

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①① N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 848 681

②① N° d'enregistrement national : **02 15920**

⑤① Int Cl⁷ : G 02 B 6/34, G 02 B 6/13

①②

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 16.12.02.

③① Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la
demande : 18.06.04 Bulletin 04/25.

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

⑥① Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : *TEEM PHOTONICS Société ano-
nyme — FR.*

⑦② Inventeur(s) : MARTINEZ CHRISTOPHE.

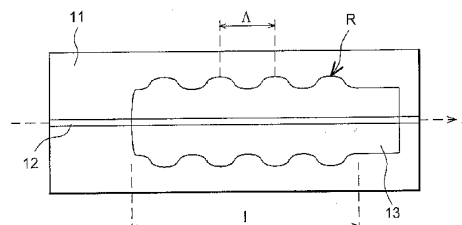
⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire(s) : BREVALEX.

⑤④ **ELEMENT DE COUPLAGE EN OPTIQUE INTEGREE COMPORTANT UN RESEAU REALISE DANS UNE GAINÉ ET SON PROCEDE DE REALISATION.**

⑤⑦ L'invention concerne un élément de couplage en optique intégrée caractérisé en ce qu'il comporte dans un substrat (11) un cœur (12) de guide optique, une gaine optique (13) indépendante du cœur et entourant au moins une portion du cœur dans une zone du substrat dite zone d'interaction, la gaine présentant au moins dans la zone d'interaction une modulation de sa structure de façon à former un réseau (R), l'indice de réfraction de la gaine étant différent de l'indice de réfraction du substrat et inférieur à l'indice de réfraction du cœur au moins dans la partie de la gaine voisine du cœur dans la zone d'interaction.

L'invention trouve des applications en particulier pour la réalisation d'aplatisseurs de gain pour les amplificateurs optiques ou encore pour la réalisation de filtres de réponse linéaire avec la longueur d'onde sur une bande spectrale.



FR 2 848 681 - A1



ELEMENT DE COUPLAGE EN OPTIQUE INTEGREE COMPORTANT UN
RESEAU REALISE DANS UNE GAINES ET SON PROCEDE DE
REALISATION

5 DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

L'invention concerne un élément de couplage en optique intégrée comportant un réseau optique réalisé dans une gaine ainsi que son procédé de
10 réalisation.

L'invention trouve des applications dans tous les domaines nécessitant un couplage entre une gaine optique et un cœur de guide ou inversement et notamment dans le domaine du filtrage spectral. Elle
15 s'applique en particulier à la réalisation d'aplatisseurs de gain pour les amplificateurs optiques utilisés par exemple dans le domaine des télécommunications ou encore à la réalisation de
filtres de réponse linéaire avec la longueur d'onde sur
20 une bande spectrale définie pour la reconnaissance spectrale notamment pour mesurer des décalages spectraux à partir de variation de puissance par exemple dans le domaine des capteurs.

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

25 Actuellement, il est connu de réaliser des éléments de couplage à réseaux dans la gaine de fibres optiques. Dans ce domaine, la gaine optique d'une fibre entoure classiquement le cœur de la fibre et présente un indice de réfraction inférieur à celui du cœur pour
30 permettre la propagation d'une onde lumineuse dans le

cœur. Conjointement, la gaine optique permet le maintien mécanique du cœur. Le cœur d'une fibre ne peut exister sans la gaine.

Par ailleurs, le réseau réalisé dans la fibre permet de coupler un ou des modes guidés dans le cœur d'une fibre vers un ou des modes de gaine de la fibre ou inversement.

Le document (1) dont la référence est donnée en fin de description illustre un élément de couplage à réseau obtenu par gravure de la gaine. Cependant, le principe de fabrication de ce type de réseau est complexe, en outre il nécessite une gravure de la gaine ce qui fragilise la fibre.

La figure 1 montre en perspective un exemple d'élément de couplage dans une fibre optique. La fibre 1 comporte un cœur 3 (représenté en pointillés) et une gaine 5 ; cette dernière a été gravée suivant une période Λ pour réaliser un réseau R. On voit bien sur cette figure que la rigidité mécanique de la fibre est altérée par les gravures réalisées dans la gaine 5.

En plus des difficultés mécaniques, le cœur d'une fibre ne pouvant exister sans la gaine optique, cette dépendance limite les possibilités de paramétrage de la gaine, des réseaux et les solutions de conceptions, d'architecture et d'intégration des éléments de couplage dans des systèmes complexes.

EXPOSE DE L'INVENTION

La présente invention a pour but de proposer un élément de couplage en optique intégrée

comportant un réseau optique réalisé dans une gaine par une modulation de la structure de la gaine ainsi que son procédé de réalisation. L'utilisation d'une gaine en optique intégrée permet de pallier les difficultés
5 de l'art antérieur en offrant en particulier plus de souplesse dans la réalisation de la modulation de la structure de la gaine et en offrant un élément qui ne soit pas fragile.

Un but de l'invention est aussi de proposer
10 un élément de couplage comportant un réseau inscrit dans une gaine qui soit indépendante du cœur de guide auquel elle est associée. On entend par indépendance du cœur et de la gaine, le fait qu'ils peuvent exister dans un substrat indépendamment l'un de l'autre.
15 Autrement dit, le cœur peut exister sans la gaine et la gaine peut exister sans le cœur.

De façon plus précise, l'élément de couplage en optique intégrée de l'invention comporte dans un substrat un cœur de guide optique, une gaine
20 optique indépendante du cœur et entourant au moins une portion du cœur dans une zone du substrat dite zone d'interaction, la gaine présentant au moins dans la zone d'interaction une modulation de sa structure de façon à former un réseau, l'indice de réfraction de la
25 gaine étant différent de l'indice de réfraction du substrat et inférieur à l'indice de réfraction du cœur au moins dans la partie de la gaine voisine du cœur dans la zone d'interaction.

On entend par entourer, le fait que le
30 profil de mode fondamental du cœur du guide présente un maximum qui est inclus dans le profil d'indice de la

gaine. Ainsi le profil du mode fondamental du cœur peut être tout ou partie inclus dans le profil d'indice de la gaine ce qui se traduit au niveau structurel par un cœur situé n'importe où dans la gaine y compris à sa
5 périphérie auquel cas le cœur peut être en partie à l'extérieur de la gaine.

La zone d'interaction qui correspond à une zone de couplage par réseau dans un substrat sera dite également réseau à gaine artificielle ou "artificial
10 cladding grating" (ACG) en terminologie anglo-saxonne. En effet, dans cette zone la gaine est créée artificiellement dans le substrat et indépendamment du cœur.

Le réseau formé à partir de la gaine est
15 apte à coupler le ou les modes du cœur à un ou des modes de gaine ou inversement.

Selon un premier mode de réalisation avantageux, la modulation de la structure de la gaine est une modulation de sa section et de façon
20 préférentielle de sa largeur, considérée dans une direction perpendiculaire à la direction de propagation des modes.

Selon un deuxième mode de réalisation avantageux, qui peut être combiné avec le premier mode,
25 la modulation de la structure de la gaine est une modulation de la position de la gaine par rapport au cœur.

La réalisation de la gaine en optique intégrée permet l'obtention de celle-ci par une
30 modification de l'indice de réfraction du substrat, en particulier par implantation ou échange ionique. De ce

fait, la modulation de la structure de la gaine peut être obtenue sans gravure ou fusion comme dans l'art antérieur.

La solution de l'invention offre donc des avantages telles que la simplicité de réalisation et la robustesse de l'élément de couplage.

Par ailleurs l'indépendance entre le cœur et la gaine permet de créer un plus grand nombre de combinaisons en faisant varier non seulement la taille de la gaine mais aussi la position du cœur dans la gaine. L'indépendance de la gaine et du cœur permet aussi d'intégrer facilement l'élément de couplage de l'invention dans une architecture complexe.

Le réseau selon l'invention peut comporter un ou plusieurs réseaux élémentaires, chaque réseau élémentaire réalisant une zone d'interaction élémentaire.

L'indice effectif n_{eff}^0 du mode se propageant dans le cœur est dépendant du milieu l'environnant. Suivant l'indice de la gaine et son étendue dans le substrat, la valeur de l'indice effectif du mode de cœur change. Ainsi, en modulant périodiquement ou pseudo-périodiquement la structure de la gaine on peut ainsi répercuter cette variation sur la valeur d'indice effectif du cœur et induire ainsi un couplage entre le mode ou les modes du cœur et le ou les modes de gaine et créer de cette façon un réseau.

L'utilisation de la modulation de la structure de la gaine est particulièrement avantageuse pour réaliser un réseau. En effet, un des facteurs limitant le paramétrage du coefficient de couplage

souhaité pour le réseau est donné, dans le cas de l'utilisation de masques, par la taille du motif minimum de la lithographie des masques permettant la fabrication des réseaux. Cette limite étant identique
 5 pour le cœur et pour la gaine, on conçoit aisément qu'il soit plus facile d'obtenir des faibles variations sur n_{eff}^0 en faisant varier la structure de la gaine. En corollaire, des applications à des composants type réseaux notamment apodisés sont ainsi favorisées.

10 Selon un premier mode de réalisation, le réseau formé par la modulation de la structure de la gaine est un réseau apodisé.

Selon un deuxième mode de réalisation, le réseau formé par la modulation de la structure de la
 15 gaine est un réseau chirpé.

Comme on l'a vu précédemment, la structure de la gaine influe sur l'indice effectif du mode de cœur. Or la valeur de la longueur d'onde de résonance des ACG pour un couplage du mode 0 du cœur au mode j de
 20 la gaine dépend des valeurs d'indice effectif comme le montre l'équation suivante :

$$\lambda_{0j} = \Lambda \times \left(n_{\text{eff}}^0 - n_{\text{eff}}^j \right) \quad (1)$$

Λ étant la période du réseau.

25 Une variation de la taille de la gaine et/ou de sa position par rapport au coeur permet donc un accord de la valeur de λ_{0j} .

Le couplage par exemple du cœur vers la gaine (le même raisonnement peut être fait pour un
 30 couplage de la gaine vers le cœur), se traduit par un

transfert d'énergie entre le mode guidé du coeur et celui de la gaine pour les longueurs d'ondes λ_{0j} . L'énergie couplée dans les modes de gaine est ensuite guidée dans la gaine généralement avec des pertes.

5 La modification de λ_{0j} passe donc par le paramétrage de Λ et/ou de la répartition des indices effectifs des différents modes.

L'efficacité du couplage entre les modes dépend de la longueur du réseau et du coefficient de
10 couplage K_{0j} entre les modes 0 et j. Ce coefficient est donné par l'intégrale de recouvrement spatiale des modes 0 et j, pondérée par le profil d'indice induit par le réseau. On a ainsi une relation du type :

15
$$K_{0j} \propto \iint \xi_0 \cdot \xi_j^* \cdot \Delta n \cdot ds \quad (2)$$

avec :

- ξ_0 et ξ_j les profils transversaux des modes 0 et j et ξ_j^* le conjugué complexe de ξ_j
- Δn l'amplitude de la modulation d'indice
20 effectif induite par le réseau dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde,
- ds un élément d'intégration dans un plan perpendiculaire à l'axe de propagation de
25 l'onde

La modification de K_{0j} est obtenue en faisant varier le profil des modes et/ou le profil d'indice induit par le réseau, autrement dit en faisant varier les caractéristiques opto-géométrique de la
30 gaine et/ou du cœur (dimensions, niveau d'indice, etc.)

et/ou les caractéristiques du réseau (Δn , position du réseau par rapport au cœur et à la gaine, etc.).

Au niveau d'une gaine, plus ses dimensions et son niveau d'indice seront importants plus on aura de modes de gaines admis à se propager et plus on aura
5 donc de bandes spectrales de filtrage possibles. Cela peut être un avantage si on cherche des filtrages multiples ou pour avoir plus de marge dans le choix d'un mode de filtrage.

10 Si on cherche à limiter le nombre de modes de gaine pouvant être couplé, il est intéressant à l'inverse de réduire les dimensions opto-géométriques de la gaine.

Au niveau du cœur, ses dimensions et son
15 niveau d'indice conditionnent les caractéristiques du mode qui s'y propage. Par ailleurs, plus les écarts d'indice entre le cœur, la gaine et le substrat seront importants et plus on aura potentiellement de chance d'avoir des couplages pour des périodes de réseaux
20 faibles comme le montre l'équation (1) (à une longueur d'onde de résonance donnée, la période est inversement liée à la différence d'indice entre le mode guidé du cœur et le mode de gaine).

En jouant sur la position du cœur, du
25 réseau et de la gaine, on peut générer des couplages différents. En effet, on voit bien à partir de l'équation (2) que la force du couplage dépend de la position relative dans le plan transverse à l'axe de propagation des profils du mode de gaine, du mode guidé
30 dans le cœur et du réseau.

En particulier, à partir de l'équation (2), on peut montrer aisément qu'un décentrement δx du cœur par rapport à la gaine permet d'augmenter K.

Aussi, selon un mode de réalisation de
5 l'invention le cœur de l'élément de couplage est totalement ou partiellement décentré par rapport à la gaine.

On entend par bande spectrale une bande
présentant un ensemble de longueurs d'onde avec une
10 longueur d'onde centrale et une largeur de bande déterminées, une onde lumineuse pouvant comporter une ou plusieurs bandes spectrales.

Selon l'invention, la gaine et le cœur existent indépendamment l'un de l'autre dans le
15 substrat ce qui n'est pas le cas dans l'art antérieur. Cette indépendance permet plus de souplesse dans la réalisation de l'élément de couplage. En particulier, en dehors de la zone d'interaction, le cœur peut ne plus être situé dans la gaine mais uniquement dans le
20 substrat qui permet alors l'isolement optique du cœur. Ainsi la gaine n'agit sur la propagation d'une onde lumineuse dans le cœur du guide associé que dans la partie qui entoure le cœur et la gaine peut guider ou véhiculer des ondes lumineuses indépendamment du cœur.

25 Le substrat peut bien entendu être réalisé par un seul matériau ou par la superposition de plusieurs couches de matériaux. Dans ce dernier cas, l'indice de réfraction de la gaine est différent de l'indice de réfraction du substrat au moins dans les
30 couches voisines de la gaine.

De façon avantageuse, chaque gaine présente un indice de réfraction supérieur à celui du substrat.

Selon l'invention, le guide peut-être un guide planaire, lorsque le confinement de la lumière se fait dans un plan contenant la direction de propagation de la lumière ou un microguide, lorsque le confinement de la lumière est réalisé dans deux directions transverses à la direction de propagation de la lumière.

Le réseau peut-être formé par un réseau élémentaire ou un ensemble de réseaux élémentaires en série. Les caractéristiques de la zone d'interaction de l'élément de couplage sont telles qu'elles permettent l'obtention en sortie de cet élément, du spectre lumineux recherché.

Selon un mode préféré, la gaine et/ou le cœur du guide, peuvent être réalisés par tous types de technique permettant de modifier l'indice de réfraction du substrat. On peut citer notamment les techniques d'échanges d'ions, l'implantation ionique et/ou le rayonnement par exemple par l'insolation laser ou la photo inscription laser ou encore le dépôt de couches.

La technologie par échange d'ions dans le verre est particulièrement intéressante mais d'autres substrats que le verre peuvent bien entendu être utilisés tels que par exemple les substrats cristallins de type KTP ou LiNbO_3 , ou encore du LiTaO_3 .

Lorsque la gaine est réalisée à partir d'un masque, le motif du réseau est obtenu avantageusement par le même masque.

L'invention concerne également un procédé de réalisation d'un élément de couplage en optique intégrée tel que défini précédemment, la gaine et le cœur du guide étant réalisés respectivement par une
5 modification de l'indice de réfraction du substrat de façon à ce qu'au moins dans la partie de la gaine voisine du cœur et au moins dans la zone d'interaction, l'indice de réfraction de la gaine soit différent de l'indice de réfraction du substrat et inférieur à
10 l'indice de réfraction du cœur et de façon à ce que la gaine dans la zone d'interaction comporte une modulation de sa structure apte à former le réseau.

Selon un mode préféré de réalisation, le procédé de l'invention comporte les étapes suivantes :

- 15 - a) introduction d'une première espèce ionique dans le substrat de façon à permettre l'obtention après l'étape c) de la gaine optique,
- b) introduction d'une deuxième espèce ionique dans le substrat de façon à permettre l'obtention après
20 l'étape c) du cœur du guide,
- c) enterrage des ions introduits aux étapes a) et b) de façon à obtenir la gaine et le cœur du guide

L'ordre des étapes peut bien entendu être inversé.

25 L'introduction de la première et/ou de la deuxième espèces ioniques est réalisée de façon avantageuse par un échange ionique, ou par implantation ionique.

La première et la deuxième espèces ioniques
30 peuvent être les mêmes ou elles peuvent être différentes.

L'introduction de la première espèce ionique et/ou l'introduction de la deuxième espèce ionique peuvent être réalisées avec l'application d'un champ électrique.

5 Dans le cas d'un échange ionique le substrat doit contenir des espèces ioniques aptes à être échangés.

Selon un mode préféré de réalisation, le substrat est du verre et contient des ions Na^+
10 préalablement introduits, la première et la deuxième espèces ioniques sont des ions Ag^+ et/ou K^+ .

Selon un premier mode de réalisation, l'étape a) comprend la réalisation d'un premier masque comportant un motif apte à l'obtention de la gaine,
15 l'introduction de la première espèce ionique étant réalisée à travers ce premier masque et l'étape b) comprend l'élimination du premier masque et la réalisation d'un deuxième masque comportant un motif apte à l'obtention du cœur, l'introduction de la
20 deuxième espèce ionique étant réalisée à travers ce deuxième masque.

Le premier masque comporte un motif dont la structure est modulée pour obtenir la modulation de structure souhaitée de la gaine permettant de former le
25 réseau.

Selon une variante de mise en œuvre, le premier masque comporte un motif uniforme, la modulation de structure de la gaine étant obtenue après élimination du premier masque par des échauffements
30 locaux de la gaine, par tout moyen connu.

Selon un deuxième mode de réalisation, l'étape a) comporte la réalisation d'un masque comportant un motif apte à l'obtention de la gaine et du coeur, l'introduction de la première et
5 l'introduction de la deuxième espèces ioniques des étapes a) et b) étant réalisées à travers ce masque ; la modulation de la structure de la gaine étant obtenue avantageusement dans ce cas, par des échauffements locaux.

10 Les masques utilisés dans l'invention sont par exemple en aluminium, en chrome, en alumine ou en matériau diélectrique.

Selon un premier mode de réalisation de l'étape c), l'enterrage de la première espèce ionique
15 est réalisée au moins partiellement avant l'étape b) et l'enterrage de la deuxième espèce ionique est réalisée au moins partiellement après l'étape b).

Selon un deuxième mode de réalisation de l'étape c), l'enterrage de la première espèce ionique
20 et l'enterrage de la deuxième espèce ionique sont réalisés simultanément après l'étape b).

Selon un troisième mode de réalisation de l'étape c), l'enterrage comporte un dépôt d'au moins une couche de matériau d'indice de réfraction
25 avantageusement inférieur à celui de la gaine, sur la surface du substrat.

Ce mode peut être bien entendu combiné avec les deux modes précédents.

De façon avantageuse, au moins une partie
30 de l'enterrage est réalisée avec l'application d'un champ électrique.

Généralement avant l'enterrage sous champ et/ou le dépôt d'une couche, le procédé de l'invention peut comporter en outre un enterrage par rediffusion dans un bain ionique.

5 Cette étape de rediffusion peut-être réalisée en partie avant l'étape b) pour rediffuser les ions de la première espèce ionique et en partie après l'étape b) pour rediffuser les ions de la première et de la deuxième espèces ioniques. Cette étape de
10 rediffusion peut également être réalisée en totalité après l'étape b) pour rediffuser les ions des première et deuxième espèces ioniques.

A titre d'exemple, cette rediffusion est obtenue en plongeant le substrat dans un bain contenant
15 la même espèce ionique que celle contenue préalablement dans le substrat.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront mieux de la description qui va
20 suivre, en référence aux figures des dessins annexés. Cette description est donnée à titre purement illustratif et non limitatif.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

- 25 - La figure 1 déjà décrite, représente schématiquement, une fibre optique comportant un réseau réalisé par des gorges gravées dans la gaine,
- la figure 2 représente schématiquement en coupe,
30 un premier exemple de réalisation d'un élément de couplage selon l'invention,

- la figure 3 représente schématiquement en coupe, une variante de réalisation de l'élément de couplage de la figure 2,
- la figure 4 représente schématiquement en coupe,
5 un deuxième exemple de réalisation d'un élément de couplage selon l'invention,
- la figure 5 représente schématiquement en coupe, un troisième exemple réalisation d'un élément de couplage selon l'invention,
- 10 - la figure 6 représente schématiquement en coupe, un quatrième exemple de réalisation d'un élément de couplage selon l'invention,
- la figure 7 représente schématiquement en coupe, un exemple d'utilisation de l'élément de couplage
15 selon l'invention,
- les figures 8a à 8d représentent schématiquement un exemple de mise en œuvre de l'invention,
- les figures 9a et 9b illustrent schématiquement une variante de mise en œuvre de l'invention, et
- 20 - les figures 10a et 10b illustrent schématiquement des exemples de réalisation de masque permettant l'obtention d'une gaine à modulation de section.

25 DESCRIPTION DETAILLEE DE MODES DE MISE EN ŒUVRE DE L'INVENTION

Les figures 2 à 7 représentent des exemples de réalisation d'élément de couplage selon des coupes contenant la direction de propagation x des ondes lumineuses dans le cœur dudit élément. Dans un souci
30 de simplification, on a représenté la direction de propagation contenu dans un même plan, étant bien

entendu cependant, que le cœur de l'élément peut être enterré à des profondeurs d'enterrage variable.

La figure 2 représente schématiquement en coupe, un premier exemple de réalisation d'un élément
5 de couplage selon l'invention.

Sur cette figure est représenté un substrat 11 dans lequel sont réalisés une gaine 13 et un cœur 12. La gaine 13 comporte une modulation de sa largeur (considérée selon une direction y perpendiculaire à la
10 direction de propagation x) dans une zone I de la gaine, appelée zone d'interaction. Cette modulation de largeur crée un réseau R de pas Λ apte à coupler un ou des modes de propagation du cœur à un ou des modes de propagation de la gaine ou inversement.

15 Le cœur existe indépendamment de la gaine. Il présente une section constante et traverse dans cet exemple la gaine et en particulier la zone d'interaction I.

Dans cet exemple, la gaine a une section
20 qui varie de façon sinusoïdale avec le pas Λ . Pour simplifier la représentation, seules quatre périodes de réseau ont été représentées.

La figure 3 représente schématiquement en
25 coupe, une variante de réalisation de l'élément de couplage de la figure 2. Cet élément diffère de celui de la figure 2 par un cœur 14 qui est décentré par rapport à l'axe de symétrie de la gaine selon la direction x . Cette variante permet de rajouter un
30 élément de paramétrage concernant le coefficient de couplage entre la gaine et le cœur par le réseau.

Sur la figure 4, on a représenté schématiquement en coupe, un deuxième exemple de réalisation d'un élément de couplage selon l'invention.

5 Comme sur la figure 2, cet élément de couplage comporte dans un substrat 11, un cœur 12 qui traverse une gaine 15 selon son axe de symétrie considérée selon la direction x.

La gaine présente également une modulation de section, créant un réseau R. Dans cet exemple, le
10 réseau est un réseau dit apodisé. En effet, le motif pseudo-sinusoidal du réseau n'est pas constant et décroît aux deux extrémités. C'est le principe de l'apodisation qui veut que la perturbation qui génère
15 le phénomène de couplage dans la zone d'interaction I apparaisse et disparaisse progressivement le long de la propagation du mode ou des modes.

La variation de section de la gaine induit des perturbations dont les répercussions peuvent être
20 beaucoup plus faibles que dans le cas de variation de la section du cœur (notamment du fait des dimensions de la gaine). La modulation de la section de la gaine selon l'invention permet donc une apodisation plus aisée.

25 D'autres réseaux à gaine artificielle peuvent être réalisés à partir d'une variation de la structure de la gaine. A titre d'exemple la figure 5 montre un réseau de type chirpé pour lequel le pas de la modulation de section de la gaine 17 évolue. Les
30 autres éléments de cette figure sont les mêmes que ceux de la figure 4 et portent les mêmes références.

On peut aussi combiner les différents exemples de réalisation de l'élément de couplage selon l'invention et réaliser par exemple un réseau à la fois chirpé et apodisé.

5 La réalisation de réseaux apodisés ou chirpés est difficile à obtenir par gravure, en particulier pour l'apodisation qui demande un bon contrôle, distribué le long du réseau, de la variation de la gaine. Aussi, l'utilisation de réseaux réalisés
10 selon l'invention est particulièrement avantageuse.

La figure 6 représente schématiquement en coupe un élément de couplage selon l'invention dans lequel la modulation de structure de la gaine est
15 réalisée par une modulation de la position de la gaine par rapport au cœur.

Ainsi, on voit sur cette figure, le substrat 11 dans lequel est réalisé une gaine 18, traversée par le cœur 12.

20 Dans cet exemple, la section de la gaine est constante mais sa position dans le plan de coupe de la figure suit par rapport à l'axe x, une fonction sinusoïdale de période Λ .

Bien entendu, ces différentes variantes de
25 l'invention peuvent être combinées entre elles.

La réalisation du réseau selon l'invention par une modulation de la structure de la gaine permet de réaliser un cœur de section constante. Ce point est particulièrement intéressant lorsque l'élément de
30 couplage est intégré dans une architecture plus complexe. Dans ce cas en effet, l'élément de couplage

est associé au reste du composant en réalisant uniquement la gaine dans une zone du substrat comportant le cœur, ce qui permet de vérifier le fonctionnement du composant sans le réseau à gaine artificielle et sans avoir à faire un autre masque pour la partie du cœur qui va être associé à la zone d'interaction.

A titre d'exemple, la figure 7 montre un élément de couplage intégré justement dans une architecture optique, cette architecture étant dans cet exemple un coupleur en optique intégrée dans un substrat 21.

Ainsi, Le coupleur comprend dans le substrat 21, deux cœurs 24 et 25 de guides qui sont proches l'un de l'autre dans une zone de couplage 26 afin de permettre un échange d'énergie de l'un des guides à l'autre et inversement. Le coeur 24 est associé en outre après la zone de couplage à un élément de couplage 30 selon l'invention. Cet élément de couplage est formé par exemple par une gaine 31 comportant une modulation de sa section et par la partie du coeur 24 qui traverse la gaine.

Ainsi, lorsqu'une onde lumineuse pénètre dans le cœur 24 par une extrémité 22, elle est tout d'abord partagée dans la zone de couplage en deux parties, une partie de l'onde continue à être véhiculée par le guide 24 tandis que l'autre partie est transportée par le cœur 25. La partie de l'onde véhiculée par le cœur 24 est filtrée par l'élément de couplage 30 avant de ressortir par l'extrémité 28 du

guide. L'extrémité 27 du coupleur transmet directement la partie de l'onde couplée par la zone de couplage dans le cœur 25. On obtient ainsi en sortie, un signal filtré et un signal de référence.

5 Une application du composant de la figure 7 peut être par exemple un système de détection spectrale. En effet, si l'élément de couplage 30 a une réponse linéaire en longueur d'onde, l'extrémité 28 du cœur 24 peut donner un signal dépendant de la longueur
10 d'onde alors que l'extrémité 27 donne un signal de normalisation permettant la caractérisation spectrale par exemple de la position d'une raie fine d'émission dans le spectre d'analyse.

 Ce coupleur peut-être avantageusement
15 optimisé, avant la réalisation de l'élément de couplage 30 ; ceci est avantageux en particulier pour équilibrer les deux extrémités de sorties 27 et 28.

 Les figures 8a à 8d représentent
20 schématiquement un exemple de mise en œuvre d'un élément de couplage selon l'invention (par exemple celui de la figure 2) à partir de la technologie par échange d'ions et à partir de masques.

 Ces figures sont des coupes dans un plan
25 perpendiculaire à la surface du substrat et perpendiculaire à la direction x de propagation.

 Sur la figure 8a est représenté le substrat 11 contenant des ions B.

30 Un premier masque 61 est réalisé par exemple par photolithographie sur une des faces du

substrat ; ce masque comporte une ouverture déterminée en fonction des dimensions (largeur, longueur) et du motif de la gaine 13 que l'on souhaite obtenir. Le masque 61 comporte donc les mêmes modulations que
5 celles que l'on souhaite réaliser dans la gaine.

Un premier échange ionique est alors réalisé entre des ions A et les ions B contenus dans le substrat, dans une zone du substrat située au voisinage de l'ouverture du masque 61. Cet échange est obtenu par
10 exemple en trempant le substrat muni du masque dans un bain contenant des ions A et en appliquant éventuellement un champ électrique entre la face du substrat sur laquelle est disposée le masque et la face opposée. La zone du substrat dans laquelle a été
15 réalisée cet échange ionique forme la gaine 13.

Pour enterrer cette gaine, une étape de rediffusion des ions A est réalisée avec l'assistance ou non d'un champ électrique appliqué comme précédemment.

20 La figure 8b, représente la gaine après une étape d'enterrage partielle de celle-ci. Le masque 61 est enlevé généralement avant cette étape.

La réalisation de la gaine selon l'invention s'apparente donc à la réalisation d'un cœur de guide mais avec des dimensions différentes.
25

L'étape suivante représentée figure 8c consiste à former un nouveau masque 65 sur le substrat par exemple par photolithographie après éventuellement un nettoyage de la face du substrat sur lequel il est
30 réalisé. Ce masque comporte des motifs aptes à permettre la réalisation du cœur 12.

Un deuxième échange ionique est alors réalisé entre les ions B du substrat et des ions C qui peuvent être les mêmes ou non que les ions A. Cet échange ionique peut-être réalisé comme précédemment en
5 trempant le substrat dans un bain contenant des ions C et en appliquant éventuellement un champ électrique.

Enfin, la figure 8d illustre le composant obtenu après enterrage du cœur 12 obtenu par rediffusion des ions C et enterrage final de la gaine,
10 avec l'assistance ou non d'un champ électrique. Le masque 65 est généralement supprimé avant cette étape d'enterrage.

Les conditions du premier et du deuxième échanges ioniques sont définies de façon à obtenir les
15 différences d'indices de réfraction souhaitées entre le substrat, la gaine et le cœur. Les paramètres d'ajustement de ces différences sont notamment le temps d'échange, la température du bain, la concentration en ions du bain et la présence ou non d'un champ
20 électrique.

A titre d'exemple de réalisation, le substrat 11 est du verre contenant des ions Na^+ , le masque 61 est en aluminium et présente une ouverture d'environ 30 μm de large et une modulation sur
25 l'ouverture de quelques micromètres à quelques dizaines de micromètres (la longueur de l'ouverture dépend de la longueur désirée de gaine pour l'application visée).

Le premier échange ionique est réalisé avec un bain comportant des ions Ag^+ environ à 20% de
30 concentration, à une température d'environ 330°C et pendant un temps d'échange de 5 mn environ. On effectue

ensuite un enterrage partiel de la gaine ainsi formée dans le verre. Cet enterrage est réalisé par une rediffusion dans un bain de sodium à une température d'environ 260°C. La durée de cette étape dépend de la
5 profondeur d'enterrage souhaitée pour le composant final. Ainsi pour un composant en surface une durée d'environ 3 minutes est suffisante alors que pour un composant enterré on choisira plutôt une durée d'environ 20 minutes. Dans ce second cas il est aussi
10 nécessaire de faire un enterrage sous champ de la gaine avant le second échange. On applique ainsi un courant de 20 mA entre deux bains de sodium de part et d'autre de la plaquette à une température de 260°C et durant 10 minutes.

15 Le masque 65 est aussi en aluminium et présente un motif d'ouverture environ de 3 μm de large (la longueur du motif dépend de la longueur désirée de coeur pour l'application visée).

Le deuxième échange ionique est réalisé
20 avec un bain comportant des ions également Ag^+ environ à 20% de concentration, à une température d'environ 330°C et pendant un temps d'échange de 5 mn environ. Puis on réalise, un enterrage partiel du coeur ainsi formé dans le verre par une rediffusion dans un bain de
25 Sodium à une température d'environ 260°C et pendant 3 mn. Pour un composant enterré, cette étape n'est pas nécessaire.

L'enterrage final de la gaine et du coeur se fait sous champ électrique les deux faces opposées du
30 substrat étant en contact de deux bains (dans cet exemple du sodium) apte à permettre d'appliquer une

différence de potentiel entre ces deux bains. Pour un composant en surface une durée inférieure à la minute est suffisante, dans le cas d'un composant enterré une durée de l'ordre de 30 minutes est utilisée, 5 l'enterrage se faisant avec un courant de 20 mA à 240°C.

De nombreuses variantes du procédé décrit précédemment peuvent être réalisées. Notamment, les étapes d'enterrage de la gaine et du cœur peuvent être 10 réalisées comme décrit précédemment au cours de deux étapes successives mais elles peuvent également être réalisées dans certains cas simultanément, le cœur ayant une concentration ionique supérieure à celle de la gaine, il est enterré plus vite que la gaine, ce qui 15 permet en outre un centrage du cœur dans la gaine.

La différence de concentration entre le cœur et la gaine est généralement obtenue soit par une rediffusion dans un bain des ions formant la gaine soit par une différence de concentration des ions introduits 20 aux étapes a) et b).

Comme on l'a vu précédemment, pour réaliser l'enterrage de la gaine et du cœur, une variante du procédé consisterai à déposer sur le substrat 11, une couche de matériau 68, représentée en pointillés sur la 25 figure 8d. Pour permettre un guidage optique, ce matériau doit présenter avantageusement un indice de réfraction inférieur à celui de la gaine.

En outre, dans cet exemple la gaine est réalisée avant le cœur mais on peut bien entendu 30 réaliser le cœur avant la gaine.

La réalisation du composant selon l'invention n'est pas limitée à la technique d'échange d'ions. Le composant de l'invention peut-être réalisé bien entendu par toutes les techniques qui permettent
5 de modifier l'indice de réfraction du substrat.

Par ailleurs, comme on l'a vu précédemment, la période, la taille, la position du réseau réalisé, sont des paramètres qui peuvent être adaptées en fonction des applications.

10

Les figures 9a et 9b illustrent en perspective une variante de mise en œuvre d'un élément de couplage de l'invention n'utilisant pas de masques.

Ainsi, sur la figure 9a est représenté le
15 substrat 11 dans lequel a été réalisé préalablement, par exemple par masquage et échange d'ions, une gaine 60 de structure uniforme. Un échauffement local 63 de la gaine est ensuite réalisé grâce à un faisceau laser 71 (par exemple un laser de type CO₂) focalisé dans le
20 substrat. Ce faisceau est déplacé le long de la gaine, par intervalles correspondant à la période souhaitée du réseau. Les échauffements locaux produisent une rediffusion des ions dans la gaine ce qui se traduit à la fois par un changement de section et d'indice. Le
25 réseau R est ainsi créé dans la gaine.

A la suite de cette étape (figure 9b), un guide 75 est réalisé dans la gaine par exemple également par masquage et échange d'ions afin d'obtenir l'élément de couplage de l'invention.

30

Dans cet exemple de mise en œuvre, les modulations de la structure de la gaine sont obtenues

sans moduler le motif du masque de la gaine. On peut ainsi modifier la répartition otpto-géométrique de la gaine en réalisant simplement des échauffements locaux périodiques ou pseudo-périodiques. Ces échauffements peuvent être obtenus par tout moyen permettant de chauffer localement une partie du substrat sur une zone de l'ordre de grandeur de la période du réseau souhaité, suivant la direction de propagation des modes. Ces moyens peuvent être par exemple l'insolation laser ou l'utilisation d'un arc électrique.

L'insolation de la gaine par le faisceau laser peut aussi se faire après la réalisation du cœur du guide.

Les figures 10a et 10b illustrent schématiquement des exemples de réalisation de masques M1 et M2 permettant l'obtention d'une gaine à modulation de section.

Ces figures sont des vues de dessus des masques et ne représentent que la partie des masques permettant d'obtenir le réseau. Les zones blanches du motif des masques correspondent aux ouvertures des masques.

Ces masques permettent dans ces exemples, d'obtenir un réseau périodique de période Λ par variation de largeur des motifs.

REFERENCE

- [1] : C.Y. Lin et L.A. Wang, "Loss-tunable long
5 period fibre grating made from etched corrugation
structure", Electron. Lett., 35 (21), (1999), pp
1872-1873

REVENDICATIONS

1. Elément de couplage en optique intégrée, caractérisé en ce qu'il comporte dans un substrat (11, 21) un cœur (12, 24) de guide optique, une gaine optique (13, 31) indépendante du cœur et entourant au moins une portion du cœur dans une zone du substrat dite zone d'interaction, la gaine présentant au moins dans la zone d'interaction une modulation de sa structure de façon à former un réseau (R), l'indice de réfraction de la gaine étant différent de l'indice de réfraction du substrat et inférieur à l'indice de réfraction du cœur au moins dans la partie de la gaine voisine du cœur dans la zone d'interaction.

15

2. Elément de couplage en optique intégrée selon la revendication 1, caractérisé en ce que la modulation de la structure de la gaine est une modulation de sa section

20

3. Elément de couplage en optique intégrée selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que la modulation de la structure de la gaine est une modulation de la position de la gaine par rapport au cœur.

25

4. Elément de couplage en optique intégrée selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la modulation de la structure de gaine est obtenue par implantation ionique ou échange ionique ou encore échauffement local.

30

5. Elément de couplage en optique intégrée selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le réseau formé par la modulation
5 de la structure de la gaine est un réseau apodisé

6. Elément de couplage en optique intégrée selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que le réseau formé par la modulation
10 de la section de la gaine est un réseau chirpé.

7. Procédé de réalisation d'un élément de couplage en optique intégrée dans un substrat selon la revendication 1, caractérisé en ce que la gaine et le
15 cœur du guide sont réalisés respectivement par une modification de l'indice de réfraction du substrat de façon à ce qu'au moins dans la partie de la gaine voisine du cœur et au moins dans la zone d'interaction, l'indice de réfraction de la gaine soit différent de
20 l'indice de réfraction du substrat et inférieur à l'indice de réfraction du cœur et de façon à ce que la gaine dans la zone d'interaction comporte une modulation de sa structure apte à former le réseau.

25 8. Procédé de réalisation selon la revendication 7, caractérisé en ce que la modification de l'indice de réfraction du substrat est obtenue par rayonnement et/ou par introduction d'espèces ioniques

30 9. Procédé de réalisation d'un élément de couplage selon la revendication 8, caractérisée en que

le substrat est choisi parmi du verre, du KTP, du LiNbO_3 ou encore du LiTaO_3 .

10. Procédé de réalisation d'un élément de
5 couplage selon la revendication 8 ou 9, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- 10 - a) introduction d'une première espèce ionique dans le substrat de façon à permettre l'obtention après l'étape c) de la gaine optique,
- b) introduction d'une deuxième espèce ionique dans le substrat de façon à permettre l'obtention après l'étape c) du cœur du guide,
- 15 - c) enterrage des ions introduits aux étapes a) et b) de façon à obtenir la gaine et le cœur du guide.

11. Procédé de réalisation d'un élément de
20 couplage selon la revendication 10, caractérisé en ce que l'étape a) comprend la réalisation d'un premier masque comportant un motif apte à l'obtention de la gaine, l'introduction de la première espèce ionique étant réalisée à travers ce premier masque et l'étape
25 b) comprend l'élimination du premier masque et la réalisation d'un deuxième masque comportant un motif apte à l'obtention du cœur, l'introduction de la deuxième espèce ionique étant réalisée à travers ce deuxième masque.

12. Procédé de réalisation d'un élément de couplage selon la revendication 11, caractérisé en ce que le motif du premier masque est apte à l'obtention de la modulation de la structure de la gaine pour
5 former le réseau.

13. Procédé de réalisation d'un élément de couplage selon la revendication 11, caractérisé en ce que le motif du premier masque est uniforme, la
10 modulation de structure de la gaine étant obtenue par des échauffements locaux (63) de la gaine.

14. Procédé de réalisation d'un élément de couplage selon la revendication 10, caractérisé en ce
15 que l'étape a) comporte la réalisation d'un masque comportant un motif apte à l'obtention de la gaine et du coeur, l'introduction de la première et l'introduction de la deuxième espèces ioniques des étapes a) et b) étant réalisées à travers ce masque et
20 la modulation de la structure de la gaine étant obtenue par des échauffements locaux.

15. Procédé de réalisation d'un élément de couplage selon la revendication 11 ou 14, caractérisé
25 en ce que les masques sont en chrome, en alumine ou en matériau diélectrique.

16. Procédé de réalisation d'un élément de couplage selon l'une quelconque des revendications 10 à
30 15, caractérisé en ce que l'enterrage comporte un dépôt d'au moins une couche (68) de matériau d'indice de

réfraction inférieur à celui de la gaine, sur la surface du substrat.

17. Procédé de réalisation d'un élément de
5 couplage selon l'une quelconque des revendications 10 à
16, caractérisé en ce que l'enterrage est réalisé avec
l'application d'un champ électrique.

18. Procédé de réalisation d'un élément de
10 couplage selon l'une quelconque des revendications 10 à
17, caractérisé en ce que le substrat est du verre et
contient des ions Na^+ , la première et la deuxième
espèces ioniques sont des ions Ag^+ et/ou K^+ .

1 / 5

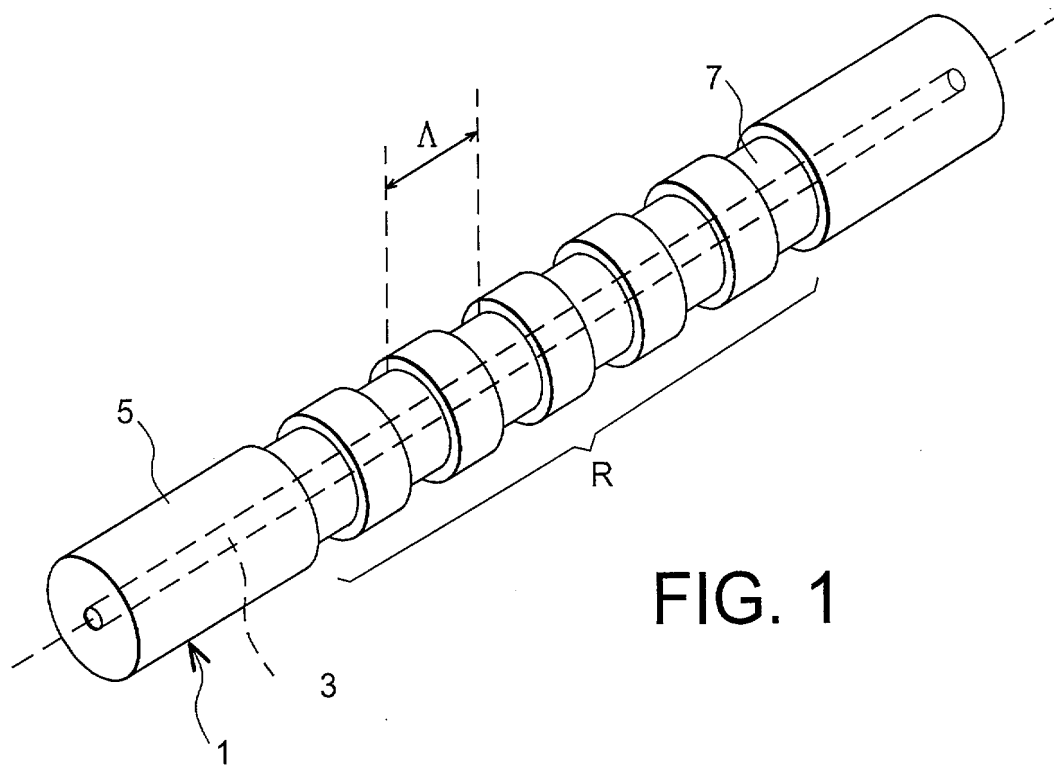


FIG. 1

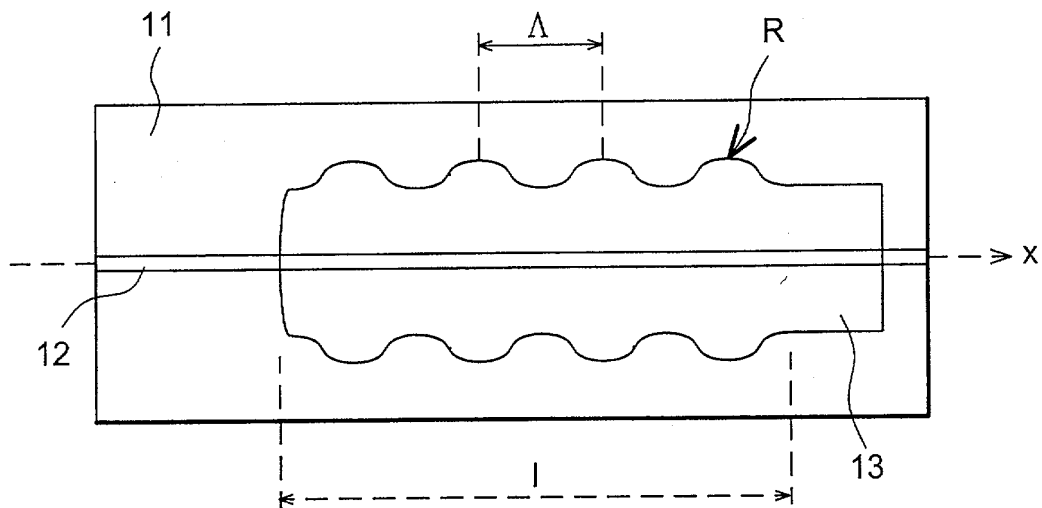
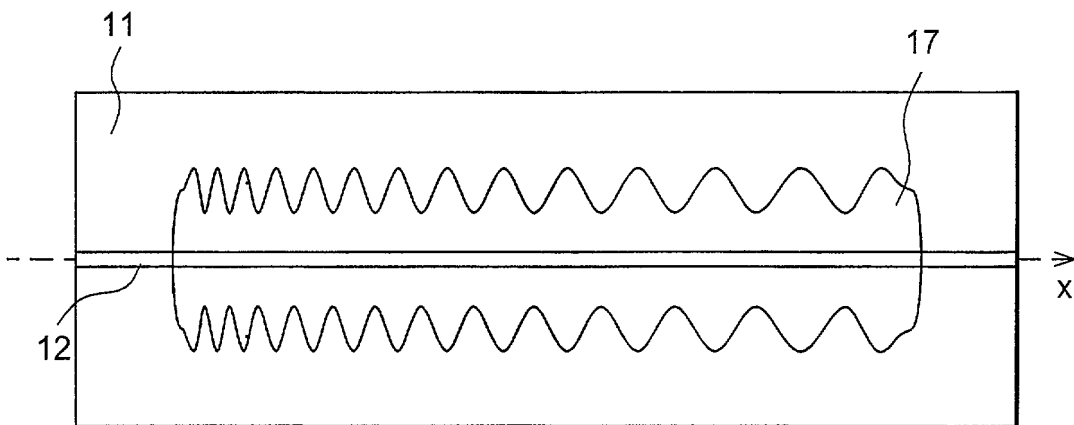
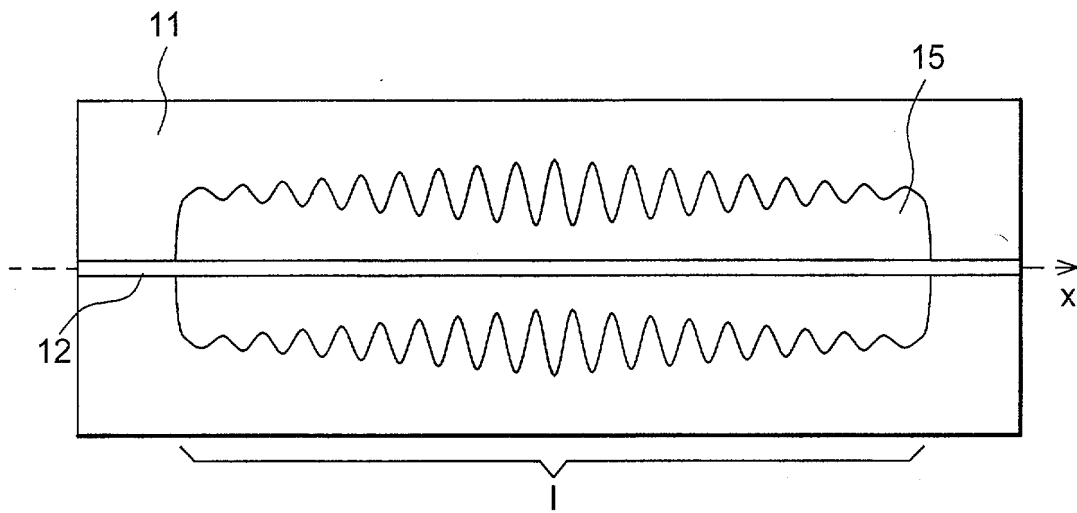
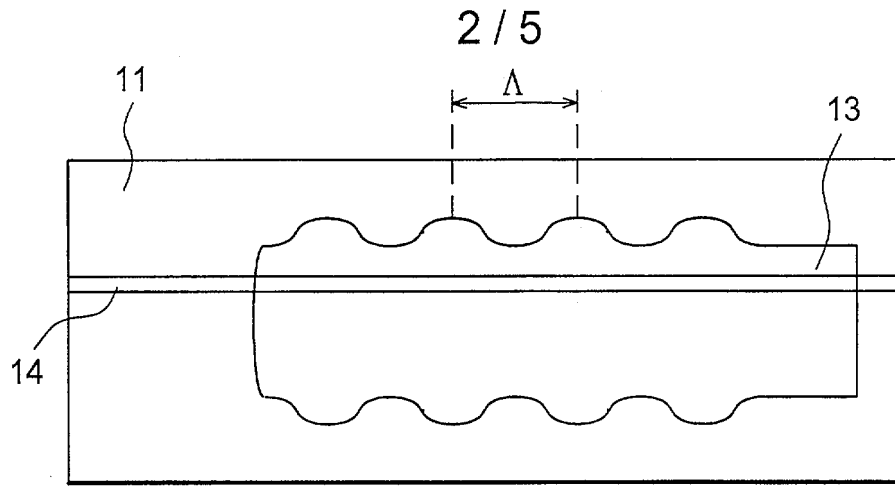


FIG. 2



3 / 5

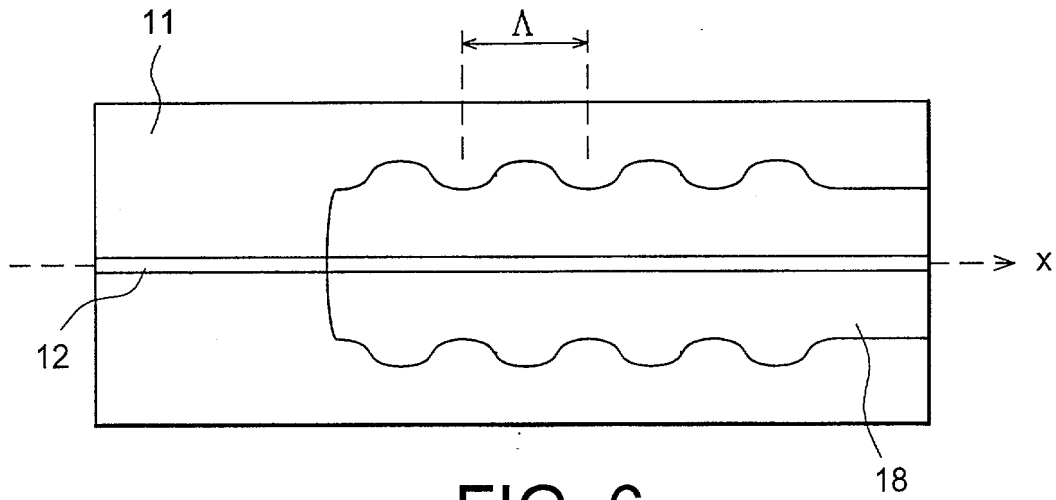


FIG. 6

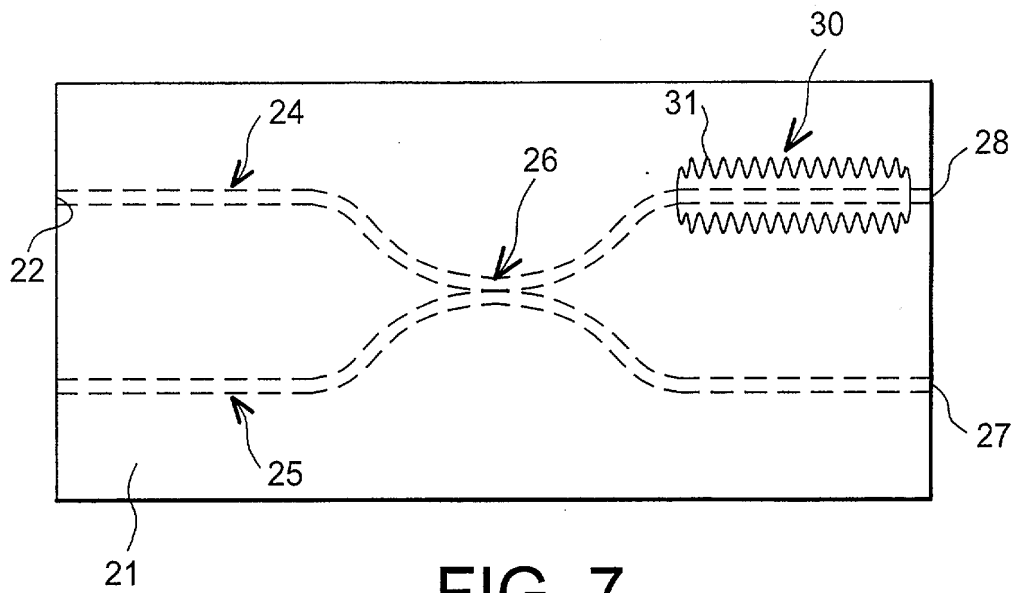


FIG. 7

4 / 5

FIG. 8a

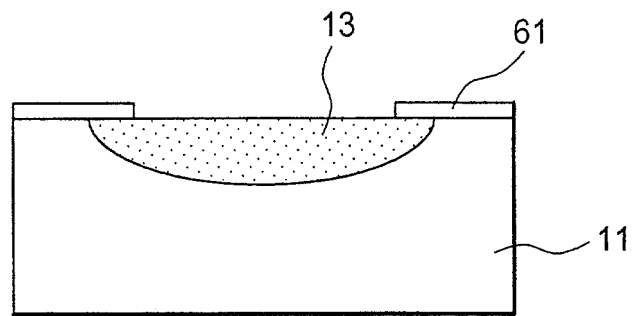


FIG. 8b

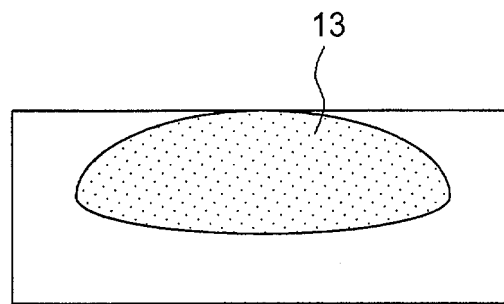


FIG. 8c

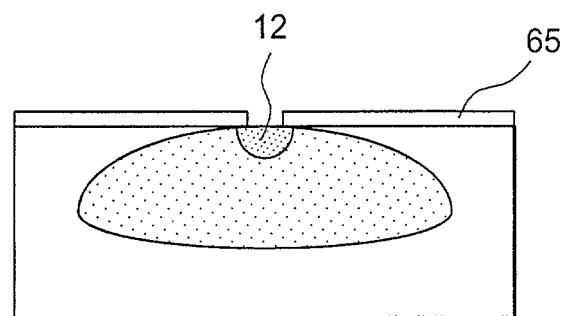
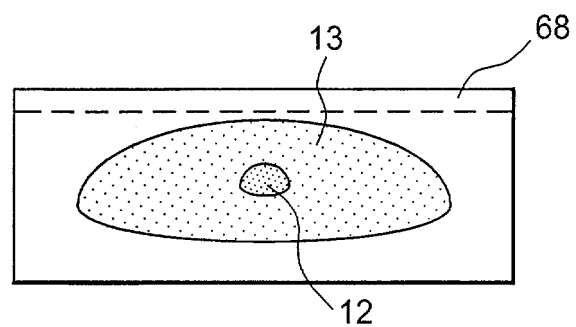


FIG. 8d



5 / 5

FIG. 9a

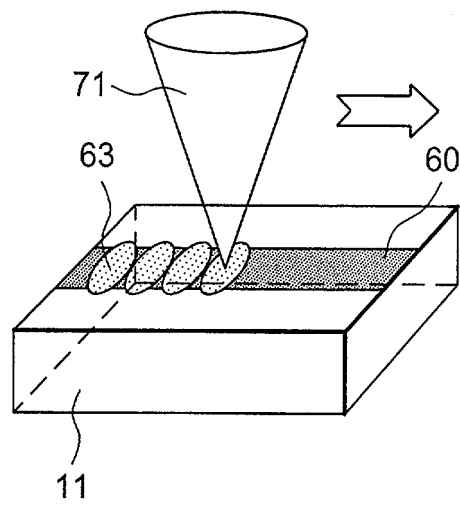


FIG. 9b

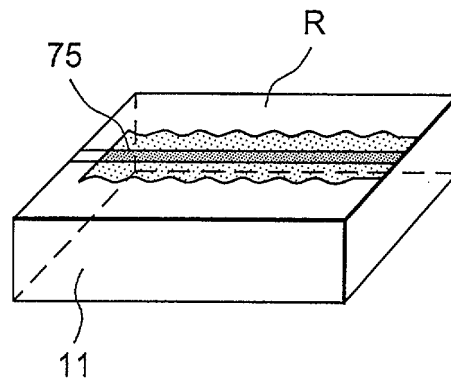


FIG. 10a

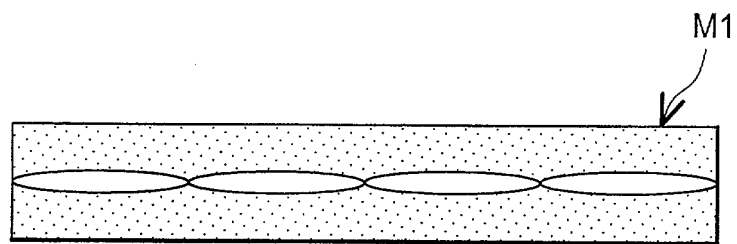
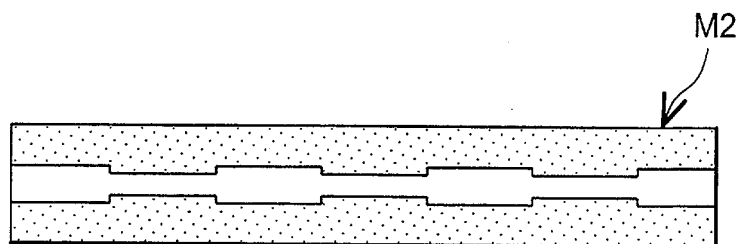


FIG. 10b





RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 627480
FR 0215920

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	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 22, 9 mars 2001 (2001-03-09) -& JP 2001 133649 A (FDK CORP), 18 mai 2001 (2001-05-18) * abrégé; figures * * alinéas '0014!-'0024! *	1,2, 4-12, 15-18	G02B6/34 G02B6/13
A	---	3,13,14	
X	EP 0 285 499 A (FRANCE ETAT) 5 octobre 1988 (1988-10-05) * colonne 10, ligne 38 - colonne 11, ligne 24; figure 8 *	1,4-12, 15	
A	---	3,13,14	
X	US 5 043 991 A (BRADLEY ERIC M) 27 août 1991 (1991-08-27) * colonne 6, ligne 18-35; figure 4 * * colonne 4, ligne 67,68 *	1,2	
A	VEASEY D L ET AL: "ARRAYS OF DISTRIBUTED-BRAGG-REFLECTOR WAVEGUIDE LASERS AT 1536 NM IN YB/ER CODOPED PHOSPHATE GLASS" APPLIED PHYSICS LETTERS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, vol. 74, no. 6, 8 février 1999 (1999-02-08), pages 789-791, XP000805802 ISSN: 0003-6951 * figure 1 *	1	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7) G02B
A	US 6 104 852 A (KASHYAP RAMAN) 15 août 2000 (2000-08-15) * colonne 6, ligne 44 - colonne 7, ligne 11; figures 7,15 *	1	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
10 septembre 2003		Riblet, P	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS 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 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			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0215920 FA 627480**

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 **10-09-2003**
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
JP 2001133649 A	18-05-2001	AUCUN	
EP 0285499 A	05-10-1988	FR 2613085 A1	30-09-1988
		DE 3863379 D1	01-08-1991
		EP 0285499 A1	05-10-1988
		JP 63277600 A	15-11-1988
		US 4938836 A	03-07-1990
US 5043991 A	27-08-1991	AUCUN	
US 6104852 A	15-08-2000	CA 2240519 A1	24-07-1997
		EP 0875014 A2	04-11-1998
		WO 9726571 A2	24-07-1997
		JP 2000503414 T	21-03-2000