

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
4 juin 2009 (04.06.2009)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2009/068800 A2

(51) Classification internationale des brevets :
H01S 3/067 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2008/052018

(22) Date de dépôt international :
7 novembre 2008 (07.11.2008)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0758946 9 novembre 2007 (09.11.2007) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : ALCA-
TEL LUCENT [FR/FR]; 54 Rue La Boétie, F-75008 Paris
(FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : SIMMON-
NEAU, Christian [FR/FR]; C/O Alcatel-lucent France,
Centre De Villarceaux, Route De Villejust, F-91620
Nozay (FR). BUROV, Ekaterina [FR/FR]; 743 Avenue
Du Général Leclerc, F-92100 Boulogne-Billancourt (FR).
FEVRIER, Sébastien [FR/FR]; 17 Rue Georges Beljean,
F-87100 Limoges (FR).

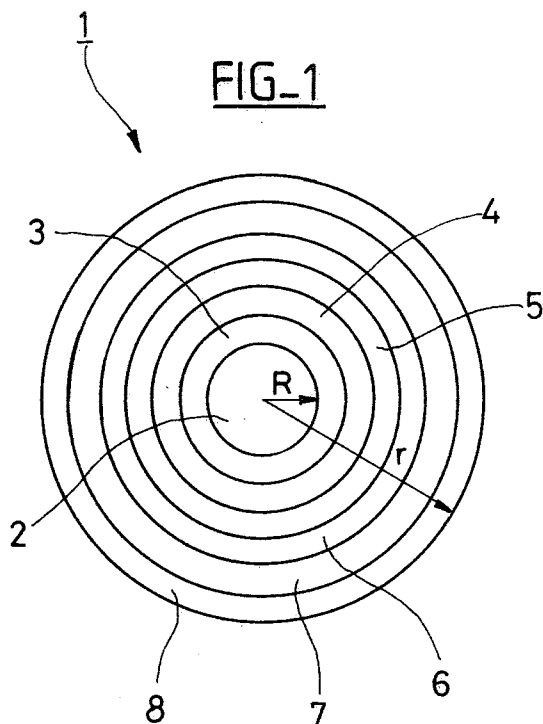
(74) Mandataire : SCIAUX, Edmond; COMPAGNIE FI-
NANCIERE ALCATEL-LUCENT, 54 Rue La Boétie,
F-75008 Paris (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO,
AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG,
ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: RARE-EARTH-DOPED FIBRE-OPTICE DEVICE FOR THE EMISSION OR AMPLIFICATION OF A SIGNAL IN
THE S-BAND

(54) Titre : DISPOSITIF A FIBRE OPTIQUE DOPEE AUX TERRES RARES POUR L'EMISSION OU L'AMPLIFICATION
D'UN SIGNAL DANS LA BANDE "S"



(57) Abstract: Device for the emission or amplifica-
tion of a signal, comprising an optical fibre having a
solid core or refractive index n_c , made of a silica glass
doped with a rare earth, such as erbium, ytterbium or
neodymium, said core being surrounded by an optical
cladding comprising at least a pair of silica layers com-
posed of a first, inner layer, having a refractive index
greater than the refractive index n_c of the core, covered
by a second, outer layer. The optical fibre comprises
several pairs of silica layers around the core, each pair
comprising an inner layer of refractive index n_i and an
outer layer of refractive index n_e , the refractive index
 n_e of the outer layer being lower than the refractive in-
dex n_i of the inner layer of the same pair.

(57) Abrégé : Dispositif pour l'émission ou
l'amplification d'un signal comportant une fibre
optique comprenant un cœur plein d'indice de
réfraction n_c , constitué d'un verre de silice dopé
de terre rare, telle que l'erbium, l'ytterbium, ou le
néodyme, entouré d'une gaine optique comprenant
au moins un couple de couches en silice composé
d'une première couche interne d'indice de réfraction
supérieur à l'indice de réfraction n_c du cœur,
recouverte d'une deuxième couche externe. La fibre
optique comprend plusieurs couples de couches en
silice autour du cœur, chaque couple comprenant une
couche interne d'indice de réfraction n_i et une couche
externe d'indice de réfraction n_e , l'indice de réfraction

n_e de la couche externe étant inférieur à l'indice de réfraction n_i ,

[Suite sur la page suivante]



IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,

Publiée :

— sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport

Dispositif à fibre optique dopée aux terres rares pour l'émission ou l'amplification
d'un signal dans la bande "S"

La présente invention se rapporte à un dispositif comprenant une fibre optique à base de silice contenant des terres rares comme dopant, pour émettre un signal ou un signal amplifié situé dans le domaine de longueurs d'onde dit en bande "S" (pour "Short Band" en anglais), c'est à dire correspondant à des longueurs d'onde inférieures à environ 1530 nm.

L'invention concerne les dispositifs qui utilisent une fibre optique dopées de terres rares pour émettre ou amplifier un signal lumineux. Les amplificateurs à fibre optique comportent une fibre amplificatrice qui fonctionne sur le principe dit de l'émission stimulée, selon lequel un matériau peut émettre une onde lumineuse de même longueur d'onde et de même phase que l'onde lumineuse transmise et cela par excitation dudit matériau au moyen d'une source lumineuse de grande énergie, tel qu'un laser de pompe, dont la longueur d'onde est inférieure à celle du signal transmis dans la fibre. Les principaux éléments amplificateurs utilisés sont habituellement des terres rares, tel que l'erbium ou l'ytterbium par exemple, et sont généralement intégrés comme dopants dans le cœur monomode ou au voisinage de ce cœur monomode de la fibre. Le signal de pompe crée une inversion de population et permet ainsi de rendre ces ions actifs. Dans le cas où la fibre amplificatrice est insérée dans une cavité optique, on peut réaliser un laser pour émettre un signal lumineux.

De manière connue, on cherche à accroître les performances des amplificateurs optiques à fibre dopée à l'erbium. Ces amplificateurs dits "EDFA" (pour "Erbium Doped Fiber Amplifier" en anglais) sont généralement utilisés le long des liaisons optiques à longue distance pour amplifier des signaux multiplexés en longueur d'onde.

Ces amplificateurs EDFA comprennent une fibre optique dont le cœur ou la zone au voisinage du cœur est dopé à l'erbium qui fournit une transition amplificatrice à la longueur d'onde de 1550 nm. Les fibres sont conçues pour obtenir une amplification la plus efficace possible dans le domaine des longueurs d'onde appelés la bande "C" (pour "Conventional Band" en anglais) qui correspond à des longueurs d'onde

entre 1530 nm à 1565 nm, et la bande "L" (pour "Large Band" en anglais) qui correspond à des longueurs d'onde situées entre 1565 nm et 1625 nm.

Le problème se pose alors de l'amplification des signaux dont la longueur d'onde est inférieure à ces valeurs, ce qui correspond au domaine dit de bande S dont les longueurs d'onde sont comprises entre 1450 nm et 1530 nm. L'amplification dans cette bande de longueur d'onde présente le grand intérêt de permettre d'augmenter la capacité de transmission des systèmes optiques.

Il est possible de réaliser des amplificateurs de type TDFA dopé au thulium capables d'amplifier dans la bande S. Cependant ces amplificateurs présentent l'inconvénient de ne pouvoir être utilisés qu'avec des fibres à base de fluor. Ces fibres ne peuvent pas être raccordées à des fibres conventionnelles à base de silice.

Il est aussi possible de réaliser des amplificateurs de type EDFA avec des fibres à base de silice en introduisant des pertes pour des longueurs d'ondes situées autour et au-dessus de 1530 nm, afin de favoriser le gain en-dessous de 1530 nm. Ces pertes peuvent être obtenues de deux façons.

D'une part on peut couper la fibre dopée à l'erbium et insérer un réseau de Bragg entre les deux parties obtenues. Toutefois les pertes doivent être réparties sur toute la longueur de la fibre amplificatrice, ce qui nécessite d'utiliser plusieurs réseaux de Bragg et donc de réaliser plusieurs coupures de la fibre. Cette solution est notamment décrite dans un article de H. ONO et al. intitulé "S-Band erbium doped fiber amplifiers with a multistage configuration-design, characterization, and gain tilt compensation" (IEEE Jnl. of Lightwave Techn. 2003, 21(10), 2240-2246). Cette solution est coûteuse, compliquée et peu efficace.

D'autre part, le document US-6,970,631 propose d'adapter l'indice de réfraction de la fibre dopée à l'erbium pour produire une perte importante au-dessus de 1530 nm. Cette solution consiste notamment à adopter un profil en W de l'indice de réfraction de la fibre. Bien que cette solution donne une amplification dans la bande S, le gain obtenu n'est pas plat. En effet ce profil d'indice particulier permet une résonnance en mode de gaine qui provoque des pertes au centre de la bande S. Pour éviter cette résonnance en mode de gaine, il est possible de doper la gaine optique avec un élément absorbant, mais dans ce cas la largeur de bande de gain dans la bande S devient très limitée.

Le document US-7,079,309 concerne un amplificateur optique dans lequel un cristal photonique est utilisé pour contrôler le profil de gain. Le cristal comprend une

structure périodique diélectrique ayant un effet de bande interdite photonique (PBG pour "Photonic Band Gap" en anglais). La structure tridimensionnelle est composée de barreaux à base de silicium dopé avec des ions erbium. La structure diélectrique périodique comprend une pluralité de défauts de type microcavités.

Cependant la bande interdite photonique selon ce document est telle que des résonnances des cavités vont permettre de réduire l'excursion naturelle du gain en bande C.

La présente invention a pour but d'éliminer les inconvénients de l'art antérieur, et en particulier de proposer un dispositif permettant de produire ou d'amplifier un signal sur au moins la majeure partie de la bande S.

L'invention a aussi pour but de proposer un dispositif facile à réaliser, efficace et peu coûteux.

L'invention a encore pour but de produire une amplification dans la bande S présentant un gain relativement plat

L'objet de la présente invention est un dispositif comportant une fibre optique à bande interdite photonique comprenant un cœur plein constitué d'un verre de silice dopé de terre rare d'indice de réfraction n_c , entouré d'une gaine optique comprenant N couples de couches en silice autour du cœur, où N est un entier supérieur à 2, chaque couple étant composé d'une première couche interne d'épaisseur d_i et d'indice de réfraction n_i supérieur à l'indice de réfraction n_c du cœur, recouverte d'une deuxième couche externe d'épaisseur d_e et d'indice de réfraction n_e , l'indice de réfraction n_e de la couche externe étant inférieur à l'indice de réfraction n_i de la couche interne du même couple.

Le principe général de l'invention consiste à créer des pertes à certaines longueur d'onde à l'aide d'une fibre à bande interdite photonique à cœur plein solide contenant un dopant qui est une terre rare. La fibre est de préférence monomode avec un cœur en verre de silice dopé de terre rare. Le dopant terre rare est de préférence choisi parmi l'erbium, l'ytterbium, et le néodyme. Ceci permet de créer sur toute la longueur de la fibre des pertes de propagation du signal aux longueurs d'onde où le gain de l'ion dopant est important, par exemple autour de 1525 nm pour l'ion erbium. Ces pertes permettent de favoriser des zones spectrales où le gain apporté par l'ion de terre rare est moins important, par exemple entre environ 1490 nm et 1520 nm pour l'ion erbium. Dans le cas des ions néodyme, des pertes sont créées dans la zone spectrale

de 1020 nm à 1070 nm. Dans le cas des ions ytterbium, des pertes sont créées dans la zone spectrale de 1050-1100nm

Selon un mode de réalisation avantageux, l'épaisseur d_e de la couche externe est supérieure à l'épaisseur d_i de la couche interne pour un même couple.

Selon une forme d'exécution de l'invention, les épaisseurs des couches internes sont égales.

Selon une autre forme d'exécution de l'invention, les épaisseurs des couches externes sont égales.

De préférence, l'épaisseur de la couche externe est égale au moins au double de l'épaisseur de la couche interne.

Selon un mode de réalisation particulier, le dopant terre rare est dispersée sous forme d'ions ou de nanoparticules dans au moins une partie du cœur, c'est-à-dire qu'il peut être dispersé dans la totalité du cœur monomode ou seulement dans une partie. Le plus souvent, les espèces actives dispersées dans la fibre de silice le sont sous la forme d'ions trivalents. Les nanoparticules de dopant ont une taille qui dépend des pertes acceptées, de la concentration de terre rare souhaitée et de la composition de la nanoparticules. Cette taille est typiquement comprise entre 2nm et 20nm.

Les ions de terre rare peuvent être vus comme des systèmes à 4 niveaux dans certaines gamme de longueurs d'onde et des systèmes à 3 niveaux pour des longueurs d'onde inférieures. On sait obtenir une inversion suffisante dans le système à trois niveaux pour permettre d'obtenir un gain (ou un coefficient d'émission) important. Cependant cette inversion permet également un gain (ou un coefficient d'émission) bien plus important dans le système à 4 niveaux pour des longueurs d'onde plus élevées, prohibant ainsi le gain du système à trois niveaux. L'invention en créant des pertes sélectivement dans le système à 4 niveaux permet ainsi de réaliser un amplificateur ou un laser dans le système à 3 niveaux.

Avec une fibre dopée à l'ytterbium, on peut selon l'invention créer des pertes autour de 1100 nm et favoriser le gain autour de 980 nm, et réaliser ainsi un dispositif pour l'émission (tel qu'un laser) ou l'amplification (tel qu'un amplificateur) autour de 980 nm. Avec une fibre dopée au néodyme, on peut de même créer des pertes autour de 1050 nm et favoriser le gain autour de 915 nm, et réaliser ainsi un amplificateur ou un laser fonctionnant autour de 915 nm.

Le cœur peut en outre être dopé par d'autres dopant tels que l'aluminium Al, le germanium Ge, le phosphore P et/ou le fluor F afin de permettre d'ajuster l'indice du cœur par rapport à l'indice de la gaine. Le dopant peut être introduit dans la matrice de silice sous la forme d'ions ou de nanoparticules. Les couches externes de faible indice peuvent être constituées de silice non-dopée ou de silice dopée par Ge, P et/ou F. Les couches internes de fort indice peuvent être constituées de silice dopée par Ge et/ou P.

Selon un mode de réalisation de l'invention, les indices de réfraction des couches internes sont égaux.

Selon un autre mode de réalisation, les indices de réfraction des couches externes sont égaux.

Selon encore un autre mode de réalisation, les indices de réfraction des couches externes sont égaux à l'indice du cœur.

La gaine d'indice périodiquement haut et bas provoque, pour certains rayonnements de longueur d'onde spécifique provenant du cœur, une réflexion distribuée. Ces longueurs d'onde spécifiques appartiennent à une bande interdite photonique de la gaine. Des rayonnements de longueur d'onde n'appartenant pas à la bande interdite ne sont pas guidés dans le cœur de la fibre, mais fuient dans la gaine. La longueur d'onde centrale de la bande interdite dépend directement des épaisseurs des couches constituant la gaine au travers de la relation $\frac{2\pi}{\lambda} d \sqrt{n^2 - n_{ef}^2} = \frac{\pi}{2}$ où d est l'épaisseur et n est l'indice de la couche considérée, n_{ef} est l'indice effectif du mode guidé dans le cœur et λ est la longueur d'onde centrale.

Selon l'invention, la fibre optique comprend N couples de couches, chaque couple comprenant une couche interne et une couche externe. Le nombre N de couples dans la fibre selon l'invention est au moins égal à 2. Selon une variante préférée de réalisation, le nombre N de couples de couches est au moins égal à 5.

Selon une autre variante, le rayon r de la fibre est au moins égal au double du rayon R du cœur.

Une fibre optique selon la présente invention possède des propriétés de guidage à bande interdite photonique conçue de telle sorte qu'elle contrarie le gain de terre rare dans la bande d'amplification traditionnelle, dite bande C, afin de permettre l'amplification dans la bande de courte longueur d'onde, dite bande S. Bien entendu, le

niveau d'atténuation aux longueurs non désirées obtenu avec la structure de bande interdite photonique (PBG) doit être d'un ordre de grandeur suffisant pour permettre d'atténuer le gain d'amplification à ces longueurs d'onde. Cette invention permet d'obtenir un gain beaucoup plus plat dans la bande S que les solutions antérieures.

La présente invention a aussi comme avantage que la fibre peut être aisément fabriquée par un procédé industriel, notamment par un procédé "MCVD" (pour "Modified Chemical Vapor Deposition" en anglais).

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description qui suit d'un mode de réalisation, donné bien entendu à titre illustratif et non limitatif, et dans le dessin annexé sur lequel

- la figure 1 est une vue en coupe d'une fibre selon un mode de réalisation de l'invention,
- la figure 2 représente le profil de l'indice de réfraction selon un rayon de la fibre,
- la figure 3 montre, en fonction de la longueur d'onde λ en μm portée en abscisse, la variation des pertes de propagation P dans la fibre en dB/km,
- la figure 4 montre le profil des pertes en propagation P comparé aux coefficients d'absorption α et d'émission g^* de l'erbium, le profil des pertes P, le coefficient d'absorption α et le coefficient d'émission g^* en dB/km sont donnés en ordonnée et en abscisse la longueur d'onde λ en nm,
- la figure 5 montre le gain obtenu avec la fibre de la figure 2, le gain G en dB est donné en ordonnée et en abscisse la longueur d'onde λ en nm.

Une fibre optique monomode selon un mode de réalisation de l'invention, ayant un cœur plein dopé aux terres rares et possédant des propriétés de guidage à bande interdite photonique, est représentée en coupe sur la figure 1. La fibre 1 de rayon r comprend un cœur plein 2 de rayon R et d'indice de réfraction n_c , constitué de silice dopée par des ions ou des nanoparticules d'erbium. Le cœur 2 est entouré d'une gaine optique comportant un premier couple de couches composé d'une première couche 3 également en silice et ayant un indice de réfraction n_1 strictement supérieur à celui du cœur, tel que $n_1 > n_c$, et d'une seconde couche 4 en silice dopée et ayant un indice de réfraction n_2 inférieur à celui de la première couche, tel que $n_2 < n_1$. La gaine comporte aussi un deuxième couple de couches de même nature, entourant le premier couple et analogue au premier couple, composé d'une première couche 5 d'indice de réfraction n_3 tel que $n_3 > n_c$, et d'une seconde couche 6 d'indice de réfraction n_4 tel que $n_4 < n_3$. Dans

l'exemple donné ici, la gaine comporte aussi un troisième couple de couches, entourant le deuxième couple et analogue au premier et deuxième couples, composé d'une première couche 7 d'indice de réfraction n_5 tel que $n_5 > n_c$, et d'une seconde couche 8 d'indice de réfraction n_6 tel que $n_6 < n_5$. La fibre peut en outre être recouverte d'un revêtement protecteur en matériau polymère non représenté. De préférence on choisit un polymère de faible indice.

Dans le mode de réalisation de l'invention illustré sur la figure 2, la fibre optique de rayon r comporte une gaine optique multiple composée de sept couples de couches analogues. On retrouve le cœur ayant un rayon $R = 12,7\mu\text{m}$ et d'indice de réfraction n_c . Le cœur est entouré d'une première couche d'épaisseur $a = 2,5\mu\text{m}$ et d'indice de réfraction n_1 tel que $n_1 - n_c = \Delta n$ avec ici $\Delta n = 0,03$. La première couche est suivie d'une deuxième couche d'épaisseur $b = 8,5\mu\text{m}$ et d'indice de réfraction n_2 ici tel que $n_2 = n_c$. Les couches suivantes se succèdent de manière analogue en respectant l'alternance de couches de haut indice et des couches de bas indice de réfraction et leurs épaisseurs respectives.

Les fibres optiques selon un mode de réalisation de l'invention ont un comportement particulier en propagation qui dépend du nombre total de couches, de leur indice de réfraction et de leur épaisseur. Les valeurs des paramètres a , b , N et Δn peuvent être modifiées sous réserve d'ajustement du diamètre extérieur OD de la fibre optique lors de l'étirage de la préforme.

On donne dans le tableau ci-dessous, pour quelques exemples de variation relative de la valeur de l'un des paramètres a , b , N et Δn , les variations relatives δOD du diamètre extérieur OD qui sont nécessaires pour retrouver les conditions de propagation initiales.

Tableau I

(a)		(b)		(c)		(d)	
δN	$\delta OD, \%$	$\delta a, \%$	$\delta OD, \%$	$\delta b, \%$	$\delta OD, \%$	$\delta \Delta n, \%$	$\delta OD, \%$
-1	2	4	1,3	-1,12	2	-17	14
-2	4,5	8	2,2	1,12	4	17	-3,5

Par exemple si on diminue de 1 le nombre de couches : $\delta N = -1$, le diamètre extérieur OD devra augmenter de 2% : $\delta OD = +2\%$ pour que le résultat reste inchangé.

Un exemple de perte de propagation P du signal en fonction de la longueur d'onde λ , dans une fibre telle que décrite précédemment, est donné sur la figure 3. La variation spectrale des pertes de propagation montre une valeur faible des pertes à la longueur d'onde d'émission du laser de pompe ($\lambda = 980$ nm) (zone 30) et une valeur forte des pertes aux longueurs d'onde supérieures à $\lambda = 1530$ nm (zone 31). On observe qu'aux longueurs d'onde appartenant à la bande S ciblée, c'est-à-dire entre environ 1450 nm et 1530 nm, la valeur des pertes de propagation est relativement faible (zone 32).

On rappelle que le principe général de l'invention consiste à créer des pertes à certaines longueurs d'onde à l'aide d'une fibre à bande interdite photonique à cœur plein dopée avec des terres rares. Dans cet exemple, le rayonnement de pompe sera correctement propagé dans la fibre, et le signal en bandes C et L sera fortement atténué ce qui autorisera l'amplification du signal en bande S.

On considère maintenant la figure 4 qui montre la variation du profil des pertes de propagation P (courbe 40), du coefficient d'absorption de l'erbium α (courbe 41) et du coefficient d'émission g^* de l'erbium (courbe 42) en fonction de la longueur d'onde λ du signal.

Aux longueurs d'onde très supérieures à 1530 nm, en l'absence de pertes de propagation P (courbe 40), le coefficient d'émission g^* (courbe 42) est supérieur au coefficient d'absorption α (courbe 41). Dans cet exemple, les pertes induites par la bande interdite photonique (PBG) sont supérieures au coefficient d'émission g^* aux longueurs d'onde situées au-dessus de 1530 nm, et pour les longueurs d'onde situées en-dessous de 1520 nm, les pertes sont inférieures au coefficient d'émission g^* .

Un amplificateur EDFA par exemple amplifiera correctement et principalement les signaux en bandes C et L. Afin d'amplifier correctement et principalement les signaux en bande S, c'est-à-dire aux longueurs d'onde inférieures à 1530 nm, l'application de pertes de propagation P (courbe 40) est nécessaire. Ces pertes sont très élevées aux longueurs d'onde autour et juste au-dessus de 1530 nm, et interdisent l'amplification à ces longueurs d'onde. Du gain est alors disponible en bande S.

Sur la figure 5, on a représenté l'évolution du gain G obtenu avec le dispositif d'amplification précédemment décrit en fonction de la longueur d'onde λ du signal. La courbe 50 montre un gain relativement élevé pour des longueurs d'onde λ inférieures à 1520 nm, ce qui montre l'apport du dispositif d'amplification selon l'invention. De plus, la courbe 50 de gain est plate, c'est-à-dire que le gain est relativement constant en fonction de la longueur d'onde. Ceci est une caractéristique inhérente du dispositif d'amplification selon l'invention, qui pourra être avantageusement utilisée dans d'autres applications.

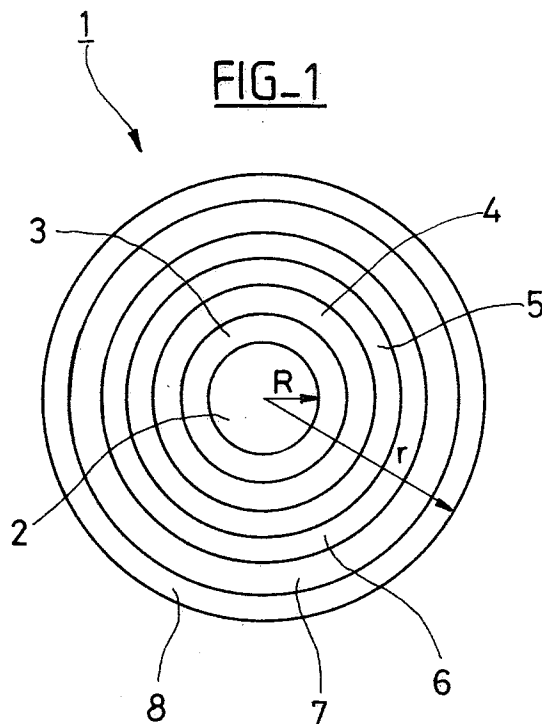
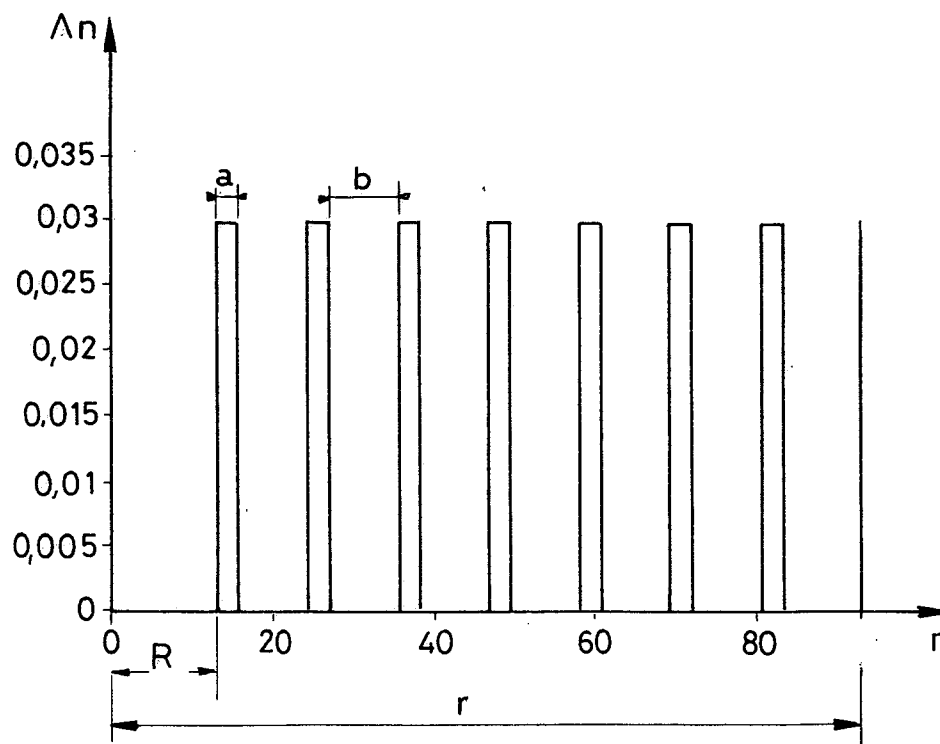
Précédemment on a décrit à titre illustratif un dispositif d'amplification en bande S. Bien entendu le même principe et la même fibre sont utilisés pour réaliser un dispositif d'émission tel qu'un laser émettant dans cette même bande S.

REVENDEICATIONS

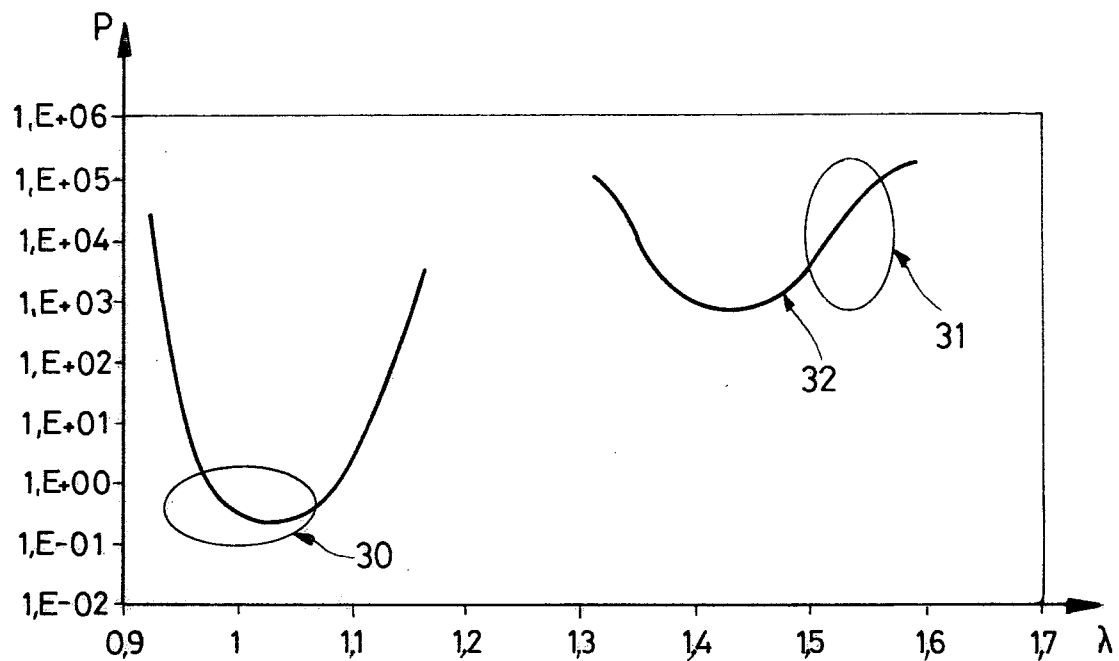
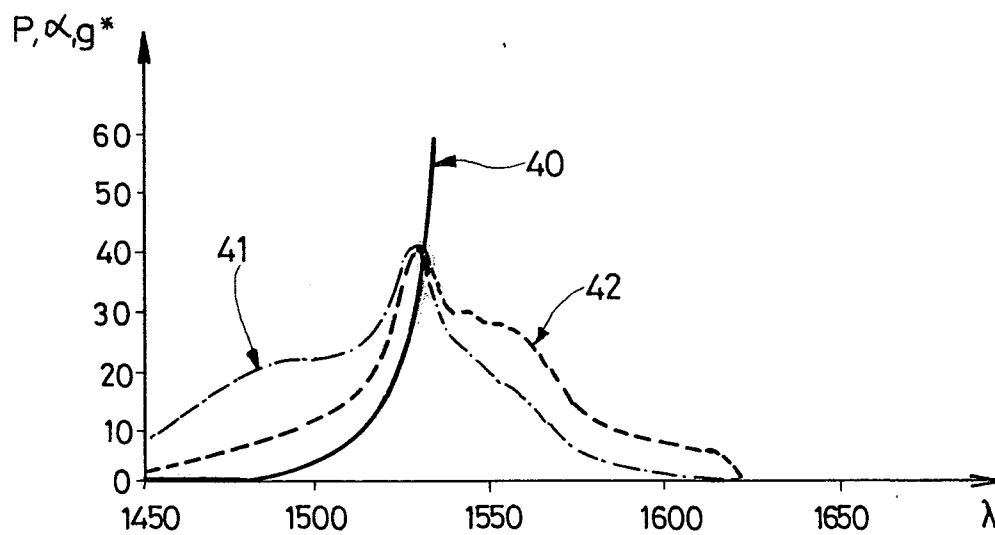
1. Dispositif comportant une fibre optique à bande interdite photonique comprenant un cœur plein constitué d'un verre de silice dopé de terre rare d'indice de réfraction n_c , entouré d'une gaine optique comprenant N couples de couches en silice autour du cœur, où N est un entier supérieur à 2, chaque couple étant composé d'une première couche interne d'épaisseur d_i et d'indice de réfraction n_i supérieur à l'indice de réfraction n_c du cœur, recouverte d'une deuxième couche externe d'épaisseur d_e et d'indice de réfraction n_e , l'indice de réfraction n_e de la couche externe étant inférieur à l'indice de réfraction n_i de la couche interne du même couple.
2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel l'épaisseur d_e de la couche externe est supérieure à l'épaisseur d_i de la couche interne pour un même couple.
3. Dispositif selon la revendication 2, dans lequel l'épaisseur d_e de la couche externe est le double de l'épaisseur d_i de la couche interne.
4. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel le cœur est constitué d'un verre de silice dopé de terre rare choisie parmi l'erbium, l'ytterbium, et le néodyme.
5. Dispositif selon la revendication 4, dans lequel la terre rare est dispersée dans au moins une partie du cœur.
6. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les indices de réfraction des couches internes sont égaux.
7. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les indices de réfraction des couches externes sont égaux.
8. Dispositif selon la revendication 7, dans lequel les indices de réfraction des couches externes sont égaux à l'indice du cœur.
9. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le nombre N de couples de couches est au moins égal à 5.

10. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le rayon r de la fibre est au moins égal au double du rayon R du cœur.

1/3

FIG-1FIG-2

2/3

FIG_3FIG_4

3/3

FIG_5