

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 06.11.14.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 11.03.16 Bulletin 16/10.

56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES — FR.

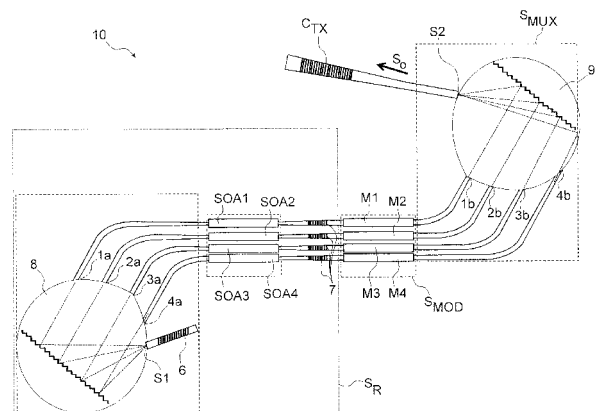
72 Inventeur(s) : SCIANCALEPORE CORRADO, HASSAN KARIM, DUPREZ HELENE, BEN BAKIR BADHISE et MENEZO SYLVIE.

73 Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES.

74 Mandataire(s) : BREVALEX Société à responsabilité limitée.

54 SOURCE LASER MULTI-LONGUEURS D'ONDE AUTO-ALIGNEE ET EMETTEUR-RECEPTEUR INTEGRANT UNE TELLE SOURCE.

57 L'invention propose une source laser (10) d'un signal optique (So) multiplexé en longueur d'ondes, comprenant :
un premier multiplexeur en longueur d'ondes (8) comprenant un ensemble de ports d'entrée (1a, 2a, 3a, 4a) associé à un port de sortie (S1),
un deuxième multiplexeur en longueur d'ondes (9) identique au premier multiplexeur (8), comprenant un ensemble de ports d'entrée (1b, 2b, 3b, 4b),
un réflecteur optique (6) sur un chemin optique associé au port de sortie (S1) du premier multiplexeur,
un réseau de chemins optiques d'entrée présentant chacun une première extrémité couplée à un port d'entrée (1a, 2a, 3a, 4a) du premier multiplexeur (8) et une seconde extrémité couplée à un port d'entrée (1b, 2b, 3b, 4b) du deuxième multiplexeur (9), et
un amplificateur optique (SOA1, SOA2, SOA3, SOA4) et un réflecteur optique partiel (7) agencés sur chaque chemin optique d'entrée de manière à ce que le réflecteur optique (6) sur le premier chemin optique de sortie et le réflecteur optique partiel (7) sur le chemin optique d'entrée définissent entre eux, et en association avec l'amplificateur optique, une cavité laser.



SOURCE LASER MULTI-LONGUEURS D'ONDE AUTO-ALIGNÉE ET ÉMETTEUR-RÉCEPTEUR INTÉGRANT UNE TELLE SOURCE

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

Le domaine de l'invention est celui de la photonique. L'invention concerne les communications optiques multiplexées en longueurs d'onde, et plus particulièrement une source laser multi-longueurs d'onde.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

Lorsque l'on souhaite réaliser une source multiplexée en longueurs d'onde, la solution couramment implémentée est celle représentée en figure 1.

Une barrette 1 de lasers émettant chacun un signal optique à une longueur d'onde différente $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_9$ est couplée aux N entrées $e_{-4}, \dots, e_0, \dots, e_4$ d'un multiplexeur en longueurs d'onde 2 qui permet de combiner les longueurs d'onde sur une seule sortie s_0 , dite à l'ordre m.

Lorsque l'on souhaite que chacune des longueurs d'onde soit modulée afin notamment d'atteindre des débits de transmission plus élevés, on peut prévoir une barrette 3 de modulateurs entre la barrette 1 de lasers et le multiplexeur 2, chaque modulateur venant moduler la lumière d'un laser de la barrette.

Le multiplexeur en longueurs d'onde présente l'avantage, par rapport à un simple combineur de puissance, par exemple un coupleur en étoile, N entrées sur 1 sortie, de présenter de faibles pertes d'insertion. Mais le multiplexeur en longueurs d'onde est sélectif en longueurs d'onde. La figure 2 représente ainsi la réponse spectrale d'une entrée $e_{-4}, \dots, e_0, \dots, e_4$ vers la sortie multiplexée s_0 du multiplexeur en longueur d'ondes.

Il est donc nécessaire lorsque l'on combine les longueurs d'onde émises par la barrette de lasers, d'aligner proprement ces dernières sur le filtre en longueurs d'onde constitué par le multiplexeur en longueurs d'onde. La figure 3 représente à cet égard le peigne d'émission de la barrette de lasers. La figure 4a illustre le cas d'un bon alignement

du peigne d'émission de la barrette de lasers avec la réponse spectrale (filtre en longueur d'ondes) du multiplexeur. La figure 4b illustre *a contrario* le cas d'un mauvais alignement des longueurs d'ondes émises par la barrette de lasers avec la réponse spectrale du multiplexeur.

5 Cet alignement spectral entre composants actifs (lasers, modulateurs) et composants passifs (multiplexeurs) s'avère ainsi indispensable pour permettre une transmission efficace des signaux optiques. Mais on constate souvent un mauvais alignement qui est dû aux incertitudes de fabrication qui sont incontournables, ainsi qu'aux variations de température.

10 Aujourd'hui, l'alignement spectral est réalisé par injection de porteurs et/ou par le contrôle en température des différents composants. Cette approche est intrinsèquement impactée par le fait qu'il faut implémenter des électroniques d'asservissement du couplage spectral entre composants. Il en découle un budget thermique et une consommation énergétique onéreux, puisqu'il faut toujours assurer un
15 contrôle actif du couplage spectral entre composants.

On cherche donc à réaliser une source optique multi longueurs d'onde auto-alignée en ce sens que les longueurs d'onde laser sont alignées de façon intrinsèque avec la réponse spectrale du multiplexeur en longueurs d'onde, sans avoir à implémenter une quelconque méthode d'asservissement de l'alignement spectral.

20 Une source laser multi longueur d'ondes auto-alignée, connue par exemple du brevet US 6,055,250, est représentée sur la figure 5. Cette source comprend :

- un multiplexeur en longueur d'ondes 2 comprenant un ensemble de ports d'entrée associé à un port de sortie prévu pour collecter la combinaison de signaux optiques couplés aux ports d'entrée ;
- 25 - un guide d'ondes de sortie associé au port de sortie du multiplexeur et disposant d'un réflecteur optique partiel 5 non sélectif en longueur d'ondes ;
- un réseau de guides d'ondes d'entrée, chaque guide d'ondes d'entrée étant couplé à un port d'entrée, et disposant d'un amplificateur optique SOA (SOA pour *Semiconductor Optical Amplifier*) et d'un réflecteur optique total 4 (sélectif ou non
30 en longueur d'onde) agencés de manière à ce que le réflecteur optique 5 du guide

d'ondes de sortie et le réflecteur optique 4 du guide d'ondes d'entrée définissent entre eux, et en association avec l'amplificateur optique SOA, une cavité laser, la flèche CL représentant la cavité laser résonnant à la longueur d'onde λ_1 .

On retrouve ainsi une barrette 1 d'amplificateurs optiques à semi-conducteur SOA (SOA pour *Semiconductor Optical Amplifier*), un multiplexeur 2 à N entrées vers une sortie (avec ici N=4), un réflecteur large bande 100% 4 sur chaque guide d'onde d'entrée et un réflecteur large bande 5 à réflectivité partielle, par exemple 50%, sur le guide d'onde de sortie.

Dans une telle source, la cavité laser CL est formée par le réflecteur total 4 d'un côté de l'amplificateur optique SOA, et le réflecteur partiel 5 à la sortie du multiplexeur en longueurs d'onde 2 de l'autre côté de l'amplificateur optique SOA. Le filtre en longueurs d'onde assuré par le multiplexeur en longueurs d'onde permet de sélectionner une longueur d'onde parmi les longueurs d'onde de la cavité Fabry-Pérot. Ainsi le multiplexeur joue, en plus de son rôle traditionnel de multiplexage, celui de filtre fréquentiel et de cavité qui détermine les longueurs d'onde $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ émises par les lasers. L'amplificateur optique SOA permet quant à lui de fournir le gain de la cavité laser.

Une telle source laser ne peut pas être implémentée avec des modulateurs externes. En effet, si un modulateur était ajouté entre un amplificateur optique SOA et une entrée du multiplexeur en longueurs d'onde, ce modulateur serait parcouru en aller-retour par la lumière puisqu'il ferait alors partie de la cavité laser définie entre les réflecteurs 4 et 5, et donc ne pourrait pas fonctionner correctement.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

L'invention a pour objectif une alternative à la source auto-alignée discutée précédemment, et notamment une source auto-alignée comprenant un trajet optique entre la sortie de chacune des cavités lasers de la barrette et la sortie multiplexée de tous les lasers qui ne fasse pas partie de la cavité des lasers et ne soit donc pas parcouru en aller-retour par la lumière, de sorte à permettre l'insertion de composants, notamment de composants actifs tels que des modulateurs.

L'invention propose à cet effet une source laser d'un signal optique (So) multiplexé en longueur d'ondes, comprenant :

un premier multiplexeur en longueur d'ondes comprenant un ensemble de ports d'entrée associé à un port de sortie prévu pour collecter la combinaison de signaux optiques couplés aux ports d'entrée dudit ensemble,

un deuxième multiplexeur en longueur d'ondes identique au premier multiplexeur, comprenant un ensemble de ports d'entrée associé à un port de sortie prévu pour collecter la combinaison de signaux optiques couplés aux ports d'entrée dudit ensemble,

un réflecteur optique sur un premier chemin optique de sortie associé au port de sortie du premier multiplexeur,

un deuxième chemin optique de sortie associé au port de sortie du deuxième multiplexeur pour fournir le signal optique multiplexé en longueur d'ondes,

un réseau de chemins optiques d'entrée, chaque chemin optique d'entrée présentant une première extrémité couplée à un port d'entrée du premier multiplexeur et une seconde extrémité couplée à un port d'entrée du deuxième multiplexeur, et

un amplificateur optique et un réflecteur optique partiel agencés sur chaque chemin optique d'entrée de manière à ce que le réflecteur optique du premier chemin optique de sortie et le réflecteur optique partiel du chemin optique d'entrée définissent entre eux, et en association avec l'amplificateur optique, une cavité laser.

Certains aspects préférés mais non limitatifs de cette source sont les suivants :

- les premier et deuxième multiplexeurs (8, 9) sont des réseaux échelle, ou des réseaux sélectifs planaires ;
- elle comprend en outre un modulateur sur chaque chemin optique d'entrée en dehors de la cavité laser ;
- le réflecteur optique 6 sur le premier chemin optique de sortie est un réflecteur total.

L'invention porte également sur un émetteur-récepteur d'un signal optique multiplexé en longueur d'ondes, comprenant une source laser conforme à l'invention et un

récepteur comportant un démultiplexeur en longueur d'ondes identique au premier et au deuxième multiplexeurs de la source laser.

Et l'invention s'étend également à un procédé de fabrication d'un émetteur-récepteur conforme à l'invention, dans lequel la source laser et le récepteur sont
5 fabriquées sur une même plaque.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

D'autres aspects, buts, avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront mieux à la lecture de la description détaillée suivante de formes de réalisation préférées de celle-ci, donnée à titre d'exemple non limitatif, et faite en référence aux
10 dessins annexés sur lesquels, outre les figures 1 à 5 déjà discutées précédemment :

- la figure 6 est un schéma représentant la source laser selon l'invention ;
- la figure 7 est un schéma d'un récepteur destiné à être associé à la source laser selon l'invention ;
- les figures 8a et 8b sont des schémas illustrant la fabrication d'émetteurs et de
15 récepteurs conformes à l'invention sur une même plaque ;
- la figure 8c illustre une transmission de données multi-kilométriques entre émetteur et récepteur d'un émetteur-récepteur selon l'invention ;
- les figures 9a, 9b et 9c illustrent les fonctions mises en œuvre par respectivement le premier, le deuxième et le troisième (de-)multiplexeur, ceux-
20 ci prenant la forme de réseaux sélectifs planaires (*AWG – Arrayed Waveguide Grating*) ;
- les figures 10a, 10b et 10c illustrent les fonctions mises en œuvre par respectivement le premier, le deuxième et le troisième (de-)multiplexeur, ceux-
25 ci prenant la forme d'interféromètres Mach-Zehnder cascades ;
- les figures 11a, 11b et 11c illustrent les fonctions mises en œuvre par respectivement le premier, le deuxième et le troisième (de-)multiplexeur, ceux-
ci prenant la forme de résonateurs en anneau cascades.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

En référence à la figure 6, l'invention concerne une source laser 10 d'un signal optique S_0 multiplexé en longueur d'ondes. La source laser est destinée à être intégrée dans un composant photonique ou optoélectronique intervenant notamment dans les réseaux de transmission de données par fibre optique et/ou en espace libre, ou bien dans un circuit photonique intégré.

La source laser 10 est une source auto-alignée qui comprend une section résonante S_R qui a pour fonction de déterminer les longueurs d'ondes émises par des lasers et une section de multiplexage S_{MUX} qui a pour fonction de multiplexer sur une unique sortie les signaux optiques aux différentes longueurs d'ondes.

La section résonante S_R comprend un multiplexeur en longueur d'ondes 8, dit premier multiplexeur, qui comporte un ensemble de ports d'entrée 1a, 2a, 3a, 4a associé à un port de sortie S1 prévu pour collecter la combinaison de signaux optiques couplés aux ports d'entrée dudit ensemble. La section résonante S_R comprend par ailleurs un réflecteur optique 6 sur un chemin optique de sortie associé au port de sortie S1 du multiplexeur 8. Le chemin optique de sortie peut notamment prendre la forme d'un guide d'ondes, dit premier guide d'ondes de sortie, associé au port de sortie S1 et sur lequel on retrouve le réflecteur optique 6. Le réflecteur optique 6 est de préférence un réflecteur large bande (en ce sens qu'il est non sélectif en longueur d'onde) total, par exemple un réseau de Bragg (DBR - *Distributed Bragg Reflector*) de pouvoir réflecteur sensiblement égal à 100%.

La section résonante S_R comprend en outre un réseau de chemins optiques d'entrée, par exemple sous la forme d'un réseau de guides d'ondes d'entrée. Chaque chemin optique d'entrée présente une première extrémité couplée à un port d'entrée 1a, 2a, 3a, 4a du premier multiplexeur 8. On retrouve le long de chaque chemin optique d'entrée un amplificateur optique SOA1, SOA2, SOA3, SOA4 et un réflecteur optique partiel 7 qui sont agencés de manière à ce que le réflecteur optique 6 du chemin optique de sortie et le réflecteur optique partiel 7 du chemin optique d'entrée définissent entre eux, et en association avec l'amplificateur optique, une cavité laser.

Le premier multiplexeur 8 est ainsi introduit dans la section résonante des cavités optiques des émetteurs laser pour filtrer en fréquence les modes des résonateurs optiques, permettant ainsi de déterminer les longueurs d'onde $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ émises par les lasers. Les amplificateurs optiques SAO1, SOA2, SOA3, SOA4 sont par exemple des
5 émetteurs III-V sur Si micro-nano-structuré.

Les réflecteurs optiques partiels 7 sont des réflecteurs large bande partiels, de réflectivité inférieure à 100%, par exemple de réflectivité 50%. Les réflecteurs optiques partiels 7 sont par exemple des réseaux DBR.

La section de multiplexage S_{MUX} comprend un multiplexeur 9, dit
10 deuxième multiplexeur, identique au premier multiplexeur 8. Par identique, on entend que le premier et le deuxième multiplexeur sont du même type et présentent les mêmes propriétés opto-géométriques. Les premier et deuxième multiplexeurs 8, 9 sont ainsi identiques géométriquement (même conception, même architecture) et fournissent la même réponse spectrale.

15 Le deuxième multiplexeur 9 comprend un ensemble de ports d'entrée 1b, 2b, 3b, 4b associé à un port de sortie S2 prévu pour collecter la combinaison de signaux optiques couplés aux ports d'entrée dudit ensemble.

Les chemins optiques d'entrée présentent chacun une seconde
20 extrémité, à l'extérieur de la cavité laser, associée à l'un des ports d'entrée 1b, 2b, 3b, 4b du deuxième multiplexeur 9.

La section de multiplexage S_{MUX} comprend un chemin optique de sortie, par exemple sous la forme d'un guide d'ondes dit deuxième guide d'ondes de sortie, associé au port de sortie S2 du deuxième multiplexeur 9 pour fournir le signal optique S_o multiplexé en longueur d'ondes. Ce signal S_o est formé par combinaison des signaux
25 optiques aux différentes longueurs d'ondes $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ délivrés par les chemins optiques d'entrée couplés aux ports d'entrée du deuxième multiplexeur 9.

Le chemin optique de sortie de la section de multiplexage S_{MUX} peut se terminer par un coupleur C_{TX} vers une fibre optique afin d'assurer une liaison optique multi-kilométriques, ou, également réaliser une liaison optique intra-puce à l'échelle du
30 millimètre. Dans le cas d'une sortie fibrée, le coupleur est par exemple un coupleur

horizontal, tel qu'un raccord progressif (*taper*) inversé, ou un coupleur vertical, tel qu'un réseau de couplage.

La source laser selon l'invention dispose ainsi d'un premier multiplexeur 8 utilisé pour implémenter la fonction de sélection des longueurs d'onde de la barrette des lasers et d'un deuxième multiplexeur 9 utilisé pour implémenter la fonction de multiplexage des signaux générés. Dans la mesure où le premier et le deuxième multiplexeur sont identiques, le peigne de longueurs d'ondes émis par la section résonante S_R est aligné avec la réponse spectrale de la section de multiplexage S_{MUX} . La source laser 10 est ainsi auto-alignée et ne nécessite donc pas de contrôle actif du couplage spectral entre composants. La source est ainsi insensible aux effets thermiques, ainsi qu'à toute dérive sur les performances liée aux variations de température et au vieillissement.

Par ailleurs, du fait de l'architecture précédemment décrite, la source 10 comprend, pour chaque longueur d'onde d'émission, un trajet optique entre la sortie de la cavité laser correspondante (en d'autres termes, la sortie de la zone d'émission optique de l'émetteur laser correspondant) et la sortie de la source laser 10 qui n'est pas présent dans la cavité laser et n'est donc pas parcouru en aller-retour par la lumière. Ce trajet optique, parcouru en aller simple, est présent entre le réflecteur partiel 7 et un port d'entrée du second multiplexeur 9. La présence de ce trajet optique le long d'un chemin optique d'entrée autorise l'insertion de composants optiques, notamment de composants actifs tels que des modulateurs, des commutateurs, des isolateurs, aptes à venir modifier le signal optique sans que leur fonctionnement ne soit impacté par un trajet aller-retour de la lumière.

Ainsi dans un mode de réalisation possible de l'invention, on retrouve une section de modulation S_{MOD} intercalée entre la section résonnante S_R et la section de multiplexage S_{MUX} . On retrouve ainsi sur chaque chemin optique d'entrée de la source laser 10 un modulateur M1, M2, M3, M4 agencé en dehors de la cavité laser au sein de la section de modulation S_{MOD} . Les modulateurs peuvent être des modulateurs à électro-absorption III-V sur Si (EAM - *Electro-Absorption Modulator*) ou de type interféromètre Mach-Zendher (MZI - *Mach-Zendher Interferometer*) sur silicium. Les modulateurs permettent de générer des signaux optiques modulés à partir de signaux électriques distribués par des circuits

micro-nano-électroniques et un (ou plusieurs) micro-processeurs. La section de modulation S_{MOD} permet d'atteindre des débits de transmission plus élevés qu'en modulant directement les amplificateurs SOA. On notera que les modulateurs peuvent être réalisés à partir des mêmes architectures émettrices que celles retenues pour les amplificateurs SOA, afin de garantir l'uniformité des procédés de fabrication et des approches technologiques utilisées.

Dans un autre mode de réalisation, une modulation indépendante de chacune des longueurs d'onde issues des lasers est mise en œuvre qui n'utilise pas de modulateurs externes, mais des modulateurs électroniques de modulation directe du courant injecté dans les amplificateurs optiques. Ce type de modulation se fait ainsi en modulant directement la zone de gain de chacun des lasers et est dit 'modulation directe' du laser. L'utilisation de modulateurs externes présente toutefois l'avantage de pouvoir moduler plus rapidement que dans le cas d'une modulation directe des lasers.

L'invention propose ainsi un transmetteur optique auto-aligné pour la transmission des données inter/intra-puce ou encore par fibre optique. La micro-nano-structuration du silicium dans une matrice de silice permet de contrôler de manière déterministe la lumière, visant donc le routage, le multiplexage, la mise en cavité résonante et le filtrage spatio-fréquentiel des signaux optiques. En même temps, le report de vignettes III-V sur un tel substrat permet l'amplification, la modulation ainsi que la réalisation de sources laser intégrées. L'invention permet ainsi d'intégrer de façon compacte, et sur une même puce, des fonctions complexes de génération et gestion de faisceaux optiques comme le multiplexage, la modulation, le guidage optique sur puce à travers de guides d'onde planaires en silicium.

La source laser 10 précédemment décrite forme la partie transmetteur d'un émetteur-récepteur (*transceiver*) d'un signal optique multiplexé en longueur d'onde. L'invention n'est pas limitée à une telle partie transmetteur, mais s'étend également à la partie récepteur d'un tel signal chargée d'en réaliser le démultiplexage et l'éventuelle démodulation de chacune des porteuses optiques démultiplexées.

D'une manière générale, la partie récepteur est conçue à partir d'un démultiplexeur en tout point identique aux multiplexeurs 8, 9 de la partie transmetteur qui

sépare les différentes longueurs d'onde des porteuses optiques, c'est-à-dire du même type et présentant les mêmes propriétés opto-géométriques. De telle manière, une symétrie bijective complète en termes de procédés technologiques, de matériaux, et de géométries utilisés est obtenue entre la partie transmetteur et la partie récepteur de l'émetteur-
5 récepteur, garantissant un alignement spatio-frequentiel auto-ajusté au niveau global.

La figure 7 illustre à cet égard un récepteur 11 d'un signal optique S_o multiplexé en longueur d'ondes. Le récepteur 11 comporte une section de démultiplexage S_{DEMUX} qui comprend un démultiplexeur en longueur d'ondes 12, dit troisième multiplexeur, identique au premier et au deuxième multiplexeurs 8, 9 de la source laser 10.

10 Le troisième multiplexeur 12 comporte un port d'entrée E3 et un ensemble de ports de sortie 1c, 2c, 3c, 4c sur lesquels on retrouve les signaux optiques aux différentes longueurs d'ondes $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$.

Un chemin optique d'entrée, par exemple sous la forme d'un guide d'ondes d'entrée, est associé au port d'entrée E3 du troisième multiplexeur 12, sur lequel
15 on retrouve le cas échéant un coupleur C_{RX} vers une fibre optique, tel qu'un raccord progressif (*taper*) inversé, ou un coupleur vertical, tel qu'un réseau de couplage.

Lorsqu'une modulation a été mise en œuvre côté transmetteur, le récepteur 11 dispose alors d'une section de démodulation S_{DEMOD} dans laquelle on retrouve une barrette de démodulateurs DM1, DM2, DM3, DM4. Le récepteur comporte ainsi un
20 réseau de chemins optiques de sortie, par exemple un réseau de guides d'ondes de sortie, chaque chemin optique de sortie étant couplé à un port de sortie 1c, 2c, 3c, 4c du démultiplexeur et comportant un démodulateur DM1, DM2, DM3, DM4. Les démodulateurs sont par exemple des photodiodes III-V sur Si micro-nano-structuré permettant la conversion opto-électrique des porteuses modulées. Les démodulateurs
25 sont basés sur des architectures similaires ou complémentaires de celles de la partie transmetteur, en particulier de celles retenues pour les amplificateurs SOA afin de garantir l'uniformité des procédés de fabrication et des approches technologiques utilisées. Après démodulation, les signaux optiques sont récupérés par des circuits micro-nano-électroniques et un (ou plusieurs) micro-processeurs.

L'invention s'étend également à un procédé de fabrication d'un émetteur-récepteur conforme à l'invention, selon lequel la source laser 10 (émetteur) et le récepteur 11 sont fabriquées sur une même plaque.

On a représenté sur les figures 8a et 8b des schémas illustrant la fabrication d'émetteurs et de récepteurs conformes à l'invention sur une même plaque (*wafer*). Les deux briques de base (émetteur Tx, récepteur Rx) sont fabriquées de façon commune par la même approche technologique et les mêmes procédés de fabrication, de préférence sur une même plaque, de manière avantageuse à proximité l'une de l'autre sur la plaque, afin de garantir une identité presque parfaite entre les fonctions de transfert en fréquences des différents (dé)multiplexeurs qui constituent l'émetteur-récepteur global.

La figure 8a illustre ainsi la fabrication d'émetteur-récepteurs ER conformes à l'invention sur une même plaque P, par exemple une plaque de SOI de 300 mm de diamètre. A partir du stade intermédiaire de fabrication d'un circuit imprimé (MEOL – *Middle-End Of the Line*), une symétrie bijective est recherchée entre la partie transmetteur Tx et la partie récepteur RX de l'émetteur-récepteur ER en venant les fabriquer sur la même plaque, ceci afin de garantir une homogénéité des performances des différents composants visant l'alignement spatio-frequentiel auto-ajusté entre les deux briques.

La figure 8b illustre un découpage des parties transmetteur Tx et récepteur Rx selon les lignes pointillées réalisé au cours du stade finale de fabrication (BEOL – *Back-End Of the Line*). Comme représenté sur la figure 8c, ces parties sont ensuite mises sous boîtier sur des cartes différentes, puis intégrées par la suite sur des modules de destination. Une fibre optique mono-mode deca-kilométrique F assure le lien optique entre les modules pour la transmission/réception du signal optique multiplexé en longueur d'ondes.

Les (dé)multiplexeurs utilisés 8, 9, 12 utilisés dans le cadre de l'invention peuvent être de différents types, tout en restant identiques entre eux. Ils peuvent provenir de l'optique réfractive, et être par exemple des réseaux sélectifs planaires AWG (*Arrayed Wave Grating*), ou de l'optique diffractive, et être par exemple des réseaux échelles comme c'est le cas de l'exemple de réalisation des figures 6 et 7. Dans cet exemple, les facettes qui

constituent le réseau échelle peuvent être inscrites dans le silicium en utilisant des réflecteurs de Bragg ou bien un cristal photonique bidimensionnel. Les multiplexeurs 8, 9 peuvent également prendre la forme d'interféromètres Mach-Zehnder cascades, ou encore de résonateurs en anneau cascades.

5 Les figures 9a, 9b et 9c illustrent ainsi les fonctions mises en œuvre par respectivement le premier, le deuxième et le troisième multiplexeur, ceux-ci prenant la forme de réseaux sélectifs planaires de type AWG.

10 Sur la figure 9a, la flèche A illustre les différentes longueurs d'ondes $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ délivrés sur les ports d'entrée 1a, 2a, 3a, 4a du premier multiplexeur 8. Les flèches B et C représentent le flux optique multiplexé et réfléchi par le réflecteur large bande 6, tandis que la flèche D représente les différentes longueurs d'ondes séparées par le multiplexeur.

15 Sur la figure 9b, la flèche A illustre les différentes longueurs d'ondes $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ délivrées sur les ports d'entrée 1b, 2b, 3b, 4b du deuxième multiplexeur 9, et la flèche B représente le flux optique multiplexé disponible sur le port de sortie S2 du deuxième multiplexeur 9.

20 Sur la figure 9c, la flèche A représente le flux optique multiplexé fourni au port d'entrée E3 du troisième (dé)multiplexeur 12, et la flèche B représente les différentes longueurs d'ondes séparées par le troisième (dé)multiplexeur 12 et disponibles sur les ports de sortie 1c, 2c, 3c, 4c.

Les figures 10a, 10b et 10c illustrent les fonctions mises en œuvre par respectivement le premier, le deuxième et le troisième multiplexeur, ceux-ci prenant la forme d'interféromètres Mach-Zehnder cascades.

25 Sur la figure 10a, les flèches A et A' illustrent les différentes longueurs d'ondes $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ délivrées sur les ports d'entrée du premier multiplexeur 8. La flèche A représente plus précisément les deux porteuses λ_1 et λ_3 recombinaées par un premier interféromètre Mach-Zehnder et la flèche A' les deux porteuses λ_2 et λ_n recombinaées par un deuxième interféromètre Mach-Zehnder. Les flèches B et C représentent le flux optique multiplexé et réfléchi par le réflecteur large bande 6.

Sur la figure 10b, les flèches A et A' illustrent les différentes longueurs d'ondes $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ délivrées sur les ports d'entrée du deuxième multiplexeur 9. La flèche A représente plus précisément les deux porteuses λ_1 et λ_3 recombinaées par un premier interféromètre Mach-Zehnder et la flèche A' les deux porteuses λ_2 et λ_n recombinaées par un deuxième interféromètre Mach-Zehnder. La flèche B représente le flux optique multiplexé disponible sur le port de sortie S2 du deuxième multiplexeur 9.

Sur la figure 10c, la flèche A représente le flux optique multiplexé fourni sur le port d'entrée E3 au troisième (dé)multiplexeur 12, et les flèches B et B' représentent les différentes longueurs d'ondes séparées par le troisième (dé)multiplexeur 12.

Les figures 11a, 11b et 11c illustrent les fonctions mises en œuvre par respectivement le premier, le deuxième et le troisième multiplexeur, ceux-ci prenant la forme de résonateurs en anneau cascades, chacun des anneaux présentant un rayon adapté pour permettre la transmission de l'une des longueurs d'onde $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ au détriment des autres.

Sur la figure 11a, la flèche A illustre les différentes longueurs d'ondes $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ délivrés sur les ports d'entrée 1a, 2a, 3a, 4a du premier multiplexeur. Les flèches B et C représentent le flux optique multiplexé et réfléchi par le réflecteur large bande 6, tandis que la flèche D représente les différentes longueurs d'ondes séparées par le multiplexeur.

Sur la figure 11b, la flèche A illustre les différentes longueurs d'ondes $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ délivrées sur les ports d'entrée 1b, 2b, 3b, 4b du deuxième multiplexeur, et la flèche B représente le flux optique multiplexé disponible sur le port de sortie S2 du deuxième multiplexeur

Sur la figure 11c, la flèche A représente le flux optique multiplexé fourni sur le port d'entrée E3 du troisième (dé)multiplexeur, et la flèche B représente les différentes longueurs d'ondes séparées par le troisième (dé)multiplexeur 12 et disponibles sur les ports de sortie 1c, 2c, 3c, 4c du troisième (dé)multiplexeur.

Des implémentations possibles mais non limitatives de la source selon l'invention peuvent être réalisées en optique guidée, en optique fibrée (par assemblage de composants discrets fibrés : SOA fibré, modulateur en LiNbO3 fibré, multiplexeur SiO2/Si

fibré), ou encore en optique libre (avec assemblage de composants discrets par couplage bout à bout d'une puce SOA en III-V préfabriquée, d'un multiplexeur silicium préfabriqué, et d'un modulateur EAM en III-V préfabriqué).

Ainsi, à titre d'exemples non limitatifs :

- 5 - l'intégralité de la source peut être réalisée en matériaux III-V, avec par exemple des multiplexeurs en InP, des guides d'ondes en InP, des amplificateurs SOA et des modulateurs EAM en InGaAsP ;
- en variante, les multiplexeurs et les guides d'ondes peuvent être réalisés en silicium, tandis que les amplificateurs SOA et les modulateurs EAM sont en III-V sur Si micro-
- 10 nano-structuré ;
- ou encore, les différents composants de source peuvent être agencés au moyen d'une micro-optique, avec par exemple les multiplexeurs en silice sur silicium, les lasers en InGaAs, et les modulateurs en LiNbO₃.

REVENDICATIONS

1. Source laser (10) d'un signal optique (So) multiplexé en longueur d'ondes, comprenant :

- 5 un premier multiplexeur en longueur d'ondes (8) comprenant un ensemble de ports d'entrée (1a, 2a, 3a, 4a) associé à un port de sortie (S1) prévu pour collecter la combinaison de signaux optiques couplés aux ports d'entrée dudit ensemble,
- un deuxième multiplexeur en longueur d'ondes (9) identique au premier multiplexeur (8), comprenant un ensemble de ports d'entrée (1b, 2b, 3b, 4b) associé à un
- 10 port de sortie (S2) prévu pour collecter la combinaison de signaux optiques couplés aux ports d'entrée dudit ensemble,
- un réflecteur optique (6) sur un premier chemin optique de sortie associé au port de sortie (S1) du premier multiplexeur,
- un deuxième chemin optique de sortie associé au port de sortie (S2) du
- 15 deuxième multiplexeur pour fournir le signal optique (So) multiplexé en longueur d'ondes,
- un réseau de chemins optiques d'entrée, chaque chemin optique d'entrée présentant une première extrémité couplée à un port d'entrée (1a, 2a, 3a, 4a) du premier multiplexeur (8) et une seconde extrémité couplée à un port d'entrée (1b, 2b, 3b, 4b) du deuxième multiplexeur (9), et
- 20 un amplificateur optique (SOA1, SOA2, SOA3, SOA4) et un réflecteur optique partiel (7) agencés sur chaque chemin optique d'entrée de manière à ce que le réflecteur optique (6) du premier chemin optique de sortie et le réflecteur optique partiel (7) du chemin optique d'entrée définissent entre eux, et en association avec l'amplificateur optique, une cavité laser.

25

2. Source laser selon la revendication 1, dans laquelle les premier et deuxième multiplexeurs (8, 9) sont des réseaux échelle.

3. Source laser selon la revendication 1, dans laquelle les premier et deuxième

30 multiplexeurs (8, 9) sont des réseaux sélectifs planaires.

4. Source laser selon l'une des revendications 1 à 3, comprenant en outre un modulateur (M1, M2, M3, M4) agencé sur chaque chemin optique d'entrée en dehors de la cavité laser.
- 5 5. Source laser selon l'une des revendications 1 à 3, comprenant en outre des modulateurs électroniques de modulation directe du courant injecté dans les amplificateurs optiques (SOA1, SOA2, SOA3, SOA4).
- 10 6. Source laser selon l'une des revendications 1 à 5, dans laquelle le réflecteur optique (6) sur le premier chemin optique de sortie est un réflecteur total.
7. Source laser selon l'une des revendications 1 à 6, comprenant en outre un coupleur (C_{TX}) vers une fibre optique sur le deuxième chemin optique de sortie.
- 15 8. Emetteur-récepteur d'un signal optique (S_o) multiplexé en longueur d'ondes, comprenant une source laser (10) selon l'une des revendications 1 à 7 et un récepteur (11) comportant un démultiplexeur en longueur d'ondes (12) identique au premier et au deuxième multiplexeurs (8, 9) de la source laser.
- 20 9. Emetteur-récepteur selon la revendication 8, comprenant un coupleur (C_{RX}) vers une fibre optique sur un chemin optique d'entrée associé à un port d'entrée (E3) du démultiplexeur (12).
- 25 10. Emetteur-récepteur selon l'une des revendications 8 et 9, comprenant un réseau de chemins optiques de sortie, chaque chemin optique de sortie étant associé à un port de sortie (1c, 2c, 3c, 4c) du démultiplexeur, et comportant un démodulateur (DM1, DM2, DM3, DM4).
- 30 11. Procédé de fabrication d'un émetteur-récepteur selon l'une des revendications 8 à 10, dans lequel la source laser (10) et le récepteur (11) sont fabriquées sur une même plaque.

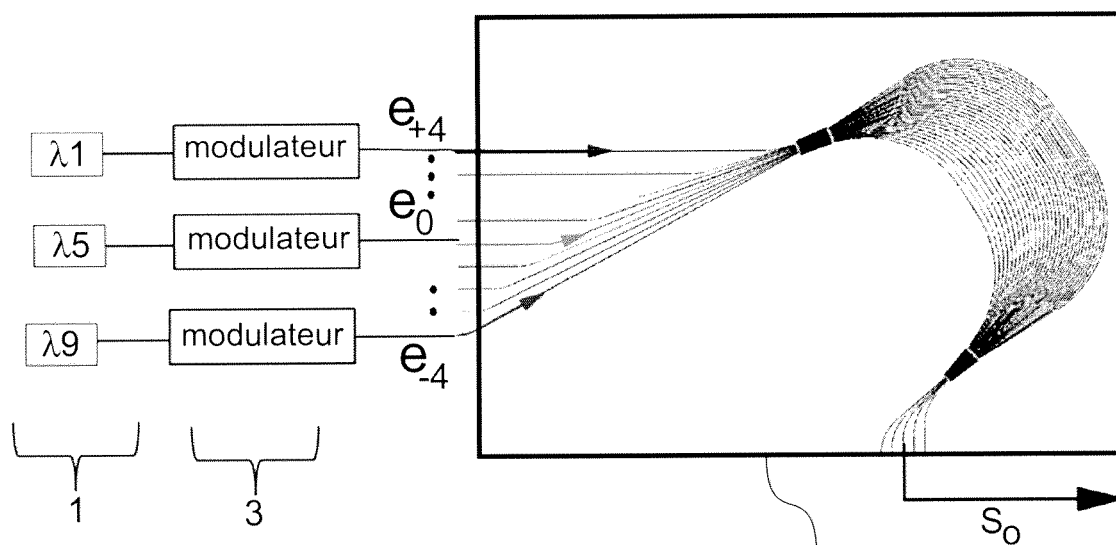


FIG. 1

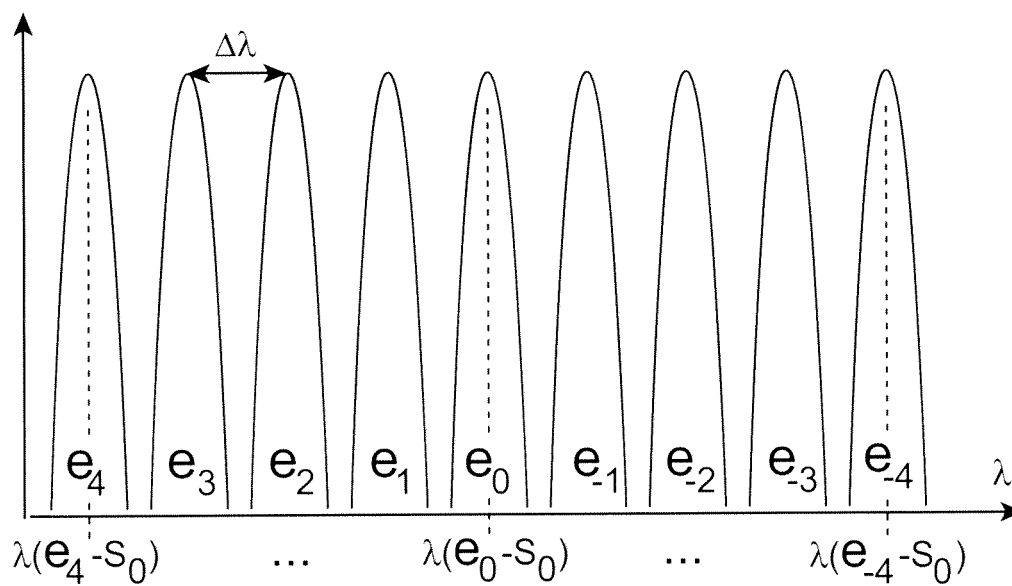


FIG. 2

2 / 13

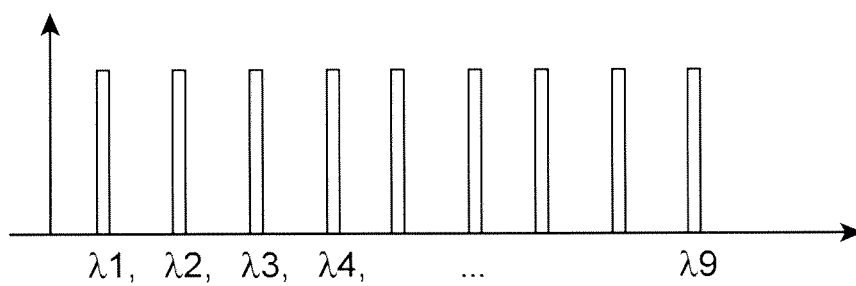


FIG. 3

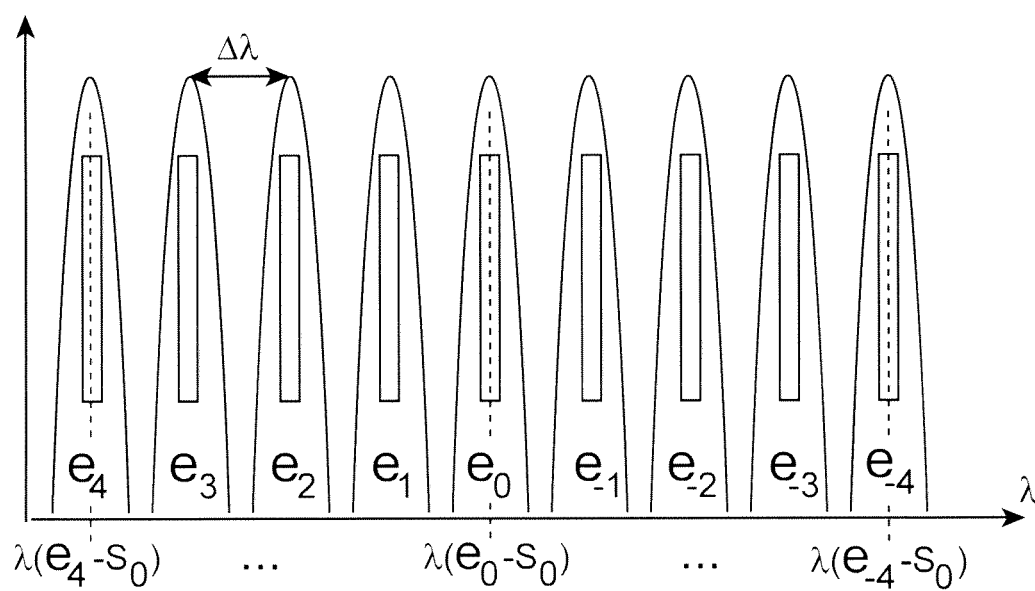


FIG. 4a

3 / 13

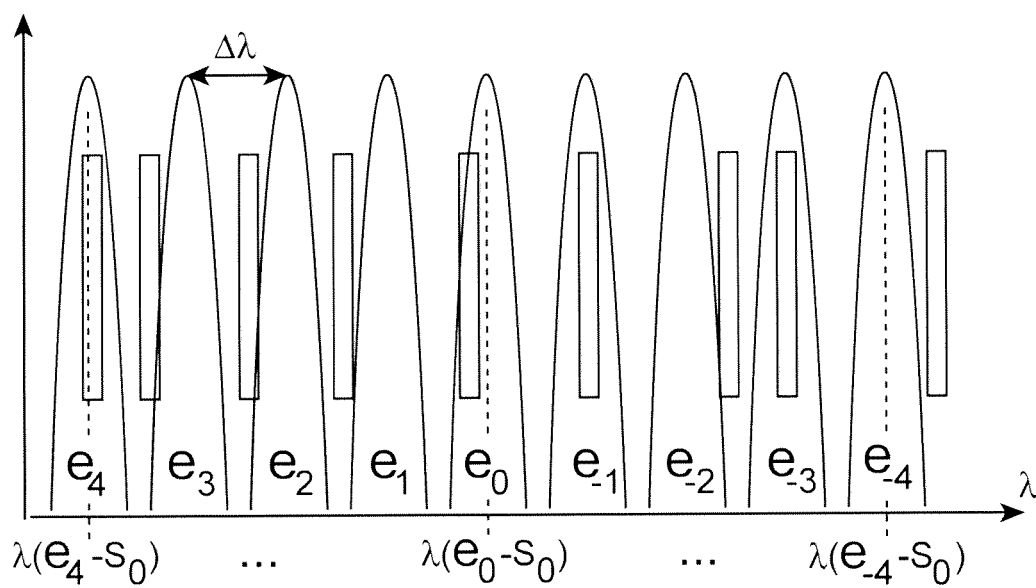


FIG. 4b

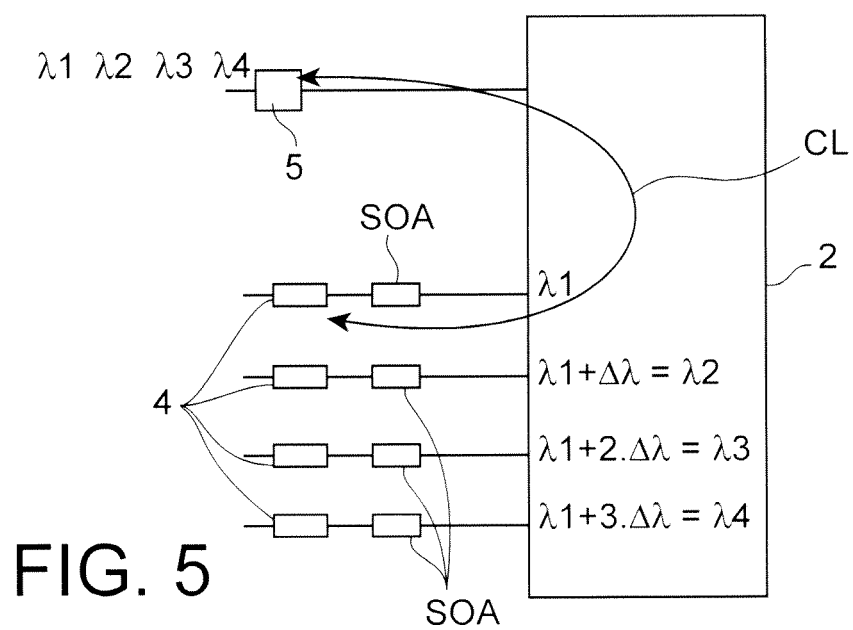


FIG. 5

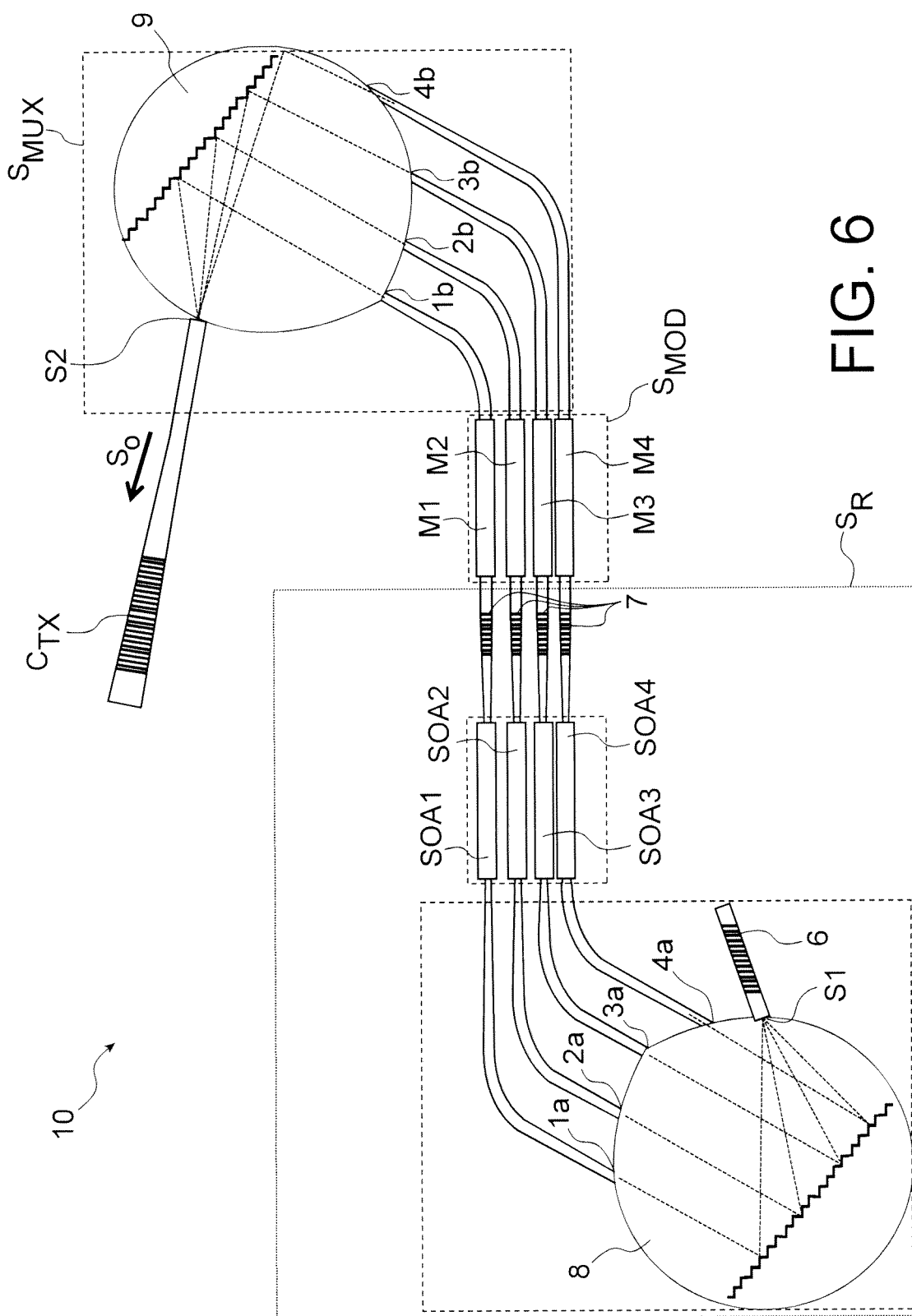


FIG. 6

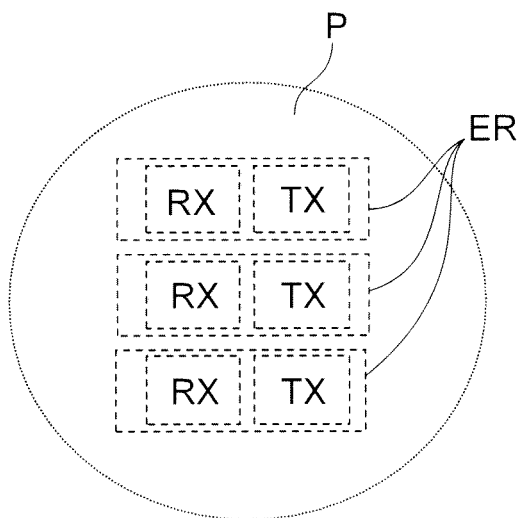
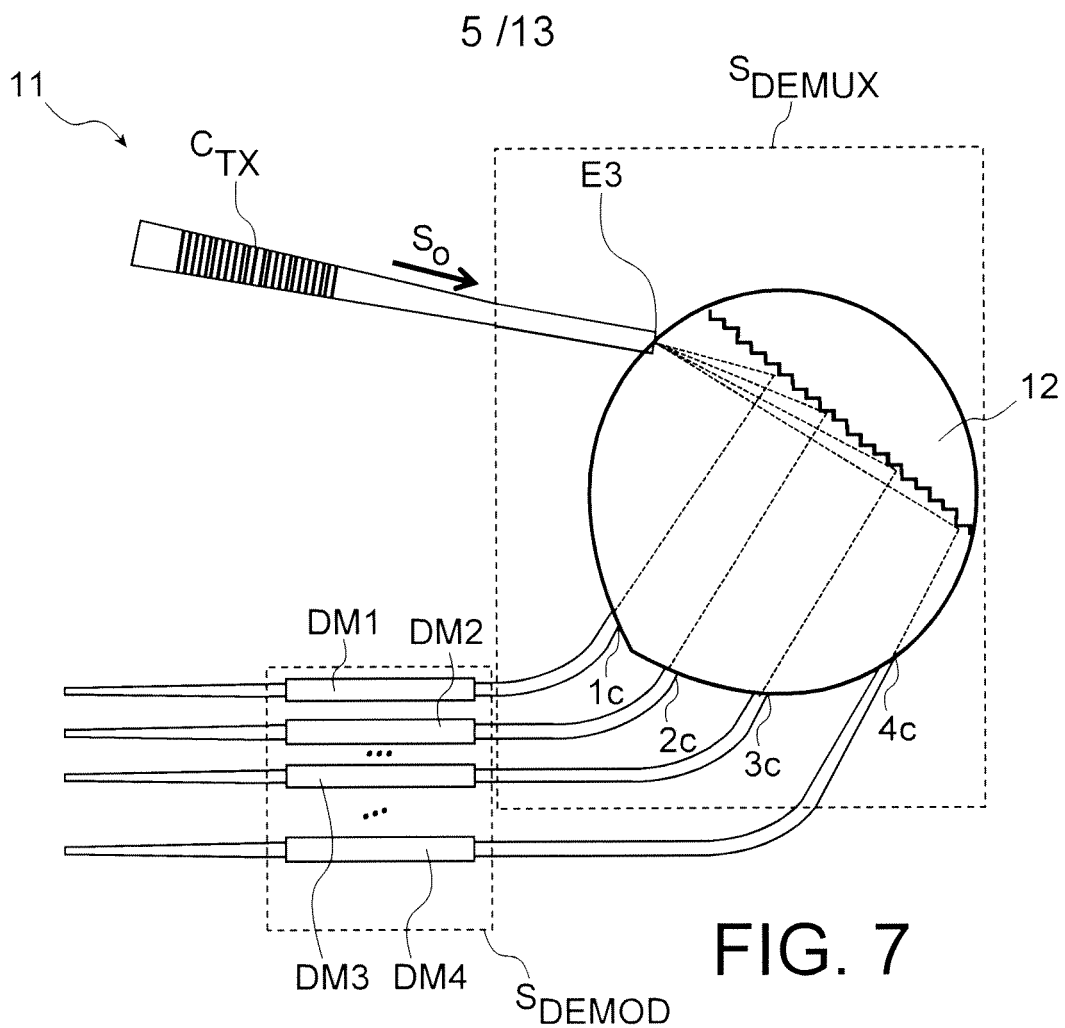


FIG. 8a

6 / 13

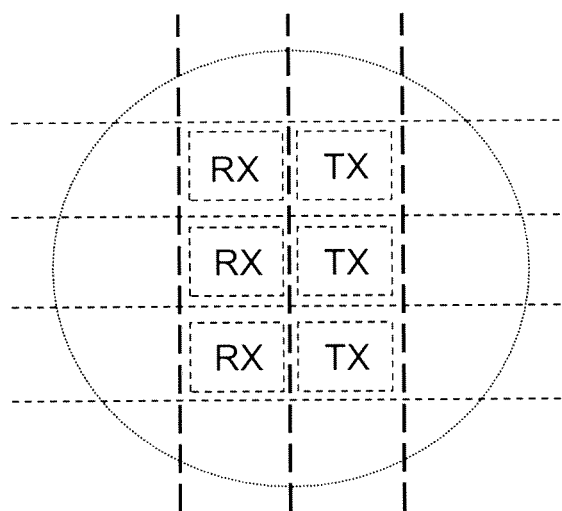


FIG. 8b

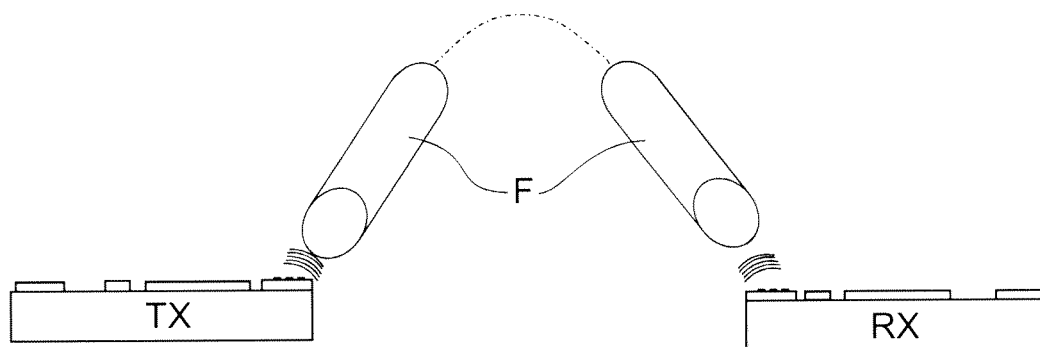


FIG. 8c

7 / 13

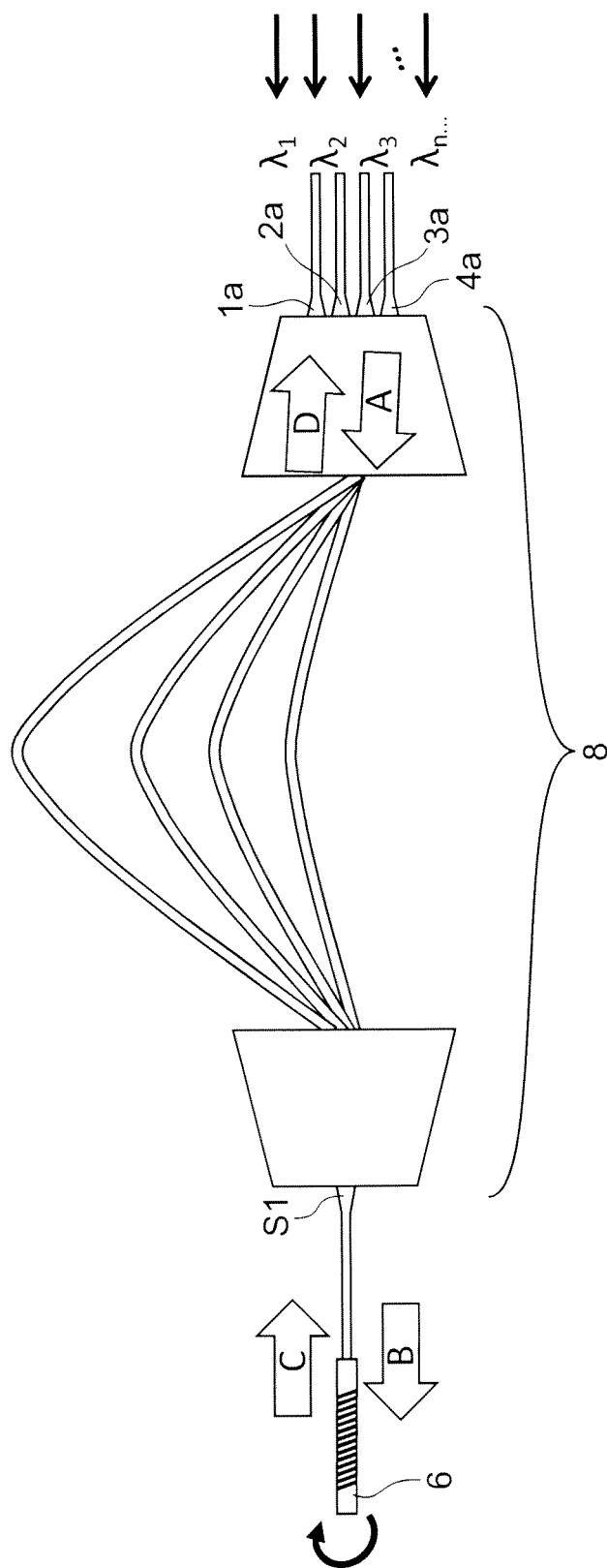


FIG. 9a

8 / 13

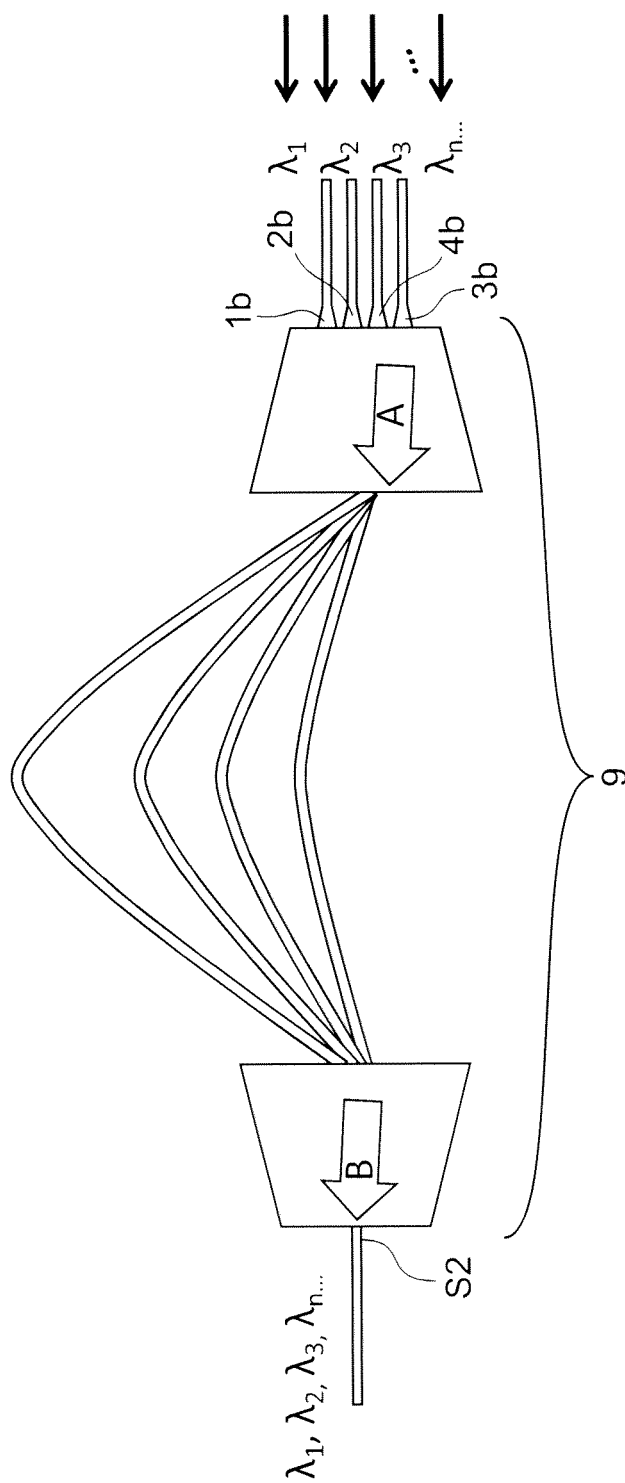


FIG. 9b

9/13

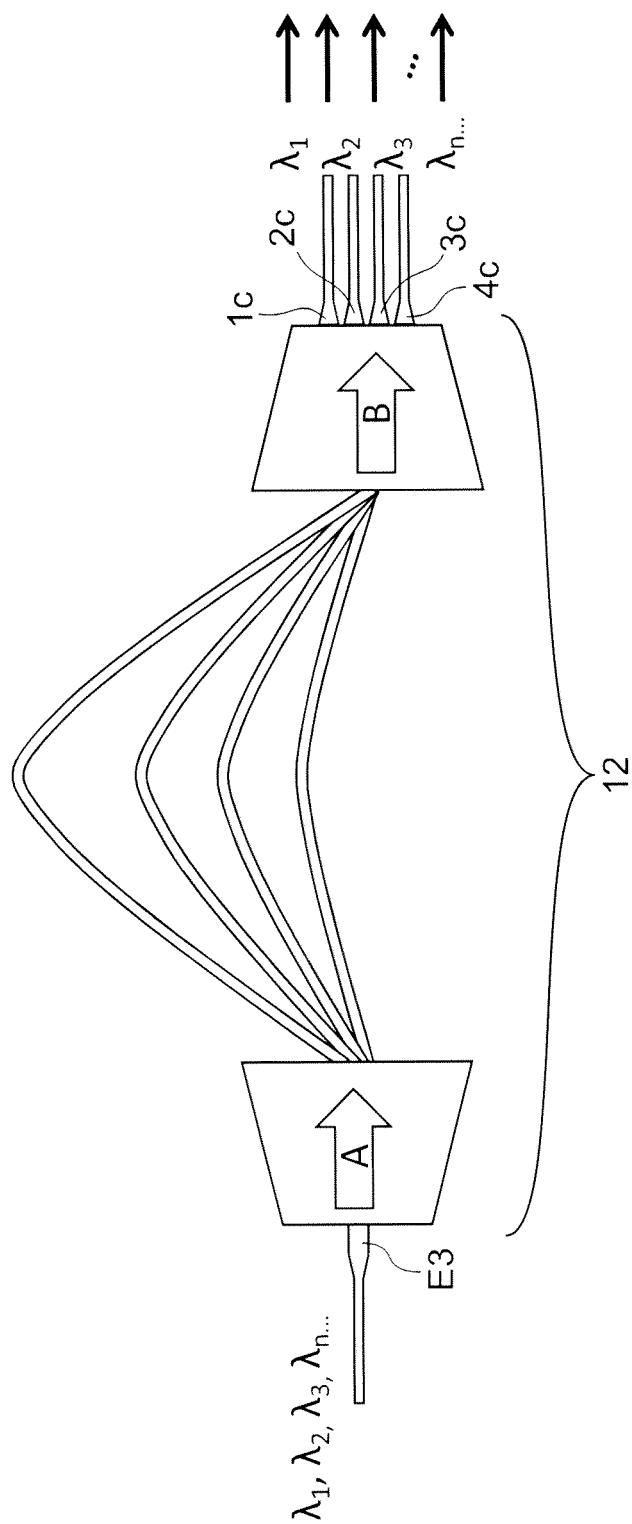


FIG. 9C

10/13

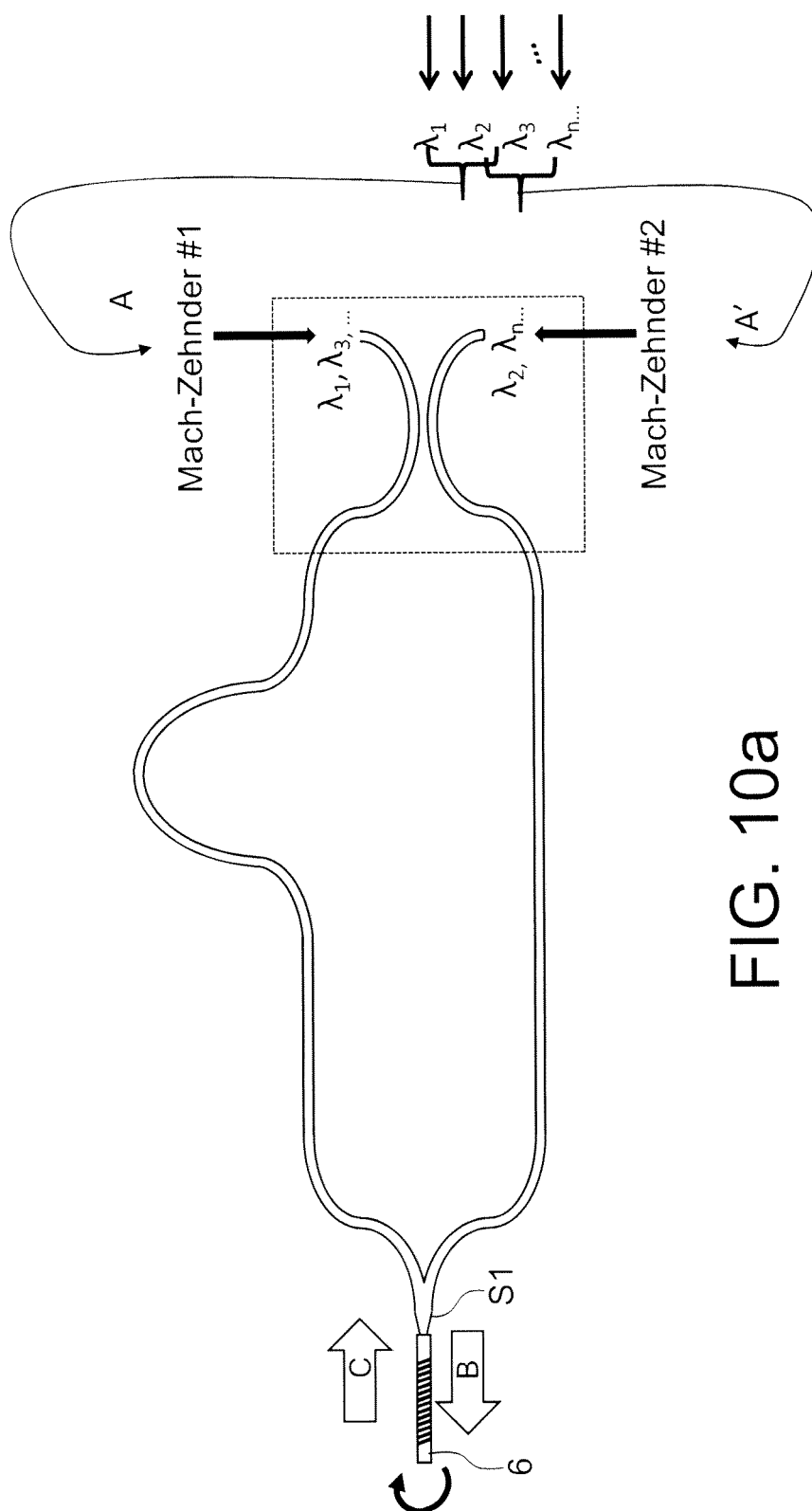


FIG. 10a

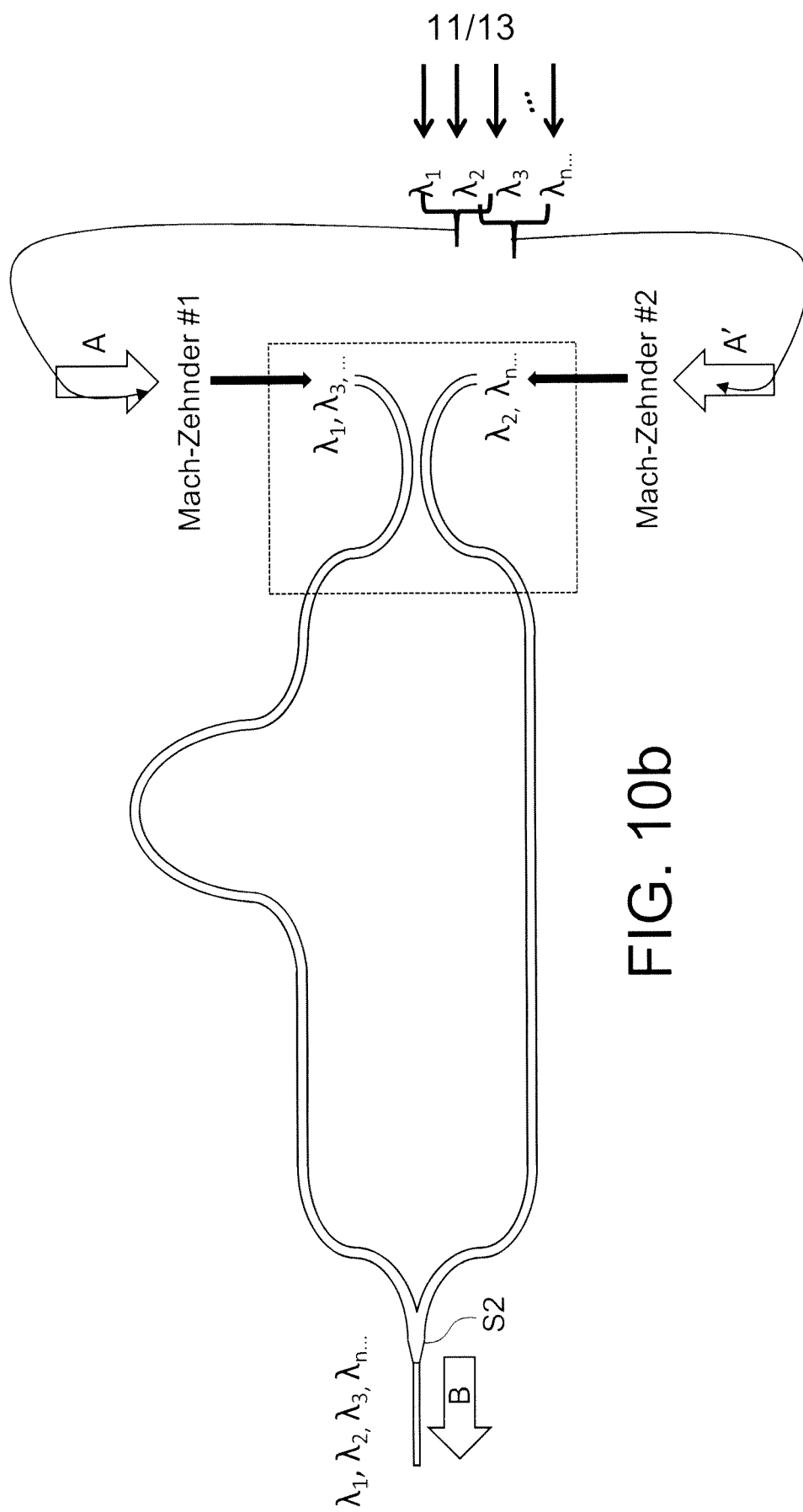


FIG. 10b

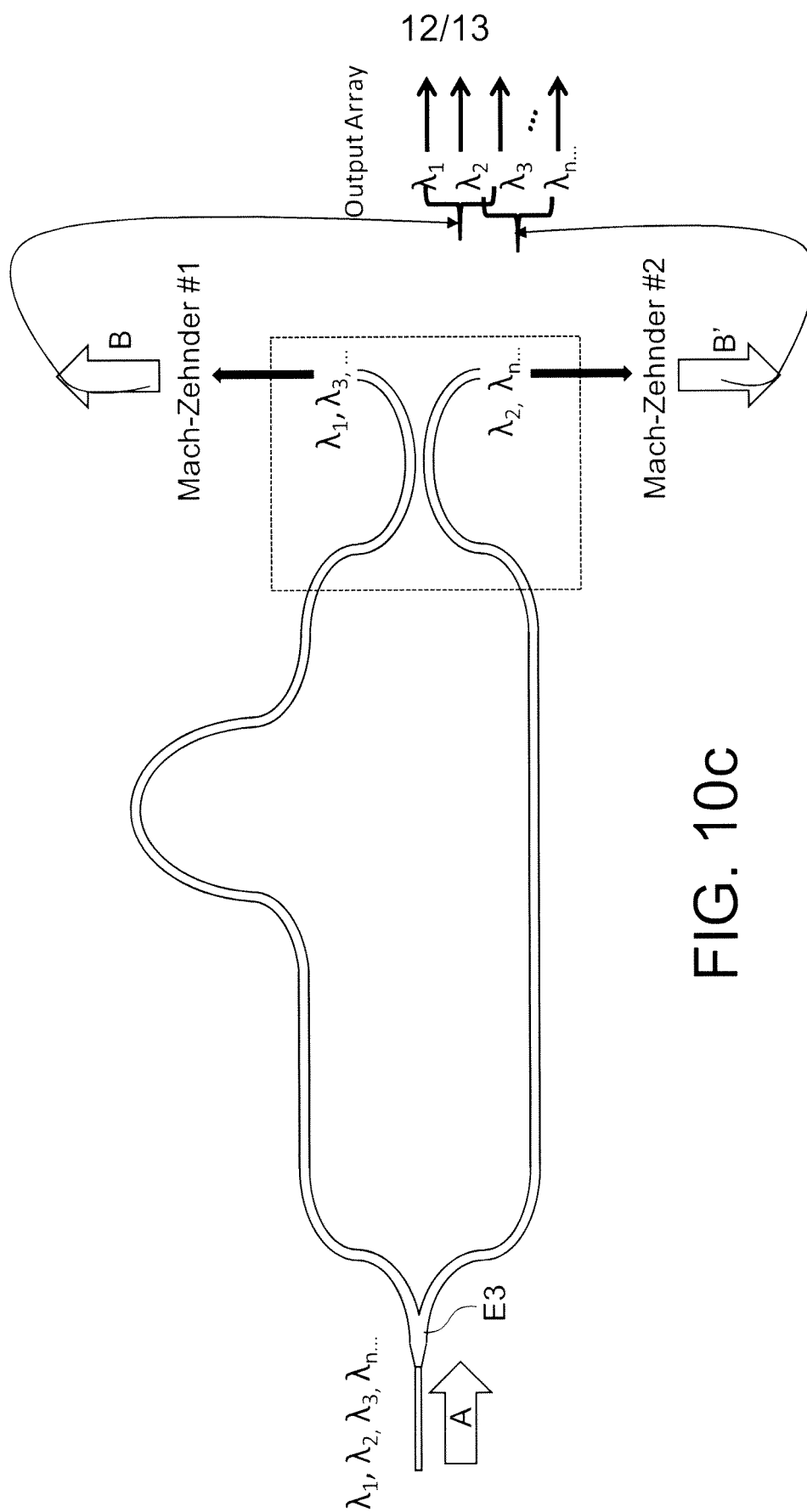
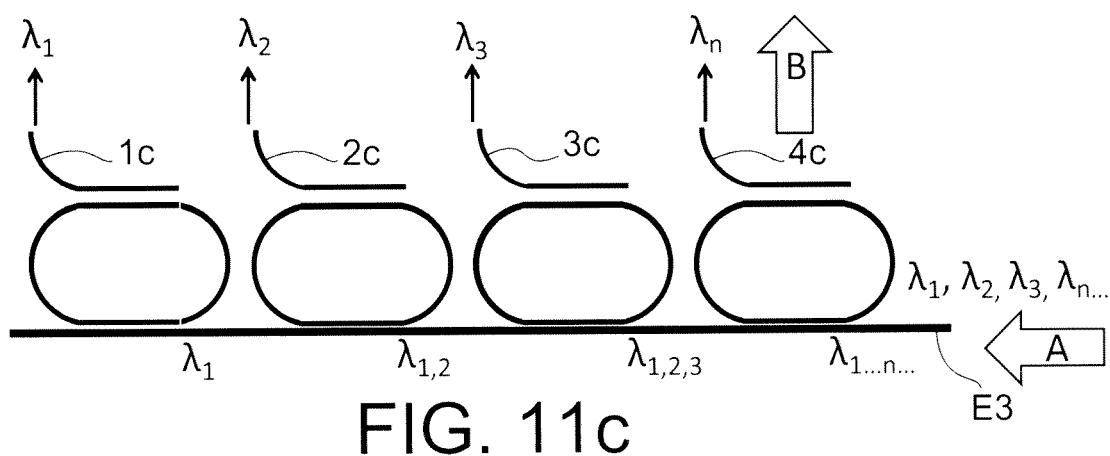
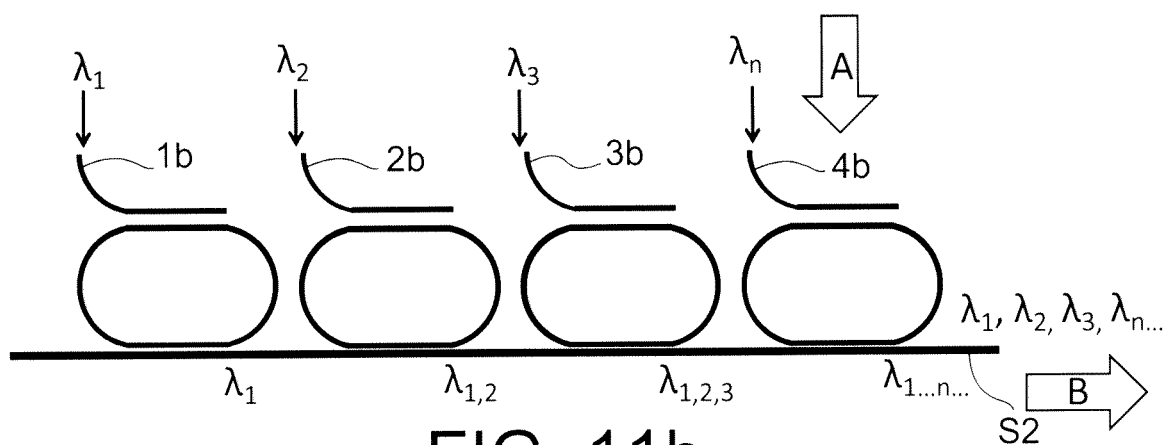
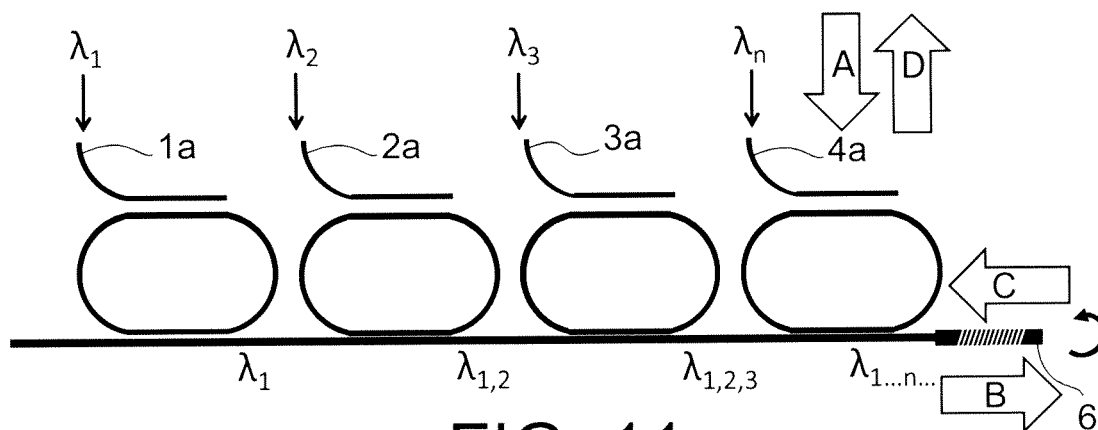


FIG. 10C

13/13





**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement national

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

FA 805687
FR 1460739

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	LAWNICZUKR. PIRAMIDOWICZP. SZCZEPANSKIM.K. SMITX.J.M. LEIJTENS: "Design of integrated photonic transmitter for application in fiber-to-the-home systems", SPIE, PO BOX 10 BELLINGHAM WA 98227-0010 USA, 2010, XP040526360, * abrégé; figure 5 * * le document en entier *	1-4,6-11	H01S3/082 H01S5/026 H04J14/02
X	LAWNICZUK KATARZYNA ET AL: "AWG-Based Photonic Transmitter With DBR Mirrors and Mach-Zehnder Modula", IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 26, no. 7, 1 avril 2014 (2014-04-01), pages 710-713, XP011542687, ISSN: 1041-1135, DOI: 10.1109/LPT.2014.2303496 [extrait le 2014-03-11] * abrégé; figure 1 * * le document en entier *	1-11	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	TACHIKAWA Y ET AL: "32 wavelength tunable arrayed-waveguide grating laser based on special input/output arrangement", ELECTRONICS LETTERS, IEE STEVENAGE, GB, vol. 31, no. 19, 14 septembre 1995 (1995-09-14), pages 1665-1666, XP006003402, ISSN: 0013-5194, DOI: 10.1049/EL:19951146 * abrégé; figure 1 *	1	H01S
A,D	US 6 055 250 A (DOERR CHRISTOPHER RICHARD [US] ET AL) 25 avril 2000 (2000-04-25) * abrégé; figure 4 * * le document en entier *	1	
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		10 juillet 2015	Lendroit, Stéphane
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1460739 FA 805687**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **10-07-2015**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 6055250	A	25-04-2000	AUCUN
