



PCT

特許協力条約に基づいて公開された国際出願

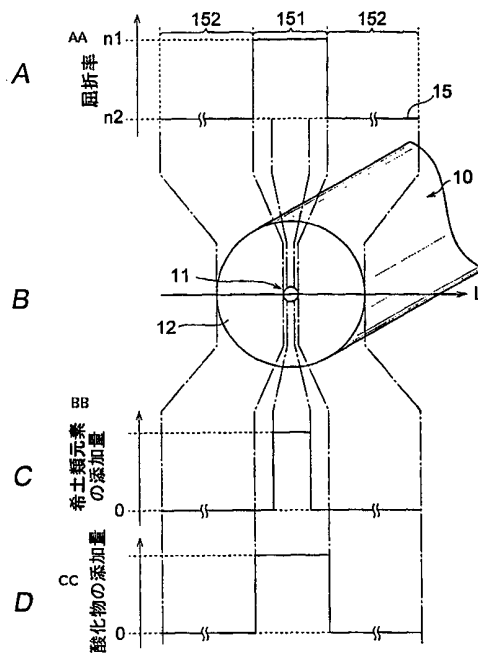
<p>(51) 国際特許分類7 H01S 3/067, G02B 6/16</p>	<p>A1</p>	<p>(11) 国際公開番号 WO00/51213</p> <p>(43) 国際公開日 2000年8月31日(31.08.00)</p>
<p>(21) 国際出願番号 PCT/JP00/01105</p> <p>(22) 国際出願日 2000年2月25日(25.02.00)</p> <p>(30) 優先権データ 特願平11/51104 1999年2月26日(26.02.99)</p> <p>(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 住友電気工業株式会社 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.)[JP/JP] 〒541-0041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 Osaka, (JP)</p> <p>(72) 発明者 ; および (75) 発明者 / 出願人 (米国についてのみ) 遠藤信次(ENDO, Shinji)[JP/JP] 石川真二(ISHIKAWA, Shinji)[JP/JP] 角井素貴(KAKUI, Motoki)[JP/JP] 鈴木俊美(SUZUKI, Toshimi)[JP/JP] 〒244-8588 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 Kanagawa, (JP)</p>	<p>(74) 代理人 弁理士 長谷川芳樹, 外(HASEGAWA, Yoshiki et al.) 〒104-0061 東京都中央区銀座二丁目6番12号 大倉本館 創英国際特許法律事務所 Tokyo, (JP)</p> <p>(81) 指定国 AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), ARIPO特許 (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM)</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p>	

(54)Title: OPTICAL FIBER FOR OPTICAL AMPLIFYING AND PRODUCTION METHOD THEREFOR

(54)発明の名称 光増幅用光ファイバ及びその製造方法

(57) Abstract

An optical fiber for optical amplifying, provided with a structure for implementing flat gain characteristics or oscillation characteristics in wider wavelength bands, and a production method therefor. The optical fiber for optical amplifying is provided with a second dope region containing an optical axis center-containing first dope region and having an outer diameter larger than that of the first dope region. At least any one of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> are added into the second dope region as oxides of elements having valences different from those of cations constituting the main materials of the above optical fiber. At least any of Er, Nd, Tm, Yb, Pr as rare earth elements, in addition to the above oxides, are added into the first dope region.



AA...REFRACTIVE INDEX  
BB...ADDITION AMOUNTS OF RARE EARTH ELEMENTS  
CC...ADDITION AMOUNTS OF OXIDES

(57)要約

この発明は、より広い波長帯域において平坦な利得特性あるいは発振特性を実現するための構造を備えた光増幅用光ファイバ及びその製造方法に関する。

この発明に係る光増幅用光ファイバは、光軸中心を含む第1ドープ領域を含み、該第1ドープ領域よりも大きい外径を有する第2ドープ領域を備える。この第2ドープ領域には、当該光増幅用光ファイバの主材料を構成する陽イオンの価数と異なる価数を有する元素の酸化物として、 $Al_2O_3$ 、 $P_2O_5$ 、 $Y_2O_3$ 、 $B_2O_3$ の少なくともいずれかが添加され、第1ドープ領域には、上記酸化物の他、希土類元素として、Er、Nd、Tm、Yb、Prの少なくともいずれかが添加されている。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE アラブ首長国連邦	DM ドミニカ	KZ カザフスタン	RU ロシア
AG アンティグア・バーブーダ	DZ アルジェリア	LC セントルシア	SD スーダン
AL アルバニア	EE エストニア	LI リヒテンシュタイン	SE スウェーデン
AM アルメニア	ES スペイン	LK スリ・ランカ	SG シンガポール
AT オーストリア	FI フィンランド	LR リベリア	SI スロヴェニア
AU オーストラリア	FR フランス	LS レソト	SK スロヴァキア
AZ アゼルバイジャン	GA ガボン	LT リトアニア	SL シエラ・レオネ
BA ボスニア・ヘルツェゴビナ	GB 英国	LU ルクセンブルグ	SN セネガル
BB バルバドス	GD グレナダ	LV ラトヴィア	SZ スワジランド
BE ベルギー	GE グルジア	MA モロッコ	TD チャード
BF ブルキナ・ファソ	GH ガーナ	MC モナコ	TG トーゴ
BG ブルガリア	GM ガンビア	MD モルドヴァ	TJ タジキスタン
BJ ベナン	GN ギニア	MG マダガスカル	TM トルクメニスタン
BR ブラジル	GR ギリシャ	MK マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TR トルコ
BY ベラルーシ	GW ギニア・ビサオ	共和国	TT トリニダード・トバゴ
CA カナダ	HR クロアチア	マリ	TZ タンザニア
CF 中央アフリカ	HU ハンガリー	ML モンゴル	UA ウクライナ
CG コンゴ	ID インドネシア	MR モーリタニア	UG ウガンダ
CH スイス	IE アイルランド	MW マラウイ	US 米国
CI コートジボアール	IL イスラエル	MX メキシコ	UZ ウズベキスタン
CM カメルーン	IN インド	MZ モザンビーク	VN ヴェトナム
CN 中国	IS アイスランド	NE ニジェール	YU ユーゴスラヴィア
CR コスタ・リカ	IT イタリア	NL オランダ	ZA 南アフリカ共和国
CU キューバ	JP 日本	NO ノールウェー	ZW ジンバブエ
CY キプロス	KE ケニア	NZ ニュー・ジーランド	
CZ チェッコ	KG キルギスタン	PL ポーランド	
DE ドイツ	KP 北朝鮮	PT ポルトガル	
DK デンマーク	KR 韓国	RO ルーマニア	

## 明細書

### 光増幅用光ファイバ及びその製造方法

#### 技術分野

- 5       この発明は、光ファイバ増幅器や光ファイバレーザ発振器などに適用可能な光増幅用光ファイバ及びその製造方法に関するものである。

#### 背景技術

- 10       光増幅用光ファイバは、コア領域中に  $E_r$  等の希土類元素が添加された光導波路である。希土類元素が添加された光ファイバ内では、該希土類元素を励起し得る波長の励起光が供給されると、反転分布が形成されるため該励起光波長に対応した波長の誘導放出が起こることが知られている。そのため、光増幅用光ファイバは、該誘導放出光の波長に一致した波長の信号光を増幅する光ファイバ増幅器や、該誘導放出光の波長に一致した波長のレーザ発振光を出力する光ファイバレーザ発振器に広く利用されている。光ファイバ増幅器や光ファイバレーザ発振器には、より広い波長帯域において高くかつ平坦な利得特性や発振特性を有することが望まれる。したがって、これら光ファイバ増幅器や光ファイバレーザ発振器などに適用される光増幅用光ファイバも、このような観点から研究開発がなされている。

- 20       例えば、特開平 1-145881 号公報には、光軸中心を含むコア領域の一部に  $E_r$  元素が添加された光増幅用光ファイバが開示されている。この第 1 従来例に係る光増幅用光ファイバは、信号光やレーザ発振光の強度分布と添加された  $E_r$  元素の分布とを互いに近似させることにより高利得化が図られている。また、特開平 5-283789 号公報には、コア領域全体に  $E_r$  元素が添加されるとともに該コア領域内に  $Al_2O_3$  が添加された光増幅用光ファイバが開示されている。このように同一領域内に  $E_r$  元素と  $Al_2O_3$  が添加された構造により、第
- 25

2 従来例に係る光増幅用光ファイバも、増幅波長帯域の広帯域化及び平坦化が図られている。

#### 発明の開示

5 発明者らは、上述のような従来技術を検討した結果、以下のような課題を発見した。すなわち、光軸中心を含むコア領域内の少なくとも一部にEr元素及びAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の双方が添加された光ファイバを採用することにより、光ファイバ増幅器等の高利得化、増幅波長帯域の広帯域化及び利得平坦化が期待できる。しかしながら、光ファイバ増幅器などに適用される光ファイバを製造する過程において、  
10 光ファイバ母材の加熱及び軟化に起因したEr元素やAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が拡散してしまうため、実際には光ファイバのコア領域の一部にのみ添加されたEr元素やAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を閉じ込めることは難しい。また、この拡散により、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含有量の少ない領域にまでEr元素が存在することとなると、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>に結合することなく主材料であるSiO<sub>2</sub>に結合するEr元素が存在する。その結果、上述のような従来  
15 の光増幅用光ファイバが適用された光ファイバ増幅器などにおける増幅波長帯域の広帯域化や利得平坦化は十分に達成できなくなる。

一方、上述のようなEr元素の拡散に起因した問題を解決するため、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の添加量を多くすると、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の結晶が形成され易くなる。そのため、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の添加量にも限界があり、必然的に光ファイバ増幅器などの増幅波長帯域の  
20 広帯域化や利得平坦化にも限界があった。

なお、光ファイバのコア領域全体に亘ってEr元素及びAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が添加された光増幅用光ファイバでは、コア領域の一部にのみEr元素及びAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が添加された光ファイバと異なり、コア領域全体を添加領域として使用することが可能であるため、該コア領域中のAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>添加量を多くすることが容易であり、上述  
25 のコア領域の一部にEr元素等が添加された光増幅用光ファイバと比較して、光ファイバ増幅器などの増幅波長帯域の広帯域化や利得平坦化が達成しやすい。し

かしながら、この場合であっても、製造過程における光ファイバ母材の加熱及び軟化の際のEr元素等の拡散は避けられず、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>に結合することなくコア領域の外部（クラッド領域）の主材料であるSiO<sub>2</sub>に結合するEr元素が存在する可能性も否定できない。したがって、コア領域全体にEr元素及びAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が共に添加された光ファイバが適用された光ファイバ増幅器などでも、やはり、増幅波長帯域の広帯域化や利得平坦化に限界があった。

この発明は、上述の課題を解決するためになされてものであり、より広い波長帯域において高くかつ平坦な利得特性や発振特性が得られる構造を備えた光増幅用光ファイバ及びその製造方法を提供することを目的としている。

この発明に係る光増幅用光ファイバは、光ファイバ増幅器や光ファイバレーザ発信器などに適用可能な光学部品であって、所定軸に沿って伸びたコア領域と、該コア領域の外周に設けられた、該コア領域よりも低い屈折率を有するクラッド領域とを備える。

特に、この発明に係る光増幅用光ファイバは、上記所定軸に沿って伸びた外径aの第1ドープ領域と、該第1ドープ領域を含む外径b (> a)の第2ドープ領域とを備える。この第1ドープ領域は、少なくとも希土類元素、例えばEr、Nd、Tm、Yb及びPrのうちいずれかが添加された当該光増幅用光ファイバ内のガラス領域である。また、第2ドープ領域は、少なくとも当該光増幅用光ファイバの主材料SiO<sub>2</sub>を構成する陽イオンの価数と異なる価数を有する元素の酸化物（以下、サブホストという）、例えばAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>及びB<sub>2</sub>O<sub>3</sub>のうちいずれかが添加された、上記第1ドープ領域を含むガラス領域である。

この場合、当該光増幅用光ファイバを製造する過程において、光ファイバ母材の加熱、軟化の際に希土類元素やAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等のサブホストが拡散したとしても、第1ドープ領域から拡散した希土類元素は、第1ドープ領域の外側に位置する第2ドープ領域の一部に存在するサブホストと結合して、増幅波長帯域の広帯域化に寄与することが可能になる。このように、拡散する希土類元素とAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等

のサブホストとが結合し易い構造を備えることにより、この発明に係る光増幅用光ファイバは、より広い波長帯域において高くかつ平坦な利得特性や発振特性を有する。

5       なお、上記第2ドープ領域に添加される $Al_2O_3$ 等のサブホストの添加量は、光軸と直交する当該光増幅用光ファイバの径方向に沿って略均一であるのが好ましい。

      この発明に係る光増幅用光ファイバにおいて、上記第2ドープ領域は上記第1ドープ領域の周囲を囲むように存在するが、これら第1及び第2ドープ領域とコア領域との関係には種々の態様がある。

10       例えば、第1ドープ領域がコア領域の一部として形成され、第2ドープ領域がコア領域と一致するように構成されてもよい。(第1実施例)この第1実施例では、第1ドープ領域の外径はコア領域の外径よりも小さいが、第2ドープ領域の外径はコア領域の外径と一致する。また、第1及び第2ドープ領域のいずれもコア領域の一部を構成してもよい(第2実施例)。この第2実施例では、第1及び  
15       第2ドープ領域ともその外径はコア領域の外径よりも小さい。第3実施例では、第1ドープ領域がコア領域を構成し、第2ドープ領域がクラッド領域の一部あるいは全体を構成する。この第3実施例の場合、第1ドープ領域の外径はコア領域の外径と一致する。さらに、第4実施例における第1及び第2ドープ領域の構造的関係は、上記第1実施例と同様であるが、当該光増幅用光ファイバにおける  
20       コア領域自体の構造が異なっている。すなわち、第1及び第2ドープ領域を構成するコア領域における各部の屈折率は必ずしも一致している必要はない。

      さらに、この発明に係る光増幅用光ファイバにおけるコア領域には、 $GeO_2$ 及びハロゲン元素の少なくともいずれかが添加される。 $GeO_2$ やハロゲン元素であるCl元素が添加されることにより、コア領域の屈折率を上昇させることができる。一方、ハロゲン元素であるF元素はクラッド領域に屈折率低下剤として  
25       利用することも可能である。このように $GeO_2$ に加えてハロゲン元素を添加す

ることにより、屈折率プロファイル設計の自由度が増す。また、同じ形状の屈折率プロファイルを得る場合であっても、GeO<sub>2</sub>添加量を相対的に少なくすることができ、伝送損失を小さくする上で好適である。

5 また、この発明に係る光増幅用光ファイバにおいて、上記第2ドープ領域の外径bに対する上記第1ドープ領域の外径aの比(a/b)は、0.1以上かつ0.9以下であることが好ましい。このように第1ドープ領域の外径よりも第2ドープ領域の外径を大きく設定しておくことにより、希土類元素と当該光増幅用光ファイバの主材料SiO<sub>2</sub>との結合が抑制され、十分な利得が得られる。

10 この発明に係る光増幅用光ファイバの製造方法では、まず、ガラスパイプの内壁に、該ガラスパイプの主材料を構成する陽イオンの価数と異なる価数を有する元素のサブホストを含む第1領域(第2ドープ領域の外側領域に相当)が形成される(第1行程)。さらに、上記第1行程により形成された第1領域の内壁に、希土類元素及び上記サブホストが添加された第2領域(第1ドープ領域及び第2ドープ領域の内側に相当)が形成される(第2行程)。以上のように形成された  
15 ガラスパイプを中実化することにより(第3行程)、光ファイバ母材が得られる。この光ファイバ母材を線引することにより(第4行程)、少なくとも希土類元素が添加された第1ドープ領域が、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等のサブホストが添加された第2ドープ領域に包含されるように構成された当該光増幅用光ファイバが得られる。ただし、上記第1及び第2行程においてそれぞれ形成された第1及び第2領域は、  
20 いずれも当該光増幅用ファイバのコア領域となるべきガラス領域を構成する。

なお、この発明に係る各実施例は、以下の詳細な説明及び添付図面によりさらに十分に理解可能となる。これら実施例は単に例示のために示されるものであって、この発明を限定するものと考えべきではない。

25 また、この発明のさらなる応用範囲は、以下の詳細な説明から明らかになる。しかしながら、詳細な説明及び特定の事例はこの発明の好適な実施例を示すものではあるが、例示のためにのみ示されているものであって、この発明の思想及び

範囲における様々な変形および改良はこの詳細な説明から当業者には自明であることは明らかである。

#### 図面の簡単な説明

5 図1A～図1Eは、この発明に係る光増幅用光ファイバにおける第1実施例の構造を示す図であり、図1Aは当該第1実施例に係る光増幅用光ファイバの屈折率プロファイル、図1Bは当該第1実施例に係る光増幅用光ファイバの断面構造を示す図、図1Cは当該第1実施例の第1ドープ領域における希土類元素の添加量を示す図、図1Dは当該第1実施例の第2ドープ領域における酸化物の添加量  
10 を示す図、図1Eは当該第1実施例に係る光増幅用光ファイバのコア領域の詳細な断面構造を示す図である。

図2A～図2Eは、この発明に係る光増幅用光ファイバにおける第2実施例の構造を示す図であり、図2Aは当該第2実施例に係る光増幅用光ファイバの屈折率プロファイル、図2Bは当該第2実施例に係る光増幅用光ファイバの断面構造  
15 を示す図、図2Cは当該第2実施例の第1ドープ領域における希土類元素の添加量を示す図、図2Dは当該第2実施例の第2ドープ領域における酸化物の添加量を示す図、図2Eは当該第2実施例に係る光増幅用光ファイバのコア領域の詳細な断面構造を示す図である。

図3A～図3Eは、この発明に係る光増幅用光ファイバにおける第3実施例の構造を示す図であり、図3Aは当該第3実施例に係る光増幅用光ファイバの屈折率プロファイル、図3Bは当該第3実施例に係る光増幅用光ファイバの断面構造  
20 を示す図、図3Cは当該第3実施例の第1ドープ領域における希土類元素の添加量を示す図、図3Dは当該第3実施例の第2ドープ領域における酸化物の添加量を示す図、図3Eは当該第3実施例に係る光増幅用光ファイバのコア領域の詳細な断面構造を示す図である。  
25

図4A～図4Eは、この発明に係る光増幅用光ファイバにおける第4実施例の

構造を示す図であり、図4Aは当該第4実施例に係る光増幅用光ファイバの屈折率プロファイル、図4Bは当該第4実施例に係る光増幅用光ファイバの断面構造を示す図、図4Cは当該第4実施例の第1ドープ領域における希土類元素の添加量を示す図、図4Dは当該第4実施例の第2ドープ領域における酸化物の添加量を示す図、図4Eは当該第4実施例に係る光増幅用光ファイバのコア領域の詳細な断面構造を示す図である。

図5A～図5Eは、この発明に係る光増幅用光ファイバの製造方法を説明するための工程図である。

図6は、この発明に係る光増幅用光ファイバのサンプル（第1実施例の構造を有する）と比較例である光増幅用光ファイバについて、第2ドープ領域に添加される $Al_2O_3$ の濃度（wt%）と $1.55\mu m$ 波長帯における帯域幅との関係を示すグラフである。

図7及び図8は、この発明に係る光増幅用光ファイバのサンプル（第1実施例の構造を有する）と比較例である複数種類の光増幅用光ファイバについて、 $1.55\mu m$ 波長帯における利得の波長依存性を示すグラフである。

図9は、この発明に係る光増幅用光ファイバのサンプル（第2実施例の構造を有する）と比較例である光増幅用光ファイバについて、 $1.55\mu m$ 波長帯における利得の波長依存性を示すグラフである。

## 20 発明を実施するための最良の形態

以下、この発明に係る光増幅用光ファイバの各実施例を、図1A～図5E及び図6～図9を用いて説明する。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。

### 第1実施例

25 図1A～図1Eは、この発明に係る光増幅用光ファイバにおける第1実施例の構造を示す図である。特に、図1Aは当該第1実施例に係る光増幅用光ファイバ

の屈折率プロファイル、図 1 B は当該第 1 実施例に係る光増幅用光ファイバの断面構造を示す図、図 1 C は当該第 1 実施例の第 1 ドープ領域における希土類元素の添加量を示す図、図 1 D は当該第 1 実施例の第 2 ドープ領域における酸化物の添加量を示す図、図 1 E は当該第 1 実施例に係る光増幅用光ファイバのコア領域

5 の詳細な断面構造を示す図である。

第 1 実施例に係る光増幅用光ファイバ 1 0 は、 $\text{SiO}_2$  を主材料とし、図 1 B に示されたように、所定軸に沿って伸びた屈折率  $n_1$  のコア領域 1 1 と、該コア領域 1 1 の外周に設けられ、該コア領域 1 1 よりも低い屈折率  $n_2$  を有するクラッド領域 1 2 を備える。コア領域 1 1 は、図 1 E に示されたように、希土類元素及び  $\text{Al}_2\text{O}_3$  などの酸化物（サブホスト）が少なくとも添加された第 1 ドープ領域を構成する内側コア 1 1 a と、該内側コア 1 1 a の外周に設けられ、該内側コア 1 1 a とともにサブホストが添加された第 2 ドープ領域を構成する外側コア 1 1 b とを備える。このようなコア構成により、図 1 C に示されたように希土類元素がコア領域 1 1 の一部に集中して添加され、図 1 D に示されたようにサブホストがコア領域 1 1 の全体に亘って添加された構造が得られる。

10

15

なお、この第 1 実施例に係る光増幅用光ファイバ 1 0 は、図 1 A に示されたように、マッチド型の屈折率プロファイル 1 5 を有する。また、コア領域 1 1 を構成する内側コア 1 1 a の屈折率と外側コア 1 1 b の屈折率は同じに設定されている。このコア領域 1 1 には  $\text{GeO}_2$ 、 $\text{Cl}$  などの屈折率増加剤が添加される。ただし、クラッド領域 1 2 には屈折率低下剤である F 元素を添加してもよい。クラッド領域 1 2 に F 元素を添加することにより、屈折率プロファイル 1 5 の形状を変更することなく、 $\text{GeO}_2$  等の添加量の低減が図れるため、伝送損失を低減する上で好ましい。

20

図 1 A の屈折率プロファイル 1 5 は、図 1 B 中の線 L 上の各部位における屈折率を示し、領域 1 5 1 はコア領域 1 1（内側コア 1 1 a 及び外側コア 1 1 b を含む）における各部位の屈折率、領域 1 5 2 はクラッド領域 1 2 における各部位の

25

屈折率を示す。

5 コア領域11の一部である内側コア11aは、第1ドープ領域として、希土類元素及びサブホストが添加されている(図1C参照)。添加される希土類元素は、Er、Nd、Tm、Yb及びPrのいずれかであり、所定波長の励起光が照射されると赤外領域の波長の蛍光を発生する。特に、希土類元素としてEr元素が添加された場合には、一般に光ファイバの伝搬損失が最も小さい波長帯域である1.55 $\mu$ m帯の蛍光が発生するので好ましい。添加されるサブホストは、当該光増幅用光ファイバ10の主材料SiO<sub>2</sub>を構成する陽イオンの価数4と異なる価数を有する元素の酸化物であり、例えば、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>及びB<sub>2</sub>O<sub>3</sub>である。

10 コア領域11の一部を構成する外側コア11bには、サブホストのみが添加されている。また、サブホストの添加量は、図1Dに示されたように、当該光増幅用光ファイバ10の光軸と直交する径方向に略均一であるのが好ましい。

15 以上のように、この第1実施例に係る光増幅用光ファイバ10は、光軸中心を含む第1ドープ領域(内側コア11aに相当)に希土類元素及びサブホストが添加され、該第1ドープ領域を含み該第1ドープ領域よりも大きな外径を有する第2ドープ領域(内側コア11a及び外側コア11bにより規定されるガラス領域に相当)にサブホストが添加されている。したがって、光増幅用光ファイバ10を製造する過程において、光ファイバ母材の加熱、軟化の際に第1ドープ領域の希土類元素やサブホストが拡散したとしても、該希土類元素は、第2ドープ領域内のサブホストと結合する。その結果、この第1実施例に係る光増幅用光ファイバ10は、より広い波長帯域において高くかつ平坦な利得特性や発振特性を有する。

25 なお、以上のような効果を十分得るためには、上記第1ドープ領域の外径をaとし、第2ドープ領域の外径をbとするとき、 $0.1 \leq a/b \leq 0.9$ であるのが好ましい。すなわち、十分な利得を得るためには、 $0.1 \leq a/b$ であること

が必要である一方、希土類元素と主材料  $\text{SiO}_2$  との結合を防止するためには、 $a/b \leq 0.9$  である必要がある。

### 第2実施例

5 図2A～図2Eは、この発明に係る光増幅用光ファイバにおける第2実施例の構造を示す図である。特に、図2Aは当該第2実施例に係る光増幅用光ファイバの屈折率プロファイル、図2Bは当該第2実施例に係る光増幅用光ファイバの断面構造を示す図、図2Cは当該第2実施例の第1ドープ領域における希土類元素の添加量を示す図、図2Dは当該第2実施例の第1及び第2ドープ領域における酸化物の添加量を示す図、図2Eは当該第2実施例に係る光増幅用光ファイバの  
10 コア領域の詳細な断面構造を示す図である。

第2実施例に係る光増幅用光ファイバ20は、 $\text{SiO}_2$  を主材料とし、図2Bに示されたように、所定軸に沿って伸びた屈折率  $n_1$  のコア領域21と、該コア領域21の外周に設けられ、該コア領域21よりも低い屈折率  $n_2$  を有するクラッド領域22を備える。コア領域21は、図2Eに示されたように、希土類元素及び  $\text{Al}_2\text{O}_3$  などの酸化物（サブホスト）が少なくとも添加された第1ドープ領域を構成する内側コア21aと、該内側コア21aの外周に設けられ、サブホストのみが添加された第2ドープ領域の一部を構成する中間コア21bと、該中間コア21bの外周に設けられた希土類元素やサブホストを含まない外側コア21cとを備える。このようなコア構成により、コア領域21の一部として、図2  
15 Cに示されたように希土類元素がコア領域21の一部に集中して添加され、図2Dに示されたようにサブホストもコア領域21の一部に集中して添加された構造が得られる。

なお、この第2実施例に係る光増幅用光ファイバ20は、図2Aに示されたように、マッチド型の屈折率プロファイル25を有する。また、コア領域21を構成する内側コア21aの屈折率、中間コア21bの屈折率及び外側コア21cの  
25 屈折率は同じに設定されている。このコア領域21には  $\text{GeO}_2$ 、Clなどの屈

折率増加剤が添加される。ただし、クラッド領域 2 2 には屈折率低下剤である F 元素を添加してもよい。クラッド領域 2 2 に F 元素を添加することにより、屈折率プロファイル 2 5 の形状を変更することなく、GeO<sub>2</sub>等の添加量の低減が図れるため、伝送損失を低減する上で好ましい。

- 5 図 2 A の屈折率プロファイル 2 5 は、図 2 B 中の線 L 上の各部位における屈折率を示し、領域 2 5 1 はコア領域 2 1 (内側コア 2 1 a、中間コア 2 1 b 及び外側コア 2 1 c を含む) における各部位の屈折率、領域 2 5 2 はクラッド領域 2 2 における各部位の屈折率を示す。

10 コア領域 2 1 の一部である内側コア 2 1 a は、第 1 ドープ領域として、希土類元素及びサブホストが添加されている (図 2 C 参照)。添加される希土類元素は、Er、Nd、Tm、Yb 及び Pr のいずれかであり、所定波長の励起光が照射されると赤外領域の波長の蛍光を発生する。特に、希土類元素として Er 元素が添加された場合には、一般に光ファイバの伝搬損失が最も小さい波長帯域である 1.55 μm 帯の蛍光が発生するので好ましい。添加されるサブホストは、当該光増幅用光ファイバ 2 0 の主材料 SiO<sub>2</sub> を構成する陽イオンの価数 4 と異なる価数を有する元素の酸化物であり、例えば、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 及び B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> である。

15 コア領域 2 1 の一部を構成する中間コア 2 1 b には、第 2 ドープ領域の一部として、サブホストのみが添加されている。また、サブホストの添加量は、図 2 D に示されたように、当該光増幅用光ファイバ 2 0 の光軸と直交する径方向に略均一であるのが好ましい。

20 以上のように、この第 2 実施例に係る光増幅用光ファイバ 2 0 は、光軸中心を含む第 1 ドープ領域 (内側コア 2 1 a に相当) に希土類元素お酔いサブホストが添加され、該第 2 ドープ領域 (中間コア 2 1 b により規定されるガラス領域に相当) にサブホストのみが添加されている。したがって、光増幅用光ファイバ 2 0 を製造する過程において、光ファイバ母材の加熱、軟化の際に希土類元素やサブ

ホストが拡散したとしても、該希土類元素は、第2ドープ領域内のサブホストと結合する。その結果、この第2実施例に係る光増幅用光ファイバ20は、より広い波長帯域において高くかつ平坦な利得特性や発振特性を有する。

5       なお、以上のような効果を十分得るためには、上記第1ドープ領域の外径をaとし、中心から第2ドープ領域の外径をbとすると、 $0.1 \leq a/b \leq 0.9$ であるのが好ましい。すなわち、十分な利得を得るためには、 $0.1 \leq a/b$ であることが必要である一方、希土類元素と主材料SiO<sub>2</sub>との結合を防止するためには、 $a/b \leq 0.9$ である必要がある。

### 第3実施例

10       図3A～図3Eは、この発明に係る光増幅用光ファイバにおける第3実施例の構造を示す図である。特に、図3Aは当該第3実施例に係る光増幅用光ファイバの屈折率プロファイル、図3Bは当該第3実施例に係る光増幅用光ファイバの断面構造を示す図、図3Cは当該第3実施例の第1ドープ領域における希土類元素の添加量を示す図、図3Dは当該第3実施例の第2ドープ領域における酸化物の  
15       添加量を示す図、図3Eは当該第3実施例に係る光増幅用光ファイバのコア領域の詳細な断面構造を示す図である。

      第3実施例に係る光増幅用光ファイバ30は、SiO<sub>2</sub>を主材料とし、図3Bに示されたように、所定軸に沿って伸びた屈折率n<sub>1</sub>のコア領域31と、該コア領域31の外周に設けられ、該コア領域31よりも低い屈折率n<sub>2</sub>を有するクラッド領域32を備える。コア領域31は、図3Eに示されたように、希土類元素及びAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>などの酸化物（サブホスト）が少なくとも添加された第1ドープ領域を構成する。また、コア領域31及びクラッド領域32の全域（コア領域31に隣接する該クラッド領域32の一部であってもよい）により規定されるの  
20       全域にはサブホストが添加され、第2ドープ領域を構成する。

25       なお、この第3実施例に係る光増幅用光ファイバ30も、図3Aに示されたように、マッチド型の屈折率プロファイル35を有する。コア領域31にはGeO

2、Clなどの屈折率増加剤が添加される。ただし、クラッド領域32には屈折率低下剤であるF元素を添加してもよい。クラッド領域32にF元素を添加することにより、屈折率プロファイル35の形状を変更することなく、GeO<sub>2</sub>等の添加量の低減が図れるため、伝送損失を低減する上で好ましい。

5 図3Aの屈折率プロファイル35は、図3B中の線L上の各部位における屈折率を示し、領域351はコア領域31における各部位の屈折率、領域352はクラッド領域32における各部位の屈折率を示す。

コア領域31は、第1ドープ領域として、希土類元素及びサブホストの双方が添加されている(図3C参照)。添加される希土類元素は、Er、Nd、Tm、  
10 Yb及びPrのいずれかであり、所定波長の励起光が照射されると赤外領域の波長の蛍光を発生する。特に、希土類元素としてEr元素が添加された場合には、一般に光ファイバの伝搬損失が最も小さい波長帯域である1.55μm帯の蛍光が発生するので好ましい。添加されるサブホストは、当該光増幅用光ファイバ30の主材料SiO<sub>2</sub>を構成する陽イオンの価数4と異なる価数を有する元素の酸  
15 化物であり、例えば、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>及びB<sub>2</sub>O<sub>3</sub>である。

クラッド領域32には、サブホストが添加されている。また、サブホストの添加量は、図3Dに示されたように、当該光増幅用光ファイバ30の光軸と直交する径方向に略均一であるのが好ましい。

以上のように、この第3実施例に係る光増幅用光ファイバ30は、光軸中心を含む第1ドープ領域(コア領域31の全域に相当)に希土類元素及びサブホストが添加され、該第1ドープ領域を含み該第1ドープ領域よりも大きな外径を有する第2ドープ領域(クラッド領域32により規定されるガラス領域に相当)にサブホストが添加されている。したがって、光増幅用光ファイバ30を製造する過程において、光ファイバ母材の加熱、軟化の際に希土類元素やサブホストが拡散  
20 したとしても、該希土類元素は、サブホストが存在する第2ドープ領域内のサブホストと結合する。その結果、この第3実施例に係る光増幅用光ファイバ30は、

より広い波長帯域において高くかつ平坦な利得特性や発振特性を有する。

5       なお、以上のような効果を十分得るためには、上記第1ドープ領域の外径を  $a$  とし、第2ドープ領域の外径を  $b$  とするとき、 $0.1 \leq a/b \leq 0.9$  であるのが好ましい。すなわち、十分な利得を得るためには、 $0.1 \leq a/b$  であることが必要である一方、希土類元素と主材料  $\text{SiO}_2$  との結合を防止するためには、  
10        $a/b \leq 0.9$  である必要がある。

#### 第4実施例

10       図4A～図4Eは、この発明に係る光増幅用光ファイバにおける第4実施例の構造を示す図である。特に、図4Aは当該第4実施例に係る光増幅用光ファイバの屈折率プロファイル、図4Bは当該第4実施例に係る光増幅用光ファイバの断面構造を示す図、図4Cは当該第4実施例の第1ドープ領域における希土類元素の添加量を示す図、図4Dは当該第4実施例の第2ドープ領域における酸化物の添加量を示す図、図4Eは当該第4実施例に係る光増幅用光ファイバのコア領域の詳細な断面構造を示す図である。

15       第4実施例に係る光増幅用光ファイバ40は、 $\text{SiO}_2$  を主材料とし、図4Bに示されたように、所定軸に沿って伸びたコア領域41と、該コア領域41の外周に設けられ、該コア領域41よりも低い屈折率  $n_2$  を有するクラッド領域42を備える。なお、コア領域41は、屈折率  $n_1$  の内側コア41aと、該内側コア41aの外周に設けられかつ該内側コア41aよりも低い屈折率  $n_3$  を有する外側コア41bとを備える。コア領域41において、内側コア41aは、図4Eに示されたように、希土類元素及び  $\text{Al}_2\text{O}_3$  などの酸化物（サブホスト）が少なくとも添加された第1ドープ領域を構成する。外側コア41bにはサブホストが  
20       添加され、第2ドープ領域を構成する。

25       なお、この第4実施例に係る光増幅用光ファイバ40も、図4Aに示されたように、マッチド型の屈折率プロファイル45を有する。コア領域41には  $\text{GeO}_2$ 、 $\text{Cl}$  などの屈折率増加剤が添加されているが、第1ドープ領域を構成する内

側コア 4 1 a の屈折率  $n_1$  は、外側コア 4 1 b の屈折率  $n_3$  よりも高くなるよう設定されている。ただし、クラッド領域 4 2 には屈折率低下剤である F 元素を添加してもよい。クラッド領域 4 2 に F 元素を添加することにより、屈折率プロファイル 4 5 の形状を変更することなく、 $GeO_2$  等の添加量の低減が図れるため、  
5 伝送損失を低減する上で好ましい。

図 4 A の屈折率プロファイル 4 5 は、図 4 B 中の線 L 上の各部位における屈折率を示し、領域 4 5 1 はコア領域 4 1 の内側コア 4 1 a における各部位の屈折率、領域 4 5 2 はコア領域 4 1 の外側コア 4 1 b における各部位の屈折率、領域 4 5 3 はクラッド領域 4 2 における各部位の屈折率を示す。

10 コア領域 4 1 のうち内側コア 4 1 a は、第 1 ドープ領域として、希土類元素及びサブホストが添加されている (図 4 C 参照)。添加される希土類元素は、Er、Nd、Tm、Yb 及び Pr のいずれかであり、所定波長の励起光が照射されると赤外領域の波長の蛍光を発生する。特に、希土類元素として Er 元素が添加された場合には、一般に光ファイバの伝搬損失が最も小さい波長帯域である 1.55  
15  $\mu m$  帯の蛍光が発生するので好ましい。添加されるサブホストは、当該光増幅用光ファイバ 4 0 の主材料  $SiO_2$  を構成する陽イオンの価数 4 と異なる価数を有する元素の酸化物であり、例えば、 $Al_2O_3$ 、 $P_2O_5$ 、 $Y_2O_3$  及び  $B_2O_3$  である。

コア領域 4 1 における外側コア 4 1 b には、サブホストが添加されている。また、サブホストの添加量は、図 4 D に示されたように、当該光増幅用光ファイバ 4 0 の光軸と直交する径方向に略均一であるのが好ましい。  
20

以上のように、この第 4 実施例に係る光増幅用光ファイバ 4 0 は、光軸中心を含む第 1 ドープ領域 (内側コア 4 1 a に相当) に希土類元素が添加され、該第 1 ドープ領域を含み該第 1 ドープ領域よりも大きな外径を有する第 2 ドープ領域 (内側コア 4 1 a 及び外側コア 4 1 b からなるコア領域 4 1 の全域に相当) にサブホストが添加されている。したがって、光増幅用光ファイバ 4 0 を製造する過程において、光ファイバ母材の加熱、軟化の際に希土類元素やサブホストが拡散  
25

したとしても、該希土類元素は、サブホストが存在する第2ドープ領域内に存在するため、サブホストと結合する確率が大幅に改善される。その結果、この第4実施例に係る光増幅用光ファイバ40も、より広い波長帯域において高くかつ平坦な利得特性や発振特性を有する。

5       なお、以上のような効果を十分得るためには、上記第1ドープ領域の外径をaとし、第2ドープ領域の外径をbとするとき、 $0.1 \leq a/b \leq 0.9$ であるのが好ましい。すなわち、十分な利得を得るためには、 $0.1 \leq a/b$ であることが必要である一方、希土類元素と主材料 $SiO_2$ との結合を防止するためには、 $a/b \leq 0.9$ である必要がある。

10       次に、この発明に係る光増幅用光ファイバの各実施例について、従来の光増幅用光ファイバとを比較した結果について説明する。

      まず、用意されたサンプルは、図1A～図1Eに示された構造を備える第1実施例に係る光増幅用光ファイバ10である。この光増幅用光ファイバ10では、 $SiO_2$ を主材料としており、コア領域11には $GeO_2$ が添加されている。また、  
15       コア領域11のうち第1ドープ領域を構成する内側コア11aには希土類元素（Er元素）が添加され、第2ドープ領域を構成する内側コア11a及び外側コア11bにはサブホスト（ $Al_2O_3$ ）が添加されている。

      以上のような構造を有するサンプルは、MCVD法及び液浸法を組み合わせ製造された。

20       まず、主材料として $SiO_2$ からなるガラスパイプ100（当該光増幅用光ファイバ10のクラッド領域12の一部となるべき部材）が用意される。このガラスパイプ100には貫通孔101が設けられている（図5A参照）。この貫通孔101を規定するガラスパイプ100の内壁に、 $SiCl_4$ 、 $GeCl_4$ 及び $O_2$ の混合ガスを原料とし加熱酸化により多孔質体が堆積される。その後、このガラスパイプ100をアルミニウムイオンの溶液に浸すことにより堆積された多孔質  
25       体内にAlを添加し、これを酸化加熱して透明化した。以上の工程により形成さ

れた層 1 1 0 は、当該光増幅用光ファイバ 1 0 のうち  $\text{GeO}_2$  及びサブホスト ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) が添加された外側コア 1 1 b となるべき層である (図 5 B 参照)。

5 続いて、上記工程により形成された層 1 1 0 の内壁に、層 1 1 0 と同様の製造方法により多孔質体を堆積させる。その後、このガラスパイプ 1 0 0 もエルビウム及びアルミニウムの溶液に浸して堆積された多孔質体に  $\text{Er}$  元素及び  $\text{Al}_2\text{O}_3$  を添加し、これを加熱して透明化した。この工程により形成された層 1 2 0 は、当該光増幅用光ファイバ 1 0 のうち  $\text{GeO}_2$ 、希土類元素 ( $\text{Er}$ ) 及びサブホスト ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) が添加された内側コア 1 1 a となるべき層である (図 5 C 参照)。

10 以上の工程を経てコア領域 1 1 を構成すべき層 1 1 0、1 2 0 が形成されたガラスパイプ 1 0 0 をコラプス (中実化) することにより、コアロッド 2 0 0 を得る (図 5 D 参照)。とし、このコアロッド 2 0 0 の外周にジャケット層 (クラッド領域 1 2 の外側部に相当する光の伝搬には寄与しない領域) となるべき層 2 5 0 をさらに設けることにより光ファイバ母材 3 0 0 を得る。そして、この光ファイバ母材 3 0 0 を線引しながらローラ 1 5 0 に巻き取ることにより、第 1 実施例に係る光増幅用光ファイバ 1 0 のサンプルが得られる (図 5 E 参照)。

20 図 6 は、以上の工程を経て得られたサンプル (第 1 実施例の構造を有する) と比較例である光増幅用光ファイバについて、第 2 ドープ領域に添加される  $\text{Al}_2\text{O}_3$  の濃度 (wt %) と  $1.55 \mu\text{m}$  波長帯における帯域幅との関係を示すグラフである。なお、図 6 のグラフに示された比較例 1 は、コア領域の一部に  $\text{Er}$  元素と  $\text{Al}_2\text{O}_3$  が共に添加された構造を備える。

25 さらに、図 7 は、上述の工程を経て得られたサンプル (第 1 実施例の構造を有する) と比較例である複数種類の光増幅用光ファイバについて、 $1.55 \mu\text{m}$  波長帯における利得の波長依存性を示すグラフである。なお、図 7 のグラフに示された比較例 1 は、コア領域の一部に  $\text{Er}$  元素と  $\text{Al}_2\text{O}_3$  が共に添加された構造を備え、比較例 2 は、コア領域の全体に  $\text{Er}$  元素と  $\text{Al}_2\text{O}_3$  が添加された構造を備える。また、図 8 は、図 7 に示されたグラフのうち波長帯域の一部が拡大し

て示されたグラフである。なお、図7及び図8に示された光増幅用光ファイバに添加されたErの添加量は、1000wtppm(0.01wt%)である。

図6のグラフから、第1実施例に係るサンプルの場合、利得が35dB以上であって利得偏差が1dB以下となる波長帯域の波長幅が18nm以上であることが分かる。このように、第1実施例に係るサンプルは、比較例1の光増幅用光ファイバの波長帯域幅12nmと比べて広く、比較例2の光増幅用光ファイバにおける波長帯域幅14nmと比べても広いことが分かる。

さらに、発明者らは、第2実施例(図2A~図2E)に係る光増幅用光ファイバ20のサンプルについても製造した。

10 この第2実施例に係るサンプルは、SiO<sub>2</sub>を主材料とし、希土類元素(Er元素)が内側コア21aに添加され、サブホスト(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)が内側コア21a及び中間コア21bに添加され、GeO<sub>2</sub>が内側コア21a、中間コア21b及び外側コア21cに略均一に添加されている。

15 このサンプルも、MCVD法及び液浸法を組み合わせ製造された(図5A~図5E参照)。

まず、このサンプルの場合も、SiO<sub>2</sub>からなるガラスパイプ100(当該光増幅用光ファイバ20のクラッド領域22の一部に相当)を用意する(図5A参照)。そして、貫通孔101を規定するガラスパイプ100の内壁に、SiCl<sub>4</sub>、GeCl<sub>4</sub>及びO<sub>2</sub>の混合ガスを原料として加熱酸化により多孔質体を堆積させたのち、これを加熱して透明化した。これにより、ガラスパイプ100の貫通孔101内壁に当該光増幅用光ファイバ20の外側コア21cとなるべき層(GeO<sub>2</sub>を含む)が形成される。なお、以下のコア領域21を構成する中間コア21b(GeO<sub>2</sub>及びAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を含む)、内側コア21a(GeO<sub>2</sub>、Er元素及びAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を含む)の製造工程は、図5B~図5Dで説明した通りである。また、このサンプルの製造においてもコアロッド200の外周に当該光増幅用光ファイバ20のジャケット層(クラッド領域22の光の伝搬に寄与しない外周領域)とな

20

25

る層250を形成することにより光ファイバ母材300を得、この光ファイバ母材300を線引してローラ150に巻き取ることにより第2実施例に係るサンプルが得られる(図5E参照)。

5 図9は、上述の工程を経て得られたサンプル(第2実施例の構造を有する)と比較例である光増幅用光ファイバについて、 $1.55\mu\text{m}$ 波長帯における利得の波長依存性を示すグラフである。なお、図9のグラフ中、比較例1は、コア領域の一部にEr元素と $\text{Al}_2\text{O}_3$ が共に添加された光増幅用光ファイバである。また、第2実施例に係るサンプル、比較例1のいずれも、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 濃度を变化させて波長範囲 $1.54\mu\text{m}\sim 1.56\mu\text{m}$ における利得偏差が最も小さくなるように反転分布が調整され、波長 $1.55\mu\text{m}$ における利得が30dBとなるように設計されている。このサンプルの場合、利得が $30\pm 0.5\text{dB}$ の範囲となる光増幅波長帯域の帯域幅を求めると、20nm程度であった。これは、比較例1の光増幅用光ファイバにおけるものと比較して広い。

## 15 産業上の利用可能性

以上のようにこの発明によれば、希土類元素及びサブホストが添加された第1ドープ領域の外径よりも、当該光増幅用光ファイバの主材料を構成する陽イオンの価数と異なる価数を有する元素の酸化物(サブホスト)が添加された第2ドープ領域の外径が大きくなるよう設計されている。すなわち、当該光増幅用光ファイバを製造する過程において光ファイバ母材の加熱及び軟化の際、第1ドープ領域内の希土類元素が拡散したとしても、第2ドープ領域内のサブホストと結合することが可能になる。その結果、より広い波長帯域に亘って平坦な利得特性あるいは発振特性を有する光増幅用光ファイバが得られる。

## 請求の範囲

1. 所定軸に沿って伸びたコア領域と、該コア領域の外周に設けられかつ該  
5 コア領域よりも低い屈折率を有するクラッド領域とを備えた光増幅用光ファイバ  
であって、
- 希土類元素が実質的に添加された領域でありかつ前記所定軸を含む外径  $a$  の領  
域である第1ドープ領域が、酸化物が添加された領域でありかつ外径  $b$  ( $> a$ )  
の第2ドープ領域内に存在する光増幅用光ファイバ。
2. 前記第1ドープ領域は、前記コア領域の一部を構成するとともに、前記  
10 第2ドープ領域は、前記コア領域の全体を構成していることを特徴とする請求項  
1記載の光増幅用光ファイバ。
3. 前記第1ドープ領域は、前記コア領域の全体を構成するとともに、前記  
第2ドープ領域は、前記コア領域及び前記クラッド領域の少なくとも一部を構成  
することを特徴とする請求項1記載の光増幅用光ファイバ。
- 15 4. 前記コア領域は、前記第1ドープ領域を構成する第1コアと、  
前記第1コアの外周に設けられかつ該第1コアよりも低い屈折率を有する領域  
であって、前記第2ドープ領域の一部を構成する第2コアとを備えたことを特徴  
とする請求項1記載の光増幅用光ファイバ。
- 20 5. 前記第2ドープ領域の外径  $b$  に対する前記第1ドープ領域の外径  $a$  の比  
( $a/b$ ) は、 $0.1$ 以上かつ $0.9$ 以下であることを特徴とする請求項1記載  
の光増幅用光ファイバ。
6. 前記第2ドープ領域における前記酸化物の添加量は、前記所定軸と直交  
する該第2ドープ領域の径方向に沿って略均一であることを特徴とする請求項1  
記載の光増幅用光ファイバ。
- 25 7. 前記第1ドープ領域に添加される希土類元素は、Er、Nd、Tm、Y  
b及びPrの少なくともいずれかを含むことを特徴とする請求項1記載の光増幅

用光ファイバ。

8. 当該光増幅用光ファイバの主材料を構成する陽イオンの価数と異なる価数を有する元素の酸化物は、 $Al_2O_3$ 、 $P_2O_5$ 、 $Y_2O_3$ 及び $B_2O_3$ の少なくともいずれかを含むことを特徴とする請求項1記載の光増幅用光ファイバ。

5 9. 前記コア領域には、 $GeO_2$ 及びハロゲン元素の少なくともいずれかが添加されていることを特徴とする請求項1記載の光増幅用光ファイバ。

10、 請求項1記載の光増幅用光ファイバを製造するための方法であって、ガラスパイプの内壁側に、該ガラスパイプの主材料を構成する陽イオンの価数と異なる価数を有する元素の酸化物を含む第1領域を形成する第1行程と、

10 前記第1行程により形成された第1領域の内壁に、希土類元素及び前記酸化物が添加された第2領域を形成する第2工程と、

前記第2行程を経て得られたガラスパイプを中実化することにより光ファイバ母材を形成する第3工程と、

15 前記第3工程により得られた前記光ファイバ母材を線引する第4工程とを備えた光増幅用光ファイバの製造方法。

11. 前記第1及び第2行程においてそれぞれ形成された第1及び第2領域は、いずれも当該光増幅用ファイバのコア領域となるべき領域であることを特徴とする請求項10記載の光増幅用光ファイバの製造方法。

図1A

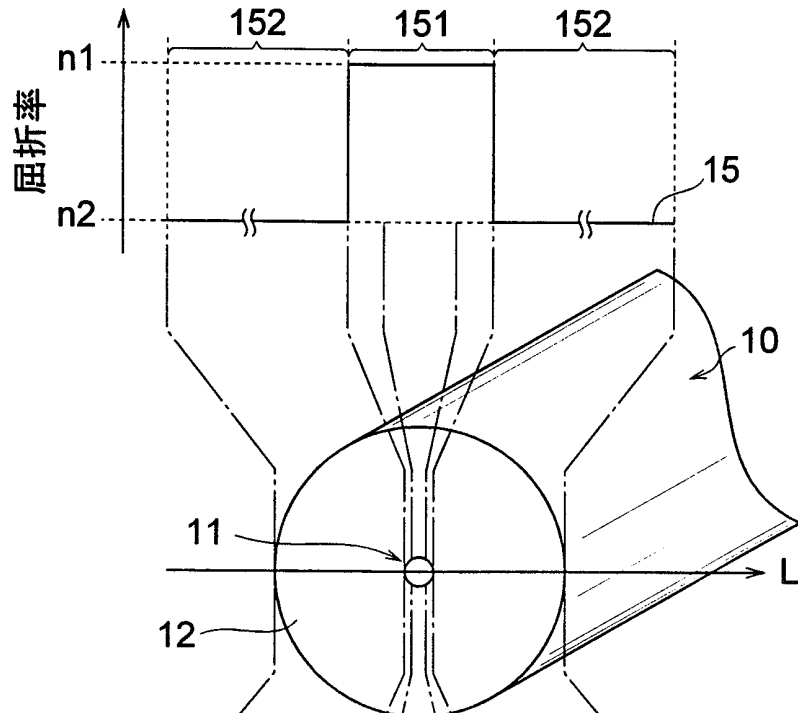


図1B

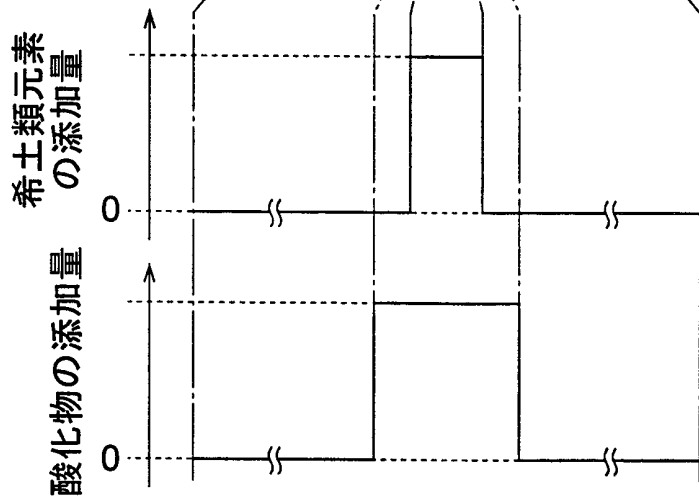


図1C

図1D

図1E

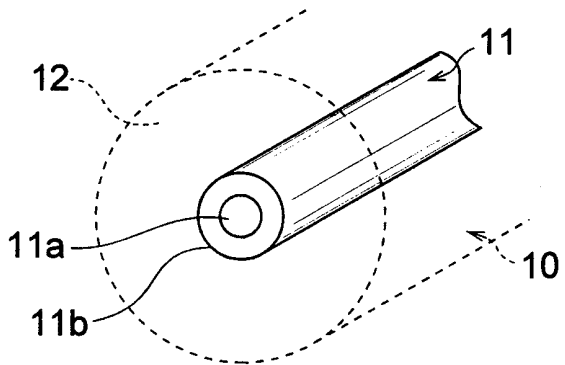


図2A

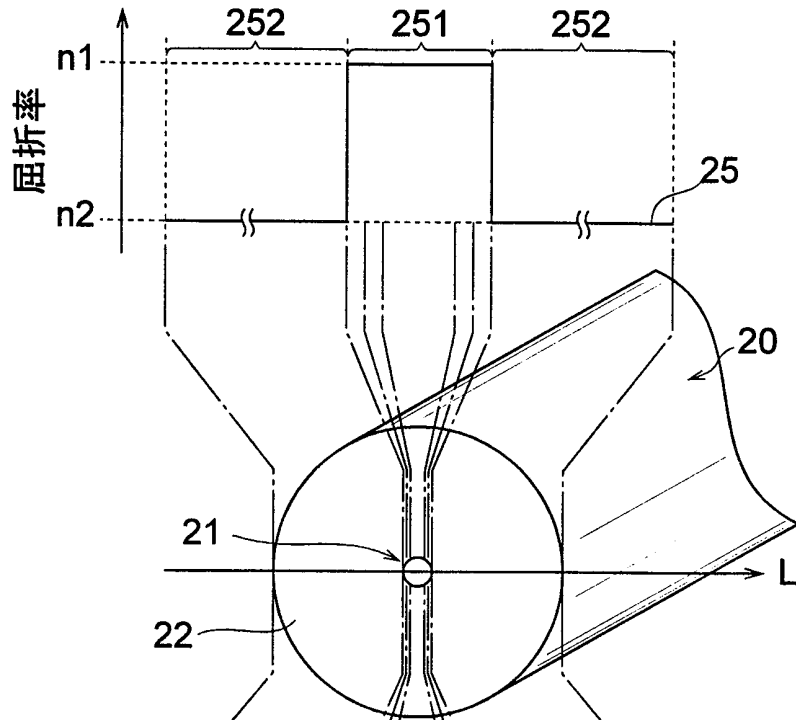


図2B

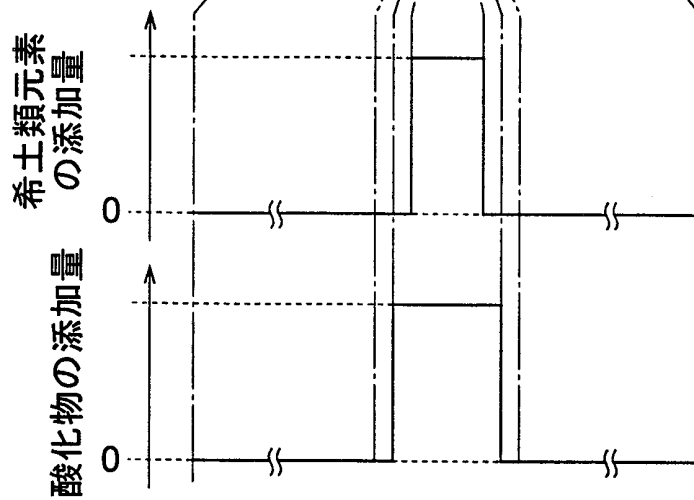


図2C

図2D

図2E

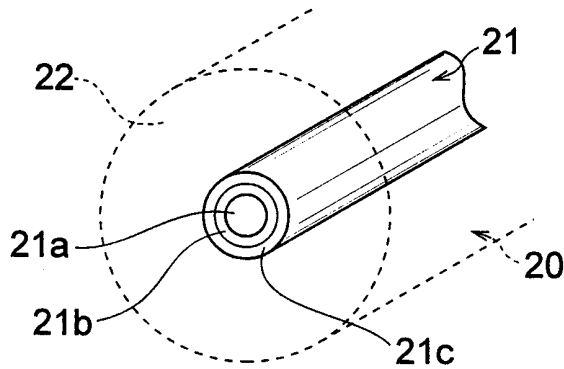


図3A

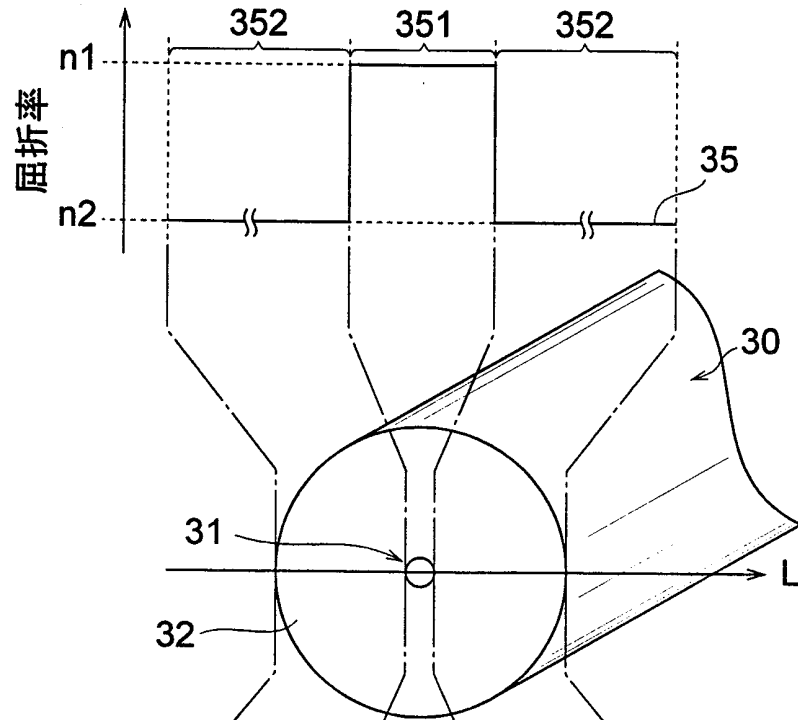


図3B

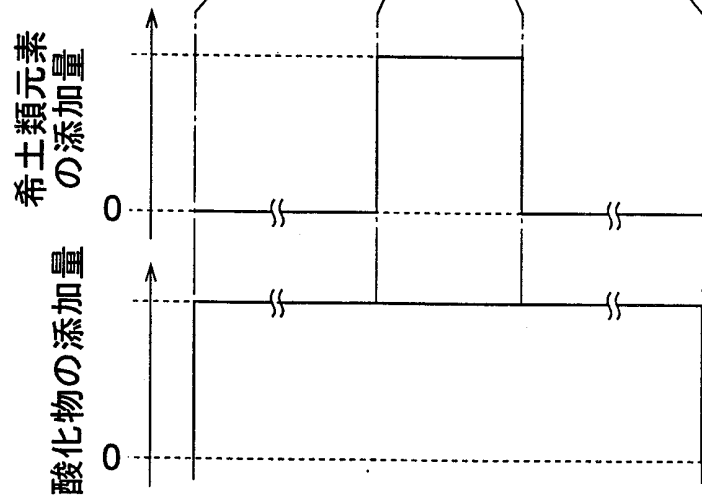


図3C

図3D

図3E

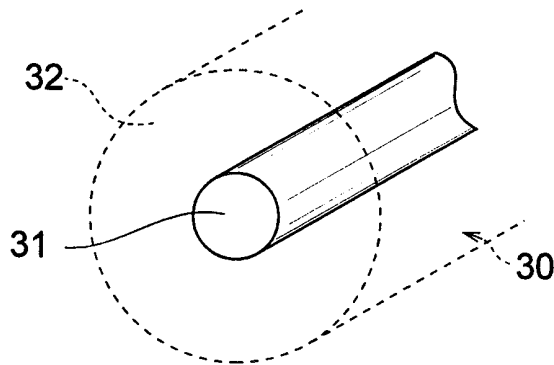


図4A

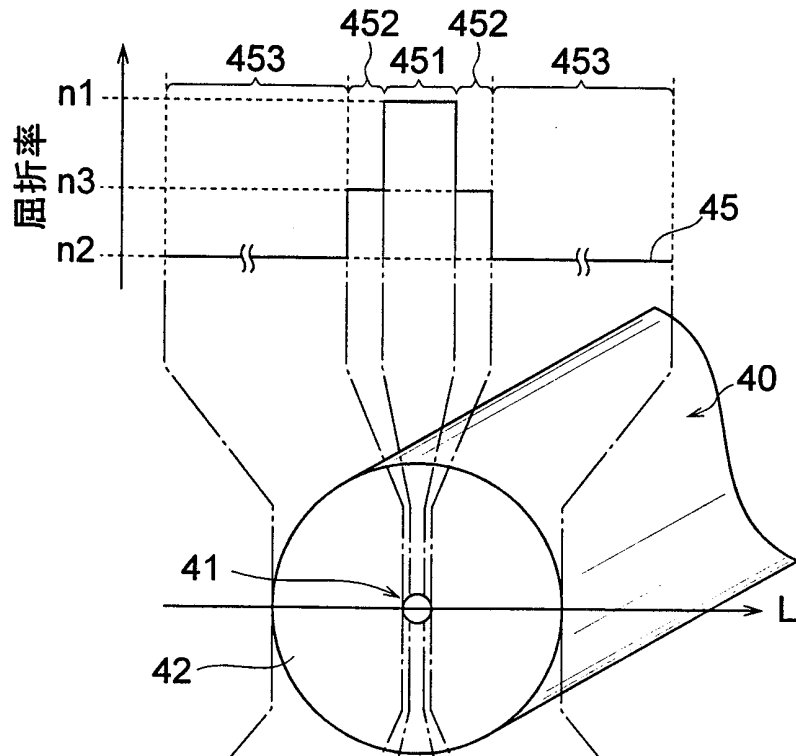


図4B

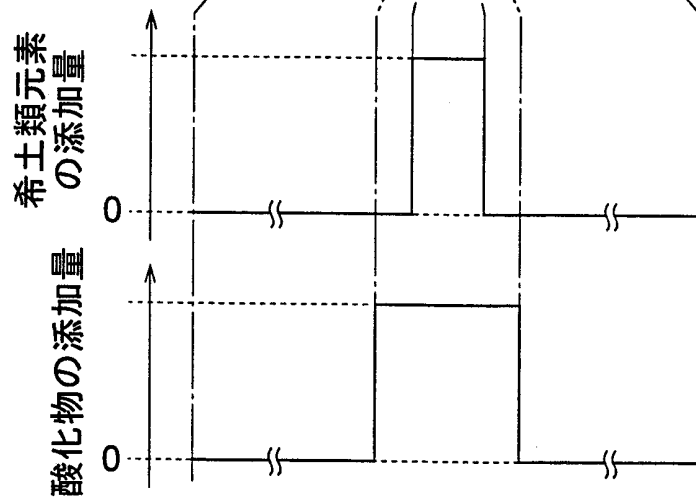
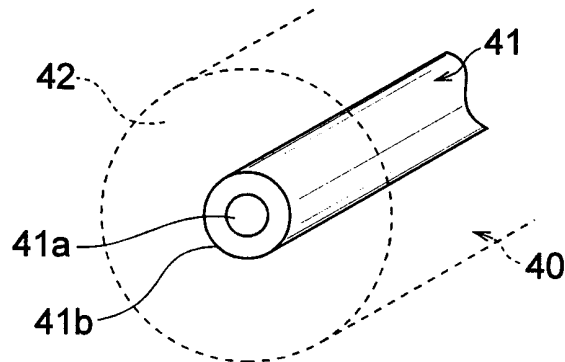
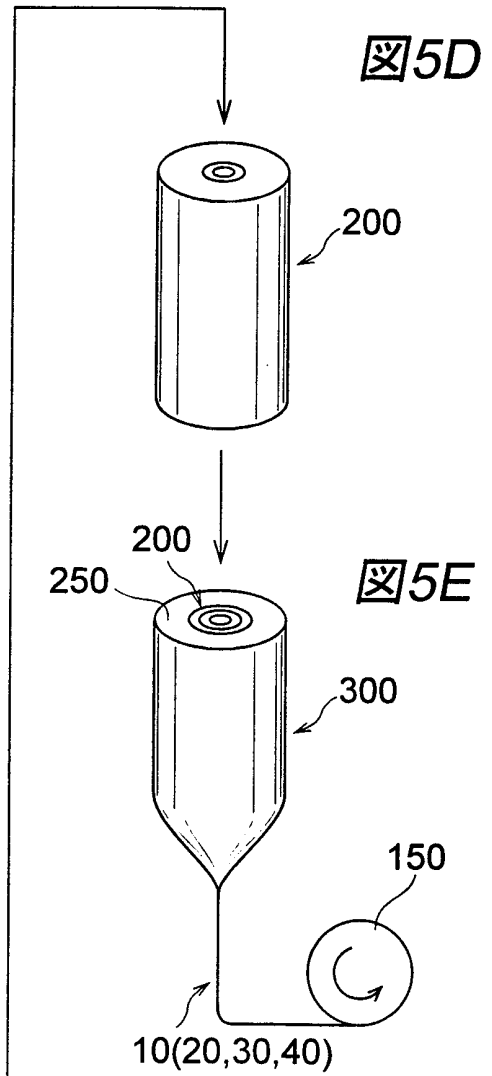
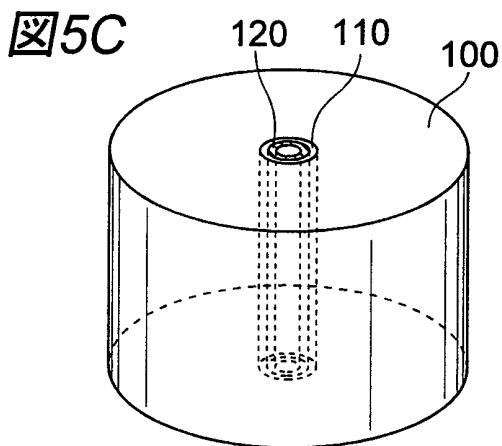
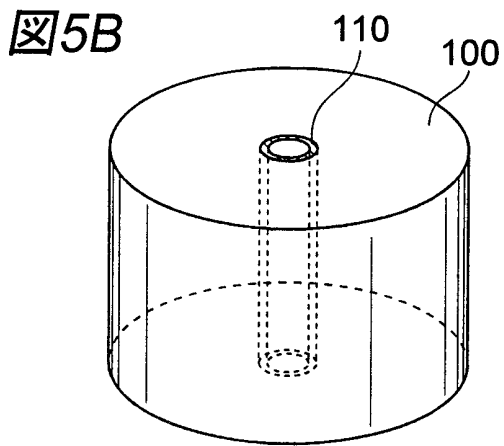
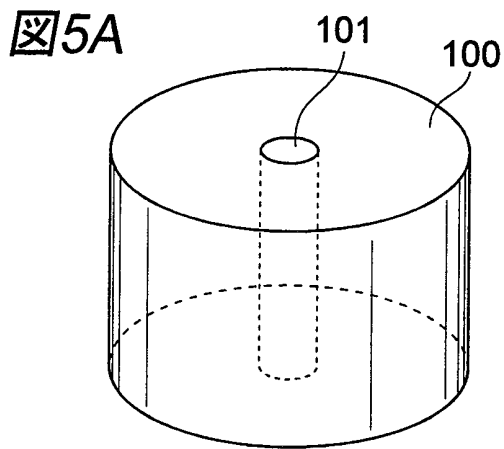


図4C

図4D

図4E





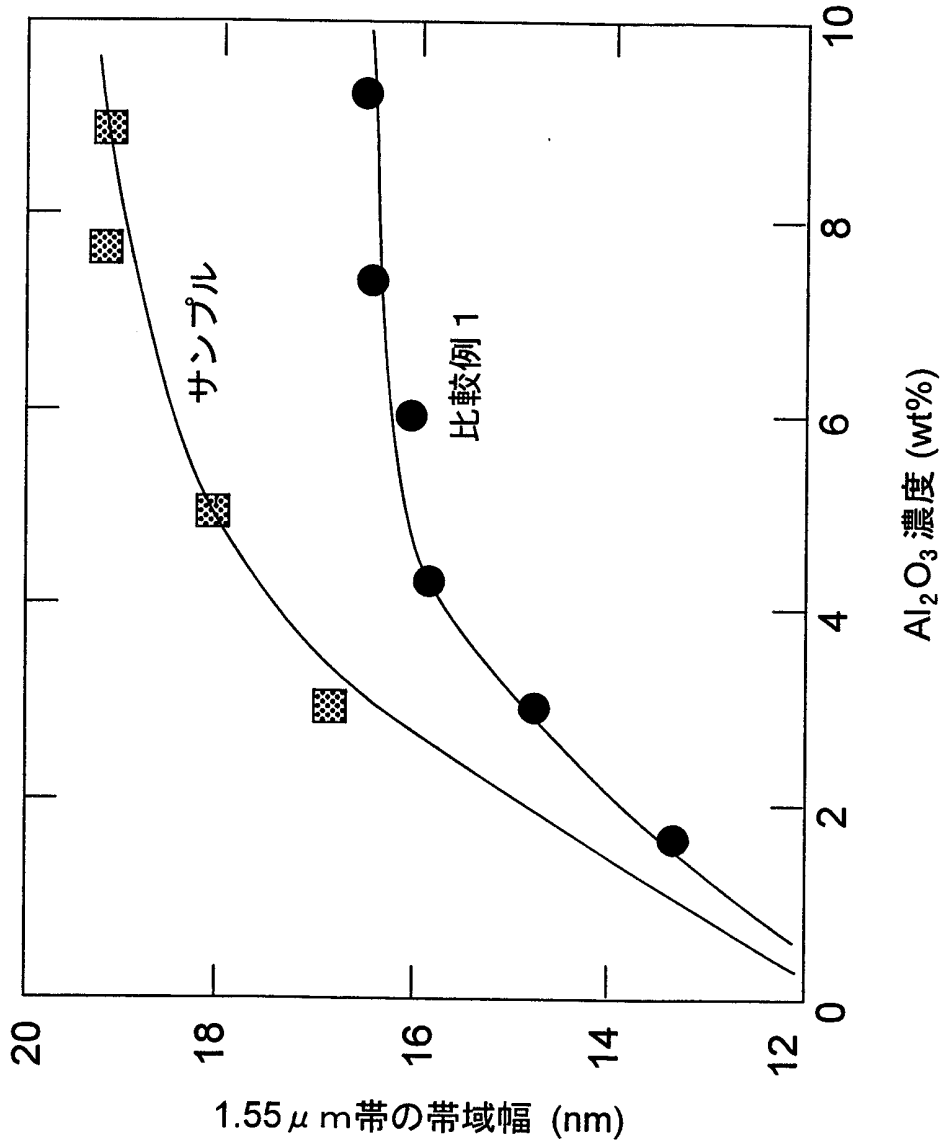


図6

図7

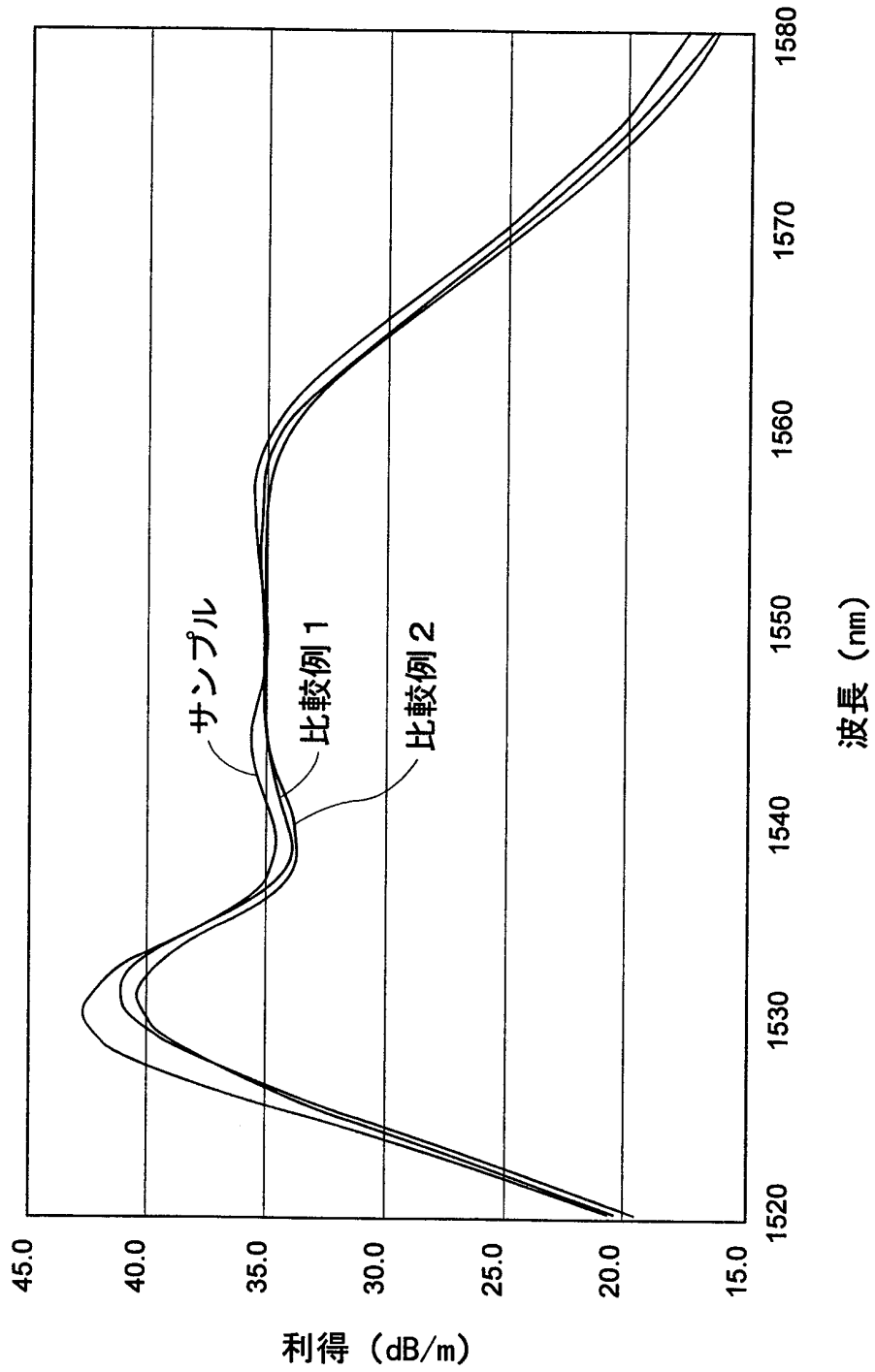
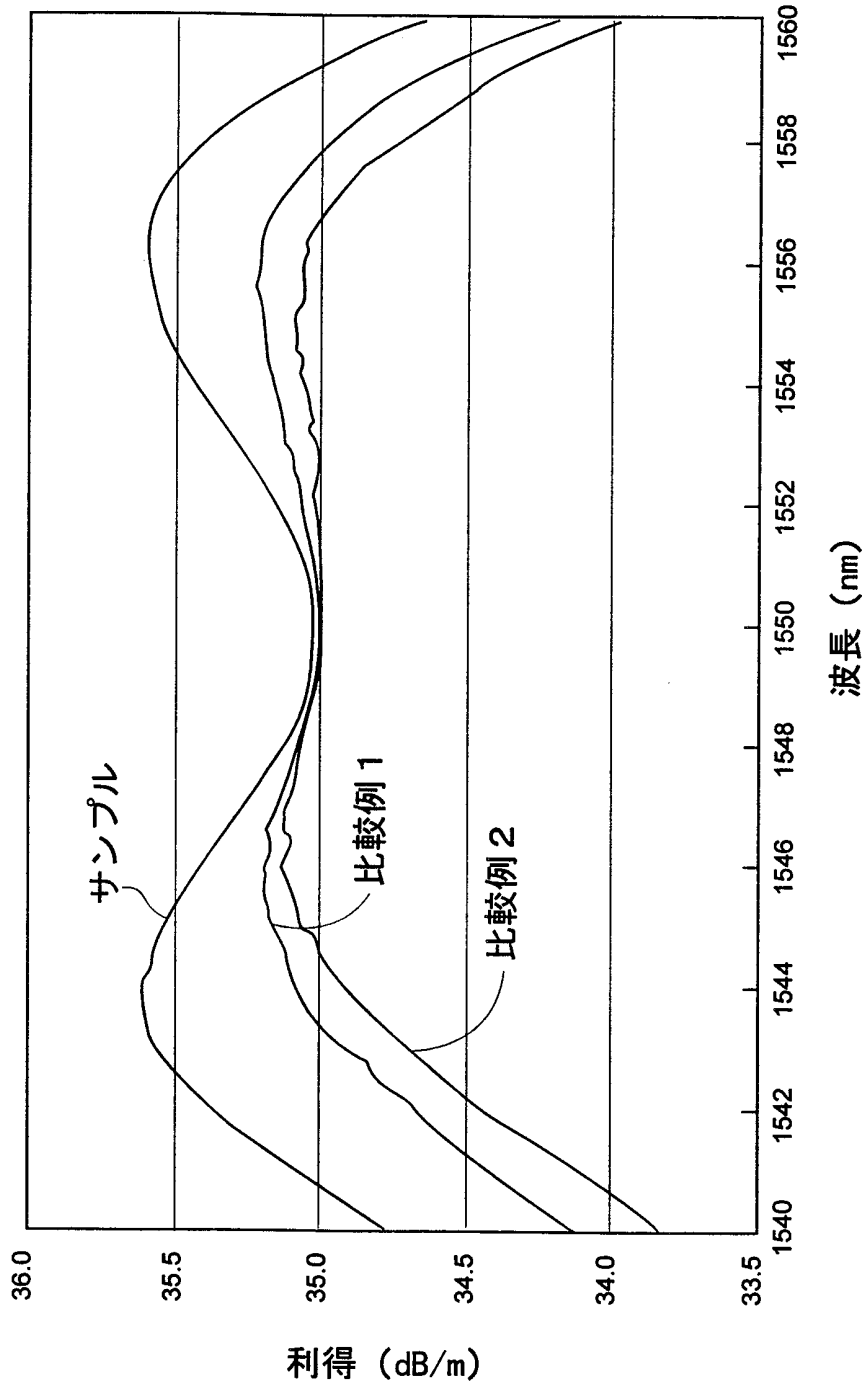


図8



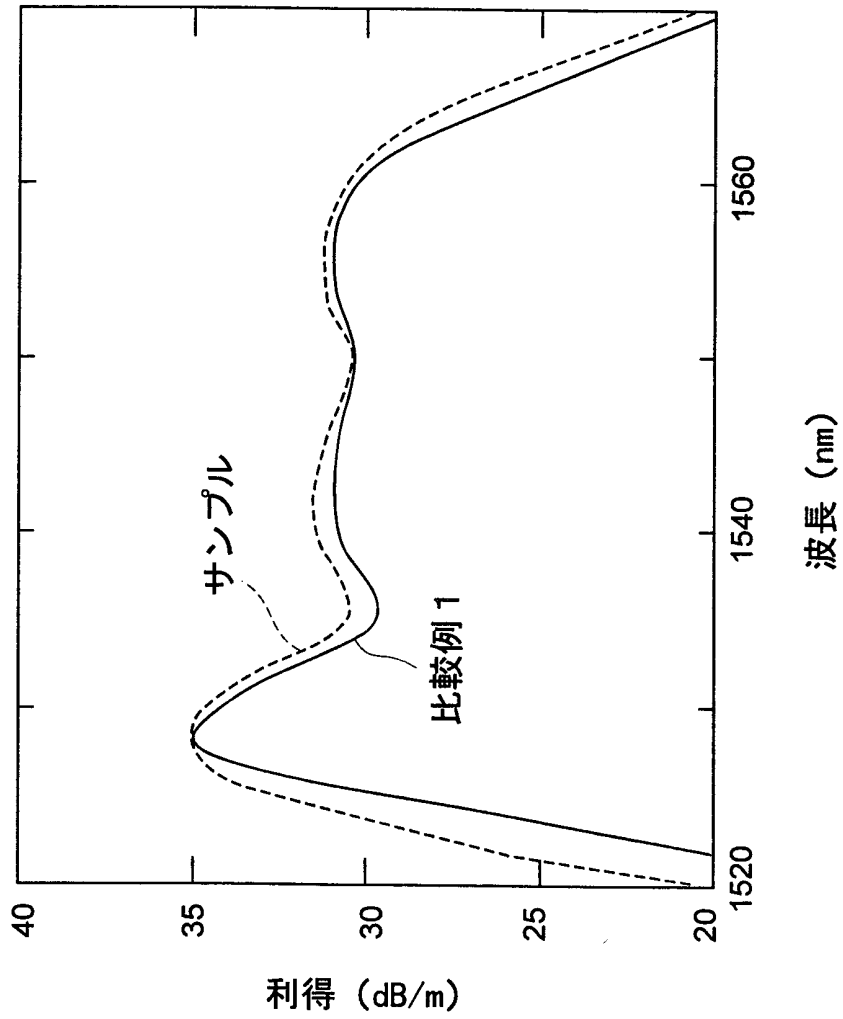


図9

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.  
PCT/JP00/01105

<p>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl<sup>7</sup> H01S3/067, G02B6/16</p> <p>According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC</p>																	
<p>B. FIELDS SEARCHED</p> <p>Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl<sup>7</sup> H01S3/067, G02B6/16</p> <p>Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched                  Jitsuyo Shinan Koho 1940-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2000                  Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2000 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2000</p> <p>Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)</p>																	
<p>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width:10%;">Category*</th> <th style="width:60%;">Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th style="width:30%;">Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X Y</td> <td>JP, 5-29697, A (Fujitsu Limited), 05 February, 1993 (05.02.93), Par. No. [0016], Fig. 1 Par. No. [0016], Fig. 1 (Family: none)</td> <td>1, 3, 6-8 9</td> </tr> <tr> <td>X Y</td> <td>JP, 7-211980, A (Nippon Telegr. &amp; Teleph. Corp. &lt;NTT&gt;), 11 August, 1995 (11.08.95), Par. No. [0028], Par. No. [0034]; Figs. 1 to 2 Par. No. [0028], Par. No. [0034]; Figs. 1 to 2 (Family: none)</td> <td>1, 2, 4, 6-9 10, 11</td> </tr> <tr> <td>X Y</td> <td>JP, 3-228849, A (SHOWA ELECTRIC WIRE &amp; CABLE CO., LTD. et al.), 09 October, 1991 (09.10.91), Full text; table 1-2; drawings Full text; table 1-2; drawings (Family: none)</td> <td>1, 3, 7, 8 6, 9</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>JP, 3-127032, A (Nippon Telegr. &amp; Teleph. Corp. &lt;NTT&gt;), 30 May, 1991 (30.05.91), page 5, upper right column, line 11 to lower right column, line 9; Figs. 1, 3 (Family: none)</td> <td>1, 2, 5, 7-9</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	X Y	JP, 5-29697, A (Fujitsu Limited), 05 February, 1993 (05.02.93), Par. No. [0016], Fig. 1 Par. No. [0016], Fig. 1 (Family: none)	1, 3, 6-8 9	X Y	JP, 7-211980, A (Nippon Telegr. & Teleph. Corp. <NTT>), 11 August, 1995 (11.08.95), Par. No. [0028], Par. No. [0034]; Figs. 1 to 2 Par. No. [0028], Par. No. [0034]; Figs. 1 to 2 (Family: none)	1, 2, 4, 6-9 10, 11	X Y	JP, 3-228849, A (SHOWA ELECTRIC WIRE & CABLE CO., LTD. et al.), 09 October, 1991 (09.10.91), Full text; table 1-2; drawings Full text; table 1-2; drawings (Family: none)	1, 3, 7, 8 6, 9	X	JP, 3-127032, A (Nippon Telegr. & Teleph. Corp. <NTT>), 30 May, 1991 (30.05.91), page 5, upper right column, line 11 to lower right column, line 9; Figs. 1, 3 (Family: none)	1, 2, 5, 7-9
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.															
X Y	JP, 5-29697, A (Fujitsu Limited), 05 February, 1993 (05.02.93), Par. No. [0016], Fig. 1 Par. No. [0016], Fig. 1 (Family: none)	1, 3, 6-8 9															
X Y	JP, 7-211980, A (Nippon Telegr. & Teleph. Corp. <NTT>), 11 August, 1995 (11.08.95), Par. No. [0028], Par. No. [0034]; Figs. 1 to 2 Par. No. [0028], Par. No. [0034]; Figs. 1 to 2 (Family: none)	1, 2, 4, 6-9 10, 11															
X Y	JP, 3-228849, A (SHOWA ELECTRIC WIRE & CABLE CO., LTD. et al.), 09 October, 1991 (09.10.91), Full text; table 1-2; drawings Full text; table 1-2; drawings (Family: none)	1, 3, 7, 8 6, 9															
X	JP, 3-127032, A (Nippon Telegr. & Teleph. Corp. <NTT>), 30 May, 1991 (30.05.91), page 5, upper right column, line 11 to lower right column, line 9; Figs. 1, 3 (Family: none)	1, 2, 5, 7-9															
<p><input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.    <input type="checkbox"/> See patent family annex.</p>																	
<p>* Special categories of cited documents:</p> <table style="width:100%;"> <tr> <td style="width:50%;"> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"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)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> </td> <td style="width:50%;"> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"&amp;" document member of the same patent family</p> </td> </tr> </table>			<p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"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)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"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</p> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"&amp;" document member of the same patent family</p>													
<p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"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)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"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</p> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"&amp;" document member of the same patent family</p>																
<p>Date of the actual completion of the international search 23 May, 2000 (23.05.00)</p>		<p>Date of mailing of the international search report 06.06.00</p>															
<p>Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office</p>		<p>Authorized officer</p>															
<p>Facsimile No.</p>		<p>Telephone No.</p>															

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/01105

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP, 313209, A (BRITISH TELECOMMUNICATIONS public limited company), 26 April, 1989 (26.04.89), Full text; drawings & JP, 1-145881, A Full text; Figs. & US, 4923279, A	1,2,5,7-9 10,11
X	EP, 896404, A (Lucent Technology(UK), 10 February, 1999 (10.02.99), page 2, Column 2, line 55 to page 3, Column 3, line 16; Fig. 2 & JP, 11-112070, A Par. No.[0009],Fig. 2 & US, 5937134, A	1,3,7-9
X	US, 4959837, A (COMPAGNIE GENERALE D'ELECTRICITE), 25 September, 1990 (25.09.90), Full text; Figs. 1 to 5 & JP, 2-211681, A Full text; Figs. 1 to 5 & EP, 368196, A	1,2,5,6-9

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01S3/067, G02B6/16

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> H01S3/067, G02B6/16

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 1940-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2000年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2000年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2000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)

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	JP, 5-29697, A (富士通株式会社) 5. 2月. 1993 (05. 02. 93) 段落番号【0016】, 第1図 段落番号【0016】, 第1図 (ファミリーなし)	1, 3, 6-8 9
X Y	JP, 7-211980, A (日本電信電話株式会社) 11. 8 月. 1995 (11. 08. 95) 段落番号【0028】, 【0034】, 第1-2図 段落番号【0028】, 【0034】, 第1-2図	1, 2, 4, 6-9 10, 11

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 23. 05. 00

国際調査報告の発送日

06.06.00

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)  
 河原 正

2K 9017  
 印

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

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
	(ファミリーなし)	
X	JP, 3-228849, A (昭和電線電纜株式会社 外1名) 9. 10月. 1991 (09. 10. 91)	1, 3, 7, 8
Y	全文, 表1-2, 図面 (ファミリーなし)	6, 9
X	JP, 3-127032, A (日本電信電話株式会社) 30. 5 月. 1991 (30. 05. 91) 第5頁右上欄第11行-右下欄第9行, 第1図, 第3図 (ファミリーなし)	1, 2, 5, 7-9
X	EP, 313209, A (BRITISH TELECOMMUNICATIONS public limited company) 26. 4月. 1989 (26. 04. 89) 全文, 図面 & JP, 1-145881, A, 全文, 図面 & US, 4923279, A	1, 2, 5, 7-9 10, 11
X	EP, 896404, A (Lucent Technology(UK)Ltd) 10. 0 2. 1999 (10. 02. 99) 第2頁第2欄第55行-第3頁第3欄第16行, 第2図 & JP, 11-112070, A, 段落番号【0009】, 第2 図 & US, 5937134, A	1, 3, 7-9
X	US, 4959837, A (COMPAGNIE GENERALE D'ELECTRICITE) 25. 9月. 1990 (25. 09. 90) 全文, 第1-5図 & JP, 2-211681, A, 全文, 第1-5図 & EP, 368196, A	1, 2, 5, 6-9