

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

⑫

**N° 80 09111**

---

⑤④ Procédé et dispositif de mesure de caractéristiques géométriques d'un élément en matériau réfringent, notamment d'un tube.

⑤① Classification internationale (Int. Cl. 3). G 01 B 11/06, 5/10 // C 03 B 37/025; C 03 C 25/06.

②② Date de dépôt..... 23 avril 1980.

③③ ③② ③① Priorité revendiquée :

④① Date de la mise à la disposition du public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 44 du 30-10-1981.

---

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

⑦② Invention de : Michel Faure, Philippe Richin, Georges Folcke, Jean-Yves Regeffe et André Jouanin.

⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①

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

La présente invention se rapporte à un procédé et à un dispositif de mesure de caractéristiques géométriques d'un élément en matériau réfringent et, notamment, à la mesure en continu des caractéristiques géométriques d'un tube en silice utilisé pour la fabrication de préformes de fibres optiques.

Un procédé de fabrication de fibres optiques est connu sous les abréviations MCVD (de l'expression anglo-saxonne : "modified chemical vapor deposition" qui peut se traduire par procédé modifié de dépôt chimique par voie gazeuse). Ce procédé consiste à faire circuler à l'intérieur d'un tube en silice un mélange gazeux comprenant notamment de l'oxygène et des composés de silicium, de germanium ou de bore, ces derniers étant introduits à l'intérieur du tube selon des séquences prédéterminées. Le tube est chauffé à l'aide d'une source de chaleur que l'on déplace suivant une direction longitudinale à ce tube. Le cycle est recommencé plusieurs fois. A chaque passage dans les zones échauffées, il se réalise une réaction d'oxydo-réduction des composants en présence et dépôt des oxydes de silicium, de bore ou de germanium sur la paroi interne. A chaque passage du tube devant la source de chaleur, une nouvelle couche se dépose. La dernière phase du procédé consiste à chauffer très fortement le tube en silice, il s'en suit une contraction, on obtient une préforme. Le produit obtenu par ce procédé se présente sous la forme également d'un barreau de diamètre un peu inférieur au diamètre interne du tube en silice. Cette préforme subit ensuite une phase ultérieure de tréfilage et à l'issue de cette phase, la fibre optique proprement dite est obtenue. Pour espérer obtenir une fibre de très bonne qualité, il est nécessaire que les dimensions géométriques de la préforme soient connues avec précision et que l'homogénéité de ses dimensions soient conservées sur toute la longueur de la préforme. Il est nécessaire que le tube en silice à l'intérieur duquel sont effectués les dépôts successifs pour obtenir la préforme soit lui-aussi très homogène dans ses caractéristiques géométriques.

ques. Il est nécessaire de contrôler avec une grande précision son diamètre intérieur, l'épaisseur de ses parois et son diamètre extérieur notamment.

5 Différents procédés de mesure de ces caractéristiques géométriques ont été proposés dans le passé. Selon une première approche, ces paramètres sont mesurés à l'aide de palpeurs mécaniques dont les positions sur un axe sont converties en signaux électriques. Le tube en silice ayant une longueur typiquement de l'ordre du mètre et un diamètre intérieur de l'ordre de la dizaine de millimètres, il est difficile d'introduire à l'intérieur du tube des palpeurs, positionnés avec précision, pour la mesure continue du diamètre  
10 intérieur.

Le diamètre extérieur est également mesuré à l'aide d'une paire de palpeurs et l'épaisseur de la paroi est déduite de ces deux mesures.

15 Une seconde approche, consiste à mesurer l'épaisseur de la paroi par voie optique. Des procédés de mesure selon cette approche se basent sur l'apposition d'un tranchant sur la paroi externe de l'objet devant être mesuré. L'apposition de ce tranchant sur la face externe de la paroi, ainsi que son reflet sur la face interne de la paroi sont observés simultanément à l'aide d'un microscope. La distance entre ces deux repères observés comme des ombres très nettement délimitées, représente l'épaisseur de la paroi. Le  
20 microscope comporte un réticule gradué de manière à ce que l'épaisseur soit lue directement dans l'oculaire. Cependant ce procédé ne permet pas d'automatiser le contrôle du tube de silice. L'invention tout au contraire, bien que proposant un procédé de contrôle par voie optique, permet l'automatisation complète du processus.

25 L'invention a donc pour objet un procédé de mesure de caractéristiques géométriques d'un élément en matériau réfringent principalement caractérisé en ce qu'il comprend une étape pendant laquelle l'épaisseur de la paroi de cet élément est mesurée en focalisant un faisceau de rayons lumineux parallèles à l'aide d'une première lentille en un point situé à l'intérieur de la paroi de l'élément, le faisceau incident étant réfléchi en partie en un premier faisceau émergent et en partie en un faisceau réfracté à la  
30 traversée de la face extérieure de la paroi de l'élément, ce faisceau étant lui-même réfléchi en partie sur la face interne de la paroi de cet élément et de nouveau réfracté à la traversée de la face externe en un second faisceau

divergent, les premier et second faisceaux divergents étant refocalisés à l'aide d'une seconde lentille sur un assemblage de détecteurs optoélectroniques ; des moyens électriques reliés à cet assemblage fournissant un signal proportionnel à la distance séparant les impacts des deux faisceaux.

5 L'invention a également pour objet un dispositif mettant en oeuvre ce procédé.

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

10 - les figures 1 et 2 illustrent schématiquement des procédés de contrôle des caractéristiques d'un tube en silice selon deux approches de l'art connu ;

- la figure 3 illustre schématiquement la fabrication d'une préforme nécessaire à la fabrication de fibres optiques utilisant un tube en silice ;

15 - les figures 4 à 7 illustrent les étapes particulières du procédé de mesure des caractéristiques géométriques d'un tube en silice selon l'invention ;

- la figure 8 est un exemple de réalisation concrète d'un dispositif mettant en oeuvre le procédé de l'invention ;

20 - la figure 9 illustre de façon plus détaillée les organes du dispositif destiné à la mesure de l'épaisseur de la paroi du tube en silice ;

- la figure 10 illustre de façon détaillée les organes du dispositif destinés à la mesure du diamètre extérieur du tube ;

25 - la figure 11 est un exemple de circuit électronique permettant l'automatisation de la mesure des paramètres géométriques par le procédé de l'invention ;

- la figure 12 est un diagramme illustrant les principaux signaux électriques nécessaires au fonctionnement du circuit de la figure 11.

Les éléments communs à deux figures ou plus portent les mêmes références et ne seront décrits qu'une seule fois.

30 La figure 1 illustre une première approche de mesure des caractéristiques géométriques d'un tube en matériau transparent et notamment d'un tube en silice destiné à la fabrication de préformes pour fibres optiques. Selon cette approche les couples de capteurs électromécaniques  $P_1$   $P_2$  -  $P_3$  -  $P_4$  mesurent respectivement les diamètres extérieur  $D_1$  et intérieur  $d_1$  d'un

tube de verre. Comme illustré sur la figure, ces capteurs se présentent sous la forme de palpeurs mobiles mis en contact respectivement avec les faces externes et internes de la paroi, ces contacts étant effectués sur un axe  $\Delta_y$ . Le tube en verre est positionné de façon précise à l'aide d'éléments  
5 mécaniques non représentés et a pour axe de symétrie  $\Delta_x$ . L'épaisseur de la paroi 1 peut être calculée en soustrayant les valeurs mesurées de diamètre extérieur  $D_1$  et de diamètre intérieur  $d_1$ . Les écartements respectifs entre les paires de palpeurs,  $D'_1$  et  $d'_1$  sont directement proportionnels aux diamètres extérieur  $D_1$  et intérieur  $d_1$ . Des transducteurs électromécani-  
10 ques bien connus peuvent traduire ces distances en signaux électriques proportionnels. Les difficultés propres à ce procédé sont liées, d'une part, à l'introduction à l'intérieur du tube, dont le diamètre typique est de l'ordre de 12 mm, des palpeurs de mesure et, d'autre part, de positionner correctement l'une par rapport à l'autre les deux paires de palpeurs. Il faut également se  
15 rappeler que le tube 1 a une longueur d'environ un mètre selon l'axe  $\Delta_x$ .

Selon une seconde approche, l'épaisseur de la paroi du tube 1 :  $e_1$  est mesurée par voie optique, c'est à dire sans nécessité l'introduction de palpeurs mesure à l'intérieur du tube. La figure 2 illustre la mesure de l'épaisseur de la paroi par un procédé de l'art connu selon cette approche. Le  
20 diamètre extérieur peut être mesuré, comme dans l'approche précédente, par le moyen de capteurs électromécaniques. Selon l'approche spécifique de la figure 2, une lame analogue à celle d'un couteau, est mise en contact avec la face externe de la paroi du tube 1. Un point A quelconque de contact se refléchi également en B sur la face interne de la paroi du tube 1. Si on  
25 observe simultanément à l'aide d'un microscope  $M_1$  muni d'une échelle graduée le point A et son reflet B, l'écart entre ces deux points représente l'épaisseur  $e_1$  de la paroi. Cependant cette méthode, bien que précise, ne permet pas une automatisation du processus de mesure, cette mesure devant être effectuée en un très grand nombre de points du tube pour que l'on  
30 puisse s'assurer de son homogénéité.

Avant de décrire le procédé de mesure selon l'invention, il est utile de rappeler brièvement le processus de fabrication d'une préforme de fibre optique à l'aide d'un tube en silice. La figure 3 illustre schématiquement un dispositif permettant cette fabrication. Le dispositif comprend essentiel-

lement un tube en silice 1 mis en mouvement relatif par rapport à une source de chaleur 3, par exemple du type Chalumeau. Dans ce tube est introduit par une extrémité un mélange gazeux  $G_1$  qui circule à l'intérieur suivant une direction essentiellement parallèle à l'axe de symétrie du tube  $\Delta_x$ .

5 Le mélange gazeux ressort en  $G_2$ . Le mélange gazeux  $G_1$  comprend, d'une part, de l'oxygène et, d'autre part, d'autres composés gazeux tels que des chlorures de silicium, de bore ou de germanium. Selon le procédé dit "MCVD" qui a été rappelé, dans les zones soumises à la source de chauffage 3 des réactions d'oxydo-réduction se produisent entre les différents composants en présence dans le mélange gazeux. Il s'en suit un dépôt en couche mince sur la face interne du tube 1 des oxydes formés. Le tube est mis en mouvement relatif par rapport à la source de chaleur 3. A chaque passage il se crée une couche d'environ 5  $\mu\text{m}$ . On effectue environ 70 à 80 cycles successifs. En fin de processus; on obtient un tube de diamètre extérieur égal au diamètre intérieur du tube en silice et d'épaisseur égale à 10  $\mu\text{m}$  multiplié par le nombre de cycles. On réalise ensuite une étape ultime consistant à chauffer très fortement le tube en silice. Il s'en suit une contraction (appelée "collapsing" en langue anglo-saxonne). Le produit obtenu est appelé préforme et se présente également sous la forme d'un barreau, de dimensions extérieures de l'ordre de 9 mm. Cette préforme va servir à la fabrication des fibres optiques proprement dites, qui seront obtenues par tréfilage de cette préforme. Après cette phase finale, la fibre aura un diamètre extérieur d'environ 125  $\mu\text{m}$ . Comme il est connu, une fibre optique comporte un coeur et une gaine extérieure. Pour le diamètre extérieur précité, le diamètre de coeur est d'environ 65  $\mu\text{m}$ . Le coeur et la gaine se différencient essentiellement par leur indice de réfraction optique. L'évolution de cet indice de réfraction optique doit s'effectuer selon un profil déterminé. Pour arriver à ce résultat, il est nécessaire de déposer sur la face interne du tube 1 des matériaux différents de façon à ce que l'indice de

10

15

20

25

30

réfraction optique varie selon un profil homothétique à celui désiré pour la fibre optique. A titre d'exemple, l'indice moyen de réfraction étant celui de la silice, si on désire augmenter localement l'indice de réfraction on peut introduire, dans un pourcentage déterminé, du dioxyde de germanium.

L'apparition de fibres optiques en silice/silice dopée a permis de

diminuer dans de grandes proportions les pertes de transmission optiques des fibres optiques. Actuellement des fibres ayant des pertes inférieures à 0,5 dB par km peuvent être réalisées. Il est nécessaire, pour obtenir de telles performances, que les fibres soient très homogènes. En particulier, pour  
 5 obtenir un couplage entre deux fibres présentant de faibles pertes, il faut que les caractéristiques géométriques de ces deux fibres soient très voisines. Il est en effet nécessaire que l'épaisseur des gaines et les diamètres des coeurs respectifs soient identiques. Pour arriver à ce résultat il est  
 10 nécessaire de partir d'une préforme également très homogène quand à ces caractéristiques géométriques et dans des tolérances très serrées. Ces exigences se reportent sur le tube de silice dans lequel sont réalisées ces préformes.

Il est donc nécessaire de contrôler avec une grande précision les caractéristiques géométriques de ce tube. Il est d'autre part nécessaire  
 15 d'effectuer un très grand nombre de mesures pour s'assurer de l'homogénéité de ces caractéristiques géométriques le long du tube de silice.

Le procédé de l'invention consiste à mesurer simultanément le diamètre extérieur  $D_1$  et l'épaisseur  $e_1$  de la paroi du tube 1, les points de mesure  
 20 étant réalisés le long d'une hélice à pas constant. La mesure du diamètre peut être réalisée, selon la première approche, décrite précédemment en utilisant des palpeurs mécaniques dont les positions sur un axe sont traduites en signaux électriques. La mesure de l'épaisseur de la paroi est effectuée selon le procédé de l'invention par voie optique.

Comme illustré sur la figure 5, la face interne de la paroi du tube 1,  $F_i$ , doit s'inscrire entre deux cercles  $R_1$  et  $R_2$  représentant les tolérances  
 25 minimales et maximales du rayon intérieur du tube. Il en est de même de la face extérieure  $F_e$  qui doit s'inscrire entre deux cercles  $R_1$  et  $R_2$ . Ces tolérances doivent être respectées quelque soit l'endroit où l'on se place sur l'axe  $\Delta_x$ . En un point quelconque de cet axe  $O_x$ , si l'on connaît simultanément  
 30 le rayon extérieur  $R_x$  et l'épaisseur de la paroi du tube de verre  $e_1(x)$ , au point  $A'_x$ , on peut en déduire le diamètre intérieur du tube. On peut donc déterminer si les rayons interne et externe  $O_x B'_x$  et  $O_x A'_x$  sont dans les tolérances préalablement établies. On peut effectuer cette mesure quelle que soit la direction  $R_x$  faisant un angle  $\alpha_x$  avec un axe de référence .

Comme illustré sur la figure 4, ces mesures peuvent également se répéter le long d'un axe de référence  $\Delta_x$  orthogonal à l'axe  $\rho$ . Selon l'invention, les points de mesure se répartissent sur une hélice  $h$  à pas constant suivant une direction parallèle à l'axe de référence  $\Delta_x$ . Ceci est obtenu en faisant tourner le tube sur lui-même par rapport à son axe de symétrie  $\Delta_x$  à vitesse angulaire constante et d'autre part en déplaçant le dispositif effectuant les deux mesures simultanées de diamètre extérieur et d'épaisseur de paroi le long de l'axe  $\Delta_x$ , ce également à vitesse constante. La mesure s'effectue entre l'abscisse 0 et l'abscisse  $l_{\max}$ . Par ce procédé on tend vers une mesure continue de ces deux paramètres, si le pas de l'hélice est suffisamment resserré et la fréquence des points de mesure selon l'axe  $\Delta_x$  suffisamment grande.

En réalité, on mesure le diamètre extérieur  $D_1(x)$  et non le rayon pour ne pas avoir à introduire de palpeurs de mesure à l'intérieur du tube 1. La figure 6 est une coupe longitudinale du tube 1 sur laquelle les deux paramètres à mesurer en tous points  $0_x : D_1(x)$  et  $e_1(x)$  sont illustrés.

Il est également à noter que dans la réalité, il est plus simple que les organes destinés à la mesure soient fixes dans l'espace et que le tube soit également animé d'un mouvement longitudinal à vitesse constante.

La mesure de l'épaisseur  $e_1$  de la paroi du tube 1 est illustrée de façon plus précise par la figure 7. Un faisceau de rayons parallèles  $f_1$  produit, par exemple, par une source laser  $L_a$  et focalisé à l'aide d'une lentille cylindrique  $L_1$  en un faisceau  $f_1$  vers la face extérieure  $F_e$  de la paroi du tube 1. Le point de focalisation se situe à l'intérieur de la paroi. A la traversée air-verre le faisceau  $f_1$  a encore une faible épaisseur qui se matérialise par une trace  $T_1$  qui s'étend sur une certaine distance suivant un axe orthogonal au plan de la figure. L'angle moyen d'incidence du faisceau  $f_1$  est égal à  $i$ . Ce faisceau est réfracté par le dioptre air-verre et l'incidence moyenne du faisceau réfracté est égale à l'angle  $r$ . Le faisceau incident est également réfléchi en partie en un faisceau  $f_2$ . L'angle de réflexion moyen par rapport à un axe  $\Delta_S$  orthogonal à la paroi est également l'angle  $i$ . Vu l'incidence de réfraction de la silice par rapport à l'air, les lois de l'optique indiquent que l'intensité du faisceau réfracté est égale à environ 96 % de l'intensité du faisceau incident. Le faisceau réfracté  $f''_1$  va être également réfléchi par la

face interne  $f_1$  de la paroi interne  $F_1$  du tube 1 en un faisceau  $f''_3$ . Ce faisceau  $f''_3$  est à son tour réfracté au passage du dioptre verre-air en un faisceau  $f_3$  divergent. L'intensité du faisceau émergent  $f_3$  est égale à  $0,04 \times (0,96)^2$  du faisceau  $f_2$ . Ces deux intensités sont donc sensiblement égales.

5 Les faisceaux  $f_3$  et  $f_2$  ont même incidence moyenne  $i$  et sont focalisés à l'aide d'une lentille  $L_2$ , de type microscope, vers une barrette de photodiodes 4. Cette barrette de photodiodes comprend  $n$  photodiodes,  $D_1$  à  $D_n$ . Les faisceaux  $f_2$  et  $f_3$  focalisent respectivement sur deux photodiodes  $D_x$  et  $D_y$ . Cette barrette de photodiodes est dans un plan orthogonal à l'axe optique de

10 la lentille  $L_2$ , axe optique parallèle à l'incidence moyenne des faisceaux  $f_2$  et  $f_3$  sur la face externe  $F_e$  de la paroi du tube. En ajustant l'angle d'incidence moyen  $i$  et la distance entre la face externe  $F_e$  et la lentille  $L_1$ , on s'arrange pour que les traces  $T_1$  et  $T'_2$  soient sensiblement de même grandeur et que la trace  $T_1$  et l'image  $T_2$  de la trace  $T'_2$  soient sensiblement

15 dans un même plan de mise au point pour la lentille  $L_2$ , cette dernière condition étant obtenue pour un angle d'incidence  $i$  de  $\pi/4$ .

Les lois de l'optique indiquent alors que l'écartement  $d(T_1 T_2)$  entre  $T_1$  et  $T_2$  est proportionnel à l'épaisseur  $e_1$  du tube suivant la relation :

20 
$$d(T_1 T_2) = \frac{(\sin^2 i) \times e_1}{\sqrt{n_0^2 - \sin^2 i}}$$

où  $n_0$  est l'indice de réfraction du matériau transparent de la paroi par rapport à l'air

25 Les axes de symétrie des faisceaux émergents  $f_2$  et  $f_3$  étant parallèles, en formant l'image de  $T_1$  et  $T_2$  sur une barrette de photodiode et en traitant électroniquement les signaux de sortie des photodiodes par des circuits, qui seront décrits ultérieurement en relation avec les figures 11 et 12, on peut déterminer l'épaisseur  $e_1$  de la paroi du tube 1.

30 Selon l'invention, les variations du diamètre extérieur  $D_1$  du tube, ainsi que sa valeur absolue, vont être mesurées par deux palpeurs analogues à ceux mis en oeuvre dans la première approche de l'art connu décrite précédemment en relation avec la figure 1. Ces organes vont être décrits de façon plus détaillée en relation avec la figure 10.

La figure 8 est un exemple de réalisation concrète d'un dispositif

mettant en oeuvre le procédé de l'invention. Le dispositif comporte un bâti comprenant un socle 80 supportant un plateau supérieur fixe 82 à l'aide de colonnes, dont deux sont visibles sur la figure : 81 et 82. Ces colonnes sont destinées à guider un plateau de mesure 84 mobile suivant une direction  
 5 parallèle à un axe vertical de référence Z. Ce plateau est entraîné à l'aide d'une vis mère 89 mûe par un moteur 88. Un second moteur 85 met en rotation le tube de silice 1 par l'intermédiaire d'un axe comprenant des cardans 86, et d'un système de blocage 87 du tube 1. Les organes de mesure de l'épaisseur  $e_1$  de la paroi du tube 1 ainsi que de son diamètre extérieur  $D_1$   
 10 sont disposés sur le plateau mobile de mesure 84. La combinaison des mouvements de translation de ce plateau et de rotation du tube 1 réalise le mouvement en hélice qui a été décrit en relation avec la figure 5.

La figure 9 illustre avec plus de détail les organes destinés à la mesure optique de l'épaisseur de la paroi du tube telle que décrite en relation avec  
 15 la figure 7. Une source laser  $L_a$  est fixée à un support 94 solidaire du plateau de mesure 84. Cette source laser  $L_a$  produit un faisceau de rayons parallèles  $f_1$  suivant une direction parallèle à l'axe Z. Ce faisceau est réfléchi suivant un angle de  $\frac{\pi}{2}$  par un miroir fixe 93 solidaire du support 94. Un bloc optique 95 percé de deux fenêtres 96 et 97 supporte, d'une part, la  
 20 lentille cylindrique  $L_1$  et, d'autre part, l'objectif de microscope  $L_2$ . A ce support 95 sont en outre fixés deux miroirs de renvoi 98 et 99. A la sortie de la lentille cylindrique  $L_1$  le faisceau  $f'_1$  après réflexion sur le miroir 98 est dirigé vers la paroi du tube 1 à mesurer, les deux faisceaux émergents  $f_2$  et  
 25  $f_3$  sont ensuite réfléchis par le miroir 99 vers l'objectif de microscope  $L_2$  et dirigés vers la barrette de photodiodes 4. Cette barrette de photodiodes est comprise dans un ensemble 92 comprenant également des circuits électroniques qui vont être décrits en relation avec les figures 11 et 12. Le tube 1 est  
 30 maintenu à l'aide de deux ensembles de galets 90 et 91, de façon à ce que son axe de symétrie soit rigoureusement parallèle à l'axe de référence Z.

La disposition de ces ensembles de galets est illustrée par la figure 10. Sur cette figure un seul de ces ensembles est visible. Il se compose de trois galets 101, 102 et 103 dont deux, 102 et 103 sont fixes et le troisième 101 mobile suivant un axe  $\Delta_1$  coupant l'axe de symétrie du tube 1 en  $O_x$ . Les deux autres galets 102 et 103 sont répartis dans l'espace de manière à ce que

les axes  $\Delta_2$  et  $\Delta_3$  passant par les centres respectifs des galets 102 et 103 et du tube  $0_x$ , fassent entre eux et avec l'axe  $\Delta_1$  des angles de préférence sensiblement égaux. Le galet 101 est entraîné suivant la direction  $\Delta_1$  par une table de translation et presse sur le tube de verre 1 maintenu par les deux autres galets 102 et 103. Pour la mesure du diamètre extérieur du tube 1, deux palpeurs mécaniques P1 et P2 sont montés tête-bêche sur un axe  $\Delta_4$  passant également par le point  $0_x$ . Les corps 104 et 105 des deux palpeurs P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> sont fixes par rapport au plateau de mesure 84. Les positions de ces palpeurs suivant l'axe  $\Delta_4$  sont transformées en signaux électriques proportionnels  $V_A$  et  $V_B$ .

Dans une phase initiale, un calibrage est effectué à l'aide de piges étalons. Les signaux de sortie  $V_A$  et  $V_B$  sont ensuite sommés électriquement. La valeur moyenne de calibrage peut être obtenue à l'aide d'une pige étalon, on a alors :

$$V_A + V_B = V_0$$

où  $V_0$  est proportionnel au diamètre extérieur moyen servant de référence. Ensuite les tubes en silice 1 à contrôler sont introduits dans le dispositif et la valeur  $(V_A + V_B)$  pour ces tubes est comparée à cette valeur  $V_0$ .

Un circuit électrique permettant de traiter, d'une part, les signaux de sortie de la barrette de photodiodes 4 et, d'autre part, les signaux de sortie des palpeurs P<sub>1</sub> et P<sub>2</sub> va maintenant être décrit, à titre d'exemple non limitatif, en relation avec la figure 11. Les sorties des diodes D1 à D<sub>n</sub> sont transmises à un multiplexeur analogique 111. De tels multiplexeurs sont couramment disponibles dans le commerce et comprennent une série de portes analogiques recevant, sur une première entrée, les signaux à multiplexer, dans le cadre de l'invention les signaux de sortie des photodiodes D<sub>1</sub> et D<sub>n</sub> et, sur une seconde entrée, des signaux binaires d'autorisation. Le multiplexeur reçoit pour ce faire des signaux d'horloge H<sub>1</sub> produit par un générateur 110, ces signaux étant transmis à, par exemple, un compteur binaire rebouclé ayant autant d'état binaire que de signaux différents à multiplexer, n dans le cadre de l'invention. Des circuits logiques sélectionnent un de ces états binaires de manière que, à chaque instant, une seule sortie de photodiode soit sélectionnée et transmise à une sortie commune du multiplexeur analogique 111 :  $V_{SA}$ . Seules les diodes éclairées par les

faisceaux  $f_2$  et  $f_3$ , respectivement  $D_x$  et  $D_y$  fournissent un signal de grande amplitude.

5 Les signaux d'horloge  $H_1$  et le signal de sortie  $V_{SA}$  ainsi que les autres signaux qui vont être mentionnés ultérieurement sont illustrés sur le diagramme de la figure 12, précisant en outre, à l'aide de lignes en pointillés, les principales relations de phase entre ces signaux.

10 Le signal de sortie  $V_{SA}$  peut comporter une composante résiduelle non nulle même lorsqu'il représente un signal d'une photodiode non éclairée. Pour éliminer cette composante parasite et obtenir un signal variant entre deux valeurs, par exemple 0 et  $V_{SMAX}$ , le signal de sortie du multiplexeur analogique 111 est transmis à l'une des entrées d'un amplificateur différentiel 112, l'autre entrée recevant un signal continu de seuil  $V_{ES}$ . La sortie de cet amplificateur 112 :  $V_S$  est transmise à l'entrée d'un circuit générateur de signaux de commande 113. Ce circuit reçoit sur une seconde entrée un signal 15 d'horloge  $H_3$  dont les impulsions sont espacées d'une période  $T$ , cette période étant égale à  $n$  fois la période du signal d'horloge  $H_1$  ( $n$  étant le nombre de photodiodes). Le générateur de signaux d'horloge 110 élabore un troisième signal d'horloge  $H_2$ , de même fréquence que le signal d'horloge  $H_1$  mais déphasé, par exemple en retard d'un quart de période comme illustré sur la 20 figure 12. Ces signaux d'horloge  $H_2$  sont transmis à une première entrée d'une porte logique ET 115, recevant sur sa seconde entrée un signal de commande  $V_{S1}$ . Ce signal est élaboré à partir du signal de sortie  $V_S$  de l'amplificateur 112. Il est destiné à autoriser l'ouverture de la porte ET 115 pendant une période correspondant au balayage par le multiplexeur analogique des diodes  $D_x$  à  $D_y$ . Si on appelle  $t_0$  le début d'une période quelconque  $T$ , cette période finira au temps  $t = t_0 + T$ . La porte ET 115 laissera passer les 25 signaux d'horloge sur sa sortie  $H'_2$  du temps  $t_1$  au temps  $t_2$ . Cette période est proportionnelle au temps nécessaire au balayage d'un nombre de diodes égal à  $(y - x)$ . La période de signal d'horloge  $H_1$  étant constante, il s'agit donc d'une transposition dans le domaine du temps de la distance séparant ces deux diodes  $D_x$  et  $D_y$ . Les signaux de sortie  $H'_2$  de la porte ET 115 sont transmis à l'entrée de comptage d'un compteur binaire 114. Entre les temps 30  $t_1$  et  $t_2$  ce compteur passe de la valeur 0 à la valeur binaire représentant le nombre  $(y - x)$ . Après  $t_2$ , la porte ET 115 est bloquée par la retombée du

signal  $V_{S1}$ . Il s'en suit que l'état du compteur 114, représenté sous le diagramme de la figure 12 par la courbe 114, reste stable jusqu'à réception sur l'entrée de remise à zéro de ce compteur d'une impulsion de remise à zéro  $V_{S3}$ . Ce signal est également élaboré par le circuit générateur de signaux de commande 113. Les sorties des différents étages du compteur binaire 114 sont transmises en parallèles aux entrées d'un convertisseur numérique analogique 116. Ce convertisseur 116 reçoit sur une entrée un signal d'autorisation de conversion  $V_{S2}$ . Ce signal peut être identique au signal d'horloge  $H_3$  comme illustré sur la figure 12. Le signal de remise à zéro  $V_{S3}$  est légèrement décalé par rapport à ce signal d'autorisation de manière à ce que la remise à zéro du compteur 114 s'effectue une fois l'acquisition des données effectuée par le convertisseur numérique analogique 116. Comme indiqué précédemment le signal d'horloge  $H_2$  doit être décalé en retard par rapport au signal  $H_1$  pour que le signal d'horloge survenant au moment de la retombée du signal  $V_{S1}$  ne soit pas pris en compte. Le signal de sortie du convertisseur numérique analogique  $V_C$  est transmis par un circuit de commande 117 dont la sortie  $V_1$  constitue l'une des voies d'une table traçante 118. Ce circuit de commande 117 est partie intégrante de la table traçante et est destiné à l'adaptation du signal  $V_C$  pour la commande du stylet associé à la voie  $V_1$ .

Les signaux de sortie  $V_A$  et  $V_B$  représentant respectivement les positions des palpeurs  $P_1$  et  $P_2$  sont transmis aux entrées d'un second circuit de commande 119 élaborant le signal  $V_A + V_B$  transmis au circuit de commande 120 associé à la voie  $V_2$  de la table traçante 118. Ces circuits sont chargés, comme il a été rappelé précédemment, d'une part d'effectuer la sommation électronique  $V_A + V_B$  et, d'autre part, d'adapter ces signaux de commande du stylet associé à la voie  $V_2$ . Ce circuit de commande 119 comporte en outre des circuits de calibrage initial pour tenir compte de la valeur  $V_0$  représentant la valeur moyenne de référence du diamètre extérieur du tube 1. Comme il est connu, les stylets associés aux deux voies  $V_1$  et  $V_2$  inscrivent les signaux représentant les paramètres mesurés sur une feuille de papier gradué entraînée à vitesse constante par un moteur  $M$ .

Pour que les mesures d'épaisseur de paroi tendent vers un régime continu, il est nécessaire que la fréquence de balayage du multiplexeur

analogique 111, c'est à dire la fréquence des signaux d'horloge  $H_1$ , soit suffisamment grande pour que la tension de sortie du convertisseur numérique analogique  $V_C$  évolue également de façon quasi-continue. Pour ce faire il suffit que la période  $T$ , nécessaire au balayage des  $n$  photodiodes, soit  
5 suffisamment petite devant le temps nécessaire pour effectuer une rotation complète du tube 1. Cette condition est aisément réalisée en utilisant des signaux d'horloge de fréquence égale à quelques KHz.

Pour fixer les idées, on peut indiquer que dans un prototype de dispositif mettant en oeuvre le procédé de mesure de caractéristiques  
10 géométriques selon l'invention, les précisions typiques des mesures obtenues sont les suivantes :

- sur la valeur absolue du diamètre :  $10^{-2}$  mm
- sur les variations de ce diamètre :  $10^{-2}$  mm, mais cette précision peut être améliorée par un facteur 10.

15 - sur la valeur absolue de l'épaisseur et sur ses variations :  $2 \cdot 10^{-2}$  mm. Le circuit électronique de traitement de signaux de la figure 11 est constitué d'éléments : compteur, portes logiques, multiplexeurs etc... disponible dans le commerce. A titre d'exemple la barrette de photodétecteurs est une barrette de photodiodes du type 512G,..., de la marque RETICON.

20 Pour la détermination du diamètre extérieur, des palpeurs mécaniques de la marque TESA peuvent être utilisés.

L'exemple de réalisation concrète d'un dispositif de mesure de paramètres géométriques d'un tube en matériau transparent n'a été donné qu'à titre illustratif : de nombreuses modifications de détail à la portée de l'homme de  
25 métier peuvent être effectuées sans sortir du cadre de l'invention.

Notamment, bien que spécialement avantageux dans le cadre de la mesure de certains paramètres géométriques d'un tube en verre (et spécialement de tube en silice destinés à la fabrication de préformes pour fibres optiques) dont la partie intérieure est difficile d'accès, le procédé de  
30 l'invention, dans son étape de mesure de l'épaisseur des parois, peut être appliqué à toute mesure d'épaisseur de paroi, y compris la mesure de l'épaisseur de plaque de matériau transparent (verre plat par exemple).

En outre, d'autres types de visualisation que l'inscription des courbes représentant les variations du diamètre extérieur et de l'épaisseur de la

paroi sur une table traçante peuvent être mis en oeuvre. On peut citer à titre d'exemple, l'inscription de ces deux courbes sur l'écran d'un oscilloscope à rémanence.

5      Enfin, au lieu d'utiliser un système de balayage, une conversion purement statique du nombre de diodes ( $x - y$ ) séparant deux diodes éclairées ( $D_x, D_y$ ) peut être mise en oeuvre, par exemple en reliant les sorties des photodiodes à des circuits de décodage affichant directement les numéros des diodes concernées, respectivement  $x, y$ , suivis de circuits logiques effectuant la différence  $x - y$ .

### REVENDEICATIONS

1. Procédé de mesure de caractéristiques géométriques d'un élément en matériau réfringent caractérisé en ce qu'il comprend une étape pendant laquelle l'épaisseur ( $e_1$ ) de la paroi de l'élément (1) est mesurée en focalisant un faisceau ( $f_1$ ) de rayons lumineux parallèles à l'aide d'une première lentille ( $L_1$ ) en un point situé à l'intérieur de la paroi de l'élément (1), le faisceau incident ( $f_1$ ) étant réfléchi en partie en un premier faisceau émergent ( $f_2$ ) et en partie en un faisceau réfracté ( $f''_1$ ) à la traversée de la face extérieure ( $F_e$ ) de la paroi de l'élément (1), ce faisceau ( $f''_1$ ) étant lui-même réfléchi en partie ( $f'_3$ ) sur la face interne ( $F_i$ ) de la paroi de l'élément (1) et de nouveau réfracté à la traversée de la face externe ( $F_e$ ) en un second faisceau divergent ( $f_3$ ), les premier et second faisceaux divergents étant refocalisés à l'aide d'une seconde lentille ( $L_2$ ) sur un assemblage (4) de détecteurs optoélectroniques ( $D_1$  à  $D_n$ ); des moyens électriques reliés à cet assemblage fournissant un signal proportionnel à la distance séparant les impacts ( $D_x$ ,  $D_y$ ) des deux faisceaux ( $f_2$ ,  $f_3$ ).

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, le matériau réfringent étant de la silice, l'angle d'incidence moyen ( $i$ ) du faisceau incident ( $f_1$ ) est égal à  $\pi/4$  radians.

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que pour déterminer l'assemblage (4) de détecteurs est constitué par une barrette de photodiodes ( $D_1$  à  $D_n$ ), dont au moins deux ( $D_x$ ,  $D_y$ ) sont éclairées par les impacts des premier et second faisceaux émergents ( $f_2$ ,  $f_3$ ) refocalisés par la seconde lentille ( $L_2$ ), le nombre de photodiodes séparant les deux photodiodes ( $D_x$ ,  $D_y$ ) ainsi éclairés est compté pour déterminer la distance ( $x - y$ ) séparant les impacts et en ce que, pour effectuer ce comptage, les sorties des détecteurs pouvant prendre deux états distincts, activés ou non activés, selon qu'ils sont éclairés ou non par les premier et second faisceaux émergents, ces sorties sont explorées séquentiellement par les moyens électriques au rythme fixe d'impulsion d'horloge ( $H_1$ ) de fréquence déterminée; ces impulsions d'horloge étant emmagasinées par des circuits de comptage (114) des moyens électriques pendant une période commençant à l'apparition d'un premier état de sortie activé ( $t_1$ ) et se terminant à l'apparition d'un second état de sortie activé ( $t_2$ ), le compte emmagasiné

représentant le nombre de détecteurs recherché ( $x - y$ ).

4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, l'élément réfringent étant un tube (1), il comprend une seconde étape consistant à mesurer le diamètre extérieur ( $D_1$ ) du tube (1) à l'aide de palpeurs mécaniques ( $P_1, P_2$ ) disposés sur un même axe ( $\Delta_4$ ) passant par l'axe de symétrie du tube ( $\Delta_x$ ) et orthogonal à cet axe, disposés de part et d'autre du tube, les déplacements de ces deux palpeurs sur l'axe ( $\Delta_4$ ) étant convertis à l'aide de transducteurs en signaux électriques ( $V_A, V_B$ ) et en ce que ces signaux sont sommés électriquement et comparés à un signal de référence ( $V_0$ ) représentant un diamètre extérieur du tube servant de valeur de référence.

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'en outre il est procédé à une étape initiale de calibrage permettant de déterminer ce signal de référence ( $V_0$ ) par introduction entre les deux palpeurs ( $P_1, P_2$ ) d'une pige étalon et sommation électrique des signaux élaborés par les transducteurs ( $P_1, P_2$ ).

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que les première et seconde étapes sont simultanées et en ce que les mesures effectuées pendant ces étapes sont répétées un grand nombre de fois en des endroits déterminés de la face externe ( $F_e$ ) du tube (1) ; ces endroits déterminés se répartissant sur un hélice à pas constant de même axe de symétrie que celui ( $\Delta_x$ ) du tube (1).

7. Dispositif de mesure de caractéristique géométrique d'un tube (1) en matériau réfringent selon le procédé de l'une quelconque des revendications 1 à 6 caractérisé en ce qu'il comporte des premiers moyens (85, 86, 87) destinés à mettre en rotation à vitesse constante autour de son axe de symétrie ( $\Delta_x$ ) le tube (1) en matériau réfringent et des deuxièmes moyens (88, 89) destinés à imprimer à une plateforme de mesure (84) une translation à vitesse constante parallèlement à cet axe de symétrie ( $\Delta_x$ ) ; et en ce que cette plateforme de mesure (84) entraîne des troisièmes et quatrièmes moyens solidaires de cette plateforme (84) destinés à effectuer en simultanéité, respectivement la mesure optique de l'épaisseur ( $e_1$ ) de la paroi du tube (1) et de son diamètre extérieur ( $D_1$ ), ainsi que des cinquièmes moyens (90, 91) destinés au guidage de ce tube.

8. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que les premiers moyens comprennent un moteur (85) entraînant un axe d'accouplement comportant une articulation à cardans (86) et des moyens de préhension (87) du tube (1).

5 9. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que les seconds moyens comprennent un moteur (88) et des moyens d'accouplement (89) à la plateforme de mesure (84) constitués d'une vis sans fin.

10 10. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que les troisièmes moyens comprennent une source d'énergie lumineuse ( $L_a$ ) produisant un faisceau de rayons parallèles ( $f_1$ ), une première lentille, cylindrique ( $L_1$ ), et des premiers moyens de déflexion (98) destinés à transformer le faisceau de rayons parallèles ( $f_1$ ) en un faisceau ( $f'_1$ ) convergent, d'incidence moyenne déterminée (i) par rapport à une direction normale à la paroi du tube (1) et focalisant le faisceau convergent ( $f'_1$ ) au sein de cette paroi, des  
15 seconds moyens de déflexion de premier et second faisceaux ( $f_2$ ,  $f_3$ ) respectivement dus à la réflexion du faisceau convergent ( $f'_1$ ) sur la face externe ( $F_e$ ) et la face interne ( $F_i$ ) de la paroi du tube (1), vers une seconde lentille ( $L_2$ ), focalisant les premier et second faisceaux ( $f_2$ ,  $f_3$ ) sur des  
20 moyens optoélectroniques (4) détectant l'écart des points de focalisation de ces deux faisceaux ( $f_2$ ,  $f_3$ ).

11. Dispositif selon la revendication 10, caractérisé en ce que les moyens optoélectroniques de détection (4) comprennent un assemblage linéaire de photodiodes ( $D_1$  à  $D_n$ ) et en ce que les sorties de ces photodiodes sont reliées à des moyens de multiplexage analogique (111) recevant sur une  
25 entrée de commande de multiplexage des premiers signaux d'horloge ( $H_1$ ), de fréquence déterminée, produits par un générateur de signaux d'horloge (110) permettant l'exploration séquentielle de l'état des signaux de sortie des photodiodes ( $D_1$  à  $D_n$ ).

12. Dispositif selon la revendication 11, caractérisé en ce que le signal  
30 de sortie ( $V_{SA}$ ) des moyens de multiplexage analogique (111) est utilisé pour l'élaboration d'un signal ( $V_{S1}$ ) d'autorisation interdiction d'emmagasinage d'impulsions d'un second signal d'horloge ( $H_2$ ), de la même fréquence déterminée, dans des moyens de comptage d'impulsions (114); et en ce que le nombre des impulsions emmagasinées dans ces moyens de comptage

d'impulsions (114) est converti en un signal analogique ( $V_C$ ) à l'aide d'un convertisseur numérique-analogique (116).

5 13. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que les quatrièmes moyens sont constitués par une paire de palpeurs mécaniques ( $p_1, p_2$ ), disposés de part et d'autre du tube (1) sur un axe ( $\Delta_4$ ) passant par l'axe de symétrie ( $\Delta_x$ ) du tube (1) dont les déplacements le long de cet axe sont convertis à l'aide du transducteur en signaux analogiques ( $V_A, V_B$ ) et en ce que ces signaux sont transmis à un circuit électrique de sommation (120).

10 14. Dispositif selon les revendications 12 et 13, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens de visualisation (118) comportant des circuits de commande (117) d'une première voie ( $V_1$ ) recevant des signaux de sortie ( $V_C$ ) du convertisseur numérique-analogique (116) et des circuits de commande (120) d'une seconde voie ( $V_2$ ) recevant les signaux de sortie ( $V_A + V_B$ ) du circuit de sommation (119) de manière à visualiser simultanément les variations d'épaisseur de paroi ( $e_1$ ) et de diamètre extérieur ( $D_1$ ).

15 20 15. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que les cinquièmes moyens destinés au guidage du tube (1) comprennent deux assemblages de galets tournants situés dans deux plans parallèles et orthogonaux à l'axe de symétrie ( $\Delta_x$ ) du tube (1), chaque galet exerçant une force radiale de maintien de ce tube (1) ; l'un des trois galets de chaque assemblage étant en outre solidaire d'une table de translation de façon à le rendre mobile suivant une direction radiale ( $\Delta_1$ ).

1/8

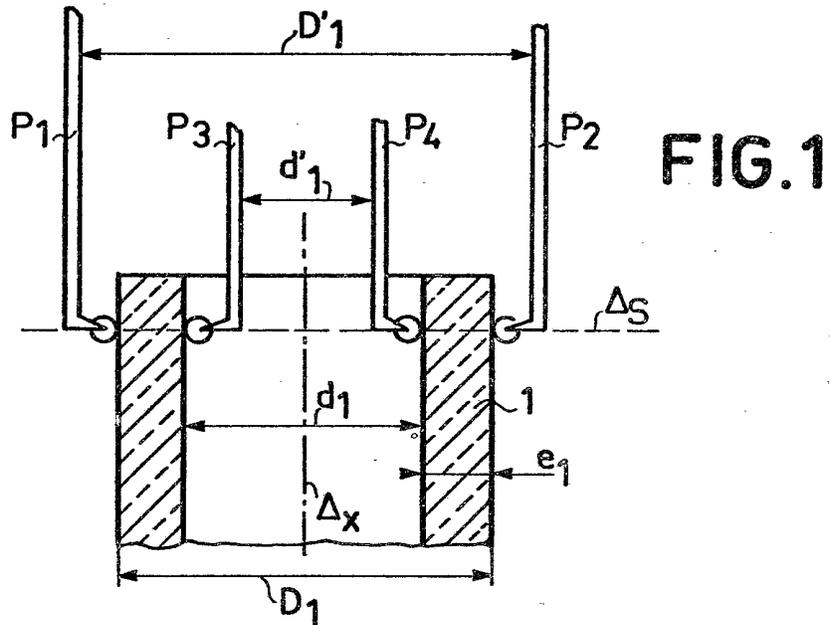


FIG. 2

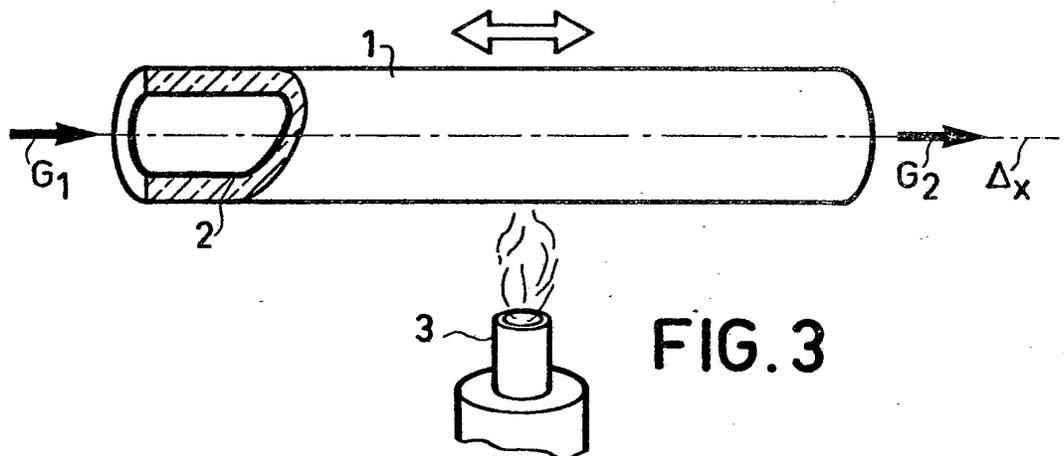
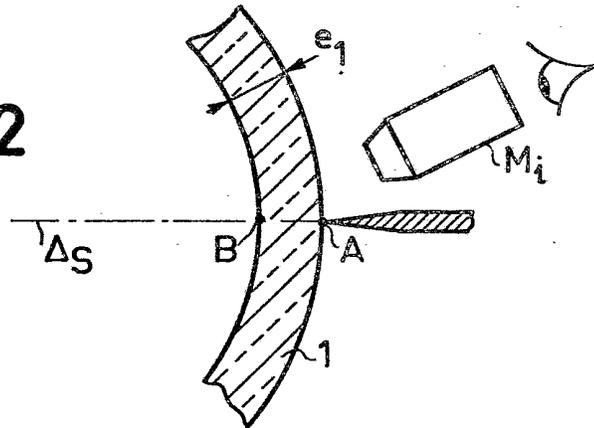


FIG. 4

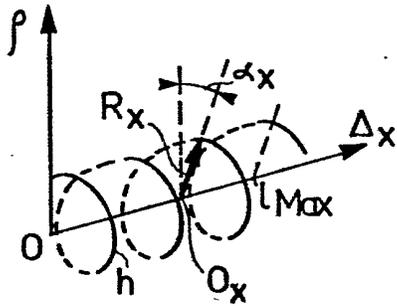


FIG. 5

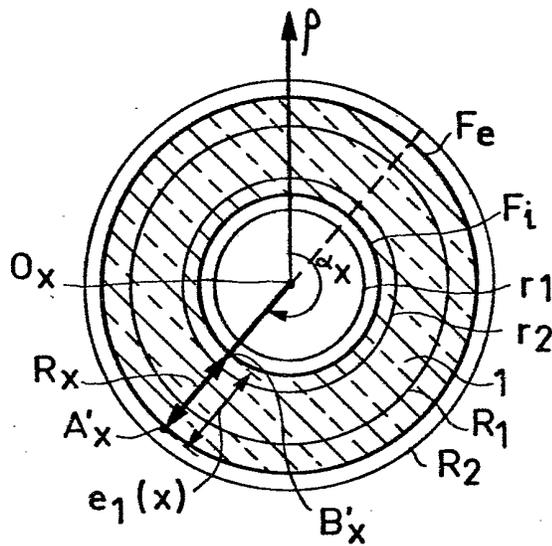
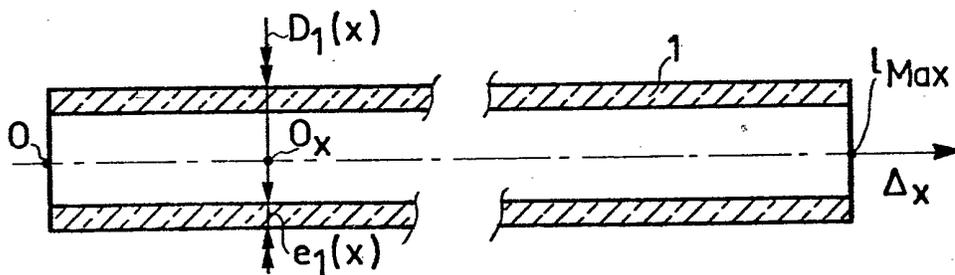


FIG. 6



3/8

FIG. 7

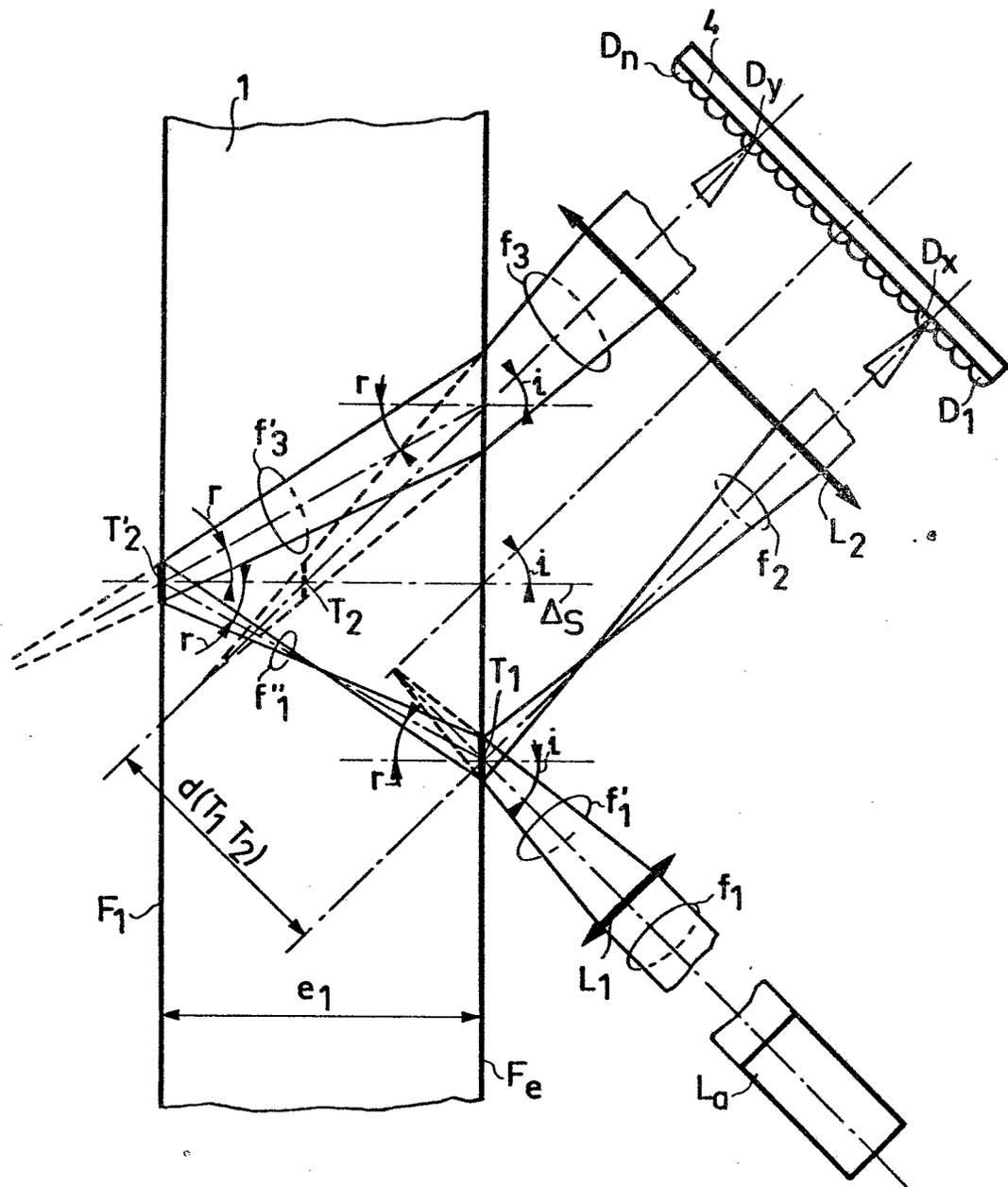


FIG. 8

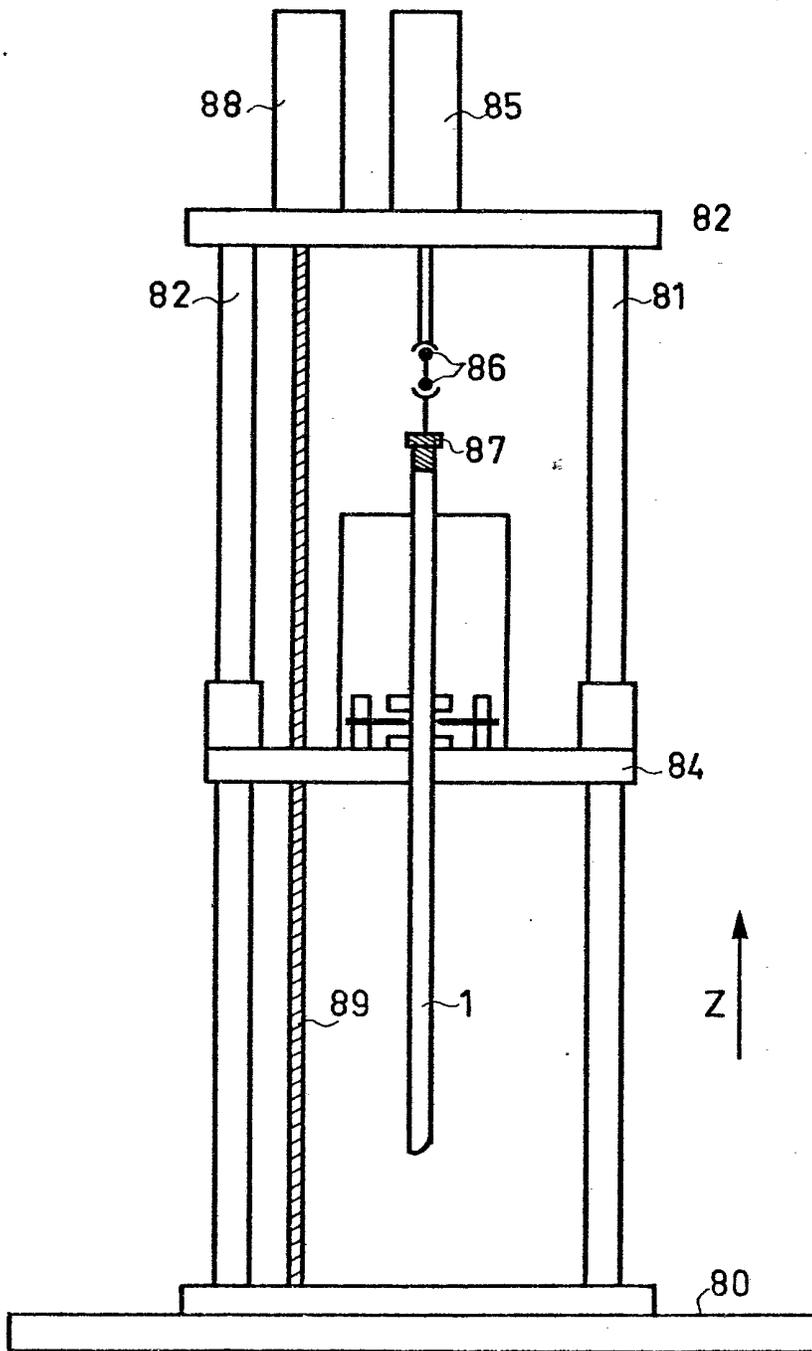
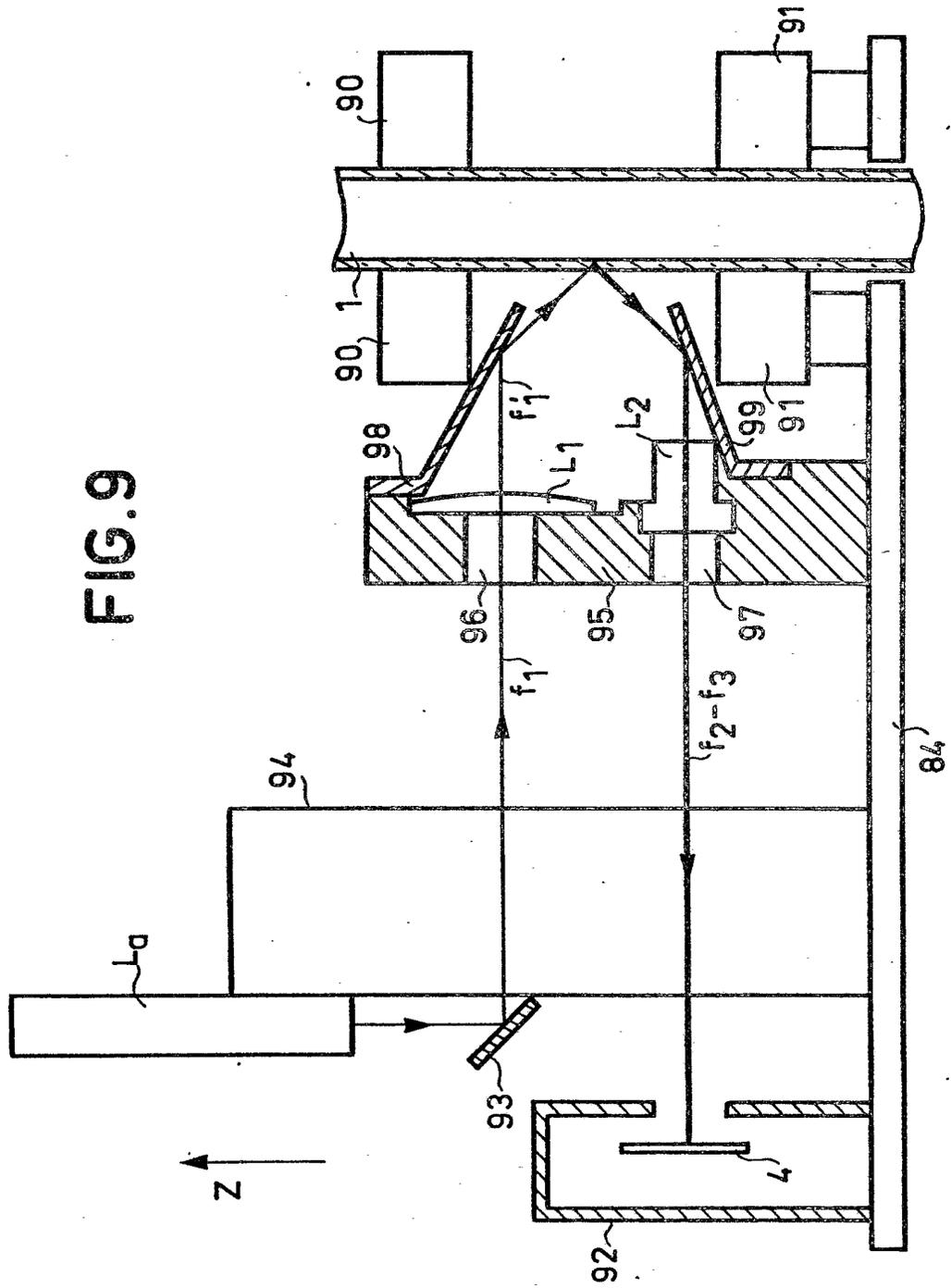
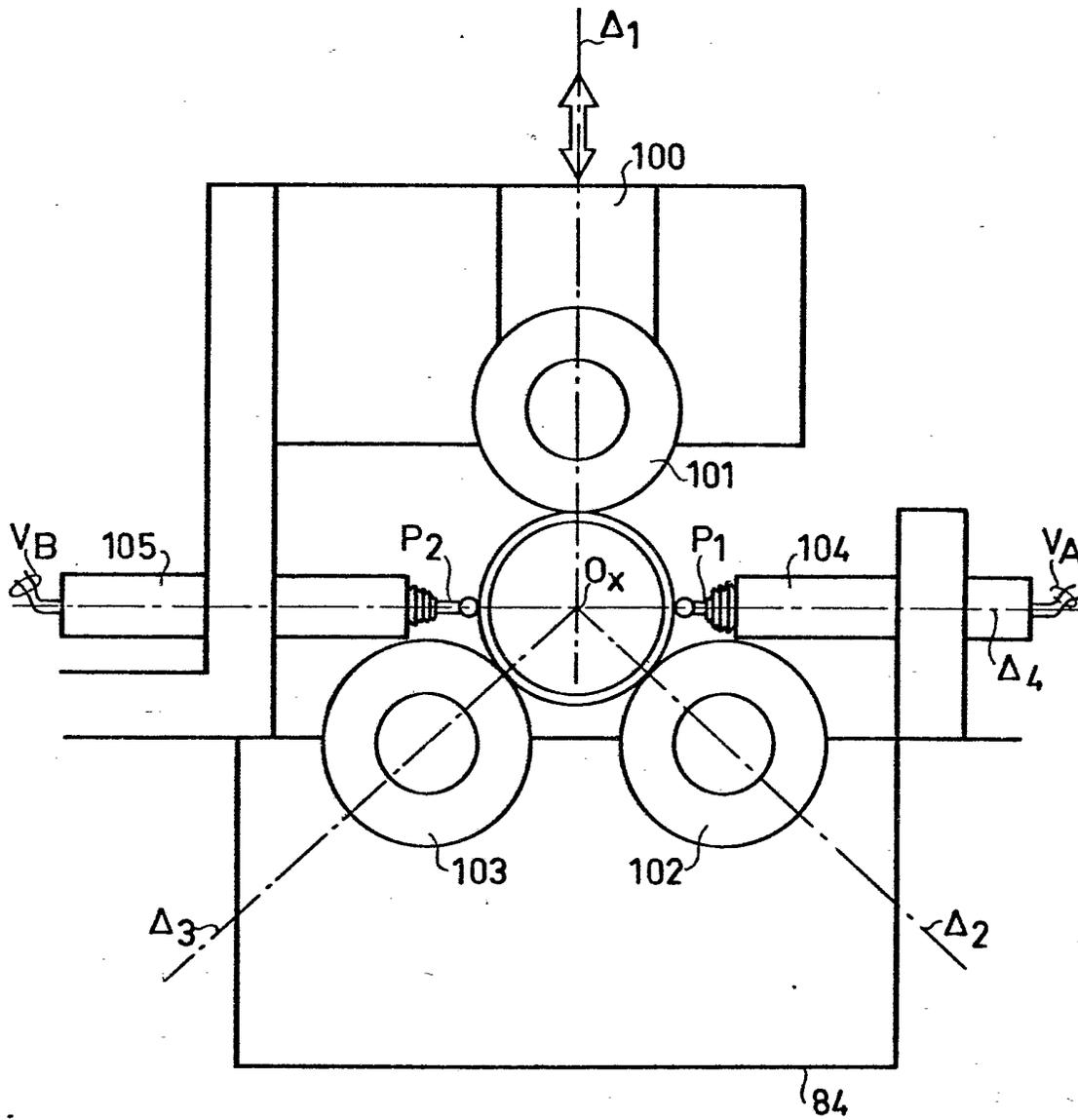


FIG. 9



6/8

FIG. 10





8/8  
**FIG. 12**

