



CH 684612 A5



CONFÉDÉRATION SUISSE

OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

⑪ CH 684612 A5

⑤① Int. Cl.⁵: G 01 R 15/07

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

⑫ FASCICULE DU BREVET A5

⑫① Numéro de la demande: 999/91

⑫② Date de dépôt: 04.04.1991

⑫④ Brevet délivré le: 31.10.1994

⑫⑤ Fascicule du brevet
publié le: 31.10.1994

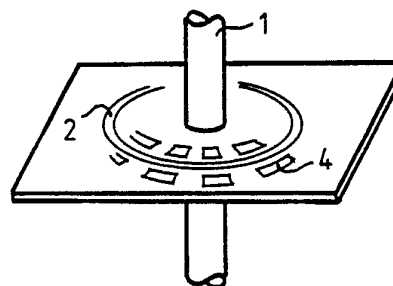
⑦③ Titulaire(s):
Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique
S.A., Neuchâtel 7

⑦② Inventeur(s):
Parriaux, Olivier, Lausanne
Denervaud, Pierre, La Chaux-de-Fonds
Chavanne, Jean-Pascal, Biel/Bienne

⑤④ Capteur optique de courant électrique.

⑤⑦ L'invention concerne un capteur optique de courant électrique à couplage entre modes de polarisation.

Le capteur optique de courant électrique se compose d'un guide de lumière biréfringent (2) bobiné autour d'un conducteur de courant électrique (1) et est caractérisé par une modulation spatiale du champ magnétique ou de la biréfringence du guide de lumière, le long du guide de lumière, à une période spatiale égale à un nombre entier de fois la longueur de battement dudit guide.



CH 684612 A5

Description

La présente invention concerne, de manière générale, les capteurs à guide de lumière et, plus particulièrement, un capteur optique de courant électrique.

Les capteurs de courant électrique à effet Faraday de l'art antérieur utilisent une fibre monomode. Ladite fibre doit maintenir le caractère linéaire de la polarisation de l'onde, d'où l'utilisation d'une fibre optique non biréfringente ou très faiblement biréfringente.

Le fait que le cœur de la fibre ne soit pas parfaitement circulaire et que les contraintes accumulées lors du refroidissement à l'étrépage de ladite fibre n'aient pas une symétrie rigoureusement circulaire, se caractérise par l'introduction d'une biréfringence intrinsèque dans ladite fibre optique.

De plus la fibre, étant enroulée autour du conducteur de courant électrique, possède une biréfringence supplémentaire appelée biréfringence de courbure.

Ces deux biréfringences linéaires ont l'inconvénient majeur de masquer et de brouiller l'effet Faraday recherché. Cet effet se manifeste dans un milieu non-biréfringent et sous l'action d'une ligne de champ magnétique colinéaire à la direction de propagation de l'onde lumineuse, par la rotation du vecteur de polarisation. Ladite ligne de champ magnétique peut être issue du champ magnétique circulaire produit par le courant électrique dans le conducteur.

Une solution proposée par S. C. Rashleigh et R. Ulrich dans l'article «MAGNETO-OPTIC CURRENT SENSING WITH BIREFRINGENT FIBERS», publié dans Applied Physic Letters, Vol. 34, No. 11, pp. 768 à 770 (1979), est la suppression des perturbations dues aux biréfringences linéaires. En d'autres termes, il s'agit de supprimer le caractère linéairement biréfringent du guide d'onde optique, ou de le dominer par une forte biréfringence circulaire. L'article montre l'utilisation d'une fibre torsadée. Dans une telle fibre, la biréfringence circulaire introduite permet de diminuer l'influence de la biréfringence linéaire de courbure et d'utiliser une fibre de longueur importante.

Une deuxième solution est proposée par L. Li et al dans l'article «CURRENT SENSORS USING HIGHLY BIREFRINGENT BOW-TIE FIBRES», publié dans Electronics Letters (1986), Vol. 22, No 21, pp. 1142-1144. L. Li et al montrent que l'on peut maîtriser les effets de la présence de la biréfringence linéaire interne et externe en utilisant une fibre optique dont la biréfringence elliptique est importante. Un tel guide de lumière est obtenu en torsadant, lors de son étrépage, une fibre à haute biréfringence linéaire.

Dans de tels systèmes, la valeur du courant électrique se déduit de la mesure de la rotation du plan de polarisation.

D'autres solutions basées sur le même principe sont décrites, par exemple, dans les publications de

— M. Kuribara et al «CHARACTERISTICS OF TWISTED SINGLE-MODE OPTICAL FIBER FOR CURRENT SENSOR», Trans. Inst. Electron. and

Commun. Eng. Jpn. Part C (Japan), Vol. J66C, No 2, Février 1973;

— A. M. Smith «POLARIZATION AND MAGNETOOPTIC PROPERTIES OF SINGLE-MODE OPTICAL FIBER», Applied Optics, Vol. 17, No 1, Janvier 1978 ou encore

— «OPTICAL FIBRES FOR CURRENT MEASUREMENT APPLICATIONS», Optics and Laser Technology, Février 1980, du même auteur.

Bien que la théorie des modes couplés soit connue et exposée dès 1973 par A. Yariv dans IEEE Journal of Quantum Electronics (Septembre 1973, pp. 919-933), ou plus récemment par Scott C. Rashleigh dans Journal of Lightwave Technology (Vol. LT-1, No 2, Juin 1983, pp. 312-331) et bien que des structures à couplage de modes, et leurs caractéristiques, soient connues et utilisées de longue date dans différents domaines (brevet US 3 891 302 délivré en juin 1975 et demande de brevet GB 2 125 572A déposée en août 1982), l'état de la technique montre que les capteurs de courant électrique à effet Faraday de l'art antérieur utilisent une fibre optique monomode et sont basés sur la suppression ou la domination des biréfringences linéaires intrinsèque et de courbure de ladite fibre optique.

Aussi un objet de l'invention est-il un capteur optique de courant électrique basé sur un principe ne cherchant pas à supprimer le caractère linéairement biréfringent du guide d'onde optique, ni à le dominer par une forte biréfringence circulaire ou elliptique.

Un autre objet de l'invention est un capteur optique de courant électrique s'affranchissant de la biréfringence linéaire intrinsèque et de la biréfringence linéaire de courbure ainsi que de leur fluctuation.

Le capteur optique de courant électrique de l'invention se compose de moyens émetteurs, de moyens transmetteurs disposés autour d'un conducteur de courant électrique (1) et de moyens récepteurs et est caractérisé par des moyens transducteurs engendrant une modulation spatiale, le long desdits moyens transmetteurs, du champ magnétique ou de la biréfringence des moyens transmetteurs, à une période spatiale égale à un nombre entier de fois la longueur de battement L_B des moyens transmetteurs sous contrainte.

Un avantage de l'invention réside dans l'utilisation de la courbure même du guide de lumière autour du conducteur de courant électrique, pour engendrer la périodicité du couplage. La biréfringence linéaire de courbure issue de ladite courbure du guide n'est donc plus à supprimer ni à dominer.

Un avantage de la configuration en double boucle du capteur est sa grande sensibilité permettant la détection de courants électriques faibles.

Un autre avantage d'une telle configuration du capteur est sa faible sensibilité aux vibrations.

Un autre avantage d'une telle configuration est la possibilité de détecter des courants électriques faibles.

Un avantage de la modulation de la biréfringence du guide de lumière conformément à l'invention, est l'utilisation possible d'une technologie d'intégration

sur substrat plan par transfert photolithographique de masques.

D'autres objets, caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante, faite en relation avec les dessins joints. Ceux-ci montrent un capteur de courant électrique, à guide de lumière, pour lequel:

Fig. 1 le champ magnétique est modulé spatialement par la présence de zones magnétiques;

Fig. 2 le champ magnétique est modulé spatialement du fait que l'axe du conducteur de courant électrique et l'axe de la bobine optique sont décentrés;

Fig. 3 ledit capteur utilise une fibre optique à basse biréfringence selon une configuration en double boucle et

Fig. 4 la biréfringence du guide de lumière est modulée spatialement en appliquant

- une force externe périodique normale à la surface du guide (fig. 4.a) ou
- une contrainte interne périodique le long du guide (fig. 4.b) ou encore
- une contrainte externe périodique le long du guide (fig. 4.c).

De manière générale, le capteur optique de courant électrique de l'invention se compose de moyens émetteurs, de moyens transmetteurs, de moyens transducteurs et de moyens récepteurs.

Les moyens transducteurs font plus particulièrement l'objet de la présente description, description dans laquelle les éléments analogues portent les mêmes références. Pour toutes réalisations entrant dans le cadre de la présente invention, la période spatiale dont il est fait mention tout au long de la description est égale à un nombre entier de fois la longueur de battement du guide de lumière.

La fig. 1 montre un capteur de courant électrique comportant un guide de lumière biréfringent 2 bobiné autour d'un conducteur de courant électrique 1. La structure optique ainsi réalisée est constituée d'une ou de plusieurs spires. Un matériau magnétique, créant des zones de concentration 4 du champ magnétique, est réparti périodiquement le long du cœur dudit guide, à une période spatiale égale à un nombre entier de fois la longueur de battement L_B du guide de lumière.

La fig. 2 montre un capteur de courant électrique comportant la structure optique décrite précédemment. Le conducteur de courant électrique et l'axe de ladite structure optique sont décentrés. De plus, le périmètre de chaque spire du guide de lumière 2 est égal à un nombre entier de fois la longueur de battement L_B dudit guide.

La fig. 3 montre un capteur de courant électrique utilisant une fibre optique 3 selon une configuration en double boucle 5, 6. La fibre optique est enroulée autour d'un conducteur de courant électrique 1, pour former un ou plusieurs huit superposés, seule une des boucles 6 de chaque huit étant traversée par ledit conducteur. Le guide d'onde optique est, avantageusement, une fibre optique possédant une très basse biréfringence intrinsèque et ne com-

portant plus qu'une biréfringence linéaire de courbure. Ici, le périmètre de chaque boucle est égal à la demi-longueur de battement de la fibre optique enroulée.

La fig. 4 montre un capteur de courant électrique comportant la structure optique précédente. La modulation spatiale du coefficient de couplage K le long du guide de lumière est obtenue selon plusieurs réalisations possibles.

Une première réalisation est représentée fig. 4.a, dans laquelle une force externe distribuée périodiquement est appliquée au guide de lumière 2. Ladite force externe est appliquée par l'intermédiaire de tous dispositifs 7 susceptibles d'induire des micro-courbures audit guide de lumière, en vue d'obtenir une variation de la biréfringence du guide par effet photoélastique. Les micro-courbures ont une période spatiale égale à un nombre entier de fois la longueur de battement L_B dudit guide sous contrainte.

Une deuxième réalisation est représentée fig. 4.b, dans laquelle des zones de contrainte intérieures au guide de lumière 2 sont réalisées périodiquement le long de celui-ci. Ces contraintes internes 8 périodiques ont une période spatiale égale à la longueur de battement L_B dudit guide sous contrainte.

Une troisième réalisation est représentée fig. 4.c, dans laquelle des zones de contrainte extérieures au guide de lumière 2 sont réalisées périodiquement le long de celui-ci. Ces contraintes externes 9 périodiques ont une période spatiale égale à la longueur de battement L_B dudit guide sous contrainte.

Une autre réalisation permettant de moduler la biréfringence du guide de lumière peut encore être citée et consiste en une modulation spatiale, de période égale à la longueur de battement du guide sous contrainte, de la section transversale dudit guide.

Le capteur de courant électrique de l'invention est représenté aux fig. 1 à 4, lesquelles illustrent deux principes de fonctionnement. Le premier principe de fonctionnement est basé sur l'obtention d'un couplage entre modes de polarisation, grâce à une modulation spatiale périodique du champ magnétique le long du guide de lumière, de période égale à la longueur de battement L_B dudit guide (fig. 1 à 3).

Le second principe de fonctionnement est basé sur l'obtention d'un couplage entre modes de polarisation, grâce à une modulation spatiale périodique de la biréfringence du guide de lumière, de période égale à la longueur de battement L_B dudit guide (fig. 4) sous contrainte.

Le formalisme associé à la théorie des modes couplés est exprimé par A. Yariv et S. C. Rashleigh dans les articles cités précédemment. Ce formalisme s'applique aux phénomènes de propagation et d'interaction des ondes optiques dans un guide d'onde diélectrique. Les auteurs expliquent qu'en présence de perturbations, la puissance lumineuse se propageant dans un guide de lumière est transmise d'un mode à un autre. Les perturbations sont, par exemple, un champ électrique périodique, une onde acoustique, ou encore une ondulation de surface.

Pour le capteur de courant électrique selon l'invention, le couplage entre les deux modes de polarisation orthogonale est tributaire:

- d'une part du coefficient de couplage K entre lesdits modes, lequel est non nul dans le cas où un effet physique de couplage existe et
- d'autre part, dans le cas d'un guide d'onde biréfringent, d'un synchronisme entre les deux ondes se traduisant par l'égalité entre les vitesses de phase de chaque onde.

Le coefficient de couplage K est donné par l'expression $K = 2VH$ dans laquelle V est la constante de Verdet du matériau où se propage la lumière et H est le champ magnétique engendré par le courant I à mesurer.

L'effet physique de couplage pour lequel le coefficient de couplage est non nul, est ici procuré par l'effet Faraday. La restauration du synchronisme entre les deux ondes est provoquée par l'introduction d'une perturbation spatiale périodique le long du guide biréfringent - à savoir une modulation du champ magnétique B ou de la biréfringence Δ dudit guide - à une période égale à la longueur de battement L_B du guide.

La modulation dudit champ magnétique ou de ladite biréfringence correspond en fait à une modulation du coefficient de couplage K entre les modes de polarisation. L'effet d'une modulation du coefficient de couplage K le long dudit guide, à une période spatiale égale à la longueur de battement L_B , se caractérise par une accumulation et non une compensation des contributions élémentaires de chaque période au couplage global recherché. En effet, à chaque alternance positive correspond un couplage de modes, appelé couplage aller, et à chaque alternance négative correspond un couplage de modes inverse, appelé couplage retour. Du fait de la modulation du coefficient de couplage, le couplage retour lors de chaque demi-période est donc soit nul, soit faible, d'où un effet global de couplage non nul sur chaque période.

Dans un mode de réalisation préféré du capteur de courant électrique, les moyens émetteurs sont, par exemple, une diode laser associée à un polariseur linéaire. Les moyens transmetteurs sont, par exemple, un guide de lumière monomode biréfringent dans lequel est injecté un mode de polarisation préalablement sélectionné. Les moyens récepteurs sont, par exemple, un élément séparateur de polarisation associé à deux détecteurs optiques. Les deux modes de polarisation orthogonale se présentant en sortie du guide de lumière, sont séparés puis détectés par les deux détecteurs optiques. La mesure des intensités lumineuses de chaque mode de polarisation renseigne sur le couplage entre modes et donc sur la valeur du courant électrique ayant induit ce couplage par effet Faraday.

Un mode de réalisation préféré des moyens transducteurs tels que montrés à la fig. 1 peut utiliser un guide optique intégré sur un substrat passif, par exemple sur une plaquette de silicium. La technologie des échanges ioniques dans les verres, décrite par J.-E. Gortych et al, «FABRICATION OF PLANAR OPTICAL WAVEGUIDES BY K^+ ION EXCHANGE IN BK7 GLASS», Optics Letters, Vol. 11,

No 2, Février 1986, pp. 100-102, peut être utilisée. De plus, une couche de matériau magnétique est déposée, par exemple sur ledit guide optique intégré. Une technologie possible est le dépôt d'un matériau tel qu'une ferrite ou du mu-métal par photolithographie. Ladite couche de matériau magnétique peut également, et de manière préférentielle, être déposée de part et d'autre dudit guide optique intégré, par exemple dans des cavités aménagées dans le substrat. Lesdites cavités ont des formes diverses, par exemple rectangulaire, de manière à ce que le champ magnétique se concentre dans ces cavités.

Un mode de réalisation préféré des moyens transducteurs tels que montrés à la fig. 2 utilise, par exemple, un guide optique intégré tel que cité précédemment. Les spires dudit guide optique intégré ne sont pas forcément circulaires. Le conducteur de courant électrique et l'axe de la structure optique sont décentrés, par exemple de 90% du rayon d'une spire.

Un mode de réalisation préféré des moyens transducteurs tels que montrés à la fig. 3 utilise une fibre optique à basse biréfringence formant un ou plusieurs huit superposés. Une solution préférentielle est l'utilisation d'une fibre optique monomode à la préforme jaquetée de 250 μ m de diamètre extérieur, laquelle autorise un diamètre d'enroulement de 40 mm. La période de modulation du champ magnétique est alors précisément égale à la longueur de battement.

Un mode de réalisation préféré des moyens transducteurs tels que montrés aux fig. 4.a à 4.c utilise, par exemple, un guide optique intégré tel que cité précédemment.

H. J. Shaw et al décrivent dans leur demande de brevet EP 0 143 583 un dispositif engendrant des micro-courbures le long d'une fibre optique. Un tel dispositif peut être facilement transposé au capteur de courant électrique de l'invention selon la première réalisation (fig. 4.a).

Un guide de lumière présentant des contraintes internes périodiques conformément à la deuxième réalisation (fig 4.b) du capteur de courant, est obtenu par diffusion de deux espèces ioniques.

Les zones de contraintes extérieures au guide de lumière décrites dans la troisième réalisation (fig. 4.c) sont obtenues, par exemple, après diffusion ionique.

Conformément à la théorie des modes couplés, le guide de lumière pouvant être utilisé dans le capteur de courant électrique de l'invention peut être indifféremment un guide d'onde optique intégré ou une fibre optique à revêtement. Ces guides de lumière propagent deux modes de polarisation orthogonale.

Revendications

1. Capteur optique de courant électrique composé de moyens émetteurs de lumière, de moyens transmetteurs de lumière (2, 3) disposés autour d'un conducteur de courant électrique (1) produisant un champ magnétique circulaire dont les lignes de champ sont colinéaires à la direction de

propagation de la lumière, de moyens transducteurs et de moyens récepteurs de lumière, caractérisé en ce que:

- les moyens émetteurs de lumière émettent une onde lumineuse comportant un mode de polarisation,
- les moyens transmetteurs de lumière propagent ladite onde lumineuse,
- les moyens transducteurs (4; 5; 6; 7; 8; 9) engendrent une modulation spatiale, le long desdits moyens transmetteurs, du champ magnétique ou de la biréfringence des moyens transmetteurs, à une période spatiale égale à un nombre entier de fois la longueur de battement L_B des moyens transmetteurs sous contrainte ladite modulation créant un couplage entre les modes de polarisation et en ce que
- les moyens récepteurs de lumière détectent l'intensité desdits modes de polarisation.

2. Capteur optique selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens transducteurs sont un matériau magnétique, disposé périodiquement le long desdits moyens transmetteurs à une période égale à un nombre entier de fois la longueur de battement, créant des zones de concentration (4) du champ magnétique et permettant une modulation spatiale du coefficient de couplage intermodal à une période spatiale égale audit nombre entier de fois la longueur de battement.

3. Capteur optique selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens transducteurs sont un décentrement du conducteur de courant électrique et des moyens transmetteurs et en ce que la longueur de chaque spire des moyens transmetteurs est égale à un nombre entier de fois la longueur de battement, permettant une modulation du coefficient de couplage intermodal à une période spatiale égale audit nombre entier de fois la longueur de battement.

4. Capteur optique selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens transducteurs sont une ou plusieurs doubles boucles (5, 6) superposées des moyens transmetteurs, en ce que la longueur de chaque boucle est égale à la demi-longueur de battement et en ce que ledit conducteur de courant électrique (1) traverse l'une des boucles de chaque double boucle superposée, permettant une modulation du coefficient de couplage intermodal à une période spatiale égale audit nombre entier de fois la longueur de battement.

5. Capteur optique selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens transducteurs (7, 8, 9) sont une perturbation spatiale des moyens transmetteurs de période égale à un nombre entier de fois la longueur de battement des moyens transmetteurs sous contrainte, permettant une modulation du coefficient de couplage intermodal le long des moyens transmetteurs à une période spatiale égale audit nombre entier de fois la longueur de battement.

6. Capteur optique selon la revendication 5, caractérisé en ce que les moyens transducteurs sont une modulation spatiale de la section transverse des moyens transmetteurs.

7. Capteur optique selon la revendication 5, ca-

ractérisé en ce que les moyens transducteurs sont une force distribuée périodiquement le long des moyens transmetteurs.

8. Capteur optique selon la revendication 5, caractérisé en ce que les moyens transducteurs sont des zones de contrainte internes (8) distribuée périodiquement le long des moyens transmetteurs.

9. Capteur optique selon la revendication 5, caractérisé en ce que les moyens transducteurs sont des zones de contrainte externes (9) distribuée périodiquement le long des moyens transmetteurs.

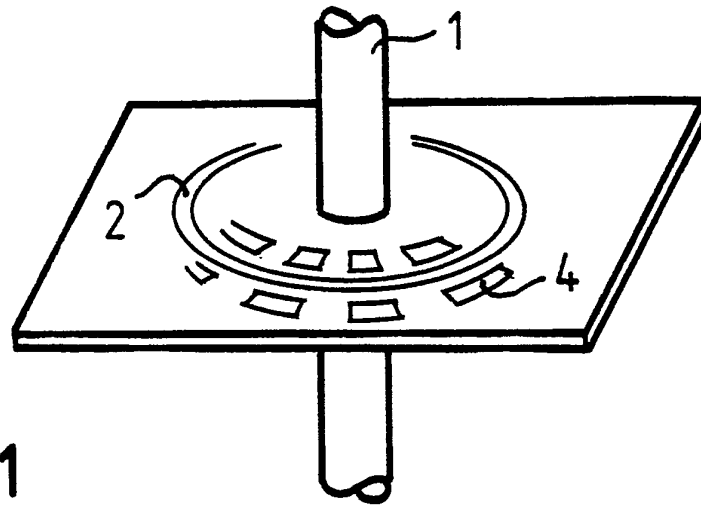


FIG. 1

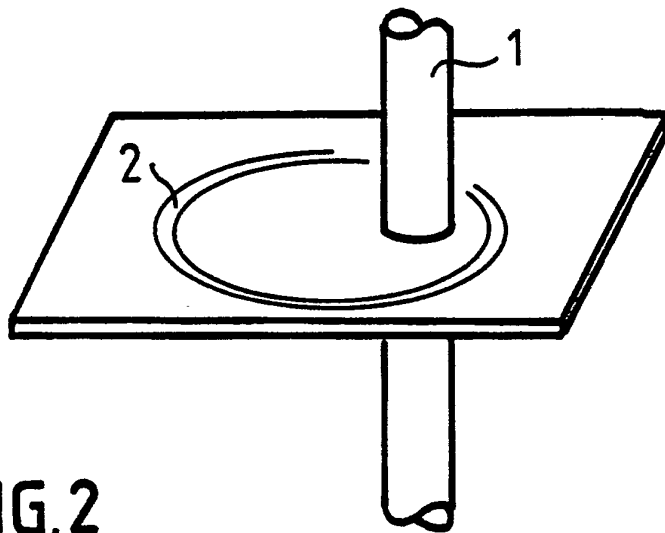


FIG. 2

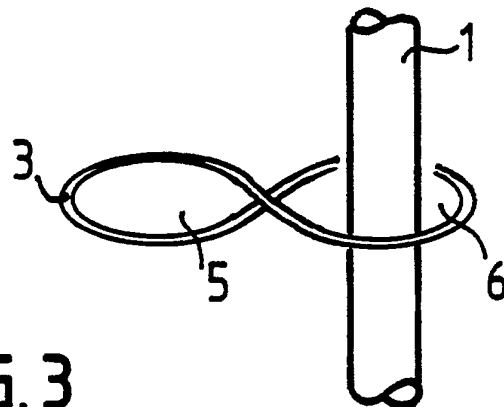


FIG. 3

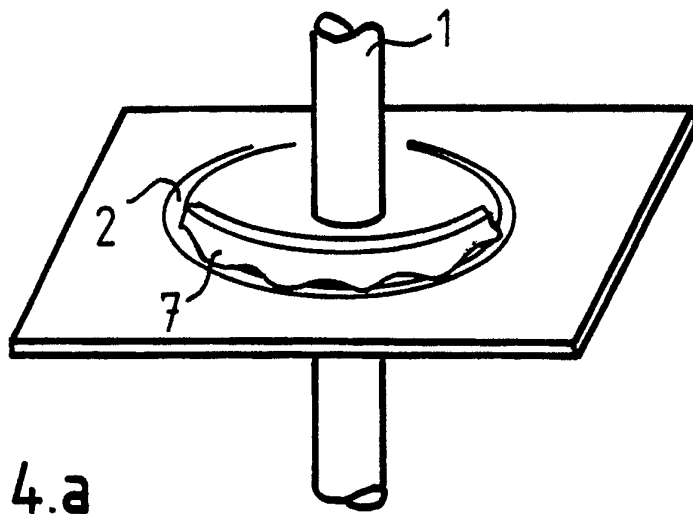


FIG. 4.a

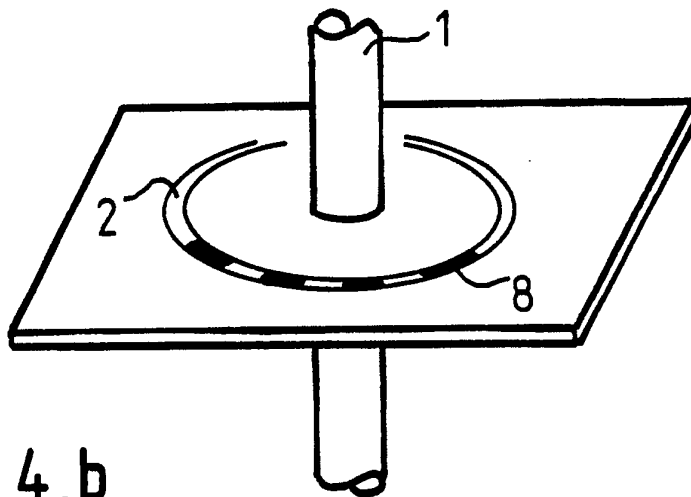


FIG. 4.b

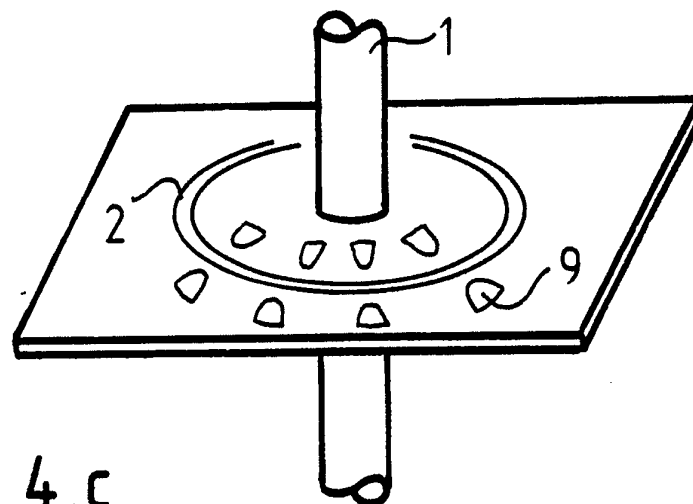


FIG. 4.c