

(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
27 juillet 2006 (27.07.2006)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2006/077321 A1

(51) Classification internationale des brevets :
G02F 2/00 (2006.01) *G02F 1/17* (2006.01)

Nayla [FR/FR]; 73, rue de Tréguier, F-22300 Lannion (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2006/000117

(74) Mandataires : **HASSINE, Albert** etc.; Cabinet Plasseraud, 65/67, rue de la Victoire, F-75440 Paris Cedex 09 (FR).

(22) Date de dépôt international :
18 janvier 2006 (18.01.2006)

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0500531 19 janvier 2005 (19.01.2005) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
FRANCE TELECOM [FR/FR]; 6, place d'Alleray, F-75015 Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

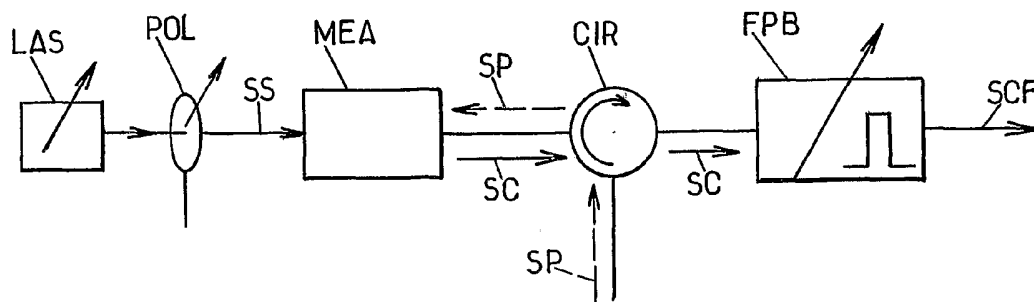
(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **CO-QUILLE, René** [FR/FR]; 6, rue de Crec'h Huet, Brelevenez, F-22300 Lannion (FR). **EL DAHDAH,**

(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, 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, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR OPTICALLY CONVERTING WAVELENGTHS FROM AN ELECTROABSORPTION MODULATOR

(54) Titre : DISPOSITIF ET PROCÉDE POUR LA CONVERSION OPTIQUE DE LONGUEURS D'ONDE A PARTIR D'UN MODULATEUR A ELECTROABSORPTION



(57) Abstract: The invention relates to the conversion of wavelengths, particularly for telecommunications applications, from an electroabsorption modulator (MEA) comprising: two inputs for respectively receiving a pump signal (SP) modulated to a first optical wavelength λ_p and a continuous probe signal (SS) having a second optical wavelength λ_s , and; an output furnishing a converted signal (SC) representing the modulations of the pump signal having, in particular, wavelength λ_s . According to the invention, a band-pass filter (FBP) is provided that is applied to the output of the electroabsorption modulator and centered on a wavelength especially offset with regard to the second wavelength λ_s .

(57) Abrégé : L'invention concerne la conversion de longueurs d'onde, notamment pour des applications de télécommunication, à partir d'un modulateur à électroabsorption (MEA) comportant : - deux entrées pour recevoir respectivement : un signal de pompe (SP), modulé, à une première longueur d'onde optique λ_p ; et un signal sonde (SS), continu, à une seconde longueur d'onde optique λ_s , - et une sortie délivrant un signal converti (SC), représentant les modulations du signal de pompe, sensiblement à la longueur d'onde λ_s . Selon l'invention, on prévoit un filtre passe-bande (FBP) appliqué en sortie du modulateur à électroabsorption et centré sur une longueur d'onde sensiblement décalée par rapport à la seconde longueur d'onde λ_s .

WO 2006/077321 A1



RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,
GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclaration en vertu de la règle 4.17 :

— *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)*

Publiée :

— *avec rapport de recherche internationale*

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

Dispositif et procédé pour la conversion optique de longueurs d'onde à partir d'un modulateur à électroabsorption

La présente invention concerne la conversion optique de longueurs d'onde notamment pour des applications de télécommunication dans des réseaux en configuration tout optique.

Dans le domaine des réseaux de transport optique DWDM (pour "*dense wavelength division multiplexing*") incluant des fibres optiques, chaque fibre optique transporte de l'information portée par un certain nombre de canaux dont la longueur d'onde et l'espacement entre canaux sont normalisés. Typiquement, l'organisme ITU impose une grille de longueurs d'onde dite "*grille ITU*". Actuellement, le réseau de transport fait appel à des liaisons DWDM point à point. En extrémité de liaison, on mène une conversion du signal optique en signal électrique, suivie d'un traitement du signal électrique, puis d'une conversion à nouveau en optique, pour acheminer finalement le signal obtenu vers une nouvelle destination.

Une évolution vers des réseaux tout-optique (sans traitement optique/électrique/optique) est déjà prévue. Avec ces réseaux (dits "*transparents*"), moins de nœuds d'interconnexion sont nécessaires dans une topologie en boucle (mailles et anneaux). On peut alors rencontrer des situations où plusieurs fibres convergent vers un même nœud avec des canaux portant des informations différentes sur une longueur d'onde identique. Or, à l'heure actuelle, aucun système de brassage optique ne saurait faire le tri entre des canaux de longueurs d'onde identiques. Par principe, tous les signaux arrivant en un point devraient être portés par une longueur d'onde différente. La solution actuellement préférée est donc de différencier les signaux et, par conséquent, de recopier un signal donné sur une autre longueur d'onde libre de la grille ITU.

Pour réaliser cette opération de copiage d'un signal porté par une longueur d'onde (signal modulé) sur une autre longueur d'onde (issue d'un laser continu), on utilise des effets non linéaires. Les amplificateurs optiques à semi-conducteurs, ou "SOA" ci-après, ont été étudiés en profondeur dans deux techniques d'application :

- en modulation de gain croisée ou "XGM",
- et en modulation de phase croisée ou "XPM".

On a représenté sur les figures 1A et 1B un schéma de principe d'un SOA en modulation XGM. En référence à la figure 1A relative à l'art antérieur, on fait arriver sur l'amplificateur SOA, à l'aide d'un coupleur (non représenté), à la fois le signal modulé SP (dit signal "*pompe*") et un signal continu SS (dit signal "*sonde*") qui est à une longueur d'onde λ_s différente de celle λ_p du signal modulé SP. En référence à la figure 1B représentant la courbe de gain CG, par principe, l'amplificateur SOA travaille en saturation de gain G du fait de la forte puissance optique de la pompe P_e (au delà de la puissance de saturation P_{sat}). Le signal pompe SP est un signal binaire composé de "1" et de "0". Les "1" à forte puissance ont un gain quasi nul, tandis que les "0" sont amplifiés, ce qui se traduit sur le signal converti par une modulation inversée (logique "*inverse*").

On a représenté sur les figures 2A et 2B un schéma de principe d'un SOA en modulation XPM. En référence à la figure 2A relative encore à l'art antérieur, on utilise deux amplificateurs SOA1 et SOA2 dans un interféromètre IMZ de Mach Zehnder. Le signal sonde SS, à la longueur d'onde λ_s et non modulé, est divisé en deux branches parcourant les deux bras de l'interféromètre. Le signal pompe λ_p (modulé) est injecté dans l'un des amplificateurs SOA1 saturé en présence d'un "1" et non saturé en présence d'un "0", ce qui modifie, selon le cas, l'indice du matériau en déséquilibrant ou non l'interféromètre. Les recombinaisons en sortie de l'interféromètre seront alors destructibles ou

constructibles, assurant alors la modulation du signal converti SC à la longueur d'onde λ_s . En référence à la figure 2B, comme tout dispositif interférométrique, la fonction de transfert du convertisseur (puissance de sortie P_{out} en fonction de la puissance d'entrée P_{in}) est une sinusoïde comportant deux points de fonctionnement :

- la conversion sur pente positive P^+ (en phase, avec une logique conservée),
- et la conversion sur pente négative P^- (hors phase, avec une logique inversée).

Une technique récente propose la modulation d'absorption croisée ou "XAM" dans un modulateur à électroabsorption "MEA". Elle est décrite notamment dans :

"Novel wavelength converter using an electroabsorption modulator", N Edagawa, M Suzuki, and S Yamamoto, dans IEICE Trans. Electron., vol. E81-C, n°8, août 1998.

Son principe est illustré sur les figures 3A et 3B. En référence à la figure 3A, le signal sonde SS à la longueur d'onde λ_s (continu) et le signal pompe SP à la longueur d'onde λ_p (modulé) sont injectés dans un modulateur MEA dont on a fixé la tension de commande négative de façon à pouvoir saturer l'absorption par le signal pompe, pour délivrer le signal converti SC, modulé, à la longueur d'onde λ_s . En référence à la figure 3B, la courbe de transmission CT (bien entendu symétrique de la courbe d'absorption CA par rapport à un axe d'ordonnée constante) impose, au delà de la puissance de saturation P_{sat} , une logique de modulation conservée du signal converti SC par rapport au signal pompe SP : en présence d'un "1", l'absorption est plus faible qu'en présence d'un "0", ce qui se traduit bien par une modulation du signal converti avec conservation de la logique de modulation.

Le SOA en modulation XGM donne un signal converti en logique inversée et il existe un bruit de phase (ou "*chirp*") en sortie du convertisseur, ainsi qu'un bruit d'émission spontanée important. Ce type de dispositif présente une faible efficacité de conversion entraînant une dégradation du diagramme de l'œil. On rappelle que l'"*ouverture de l'œil*" caractérise notamment le bruit et les distorsions apportées par une chaîne de transmission. Une opération d'échantillonnage doit typiquement se produire à l'instant où l'œil est le plus ouvert. Un œil bien ouvert permettra à un dispositif de démodulation de discerner aisément les modulations du signal transmis. A l'opposé, un œil fermé se traduira inévitablement par de nombreuses erreurs de transmission. De plus, la qualité de la conversion dans les SOA en modulation XGM dépend de la longueur d'onde : elle s'améliore vers les hautes fréquences optiques (basses longueurs d'onde).

Concernant les dispositifs SOA en modulation XPM, le réglage des paramètres de l'interféromètre est souvent très délicat et complexe et présente une forte consommation électrique. Plus généralement, les différents dispositifs à base de SOA ont montré une trop grande sensibilité au format de modulation RZ (mode "*retour à zéro*") ou NRZ (mode "*non retour à zéro*").

Le dispositif MEA en modulation XAM a déjà montré son intérêt, en particulier pour la remise en forme et la réamplification du signal qui s'effectuent simultanément, et pour une bonne efficacité de conversion sur une large bande spectrale dans la bande des télécommunications autour de 1550 nm de longueur d'onde. Cependant, à partir d'un certain niveau de débit (correspondant à la fréquence d'horloge du signal binaire modulé), le composant MEA montre une limitation au niveau de son temps de réponse. En effet, à haut débit, le modulateur MEA présente une limitation par rapport à son temps de recouvrement de l'absorption, ce temps de recouvrement étant caractérisé par l'échappement des porteurs photogénérés. Cette limitation génère un écrantage du champ électrique appliqué, qui induit un *chirp* et une

réduction du contraste. Ainsi, le spectre optique du signal converti est élargi et le diagramme de l'œil correspondant est fermé, ce qui se traduit par une mauvaise efficacité de conversion, impliquant une forte dégradation du taux d'erreur binaire (ou "TEB").

La présente invention vient améliorer la situation.

Elle propose à cet effet un dispositif convertisseur de longueurs d'onde, notamment pour des applications de télécommunication dans des réseaux en configuration tout optique, comprenant un modulateur à électroabsorption comportant :

- deux entrées pour recevoir respectivement :
 - o un signal de pompe, modulé, à une première longueur d'onde optique λ_p ,
 - o et un signal sonde, modulé, à une seconde longueur d'onde optique λ_s ,
- et une sortie délivrant un signal converti, représentant les modulations du signal de pompe, à ladite seconde longueur d'onde optique λ_s .

Selon une caractéristique de l'invention, le dispositif comporte un filtre passe-bande appliqué en sortie du modulateur à électroabsorption et centré sur une longueur d'onde décalée par rapport à la seconde longueur d'onde λ_s précitée.

La présente invention vise aussi un procédé pour convertir la longueur d'onde d'un signal pompe, notamment pour des applications de télécommunication dans des réseaux en configuration tout optique, dans lequel on applique en entrée d'un modulateur à électroabsorption :

- un signal de pompe, modulé, à une première longueur d'onde optique λ_p ,
 - et un signal sonde, non modulé, à une seconde longueur d'onde optique λ_s ,
- et on récupère un signal converti, représentant les modulations du signal de pompe, sensiblement à ladite seconde longueur d'onde optique λ_s .

Dans le procédé au sens de l'invention, on applique, en sortie du modulateur à électroabsorption, un filtre passe-bande centré sur une longueur d'onde sensiblement décalée par rapport à la seconde longueur d'onde λ_s .

Ainsi, pour améliorer l'efficacité de conversion et réduire alors la pénalité sur le taux d'erreur binaire, la présente invention prévoit un décalage judicieux entre la longueur d'onde à laquelle est centré le filtre et la longueur d'onde porteuse du signal converti λ_s . En effet, en favorisant la transmission de l'une seulement des bandes latérales du spectre du signal converti, on réduit la densité des porteurs contenus dans sa composante non modulée. Ainsi, le diagramme de l'œil est plus ouvert et moins d'erreurs sont présentes. On note alors une amélioration significative de la qualité du signal, pour des débits particulièrement élevés, permettant son utilisation dans les réseaux de télécommunication.

Du fait de l'asymétrie de l'impulsion due au long temps de recouvrement (temps de descente) par rapport au temps de montée, le spectre optique correspondant est asymétrique. En particulier, le *chirp* induit un décalage vers les hautes (basses) fréquences optiques du front montant (descendant) de l'impulsion. On comprendra donc qu'il est plus avantageux de travailler sur l'une des deux bandes.

Ainsi, dans une réalisation de l'invention, le signal en sortie du modulateur présente un spectre comportant un pic principal et des pics secondaires de part et d'autre du pic principal et, selon une caractéristique avantageuse, le filtre possède une bande passante incluant :

- une partie seulement du pic principal, et
- au moins un premier pic secondaire.

Plus précisément, il est plus avantageux de travailler sur la bande latérale droite (dans les basses fréquences, donc dans les hautes longueurs d'onde) car les pics secondaires de modulation sont plus intenses ou moins atténués.

Ainsi, dans une réalisation préférée, la longueur d'onde $\lambda_s + \delta\lambda$ sur laquelle est centrée le filtre est supérieure à ladite seconde longueur d'onde λ_s .

Le décalage $\delta\lambda$ dépend toutefois de la largeur et du profil du filtre. Il dépend aussi, bien entendu, de l'allure du spectre converti (typiquement des intensités relatives du pic principal et des pics secondaires, ainsi que de son élargissement). Par conséquent, le réglage du décalage et de la largeur du filtre sera préférentiellement fonction du débit et/ou du format de modulation RZ ou NRZ, en tenant compte de la distance spectrale entre les canaux.

Ainsi, dans une réalisation dans laquelle le signal pompe comporte une composante binaire à une fréquence d'horloge prédéterminée imposant un débit de télécommunication, le filtre passe-bande comporte des caractéristiques parmi :

- la longueur d'onde à laquelle le filtre est centré,
 - une largeur à mi-hauteur,
 - un gain, et
 - une pente de front montant et/ou descendant de bande passante,
- qui sont ajustables au moins en fonction du débit.

En outre, le dispositif est agencé pour opérer en mode "*remise à zéro*" (RZ) et/ou en mode "*non remise à zéro*" (NRZ), et les caractéristiques précitées du filtre sont adaptées en outre en fonction du mode d'opération.

On indique en effet que le dispositif au sens de l'invention peut être utilisé dans les deux formats RZ et NRZ. D'ailleurs, le fonctionnement du modulateur MEA est transparent pour ces deux formats. On appliquera au MEA le même

réglage des paramètres de puissance optique (pompe, sonde) et de tension de polarisation. Il suffit par contre de régler le filtre en fonction du format. A cet effet, on choisit avantageusement un filtre accordable. Un profil préféré du filtre est de type plat, sans toutefois exclure la possibilité d'avoir recours à des filtres de profils différents (gaussiens ou autres).

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée ci-après, donnant quelques exemples de réalisation à titre non limitatif, en référence aux dessins annexés sur lesquels, outre les figures 1A, 1B, 2A, 2B, 3A et 3B relatives à l'art antérieur :

- la figure 4 illustre schématiquement les éléments du dispositif au sens de l'invention,
- la figure 5 illustre à titre d'exemple l'allure du profil spectral du filtre au sens de l'invention, à comparer avec l'allure spectrale du signal en sortie du modulateur MEA et avant son filtrage,
- la figure 6 illustre une comparaison de mesures de taux binaires TEB en fonction de la puissance reçue PR, en appliquant un filtre centré à la longueur d'onde sonde λ_s (triangles) et en appliquant un filtre décalé au sens de l'invention (croix),
- les figures 7A et 7B représentent respectivement la séquence et le diagramme de l'œil mesurés en appliquant un filtre centré sur la longueur d'onde sonde λ_s , tandis que les figures 7C et 7D représentent respectivement la séquence et le diagramme de l'œil mesurés en appliquant un filtre décalé au sens de l'invention,
- les figures 8A à 8D sont des diagrammes temps/fréquences qui illustrent l'effet d'un filtrage au sens de l'invention sur la conversion qu'effectue le MEA.

En référence à la figure 4, on utilise, au sens de l'invention, à la fois un modulateur à électroabsorption MEA et un filtre passe-bande FPB judicieusement réglé et préférentiellement placé après un circulateur CIR. On

injecte simultanément dans le modulateur MEA (auquel on applique classiquement une tension négative pour le polariser en inverse) :

- le signal sonde SS (continu), de longueur d'onde λ_s et provenant d'une source laser LAS préférentiellement accordable en longueurs d'onde, et
- le signal pompe SP (modulé), de longueur d'onde λ_p .

Le circulateur CIR du dispositif selon l'invention est interposé entre le modulateur MEA et le filtre passe-bande FBP, de manière à injecter le signal pompe SP dans le modulateur MEA en mode contra propagatif par rapport au signal sonde SS. Grâce au circulateur CIR, le signal sonde converti SC est récupéré en sortie du modulateur MEA. Ce signal SC est alors appliqué au filtre passe-bande FBP pour délivrer finalement le signal converti et filtré SCF. Le filtre FBP est avantageusement accordable au moins en position spectrale, en gain et en largeur à mi-hauteur. En outre, au moins un contrôleur de polarisation POL est avantageusement prévu à l'une au moins des entrées du modulateur MEA, en particulier si ce dernier est sensible à la polarisation.

En se référant maintenant à la figure 5, le spectre du signal converti SC, en sortie du modulateur MEA, présente :

- un pic principal PPR à la longueur d'onde sonde λ_s
- des pics secondaires PS1, PS2, etc, à des longueurs d'onde supérieures à λ_s
- et des pics secondaires PS'1, PS'2, etc, à des longueurs d'onde inférieures.

En particulier, la figure 5 représente bien le front de montée de la bande passante BP du filtre à cheval sur le pic principal PPR. Le plateau BP du filtre (de profil plat dans l'exemple représenté) inclut ensuite les pics secondaires PS1, PS2, etc, dans les longueurs d'onde supérieures à la longueur d'onde

sonde λ_s . La largeur de bande du filtre est choisie ensuite de manière à couper le bruit de fond BDF, pour des longueurs d'onde encore supérieures.

Dans l'exemple représenté, la longueur d'onde sonde λ_s est voisine de 1560,3 nm.

On présente maintenant les résultats obtenus lors de la conversion d'un signal à un débit de 40 Gbit/s, en mode RZ, avec $\lambda_p = 1553,3$ nm et $\lambda_s = 1560$ nm, en référence à la figure 6.

Avec un filtre de mêmes caractéristiques mais centré sur la longueur d'onde de la sonde λ_s , on relève une pénalité de 6,5 dB sur la mesure du TEB (triangles de la figure 6). En observant la séquence (figure 7A), on note que les "1" ne reviennent pas à "0" comme attendu, car le temps de recouvrement est relativement long, ce qui induit un diagramme de l'œil NRZ au lieu RZ (figure 7B). On a représenté le diagramme de l'œil du signal pompe en entrée du dispositif sous celui du signal converti et filtré.

Au sens de l'invention, en positionnant la bande passante du filtre avec un décalage de +0,3 nm vers les grandes longueurs d'onde (soit 37,5 GHz vers les basses fréquences) par rapport à la longueur d'onde sonde λ_s , on réduit l'écart en intensité entre le pic principal PPR et les pics secondaires PS1, PS2. La pénalité sur la mesure du TEB est alors réduite à 1,8 dB (croix de la figure 6). Affranchis des porteurs "*lents*", les "1" reviennent mieux à "0" sur la séquence de la figure 7C et le diagramme de l'œil est bien celui d'un signal RZ (partie supérieure de la figure 7D). Le signal converti et ainsi filtré au sens de l'invention présente un bon rapport signal/bruit optique (environ 42 dB).

Préférentiellement, pour un débit de 40 Gbit/s et en mode "*retour à zéro*" :

- le filtre est centré sur une longueur d'onde supérieure et décalée d'environ $\delta\lambda = +0,3$ nm par rapport à la longueur d'onde de la sonde λ_s ,
- et sa largeur à mi-hauteur est d'environ 0,8 nm.

Ces dispositions notamment permettent de configurer le filtre de manière à imposer une atténuation d'environ 7dB entre le pic principal PPR et le premier pic secondaire PS1 dans le signal SCF en sortie du filtre, alors que le rapport d'intensités entre le pic principal et un premier pic secondaire du signal SC directement en sortie du modulateur MEA peut être de l'ordre de 15dB.

De la même façon, des mesures de conversion en mode NRZ à 40 Gbit/s ont été effectuées. Une réduction de la pénalité sur le TEB correspondant à une amélioration de la qualité du diagramme de l'oeil a aussi été obtenue. Le point de fonctionnement en mode NRZ du modulateur MEA est identique à celui en mode RZ.

Préférentiellement, pour un débit de 40 Gbit/s et en mode "*non retour à zéro*" :

- le filtre est centré sur une longueur d'onde supérieure et décalée d'environ $\delta\lambda = +0,2$ nm par rapport à la longueur d'onde sonde λ_s ,
- et sa largeur à mi-hauteur est d'environ 0,6 nm.

Le principe de conversion au sens de l'invention est simple et peu coûteux. Le modulateur MEA est bien adapté aux très hauts débits (40 Gbit/s et plus), alors que l'amplificateur SOA notamment en XGM est limité à une gamme de 20 à 40 Gbit/s du fait du temps de recombinaison des porteurs.

On indique qu'un modulateur SOA utilisant aussi un filtre passe-bande décalé a été décrit dans :

"Polarity-preserving SOA-based wavelength conversion at 40 Gbit/s using bandpass filtering" ML Nielsen, B Lavigne et B Dagens, dans Electronics Letters, Vol. 39 N°18, 4 septembre 2003.

Néanmoins, l'adjonction d'un tel filtre dans ce dispositif à base de SOA a pour vocation de rétablir la polarité du signal qui a été inversée lors de la conversion de longueur d'onde opérée par le SOA. Le filtrage, à cet effet, a pour but de limiter la composante continue DC du signal et de favoriser plutôt sa polarité (écart entre les niveaux haut et bas). Cette structure à base de SOA reste néanmoins très sensible à la longueur d'onde. En outre, il reste difficile d'aller au-delà de la gamme de débits 20-40 Gbit/s.

Le but du filtrage au sens de l'invention dans un dispositif à base de MEA est différent. Il permet en particulier de surmonter le problème indiqué ci-avant, lié au temps de recouvrement de l'absorption à haut débit et, ainsi, d'augmenter le temps de réponse du MEA.

En référence aux figures 8A à 8D, l'utilisation d'un filtre passe-bande dans une structure à base de MEA permet de limiter, voire de supprimer l'interférence inter-symboles et d'améliorer le taux d'extinction. La situation idéale (typiquement un MEA à bas débit) est illustrée sur la figure 8A où, à titre d'exemple, le signal pompe présente la succession de bits 1, 1, 0, 1. Les symboles correspondants issus de la conversion par le MEA (représentés par des hachures) sont bien séparés dans le temps (périodes T_{bit}) et leurs fréquences (ordonnées de la figure 8A) sont bien réparties symétriquement par rapport à l'axe des temps (abscisses). En revanche, à haut débit (figure 8B), du fait du temps de recouvrement de l'absorption, la récupération de l'absorption, pour passer d'un bit 1 à un bit 0, est lente (inertie due aux porteurs photogénérés) et induit un décalage vers les basses fréquences, tandis que la décroissance de l'absorption (passage d'un bit 0 à un bit 1) est rapide et induit un décalage vers les hautes fréquences. Les fréquences des

symboles ne sont plus réparties symétriquement par rapport à l'axe des temps et il se crée une interférence inter-symboles due à ce temps de recouvrement de l'absorption (zones délimitées par des traits pointillés sur la figure 8B). En référence à la figure 8C, le filtre passe-bande dans le contexte de l'invention atténue les parties hachurées du spectre de fréquences de part et d'autre du centre du filtre F_s , préférentiellement décalé vers les basses fréquences ($F_s - \delta F$) ou les grandes longueurs d'onde ($\lambda_s + \delta \lambda$) par rapport à longueur d'onde du signal sonde. Il s'en suit alors, en référence à la figure 8D, des symboles sans recouvrement (de largeur spectrale réduite) et sans risque d'interférence inter-symbole.

Ainsi, même si la structure passe-bande du filtre dans la référence ci-dessus Nielsen et al est similaire à celle au sens de l'invention, les phénomènes en jeu sont différents. Dans Nielsen et al, le filtre est conçu pour rétablir la polarité des données (inversée par le SOA) et le filtre est donc optimisé pour garder le moins d'énergie possible pour les bits 0 ("data OFF" de la figure 2) et le plus d'énergie pour les bits 1 ("data ON"). Par conséquent, il est décalé de façon importante (1,5 fois le débit environ). Sa bande passante est relativement étroite (0,22 nm de large) par rapport à la largeur du signal à 40 Gbit/s.

Dans la structure de l'invention, le filtre est conçu pour supprimer l'interférence entre symboles et pour couper la plus petite partie du signal possible afin que les symboles ne se chevauchent plus (figure 8D). Le pic central n'est, de préférence, pas atténué afin de préserver au mieux l'énergie du signal. Pour ce faire, il est faiblement décalé (environ une fois le débit) et possède surtout un spectre beaucoup plus large que dans la mise en œuvre à base de SOA (préférentiellement 0,8 nm de large à 40 Gbit/s).

Typiquement, avec un modulateur MEA adapté pour un débit de 40 Gbit/s mais en appliquant un filtre passe-bande décalé au sens de l'invention, il est possible d'effectuer une conversion de longueur d'onde jusqu'à un débit de

160 Gbit/s ou plus encore, en assurant une bonne efficacité de conversion et une faible pénalité de TEB.

Ainsi, le dispositif au sens de l'invention est capable d'opérer sur une gamme de débits s'étendant jusqu'à au moins 160 Gbit/s. Les caractéristiques du filtre passe-bande, à ce débit, se déduisent de celles fixées à 40 Gbit/s, en multipliant d'autant le décalage $\delta\lambda$ et la largeur à mi-hauteur. Typiquement, pour un débit de 160 Gbit/s en mode RZ :

- le filtre est centré sur une longueur d'onde supérieure et décalée d'environ $\delta\lambda = +1,20$ nm par rapport à la longueur d'onde de la sonde λ_s ,
- et sa largeur à mi-hauteur est d'environ 3,2 nm.

En définitive, le filtre passe-bande appliqué en sortie du modulateur à électroabsorption est centré sur une longueur d'onde sensiblement décalée par rapport à la seconde longueur d'onde λ_s .

En des termes plus généraux, on comprendra que pour adapter les caractéristiques du filtre d'un premier débit vers un second débit, il suffit d'ajuster au moins :

- le décalage entre la longueur d'onde à laquelle le filtre est centré et la seconde longueur d'onde λ_s ,
- et la largeur à mi-hauteur du filtre,

en leur appliquant un rapport correspondant à un rapport du second débit sur le premier débit.

Revendications

1. Dispositif convertisseur de longueurs d'onde, notamment pour des applications de télécommunication dans des réseaux en configuration tout optique, comprenant un modulateur à électroabsorption comportant :

- deux entrées pour recevoir respectivement :
 - o un signal de pompe, modulé, à une première longueur d'onde optique λ_p ,
 - o et un signal sonde, non modulé, à une seconde longueur d'onde optique λ_s ,
- et une sortie délivrant un signal converti, représentant les modulations du signal de pompe, à ladite seconde longueur d'onde optique λ_s ,
caractérisé en ce qu'il comporte en outre un filtre passe-bande appliqué en sortie du modulateur à électroabsorption et centré sur une longueur d'onde décalée par rapport à la seconde longueur d'onde λ_s .

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que la sortie du modulateur présente un spectre comportant un pic principal et des pics secondaires de part et d'autre du pic principal, et en ce que le filtre possède une bande passante incluant :

- une partie seulement du pic principal, et
- au moins un premier pic secondaire.

3. Dispositif selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que la longueur d'onde $\lambda_s + \delta\lambda$ sur laquelle est centrée le filtre est supérieure à ladite seconde longueur d'onde λ_s .

4. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le signal pompe comporte une composante binaire à une fréquence d'horloge prédéterminée imposant un débit de télécommunication, et en ce que le filtre passe-bande comporte des caractéristiques parmi :

- la longueur d'onde à laquelle le filtre est centré,
 - une largeur à mi-hauteur,
 - un gain, et
 - une pente de front montant et/ou descendant de bande passante,
- ajustables au moins en fonction du débit.

5. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce que le dispositif est agencé pour opérer sur une gamme de débits s'étendant jusqu'à au moins 160 Gbit/s.

6. Dispositif selon l'une des revendications 4 et 5, caractérisé en ce que le dispositif est agencé pour opérer en mode "remise à zéro" et/ou en mode "non remise à zéro", et en ce que les caractéristiques du filtre sont adaptées en outre en fonction du mode d'opération.

7. Dispositif selon la revendication 6, prise en combinaison avec la revendication 2, caractérisé en ce que, en mode "remise à zéro", le filtre est configuré pour imposer une atténuation d'environ 7 dB entre le pic principal et le premier pic secondaire dans un signal de sortie du filtre.

8. Dispositif selon l'une des revendications 4 et 5, prises en combinaison avec l'une des revendications 6 et 7, caractérisé en ce que, pour un débit de 40 Gbit/s et en mode "retour à zéro" :

- le filtre est centré sur une longueur d'onde supérieure et décalée d'environ $\delta\lambda = +0,3$ nm par rapport à la seconde longueur d'onde λ_s ,
- et sa largeur à mi-hauteur est d'environ 0,8 nm.

9. Dispositif selon l'une des revendications 4 et 5, prises en combinaison avec l'une des revendications 6 et 7, caractérisé en ce que, pour un débit de 40 Gbit/s et en mode "non retour à zéro" :

- le filtre est centré sur une longueur d'onde supérieure et décalée d'environ $\delta\lambda = +0,2$ nm par rapport à la seconde longueur d'onde λ_s ,
- et sa largeur à mi-hauteur est d'environ 0,6 nm.

10. Dispositif selon l'une des revendications 4 à 9, caractérisé en ce que, pour adapter les caractéristiques du filtre d'un premier débit vers un second débit, on ajuste au moins :

- le décalage entre la longueur d'onde à laquelle le filtre est centré et la seconde longueur d'onde λ_s ,
- et la largeur à mi-hauteur du filtre,

en leur appliquant un rapport correspondant à un rapport du second débit sur le premier débit.

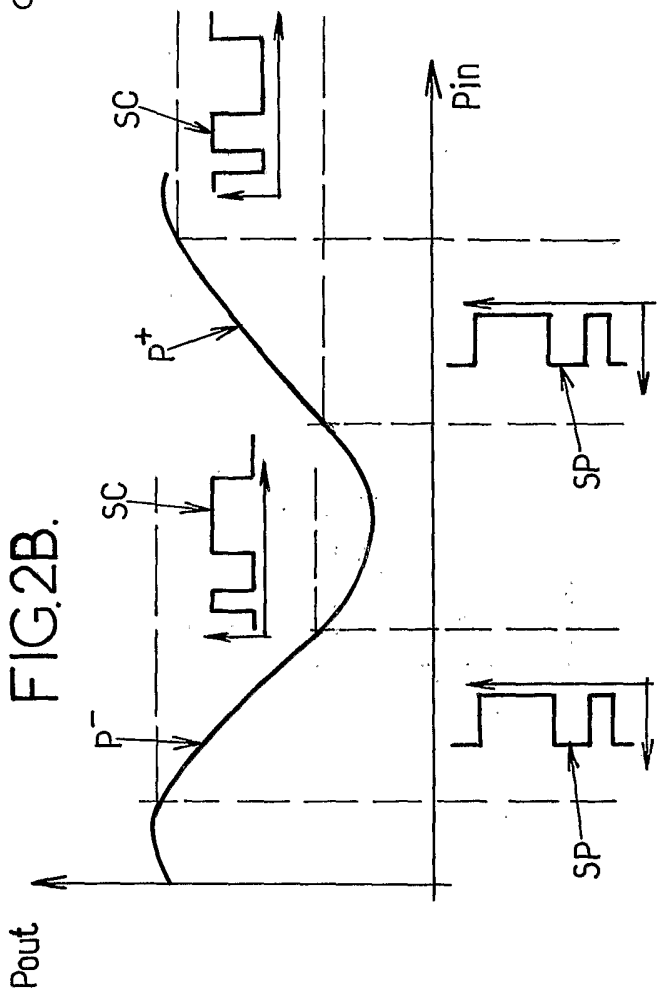
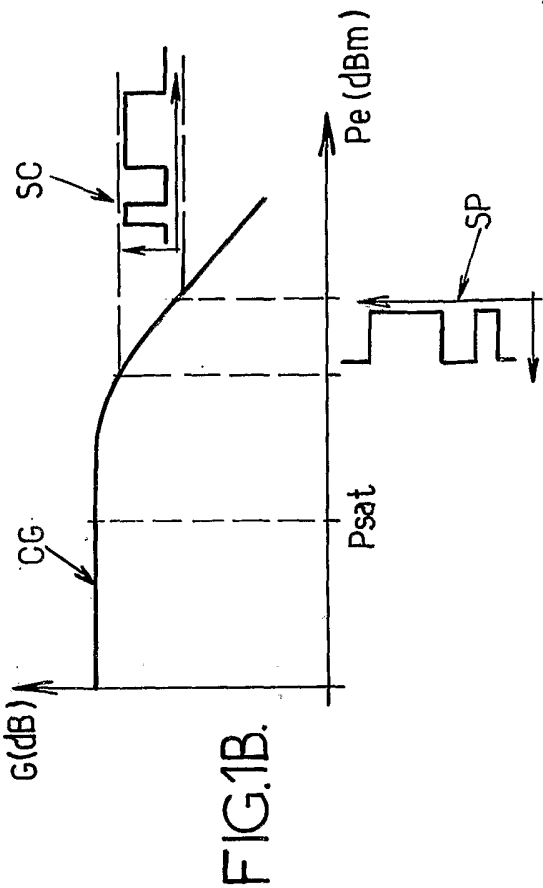
11. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte en outre un circulateur, interposé entre le modulateur à électroabsorption et le filtre passe-bande et propre à injecter le signal pompe dans le modulateur en mode contra propagatif par rapport au signal sonde.

12. Procédé pour convertir la longueur d'onde d'un signal pompe, notamment pour des applications de télécommunication dans des réseaux en configuration toute optique, dans lequel on applique en entrée d'un modulateur à électroabsorption :

- un signal de pompe, modulé, à une première longueur d'onde optique λ_p ,
- et un signal sonde, relativement continu, à une seconde longueur d'onde optique λ_s ,

et on récupère un signal converti, représentant les modulations du signal de pompe, sensiblement à ladite seconde longueur d'onde optique λ_s ,

caractérisé en ce que l'on applique, en sortie du modulateur à électroabsorption, un filtre passe-bande centré sur une longueur d'onde sensiblement décalée par rapport à la seconde longueur d'onde λ_s .



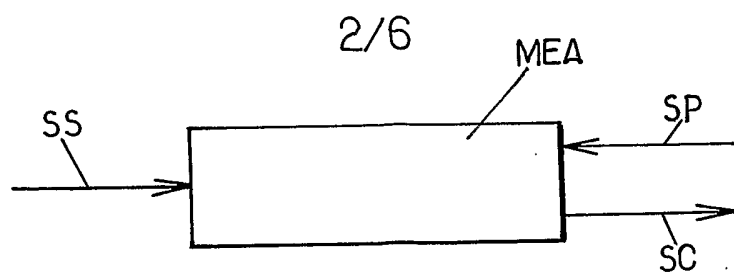


FIG.3A.

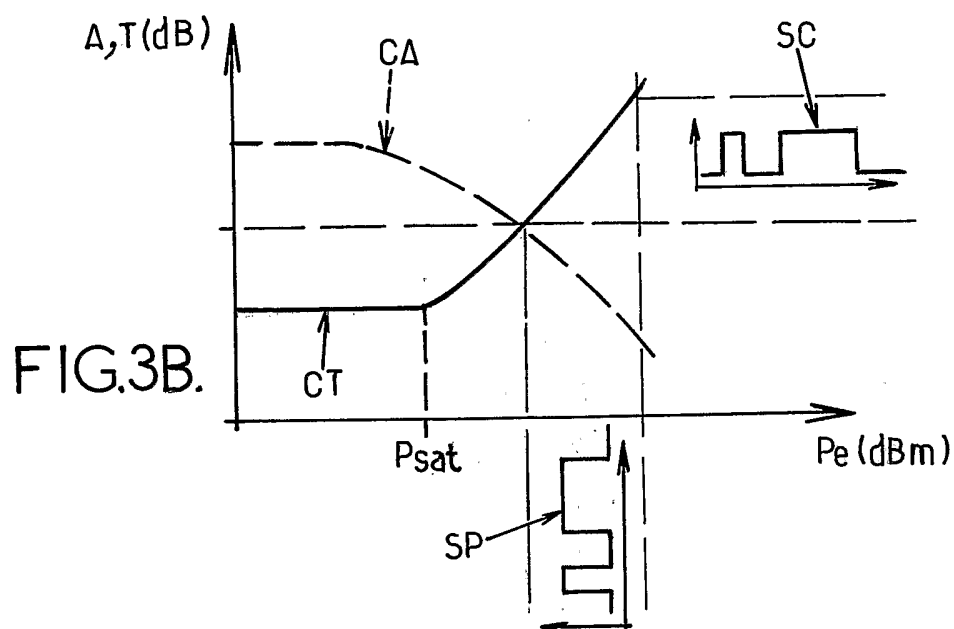


FIG.3B.

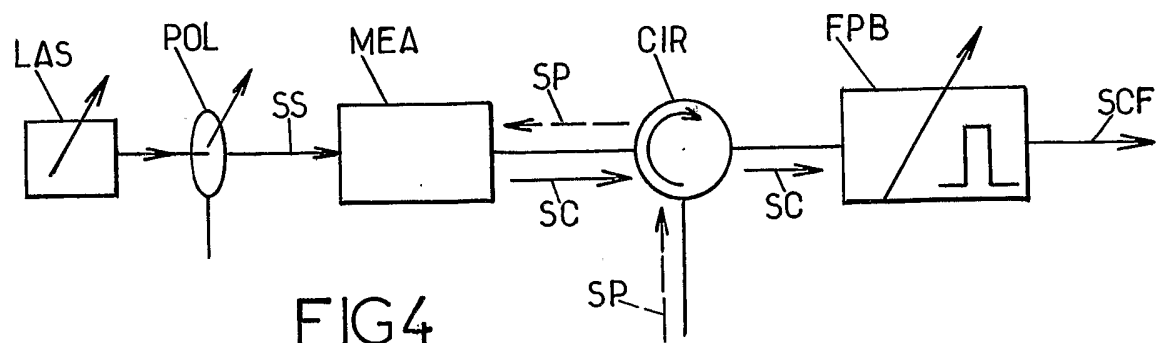
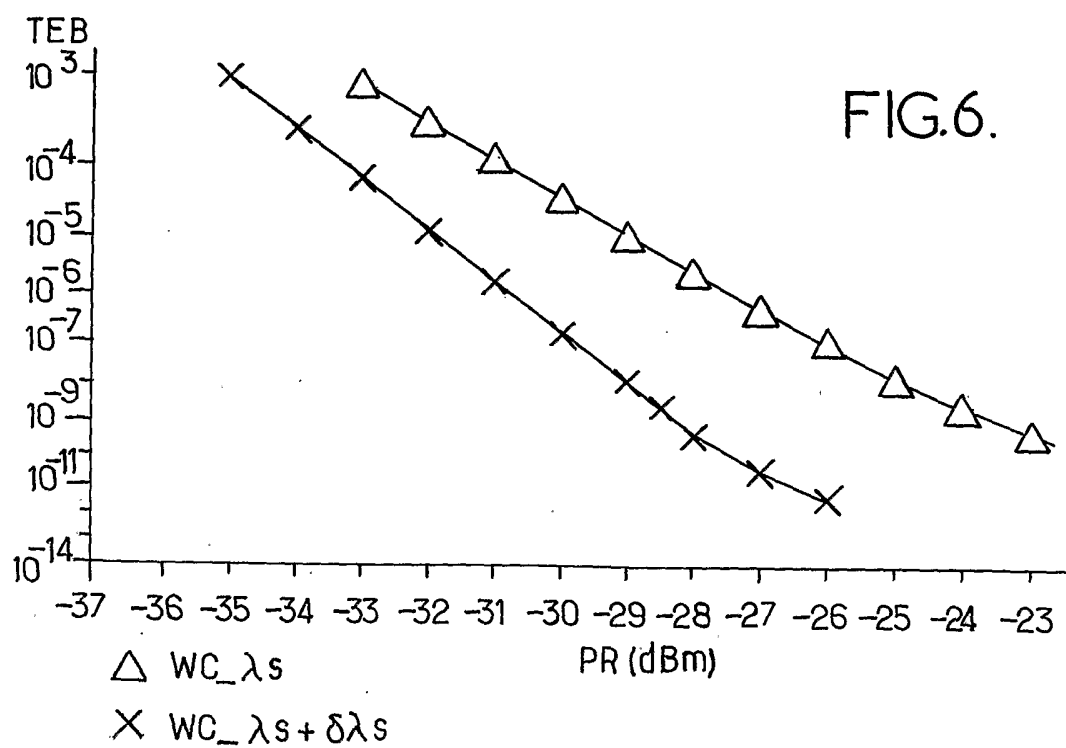
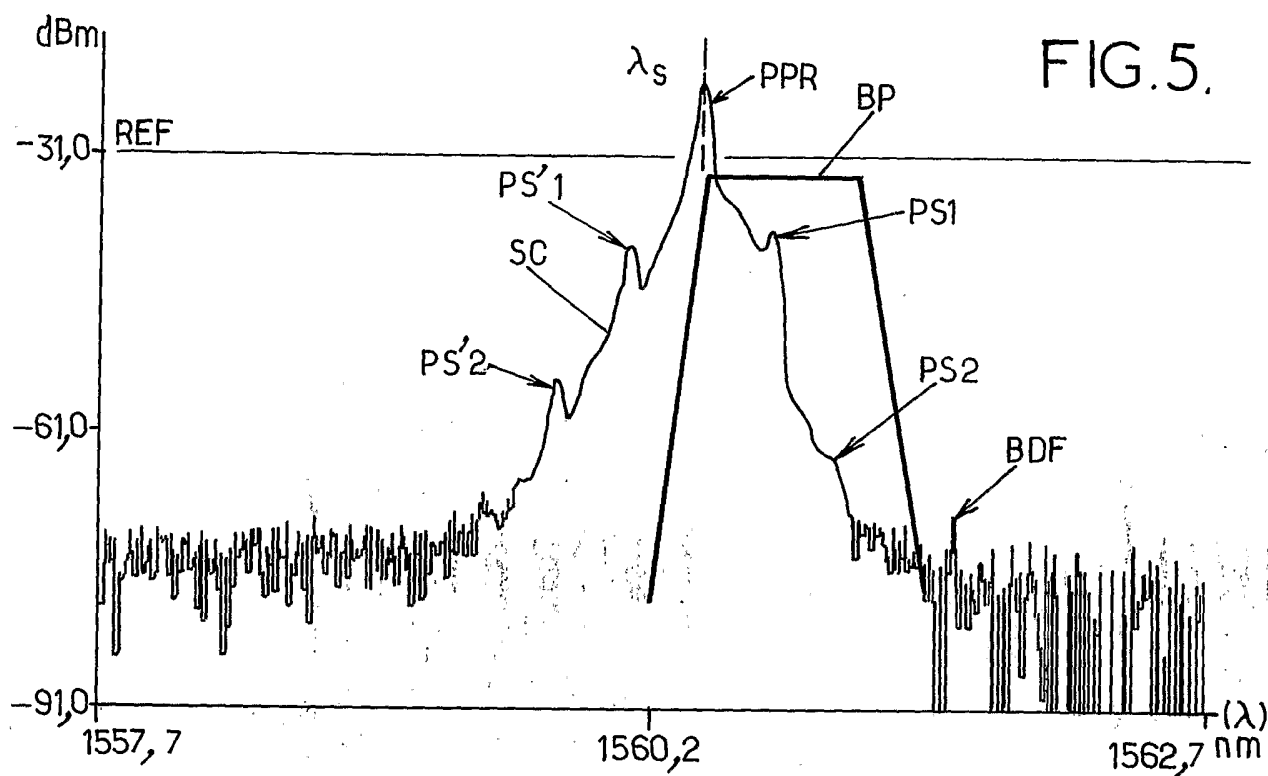


FIG.4

3/6



4/6

FIG.7A.

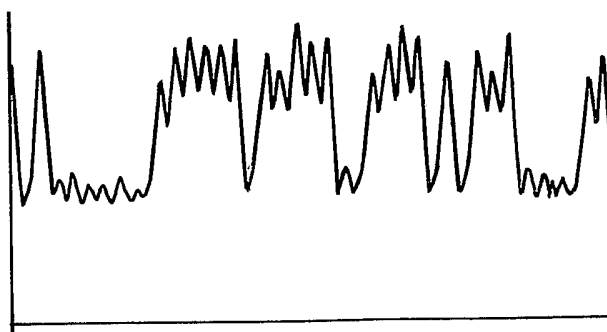


FIG.7B.

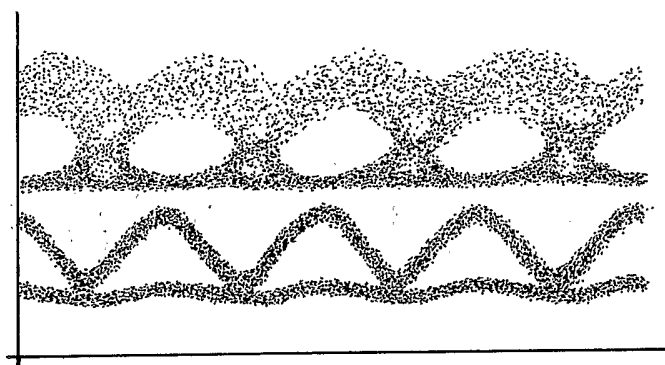


FIG.7C.

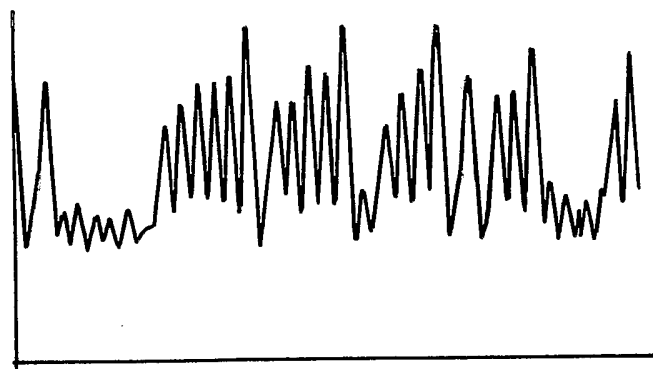
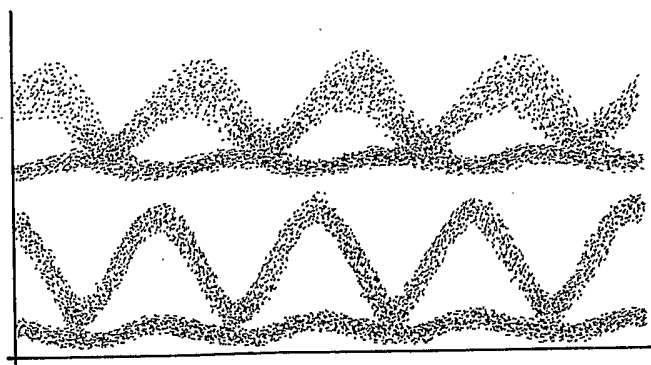
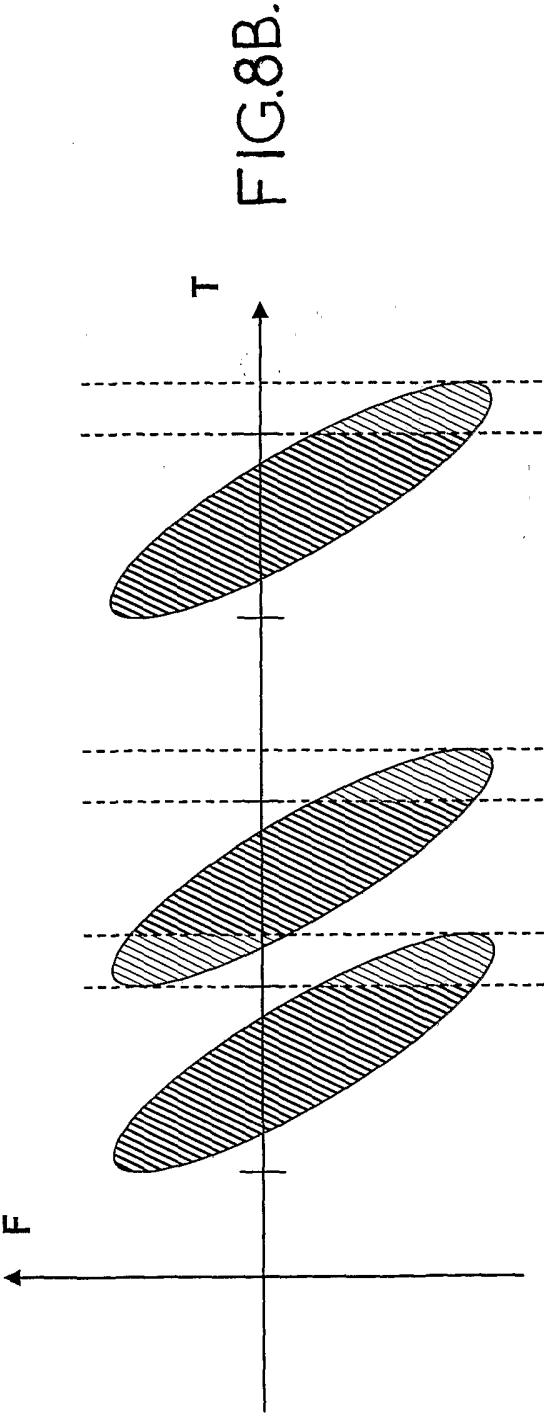
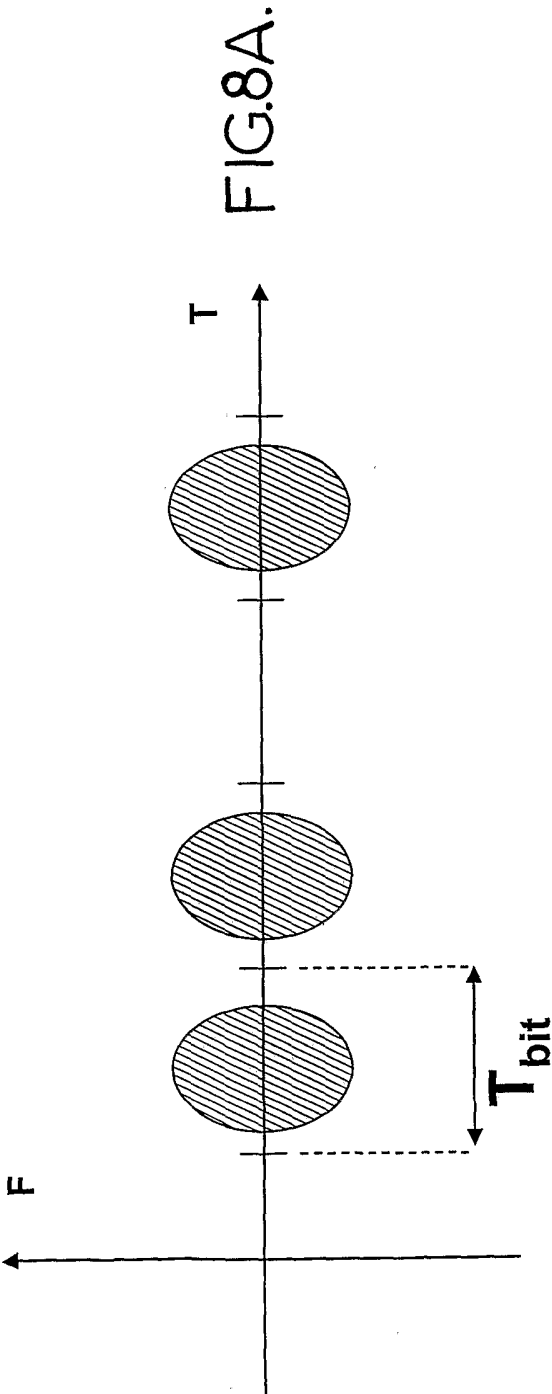
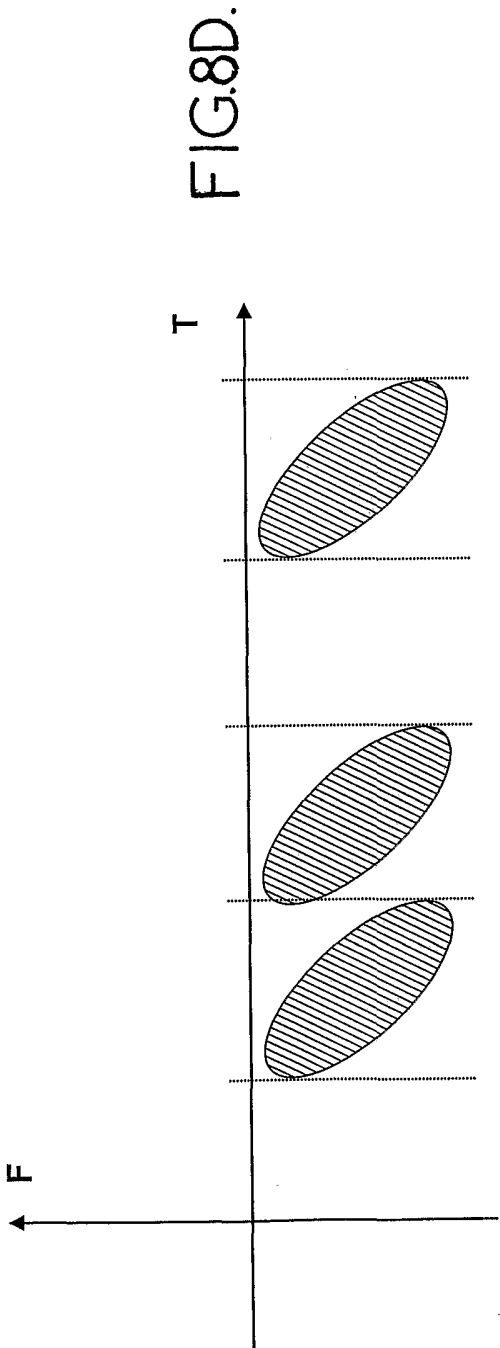
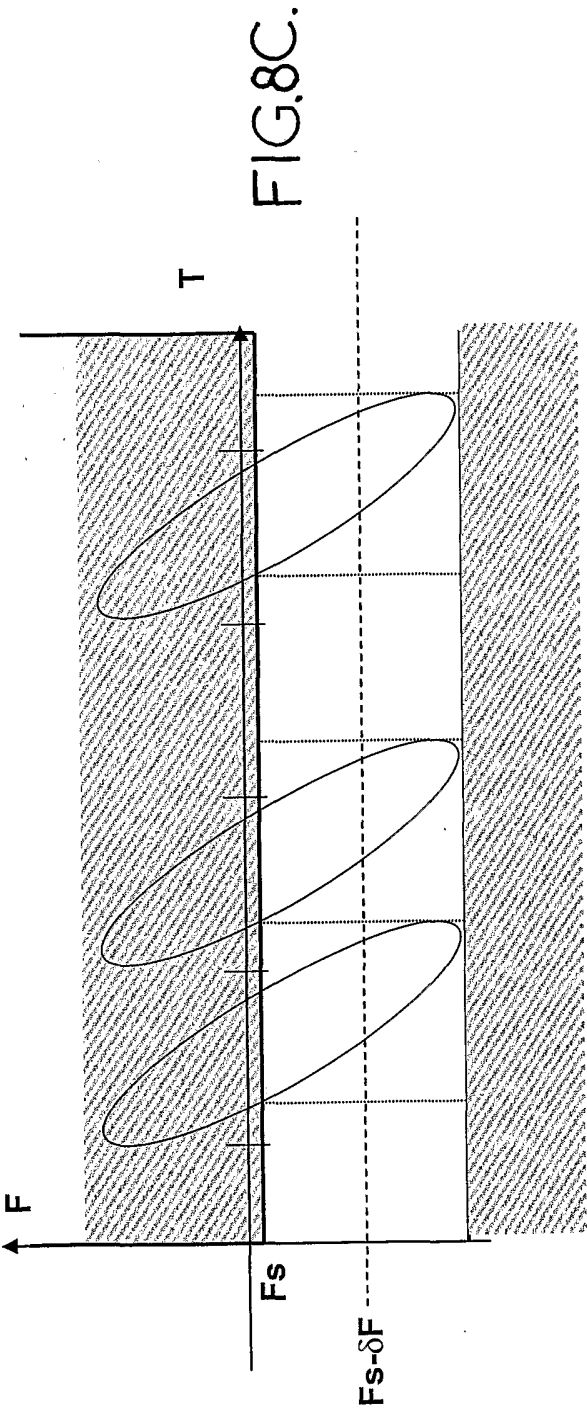


FIG.7D.







INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2006/000117

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. G02F2/00 G02F1/17

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)
 G02F

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

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

EPO-Internal, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6 323 992 B1 (UENO YOSHIYASU) 27 November 2001 (2001-11-27) column 1, line 1 - line 9 column 3, line 41 - column 4, line 43 column 5, line 12 - line 19 column 6, line 33 - line 62	1,4-6, 11,12
A	NIELSEN M L ET AL: "Polarity-preserving SOA-based wavelength conversion at 40 Gbit/s using bandpass filtering" ELECTRONICS LETTERS, IEE STEVENAGE, GB, vol. 39, no. 18, 4 September 2003 (2003-09-04), pages 1334-1335, XP006020931 ISSN: 0013-5194 cited in the application the whole document	1-12

 -/--

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *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)
- *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

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

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

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.

G document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

11 April 2006

Date of mailing of the international search report

02/05/2006

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Bouba1, F

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2006/000117

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EDAGAWA N ET AL: "NOVEL WAVELENGTH CONVERTER USING AN ELECTROABSORPTION MODULATOR" IEICE TRANSACTIONS ON ELECTRONICS, INSTITUTE OF ELECTRONICS INFORMATION AND COMM. ENG. TOKYO, JP, vol. E81-C, no. 8, August 1998 (1998-08), pages 1251-1257, XP000848529 ISSN: 0916-8524 cited in the application the whole document	1-12
A	CHO P S ET AL: "RZ wavelength conversion with reduced power penalty using a semiconductor-optical-amplifier/fiber-grating hybrid device" IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS IEEE USA, vol. 10, no. 1, January 1998 (1998-01), pages 66-68, XP002343527 ISSN: 1041-1135 the whole document	1-3,6,8,12
A	DAHDAH EL N ET AL: "ULTRAFAST INGAAS/INGAALAS MULTIPLE-QUANTUM-WELL ELECTRO-ABSORPTION MODULATOR FOR WAVELENGTH CONVERSION AT HIGH BIT RATES" APPLIED PHYSICS LETTERS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, vol. 84, no. 21, 24 May 2004 (2004-05-24), pages 4268-4270, XP001220839 ISSN: 0003-6951 the whole document	1,12
A	OLSSON B-E ET AL: "A SIMPLE AND ROBUST 40-GB/S WAVELENGTH CONVERTER USING FIBER CROSS-PHASE MODULATION AND OPTICAL FILTERING" IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 12, no. 7, July 2000 (2000-07), pages 846-848, XP000968684 ISSN: 1041-1135 the whole document	1,2,8,12

Information on patent family members

PCT/FR2006/000117

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6323992 B1	27-11-2001	JP 3439345 B2 JP 2000019574 A	25-08-2003 21-01-2000

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2006/000117

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
 INV. G02F2/00 G02F1/17

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

G02F

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 6 323 992 B1 (UENO YOSHIYASU) 27 novembre 2001 (2001-11-27) colonne 1, ligne 1 - ligne 9 colonne 3, ligne 41 - colonne 4, ligne 43 colonne 5, ligne 12 - ligne 19 colonne 6, ligne 33 - ligne 62	1, 4-6, 11, 12
A	NIELSEN M L ET AL: "Polarity-preserving SOA-based wavelength conversion at 40 Gbit/s using bandpass filtering" ELECTRONICS LETTERS, IEE STEVENAGE, GB, vol. 39, no. 18, 4 septembre 2003 (2003-09-04), pages 1334-1335, XP006020931 ISSN: 0013-5194 cité dans la demande le document en entier	1-12

-/--

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- *A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- *E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- *L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- *O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- *P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

T document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

X document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

Y document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

& document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

11 avril 2006

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

02/05/2006

 Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
 Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Boubal, F

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2006/000117

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	EDAGAWA N ET AL: "NOVEL WAVELENGTH CONVERTER USING AN ELECTROABSORPTION MODULATOR" IEICE TRANSACTIONS ON ELECTRONICS, INSTITUTE OF ELECTRONICS INFORMATION AND COMM. ENG. TOKYO, JP, vol. E81-C, no. 8, août 1998 (1998-08), pages 1251-1257, XP000848529 ISSN: 0916-8524 cité dans la demande le document en entier -----	1-12
A	CHO P S ET AL: "RZ wavelength conversion with reduced power penalty using a semiconductor-optical-amplifier/fiber-grating hybrid device" IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS IEEE USA, vol. 10, no. 1, janvier 1998 (1998-01), pages 66-68, XP002343527 ISSN: 1041-1135 le document en entier -----	1-3,6,8,12
A	DAHDAH EL N ET AL: "ULTRAFAST INGAAS/INGAALAS MULTIPLE-QUANTUM-WELL ELECTRO-ABSORPTION MODULATOR FOR WAVELENGTH CONVERSION AT HIGH BIT RATES" APPLIED PHYSICS LETTERS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, vol. 84, no. 21, 24 mai 2004 (2004-05-24), pages 4268-4270, XP001220839 ISSN: 0003-6951 le document en entier -----	1,12
A	OLSSON B-E ET AL: "A SIMPLE AND ROBUST 40-GB/S WAVELENGTH CONVERTER USING FIBER CROSS-PHASE MODULATION AND OPTICAL FILTERING" IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 12, no. 7, juillet 2000 (2000-07), pages 846-848, XP000968684 ISSN: 1041-1135 le document en entier -----	1,2,8,12

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

PCT/FR2006/000117

Formulaire PCT/ISA/210 (annexe familles de brevets) (avril 2005)