

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

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

**2 535 452**

②1 N° d'enregistrement national :

**82 18244**

⑤1 Int Cl<sup>3</sup> : G 01 D 5/28; G 01 L 7/08.

①2

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 29 octobre 1982.

③0 Priorité

④3 Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPi « Brevets » n° 18 du 4 mai 1984.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : THOMSON-CSF, société anonyme. — FR.

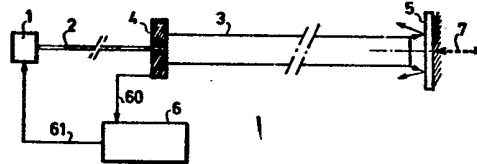
⑦2 Inventeur(s) : Jean-Paul Pocholle et Luigi d'Auria.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Philippe Guilguet.

⑤4 Dispositif de mesure d'une grandeur physique à fibres optiques.

⑤7 Le dispositif de mesure comprend une source d'énergie lumineuse 1, une fibre optique 2, un dioptre réfléchissant 5 et des moyens optoélectroniques de détection 4. Selon l'invention, ces moyens sont constitués par une photodiode enfilée sur une des extrémités d'une première fibre optique 2 dont l'autre extrémité est couplée à la source 1. Dans une variante, le dispositif comprend une seconde fibre 3, couplée à la première fibre 2 transmettant l'énergie lumineuse et émettant vers le dioptre 5 et en captant une fraction prédéterminée. Cette seconde fibre 3 est couplée avec une zone active de forme annulaire de la photodiode 4. Selon une première approche, la fraction captée dépend de la distance L variable séparant le dioptre de la seconde fibre 3. Dans une seconde approche, un corps présentant une bande d'absorption, est inséré entre la seconde fibre optique 3 et le dioptre réfléchissant 5. On peut notamment mesurer des variations de température, des déplacements ou des variations de pression.



FR 2 535 452 - A1

D

DISPOSITIF DE MESURE D'UNE GRANDEUR PHYSIQUE  
A FIBRES OPTIQUES

La présente invention concerne un dispositif de mesure d'une grandeur physique à fibres optiques.

Dans l'art connu, il a été proposé de nombreux dispositifs de mesure mettant à profit les propriétés des fibres optiques : immunité aux perturbations d'origine électromagnétique, isolements galvaniques, faibles dimensions, etc.

La structure générale de ces dispositifs est adaptée à des mesures de variation de flux pouvant être induites par une modification d'un facteur de réflexion lié :

- 10 - selon une première approche, à un déplacement d'un élément mobile en bout de fibre constitué par un dioptre réfléchissant ;
- ou, selon une seconde approche, au déplacement en fréquence d'une bande d'absorption d'un matériau placé entre également un dioptre réfléchissant et l'extrémité d'une fibre.

15 Dans tous ces dispositifs, il est employé des faisceaux de fibres dans lesquels une fibre ou un ensemble de fibres ont pour fonction de transmettre un signal optique, et les fibres restantes de récupérer la lumière réfléchie. Lorsqu'une seule fibre est utilisée, ayant pour fonction de transmettre et de récupérer la lumière réfléchie, il est alors nécessaire d'introduire des  
20 éléments optiques discrets ou des bifurcations à base de fibres optiques également. Ceci a pour résultat d'accroître la complexité du montage optique, ces éléments devant entre autres choses être positionnés avec précision.

L'invention propose des structures de dispositifs de mesure, du type qui  
25 vient d'être décrit utilisant une fibre unique, mais ne présentant pas les inconvénients de l'art connu.

L'invention a donc pour objet un dispositif de mesure d'au moins une grandeur physique munie d'au moins une voie de mesure comprenant une source d'énergie lumineuse, de moyens d'émission et de captation d'énergie  
30 lumineuse et un dioptre réfléchissant recevant l'énergie lumineuse émise par

lesdits moyens d'émission et de captation, ces moyens comprenant au moins une première fibre optique couplée optiquement en une première extrémité à la source d'énergie lumineuse et guidant l'énergie émise par celle-ci dans une région de coeur et des moyens optoélectroniques de détection recevant  
5 une portion variable de l'énergie lumineuse réfléchie par le dioptre réfléchissant, portion variable liée par une loi préétablie à ladite grandeur physique à mesurer ; ces moyens optoélectroniques délivrant un signal électrique représentatif de ladite portion variable d'énergie lumineuse, dispositif caractérisé en ce que les moyens optoélectroniques de détection  
10 comprennent une photodiode munie d'une zone active, sensible à ladite énergie lumineuse dotée d'une structure annulaire et présentant à l'intérieur de cette structure au moins un évidement central traversant la photodiode de part en part et de diamètre intérieur égal ou supérieur au diamètre extérieur de ladite première fibre optique de manière à être enfilée sur  
15 cette fibre optique au voisinage de sa seconde extrémité ; la zone active recevant ladite portion variable d'énergie lumineuse réfléchie.

L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages apparaîtront à l'aide de la description qui suit en référence aux figures annexées :

- 20 - la figure 1 illustre un exemple de structure de dispositifs de mesure selon l'art connu ;
- la figure 2 illustre la configuration générale d'un dispositif selon une première variante de réalisation de l'invention ;
- la figure 3 explicite les dispositions principales retenues dans le cadre de cette réalisation ;
- 25 - les figures 4 à 7 illustrent des détails de réalisation selon plusieurs variantes applicables au dispositif de la figure 2 ;
- la figure 8 illustre la généralisation à un dispositif de mesures multiples ;
- la figure 9 illustre une seconde variante de réalisation du dispositif  
30 de mesure de l'invention ;
- la figure 10 illustre un composant optoélectronique utilisé dans le cadre de l'invention ;
- la figure 11 une variante supplémentaire de réalisation d'un dispositif de mesure selon l'invention.

La figure 1 illustre schématiquement un exemple de structure de dispositif de mesure selon l'art connu, plus particulièrement un dispositif de mesure comportant une fibre unique  $f$  destinée à émettre et à recevoir la lumière.

5 Il comprend des éléments discrets d'émission et de réception de lumière E/R constitués d'une source lumière  $S$ , d'une fibre optique  $f_S$  couplée à cette source, d'un organe opto-électronique de détection représenté par une photodiode  $D$ , d'une fibre optique  $f_D$  couplée à cet organe et  
10 un élément de bifurcation  $B$  couplé d'une part à la fibre optique unique  $f$  et aux fibres optiques  $f_D$  et  $f_S$ .

La fibre optique  $F$  transmet vers un dioptre réfléchissant  $M$  l'énergie lumineuse générée par la source  $S$  et guidée par la fibre optique  $f_S$ , l'élément de bifurcation  $B$  et la fibre optique  $F$ . Cette dernière fibre optique capte une fraction de l'énergie lumineuse réfléchie par le dioptre  $M$  et la  
15 retransmet via la fibre optique  $f$ , l'élément de bifurcation  $B$  la fibre optique  $f_D$  vers l'organe de détection  $D$ .

La fraction de l'énergie captée dépend notamment de la distance séparant le dioptre  $M$  de la face de sortie de la fibre optique  $f$ .

Cette structure de capteur, qui peut être complétée par d'autres  
20 éléments optiques discrets tels que des polariseurs et analyseurs pour mieux discriminer les énergies lumineuses émises et reçues au niveau de la bifurcation  $B$ , est relativement complexe et nécessite, notamment, lors de la fabrication des opérations délicates d'alignement des différents éléments optiques les uns par rapport aux autres pour assurer de bons couplages  
25 optiques.

L'invention se propose d'optimiser cette structure de capteur.

Le dispositif de mesure selon l'invention, comme celui qui vient d'être décrit, met également en oeuvre une fibre optique unique pour l'émission et la réception de lumière. La structure générale d'un dispositif selon une  
30 première variante de réalisation conforme à l'invention va maintenant être décrite en relation avec la figure 2.

Le dispositif comprend une première fibre optique 2 couplée optiquement à une source de lumière 1, par exemple une source laser à semiconducteur. Il comprend également couplé à la première fibre une

seconde fibre optique 3 dont la face de sortie 30 de l'extrémité opposée à celle couplée avec la fibre 2 est disposée en relation de proximité avec un dioptre réfléchissant 5 de manière à émettre la lumière vers ce dioptre et recueillir une partie déterminée de la lumière réfléchie.

5 Selon un des aspects les plus importants de l'invention, une photodiode 4 comportant un orifice central est enfilée sur la première fibre 2 et accolée à la seconde fibre 3 de façon à être couplée optiquement avec cette fibre. Les caractéristiques géométriques de la photodiode ainsi que des fibres seront décrites de façon plus détaillée dans ce qui suit.

10 Dans la première fibre optique sont réalisées les conditions d'une excitation sélective et cette fibre est positionnée face à la seconde fibre optique 3 qui sera appelée dans ce qui suit fibre optique de transfert. La première fibre optique 2 peut être du type monomode ou multimode et la seconde fibre optique du type multimode. Cette dernière présente un coeur de surface plus important que le coeur de la première fibre optique 2 de manière à ce que la photodiode 4 reçoive une partie de la lumière captée par l'extrémité de la seconde fibre 3 en regard avec le dioptre réfléchissant 5 et guidé vers cette photodiode.

15 On se placera tout d'abord dans la première approche de mesure qui a été rappelée, c'est-à-dire une approche dans laquelle le dioptre réfléchissant est déplacé sous l'effet d'un mouvement mécanique symbolisé par la flèche double 7 lié à une variation d'un paramètre physique à mesurer : par exemple pression, température, champ magnétique etc... La lumière collectée par la photodiode à trou 4 qui recouvre une partie de la surface du coeur de la fibre de transfert 3 traduit l'amplitude du déplacement et par voie de conséquence l'intensité du phénomène à mesurer.

20 On se place tout d'abord dans l'hypothèse dans laquelle l'excitation due à l'onde lumineuse transmise par la première fibre 2 ne permet pas d'exciter tous les modes possibles de la fibre de transfert 3. On peut considérer que la distribution d'intensité lumineuse en bout de la fibre de transfert 3 obéit à une loi gaussienne et présente une symétrie de révolution centrée autour de l'axe optique de la fibre 3. Il en est de même de l'énergie lumineuse réfléchie par le dioptre réfléchissant mobile 5. Dans ce cas le rendement énergétique, c'est-à-dire le rapport entre le flux émis et le flux capté par

l'extrémité de la fibre de transfert 3 peut être approximé par la formule suivante :

$$\eta = \pi \frac{\theta_0^2 F^2}{\theta_0^2 + \theta_F^2} \left[ 1 - 2 \left( \frac{1}{\theta_0^2} + \frac{1}{\theta_F^2} \right) \text{Arctg} \left( \frac{r_2}{4L} \right)^2 \right] \quad (1)$$

5 formule dans laquelle  $\theta_0$  caractérise le diagramme de rayonnement issu de la fibre de transfert 3 et  $\theta_F$  représente l'angle caractérisant l'ouverture numérique effective de la fibre optique de transfert 3 lorsque l'ensemble des modes est excité.

Si on se reporte maintenant à la figure 3, qui explicite de façon plus  
10 détaillée le fonctionnement qui vient d'être décrit,  $r_2$  représente le diamètre de coeur 31 de la fibre 3 et L la distance séparant le dioptre 5 de la face de sortie 30 de cette fibre. De préférence le dioptre est plan et parallèle au plan de la face de sortie 30 de la fibre optique 3. Tous les autres paramètres étant fixés, on constate que le rendement énergétique dépend de  
15 la distance L séparant le dioptre 5 de la face de sortie 30 de la fibre optique 3. Il s'ensuit que, en dernier lieu, l'énergie lumineuse captée par la photodiode à trou 4 dépend de cette distance L.

Le mode de fonctionnement qui vient d'être décrit est en général  
réalisé lorsque la fibre optique 3 est une fibre optique multimode du type dit à gradient d'indice.

20 Comme il a été rappelé, le rayon de coeur  $r_2$  de la fibre optique de transfert 3 doit être plus important que le rayon de coeur de la fibre optique 2, en fait ce rayon  $r_2$  doit être plus grand que le rayon extérieur de la première fibre. Une autre condition à réaliser est que le rayon du canal  $r_1$  percé dans la photodiode doit être égal ou légèrement supérieur au rayon  
25 extérieur de la première fibre 2.

En outre, pour assurer un bon couplage optique, les axes optiques des fibres 2 et 3 doivent être alignés sur un axe commun  $\Delta$ .

Enfin, la photodiode 4 est en général constituée par un disque dont  
30 l'une des faces présente une zone active. Il suffit que les dimensions extérieures de cette zone active recouvrent en totalité la surface du coeur 31 de la fibre optique 3. La zone active peut déborder sans incon-

venient sur les autres régions de la fibre optique : gaine etc... représentée par la référence générale 32, sur la figure 3.

Un deuxième cas à considérer est celui où l'excitation sélective se traduit pour la longueur de fibre de transfert 3 utilisée par un diagramme d'excitation uniforme de l'ensemble des modes possibles. Le rendement énergétique suit la loi classique :

$$n = \left[ \frac{r_2}{r_2 + \frac{L}{2} \operatorname{tg} \left( \operatorname{Arc} \sin \frac{\text{O.N.}}{n} \right)} \right]^2 \quad (2)$$

formule dans laquelle n caractérise l'indice du milieu séparant l'extrémité 30 de la fibre de transfert 3 et le dioptré mobile 5 et O.N. l'ouverture numérique de la fibre optique 3.

Le flux collecté par la photodiode 4 est alors proportionnel au rapport des surfaces en regard entre la fibre optique de transfert 3 et l'anneau caractérisant la zone active résiduelle de la photodiode 4, c'est-à-dire l'anneau de rayon interne  $r_1$  et de rayon externe  $r_2$ , paramètres fixés à l'avance.

Comme précédemment, l'énergie collectée est fonction de la distance L séparant le dioptré de l'extrémité 30 de la fibre de transfert 3.

Si on se reporte à nouveau à la figure 2, le dispositif de mesure est complété par des circuits électroniques 6 de traitement de signaux et de commande. Ces circuits reçoivent, par des liaisons électriques 60, les signaux de sortie générés par la photodiode 4 et commandent par des liaisons 61 l'émission de la source laser 1. Ces circuits 6 sont conventionnels et sont à la portée de l'homme de métier. Des exemples d'applications particulières du dispositif de mesure selon l'invention seront décrits ultérieurement.

Les caractéristiques de la fibre excitatrice 2 vont maintenant être décrites de façon plus détaillée en relation avec les figures 4 à 7.

La fibre excitatrice 2 peut présenter les caractères multimodal ou unimodal au choix.

Dans ce dernier cas, il s'agit généralement d'une fibre dite à saut d'indice et comprenant deux régions : une région de coeur 20 entourée par

une gaine 21. S'il s'agit d'une fibre optique dont le matériau de base est la silice, les dimensions optogéométriques de la fibre optique 2 doivent satisfaire la relation :

$$a \sqrt{\Delta_n} \leq 0.187 \lambda \quad (3)$$

5 relation dans laquelle  $\Delta_n$  représente la différence d'indice relative entre les matériaux de coeur 20 et de gaine 21 ;  $\lambda$  la longueur d'onde d'émission de la source utilisée.

La dimension du mode excitateur est directement reliée au paramètre fréquence normalisée de la fibre. Cette fréquence normalisée obéit à la relation :

$$V = k a n_1 \sqrt{2\Delta_n} \quad (4)$$

relation dans laquelle  $k = 2\pi/\lambda$  ;  $a$  représente le diamètre du coeur 20 de la fibre excitatrice 2 et  $n_1$  l'indice optique du matériau de ce coeur. Cette variante de réalisation est représentée sur la figure 4.

15 Une adaptation de la dimension du mode peut être réalisée par étirage de l'embout de la fibre optique 2 dans une zone terminale 22. Si cet étirement peut être approximé par une déformée adiabatique, la relation suivante est vérifiée :

$$(V_1/a_1) = (V_2/a_2) \quad (5)$$

20 relation dans laquelle  $V_1$  et  $V_2$  sont les fréquences normalisées associées à des fibres de diamètres de coeur  $a_1$  et  $a_2$ , c'est-à-dire le diamètre du coeur avant étirage  $a_2$  et le diamètre du coeur  $a_1$  à l'extrémité de la fibre 2 en contact avec l'extrémité de la fibre 3. Cette variante de réalisation est illustrée par la figure 5.

25 On peut également envisager l'utilisation d'une fibre optique multi-mode comme fibre excitatrice 3. Dans ce cas, à priori, les dimensions des deux fibres 2 et 3 sont comparables. Pour que la zone active de la photodiode 4 reste de dimension suffisante, c'est-à-dire la différence entre les rayons  $r_1$  qui correspond sensiblement aux rayons externes de la fibre optique 2 sur laquelle est enfilée la photodiode 4 et le rayon  $r_2$  qui correspond aux rayons du coeur de la fibre optique 3, il est nécessaire soit de débarrasser la fibre optique excitatrice 2 de ses régions périphériques : gaine, etc. ; soit de réaliser à nouveau un étirement de l'embout de la fibre optique 2. Le retrait des régions périphériques, comme illustré par la

30

figure 6, peut être réalisé simplement par attaque chimique.

Ces deux variantes de réalisation sont illustrées respectivement par les figures 6 et 7.

5 Un des éléments les plus importants du dispositif de mesure selon l'invention est la photodiode 4. Cette photodiode peut se présenter dans une variante simplifiée sous la forme d'un disque en matériau semiconducteur comportant une jonction obtenue par tous moyens appropriés de l'art connu tels que la diffusion ou l'implantation. Dans une phase ultérieure de fabrication, on perce ce disque en son centre d'un trou, par exemple par  
10 attaque chimique, pour pouvoir enfile la fibre excitatrice 2. Dans une variante de réalisation préférée, qui va être décrit en relation avec la figure 8, la diode comporte non seulement un canal central destiné à laisser le libre passage de la fibre excitatrice 2, mais également un évidement supplémentaire permettant de positionner la fibre de transmission 3.

15 La figure 8 représente un exemple de réalisation pratique d'une telle diode. Cette diode comprend un ensemble de couches formant la jonction représentée sous la référence générale 40, l'ensemble se présentant comme précédemment sous la forme d'un disque d'axe de révolution  $\Delta$ . Des couches supplémentaires métalliques, respectivement 41 et 42, sont déposées de part  
20 et d'autre de l'ensemble 40 et constituent des contacts électriques. Des ouvertures dans ces métallisations 41 et 42 sont délimitées, par des procédés de photolithographie connus, aux dimensions approximatives des cavités 43 et 44 pratiquées au sein des différentes couches de matériaux semi-conducteurs 40. Ces cavités peuvent être réalisées par attaque chimique au  
25 moyen, par exemple, d'une solution à 1 à 3 % de brome dans de l'alcool méthylique. Cet ensemble est disposé sur un substrat 45 comportant également un évidement central 46. Du côté substrat, un canal 44 est pratiqué dans les couches semiconductrices 40 de diamètre intérieur égale ou légèrement supérieur au diamètre extérieur de la fibre optique excitatrice 2. Du  
30 côté opposé au substrat, un évidement 43 centré sur l'axe  $\Delta$ , qui est également l'axe optique de la fibre excitatrice 2, est réalisé dans les couches semiconductrices 40, évidement dont le diamètre intérieur est égal ou légèrement supérieur au diamètre extérieur de la fibre de transmission 3. Le canal 44 débouche dans l'évidement 43.

De tels composants peuvent être effectués en série sur une plaquette semiconductrice qui est ensuite découpée, comme il est connu, en puces individuelles. Celles-ci sont ensuite soudées sur un support métallique 45 comportant un canal 46 permettant le passage de la fibre excitatrice 2. Ce support peut servir de connexion électrique, une connexion supplémentaire 47 étant soudée sur ce support. Il en est de même pour une connexion 48 qui est soudée à la couche métallique 41. Ces connexions sont réalisées de manière conventionnelle et sont destinées à être reliées aux fils de liaison 60 représentés sur la figure 2, fils de liaison destinés à transmettre les signaux de sortie de la photodiode 4 au circuit électronique 6.

Cette diode ainsi réalisée permet simultanément un bon couplage optique entre les deux fibres optiques 2 et 3 ainsi qu'un bon maintien mécanique de ces fibres. En outre, une fois le couplage optique réalisé, les fibres peuvent être scellées à l'aide d'une colle et, notamment, en ce qui concerne la fibre optique d'excitation 2 par remplissage de l'évidement 46.

La source de lumière 1 peut être constituée par un laser semi-conducteur ou tout simplement par une diode électroluminescente. Dans ce dernier cas, de façon préférentielle, cette diode électroluminescente sera dotée d'une structure analogue à celle qui vient d'être décrite pour la photodiode 4.

Un exemple de réalisation pratique d'une telle diode est illustré par la figure 9. Cette diode comprend un ensemble de couches épitaxiales 12 à 15 déposées sur un substrat 11 par un procédé d'épithaxie connu, comme l'épithaxie en phase liquide. Ces couches constituent entre elles des hétéro-jonctions. La fonction et l'épaisseur approximative typique de ces couches sont décrites ci-après :

- . Substrat 11 : matériau semiconducteur d'un type de conductivité donné n ou p, d'épaisseur 100 micromètres.
- . Couche 12 : couche de confinement en semiconducteur dont la largeur de bande interdite est supérieure à celle de la couche 13 ci-après, de type de conductivité identique à celui du substrat 11 et d'épaisseur 6 micromètres.
- . Couche 13 : couche active dans laquelle a lieu la recombinaison radiative des électrons et trous injectés par les couches confinantes 12

et 14, de largeur de bande interdite voisine de l'énergie des photons à émettre et d'épaisseur 1 micromètre.

5 . Couche 14 : couche de confinement de composition voisine de celle de la couche 12, de type de conductivité opposée et d'épaisseur 2 micromètres.

. Couche 15 : couche de contact de composition et dopages tels qu'ils permettent un bon contact ohmique avec la métallisation 16 qui sera décrite ultérieurement.

10 Les matériaux constituant ces couches sont classiques et choisis notamment en fonction de la longueur d'onde de l'émission désirée, par exemple dans des gammes de longueurs d'onde 0,8 à 0,9 micromètres ou 1 à 1,7 micromètres.

15 La zone active d'émission est limitée à une zone annulaire centrale, respectivement les régions 141 et 151 dans les couches 4 et 5, par implantation de protons dans la zone restante, régions 142 et 152 respectivement. D'autres procédés comme le dépôt d'une couche d'isolant, par exemple d'alumine ou de nitrure de silicium, suivi d'une ouverture ou d'une diffusion localisée peuvent être également utilisés.

20 Deux couches supplémentaires métalliques, respectivement 10 et 16, sont déposées de part et d'autre de l'ensemble et constituent des contacts électriques. Une ouverture dans la métallisation 10 est délimitée par des procédés de photolithographie connus, à la dimension approximative de la cavité 17 à pratiquer au sein du substrat 11. Cette cavité est réalisée comme précédemment décrit pour la photodiode (figure 8) par attaque chimique au moyen, par exemple, d'une solution de 1 à 3 % de brome dans de  
25 l'alcool méthylique. Dans le substrat 11, la cavité 17 est réalisée à travers celui-ci jusqu'à la couche 12, la cavité ayant un diamètre correspondant au diamètre extérieur de la fibre d'excitation 2.

30 De tels composants peuvent également être effectués en série sur une plaquette semiconductrice qui est ensuite découpée comme il est connu en puces individuelles. Celles-ci peuvent ensuite être soudées sur un support non représenté. Des connexions 18 et 19 sont réalisées de manière classique et sont reliées aux fils de liaisons 61 de la figure 2 du manière à appliquer à la diode électroluminescente 1 un signal de commande généré par les

circuits 6.

Comme il a été rappelé, les photodiodes ainsi que les éléments optoélectroniques émetteurs de lumière peuvent être réalisés de façon collective. Cette caractéristique peut être mise à profit pour réaliser un  
5 dispositif de mesures multiples comprenant n voies de mesure permettant de traiter, soit un nombre égal de grandeurs physiques différentes, soit le même nombre de point de mesure d'une grandeur physique à mesurer unique.

La figure 10 illustre un dispositif de mesures multiples du premier type. La structure générale du dispositif de mesure à voies multiples se  
10 présente de façon similaire à celle d'un dispositif à voies uniques de mesure. On retrouve les mêmes divisions que précédemment : un ensemble de source 100, un faisceau de fibres excitatrices 200, un ensemble de photodiodes 400, un faisceau de fibres de transfert 300 et le dioptré réfléchissant 5.

15 Sur la figure 10, a été représenté dans un but de simplification, un dispositif de mesure à quatre canaux, mais ce nombre de canaux peut être quelconque.

L'ensemble source 100 est constitué par un support commun 101 supportant une plaquette de quatre diodes électroluminescentes 102. Ces der-  
20 nières peuvent être des puces discrètes disposées sur le support ou au contraire une plaquette semiconductrice dans laquelle ont été réalisées collectivement quatre diodes. Pour isoler les quatre diodes, toutes techniques appropriées de l'art connu peuvent être utilisées, par exemple en créant des barrières en matériaux isolants de manière à créer quatre caissons  
25 contenant chacun une diode électroluminescente. De façon préférentielle, les diodes sont dotées de la structure décrite en relation avec la figure 9. La commande de ces diodes peut être réalisée de façon collective ou au contraire de façon individuelle de manière à ce que l'émission de lumière puisse se faire selon toutes séquences appropriées. Il a été représentées sur  
30 la figure 10 des paires de connexions 611 à 614 de commande de ces diodes.

Le faisceau de fibres excitatrices 200 comporte quatre fibres 201 à 204 qui peuvent être toutes de types décrits précédemment en relation avec, notamment, les figures 4 à 7.

L'ensemble de photodiodes 400 est également réalisé à partir d'un

support commun 401 et d'une plaquette 402 de quatre diodes percées de canaux. De façon préférentielle également ces diodes présentent la structure décrite en relation avec la figure 8, c'est-à-dire des diodes présentant une première cavité recevant l'une des fibres du faisceau de fibres optiques de transmission 300 et une seconde cavité recevant une des fibres du faisceau de fibres excitatrices 200. Comme précédemment, elles peuvent être constituées par des puces discrètes ou être réalisées collectivement en mettant en oeuvre la même technique d'isolation. Les signaux de sortie de ces diodes sont transmis à des circuits électroniques à l'aide des paires de connections 601 à 604.

Le faisceau de fibres de transfert 300 comporte également quatre fibres, identiques à la fibre 3 précédemment décrite. L'ensemble de ces fibres est disposé de telle sorte que en leurs extrémités en regard avec le miroir 5 soient fixées par un organe 7 analogue à un manchon de connecteur comportant une face 70 plane en regard du miroir 5. Les faces de sortie des fibres optiques de transfert 301 à 304 affleurent en surface de cette face plane 70.

Comme il a été décrit, chacune des fibres de transfert 301 à 304 captent après réflexion sur le miroir 5 une fraction de l'énergie lumineuse qu'elles émettent vers celui-ci. Cette fraction est fonction de la distance qui sépare la face émissive de la fibre de la zone du miroir 5 en regard avec celle-ci.

Le miroir 5 peut être rigide comme illustré par la figure 10 et susceptible de mouvements dans l'espace dûs à des variations des grandeurs physiques à mesurer, par exemple un mouvement oscillatoire le miroir étant mécaniquement couplé à un objet vibrant. Des applications à la mesure de diverses grandeur physique seront décrites de façon plus détaillée dans ce qui suit.

Le miroir 5 peut être également susceptible de déformations sous l'influence de grandeurs physiques à mesurer, par exemple des variations de températures entraînant des déformations de ce miroir, ou encore être constitué de différents miroirs élémentaires associés chacun à une des fibres, ce dans une variante non représentée sur la figure 10.

Les fractions d'énergie lumineuse captées par chacune des fibres sont

transmises sous forme d'onde guidée vers les photodiodes associées à chacune des fibres disposées sur la plaquette 402 et converties en signaux électriques de sortie transmis par les liaisons 601 à 604.

Jusqu'à présent, il a été décrit un dispositif de mesure comprenant, 5 pour chaque voie, outre une fibre excitatrice et une photodiode, une fibre de transfert permettant d'éloigner le point de mesure des organes optoélectroniques d'émission et réception de lumière. Si la présence de signaux électriques peut être tolérée au voisinage des points de mesure, le dispositif qui vient d'être décrit peut être encore simplifié par suppression de la fibre 10 de transmission 3, ou plus généralement du faisceau de fibres de transmission dans la variante illustrée par la figure 10. Un exemple de réalisation d'un dispositif de mesure simplifié conforme à l'invention va maintenant être décrit en relation avec la figure 11.

Le dispositif comprend comme précédemment une source de lumière 1, 15 une fibre optique 2 d'émission de lumière remplaçant la fibre optique excitatrice, de même nature que celle-ci, à l'extrémité de laquelle a été enfilée une photodiode 4 en regard avec un miroir 5. La photodiode 4 peut être constituée d'un support 410 comportant une face plane sur lequel a été 20 disposée la photodiode proprement dite sous forme d'un anneau actif 411 de diamètre interne égal ou légèrement supérieur au diamètre externe de la fibre 2. L'anneau actif 411 et le support 4 comporte un canal 412 permettant le passage de la fibre optique 2. Celle-ci émet de la lumière vers le miroir 5 qui l'a réfléchi et la fraction de lumière captée par l'anneau actif de la photodiode 4 dépend d'une part de la distance L séparant le miroir de la 25 photodiode 4 et de la surface de l'anneau actif 411, ce dernier paramètre étant fixé une fois pour toute. La photodiode 4 captant par sa région active 411 la part du flux lumineux qui n'est pas collectée par la fibre 2, celle-ci doit présenter de préférence une petite section et une faible ouverture numérique pour accroître la sensibilité du capteur à toutes 30 variations de la distance L séparant le dioptré réfléchissant 5 de l'extrémité de cette fibre.

Dans le cadre de l'invention, d'autres dispositions peuvent être prises s'appliquant à tout ou partie des structures qui viennent d'être décrites.

Une première disposition consiste à transformer le dispositif de mesure

en un dispositif à seuil. Si on considère une structure de dispositif de mesure dans laquelle la relation (1) précédemment rappelée est satisfaite, c'est-à-dire par exemple la structure décrite en relation avec la figure 1 ou ses dérivées, avec notamment une fibre optique de transfert 2 du type à gradient d'indice, l'analyse de cette relation montre que la fraction du flux collecté par la fibre de transfert 3 en fonction de la distance séparant la face émettrice de cette fibre et le dioptre réfléchissant 5 varie selon une loi de type Gaussien présentant un maximum pour une distance  $L_0$  déterminée fonction des paramètres optogéométriques du dispositif et décroissant très rapidement de part et d'autre de cette valeur  $L_0$ . Pour transformer les dispositifs de mesure en dispositifs à seuil, il suffit de doter les circuits électroniques de commandes et de traitements de signal 6 de la figure 1 d'un organe électronique à seuil recevant les signaux de sortie de la photodiode 4 et les comparant à une valeur de consigne.

La figure 12 illustre schématiquement un dispositif de mesure à seuil. La tension  $V_D$  qui se développe aux bornes de la photodiode 4 est transmise par les liaisons 60 à un organe à seuil 600 qui reçoit sur une seconde entrée une tension de références  $V_{REF}$  et délivre sur sa sortie un signal  $V_S$ . Ce signal peut être par exemple un signal binaire prenant la valeur logique "1" lorsque la tension  $V_D$  est supérieure ou égale à la tension de références  $V_{REF}$  et la valeur logique "0" dans le cas contraire. Dans ce cas, l'organe à seuil peut être constitué à partir d'un amplificateur différentiel recevant en entrées les tensions  $V_D$  et  $V_{REF}$  dont la sortie commande une bascule bistable. Dans une autre variante, le signal de sortie  $V_S$  peut rester de type analogique, la tension délivrée par la photodiode n'étant prise en compte que lorsqu'elle est supérieure au seuil déterminé de manière à s'affranchir d'un signal de bruit parasite affectant la grandeur physique à mesurer.

Le diagramme de la figure 13 illustre la première variante : fonctionnement en "tout ou rien". Lorsque le miroir 5 est à une distance  $L_0$  de la face terminale de la fibre de transmission 3, la tension de sortie de la photodiode 4 est égale à  $V_{D \max}$  comme représenté sur la partie supérieure du diagramme de la figure 13 représentant les variations de la transmission de sortie  $V_D$  en fonction de la distance  $L$ . A des distances de part et d'autre de la valeur  $L_0$ , respectivement  $L_1$  et  $L_2$ , la tension de sortie de la diode  $V_D$

est égale à la tension de consigne fixée  $V_{REF}$ . La tension de sortie de l'organe à seuil 600 :  $V_S$  prend les valeurs logiques "1" dans la gamme de distances  $L_1$ - $L_2$  et "0" en dehors de cette gamme.

5 Une seconde disposition consiste à associer à une voie active une voie de référence. Cette disposition peut s'appliquer de façon complémentaire à la disposition précédente. Dans ce dernier cas, la valeur de consigne n'est plus fournie par une tension de référence fixée une fois pour toute mais par la tension de sortie de la photodiode associée à la voie de référence. Les signaux délivrés par les photodiodes associées respectivement à la voie 10 active et à la voie de référence sont ensuite comparés, par exemple à l'aide d'un amplificateur différentiel. Cette disposition permet de s'affranchir de phénomènes parasites affectant une grandeur à mesurer. La grandeur parasite doit alors affecter les deux voies de mesure de manière identique, seule la voie active subissant l'influence de la grandeur physique à mesurer.

15 La figure 14 illustre une telle disposition. Seuls les éléments essentiels à la compréhension ont été représentés. La voie de référence comprend un miroir 51 disposé à une distance  $L_{REF}$  d'une fibre de transmission 311 associée à une photodiode 421 délivrant une tension  $V_{D1}$ . La voie de mesure active comprend un miroir 52 disposé à une distance  $L_V$  variable de l'extrémité d'une fibre de transfert 312, cette distance étant fonction de la 20 grandeur physique à mesurer. La fibre 312 est associée à une photodiode 422 délivrant une tension de sortie  $V_{D2}$ . Les deux miroirs 51 et 52 sont tous deux soumis à l'influence de la grandeur parasite dont on désire s'affranchir, par exemple des dilatations dues à des variations de températures, la grandeur 25 physique à mesurer étant d'une autre nature. Les circuits électroniques 6 de la figure 2 comprennent alors un élément de comparaison 621, par exemple un amplificateur différentiel, recevant sur deux entrées les tensions  $V_{D1}$  et  $V_{D2}$  et délivrant en sortie une tension  $V_S$ .

30 Au repos, c'est-à-dire en l'absence de la manifestation de la grandeur à mesurer, lorsque les miroirs 51 et 52 sont soumis au même effet parasite, les distances  $L_{REF}$  et  $L_V$  séparant respectivement les fibres optiques de transfert 311 et 312 des miroirs 51 et 52 varient dans les mêmes proportions. Il s'ensuit que la tension de sortie  $V_S$ , délivrée par l'organe de comparaison 601 reste constante ou nulle suivant les circuits spécifiques

utilisés. Il en est de même pour toutes autres conditions de mesure en dehors des conditions de repos et en conséquence le signal de sortie  $V_S$ , représente la valeur réelle de la grandeur physique à mesurer, les effets parasites étant compensés.

5 Le dispositif qui vient d'être décrit peut être réalisé avantageusement dans le cadre de la structure du dispositif décrit en relation avec la figure 10. Dans ce cas une des voies peut servir de voie de référence, les signaux fournis par les autres voies étant comparés à ceux fournis par la voie de référence.

10 La figure 15 représente un exemple de circuit électronique pouvant être associé à la structure du dispositif de mesure décrite en relation avec la figure 10. Dans le cadre de l'exemple illustré, la voie associée à la photodiode 401 sert de voie de référence et les autres voies, de voies actives. Les circuits électroniques 6 comprennent alors trois comparateurs  
15 622 à 624 recevant chacun sur une première entrée les signaux délivrés par la diode 401 véhiculés par les liaisons 601 et sur une seconde entrée, respectivement, les signaux délivrés par les diodes 402 à 404 véhiculés par les liaisons 602 à 604. Les comparateurs 622 à 624 délivrent les signaux de sorties, respectivement  $V_{S1}$  à  $V_{S3}$ , chacun représentant un point de mesure  
20 de la même grandeur physique à mesurer.

Dans le dispositif décrit en relation avec la figure 10, chaque voie de mesure étant associée à une source lumineuse distincte, il peut être utile de prévoir dans les comparateurs 622 à 624 des circuits permettant d'ajuster les tensions délivrées par les voies actives de mesure de manière à ce que les  
25 tensions  $V_{S1}$  à  $V_{S3}$  soient toutes identiques au repos, par exemple nulles. Cette disposition est à la portée de l'homme de métier et ne nécessite pas de plus ample description.

D'autres configurations sont également possibles. Notamment, si les différentes voies ne sont pas destinées à mesurer la même grandeur physique  
30 en n points de mesure mais des grandeurs physiques distinctes, il est alors nécessaire d'associer à chaque voie de mesure une voie de référence qui lui est propre.

Les applications des dispositifs qui viennent d'être décrits vont maintenant être explicités de façon plus détaillée.

Selon la première approche qui à été rappelée la mesure s'effectue par détection d'un mouvement d'un dioptre réfléchissant, ce dioptre est soit un miroir séparé, couplé mécaniquement à un corps soumis à la grandeur physique à mesurer, soit le corps lui-même rendu réfléchissant sur au moins  
5 une portion de sa surface. Les mouvements du dioptre réfléchissant se traduisent par des variations de la quantité de flux capté après réflexion par la fibre optique de transmission (ou directement par la photodiode dans la version simplifiée de la figure 11).

Les grandeurs physiques mesurables selon cette approche sont, sans  
10 que cela soit limitatif, des variations de températures, les déplacements d'un corps ou des variations de pression.

Les variations de températures sont mesurées indirectement par le biais de la détection de la dilatation d'un corps sous l'influence de la température.

15 En tant que dispositif de mesure d'un déplacement d'un corps, ce dispositif peut être appliqué à la mesure de la position d'un corps dans l'espace, à la mesure des états de surface d'un corps, notamment si l'on utilise un dispositif de mesures multiples analogue à celui décrit en relation avec la figure 10 qui permet d'effectuer la cartographie d'une surface d'un  
20 objet ou la mesure d'oscillations. Dans ce dernier cas, le dispositif peut faire partie intégrante d'un accéléromètre ou d'un détecteur de chocs.

Les mesures de pressions peuvent être effectuées par la détection de la déformation d'un objet sous l'influence de la pression d'un fluide. On peut également utiliser un dispositif de mesure multiple pour relever la carto-  
25 graphie de déformation d'une membrane sous l'influence de la pression d'un fluide.

Selon la seconde approche, on détecte et on mesure la variation du flux capté, due au déplacement d'un dioptre réfléchissant mais aux varia-  
30 tions de densités optiques d'un matériau inséré entre l'extrémité de la fibre de transfert et un dioptre réfléchissant.

On peut réaliser notamment un capteur de température en insérant entre l'extrémité de la fibre de transfert et le dioptre réfléchissant un composé dont le facteur de transmission varie avec la température par déplacement d'une bande d'absorption au voisinage d'une longueur d'onde

déterminée. Un exemple de matériau utilisable est l'arséniure de gallium (Ga As) qui présente une bande d'absorption au voisinage de 800 nanomètre.

L'invention n'est pas limitée aux seuls exemples de réalisation explicitement décrits ni applicable à la mesure des seules grandeurs physiques  
5 rappelées. Elle s'applique à la mesure de toute grandeur physique susceptible de faire varier la quantité de flux absorbé par la fibre de transfert (ou directement par la photodiode annulaire dans le cas du dispositif de la figure 11).

REVENDEICATIONS

1. Dispositif de mesure d'au moins une grandeur physique muni d'au moins une voie de mesure comprenant une source d'énergie lumineuse (1), de moyens d'émission et de captation d'énergie lumineuse et un dioptre réfléchissant (5) recevant l'énergie lumineuse émise par lesdits moyens  
5 d'émission et de captation, ces moyens comprenant au moins une première fibre optique (2) couplée optiquement en une première extrémité à la source d'énergie lumineuse (1) et guidant l'énergie émise par celle-ci dans une région de coeur (20) et des moyens optoélectroniques de détection recevant une portion variable de l'énergie lumineuse réfléchie par le dioptre réflé-  
10 chissant (5), portion variable liée par une loi préétablie à ladite grandeur physique à mesurer ; ces moyens optoélectronique délivrant un signal électrique représentatif de ladite portion variable d'énergie lumineuse, dispositif caractérisé en ce que les moyens optoélectroniques de détection comprennent une photodiode (4) munie d'une zone active, sensible à ladite  
15 énergie lumineuse dotée d'une structure annulaire et présentant à l'intérieur de cette structure au moins un évidement central (44) traversant la photodiode de part en part et de diamètre intérieur ( $r_1$ ) égale ou supérieur au diamètre extérieur de ladite première fibre optique (2) de manière à être enfilée sur cette fibre optique au voisinage de sa seconde extrémité ; la  
20 zone active recevant ladite portion variable d'énergie lumineuse réfléchie.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens d'émission et de captation d'énergie lumineuse comprennent au moins une seconde fibre optique (3), couplée optiquement à la seconde extrémité de la première fibre optique (2) et disposée entre cette fibre et le dioptre  
25 réfléchissant (5) de manière à émettre vers celui-ci l'énergie lumineuse transmise par la première fibre optique (2) et capter ladite portion variable de l'énergie réfléchie et en ce que cette fibre a une région de coeur (31) pour le guidage de l'énergie lumineuse dont la section à une surface plus grande que la surface de la section de la région de coeur (20) de la première  
30 fibre optique (2) de manière à recouvrir au moins en partie ladite zone active de la photodiode (4) et transmettre à cette zone active ladite portion variable de l'énergie réfléchie captée et guidée par la seconde fibre (2).

3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que la photodiode (4) est dotée d'un second évidement (43) débouchant dans le premier évidement (44), coaxial à celui-ci, et de diamètre intérieur égal ou supérieur au diamètre extérieur de la seconde fibre optique (3) de manière à recevoir  
5 l'extrémité de cette fibre et à la coupler optiquement à la première fibre optique (2).
4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la première fibre optique (2) est une fibre optique unimodale.
5. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce que la seconde  
10 extrémité (22) de la première fibre optique (2) est étirée et présente un déformé adiabatique de sa région de coeur (20) de manière à réaliser une adaptation de la dimension du mode guidé à une valeur prédéterminée.
6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la première fibre optique (2) est une fibre multimode à gradient  
15 d'indice.
7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que le diamètre extérieur de la seconde extrémité de la première fibre optique (2) est réduit au diamètre de la région de coeur (20) de celle-ci par attaque chimique des régions entourant ce coeur.
- 20 8. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que le diamètre extérieur de la seconde extrémité de la première fibre optique (2) est réduit par étirage.
9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que la source d'énergie lumineuse (1) est une diode électroluminescente comprenant un substrat plan (11) en matériau semi-conducteur  
25 d'un type de conductivité donné sur lequel ont été déposées des couches épitaxiales en matériau semi-conducteur dopé, ces couches comprenant une première couche de confinement (12), une seconde couche de confinement (14), une couche active (13) comprise entre ces deux couches au sein de  
30 laquelle une combinaison d'électrons et de trous injectés par les premières et secondes couches de confinement émettant une radiation de longueur d'ondes déterminée dans une zone active et une couche superficielle (12) fortement dopée destinée à assurer un contact ohmique et en ce qu'elle comprend un évidement (17) réalisé dans le substrat d'axe ( $\Delta$ ) orthogonale au

plan du substrat, de diamètre interne égal ou supérieur au diamètre externe de la première fibre optique (2) de manière à permettre le positionnement de cette fibre au sein du substrat (11) et réaliser un couplage optique avec ladite zone active d'émission ; la couche active ayant une surface au moins  
5 égale à celle de la section de la région de coeur (20) de la première fibre optique (2).

10 10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens électroniques (6) de traitement du signal ( $V_D$ ) électrique délivré par les moyens optoélectronique (4) de détection de ladite portion variable de l'énergie lumineuse réfléchie comportant un circuit à seuil (600) recevant sur une première entrée ledit signal ( $V_D$ ) et sur une seconde entrée un signal de référence ( $V_{REF}$ ) et délivrant sur sa sortie un signal ( $V_S$ ) représentant ladite grandeur physique à mesurer lorsque l'amplitude du signal délivré est supérieur à l'amplitude du  
15 signal de référence.

20 11. Dispositif selon l'une quelconque des revendication 1 à 9, caractérisé en ce que chaque voie de mesure est dédoublée de manière à comprendre une première voie formant voie active associé à une seconde voie de structure identique formant voie de référence ; la première voie étant seule soumise à l'influence de la grandeur physique à mesurer ; et en ce que il comprend des moyens de comparaison (621) recevant sur des première et seconde entrées les signaux délivrés respectivement par les moyens optoélectroniques associés aux première ( $V_{D1}$ ) et seconde voies ( $V_{D2}$ ) et délivrant sur leur sortie un signal ( $V'_S$ ) représentatif de la  
25 différence en amplitude des signaux d'entrée ( $V_{D1}$ ,  $V_{D2}$ ).

30 12. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, caractérisé en ce qu'il comprend n voies de mesures identiques comprenant chacune au moins une première fibre optique (201 - 204), n étant un nombre entier supérieur à un, et en ce qu'il comprend une source d'énergie lumineuse (102) et une photodiode (402) associées à chacune des voies de mesures et en ce que les sources et photodiodes sont réalisés collectivement sur des plaquettes semiconductrices (102, 402) disposées sur des supports (101, 401).

13. Dispositif selon la revendication 12, caractérisé en ce que toutes les voies de mesure sont destinées à mesurer la même grandeur physique de

manière à former un dispositif de mesure multipoints.

14. Dispositif selon la revendication 12, caractérisé en ce qu'il comprend au moins une voie de mesure d'une première grandeur physique et une seconde voie destinée à la mesure d'une seconde grandeur physique.

5 15. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, caractérisé en ce que ladite grandeur physique à mesurer est la température d'au moins une région d'un corps couplé mécaniquement (7) au dioptre réfléchissant (5) et en ce que ladite portion captée variable de l'énergie lumineuse réfléchie par le dioptre est liée par ladite loi préétablie aux déplacements  
10 du dioptre réfléchissant (5) par rapport auxdits moyens d'émission et de captation d'énergie lumineuse, déplacements dus à des variations des dimensions géométriques de ce corps sous l'influence de variations de sa température.

15 16. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, caractérisé en ce que ladite grandeur physique à mesurer est la température d'au moins une région d'un corps disposé entre lesdits moyens d'émission et de captation d'énergie lumineuse et le dioptre réfléchissant (5), le corps étant associé à au moins une bande d'absorption centrée sur une longueur d'onde  
20 déterminée et en ce que ladite portion captée variable de l'énergie lumineuse réfléchie par le dioptre (5) est liée par ladite loi préétablie à des déplacements de cette bande d'absorption dans le spectre des longueurs d'ondes sous l'influence de variations de température dudit corps.

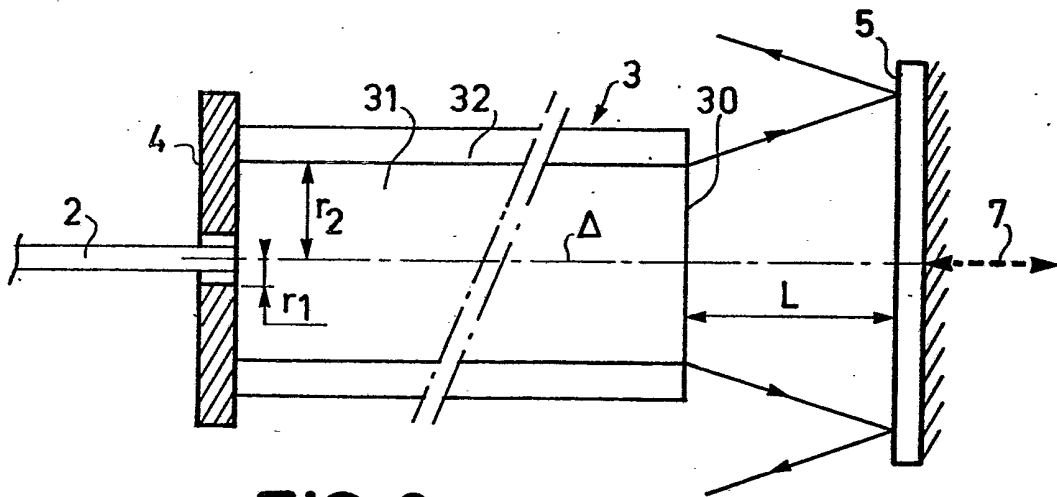
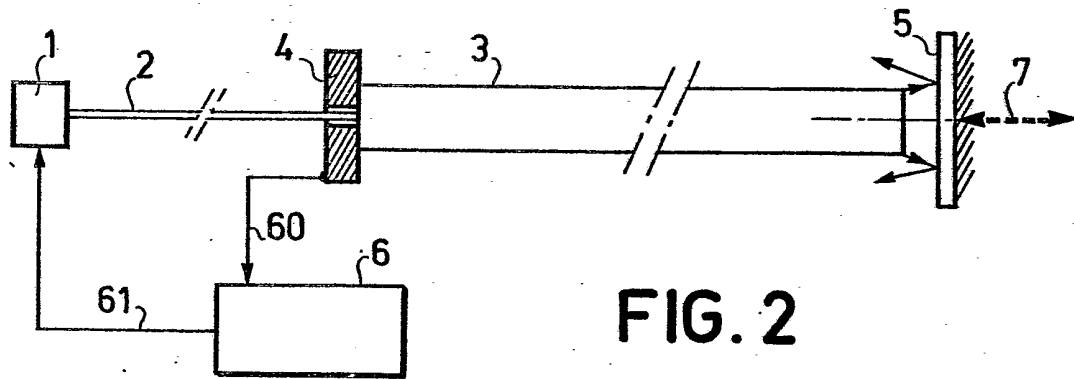
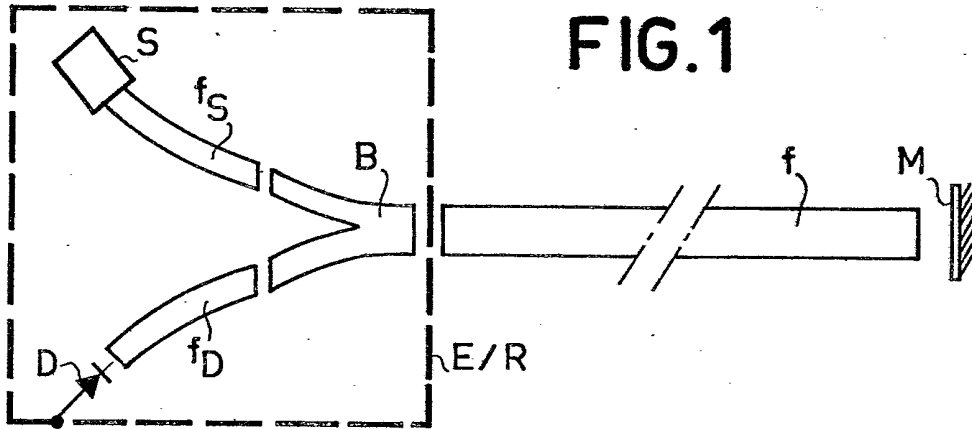
25 17. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, caractérisé en ce que ladite grandeur physique à mesurer est l'amplitude du déplacement d'un corps couplé mécaniquement au dioptre réfléchissant (5) par rapport auxdits moyens d'émission et de captation d'énergie lumineuse et en ce que ladite portion captée variable de l'énergie lumineuse réfléchie par ledit dioptre est liée par ladite loi préétablie à ces déplacements.

30 18. Dispositif selon la revendications 17, caractérisé en ce que ledit déplacement est une oscillation autour d'une position de repos.

19. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, caractérisé en ce que ladite grandeur physique à mesurer est la pression exercée sur un corps couplé mécaniquement au dioptre réfléchissant (5) et occasionnant un déplacement (7) de ce corps et en ce que ladite portion captée

variable de l'énergie lumineuse réfléchiée par le dioptre réfléchissant (5) est lié par ladite loi préétablie à ce déplacement par rapport aux moyens d'émission et de captation d'énergie lumineuse.

5 20. Dispositif selon la revendication 13, caractérisé en ce que ladite grandeur physique à mesurer est la pression exercée par un fluide sur une membrane déformable couplée mécaniquement au dioptre réfléchissant (5) et en ce que chaque voie de mesure est destinée à mesurer l'amplitude de la déformation locale d'une région déterminée de ladite membrane ; ladite portion captée variable de l'énergie lumineuse réfléchiée par le dioptre réfléchissant (5) étant liée par ladite loi préétablie au déplacement de la  
10 membrane par rapport à des moyens d'émission et de captation de l'énergie lumineuse associés auxdites régions du déplacement aux déformations de la membrane.



2/6

FIG. 4

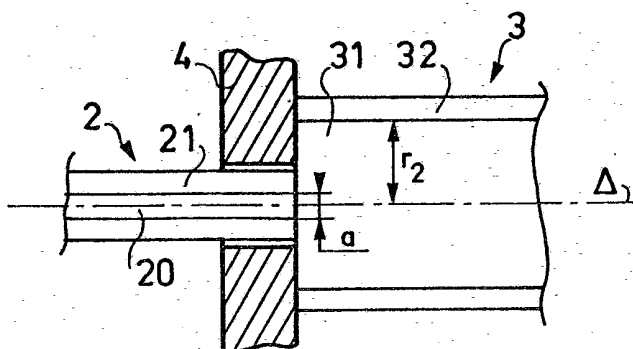


FIG. 5

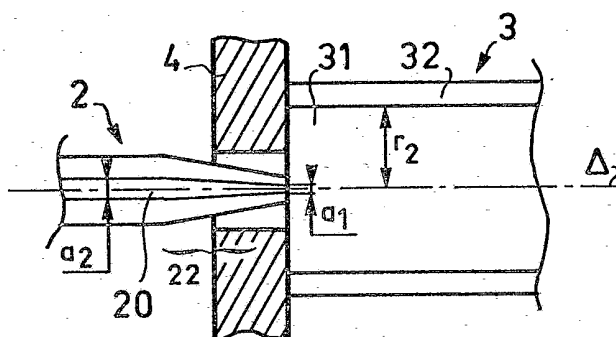


FIG. 6

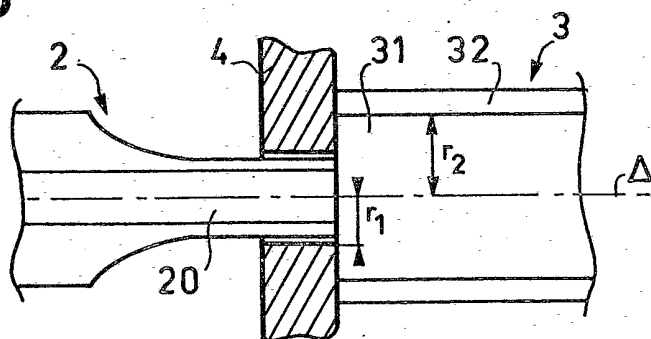
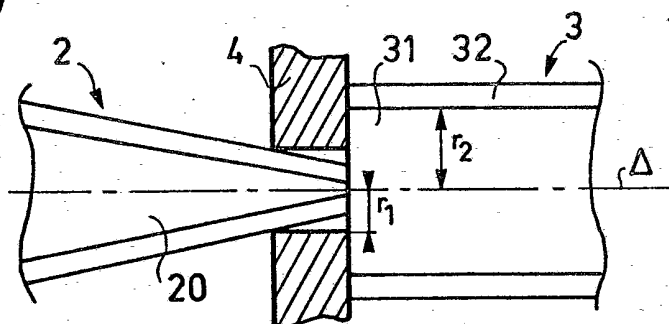


FIG. 7



3/6

FIG. 8

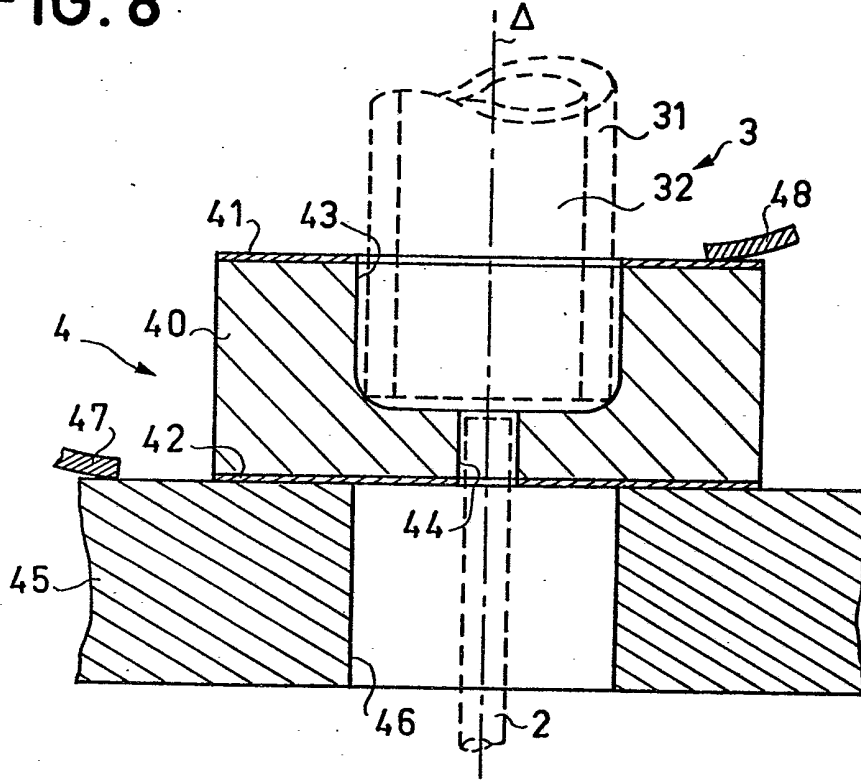


FIG. 9

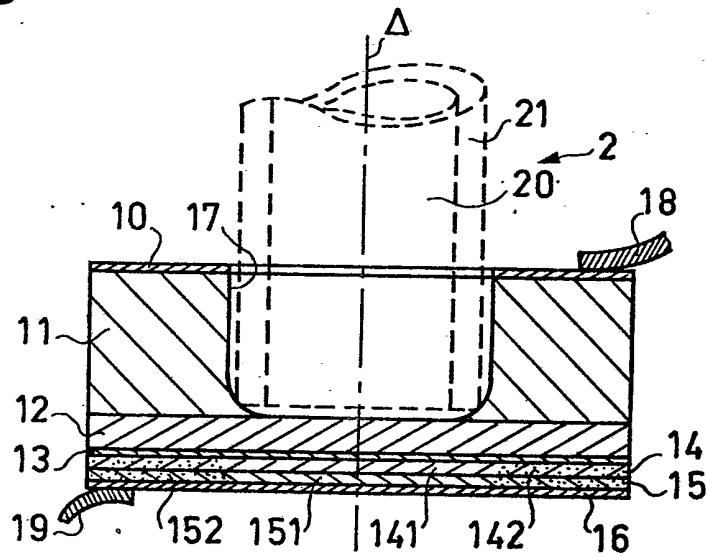


FIG.10

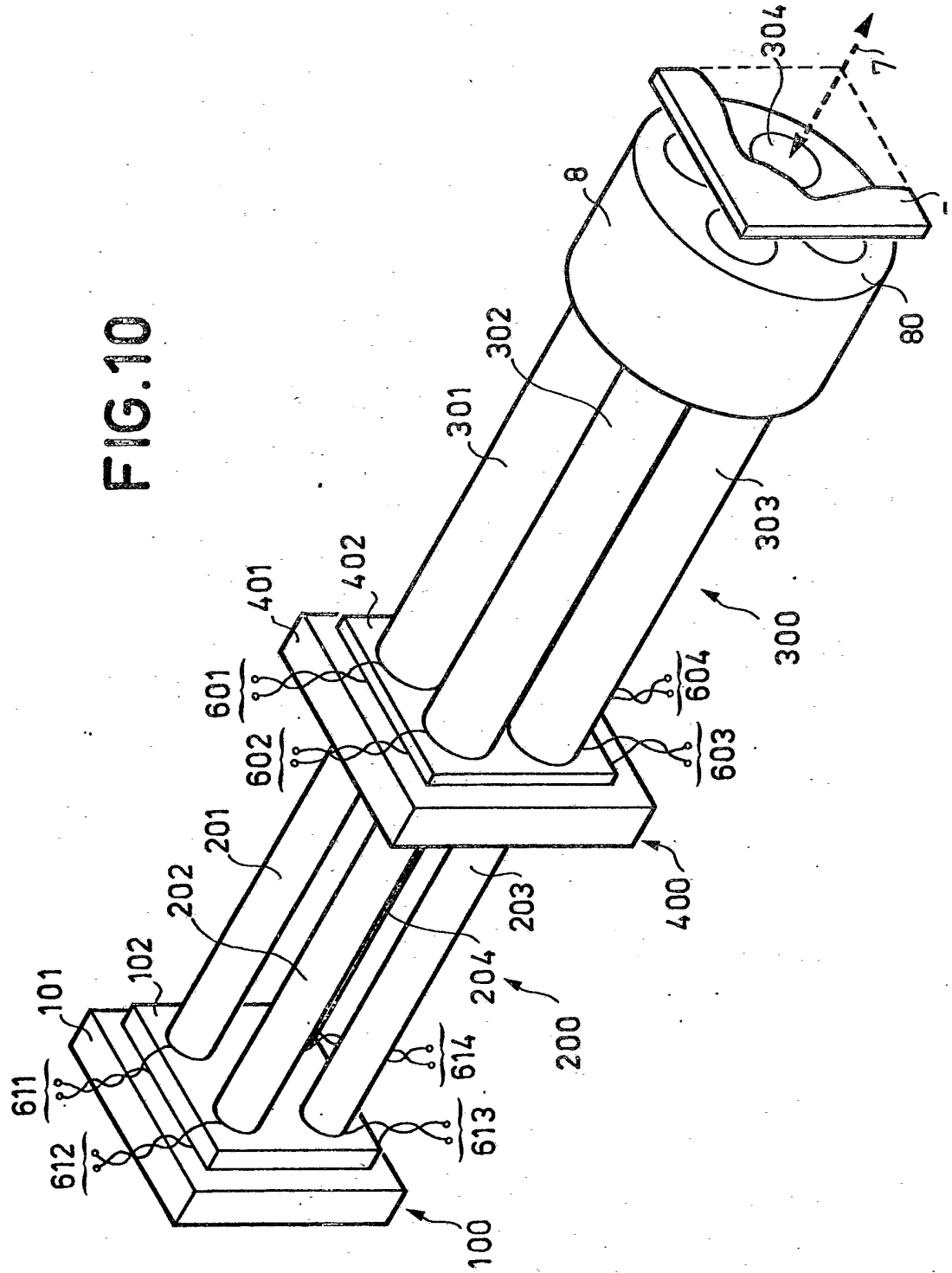


FIG.11

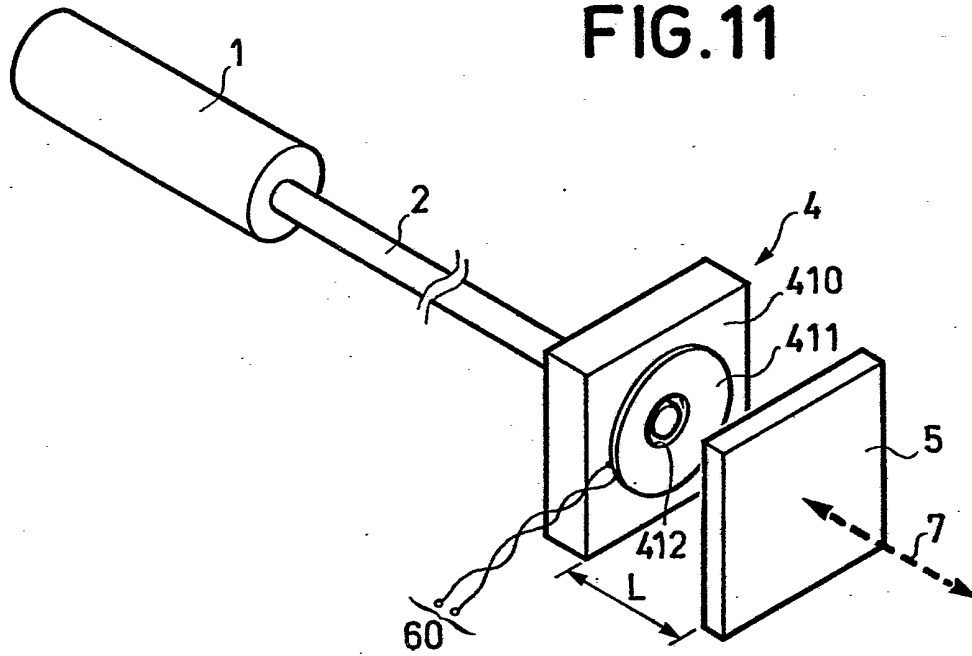
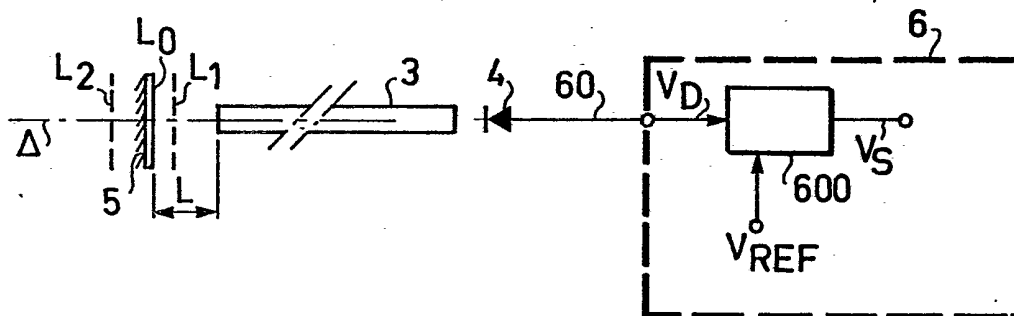


FIG.12



6/6

FIG.13

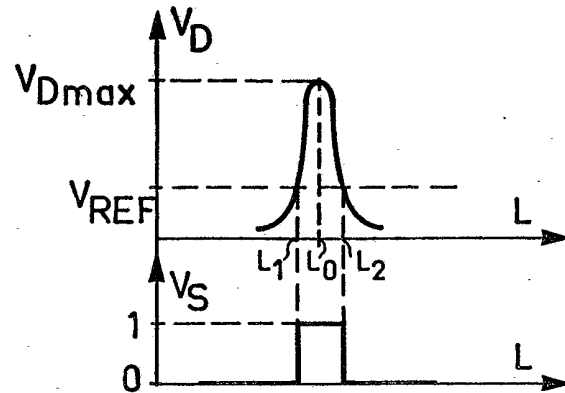


FIG.14

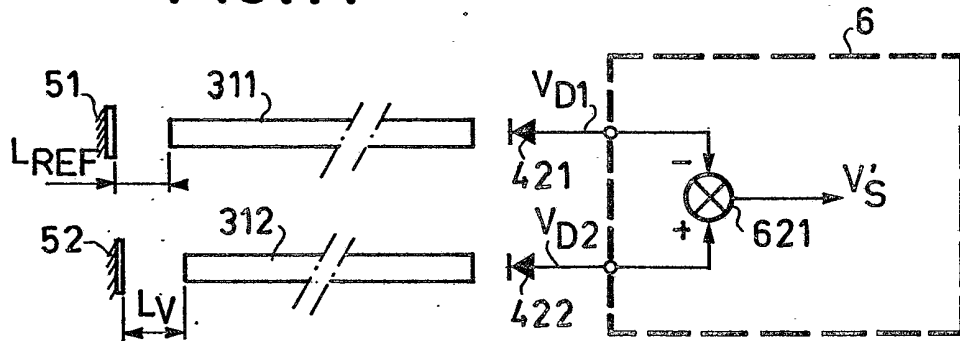


FIG.15

