

19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

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

2 584 180

21) N° d'enregistrement national :

85 09897

51) Int Cl^a : G 01 B 11/26; G 02 B 6/02.

12)

DEMANDE DE CERTIFICAT D'ADDITION À UN BREVET D'INVENTION

A2

22) Date de dépôt : 28 juin 1985.

30) Priorité :

43) Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 1 du 2 janvier 1987.

60) Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés : 1^{re} addition au brevet 84 16876 pris le 6 no-
vembre 1984.

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

72) Inventeur(s) : Jean Le Bouffant, Pierre Keyoun et Ma-
ryse Gazard.

73) Titulaire(s) :

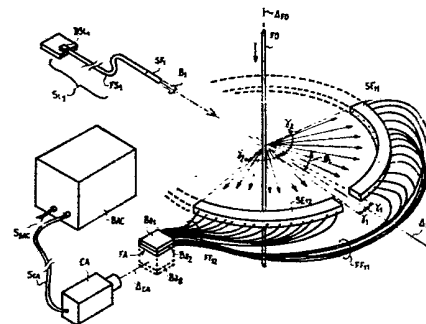
74) Mandataire(s) : Jean Lepercque, SCPI.

54) Dispositif de mesure du centrage d'un barreau cylindrique dans un revêtement transparent cylindrique.

57) Le procédé de mesure selon la demande de brevet
principal comprend une étape de détection de la position
angulaire θ , par rapport à un axe d'éclairement Δ_1 , de deux
lobes latéraux correspondant à des rayons incidents passant
tangentiuellement au barreau FO après pénétration dans le
revêtement transparent et une étape de détermination à partir
de ces positions angulaires de l'excentrement du barreau par
rapport à son revêtement et l'orientation de son excentrement.

Selon la présente addition, le dispositif de mesure pour la
mise en œuvre du procédé comprend des moyens SO_1 pour
générer des faisceaux de rayons parallèles B_1 éclairant un
barreau FO, des moyens de captation SE_{11} , SE_{12} , FF_{11} , FF_{12} ,
 Ba_1 - Ba_2 de l'énergie lumineuse diffractée et des moyens d'ac-
quisition et de traitement de signal CA, BAC.

L'invention s'applique notamment à la mesure dynamique du
centrage d'une fibre optique FO dans sa gaine d'induction
pendant le fibrage.



FR 2 584 180 - A2

/

DISPOSITIF DE MESURE DU CENTRAGE D'UN BARREAU
CYLINDRIQUE DANS UN REVETEMENT TRANSPARENT
CYLINDRIQUE

La présente invention se rapporte au dispositif de mesure du centrage d'un barreau cylindrique dans un revêtement transparent décrit dans la demande de brevet français N° 84 16876 déposée le 6 novembre 1984 au nom de la Demanderesse et intitulée : "Procédé
5 de mesure du centrage d'un barreau cylindrique dans un revêtement transparent cylindrique et dispositif de mise en oeuvre".

L'invention décrite dans la demande de brevet principale se rapporte plus particulièrement à la mesure du centrage d'une fibre optique dans son enduction transparente, sans que cela soit limitatif.

10 En effet, lors de la fabrication de fibres optiques, notamment de fibres monomodes, il est nécessaire de connaître avec une grande précision le centrage de la fibre optique dans son enduction transparente, de préférence en temps réel en cours de fibrage.

Dans l'art connu, une méthode de mesure classique du centrage
15 nécessite la mise en oeuvre d'un microscope. Cette méthode comporte de nombreux inconvénients. En particulier, c'est une méthode de mesure destructive car il est nécessaire de préparer une section de la fibre optique. Cette méthode est donc longue à mettre en oeuvre et ne permet pas une mesure en temps réel.

20 Il est également connu une méthode développée par SMITHGALL et al. Cette méthode est décrite dans l'article "High-Speed Measurement and Control of Fiber-Coating Concentricity" paru dans la Revue "THE BELL SYSTEM TECHNICAL JOURNAL"; vol. 60, No. 9, novembre 1981 ; pages 2065 à 2080.

25 Cette méthode est basée sur l'utilisation de certaines particularités du champ diffracté avant par une fibre optique quand on l'éclaire perpendiculairement à son axe à l'aide d'un faisceau laser. L'analyse en champ lointain dans un plan perpendiculaire à l'axe optique de la fibre optique éclairée par le faisceau laser montre que

les variations d'intensité optique peuvent être décrites par une figure de diffraction complexe présentant des lobes particuliers. Outre un lobe central, dû à la transmission sans diffraction du faisceau de lumière monochromatique suivant un axe perpendiculaire à l'axe optique de la fibre optique, la figure de diffraction comporte deux lobes importants de part et d'autre de ce lobe central.

Lorsque la fibre optique est parfaitement centrée dans son enduction, ces deux lobes latéraux sont disposés symétriquement par rapport à ce lobe central. Dans le cas contraire, la symétrie est rompue.

La méthode décrite dans l'article susmentionné tire partie de ce phénomène. Il est notamment décrit un dispositif permettant de déterminer en tout ou rien si la fibre optique est centrée ou ne l'est pas dans son enduction.

Bien que non destructive et permettant une régulation du centrage en temps réel, cette méthode n'est pas au sens propre une méthode de mesure. En effet, elle ne permet pas de chiffrer de façon continue le défaut de centrage. Ceci est dû au fait que, bien que présentant une intensité optique d'amplitude importante et par là de détection aisée, les deux lobes utilisés, et leurs positions par rapport à l'axe d'éclairement du faisceau laser, ne sont pas reliés de façon simple aux caractéristiques optogéométriques combinées de la fibre optique et de son enduction, notamment au décentrage.

Aussi pour pallier les inconvénients de l'art connu, il a été proposé, dans la demande de brevet principale un procédé également basé sur l'analyse du champ diffracté avant par une fibre optique enduite lorsqu'on l'éclaire perpendiculairement à son axe optique par un faisceau de lumière monochromatique, mais qui contrairement à l'art connu, permet non seulement de détecter un écart de centrage mais aussi de mesurer et chiffrer le défaut de ce centrage.

En outre, dans une variante préférée, le procédé décrit permet également de mesurer le diamètre du revêtement simultanément à la mesure de l'excentricité.

La demande de brevet principale a également pour objet un

dispositif pour la mise en oeuvre du procédé.

Cependant, le dispositif décrit en relation avec la figure 6 de la demande de brevet principal, s'il permet une mise en oeuvre excellente du procédé lorsqu'il s'agit d'éléments à mesurer statiques ou quasi-statiques, il s'est avéré à l'expérience qu'il ne pouvait donner entière satisfaction pour certaines applications, par exemple lorsqu'il s'agit d'éléments à mesurer défilant à grande vitesse. Une application importante de ce type est la mesure in-situ des différents paramètres tels que le centrage d'une fibre optique dans son enduction lors de l'opération de fibrage.

Dans ce cadre, une mesure en temps réel présente l'avantage de pouvoir agir en contre-réaction sur le fibrage pour garantir une meilleure qualité de la fibre revêtue.

Il est alors nécessaire de procéder à une acquisition très rapide d'un ensemble important de données expérimentales et à leur traitement, également dans un temps très court, ce conformément aux étapes du procédé objet de la demande de brevet principal.

La présente addition se fixe pour but de répondre à ce besoin.

L'invention a donc pour objet un dispositif de mesure du centrage d'un barreau cylindrique dans un revêtement transparent cylindrique pour la mise en oeuvre du procédé selon la demande de brevet principale, caractérisé en ce qu'il comprend au moins une source comprenant un émetteur de lumière générant un faisceau de rayons lumineux et des moyens pour projeter ce faisceau sous la forme d'un faisceau de rayons parallèles sur le barreau cylindrique dans un revêtement transparent cylindrique de manière à éclairer suivant un axe de propagation orthogonal à l'axe de symétrie du barreau, des moyens optoélectroniques d'analyse de la répartition angulaire de l'intensité de la figure de diffraction produite par l'interaction du barreau dans son revêtement sur les rayons incidents de chaque faisceau, ces moyens opto-électroniques comprenant pour chaque figure de diffraction des premier et second ensembles d'organes discrets de captation d'énergie lumineuse disposés en arc de cercle de centre confondu avec l'axe de symétrie du barreau, de

part et d'autre de chaque axe de propagation à répartition angulaire uniforme, des moyens pour former une image spatiale de la répartition angulaire de l'énergie captée, des moyens pour convertir l'intensité optique associée à des zones élémentaires de cette image
5 en signaux électriques analogiques, des moyens pour numériser ces signaux analogiques, des moyens pour mémoriser ces signaux numériques et des moyens de traitement de signaux pour la recherche parmi les signaux numériques mémorisés de ceux représentant des maxima d'intensité optique et pour la détermination à partir de
10 ceux-ci de la position angulaire des maxima de deux lobes latéraux de chaque figure de diffraction correspondant à deux rayons incidents passant tangentiellement au barreau après pénétration dans le revêtement.

L'invention sera mieux comprise et d'autres particularités et avantages apparaîtront à l'aide de la description qui suit et des figures annexées et parmi lesquelles :

- la figure 1 représente schématiquement une figure de diffraction avant d'une fibre optique décentrée dans son enduction ;
- la figure 2 représente la marche de deux rayons particuliers traversant une fibre optique dans son enduction ;
20
- la figure 3 représente un exemple d'une figure de diffraction d'une fibre optique éclairée par une diode électroluminescente ;
- la figure 4 représente schématiquement un appareil de fibrage ;
- 25 - la figure 5 représente un exemple du dispositif mettant en oeuvre le procédé selon l'invention.
- les figures 6 à 8 représentent des détails de ce dispositif ;
- les figures 9 et 10 sont relatives à un exemple de réalisation d'une chaîne d'acquisition et de traitement de données utilisée dans le
30 dispositif de l'invention.

Il est tout d'abord utile de rappeler le procédé objet de la demande de brevet principal ainsi que les principaux phénomènes physiques mis en oeuvre dans le cadre de l'invention.

Lorsque l'on éclaire une fibre optique par de la lumière se

propageant sensiblement perpendiculairement à son axe optique, on observe des figures de diffraction. Selon que l'on se place en avant ou en arrière de la fibre optique par rapport à la position de la source de lumière, il s'agit de diffraction obtenue par transmission de la lumière ou rétrodiffraction de la lumière. Dans le cadre de l'invention, on utilisera la diffraction avant, c'est-à-dire les figures de diffraction créées par la lumière transmise.

La méthode selon l'invention peut s'appliquer, d'une part, à tout barreau en matériau transparent dans une enveloppe en matériau également transparent, à condition que ce dernier matériau ait un indice de réfraction supérieur au matériau composant le barreau central, d'autre part, à un barreau opaque dans une enveloppe en matériau transparent. Cependant, pour fixer les idées, le procédé va être décrit dans le cadre de la mesure de l'excentricité d'une fibre optique dans son enduction, en matériau d'indice de réfraction supérieur à celui de la fibre optique.

On éclaire donc une fibre optique dans son enduction à l'aide d'un laser produisant des faisceaux de rayons parallèles perpendiculaires à l'axe optique de la fibre. On observe la figure de diffraction produite en champ lointain, ce à l'aide de détecteurs optoélectroniques. Si l'on reporte sur un graphique les intensités optiques détectées par cette barrette de photodiodes, on obtient une enveloppe dont l'allure est illustrée par la figure 1.

Tout d'abord, centré sur l'axe moyen d'émission de la source laser, on détecte un premier lobe d'amplitude très élevée et qui n'a pas été représenté sur la figure 1. Ce lobe correspond à la partie du faisceau laser non diffracté, c'est-à-dire transmise directement. De part et d'autre de ce lobe central, on constate deux lobes d'amplitude importante, A et A'.

L'axe horizontal du diagramme représenté sur la figure 1 correspond à des angles en degrés des rayons déviés par rapport à l'axe moyen d'émission de la source laser après traversée et diffraction par la fibre optique dans son enduction.

La figure 1 représente le cas où la fibre optique et son

5 induction ne sont pas parfaitement centrées. On constate alors que l'amplitude des deux lobes est différente et que ceux-ci ne sont pas disposés symétriquement par rapport au lobe central, c'est-à-dire à la direction moyenne d'émission de la source laser. Sur la figure 1, les maxima des lobes A et A' sont détectés pour des angles de déviation respectifs $+12^\circ$ et -18° par rapport à l'axe d'émission moyen de la source laser. Ces angles sont référencés θ_m^+ et θ_m^- .

10 La figure 2 illustre de façon schématique une fibre optique FO de section circulaire de centre O dans sa gaine d'induction G, également de section circulaire et de centre O', traversée par différents rayons lumineux.

15 Les rayons lumineux incidents sont parallèles à un axe d'émission moyen ΔE représenté passant par le centre O'. Comme il a été rappelé, le matériau de la gaine G est un matériau transparent d'indice de réfraction supérieur au matériau de la fibre optique centrale. La théorie montre que le maximum A de la figure de diffraction correspond à un rayon R_m traversant la fibre optique, après une première réfraction à l'interface entre le matériau de la gaine G et le milieu extérieur. L'angle θ_m^+ est l'angle que fait le rayon R_m émergeant de la gaine G par rapport à l'axe ΔE . Bien que non représenté, un rayon lumineux parallèle à l'axe ΔE , de l'autre côté de cet axe par rapport au rayon R_m ressort de la gaine G en faisant un angle par rapport à l'axe ΔE égal à θ_m^- . Il correspond au maximum A' de la courbe représentée sur la figure 1.

25 Les angles θ_m^+ et θ_m^- sont égaux en valeur absolue lorsque la fibre FO et sa gaine G sont parfaitement centrées et différents dans le cas contraire.

30 Il n'est cependant pas facile de relier la position de ce rayon R_m avec les différents paramètres optogéométriques représentés sur la figure 2, c'est-à-dire ceux associés à la fibre optique FO et la gaine G : les centres O et O', la distance d séparant ces deux centres, les rayons respectifs b et c, de la fibre optique et de la gaine, l'angle φ que fait le segment O'O avec l'axe ΔE et les indices de réfraction.

Il existe cependant deux rayons singuliers dans le plan de la figure 2 que l'on peut relier simplement à l'aide des formules de l'optique géométrique aux paramètres qui viennent d'être rappelés. Il s'agit du rayon R_1 qui, après une première réfraction à l'interface entre le matériau de la gaine G et le milieu extérieur, passe tangentiellement à la paroi de la fibre optique FO et ressort après avoir subi une seconde réfraction en faisant un angle θ_1 avec l'axe ΔE . Ce rayon R_1 est tangent à la paroi supérieure de la fibre optique FO sur la figure 2. Le second rayon est le rayon R_2 tangent à la paroi inférieure de la fibre optique FO. Ce rayon ressort en faisant un angle égal en valeur algébrique à θ_2 par rapport à l'axe ΔE , si les conditions de centrage sont réalisées.

Or ces angles θ_1 et θ_2 correspondent également aux maxima B et B' de deux lobes situés de part et d'autre du lobe central sur la figure 1. Bien que de moins grande amplitude que les maxima A et A', ces deux derniers maxima sont également détectables par des moyens optoélectroniques.

En outre, leur position est une solution d'une équation que l'on peut facilement inverser pour obtenir la mesure des valeurs d et φ , c'est à dire l'amplitude de l'excentrement et la direction de celui-ci.

Si l'on appelle θ la valeur instantanée des angles θ_1 et θ_2 avec la convention que θ_1 est positif et θ_2 négatif, cet angle obéit aux relations suivantes :

$$f(\theta) = \frac{\sin \left| \frac{\theta}{2} \right|}{(n_1^2 + 1 - 2 n_1 \cos \left| \frac{\theta}{2} \right|)^{1/2}} \quad (1)$$

$$f(\theta) = \left(\frac{b}{c} \right) + \left(\frac{d}{c} \right) \sin \left(\left| \frac{\theta}{2} \right| + \varepsilon \varphi \right) \quad (2)$$

$f(\theta)$ étant une fonction de θ

avec :

- b le rayon de la fibre optique FO
- c le rayon du revêtement (gaine G)
- φ la direction angulaire du défaut
- $\varepsilon = + 1$ si θ est positif (cas de θ_1)

$\epsilon = -1$ si θ est négatif (cas de θ_2)

n_1 l'indice de réfraction de l'enduction (matériau de la gaine G).

5 Si l'on choisit $(\frac{d}{c}) \sin \varphi$ et $(\frac{d}{c}) \cos \varphi$ comme variables, celles-ci sont les solutions d'un système de deux équations :

$$f(\theta_1) = \frac{b}{c} + \epsilon \cos \left| \frac{\theta_1}{2} \right| \frac{d}{c} \sin \varphi + \sin \left| \frac{\theta_1}{2} \right| \frac{d}{c} \cos \varphi \quad (3)$$

$$\text{ou : } f(\theta_1) = g \left(\frac{b}{c}, \frac{d}{c} \sin \varphi, \frac{d}{c} \cos \varphi, \theta_1 \right) \quad (3\text{bis})$$

$$\text{et } f(\theta_2) = \frac{b}{c} + \epsilon \cos \left| \frac{\theta_2}{2} \right| \frac{d}{c} \sin \varphi + \sin \left| \frac{\theta_2}{2} \right| \frac{d}{c} \cos \varphi \quad (4)$$

$$\text{ou : } f(\theta_2) = g \left(\frac{b}{c}, \frac{d}{c} \sin \varphi, \frac{d}{c} \cos \varphi, \theta_2 \right) \quad (4\text{bis})$$

10 où l'expression g (...) est une fonction de quatre variables.

θ_1 et θ_2 étant connus par mesure, il est nécessaire pour résoudre ce système de deux équations de connaître le rapport $\frac{b}{c}$. Si ce rapport peut être connu avec suffisamment de précision pour l'application envisagée, le procédé se résume donc aux étapes suivantes :

- 15 a. - mesure des angles θ_1 et θ_2 à partir de la détection des maxima correspondant à B et B' sur la figure 1 ;
- b. - détermination à partir de la position de ces maxima, c'est-à-dire à partir de la mesure des angles θ_1 et θ_2 , de la valeur de l'excentrement d et de sa direction angulaire φ , par application des relations qui viennent d'être rappelées.
- 20

L'assertion qui vient d'être faite, lorsqu'il s'agit d'objets aussi petits qu'une fibre optique et sa gaine de revêtement, est rarement vérifiée. Il faut en effet connaître le rapport $\frac{b}{c}$ avec une précision typique meilleure que 2%. Cette mesure du rapport $\frac{b}{c}$ étant de façon pratique difficile à réaliser, dans une variante supplémentaire du procédé, ce rapport doit être également considéré comme une variable.

25

La détermination du centrage est donc ramenée dans ce cas à

la résolution d'un système de trois équations. Il est donc nécessaire de disposer de deux figures distinctes de diffraction. On peut donc dans ce cas disposer également, pour chaque figure de diffraction, de deux valeurs de l'angle θ . Les trois variables sont donc : $\frac{b}{c}$, $\frac{d}{c} \sin \varphi$ et $\frac{d}{c} \cos \varphi$.

Pour obtenir deux figures de diffraction, il suffit d'éclairer la fibre optique par deux faisceaux distincts, tous deux perpendiculaires à l'axe optique de la fibre optique mais formant entre eux un angle différent de zéro. Ces deux faisceaux peuvent être physiquement distincts dans une première variante de réalisation. On peut également utiliser le même faisceau éclairant la fibre sous deux incidences distinctes, par exemple en faisant tourner la source dans un plan orthogonal à l'axe optique de la fibre optique.

Connaissant les différents paramètres optogéométriques associés à la fibre optique et à la gaine d'enduction, il est possible, par le calcul de construire la courbe théorique décrivant la figure de diffraction correspondante.

Cependant, dans la réalité, la figure de diffraction observée est beaucoup plus complexe que celle qui laisse prévoir le calcul.

La figure 3 est un exemple de courbe expérimentale décrivant la figure de diffraction obtenue lorsqu'on éclaire une fibre optique dans sa gaine d'enduction par une diode électroluminescente. Les lobes intéressants dans le cas de l'invention correspondent à des angles θ proche de 43° et θ_2 un peu inférieur à 40° en valeur absolue.

L'examen des courbes obtenues a montré qu'il est difficile de déterminer avec précision la position angulaire des lobes, celle-ci étant entachée d'une certaine erreur. Aussi, afin d'améliorer la précision de la mesure de l'excentricité d et de l'angle φ , on réalise plusieurs enregistrements. De façon corrélative, on obtient donc un système de plus de trois équations ayant un triplet de solutions du type :

$$\left(\frac{b}{c}, \frac{d}{c} \sin \varphi, \frac{d}{c} \cos \varphi \right)$$

soit le système :

$$\left. \begin{array}{l} f(\theta_1) = g\left(\frac{b}{c}, \frac{d}{c} \sin \varphi, \frac{d}{c} \cos \varphi, \theta_1\right) \\ \hline f(\theta_n) = g\left(\frac{b}{c}, \frac{d}{c} \sin \varphi, \frac{d}{c} \cos \varphi, \theta_n\right) \end{array} \right\} \quad (5)$$

5 Typiquement, l'utilisation de quatre figures de diffraction obtenues par quatre incidences distinctes du faisceau d'éclairage permet de déterminer avec une excellente précision, de l'ordre de un μm , le défaut de centrage de la fibre dans son revêtement.

10 Pour la mise en oeuvre du procédé qui vient d'être rappelé, il est décrit dans la demande de brevet principal, par référence à la figure 6 de cette demande de brevet, un dispositif comprenant des moyens pour générer un faisceau de rayon parallèle destiné à éclairer l'objet à mesurer, par exemple une fibre optique et des moyens pour détecter la répartition de l'intensité optique des faisceaux diffractés par ledit objet par analyse du champ lointain.

15 Des dispositions sont prises permettant l'éclairage de la fibre optique sous plusieurs incidences.

20 Le système optoélectronique de détection comprend une fibre optique multimode dont l'une des extrémités est solidaire d'un support mobile et l'autre extrémité est couplée à un détecteur optoélectronique délivrant des signaux électriques à un système de visualisation. Ces signaux électriques sont issus de la conversion optoélectronique par le photodétecteur de l'énergie optique captée par la fibre optique multimode.

25 Dans le cadre de l'exemple illustré, le dispositif de visualisation est une table traçante permettant d'effectuer un relevé de manière à obtenir les courbes du type représenté sur la figure 3.

30 Le support enserrant l'extrémité de la fibre optique multimode peut se mouvoir dans un plan perpendiculaire à l'axe optique de la fibre optique à analyser. Cette disposition permet d'analyser en champ lointain l'intensité optique diffractée suivant une direction formant un angle θ avec la direction moyenne d'incidence du

faisceau éclairant la fibre optique après avoir été réfléchi par le miroir. Un balayage de l'espace, typiquement compris dans un angle égal à plus ou moins 70°, ou plus, de part et d'autre de l'axe permet de relever les courbes représentant la figure de diffraction pour une incidence donnée sur la fibre optique.

5 Comme il a été rappelé, ce dispositif ne donne pas entière satisfaction lorsqu'il s'agit d'effectuer des mesures en dynamique car il ne permet pas, notamment, une acquisition suffisamment rapide des différentes données de mesure nécessaires pour la détermination des paramètres optogéométriques qui ont été évoqués.

10 Pour fixer les idées, les contraintes qui se posent vont être précisées dans le cadre d'une application particulière mais qui présente un grand intérêt pratique, à savoir les mesures in-situ en continu lors de l'opération de fibrage d'une fibre optique.

15 Les procédés de fibrage d'une fibre optique comprennent, simultanément l'étirement et l'enduction d'une fibre optique.

La figure 4 illustre schématiquement les différents éléments d'une machine de fibrage. Ces différents éléments sont les suivants. Une préforme 1 qui est positionnée à l'intérieur des moyens de fusion 2, qui peuvent être un chalumeau, un four à effet Joule, ou un four à induction haute, moyenne ou basse fréquences, est à l'origine de la fibre optique FO. Ces moyens de fusion ramolissent la préforme 1. La matière commence à couler et l'on obtient par étirage une fibre.

25 Un enducteur 3 contenant un polymère à l'état liquide, par exemple un époxy acrylate 4 permet d'enduire la fibre FO. Un four de polymérisation 5, permet de solidifier le polymère par réticulation, ce qui constitue ainsi la gaine transparente de protection. La fibre optique est enroulée sur des moyens récepteurs 6 à tambour.

30 Dans le cadre de l'application qui vient d'être rappelée, c'est-à-dire l'opération de fibrage, il est utile de mesurer, en temps réel ou quasi-réel, l'évolution de différents paramètres optogéométriques notamment le centrage de la fibre issue du tirage

dans sa gaine de protection après l'opération d'enduction. On peut également désirer mesurer les rayons de la fibre optique et de son revêtement comme il a été rappelé.

5 Or la fibre optique est en mouvement continu le long de l'axe d'étirage.

Se présentent alors un certains nombres de difficultés pour mettre en oeuvre le procédé de mesure objet de la demande de brevet principal.

10 Tout d'abord, pour obtenir simultanément les différents paramètres qui viennent d'être rappelés, avec une bonne précision, l'expérience a montré qu'il est nécessaire de recourir à la variante de procédé faisant appel à quatre figures de diffraction différentes. Il est donc nécessaire dans ce cas, d'éclairer la fibre optique sous
15 quatre incidences, c'est-à-dire de disposer de quatre faisceaux distincts de rayons parallèles, car il n'est pas envisageable de déplacer une source unique pour des raisons de rapidité.

En régime de mesure dynamique, le dispositif de mesure doit donc répondre à diverses contraintes liées au déplacement longitudinal de la fibre, typiquement avec une vitesse de 2 m/s, aux
20 vibrations transversales de celle-ci ainsi qu'à des performances sur la bande passante et la résolution qui seront explicitées dans ce qui suit.

Ces contraintes sont les suivantes :

25 L'acquisition de l'information lumineuse contenue dans une figure de diffraction et son stockage sous la forme d'un signal électrique doit s'effectuer en un temps suffisamment court, environ 0.5 ms, pour que cette figure n'ait pas varié de manière sensible au cours de ces opérations.

30 En effet, l'expérience a montré que la position des pics de diffraction fluctue d'une courbe à l'autre, mais toutefois reste dans un voisinage de $\pm 1,5$ degré d'une position moyenne. Pour que ces fluctuations ne gênent pas la mesure des paramètres de l'excentricité, il est nécessaire que le système de mesure puisse acquérir l'ensemble des points composant une figure de diffraction avant que

celle-ci ait varié de manière sensible. Pour des lignes de fibrage opérant à des vitesses voisines de 2 m/s une période spatiale le long de la fibre de 1 mm correspond à une fréquence temporelle d'environ 2 KHz ; le temps nécessaire au système de mesure opérant en
5 dynamique pour acquérir cet ensemble de points doit donc être voisin ou inférieur à 0,5 ms ou 0,25 ms si l'on considère une zone angulaire correspondant à une demi-figure de diffraction, de part et d'autre de l'axe d'éclairement de la fibre optique.

Le temps de traitement de l'information doit être suffisamment court pour que le système de mesure fournisse la valeur
10 calculée des paramètres de l'excentricité à une fréquence typique de l'ordre de 25 Hz.

Le système de mesure doit être insensible aux vibrations de la fibre dans une fenêtre de 2 mm x 2 mm.

En effet, la fibre peut vibrer perpendiculairement à son axe à
15 l'intérieur d'une fenêtre de 2 x 2 mm. L'acquisition des différentes figures de diffraction doit être insensible à cette vibration.

Enfin, la position angulaire d'un lobe de diffraction intéressant varie en fonction des paramètres rappelés :
20 $\frac{d}{c}$, $\frac{b}{c}$, φ ; dans un domaine d'angle important. Afin d'obtenir le plus grand nombre de valeurs des positions angulaires des pics intéressants, il est nécessaire d'acquérir le champ diffracté dans de larges domaines d'angle, typiquement entre 5° et 75° de part et d'autre de l'axe d'éclairement de chaque faisceau de rayons paral-
25 lèles.

Un dispositif permettant la mise en oeuvre du procédé de l'invention tout en satisfaisant simultanément les contraintes qui viennent d'être rappelées va maintenant être décrit en relation avec les figures 5 à 10.

Le dispositif de mesure selon l'invention comprend, dans sa
30 variante préférée :

- des moyens pour éclairer la fibre optique à mesurer perpendiculairement à son axe suivant quatre directions à angle droit et dans des plans différents ;

- des moyens pour acquérir la puissance diffractée dans huit domaines angulaires utiles ;
- des moyens pour transformer ces signaux optiques en signaux électriques ;
- 5 - des moyens pour regrouper et ordonner l'information correspondante ;
- des moyens pour la numériser et la stocker ;
- et des moyens de détermination de la position angulaire des lobes de diffraction utiles et de calcul des paramètres de l'excentricité.

10 La figure 5 illustre schématiquement un exemple de réalisation d'un dispositif de mesure selon l'invention regroupant les fonctions qui viennent d'être évoquées.

15 Pour des raisons de simplification, il n'a été représenté sur la figure qu'une seule voie d'éclairement de la fibre optique FO à mesurer et un seul moyen de détection de l'énergie diffractée.

Comme il a été rappelé, dans une variante préférée de l'invention, il est nécessaire d'éclairer la fibre optique sous quatre incidences différentes.

20 Le dispositif comprend donc des moyens pour générer quatre faisceaux de rayons parallèles dont un seul B_1 a été représenté sur la figure 5.

25 Le faisceau B_1 éclairant la fibre optique suivant une direction parallèle à un axe Δ_1 , lui-même orthogonal à l'axe de symétrie Δ_{FO} de la fibre optique FO, est produit par une source SO_1 comprenant un émetteur de lumière DSL_1 couplé optiquement à une première extrémité d'une fibre optique FS_1 .

30 L'autre extrémité est couplée à une lentille collimatrice SF_1 , de préférence du type connu sous l'appellation "SELFOC". Il s'agit d'un barreau auto-collimateur en matériau réfringent à gradient d'indice. Celui-ci doit être optimisé pour la longueur d'onde émise par l'émetteur de lumière DSL_1 . En sortie de ce barreau SF_1 , les rayons sont tous parallèles et forment le faisceau d'éclairement B_1 .

Il est toujours préférable que les sources de lumière utilisées

soient suffisamment puissantes, de sorte que le bruit dû à la lumière parasite soit négligeable. Ainsi l'utilisation d'un laser au lieu d'une diode électroluminescente semblerait recommandée. Toutefois, du fait de la cohérence du faisceau laser, des franges d'interférences sont alors présentes dans la figure de diffraction et gênent la mesure de la position des pics intéressants. Un compromis peut être réalisé en utilisant des sources telles que les diodes super-luminescentes qui possèdent une faible longueur de cohérence et une forte puissance. En outre l'angle solide d'émission, de l'ordre de 30° , est nettement plus faible que celui d'une diode électroluminescente, pratiquement 180° .

De façon pratique, on peut choisir une diode super-luminescente émettant à $0,84 \mu\text{m}$.

La fibre optique SF_1 est une fibre optique de type multimode.

Le faisceau B_1 va être diffracté par la fibre optique FO. Selon le procédé de mesure rappelé, il est nécessaire d'observer en champ lointain la répartition énergétique de la figure de diffraction.

Pour ce faire, selon l'invention, on dispose sur un arc de cercle ayant pour centre l'axe de symétrie Δ_{FO} de la fibre optique FO, pour chaque faisceau incident, B_1 sur la figure 5, un ensemble de capteurs d'énergie lumineuse régulièrement répartis.

Dans l'exemple illustré par la figure 5, ces capteurs sont constitués par les faces d'entrée de fibres optiques, et plus précisément par la section de coeur de ces fibres optiques.

En réalité, il y a huit sous-systèmes de fibres optiques, deux pour chaque faisceau incident. Des sous-systèmes de capteurs d'énergie optique sont supportés par des supports en forme de portions d'anneau, dont deux SE_{11} et SE_{12} ont été représentés. Ces différents supports sont donc répartis sur un cercle et délimitent chacun un arc de cercle compris entre deux angles extrêmes \pm

γ_1 et γ_2 , de chaque côté de l'axe du faisceau incident, par exemple l'axe Δ_1 pour B_1 . γ_1 est différent de zéro, typiquement de l'ordre de 5° pour éliminer l'ordre de diffraction zéro qui n'apporte

aucune information utile et risque de saturer le système de détection car il est de forte intensité. L'angle γ_2 est inférieur à 90° mais doit être suffisamment grand pour que les pics à détecter, B ou B' (figure 3), soient dans le secteur angulaire couvert. Typiquement la valeur de γ_2 est de l'ordre de 75° .

Dans l'exemple illustré sur la figure 5, pour le faisceau B_1 d'axe Δ_1 , les secteurs couverts sont donc deux arcs de cercle compris entre les angles 5° et 75° , de part et d'autre de l'axe Δ_1 .

Dans leurs portions terminales, solidaires des supports, SE_{11} et SE_{12} , les fibres optiques sont orientées de façon à être alignées sur un rayon diffracté, ce rayon faisant un angle θ_i avec l'axe Δ_1 pour une fibre optique d'indice de position arbitraire i . Cette fibre capte donc la puissance optique rayonnée dans cette direction. L'ensemble des fibres est réuni en faisceaux, un par support. Sur la figure 5, pour les deux supports illustrés SE_{11} et SE_{12} , les fibres sont réunies dans les faisceaux FF_{11} et FF_{12} . Ces deux ensembles de fibres échantillonnent l'essentiel de la figure de diffraction, de part et d'autre de l'axe Δ_1 .

La lumière captée par chaque fibre est guidée vers son extrémité opposée. Les fibres de chaque faisceau, par exemple des faisceaux FF_{11} et FF_{12} , sont arrangées en nappes planes rendues solidaires d'une barrette ayant la forme d'un parallélépipède rectangle. Il y a donc huit barrettes, Ba_1 à Ba_8 , qui sont empilées les unes sur les autres.

Toutes les extrémités des fibres optiques affleurent en face avant, FA, de cet empilement.

Pour qu'il n'y ait pas de recouvrement entre deux figures de diffraction, les supports des sous-systèmes de fibres optiques détectrices sont disposés dans quatre plans différents.

La figure 6 illustre cette disposition et montre également l'arrangement des différentes sources SO_1 à SO_4 , produisant les quatre faisceaux B_1 à B_4 de rayons parallèles illuminant la fibre optique FO sous quatre incidences.

Les sources SO_1 à SO_4 sont réparties régulièrement sur un

cylindre d'axe de symétrie confondu avec l'axe Δ_{FO} et sont disposées dans quatre plans différents P_1 à P_4 .

Il en est de même des supports $SE_{11} - SE_{12}$ à $SE_{41} - SE_{42}$ détectant la diffraction des faisceaux B_1 à B_4 générés par les sources SO_1 à SO_4 .

Les projections des axes de propagation Δ_1 à Δ_2 sur un des plans forment, deux à deux, un angle \underline{a} , égal à 90° dans une variante préférée. Cela revient à dire que les différents éléments sont disposés régulièrement en hélice dans les quatre plans P_1 à P_4 .

Dans un exemple de réalisation pratique, les supports avaient un rayon interne de 30 cm. C'est la distance séparant la face d'entrée des fibres optiques de l'axe Δ_{FO} .

Pour avoir une résolution de $0,5^\circ$, il y avait 140 fibres optiques par support. Cela correspond à une distance entre fibres de 2,6 mm environ.

Les fibres optiques doivent être optimisées pour collecter le maximum de lumière.

On choisit des fibres optiques multimodes avec un grand diamètre de coeur, typiquement $90 \mu\text{m}$. La gaine optique avait un diamètre extérieur de $135 \mu\text{m}$ et l'enduction un diamètre extérieur de $230 \mu\text{m}$. L'ouverture numérique était de 0,2, mais ce dernier paramètre n'est pas critique.

Par contre, la face d'entrée des fibres optiques doit être parfaitement polie. Dans la pratique, c'est également la paroi interne du support sur laquelle elles affleurent qui doit être polie.

Cette condition est difficile à réaliser du fait de la courbure de cette paroi. Dans un exemple de réalisation pratique, illustré par la figure 7, une approximation d'arc de cercle a été obtenue en disposant côte à côte des plaquettes en forme de parallépipèdes rectangles.

Leur nombre doit être suffisamment important pour s'approcher d'un cercle parfait et ne pas ainsi apporter d'erreur de mesure. Dans l'exemple de réalisation mentionné, leur nombre était de quatorze, supportant chacun dix fibres optiques.

Ces plaquettes sont réalisées simplement en collant les extrémités des fibres optiques par de la colle polymérisable aux ultra-violets. Ensuite le bloc de matière obtenu est poli pour obtenir une lame à faces parallèles dont la face avant est plane et polie. Sur
5 cette face affleure dix fibres optiques F_n à F_{n+10} pour la plaquette BL_{11n} sur la figure 7, n étant un indice de position arbitraire. Les faisceaux de fibres optiques issus de ces plaquettes sont réunis ensuite en un faisceau unique, de 140 fibres optiques, par exemple le faisceau FF_{11} de la figure 5.

10 Les autres extrémités des fibres de ce faisceau sont réunies en une nappe plane de fibres optiques, de préférence ordonnées, nappe emprisonnée dans une barrette.

Les différentes barrettes, Ba_1 à Ba_8 , sont empilées, comme illustré de façon plus précise par la figure 8.

15 Dans un exemple de réalisation pratique, chaque barrette, Ba_1 à Ba_8 , est constituée de deux lames de verre L_1 et L_3 entre lesquelles sont disposées les extrémités d'une nappe de fibres optiques F , régulièrement espacées et emprisonnées dans une lame de colle L_2 polymérisable aux ultra-violets. Typiquement, une barrette a 1 cm de largeur, 3 cm de longueur et 0,2 cm de hauteur.
20

La face avant FA (figure 5) de l'empilement de barrettes, face de sortie des fibres optiques, est polie. Sur cette face avant, est disponible, sous la forme d'une matrice d'images élémentaires, l'information relative à la carte de répartition énergétique des
25 quatre figures de diffraction.

Selon l'invention, l'image de cette face avant va être formée sur un organe opto-électronique, capteur d'image.

Dans l'exemple de réalisation illustré par la figure 5, il s'agit de la photo cathode d'une caméra de télévision CA.

30 L'axe optique Δ_{CA} de la caméra CA est orthogonal à la face avant polie FA de l'empilement de barrettes Ba_1 à Ba_8 .

L'image formée est analysée au rythme du balayage propre à la caméra. Dans un exemple de réalisation pratique, on a utilisé le standard européen de 625 lignes. On a défini une fenêtre utile de 512

lignes comportant chacune également 512 pixels. Cet arrangement est illustré par la figure 9. La fenêtre W délimite donc 512 x 512 pixels, soit 512 points : P_1 à P_{512} ; sur 512 lignes : l_1 à l_{512} .

5 Selon l'invention, l'information de luminosité correspondant à ces 512 x 512 pixels est enregistrée dans une mémoire MEM comportant autant de registres adressables.

10 Selon l'exemple de réalisation pratique qui vient d'être décrit, le système présente naturellement une certaine redondance puisqu'à 140 fibres optiques correspondent 512 points et à 8 barrettes correspondent également 512 lignes. Aussi, à cet ensemble d'acquisition d'image sont associés des moyens de traitement de celle-ci. Il s'agit de préférence d'un ordinateur numérique à programme enregistré à qui est dévolue la double tâche de création de huit fichiers, chacun de 140 données élémentaires utiles correspondant aux infor-
15 mations véhiculées par les huit faisceaux de 140 fibres optiques et de détermination, à partir de ces données, des paramètres à mesurer : excentricité, etc...

Le processus complet d'acquisition et de traitement des informations est le suivant :

20 Dans une phase initiale, il est procédé à divers réglages de routine, gain de la caméra, seuils de luminosité à prendre en compte, diaphragme, etc... C'est également pendant cette phase qu'il est déterminé parmi les lignes de balayage quelles sont celles qui correspondent aux faces de sorties de la matrice à deux dimensions définie par l'empilement de barrettes. De la même façon
25 à l'intérieur de chacune des huit lignes de balayage sélectionnées, c'est-à-dire les lignes utiles, on détermine quels sont les points utiles, cent quarante parmi cinq cents douze dans l'exemple illustré. On définit donc 8 x 140 points utiles.

30 Ces données sont ensuite rafraichies, en régime permanent, au rythme du balayage image ou trame selon l'organisation de la caméra.

Dans un exemple de réalisation pratique, le rafraichissement s'effectuait au rythme de 25 images complètes par seconde, soit en

un temps correspondant à 40 mS.

La figure 10 illustre schématiquement la configuration d'une chaîne complète d'acquisition et de traitement de données d'image.

5 La chaîne comprend un capteur d'image, une photocathode CT de la caméra CA dans l'exemple illustré, connecté à l'entrée e_A d'un organe d'interface AMP chargé, notamment, d'assurer l'amplification des signaux issus de la conversion photoélectrique et de diverses adaptations classiques : niveaux, etc... Cet organe d'interface AMP est un organe à seuil permettant de sélectionner les
10 signaux utiles parmi divers signaux parasites de bruit. Un signal de commande NIV a été représenté sur la figure 10, signal qui peut être généré manuellement, lors de la phase des réglages initiaux ou ultérieurement, ou encore automatiquement par le calculateur associé CAL qui va être décrit.

15 Les signaux amplifiés sont ensuite transmis à l'entrée e_1 de conversion d'un convertisseur analogique-numérique CAD.

Celui-ci reçoit sur une seconde entrée e_2 des signaux de synchronisation. Ces signaux sont en relation directe avec les signaux SSY de commande de balayage de la caméra CA. En effet,
20 la conversion doit être synchronisée sur le balayage, c'est-à-dire sur l'exploration des lignes et points de la photocathode CT.

Les informations numérisées sont ensuite transmises à un ensemble d'acquisition et de traitement de données représenté sous la forme d'un calculateur numérique à programme enregistré CAL.
25 Celui-ci peut être, par exemple, un microordinateur comprenant des circuits d'interface spécialisés pour l'acquisition de données ou un calculateur spécialisé qui permet en général une plus grande rapidité de traitement.

Bien que représenté séparément, le convertisseur CAD peut
30 d'ailleurs être physiquement intégré à ce calculateur.

Le calculateur CAL comprend la mémoire MEM enregistrant les données utiles, un circuit de commande CL et une unité de calcul UC.

Les circuits de commande CL, effectuent les tâches qui leur

sont habituellement dévolues dans un calculateur numérique à programme enregistré, mais également, de façon plus spécifique à l'invention, ils doivent adresser les cellules $CM_{1,1}$ à $CM_{512, 512}$ (figure 9) de la mémoire MEM. En réalité, celle-ci ne forme qu'une

5 partie de la mémoire vive adressable du calculateur CAL.

Aux fins d'exécution de cette tâche spécifique, les circuits de commande reçoivent également les signaux de synchronisation SSY sur une entrée de synchronisation e_{SY} et élaborent, à partir des signaux de synchronisation SSY, des signaux de commande d'adres-

10 sage de la mémoire MEM transmis sur une entrée e_{AD} d'adressage de cette mémoire. Celle-ci reçoit les données converties sur une autre entrée : e_D . Dans une phase ultérieure, à partir des informations qui ont été élaborées pendant la phase des réglages initiaux, et qui peuvent être enregistrées dans une partie de la mémoire vive

15 du calculateur CAL, les données utiles constituant les huit fichiers, de 140 données élémentaires chacun dans l'exemple illustré, sont transmises à une première entrée e_M de l'unité de calcul UC pour la recherche, dans chacun des fichiers, des pics B ou B' (figure 5) et, à partir de cette recherche, de l'élaboration selon le procédé objet de

20 la demande de brevet principal, des paramètres recherchés d'excentricité, etc...

Pour ce faire, les circuits de commande CL transmettent à la mémoire MEM des signaux d'adressages sélectifs de cellules de mémoires parmi toutes celles de la mémoire MEM, c'est-à-dire

25 parmi 512×512 cellules dans l'exemple illustré. Des signaux classiques de commande et de synchronisation sont également transmis à une seconde entrée, e_C , de l'unité de calcul UC.

Sur la sortie S de cette unité sont disponibles des signaux représentant les valeurs recherchées : excentricité, direction du

30 défaut de centrage, rapport des diamètres, etc...

Selon l'application envisagée, ces signaux peuvent prendre, comme il est connu, diverses formes.

Il peut s'agir de signaux vidéo transmis à un écran de contrôle, symbolisé par un écran de télévision TV sur la figure 10, ou plus

généralement de signaux pour la commande de visualisation ou d'impression des résultats de mesure, en temps réel ou en différé.

5 Il peut également s'agir de signaux de commande transmis à des circuits d'exploitation CE. Dans l'application préférée concernant le fibrage, ces signaux peuvent servir, si on se reporte de nouveau à la figure 4, à la régulation du processus d'enduction de la fibre optique de manière à ce que le centrage de la fibre dans son revêtement reste dans des limites préétablies.

10 Dans le cadre de l'exemple de réalisation pratique qui vient d'être décrit, la détermination des paramètres s'effectue toutes les deux trames de l'image. En effet, le processus complet est réalisé dans un intervalle de temps correspondant à l'analyse de deux images : un intervalle pour l'acquisition et la conversion des données numériques ; et un intervalle pour le calcul des paramètres de centrage ; soit toutes les 80 ms avec les caractéristiques de l'appareillage retenu dans l'exemple de réalisation pratique.

15 Pour une vitesse de fibrage de l'ordre de 2 m/s, il y a donc possibilité d'obtenir une mesure du centrage tous les 16 cm de fibre ce qui est amplement suffisant pour la grande majorité des applications.

20 On pourrait d'ailleurs augmenter la vitesse de mesure en utilisant un calculateur spécialisé dont l'architecture permettrait d'entrelacer l'acquisition des données, c'est-à-dire leur mémorisation, et la lecture. En outre, il y aurait lieu d'utiliser une unité de calcul cablée exécutant les déterminations nécessitées par les étapes du procédé de mesure selon la demande de brevet principal. En régime permanent, les résultats de la mesure, c'est-à-dire les paramètres de centrage, pourraient alors être disponibles avec chaque acquisition d'image.

25 30 On peut encore augmenter la fréquence de balayage si l'on sort du standard de télévision européen.

Une autre cause de limitation de la vitesse d'acquisition et de traitement de donnée est liée à la redondance présentée par le dispositif qui vient d'être décrit. Celle-ci est due essentiellement à

l'utilisation d'une caméra de télévision classique.

L'invention n'est cependant pas limitée à l'utilisation de capteurs du type cible de caméra de télévision, qui incluent d'ailleurs, outre les tubes à photocathode, tous autres capteurs similaires et par exemple les capteurs d'images semiconducteurs à transfert de charge connus sous l'abréviation anglo-saxonne de C.C.D.

A titre d'exemple non limitatif, on peut remplacer l'ensemble "caméra CA-barrettes Ba_1 à Ba_8 " par un ensemble de photodétecteurs, un par fibre optique. Si l'on conserve la résolution du dispositif décrit, il est donc nécessaire de disposer de photodétecteurs en nombre égal à celui des fibres optiques auxquelles ils sont couplés optiquement. Dans la réalité, il s'agira de barrettes de plusieurs photodétecteurs intégrés. Cette solution est naturellement plus onéreuse mais présente l'avantage de pouvoir établir directement une correspondance bi-univoque entre un seul détecteur et une information élémentaire utile.

L'enregistrement de ces informations demande moins de temps et il n'y a plus lieu d'attendre l'analyse complète d'une image dont une partie seulement des pixels est utilisable.

Enfin, si l'on se reporte à nouveau à la figure 5, bien qu'il ait été supposé que les fibres optiques des faisceaux, au niveau des barrettes terminales Ba_1 à Ba_8 , étaient ordonnées selon leurs positions sur les supports, SE_{11} et SE_{12} par exemple, cette disposition ne constitue pas une obligation.

Dans le cas contraire, il suffit de procéder, pendant la phase initiale de réglage, à une étape supplémentaire de calibrage de manière à ce que le calculateur établisse une correspondance bi-univoque entre une adresse mémoire et l'angle θ_i de détection (figure 5), c'est-à-dire la position angulaire d'une fibre optique particulière appartenant à un faisceau déterminé, par exemple un des faisceaux FF_{11} ou FF_{12} représentés sur la figure 5. Le processus doit naturellement être répété pour les huit faisceaux.

En régime permanent, un pic détecté correspond donc à un angle θ_i associé à l'adresse de mémoire contenant la donnée

numérique indiquant ce pic.

Bien que constituant une application particulièrement intéressante du dispositif de l'invention, celui-ci n'est pas limité à la mesure de l'excentrement d'une fibre optique dans son revêtement.

5 Comme il a été indiqué, on peut effectuer la mesure du centrage d'un barreau d'élément cylindrique de diamètre quelconque dans un revêtement transparent également cylindrique à condition que le matériau composant le revêtement ait un indice de réfraction supérieur à celui du barreau transparent.

10 Selon un autre avantage de l'invention, on peut également effectuer des mesures du même type pour un barreau opaque dans un revêtement transparent, le barreau et le revêtement ayant une section circulaire. Dans ce cadre d'applications, il peut être fait référence à l'induction d'un fil conducteur dans une gaine transparente.

15

REVENDICATIONS

1. Dispositif de mesure du centrage d'un barreau cylindrique (FO) dans un revêtement transparent cylindrique (G) pour la mise en oeuvre du procédé selon la revendication 1 de la demande de brevet principale, caractérisé en ce qu'il comprend au moins une source
5 comprenant un émetteur de lumière (DSL₁) générant un faisceau de rayons lumineux et des moyens (FS₁, SF₁) pour projeter ce faisceau sous la forme d'un faisceau de rayons parallèles (B₁) sur le barreau cylindrique (FO) dans un revêtement transparent cylindrique (G) de manière à éclairer suivant un axe de propagation (D₁) orthogonal à
10 l'axe de symétrie (Δ_{FO}) du barreau, des moyens optoélectroniques d'analyse de la répartition angulaire de l'intensité de la figure de diffraction produite par l'interaction du barreau (FO) dans son revêtement (G) sur les rayons incidents de chaque faisceau (B₁), ces
15 moyens opto-électroniques comprenant pour chaque figure de diffraction des premier et second ensembles d'organes discrets de captation d'énergie lumineuse (SE₁₁, SE₁₂, FF₁₁, FF₁₂, Ba₁-Ba_g) disposés en arc de cercle de centre confondu avec l'axe de symétrie du barreau (Δ_{FO}) de part et d'autre de chaque axe de propagation
20 (Δ_1) à répartition angulaire(θ_i) uniforme, des moyens (CA) pour former une image spatiale de la répartition angulaire de l'énergie captée, des moyens (AMP) pour convertir l'intensité optique associée à des zones élémentaires de cette image en signaux électriques analogiques, des moyens (CAD) pour numériser ces signaux analogiques, des moyens pour mémoriser (MEM) ces signaux numériques
25 et des moyens (CAL) de traitement de signaux pour la recherche, parmi les signaux numériques mémorisés, de ceux représentant des maxima d'intensité optique et la détermination à partir de ceux-ci de la position angulaire des maxima de deux lobes latéraux (B, B') de chaque figure de diffraction correspondant à deux rayons incidents passant tangentiellement au barreau après pénétration dans le
30 revêtement.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il

comprend quatre sources ($SO_1 - SO_4$) de manière à éclairer le barreau cylindrique (FO) dans son revêtement par quatre faisceaux ($B_1 - B_4$) de rayons parallèles, les directions de propagation de ces faisceaux formant deux à deux des angles (α) de $\pi/2$ radians et à
 5 obtenir quatre figures de diffraction ; et en ce que les ensembles d'organes discrets de captation d'énergie lumineuse ($SE_{11} - SE_{12}$ à $SE_{41} - SE_{42}$) sont disposés dans des plans distincts (P_1, P_4) de manière à éviter des recouvrements entre deux figures de diffraction contiguës.

10 3. Dispositif selon les revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que chaque émetteur de lumière (DSL_1) est une diode superluminescente et en ce que les moyens pour projeter le faisceau de rayons lumineux parallèles (B_1) comprennent une fibre optique multimode (FS_1) couplée optiquement par une première extrémité à
 15 la diode superluminescente (DSL_1) et un système optique collimateur (SF_1) couplé optiquement à la seconde extrémité de la fibre optique multimode (FS_1).

20 4. Dispositif selon les revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que les premier et second ensembles d'organes discrets de captation d'énergie lumineuse comprennent chacun un nombre déterminé de fibres optiques multimodes dont des premières extrémités sont solidaires d'un support (SE_{11}, SE_{12}) formant un arc de cercle de centre confondu avec l'axe de symétrie du barreau (Δ_{FO}) dans un plan orthogonal à cet axe de symétrie et captant une fraction de
 25 l'énergie véhiculée par les rayons diffractés, et des secondes extrémités sont disposées côte à côte et réunies dans des barrettes de fixation ($Ba_1 - Ba_8$) et en ce que les barrettes sont empilées de manière à ce que les extrémités des fibres optiques soient disposées suivant des lignes et des colonnes d'une matrice, chaque ligne correspondant à l'un desdits ensembles d'organes discrets et les
 30 colonnes à l'un desdits organes discrets de chaque ensemble.

5. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce que ledit arc de cercle est compris entre des angles (γ_1, γ_2) égaux à 5° et 75° par rapport à l'axe de propagation (Δ_1).

5 6. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce que les
moyens de formation d'une image spatiale de ladite répartition
angulaire de l'énergie captée comprennent une caméra de télévision
(CA) projetant, sur un capteur d'image photosensible (CT), l'image
de ladite matrice, ladite caméra (CA) comprenant des moyens
d'analyse de l'image et de conversion de points élémentaires de
cette image, au rythme de signaux de balayage de celle-ci de
fréquence déterminée, en des signaux analogiques représentant
l'intensité lumineuse de ces points élémentaires.

10 7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que, les
moyens d'analyse de l'image divisant celles-ci en un nombre déter-
miné de zones élémentaires réparties suivant des lignes et des
colonnes, lesdits moyens de mémorisation (MEM) comprennent des
cellules adressables ($CM_{1,1}$ à $CM_{512,512}$) en nombre égal au nombre
15 total de ces zones élémentaires.

8. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que les
moyens de traitement de signaux comprennent des circuits de calcul
(UC) d'un calculateur (CAL) à programme enregistré et en ce que
lesdits moyens de mémorisation (MEM) forment une partie de la
20 mémoire vive de ce calculateur.

9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 8,
caractérisé en ce que ledit barreau cylindrique (FO) dans son
revêtement transparent (G) est une fibre optique.

25 10. Dispositif selon la revendication 9, caractérisé en ce que la
fibre optique (FO) est en mouvement continu parallèlement à son
axe de symétrie optique (Δ_{FO}).

1/5

FIG. 1

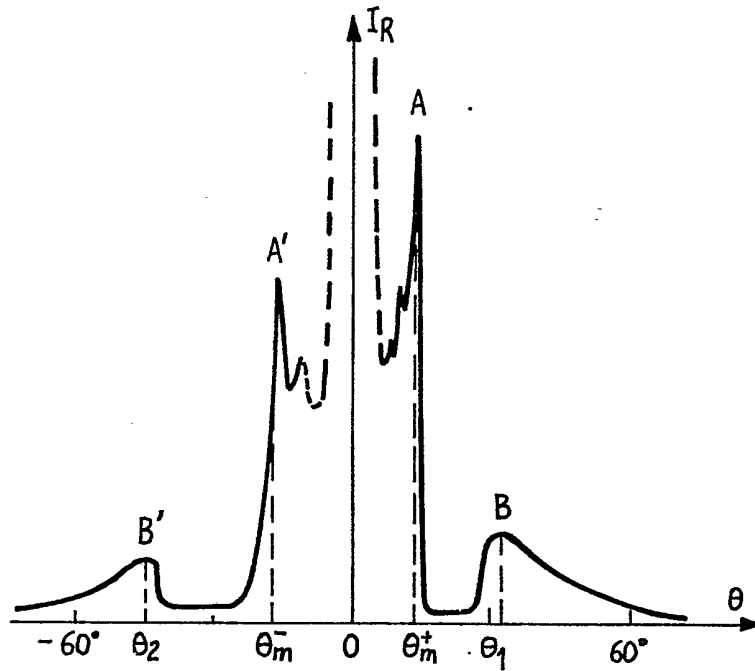
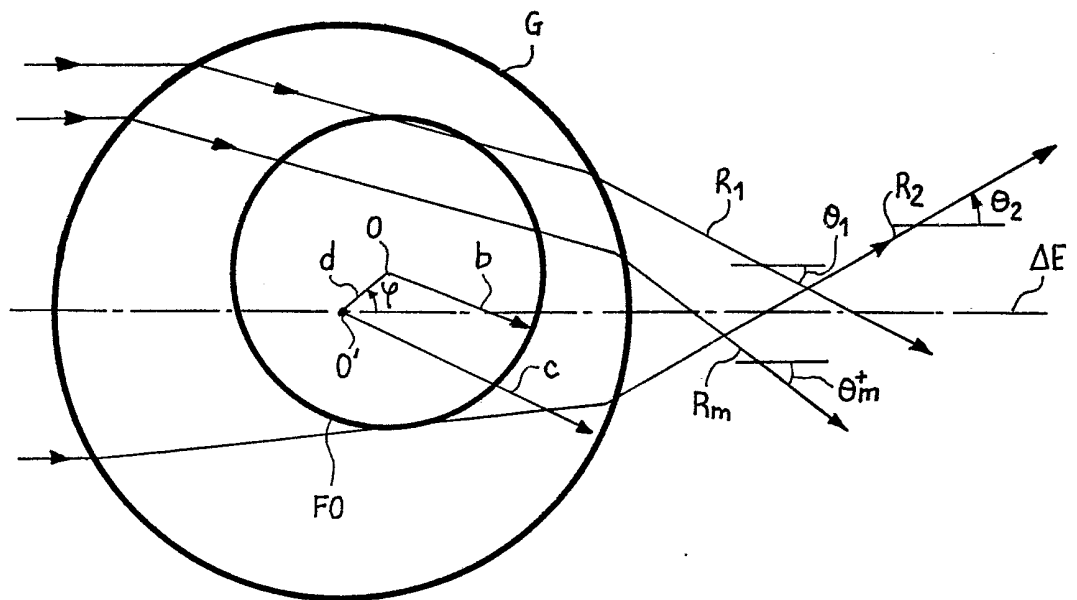
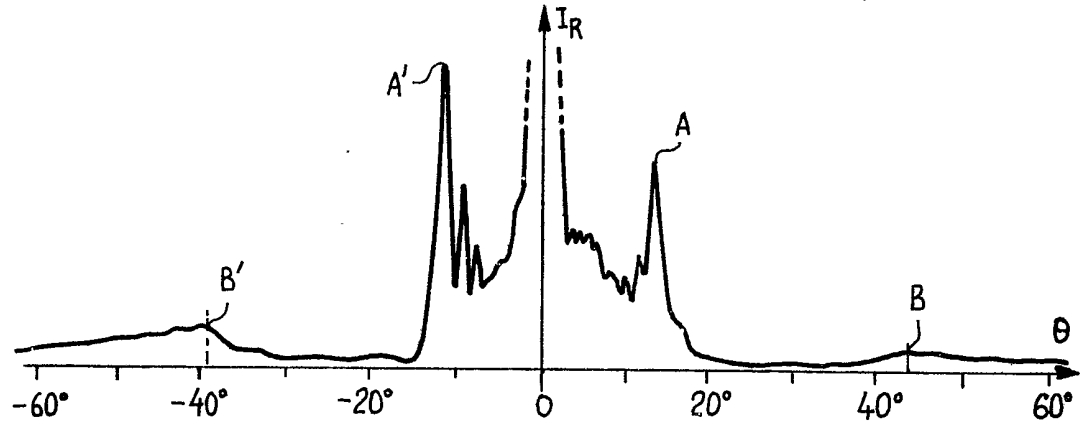


FIG. 2

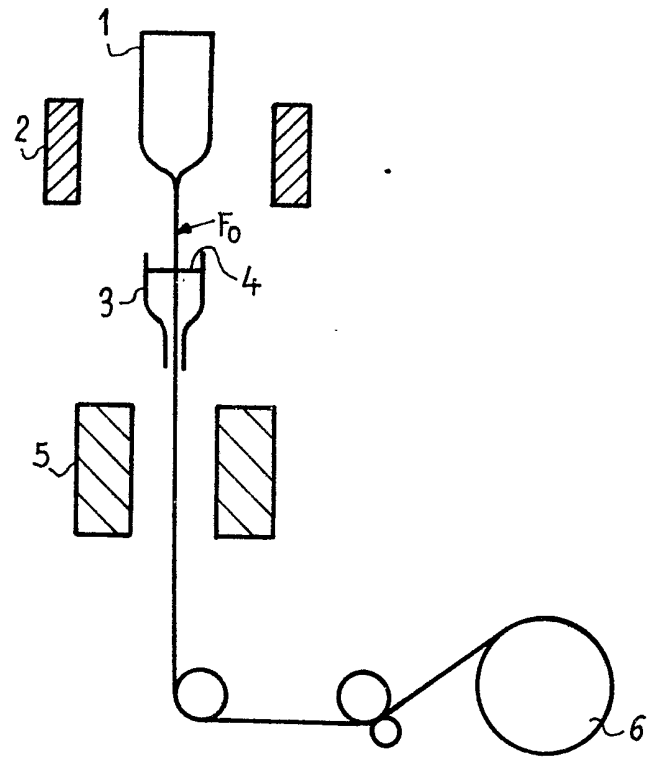


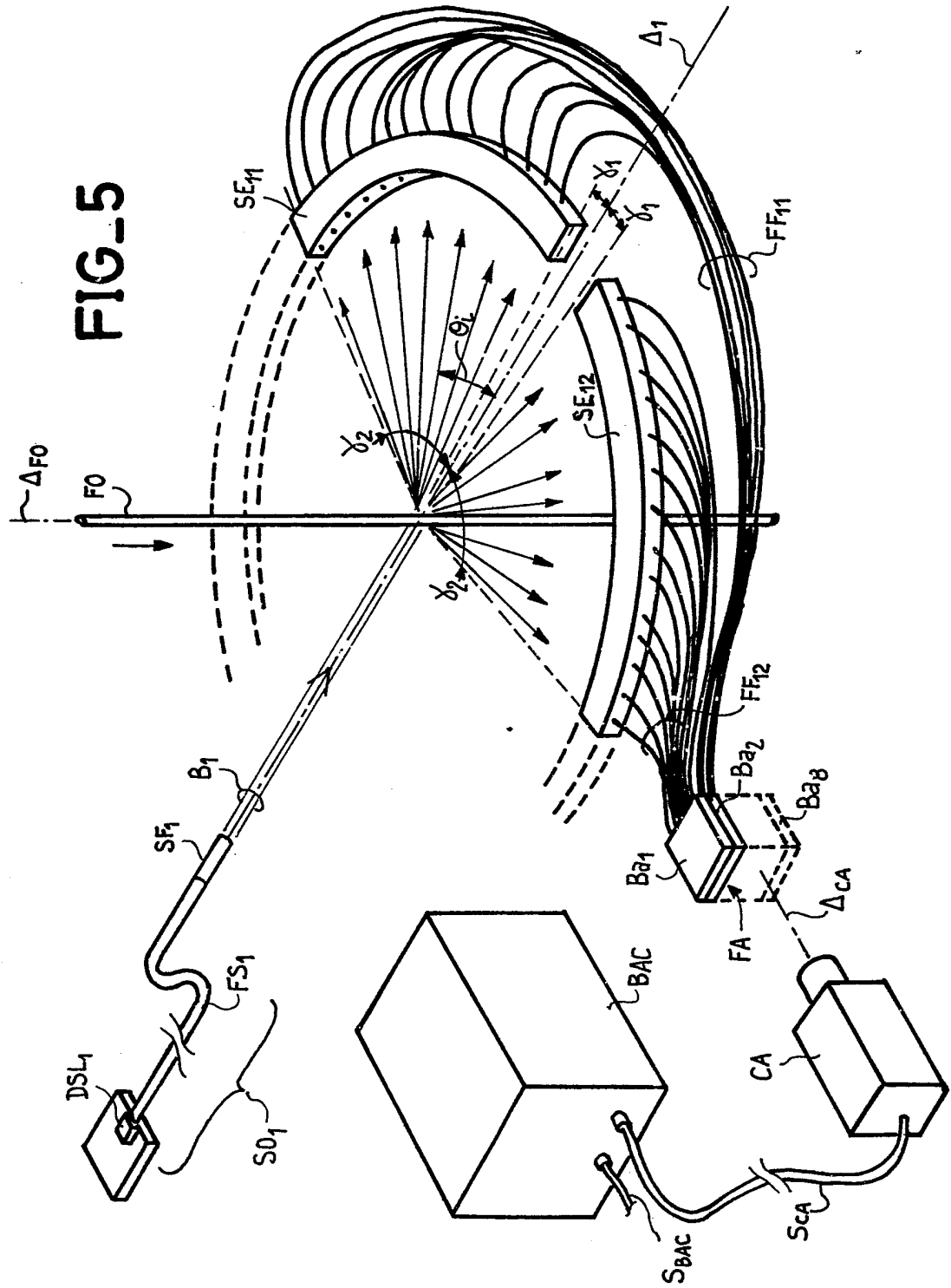
2/5

FIG_3

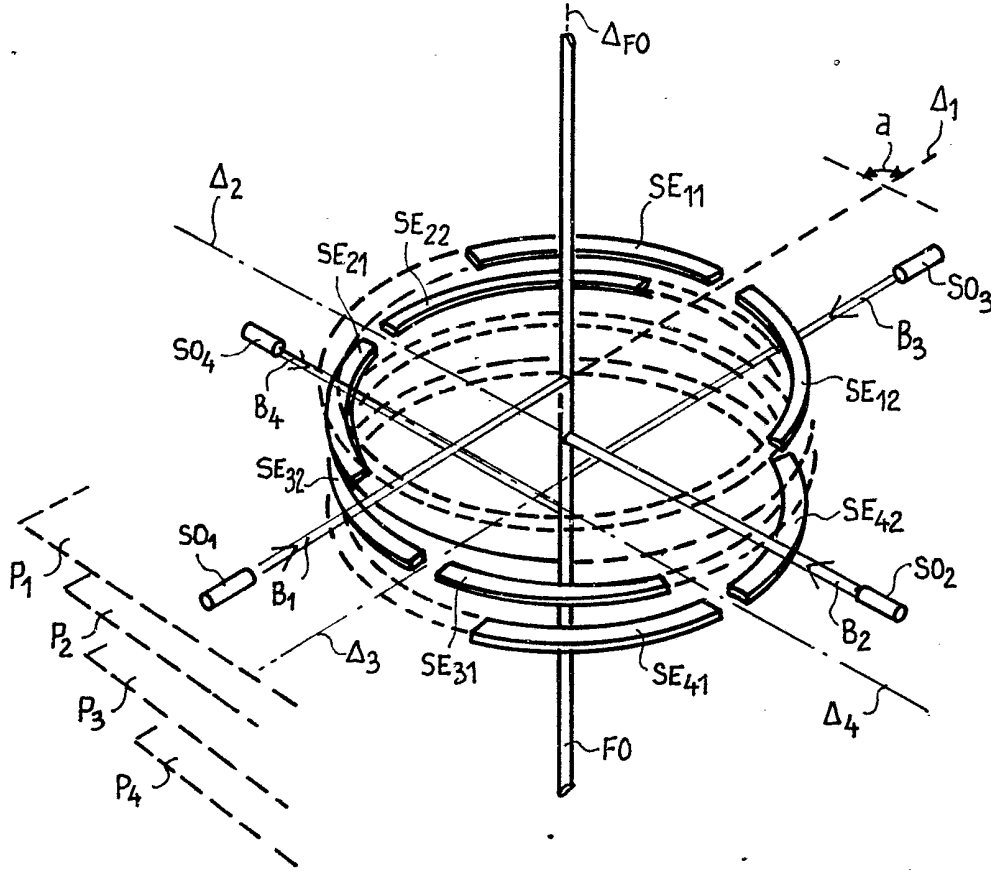


FIG_4

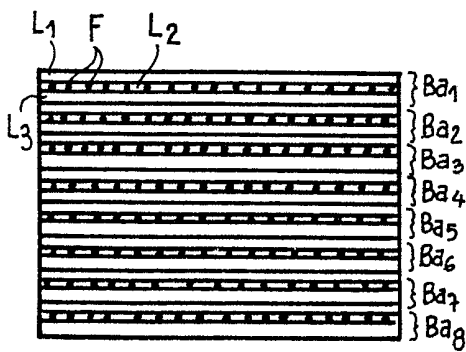




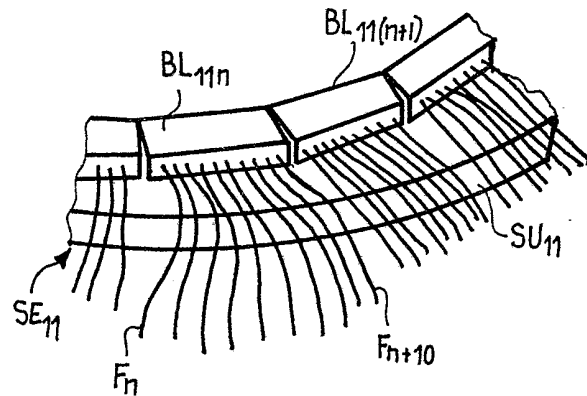
FIG_6

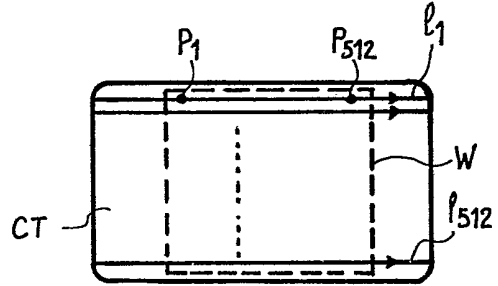


FIG_8

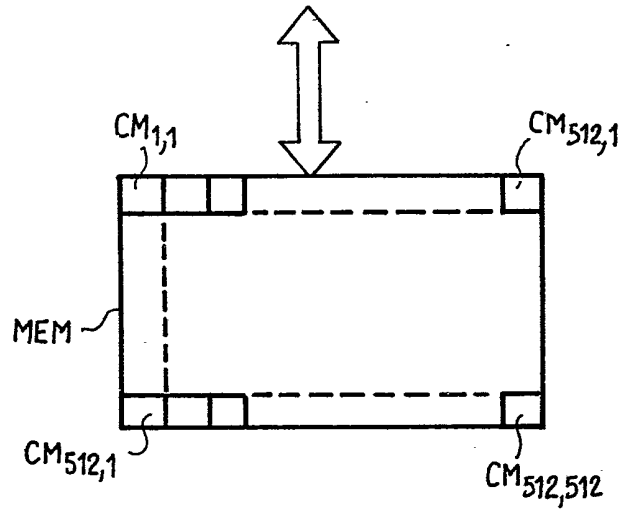


FIG_7





FIG_9



FIG_10

