

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

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

2 492 116

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 80 21677

-
- (54) Jonction optique hybride et application à un dispositif interférométrique en anneau.
- (51) Classification internationale (Int. Cl.³). G 02 B 5/174; G 01 C 19/58; G 02 B 5/176, 7/26, 27/10.
- (22) Date de dépôt 10 octobre 1980.
- (33) (32) (31) Priorité revendiquée :

-
- (41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande B.O.P.I. — « Listes » n° 15 du 16-4-1982.

-
- (71) Déposant : Société dite : THOMSON-CSF, société anonyme, résidant en France.

- (72) Invention de : Michel Papuchon, Hervé Arditty et Claude Puech.

- (73) Titulaire : *Idem* (71)

- (74) Mandataire : Thomson-CSF, SCPI,
173, bd Haussmann, 75360 Paris Cedex 08.
-

1

L'invention se rapporte aux dispositifs optiques de transmission guidée, réalisables notamment en optique intégrée. On réalise un guide intégré en créant dans un substrat d'indice de réfraction n_0 une zone où l'indice de réfraction n_1 est supérieur à n_0 . L'avantage des dispositifs optiques intégrés par rapport aux solutions de l'optique classique réside en ce qu'ils ne nécessitent aucun alignement, qu'il ne posent pas de problème de stabilité, qu'ils permettent un encombrement moindre, qu'ils suppriment les problèmes de vibration et enfin qu'ils donnent la possibilité d'atteindre les performances ultimes en permettant à la lumière d'être guidée tout le long de son parcours. Afin d'effectuer un guidage de rayonnements optiques dans plusieurs voies, il est intéressant de pouvoir commuter ces rayonnements d'un guide à l'autre.

Il est connu de réaliser des jonctions optiques hybrides selon le principe du coupleur directionnel. Il s'agit d'un commutateur comportant deux guides d'onde réalisés dans un matériau électro-optique et séparés par un milieu d'indice de réfraction inférieur à celui du matériau électro-optique, par une distance de l'ordre de quelques micromètres telle que le rayonnement soit transférable d'un guide à l'autre. L'indice de réfraction des deux guides est modifié en sens inverse par l'action d'un champ électrique, modifiant ainsi la longueur de couplage et donc la portion d'énergie lumineuse qui passe du premier guide au second. De telles structures doivent être géométriquement très précises ; en effet, la longueur de couplage dépend de façon critique d'un grand nombre de paramètres ; la distance inter-guide, en particulier, doit être réalisée de façon très précise.

Le dispositif de transmission guidée selon l'invention comprend deux branches de guides d'onde optiques monomodes convergents en un noeud d'où part une troisième branche de guide monomode. L'ensemble ayant donc la forme d'un Y. Les deux premières branches jouent le rôle d'entrées de la jonction optique hybride, la troisième branche joue le rôle de première

sortie, la deuxième sortie étant une voie de transmission interne du milieu environnant. Cette jonction est donc une configuration de circuit optique intégré particulièrement simple. Elle trouve son utilisation notamment dans les interféromètres optiques. Ceux-ci, en effet, comportent un certain 5 nombre de séparateurs de faisceaux qui peuvent être réalisés en utilisant cette jonction hybride. De plus ils peuvent comporter des modulateurs de phase qui peuvent alors être intégrés sur les mêmes circuits que lesdites jonctions.

L'objet de l'invention est donc un séparateur de rayonnement optique 10 comportant au moins une jonction hybride intégrée à deux voies d'entrée et deux voies de sortie, caractérisé en ce que cette jonction comprend un assemblage en étoile de trois branches de guides d'onde optiques monomodes situées dans un milieu réfringent présentant un indice de réfraction inférieur à celui de ces branches ; les extrémités de ces branches formant les deux 15 entrées et la première sortie de la jonction, la seconde voie de sortie étant constitué par une portion du milieu réfringent reliant le noeud commun de ces branches à une facette de sortie.

D'autres particularités et avantages de l'invention apparaîtront à l'aide 20 de la description ci-après, présentée à titre d'exemple non limitatif, et des dessins annexés où :

- la figure 1 représente un mode de réalisation de l'invention ;
- les figures 2 et 3 représentent des variantes de réalisation de l'invention ;
- la figure 4 représente une application de l'invention à un interféromètre en anneau ;
- la figure 5 représente un interféromètre en anneau de l'art connu ;
- la figure 6 représente une application de l'invention dans un interféromètre en anneau.

Le circuit optique intégré objet de la présente invention, est constitué 30 d'une structure de guidage ne comportant que des guides monomodes. Il comprend comme cela est illustré sur la figure 1 un embranchement en forme d'Y. Ce circuit est réalisé à partir d'un substrat qui peut être un substrat électrooptique tel une plaquette de Niobate de Lithium (LiNbO_3) ou de Tantalate de Lithium (LiTaO_3). Les guides de lumière peuvent être

- obtenus sur de tels substrats par diffusion d'ions métalliques (respectivement Titane et Niobium) : ce qui permet d'augmenter l'indice de réfraction de la zone où s'effectue cette diffusion, donc de former le guide. La fabrication de l'ensemble utilise des techniques de masquage analogues à celles utilisées
- 5 pour la fabrication de semi-conducteurs. Les liaisons optiques sont réalisées par deux guides provenant de deux points entrées 2 et 3, confluant en un noeud pour émerger dans un guide qui est relié au point de sortie 4.
- Le fonctionnement du dispositif est particulièrement clair, si l'on prend en considération la connaissance que l'on a de la propagation dans un
- 10 embranchement constitué de guides monomodes. L'embranchement se comporte comme un séparateur tel qu'une lame semi-transparente avec deux entrées et deux sorties. Si pour la lame semi-transparente ces quatre voies sont évidentes, il faut se reporter au schéma de la figure 1 pour voir qu'il existe également quatre voies pour l'embranchement considéré. En effet,
- 15 outre les trois voies évidentes représentées par les guides monomodes A, B et C, il existe une quatrième voie D correspondant à une onde qui fuit dans le substrat. De plus ce séparateur peut être considéré comme une jonction hybride ; en effet si les ondes qui se propagent dans A et B arrivent en phase au niveau de l'embranchement, elles excitent le mode du guide C et toute
- 20 l'énergie est transférée dans ce guide. Si, par contre, elles sont en opposition de phase, tout se passe comme si on cherchait à exciter un mode anti-symétrique dans le guide C (mode d'ordre supérieur) qui est à la coupure dans le guide monomode. L'énergie correspondante fuit donc dans le substrat suivant la voie D. Ce phénomène a été vérifié expérimentalement. Lorsque
- 25 le déphasage entre les deux ondes parcourant les guides A et B est quelconque, une partie de l'énergie est couplée dans le guide C, la partie complémentaire fuit dans le substrat suivant la voie D. Les extrémités libres des différents chemins optiques A, B, C, D constituent donc les deux points d'entrée 2 et 3 et les deux points de sortie 4 et 5 de la jonction.
- 30 Si nous associons tête-bêche deux séparateurs optiques de type décrit sur la figure 1, nous obtenons un ensemble tel que illustré sur la figure 2. Les deux séparateurs sont intégrés à l'intérieur d'un même substrat 1. Ce dispositif est symétrique en entrées-sorties (2-3, 6-7). Si nous considérons des ondes entrant et se propageant dans les guides A et B, si elles sont en

phase tout l'énergie va être propagée dans le guide C. Quand la lumière guidée dans ce guide monomode C parvient à l'embranchement, une partie est couplée dans le guide A' et l'autre dans le guide B'. La séparation énergétique entre les deux guides A' et B' peut être réglée une fois pour 5 toute par masquage. Si l'embranchement est parfaitement symétrique cette séparation est de 50 % - 50 %, et les pertes sont minimales si l'angle d'embranchement est faible. Pour obtenir une répartition différente de 50 % - 50 %, il suffira de rendre l'embranchement dissymétrique. Lorsque les ondes se propageant en A et B sont en opposition de phase, il n'y a alors plus 10 de transmission dans le guide central C, mais transmission à l'intérieur du substrat selon D.

Ce fonctionnement qui vient d'être décrit est tout aussi vrai dans l'autre sens, c'est-à-dire lorsque les guides d'entrées sont les guides A' et B'.

En effectuant un dépôt de métallisation à la surface du substrat, le 15 guide d'onde central C joue alors le rôle d'un polariseur ne laissant passer que des ondes d'un seul mode optique, en tenant compte de la polarisation.

Le séparateur de la figure 1 décrit précédemment peut être réalisé d'une façon particulièrement intéressante en utilisant le montage de la 20 figure 3. Trois fibres optiques monomodes E, F et G qui jouent alors le rôle des guides A, B et C de la figure 1 sont couplées entre elles pour former un Y. Le couplage entre ces fibres peut notamment être réalisé par rodage des extrémités de celle-ci de telle façon qu'il y ait continuité entre le cœur de ces fibres pour former ce Y. La quatrième voie D est alors obtenue par 25 couplage d'un milieu 31 avec la gaine 9 de la fibre optique. En effet c'est à l'intérieur de cette gaine que s'effectue la transmission correspondante. L'indice du milieu 31 qui forme ici un manchon doit alors être supérieur à celui de la gaine 9. Un détecteur 13 permet de capter le signal véhiculé par la voie D.

Il est de même possible de réaliser de la même façon le dispositif 30 illustré à la figure 2 en couplant tête-bêche deux séparateurs illustrés à la figure 3. En considérant des fibres de forme elliptique, ces fibres jouent le rôle d'un polariseur.

La figure 5 montre un schéma de principe d'un interféromètre en anneau selon l'art connu. Son trajet optique est réalisé en fibre optique

monomode, mais le cœur de cet interféromètre est constitué d'éléments optiques traditionnels.

L'entrée de l'anneau est matérialisée par la lame semi-transparente 15. Le faisceau incident 19 provenant de la source 10 arrive sur la lame 5 semi-transparente 15. Il a préalablement traversé la lame semi-transparente 14 et le filtre de mode 11. La lame semi-conductrice 15 réfléchit une partie du faisceau incident 19 dans l'extrémité 26 d'une fibre optique 30 après focalisation par une lentille 16. Elle transmet l'autre partie dans l'autre extrémité 27 de la fibre 30, après focalisation par une lentille 17.

10 Le premier faisceau 28 parcourt l'anneau de l'interféromètre dans un sens, tandis que l'autre faisceau 29 le parcourt en sens inverse. Ces deux faisceaux arrivent alors sur la lame semi-transparente 15.

15 Le premier faisceau 28 est transmis dans le bras 23 de l'interféromètre, est réfléchi en partie dans le bras 24. Il en est de même pour le deuxième faisceau. Deux portions de ces deux faisceaux interfèrent donc dans les bras 23 et 24.

20 En l'absence de perturbations non réciproques dans le bras, l'interférence est destructrice et le signal détecté par le détecteur 13 est nul, tandis que dans le bras 23 l'interférence est constructive et le signal est maximal.

Le fait d'intercaler un filtre de mode 11 dans le bras d'entrée 23 a pour effet de rendre l'interféromètre strictement réciproque ; il est parcouru par une onde contenue dans un seul mode optique.

Après parcours de la boucle optique de l'interféromètre et recombinaison par la lame séparatrice, la fraction d'énergie optique obtenue par interférence des deux ondes dans le bras 23 de l'interféromètre, présente une structure de mode complexe. En général, la projection de cette énergie sur le mode propre du filtre 11, est non nulle. Cette fraction est atténuée mais contenue dans ce même mode unique et bien défini. En l'absence de phénomènes non linéaires, et, bien sûr en l'absence de phénomènes non réciproques proprement dits, la fraction d'énergie contenue, à l'aller comme au retour dans ce même mode est linéairement indépendante du reste d'énergie optique : tout se passe comme si ce reste d'énergie n'existe pas, et les conditions d'unicité de mode nécessaires et suffisantes à une récipro-

cité rigoureuse du dispositif sont suffisantes.

En fait, pour la plupart des filtres de mode que l'on peut réaliser, la polarisation de l'onde traversant le filtre est un degré de liberté supplémentaire, c'est à dire que, en fait, le filtre est bimode.

5 Lorsque les constantes de propagation, les distributions d'intensité ou les pertes de ces deux modes diffèrent franchement, cela suffit à les séparer. Sinon l'un des deux modes doit être rejeté par un polariseur.

Ainsi les deux faisceaux après avoir parcouru la fibre en sens inverses sont repris par le bras 23 de l'interféromètre par la lame semi-transparente
10 15. Ils retraversent le filtre de mode et le polariseur 25, et sont séparés du faisceau incident 19 par la lame semi-transparente 14 qui les envoie en partie dans le bras 20 dans lequel on détecte le signal d'interférence, sur le détecteur 12.

Il y a donc deux positions possibles pour le détecteur en 13 ou en 12.

15 Si l'on considère un interféromètre simplifié en prenant compte le bras de sortie 24 et le détecteur 13, on peut remplacer le séparateur 15 ici constitué d'une lame semi-transparente par le séparateur illustré à la figure 1. On obtient alors le dispositif illustré à la figure 4. Les jonctions étant réalisées de façon directe, les lentilles n'ont alors plus de raison d'être. Le
20 détecteur 13 est positionné contre l'une des facettes du circuits intégré pour recevoir le signal véhiculé par la voie D, interne au milieu.

Par contre, si l'on considère l'interféromètre en sa totalité, on peut remplacer l'ensemble des éléments optiques traditionnels de la figure 5 par le dispositif optique intégré de la figure 2. On obtient, alors l'interféromètre
25 optique de la figure 6 qui fonctionne suivant le principe décrit précédemment.

Les jonctions optiques intégrées jouent le rôle de séparateurs de faisceau, rôle tenu auparavant par les lames semi-transparentes. Les liaisons fibre optique - guide étant directes, les lentilles sont devenues inutiles. Les
30 guides d'ondes étant monomodes jouent donc le rôle de filtres de mode. En déposant une métallisation à la surface du substrat, le guide d'onde central joue aussi le rôle de polariseur et nous retrouvons alors intégralement le schéma de la figure 5.

Si le matériau dans lequel est réalisé la structure de guidage le

permet, s'il s'agit par exemple d'un matériau électrooptique, on peut réaliser sur le même substrat des éléments actifs et passifs. Il est alors possible de compléter la structure de base qui est passive en lui ajoutant des éléments actifs, tels que des déphasateurs qui peuvent faciliter le traitement du signal.

5 Les guides d'onde peuvent par exemple être réalisés dans un substrat de Niobate de Lithium par des techniques connues de diffusion de Titane. Leur largeur est choisie de manière à ce qu'ils soient monomodes à la longueur d'onde utilisée (typiquement $3 \mu\text{m}$ à $\lambda = 0,85 \mu\text{m}$: laser GaAs). On peut considérer par exemple l'axe du cristal dans le plan de la surface où
10 sont réalisés les guides, mais d'autres orientations sont possibles ; une configuration très employée utilise un cristal avec l'axe perpendiculaire à la surface.

Le guide central peut avoir une longueur de quelques millimètres à plusieurs centimètres (typiquement 5 mm). L'angle total des embranchements, entre les guides A et B de la figure 1 peut être de l'ordre de 1° .

Pour des raisons de commodité de couplage du circuit avec la fibre optique monomode, d'une part, et avec la source laser et le détecteur, d'autre part, l'espacement des guides sur les faces d'entrée et de sortie du circuit optique intégré est de l'ordre de 500 micromètres. La longueur des
20 guides de sortie peut être égale à 5 millimètres pour permettre éventuellement la réalisation de modulateurs de phase intégrés en utilisant l'effet électro-optique dans le substrat de Niobate de Lithium, par application d'une différence de potentiel appropriée entre deux électrodes situées de part et d'autre du guide d'onde.

REVENDICATIONS

1. Séparateur de rayonnement optique comportant au moins une jonction hybride intégrée à deux voies d'entrée et deux voies de sortie, caractérisé en ce que cette jonction comprend un assemblage en étoile de trois branches de guides d'onde optiques monomodes situées dans un milieu réfringent présentant un indice de réfraction inférieur à celui de ces branches ; les extrémités de ces branches formant les deux entrées (2, 3) et la première sortie de la jonction (4), la seconde voie de sortie (5) étant constitué par une portion du milieu réfringent reliant le noeud commun de ces branches à une facette de sortie.
- 10 2. Séparateur selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend deux jonctions hybrides, les deux premières sorties de chaque jonction étant reliées entre elles par un guide monomode (c), ce guide relie donc les deux noeuds d'où partent les différentes branches de chaque jonction.
- 15 3. Séparateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que le milieu réfringent est un matériau ferro-électrique.
4. Séparateur selon la revendication 3, caractérisé en ce que le matériau ferro-électrique est du Niobate de Lithium, du Titane étant introduit dans ce Niobate pour constituer les guides.
- 20 5. Séparateur selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les électrodes peuvent être déposées de part et d'autre des guides d'ondes pour permettre une modulation des signaux lumineux.
6. Séparateur selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'on peut déposer une métallisation à la surface du milieu réfringent.
- 25 7. Séparateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que le milieu réfringent est constitué par la gaine de fibres optiques monomodes dont le coeur forme les branches.
8. Séparateur selon la revendication 8, caractérisé en ce que les fibres monomodes sont de forme elliptique.
- 30 9. Dispositif interférométrique en anneau comportant un guide d'onde en fibre optique parcouru en sens contraires par deux fractions d'un rayonnement optique issues d'une source cohérente et transmises à un détecteur

sensible à leurs interférences après parcours de cette fibre optique, et un séparateur selon la revendication 2, caractérisé en ce que les deux extrémités de cette fibre optique, la source et le détecteur sont directement reliés, respectivement, aux quatre branches de ce séparateur.

2492116

1/4

FIG. 1

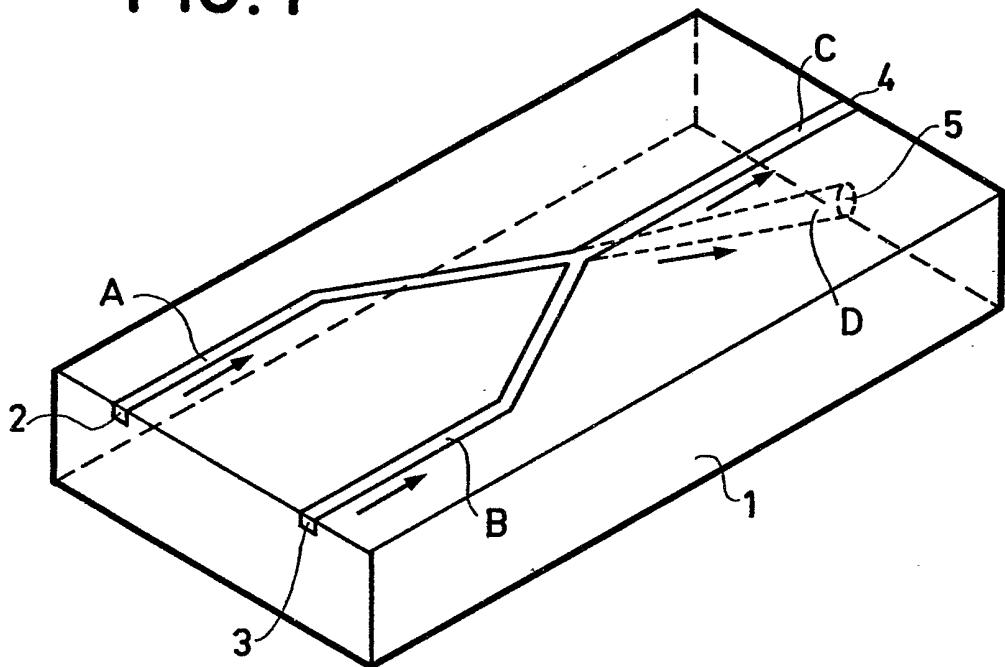
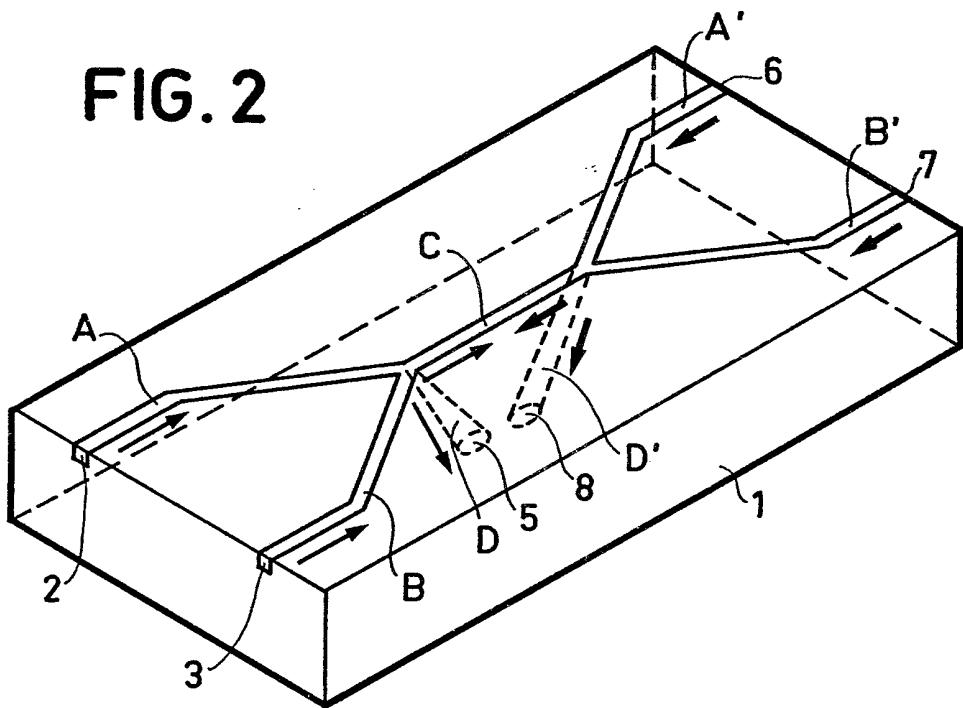


FIG. 2



2492116

2/4

FIG. 3

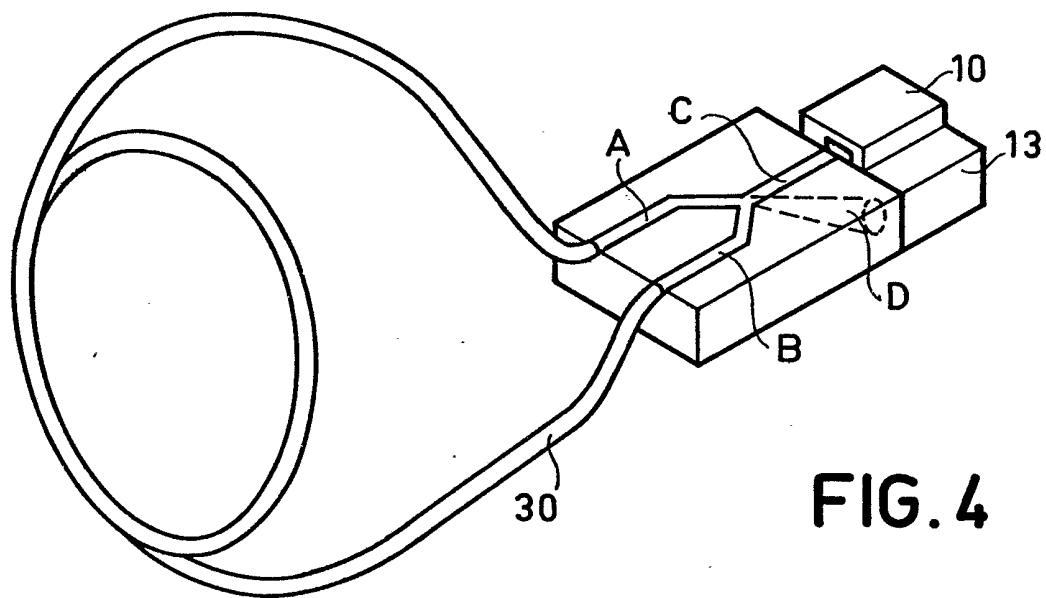
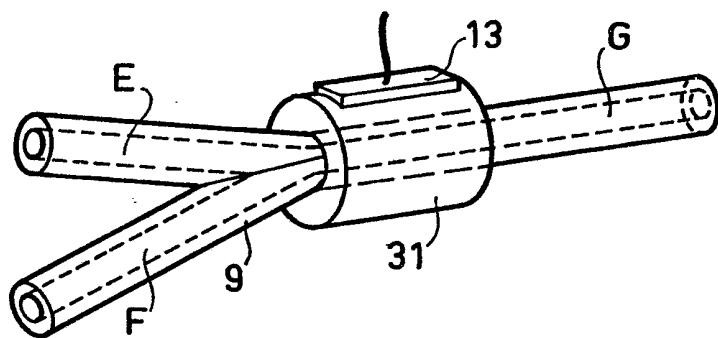
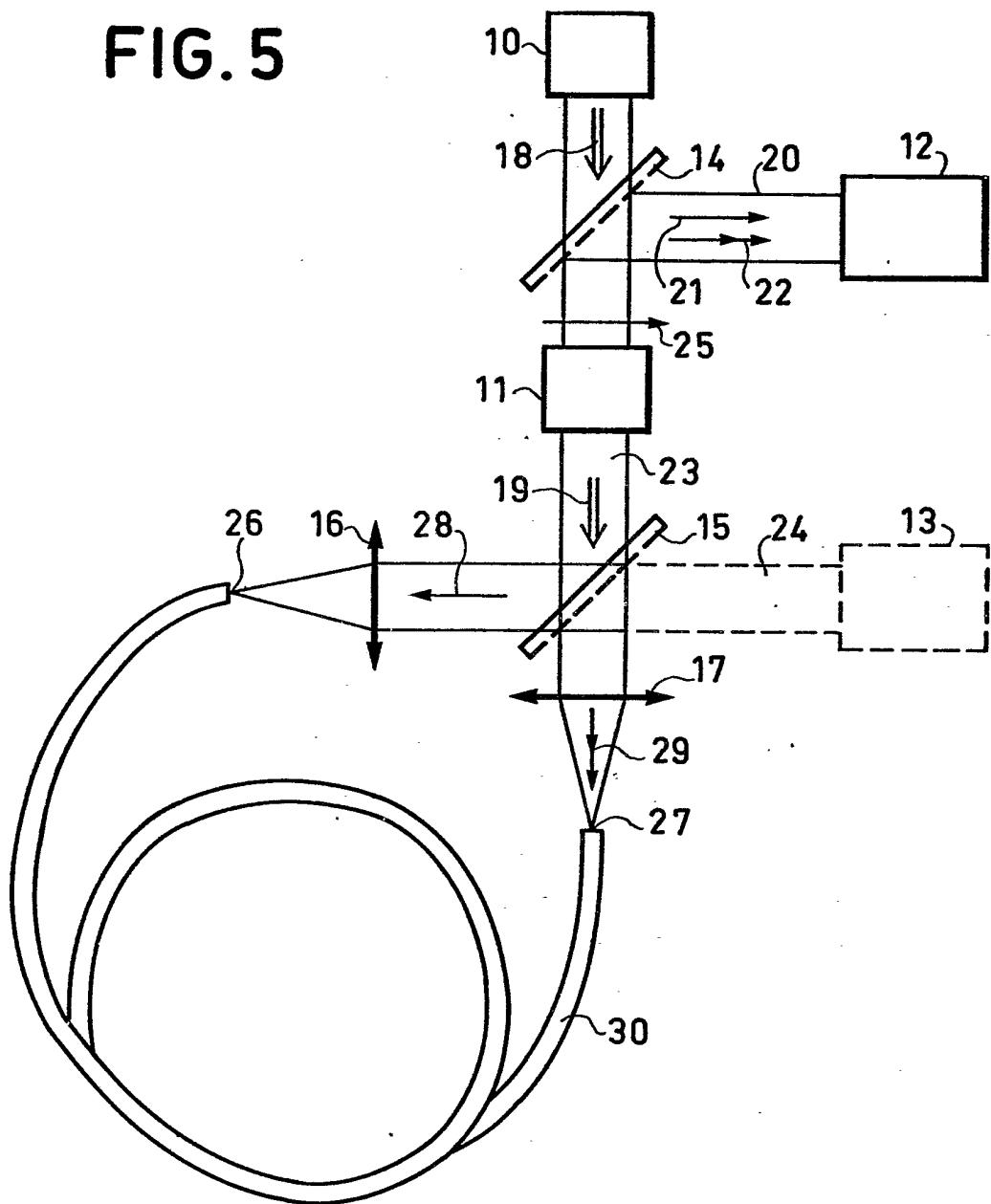


FIG. 4

2492116

3/4

FIG. 5



2492116

4/4

FIG.6

