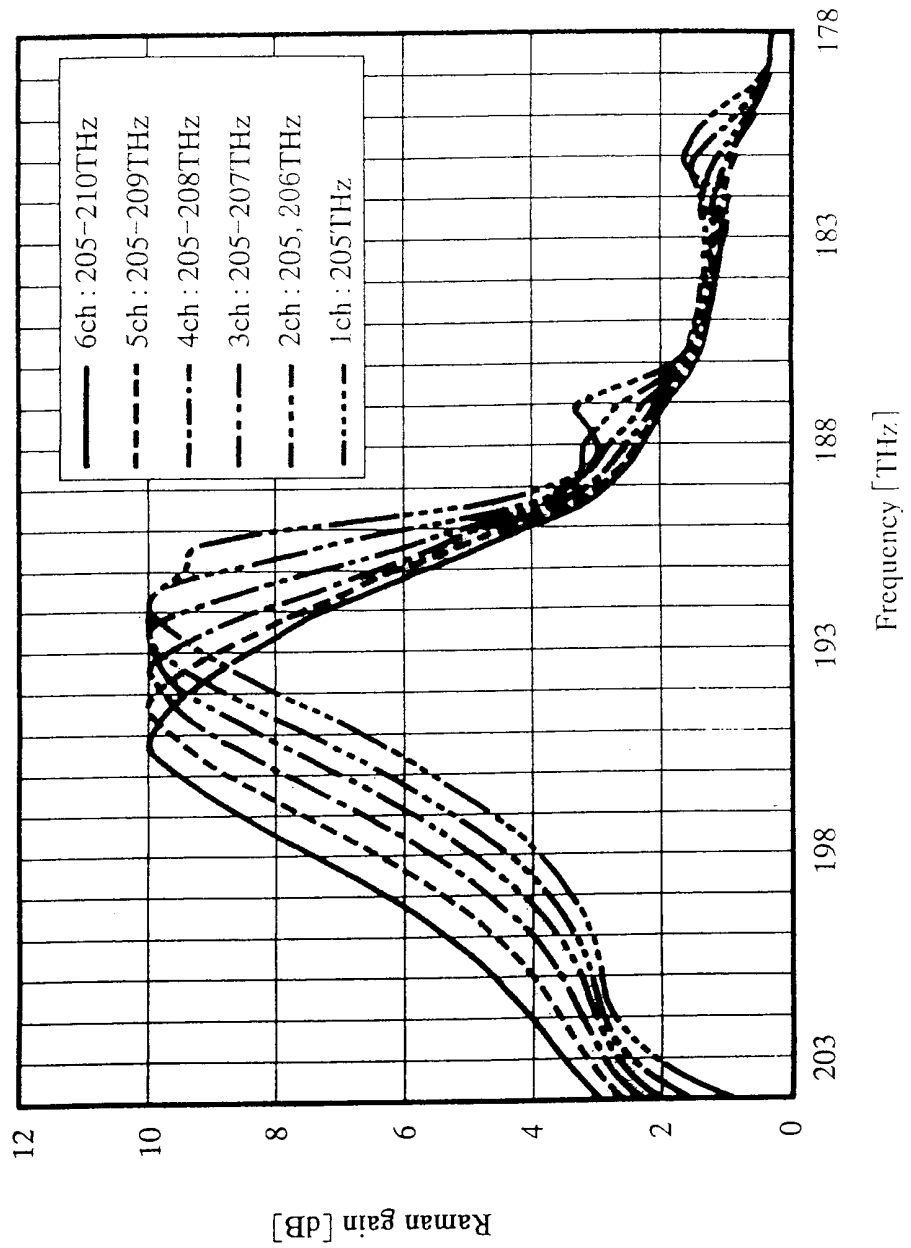
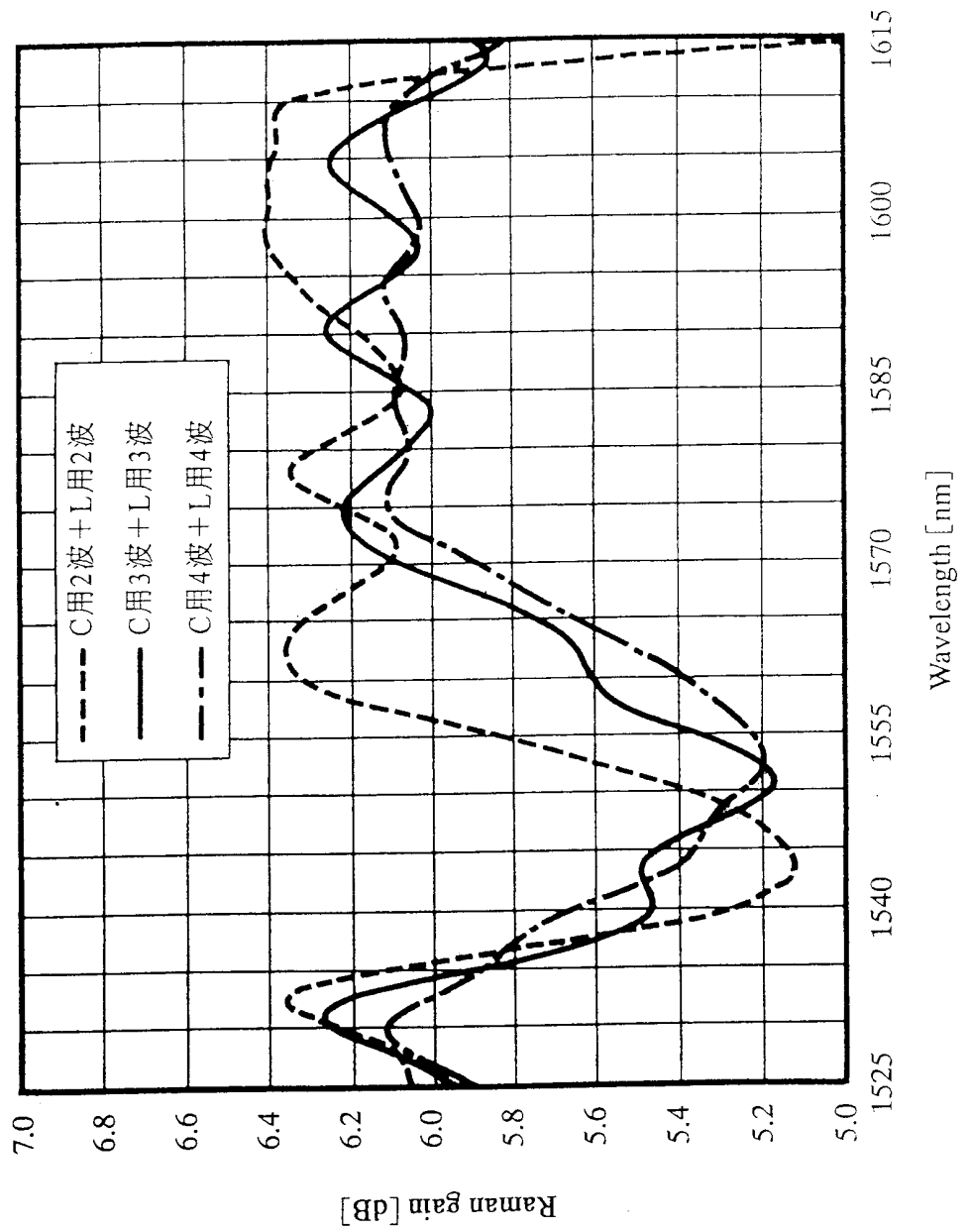


FIG. 31



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP01/00094

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ G02F1/35

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.Cl⁷ G02F1/35

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 1994-2001
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2001 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2001

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

DIALOG (WPI/L)
JICST (JOIS)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|--|-----------------------|
| X | Technical Research Report, The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, Vol.99, No.52, 14 May, 1999 (14.05.99) Yoshihiro Emori, et. al., "Hachou Tajuu Reiki LD Unit wo mochiita Raman Zoufukuki ni okeru Hachou ryouiki 100nm ni wataru Ritoku Heitanka" pp.25-29 | 2, 5-10 |
| Y | | 1, 3, 4 |
| Y | EP, 139081, A2 (POLAROID CORPORATION), 02 May, 1985 (02.05.85), page 12, line 24 to page 13, line 11; Fig. 4 & JP, 60-236277, A | 1, 3, 4 |
| A | EP, 933894, A1 (LUCPECT TECHNOLOGIES INC.), 04 August, 1999 (04.08.99), Full text & JP, 11-275026, A | 1-10 |
| A | JP, 10-73852, A (Nippon Telegr. & Teleph. Corp. <NTT>), 17 March, 1998 (17.03.98), Full text (Family: none) | 1-10 |
| EX | JP, 2001-33838, A (Nippon Telegr. & Teleph. Corp. <NTT>), | 5-10 |

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
09 April, 2001 (09.04.01)

Date of mailing of the international search report
24 April, 2001 (24.04.01)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP01/00094

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|---|-----------------------|
| EA | 09 February, 2001 (09.02.01), Full text (Family: none) JP, 2001-7768, A (Fujitsu Limited), 12 January, 2001 (12.01.01), Full text | 1-10 |

| | | |
|--|--|---------------------|
| A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) | | |
| Int. Cl ⁷ G02F1/35 | | |
| 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 ⁷ G02F1/35 | | |
| 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 1971-2001年 日本国登録実用新案公報 1994-2001年 日本国実用新案登録公報 1996-2001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) | | |
| DIALOG (WPI/L) JICST (JOIS) | | |
| 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 |
| X Y | 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 99, No. 52, 14. 5月. 1999 (14. 05. 99) 江森芳博, et al. 「波長多重励起LDユニットを用いたラマン増幅器における波長 領域100nmにわたる利得平坦化」 pp. 25-29 | 2, 5-10 1, 3, 4 |
| Y | EP, 139081, A2 (POLAROID CORPORAT ION) 2. 5月. 1985 (02. 05. 85) 第12頁第24行-第13頁第11行, 第4図 & JP, 60-236277, A | 1, 3, 4 |
| <input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> 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 | 09. 04. 01 | 国際調査報告の発送日 24.04.01 |
| 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) 三橋 健二 印 電話番号 03-3581-1101 内線 3255 | 2X 9412 |

| 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 | EP, 933894, A1 (LUCPECT TECHNOLOGI ES INC.) 4. 8月. 1999 (04. 08. 99) 全文 & JP, 11-275026, A | 1-10 |
| A | JP, 10-73852, A (日本電信電話株式会社) 17. 3月. 1998 (17. 03. 98) 全文 (ファミリーなし) | 1-10 |
| EX | JP, 2001-33838, A (日本電信電話株式会社) 9. 2月. 2001 (09. 02. 01) 全文 (ファミリーなし) | 5-10 |
| EA | JP, 2001-7768, A (富士通株式会社) 12. 1月. 2001 (12. 01. 01) 全文 | 1-10 |