

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4344686号
(P4344686)

(45) 発行日 平成21年10月14日 (2009. 10. 14)

(24) 登録日 平成21年7月17日 (2009. 7. 17)

(51) Int. Cl.

F I

GO2F 1/35 (2006.01)
 HO1S 3/06 (2006.01)
 HO1S 3/094 (2006.01)
 HO1S 3/10 (2006.01)
 HO1S 3/23 (2006.01)

GO2F 1/35 5O1
 HO1S 3/06 B
 HO1S 3/094 Z
 HO1S 3/10 Z
 HO1S 3/23

請求項の数 10 (全 9 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2004-502508 (P2004-502508)
 (86) (22) 出願日 平成15年4月30日 (2003. 4. 30)
 (65) 公表番号 特表2005-524121 (P2005-524121A)
 (43) 公表日 平成17年8月11日 (2005. 8. 11)
 (86) 国際出願番号 PCT/IB2003/001949
 (87) 国際公開番号 W02003/094394
 (87) 国際公開日 平成15年11月13日 (2003. 11. 13)
 審査請求日 平成18年3月30日 (2006. 3. 30)
 (31) 優先権主張番号 M12002A000922
 (32) 優先日 平成14年4月30日 (2002. 4. 30)
 (33) 優先権主張国 イタリア (IT)

(73) 特許権者 306045626
 エリクソン アクチボラゲット
 Ericsson AB
 スウェーデン エスイー 16480 ス
 トックホルム トルシャングアテン 23
 Torshamnsgaten 23, SE
 -164 80 Stockholm, S
 weden
 (74) 代理人 100082005
 弁理士 熊倉 禎男
 (74) 代理人 100067013
 弁理士 大塚 文昭
 (74) 代理人 100086771
 弁理士 西島 孝喜

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバ増幅システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光通信システム用の光ファイバ増幅器をポンピングする光ファイバ増幅器ポンピングシ
ステムであって、

光ファイバ増幅器と、

伝送ファイバと、

前記伝送ファイバの中に注入される増加する波長を有する複数のポンプ信号を生成する
ポンプ信号生成手段と、

を含み、

前記複数のポンプ信号の波長は、各ポンプ信号がカスケード式にすぐ下の短い波長のポ
ンプ信号によって誘導ラマン効果 (SRS) によって増幅される一方で、すぐ上の長い波
長のポンプ信号をSRSによって増幅するものであり、

最も短い波長を有するポンプ信号のパワーは、最も長い波長を有するポンプ信号のパワ
ーよりも大きく、

前記光ファイバ増幅器は、前記伝送ファイバを通して前記ポンプ信号生成手段と接続さ
れており、前記最も長い波長の前記ポンプ信号が前記ポンプ信号生成手段から遠方に位置
する前記光ファイバ増幅器をポンピングするようにされている、

ことを特徴とするシステム。

【請求項 2】

前記ポンプ信号の最も長い波長は600～2900nmの範囲の値を有することを特徴

10

20

とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 3】

増幅しようとするポンプ信号当たりのポンプ信号の数は、少なくとも 2 であることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 4】

前記ポンプ信号を生成するための前記ポンプ信号生成手段は、前記伝送ファイバの一端に配置されることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 5】

前記ポンプ信号を生成するための前記ポンプ信号生成手段は、伝送チャンネル信号が導入される端部と同じ側の端部から前記伝送ファイバへ前記ポンプ信号が導入されるように配置されることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

10

【請求項 6】

前記ポンプ信号を生成するための前記ポンプ信号生成手段は、伝送チャンネル信号が導入される端部と反対の側の端部から前記伝送ファイバへ前記ポンプ信号が導入されるように配置されることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 7】

前記ポンプ信号生成手段は、前記伝送ファイバの両方の端部に配置され、第 1 のポンピングビームは、前記伝送チャンネル信号に対して逆方向に伝播し、他方は、それと同じ方向に伝播することを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 8】

20

異なる波長を有する連続するポンプ信号間の周波数シフトは、増幅される WDM 信号に対して、

- ・バンド L 波長：基準シフト = $85 \pm 10 \text{ nm}$ 、ラムダ単位の最も長いポンプ波長（前記チャンネルの増幅を担う）： $1486 \pm 10 \text{ nm}$ 、

- ・バンド C：基準シフト = $75 \pm 10 \text{ nm}$ 、ラムダ単位の最も長いラマンポンプ波長（前記チャンネルの増幅を担う）： $1447 \pm 10 \text{ nm}$ 、及び

- ・バンド S：基準シフト = $65 \pm 10 \text{ nm}$ 、ラムダ単位の最も長いラマンポンプ波長（前記チャンネルの増幅を担う）： $1406 \pm 10 \text{ nm}$ 、

であることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 9】

30

前記光ファイバ増幅器は、遠隔ポンピングを有する光ファイバ増幅器を得る方法で希土類添加光ファイバのセグメントを含むことを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 10】

請求項 1 から請求項 9 のいずれか 1 項に記載のポンピングシステムを含むことを特徴とする光通信システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、多重誘導ラマン散乱（SR S）に基づく光通信システムのための光ファイバ増幅器ポンピングシステムに関する。

40

【背景技術】

【0002】

ラマン効果増幅器は公知であり、増幅される信号の波長とある一定の関係を有する波長のビームを同じファイバ内で送ること（「ポンピング」という）により、光ファイバに沿って伝播する光信号を増幅する、すなわち「ポンピングする」ことができるという事実に基づくものである。

「RAMAN」効果を利用した今日の光増幅器の構成は、主として 2 つある。最初のは、増幅したい信号の伝播方向の反対方向に所定の周波数のビームをポンプレーザがファイバに送り込む逆伝播ラマンポンピングから成る。2 番目は、増幅される信号と反対の方向に第 1 の周波数で伝播するポンプビームと、第 2 のより低い周波数でその信号と同じ

50

方向に伝播する第2のビームとを有するように、増幅される信号が進むファイバの2つの端部に2つのポンプレーザが存在する相互伝播及び逆伝播ラマンポンピングから成る。周波数の適切な選択により、相互伝播ポンプビームは、逆伝播ポンプビームを増幅し、それは、次に信号を増幅する。

【0003】

特定の種類の光増幅器は、増幅される信号及び通信ファイバに沿って遠距離地点から来るポンプ信号の両方が進む伝送ファイバと直列に配置された希土類イオン添加ファイバ（すなわち、エルビウム添加ファイバ）において増幅効果が作り出される、遠隔ポンピングを備えた光ファイバ増幅器（希土類イオン添加）である。ポンプ信号は、遠隔希土類イオン添加光ファイバ増幅器（EDFA）によって供給されるポンピング及びその結果得られる光増幅を担う。

10

【0004】

このような増幅器は、ポンプビームが受けるであろう伝送ファイバが引き起こす減衰がドープファイバ内の増幅を過度に制限されたものにするために、ポンピングされるドープファイバからポンプレーザを大きな距離を隔てて配置することはできないという欠点がある。

本発明の一般的な目的は、遠隔光ファイバ増幅器のポンピングを改善する光ファイバ増幅器ポンピング技術を利用可能にすることにより、上述の欠点を除くことである。

【発明の開示】

【0005】

20

本発明によれば、多重誘導ラマン散乱に基づく光通信システムのための光ファイバ増幅器ポンピングシステムは、光ファイバ増幅器と、増加する波長を有し、かつ信号の波長で伝送ファイバ内に注入される複数のポンプ信号を生成するための手段とを含み、ポンプ信号の波長は、複数のポンプ信号の各々が、カスケード式にすぐ下のより短い波長のポンプ信号によって増幅される一方で、すぐ上のより長い波長のポンプ信号を増幅するようなものであり、最も長い波長のポンプ信号は、上述の生成手段から遠方に位置する光ファイバ増幅器をポンピングするように配置される。

本発明の原理及び従来技術と比較したその利点の解説を明瞭にするために、添付図面を参照して本発明を例示的に更に説明する。

【発明を実施するための最良の形態】

30

【0006】

図面を参照すると、図1は、本発明によるポンピングシステムの例示的な図を示す。この構成は、光ファイバ部分3の端部での適切な公知のカプラによってポンプ信号を入力する複数のポンプからの寄与を利用する多重誘導ラマン散乱を基本とするものである。これらのポンプは、光ファイバ増幅器4の遠隔ポンピングを担う最も長い波長のポンプから始めて減少する波長を有することを特徴とする。図1で分るように、これらのポンプは、同じ伝播方向に配置されており、それらは、次に、図1に示す遠隔「EDFA」4によって増幅される信号チャンネルで相互伝播及び／又は逆伝播することができる。

【0007】

伝送ファイバによって伝送されるポンプ信号のラマン増幅効果を発生するように、ポンプ信号のうちで最も短い波長のものが選択される。ポンプの波長は、連続する波長を有するポンプ対の間のラマン増幅効果を最大にするように選択される。例えば、遠隔にポンピングされた「EDFA」によって増幅されるLバンドチャンネルに関して、2つの連続するポンプの波長のずれが約100nmであると仮定すると、図1に概略で示す遠隔「EDFA」ポンピングを担う1480nmポンプ光を増幅するために、同じ伝送ファイバ端に置かれた1380nm、1280nm、1180nm、1080nm、及び980nmの波長を有するポンプを使用することができるであろう。

40

【0008】

各ポンプは、980nmから始まって、100nmを超える波長で相互伝播するポンプのパワーを増幅すると仮定することができる。そうでなければ、各ポンプのパワーは、図

50

6の各ポンプについて別々に示すように、ファイバの固有の減衰のために距離と共に指数関数的に減少するであろう。増幅効果は、実際に遠隔「EDFA」をポンピングする1480nmまで100nmずつ異なる波長を有するポンプの各対に対してもたらされる。

【0009】

このような980nmポンプから始まる有効なサイクルは、古い技術と比較すると、1480nmビームの相当に高レベルのパワーが、遠隔ポンプサイトから遥かに離れた距離に置かれた遠隔「EDFA」に到達することができることを保証し、この技術は、更に、光ファイバ増幅器に対してより大きな光学利得、より高い出力パワー、及びより良い「雑音指数」をもたらす。古い技術は、遠隔ポンプビームの伝送ファイバへの直接注入から構成され、勿論、遠隔ポンプ及びドープファイバからの距離は、伝送ファイバの減衰のため

10

【0010】

より一般的な形において、例えば「WDM」システムにおける異なる波長への連続するポンプ間のシフトは、有利な態様においては以下のようにすることができる。

- ・バンドL：基準シフト＝ 85 ± 10 nm、ラムダ単位の次に長いラマンポンプ波長（チャンネルの増幅を担う）： 1486 ± 10 nm.

20

- ・バンドC：基準シフト＝ 75 ± 10 nm、ラムダ単位の次に長いラマンポンプ波長（チャンネルの増幅を担う）： 1447 ± 10 nm.

- ・バンドS：基準シフト＝ 65 ± 10 nm、ラムダ単位の次に長いポンプ波長（チャンネルの増幅を担う）： 1406 ± 10 nm.

【0011】

10nmの不確実性は、第一に、散乱が実際に使用される伝送ファイバの光学的、物理的、及び幾何学的特性に本質的に依存するために、光学基準シフトはファイバの種類によって変動するという事実によるものである。更に、ポンプ波長の減少に伴って、1つのポンプと別のポンプとの間の波長の関連する光学シフトは小さくなる。この減少のマグニチュードは、その多くが使用可能なファイバの種類である伝送ファイバの種類によって変動するために予め定量化することはできず、毎回実験的に見つける必要がある。例えば、OH⁻ピーク（この重要性については以下で説明する）なしのG₁、G₂、G₃、G₄、及びG₅、海中ファイバ、及び負の色分散ファイバなどのような様々な種類の伝送ファイバがある。これに加えて、所定の種類の伝送ファイバに対して十分に異質の光学的及び物理的特性を有する製品の様々なファイバ納入業者が存在する。更に、海中システムにおいては、特定の関連で使用される伝送ファイバの物理光学的特性は、技術的考察に基づいて毎回決定されることが多い。この決定に引き続いて、ファイバは、最適な使用に必要な特性を有するように製造される。

30

【0012】

これらの全ては、ファイバの経年変化又は「古い」種類のファイバの使用のような現象、すなわち、通常の新しいファイバから正当に予想される特性に対するファイバの物理的特性の変動を引き起こす可能性があるものを考慮しない。ここでもまた、スプールに巻かれた裸ファイバは、ファイバが現地据付のためにケーブルにされた時、又はファイバが他のファイバと共に集められてマルチファイバケーブルにされた時に、劇的ともいえる変化を示すある一定の物理特性を有する。

40

【0013】

更に、ファイバの反射点及びその「レイリー後方散乱」は、ケーブル配線の経年変化や気象条件などのために場合によって変動する。以上の全ての理由及び他の理由から、相対的及び絶対的なポンプ波長の実験的シフトがいずれにしても必要であろう。

いずれの場合も、ポンプが「EDF」ファイバに到達した時にカスケードの最終ポンプ

50

がより大きなパワーのポンプ信号を有することにより、伝送信号チャンネルの遠隔「E D F A」ポンピングに至るまでの全てのポンプのカスケード増幅効果をもたらすように波長を選択することが重要である。

【0014】

図1の実施形態では、本発明によるポンピング技術構成の多重S R S構造は、ファイバの同じ端部にその全てのポンプを有する。

他の態様も考慮されることになる。

ファイバの減衰は、一般的なファイバに関して図4に例示的に示すように、波長の減少と共に増加することは公知である。

図4のグラフは、ファイバの典型的なO H減衰ピークを示すが、ファイバの長さは、恐らくはこのようなピークの排除をもたらすことになる。従って、最も短い波長（例えば、図示の例では980nm）を有するポンプのパワーは、最も長い波長を有するポンプが他のポンプと比較していかなるS R S増幅によっても恩恵を受けないので、恐らくはそれよりも大きくなければならないことを考慮すべきである。これは、より短い波長（ $< 1 \text{ dB/km@9890nm}$ 、 $< 0.6 \text{ dB/km@1080nm}$ ）の付加的な減衰と、最も短い波長のポンプがマルチモード式にファイバ内を伝播すること、及び、従って遮断波長よりも短い全ての波長に対する付加的なパワー損失のためのゆとりを作るべきであるという事実とを同じく考慮する場合は、なお一層当てはまる。

【0015】

しかし、何らかの方法でこれらの欠点を低減し、本発明の解決法を非常に有利なものとする別の態様を考えるべきである。この別の態様とは、波長に対するラマン散乱の依存性である。

勿論、ラマン散乱は、レイリー散乱の特別な場合である。レイリー散乱は、 $\alpha_R = [8\pi^3(n^2-1)^2\beta_T K_B T_f] / 3\lambda^4$ という公式によって表すことができる。

この公式は、散乱が係数 $1/\lambda^4$ によって小さくなることを明確に示すものである。すなわち、図5に示すような傾向が存在する。

【0016】

従って、ファイバ減衰を無視し、同じファイバにおいて開始される2つのポンプに対して同じ量のパワーを仮定すると、「誘導ラマン散乱」の供給は、長い波長よりも短い波長の方が多。

すなわち、長い波長よりも短い波長をポンピングすべきことになるが、あまり多くてもいけない。

更に、マルチモードの伝播は、個別に誘導されるポンプパワーと比較して、高次モードでの核から遠く離れたパワーの位置のために、より強力なポンピングを可能にする。

【0017】

マルチモード伝播の効果の考察がまだ残っている。

現在の伝送ファイバは、供給する遮断波長が約1260nmよりも小さいものが多い。この限界よりも下にはマルチモード伝送があり、これは、一見して何らかの利点をもたらすことができるであろう。高次モードで励起されるほど、ファイバ断面に亘るパワーの分布を改善することができる。これは直ちに結果をもたらす、すなわち、そのレベルより下では基本モード（LP01）に関する何の不利もないパワーレベルが決定された状態で、高次モードの伝播のために、より多くのパワーをファイバ内で使用することができると考えられる。これらのモードは、「LP01」モードに関して、異なる方法で中心核から遠方にパワーを空間的に分布させる。これによって、ファイバ内の大きなパワーの処理から生じると考えられる問題が回避される。

【0018】

簡単な例を簡単に少し説明すると、ファイバ核のいくつかの点での高パワーレベルの集中が問題を引き起こす場合は、最も短い波長（980nm）を有する供給源は、ファイバ核でのパワーの分布が異なるために、又は、換言すると高次モードでの励起のために、長い波長（1480nm）を有する供給源よりも遥かに多くのパワーをポンピングすること

ができる。

これは、波長が短いほどより強力にポンピングすることが必要であることを考えた場合、明らかに本解決法の利点である。

ある一定のレベルを超えてポンプパワーが増加すると、増幅された信号の強度が非常に高くなり、それによって高次 ($j \geq 1$) でのストークス効果の発生の結果として信号がパワーを失うために、ラマン効果によって与えられた利得が減少することは公知である。

これは、上述の場合の問題と見なされるであろう。

【0019】

本発明の1つの問題は、ファイバの「焼損」を引き起こす可能性がある多重ポンプの使用のために、ファイバも送り込まれる高いパワーレベルを支持するファイバの能力があるか否かの問題として現れる可能性がある。ファイバの焼損は、伝送手段の断面の黒化であり、これは、明らかに伝送信号の大きな減衰を伴う。

この現象を回避するために、様々な技術を使用することができるであろう。

1つの特に有利な革新的な技術は、以下のものであると見出された。

【0020】

1260 nmよりも小さい波長を有するポンプレーザを考える。これらは、マルチモードで伝播する。各波長及び関連ファイバの各種類に対する個々のモードの伝播の場合は、焼損パワー閾値が特定された状態で、レーザは、焼損問題なしで恐らくマルチモード伝播によって生じるこのポンピング限界を克服することができる。これは、1260 nmよりも小さな波長を有する供給源と比較して、ファイバを通して遠くまで進むレーザの能力を改善する。これは、高次モードの励起の数が小さくなるために、上述の遮断波長に接近すると徐々に当て嵌まらなくなる。それにも関わらず、供給源の波長が大きくなる時により多くのパワーをポンピングする能力のこの見かけ上の低下は、単に、各ポンプがすぐ下の波長のポンプによって増幅される一方で、すぐ上の波長のポンプを増幅する本発明の同じ多重SR S機構によってある程度補償される。これはまた、1260 nmよりも大きい波長を有するポンプレーザに対しても、それらがより分散され、改善され、かつ増大した方法でSR S効果によりファイバに沿ってポンピングされることを忘れなければ当て嵌まる。これは、長い波長を有するポンプレーザを臨界パワーレベルでファイバ内に開始すべきではないことを意味している。

【0021】

特に、これは、1480 nm近くのポンプに当て嵌まる。上述の本発明の技術は、「遠隔希土類イオン添加ファイバ増幅」（例えば、エルビウム、テルル、及びその他）の公知の分野で使用されて恩典をもたらすことになる。

例えば、遠隔「EDFA」ポンピングは、伝送側から遠く離して配置された「EDF」ファイバをポンピングする段階（すなわち、1480 nmで）から構成することができる。明らかに、「EDF」は、伝送ブースタから24 dBを超えて遠方に配置することはできない。公知のシステムにおいては、対応する直線距離は、通常せいぜい数百メートルである。この距離は、本明細書に説明するSR S多重分散増幅を用いるポンピング技術の使用によって大幅に増大させることができる。当然ながら、異なる波長を有するラマンポンプは、全て、伝送ファイバの各一方又は両方の端部に位置すべきである。第1の場合では、ラマンポンプは、伝送ファイバ端に対応する2つの組に分けることができる。これは、1つのラマンポンプの組が伝送信号と共に相互伝播し、他方は、そうではなく逆伝播することを意味している（図1、図2、図3を参照）。

【0022】

遠隔光ファイバ増幅器（すなわち、EDFA）のためのより良いポンピング技術を提供するという所期の目的が、利点と十分な応用範囲スペクトルとを有する多重SR S増幅を利用する革新的ポンピングシステムを利用可能にすることによって達成されたことは今や明らかである。遠隔ポンプ信号は、ほとんどの場合に、伝送ファイバを通して信号チャンネルを分配的にラマン増幅することができる点を指摘することは意味がある。勿論、これは、チャンネル光伝送という点で付加的な恩典と考えることができる。

当然ながら、本発明の革新的原理を応用した実施形態の以上の説明は、本明細書で請求する独占的権利の範囲内の上述の原理の非限定的な例証として与えられたものである。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】 本発明によるポンピング技術の第1の応用を示す概略図である。

【図2】 本発明によるポンピング技術の第2の応用を示す概略図である。

【図3】 本発明によるポンピング技術の第3の応用を示す概略図である。

【図4】 一般的なファイバの減衰をそのファイバを伝播する信号の波長の関数として示すグラフである。

【図5】 信号の波長に対するレイリー散乱の依存性を示すグラフである。

10

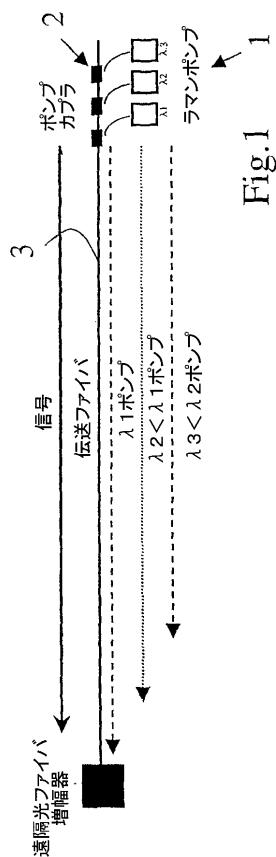
【図6】 ポンプパワー及び伝送ファイバに沿う遠隔ポンプ信号の可能な分布を示すグラフである。

【符号の説明】

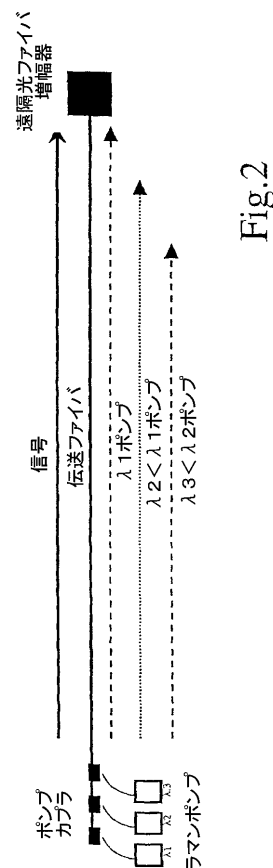
【0024】

- 1 ラマンポンプ
- 2 ポンプカプラ
- 3 光ファイバ部分

【図1】



【図2】



【図 3】

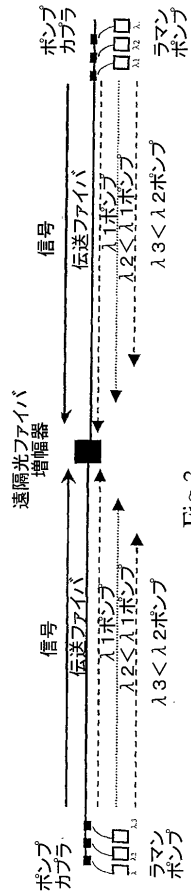


Fig.3

【図 6】

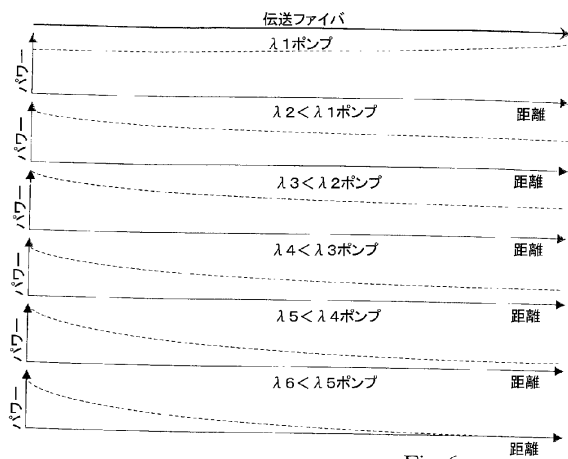


Fig.6

【図 4】

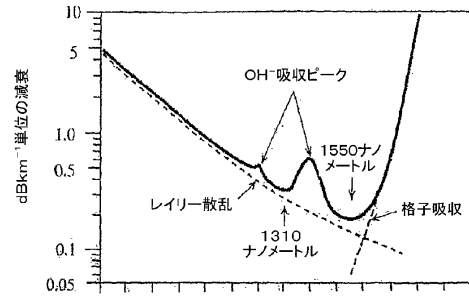


Fig.4

【図 5】

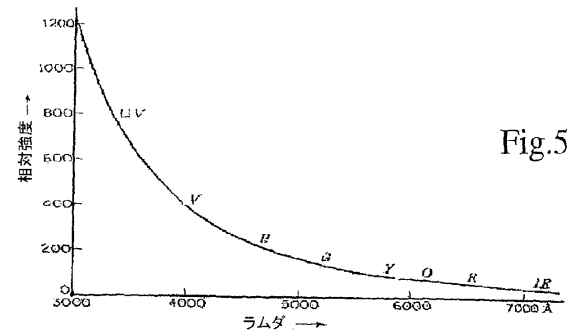


Fig.5

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 1 S 3/30 (2006.01) H 0 1 S 3/30 Z

(74)代理人 100109070
弁理士 須田 洋之

(72)発明者 フェッラ パオロ
イタリア イー03040 ヴァルヴォリ ヴィア レパブリカ 42

審査官 山村 浩

(56)参考文献 特開昭59-065828 (JP, A)
特開2000-214503 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02F 1/35
H01S 3/06
H01S 3/094
H01S 3/10
H01S 3/23
H01S 3/30