(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 548 779**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **83 11649**

(51) Int Cl⁴ : G 01 K 11/00.

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 7 juillet 1983.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de la mise à disposition du public de la demande :** BOPI « Brevets » n° 2 du 11 janvier 1985.

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

(71) **Demandeur(s) :** *MONERIE Michel, GUILLOUX Jean-Yvon et RIVOALLAN Loïc.* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** Michel Monerie, Jean-Yvon Guilloux et Loïc Rivoallan.

(73) **Titulaire(s) :**

(74) **Mandataire(s) :** Regimbeau, Corre, Martin, Schrimpf, Warcoin et Ahner.

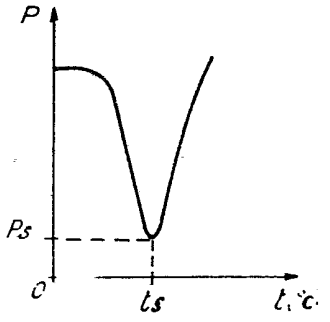
(54) Procédé de mesure de température par fibre optique, capteur et chaîne de mesure mettant en œuvre ce procédé.

(57) L'invention concerne un procédé de mesure de température par fibre optique, un capteur et une chaîne de mesure mettant en œuvre ce procédé

Le procédé selon l'invention consiste à assurer un couplage de mode entre le cœur et la gaine d'une fibre optique tel que la courbe de la puissance lumineuse transmise par cette fibre en fonction de la température P = *f(t)*, présente au moins un minimum (Ps) pour une température de seuil (ts).

Ce procédé met en œuvre une fibre présentant un profil en W, qui comporte localement une partie abrasée remplie par un matériau de couplage dont l'indice de réfraction varie plus rapidement avec la température que celui des autres constituants de la fibre.

L'invention s'applique à tous dispositifs de mesure de température, avec possibilité d'alarme, notamment là où l'accès est difficile ou dangereux.



FR 2 548 779 - A1

Vente des fascicules à l'IMPRIMERIE NATIONALE, 27, rue de la Convention — 75732 PARIS CEDEX 15

L'invention concerne un procédé de mesure de la température par fibre optique. Elle concerne également un capteur fonctionnant selon le procédé et toute chaîne de mesure mettant en oeuvre un tel capteur.

Les fibres optiques utilisées en thermométrie présentent de nombreux avantages dans un grand nombre d'applications. Parmi celles-ci, on peut citer notamment les recherches et les contrôles industriels aussi bien en chimie qu'en machine outils, en thermohydraulique, en biologie, etc...

Chaque fois que l'accès au lieu où doit s'effectuer la mesure est difficile ou dangereux, ou que l'environnement présente des risques dûs, par exemple, à la présence de champs électriques, les dimensions et les qualités diélectriques des fibres optiques les rendent alors particulièrement adaptées à ce type d'applications.

Il convient de distinguer deux catégories de dispositifs de mesure de température incorporant une fibre optique. Dans le premier cas, celle-ci n'a pour fonction que de véhiculer la lumière. Dans le second cas, en revanche, la grandeur physique mesurée (notamment la température) agit en modifiant les caractéristiques de la structure guidante que constitue la fibre optique dans laquelle la lumière se propage. Il peut s'agir notamment d'une modification de couplage des modes au sein même de la fibre. Le procédé consiste en fait à exploiter les variations de la puissance lumineuse transmise en fonction de la température, variation liée à l'évolution différente des indices de réfraction des matériaux constituant la fibre en fonction de la température.

Dans les procédés et dispositifs connus de ce type, on obtient, selon le choix de ces matériaux, soit une courbe décroissante de la puissance P transmise de P max à P = O, si l'on utilise une fibre à coeur liquide, soit une courbe

croissante de P = 0 à P max, si l'on utilise une fibre à coeur solide et gaine liquide.

De tels procédés et dispositifs ne permettent pas de s'affranchir totalement des risques d'accidents dûs à des défaillances au niveau de l'appareillage de mesure lui-même, telles, par exemple, qu'une cassure de la fibre optique dans la chaîne de mesure.

La présente invention a pour but de pallier ces inconvénients et concerne un procédé de mesure de température au moyen d'une fibre optique capable de fournir un signal de contrôle qui permet sans aucune équivoque possible de commander notamment un dispositif d'alarme.

Elle concerne plus précisément un procédé de mesure de température obtenue à partir de la variation de la puissance lumineuse transmise par une fibre optique, en fonction de la température ; caractérisé en ce qu'il consiste à réaliser au sein de la fibre un couplage du ou des modes de coeur avec le ou les modes de gaine de telle sorte que la courbe de réponse de cette puissance transmise passe par au moins un minimum (Ps) correspondant à une température de seuil (ts).

L'invention sera mieux comprise à l'aide des explications qui vont suivre et des figures jointes parmi lesquelles :

la figure 1 illustre une courbe de transmission de la puissance (P) en fonction de la température (t), obtenue au moyen du procédé conforme à l'invention ;

la figure 2 est un schéma illustrant un exemple du profil d'indice d'une fibre optique mis en oeuvre dans un procédé conforme à l'invention ;

la figure 3 est un autre exemple d'une courbe P = f(t) obtenue au moyen du procédé conforme à l'invention ;

les figures 4 et 5 représentent schématiquement deux variantes de réalisation d'un capteur de température conforme à l'invention ;

la figure 6 représente un exemple d'un réseau de courbes de transmission de la puissance en fonction de la température obtenue lorsque l'on fait varier certains paramètres ;

les figures 7 et 8 illustrent schématiquement deux exemples de réalisation d'une chaîne de mesure de température utilisant un capteur mettant en oeuvre un procédé conforme à l'invention.

Pour plus de clarté, les mêmes éléments portent les mêmes références dans toutes lesfigures.

Le procédé de couplage conforme à l'invention consiste à choisir, de manière adéquate, un profil d'indice de réfraction des éléments constituant la fibre ; à donner à celle-ci une géométrie déterminée et à faire coopérer l'ensemble avec un matériau de couplage dont l'indice de réfraction varie plus rapidement avec la température que les indices de réfraction des autres composants de la fibre.

La figure 1 illustre un exemple d'une courbe de transmission de la puissance lumineuse(P) en fonction de la température (t) obtenue au moyen du procédé conforme à l'invention. Cette courbe est d'abord décroissante, passe par un minimum(Ps) pour une température de seuil(ts) et est à nouveau croissante.

Selon une caractéristique importante de l'invention, la fibre optique utilisée est du type dit à gaine en fossé ou à profil en W, cette dernière terminologie étant adoptée dans la suite de la description.

On sait que, dans une telle fibre, le coeur d'indice n_1 est séparé de la gaine d'indice n_3 par une gaine intermédiaire d'indice n_2 qui crée une vallée entre ces deux indices n_1 et n_3. Conformément à l'invention et comme cela est illustré sur la figure 2, un matériau de couplage d'indice n_4 est prévu pour remplacer une partie de la fibre qui a subie une abrasion locale, abrasion qui rompt la symétrie de la révolution de la fibre.

Les valeurs relatives des indices sont choisies de telle sorte qu'elles répondent aux conditions suivantes : n_4 inférieur à n_2 ; n_2 inférieur à n_3 ; n_3 inférieur à n_1. Quand la température augmente, l'indice du matériau de couplage n_4 diminue rapidement, la constante de propagation βc du ou des modes de coeur (n_1) diminue donc et va pour une certaine température devenir égale à la constante de propagation βg du ou des modes de la gaine d'indice (n_3). Il y a alors couplage du mode de coeur dans le ou les modes des gaines et diminution de la lumière transmise dans le coeur d'indice (n_1). Ceci ne peut se faire que grâce à la présence de la gaine (n_2) donc grâce au profil en W de la fibre. Lorsque la température continue à augmenter, la diminution de l'indice de réfraction (n_4) du matériau de couplage entraîne encore la diminution de la constante de propagation βc du mode de coeur qui descend au dessous de la constante de propagation du mode de gaine. Le couplage s'atténue et la puissance transmise croit, après être donc passée par un minimum. Si la température augmente encore, les constantes de propagation βc et βg sont telles que la propagation de la lumière s'effectue partout, dans la gaine et dans le coeur : tout se passe comme si le coeur et la gaine étaient confondus.

La figure 3 est une courbe de la puissance transmise en fonction de la température obtenue avec une fibre en W dont la gaine d'indice (n_3) présente trois modes dont les constantes de propagation sont β_1, β_2, β_3 (figure 2).

Dans la zone Z_2, on voit nettement les paliers (a), (b), (c), (minimum) de puissance transmise, correspondant à ces trois constantes. La courbe est ensuite croissante : on note d'ailleurs la pente importante de celle-ci (qui peut être de l'ordre, par exemple, de 2 dB par degré).

La partie référencée D sur la figure 3 correspond en fait à la partie utile de la courbe qui, dans la pratique, est mise à profit pour les applications du type alarme.

Un exemple de réalisation d'un capteur de température conforme à l'invention est représenté schématiquement sur la figure 4. Un capteur 1 est constitué d'un élément sensible à la température 4, celui-ci est constitué par une fibre optique 5 qui, selon une caractéristique importante de l'invention est une fibre optique à profil en W. Il s'agit d'une fibre comportant un coeur 6, dont l'indice de réfraction est n_1, et une gaine 7 dont l'indice de réfraction est n_3, séparée du coeur 6 par une gaine en fossé 8 dont l'indice de réfraction est n_2, tel que n_2 soit inférieur à n_3, lui-même inférieur à n_1.

Selon une autre caractéristique de l'invention, l'élément sensible 4 est entouré d'un matériau de couplage 10 dont l'indice de réfraction n_4 varie plus rapidement avec la température que les indices n_1, n_2, n_3; constituant la fibre optique 5 elle-même, et comporte un moyen 11 de couplage assurant une coopération entre le matériau de couplage 10 et la fibre 5 elle-même. Il s'agit par exemple, d'une usure locale, dans une zone 11, de longueur Z_1, de telle sorte qu'à cet endroit le coeur 6 de la fibre 5 soit mis à nu, ou presque. Celui-ci peut donc être directement en contact avec le matériau de couplage 10, mais il peut aussi être seulement suffisamment proche de lui pour que les variations d'indice du matériau de couplage 10 produisent une variation de la vitesse de propagation du mode du coeur comme cela a été dit précédemment. Dans cette variante de réalisation, le matériau de couplage 10 est un matériau plastique, par exemple, du polyoxypropylène ou du polyoxyéthylène, ou tous autres matériaux dont l'indice de réfraction (n_4) est inférieur à celui de la silice. Un tel matériau est déposé sur la zone usée.

Le matériau 10 de couplage peut aussi être liquide. Un exemple de réalisation d'un capteur conforme à l'invention, de ce type, est représenté sur la figure 5. Ce capteur 1

est alors, par exemple, constitué d'une capsule 3 dans laquelle est insérée de manière étanche l'élément sensible à la température 4. Celui-ci est constitué, comme précédemment, d'une fibre optique à profil en W localement usée. Le matériau de couplage 10 est ici liquide ; il entoure l'élément sensible 4. La capsule 3 est constituée par une membrane, par exemple réalisée en résine silicone, dont la souplesse et l'élasticité permettent de réaliser l'étanchéité au niveau des passages de la fibre 5 tout en étant capable de subir les variations de volume du matériau de couplage 10.

La fibre optique utilisée 5 est donc du type dit en W, dont le coeur est, par exemple, en silice ($S_i\ O_2$) dopée à l'oxyde de germanium ($G_e\ O_2$) ou à l'oxyde de phosphore ($P_2\ O_5$). Les deux gaines 7 et 8 sont en ($S_i\ O_2$) dopées au fluorure de Silicium ($S_i\ F_4$) et au ($P_2\ O_5$) avec des taux de dopage différents déterminant les indices de réfraction n_2 et n_3. D'autres types de verres peuvent également être utilisés.

La technique mise en oeuvre pour créer le moyen de couplage 11, c'est-à-dire l'usure localisée sur un côté de la fibre 5 dans la zone Z_1, peut être du type de celui qui est décrit dans une demande de brevet français déposée par la Demanderesse sous le numéro 82 02 052, le 9 février 1982, et qui a pour titre : Procédé de polissage d'une fibre optique, application à la réalisation de dispositif de couplage optique. Il s'agit là d'un procédé qui consiste en un polissage de la fibre par abrasion dans le sens de la longueur, c'est-à-dire dans l'axe de celle-ci, ce qui évite la création dans ladite fibre de micro-défauts perpendiculaires à cet axe et empêche ainsi la fragilisation de la partie abrasée de la fibre. On peut donc amincir cette fibre jusqu'à dénuder au moins partiellement son coeur, tout en conservant à cette fibre un résistance mécanique

suffisante. L'abrasion est réalisée à l'aide de deux rouleaux munis d'abrasifs, d'une platine porte fibre, déplaçable perpendiculairement aux rouleaux.

La zone de température (ts) où se produit le couplage optique et la forme de la courbe de réponse du système peuvent être ajustées au moyen des paramètres suivants : profondeur de l'usure, longueur de la zone usée Z_1, courbure de la zone usée, structure de la fibre, longueur d'onde de la lumière utilisée, nature du liquide ou du polymère utilisé pour entourer la zone usée Z_1.

La figure 6 représente un réseau de courbes de transmission en fonction de la température (t), toute autre chose étant égale par ailleurs, pour différents types de matériaux de couplage 10. Par exemple, la courbe en traits pleins correspond à l'utilisation d'eucalyptol, la courbe en pointillés à l'utilisation du lynalol, la courbe en traits interrompus à celle de l'huile de vaseline.

Dans tous les cas, comme cela a déjà été dit précédemment, lorsque la température varie, ceci entraîne une variation des constantes de propagation du mode guidé par le coeur et des modes guidés dans le matériau d'indice (n_3). Lorsque ces constantes sont voisines, il y a couplage optique entre les deux modes. La lumière guidée par le coeur se couple dans la gaine d'indice(n_3) et y est absorbée. On observe alors une chute importante de la transmission du système. Suivant la forme de la courbe de réponse, il est possible d'obtenir différents types de fonctionnement. On peut notamment, et c'est là une des caractéristiques importantes de l'invention, faire fonctionner la sonde en alarme : une diminution très importante (-20 dB) du signal transmis peut, par exemple, être obtenu pour une augmentation ou une diminution de la température de l'ordre de 10°C. Il peut donc y avoir création d'une alarme par coupure d'un signal normalement transmis.

La figure 7 est une illustration schématique d'un dispositif mettant en oeuvre un capteur 1 selon l'invention. Il permet de mesurer la réponse du capteur en fonction d'une variation de température déterminée, c'est la phase d'étalonnage. Ensuite, le capteur étant placée en position réelle de mesure, celle-ci peut être réalisée très facilement. Pour cela, on utilise une chaîne de mesure décrite ci-dessous, et illustréeau moyen de la figure 7. Une source de lumière cohérente 50, par exemple, injecte la lumière à une extrémité d ' une fibre optique de transport 55. Elle traverse le capteur 1, placée soit dans une étuve en position d'étalonnage, soit dans l'endroit dont la température est à déterminer, c'est-à-dire au point de mesure 30, et est reçue, via une fibre de transport 55, par un détecteur de lumière 52.

L'information fournie par ce détecteur peut être transcrite en donnée réelle dans un convertisseur 56 et/ou traitée pour fournir un signal S de commande par exemple relié à un système d'alarme fonctionnant lorsque la température atteint un seuil déterminé.

Au lieu de fonctionner en transmission, comme dans le cas de la figure 7, ce montage peut également fonctionner en réflexion, comme cela est illustré au moyen de la figure 8.

Dans ce cas, le capteur 1 est munie à son extrêmité d'un miroir réfléchissant 60. La source lumineuse 50 injecte la lumière dans la fibre 55 ; elle traverse un coupleur 57, de caractéristique déterminée, puis le capteur 1 ; elle est alors réfléchie en bout de ce capteur 1 au niveau d'un miroir 60 et revient vers le détecteur de lumière 52 en retraversant le coupleur 57. Comme précédemment, l'information peut donner lieu à l'émission d'un signal (S) de commande d'un système d'alarme.

On obtient ainsi les courbes de réponse comme cela a déjà été expliqué précédemment et illustré au moyen des figures 1, 3 et 6 et il peut y avoir création d'une alarme par coupure d'un signal normalement transmis.

Cette variation rapide du signal transmis permet aussi de réaliser des dispositifs thermométriques à échelle très dilatée (de l'ordre de 2 dB par degré centigrades) autorisant des mesures précices de température.

Il est également possible d'obtenir des courbes de réponse à variation plus lente permettant de réaliser des capteurs de température fonctionnant sur une bande plus large.

Les applications de ce procédé et ces capteurs sont nombreuses ; elles sont particulièrement adaptées aux installations d'alarme dans des endroits inaccessibles ou dangereux, par exemple les transformateurs du réseau de distribution d'énergie électrique, les centrales nucléaires, les moteurs, etc... Son faible encombrement convient parfaitement aussi aux applications médicales.

REVENDICATIONS

1. Procédé de mesure de température obtenue à partir de la mesure des variations de la puissance lumineuse transmise (P) par une fibre optique en fonction de la température (t) ; caractérisé en ce qu'il consiste à réaliser, au sein de la fibre, un couplage de ou des modes de coeur avec le ou les modes de gaine, de telle sorte que la courbe de réponse de cette puissance transmise (P) passe par au moins un minimum (Ps) correspondant à une température de seuil (ts).

2. Procédé de mesure selon la revendication 1 ; caractérisé en ce que la fibre optique utilisée, est une fibre présentant un profil d'indice de réfraction dit en W dans laquelle une gaine intermédiaire d'indice de réfraction (n_2) crée une vallée entre le coeur d'indice de réfraction (n_1) et la gaine d'indice de réfraction (n_3); cette fibre étant localement abrasée et recouverte à ce niveau d'un matériau de couplage présentant un indice de réfraction (n_4) variant beaucoup plus rapidement avec la température que les indices (n_1), (n_2), (n_3), de telle sorte que la constante de propagation (β_c) du coeur diminue rapidement lorsque la température croit, jusqu'à atteindre, à la température (ts) la constante de propagation (β_g) de la gaine puis à descendre en dessous de cette constante de propagation (β_g), ce qui a pour effet de faire croître la puissance transmise.

3. Procédé de mesure selon la revendication 2 ; caractérisé en ce que la propagation dans la gaine d'indice (n_3) se fait selon trois modes dont les constantes de propagation sont respectivement (β_1), (β_2), (β_3) conduisant à l'obtention de trois minimum (a), (b), (c) compris dans une zone de température (z_2).

4. Procédé selon l'une des revendications précédentes; caractérisé en ce qu'il consiste à exploiter la partie décroissante et le minimum de la courbe de la puissance transmise, en fonction de la température, pour déclencher un signal de commande.

5. Capteur (1) de mesure de température mettant en oeuvre un procédé selon l'une des revendications précédentes; caractérisé en ce qu'il comporte un élément sensible (4) constitué par une fibre optique (5) à profil en W ayant subie une abrasion (11) ; la zone abrasée étant recouverte par un matériau de couplage (10) dont l'indice de réfraction (n_4) est inférieur à l'indice de réfraction (n_2) de la gaine intermédiaire (8), lequel est inférieur à l'indice de réfraction (n_3) de la gaine (7) lui-même inférieur à l'indice de réfraction (n_1) du coeur ; cet indice (n_4) variant en fonction de la température plus rapidement que les indices (n_1), (n_2), (n_3) de la fibre (5).

6. Capteur (1) selon la revendication 5 ; caractérisé en ce que cette abrasion (11) rompt la symétrie de révolution de la fibre (5).

7. Capteur (1) selon l'une des revendications 5 et 6 ; caractérisé en ce que les paramètres physiques et géométriques de l'élément sensible (4) sont réglés de telle sorte que la courbe de réponse de la puissance transmise par le capteur (1) en fonction de la température, présente au moins un minimum (Ps) à une température de seuil (ts).

8. Capteur selon l'une des revendications 5 à 7 ; caractérisé en ce que ce matériau (10) est un polymère plastique.

9. Capteur selon l'une des revendications 5 à 7 ; caractérisé en ce que ce matériau (10) est un liquide enfermé dans une capsule (3) constituée par une membrane élastique assurant l'étanchéïté au deux extrémités de l'élément sensible (4).

10. Capteur selon la revendication 9 ; caractérisé en ce que ce matériau de couplage (10) est de l'eucalyptol.

11. Capteur selon la revendication 10 ; caractérisé en ce que ce matériau de couplage (10) est du lynalol.

12. Capteur selon la revendication 10 ; caractérisé en ce que ce matériau de couplage (10) est de l'huile de vaseline.

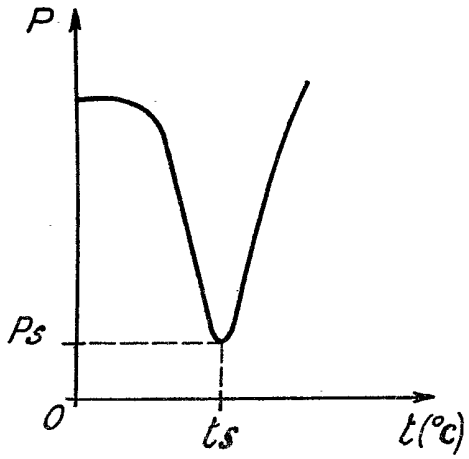
13. Chaîne de mesure d'une température ; caractérisée en ce qu'elle met en oeuvre un procédé selon l'une des revendications 1 à 4.

14. Chaîne de mesure d'une température ; caractérisée en ce qu'elle met en oeuvre un capteur (1) selon l'une des revendications 5 à 12.

15. Chaîne de mesure selon l'une des revendications 13 à 14 ; caractérisée en ce qu'elle fonctionne par transmission : une source (50) de lumière cohérente injecte cette lumière à l'entrée d'une fibre optique (55) de transport, jusqu'à un capteur (1) placé au point de mesure (30), qu'elle traverse avant d'être à nouveau guidée par une fibre optique (55) de transport jusqu'à un détecteur (52) et un convertisseur (56) capable de délivrer un signal (S) de commande.

16. Chaîne de mesure selon l'une des revendications 13 et 14 ; caractérisée en ce qu'elle fonctionne par réflexion : une source (50) de lumière cohérente, injecte cette lumière à l'entrée d'une fibre optique de transport (55), de telle sorte qu'elle atteigne le capteur (1), avant d'être réfléchie sur un miroir (60) en direction d'un coupleur (57) interposé sur le trajet lumineux d'entrée, puis vers un détecteur (52) et un convertisseur (56) capable de délivrer un signal (S) de commande.

FIG.1



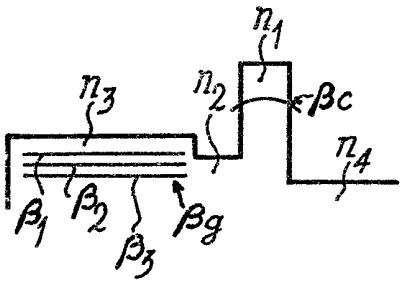


FIG.2

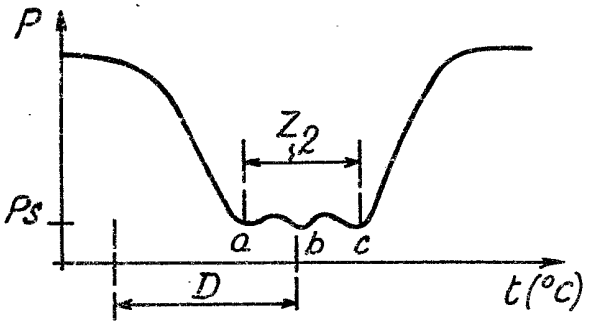


FIG.3

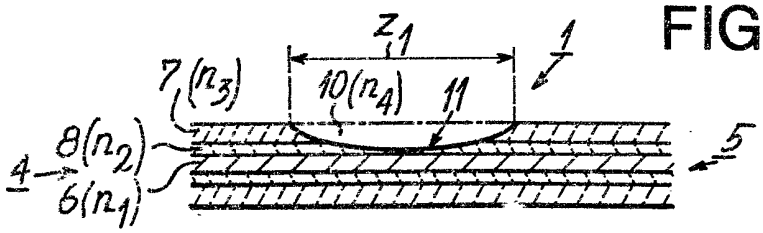
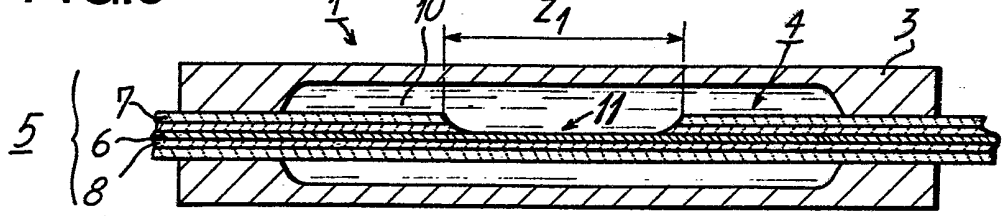


FIG.4

FIG.5



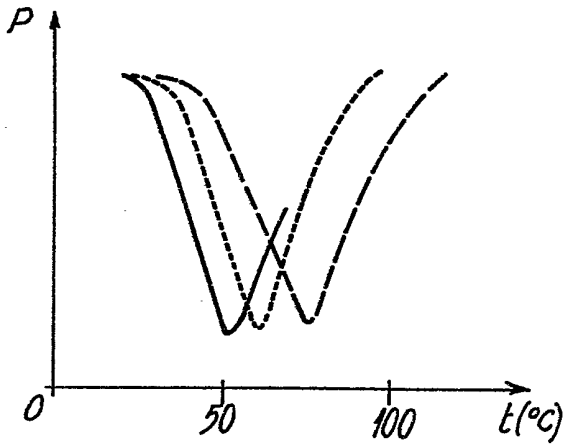


FIG.6

FIG.7

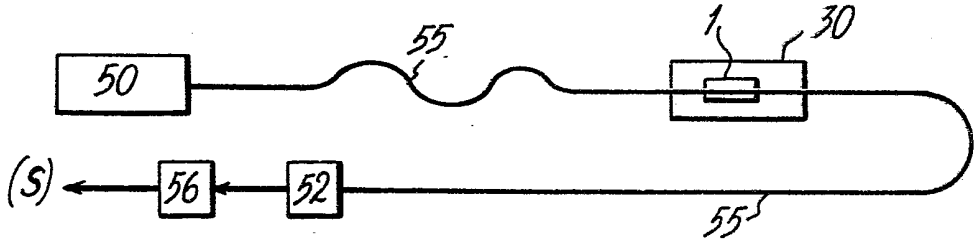


FIG.8

