(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
24 septembre 2015 (24.09.2015)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2015/140182 A1

(51) Classification internationale des brevets :
G01F 1/69 (2006.01) *G01K 13/02* (2006.01)
G01K 1/08 (2006.01) *H01C 1/028* (2006.01)
G01K 7/16 (2006.01) *H01B 3/08* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2015/055583

(22) Date de dépôt international :
17 mars 2015 (17.03.2015)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1452188 17 mars 2014 (17.03.2014) FR

(71) Déposant : **AUXITROL S.A.** [FR/FR]; 5, allée Charles Pathé, F-18000 Bourges (FR).

(72) Inventeurs : **GRAS, Christian**; 59 rue Alfred de Vigny, F-18230 Saint Doulchard (FR). **DONAT, Catherine**; 4 route de la Dorotherie, F-18500 Mehun sur Yevre (FR).

(74) Mandataire : **REGIMBEAU**; 20, rue de Chazelles, F-75847 Paris Cedex 17 (FR).

(81) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible)* : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

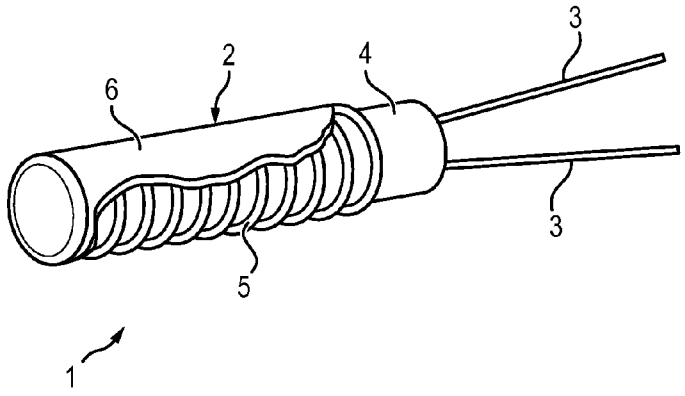
(84) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible)* : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,

[Suite sur la page suivante]

(54) **Title** : METHOD OF MANUFACTURING AN ELEMENT SENSITIVE TO A PHYSICAL PARAMETER OF A FLOW OF FLUID AND CORRESPONDING SENSITIVE ELEMENT

(54) **Titre** : PROCEDE DE FABRICATION D'UN ELEMENT SENSIBLE A UN PARAMETRE PHYSIQUE D'UN ECOULEMENT DE FLUIDE ET ELEMENT SENSIBLE CORRESPONDANT

FIG. 2



(57) **Abstract** : The invention relates to a method of manufacturing an element sensitive to at least one physical parameter of a flow of fluid, comprising a step consisting in a single cycle of immersing, in molten glass, a core of a preassembled sensitive element, said core comprising at least two longitudinal channels along which there pass longitudinally at least two conducting connecting wires which are connected to an at least two-wire winding, said winding being suited to forming a resistive or inductive circuit for detecting said physical parameter, said immersion allowing the connecting wires to be sealed into the channels, allowing said channels to be filled and allowing the outside of the core to be coated in a single immersion, the core, at the end of said single immersion cycle, being sealed and coated in such a way as to obtain an assembled sensitive element. Advantageously, the winding may be "corkscrew" wound inside the longitudinal channels, immersion allowing the connecting wires to be held on the winding and controlling the space between the turns of the winding.

(57) **Abrégé** :

[Suite sur la page suivante]

WO 2015/140182 A1

SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*

— *avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2.h))*

L'invention concerne un procédé de fabrication d'un élément sensible à au moins un paramètre physique d'un écoulement de fluide, comprenant une étape consistant en un cycle unique d'immersion dans du verre en fusion, d'un mandrin d'un élément sensible pré-assemblé, ledit mandrin comprenant au moins deux canaux longitudinaux dans lesquels passent longitudinalement au moins deux fils de raccordement conducteurs se raccordant à un bobinage au moins bifilaire, ledit bobinage étant adapté pour former un circuit résistif ou inductif de détection dudit paramètre physique, ladite immersion permettant de sceller les fils de raccordement dans les canaux, remplir lesdits canaux et enrober l'extérieur du mandrin en une seule immersion, le mandrin étant, à l'issu dudit cycle d'immersion unique, scellé et enrobé de manière à obtenir un élément sensible assemblé. De manière avantageuse, le bobinage peut être enroulé en « tire-bouchon » à l'intérieur des canaux longitudinaux, l'immersion permettant de maintenir les fils de raccordement au bobinage et de contrôler l'espace entre les spires du bobinage.

PROCEDE DE FABRICATION D'UN ELEMENT SENSIBLE A UN PARAMETRE PHYSIQUE D'UN ECOULEMENT DE FLUIDE ET ELEMENT SENSIBLE CORRESPONDANT

DOMAINE TECHNIQUE GENERAL

L'invention concerne un procédé de fabrication d'un élément sensible d'un dispositif de mesure d'au moins un paramètre physique d'un écoulement de fluide tel que la température, les vibrations, la vitesse, la pression. Un tel dispositif de mesure trouve notamment application dans l'aéronautique.

ETAT DE LA TECHNIQUE

Un élément sensible à au moins un paramètre physique d'un écoulement de fluide doit être capable de fonctionner, notamment en aéronautique, dans un milieu agressif tout en résistant le mieux possible aux variations de température, aux variations de courants d'alimentation, aux chocs, aux vibrations, aux pressions et aux forces d'écoulement du fluide.

On connait des élément sensibles comprenant un mandrin allongé dans lequel passent longitudinalement des fils de raccordement conducteurs qui se raccordent à un bobinage mono ou bi-filaire enroulé sur la surface extérieure du mandrin et un revêtement isolant en verre entourant le mandrin allongé et son bobinage mono ou bi-filaire.

Pour fabriquer de tels éléments sensibles, on applique au moyen d'un pinceau un mélange de verre et d'eau sur le mandrin bobiné et dans des canaux longitudinaux au travers desquels passent les fils de raccordement, afin de sceller les fils de raccordement conducteurs dans les canaux. Le mandrin est ensuite séché et cuit au four. Une telle opération est renouvelée plusieurs fois afin de de garantir un revêtement et un scellement de qualité.

Au cours de la fabrication, pour enrober l'extérieur de verre, le mandrin bobiné est immergé dans un mélange de verre et d'eau à température ambiante puis séché et cuit au four. A nouveau, une telle opération est renouvelée plusieurs fois pour obtenir une épaisseur de verre désirée.

Dans les cas où cette immersion n'est pas réalisable, l'enrobage extérieur de verre peut être réalisé par dépose au pinceau du mélange de verre et d'eau à température ambiante puis également séché et cuit au four. A nouveau, une telle opération est renouvelée plusieurs fois pour obtenir une épaisseur de verre désirée.

Au cours de la fabrication, pour sceller les fils de raccordement dans les trous du mandrin, une barbotine céramique (mélange d'eau à température ambiante et d'oxydes

vitreux et/ou cristallins) est introduite dans les trous, par immersion dans la barbotine et passage sous vide et/ou au pinceau, puis à nouveau séché et cuit au four. Selon le procédé, une telle opération peut être renouvelée plusieurs fois pour obtenir la qualité désirée du scellement.

Un problème est qu'un tel procédé est complexe car présentant de nombreuses étapes devant être reproduites plusieurs fois. Le scellement des pattes dans les canaux est perfectible car il est difficile, avec une barbotine, de remplir les canaux une fois cette barbotine cuite, ce qui fragilise l'élément sensible.

PRESENTATION DE L'INVENTION

L'invention résout les problèmes ci-dessus mentionnés, et propose, à cet effet un procédé de fabrication d'un élément sensible à au moins un paramètre physique d'un écoulement de fluide, comprenant un cycle unique d'immersion permettant de passer d'un élément sensible pré-assemblé à un élément sensible assemblé, le cycle unique d'immersion comprenant une immersion dans du verre en fusion, c'est-à-dire sous forme liquide et à haute température, d'un mandrin de l' élément sensible pré-assemblé, ledit mandrin comprenant au moins deux canaux longitudinaux dans lesquels passent longitudinalement au moins deux fils de raccordement conducteurs se raccordant à un bobinage au moins bifilaire, ledit bobinage étant adapté pour former un circuit résistif ou inductif de détection dudit paramètre physique, ladite immersion permettant de sceller les fils (3) de raccordement dans les canaux, remplir lesdits canaux et enrober l'extérieur du mandrin en une seule immersion, le mandrin étant, à l'issu dudit cycle d'immersion unique, scellé et enrobé, le cycle unique d'immersion comprenant une étape d'immersion partielle, à une vitesse lente, du mandrin dans le verre en fusion suivie d'une étape d'immersion complète, à une vitesse rapide, du mandrin dans le verre en fusion.

L'invention est avantageusement complétée par les caractéristiques suivantes, prises seules ou en une quelconque de leur combinaison techniquement possible.

Le bobinage bifilaire est enroulé sur la surface extérieure du mandrin, l'immersion permettant d'enrober l'extérieur du mandrin ainsi bobiné.

Le bobinage est enroulé en « tire-bouchon » à l'intérieur des canaux longitudinaux, l'immersion permettant de maintenir les fils de raccordement au bobinage et de contrôler l'espace entre les spires du bobinage.

L'élément sensible pré-assemblé comprend un tube entourant le mandrin, ledit tube étant de préférence en verre ou en céramique, ledit tube permettant de maitriser l'épaisseur minimum de l'enrobage au cours de l'immersion.

Le cycle unique d'immersion comprend une étape de préchauffage et de nettoyage de l'élément sensible pré-assemblé consistant à positionner ledit élément sensible pré-assemblé à proximité du verre en fusion de façon à ce qu'il atteigne une température proche dudit verre en fusion.

Le cycle unique d'immersion comprend une étape d'extraction lente du mandrin du verre en fusion suivie d'une étape d'extraction rapide du mandrin de la zone chaude du four.

Le procédé comprend à l'issue de l'étape consistant en un cycle unique d'immersion, une étape de stabilisation du comportement électrique de l'élément sensible assemblé par détensionnement au cours d'un recuit du verre à température modérée et contrôlée afin d'obtenir l'élément sensible définitif.

Les fils de raccordement et le bobinage sont en alliage de platine et le mandrin est en zircone partiellement ou totalement stabilisée, par exemple par ajout d'oxyde d'yttrium ou d'oxyde de magnésium.

Le verre en fusion présente une température comprise entre 400°C et 1200°C, typiquement 950°C.

L'invention concerne également un élément sensible obtenu par un procédé selon l'invention ainsi que qu'un dispositif de mesure, comprenant un tel élément sensible.

L'invention consiste donc à utiliser un verre en fusion ayant des caractéristiques parfaitement adaptées au mandrin, de préférence en céramique, au matériau des fils de raccordement et du bobinage (viscosité à chaud, dilatation contrôlée, élasticité, aptitude à la trempe, agressivité chimique, ...) et immerger le mandrin dans le verre en fusion de façon à réaliser au cours de la même opération

- le scellement des fils de raccordement par la remontée du verre dans les canaux longitudinaux (passage suffisant et/ou effet de capillarité du verre liquide) ;
- le bouchage éventuel des canaux non utilisés (dans le cas où les mandrins sont standardisés) ;
- l'enrobage extérieur par tension superficielle du verre liquide sur le mandrin.

Dans le cas où le bobinage est en « tire-bouchon », à l'intérieur du mandrin, ce dernier est protégé à l'intérieur des trous du mandrin (deux ou quatre trous) mais maintenu avec les fils de raccordement par immersion dans le verre en fusion. Ceci permet de remplir progressivement les trous sans solliciter mécaniquement les spires du bobinage en tire-bouchon, jusqu'à sceller efficacement les fils de raccordement.

En effet, lorsque le mandrin est en zircone et les fils de raccordement en platine, le coefficient de dilatation thermique de la zircone étant suffisamment proche de celui du platine, le maintien des spires peut être réalisé par un matériau « rigide » comme du verre

plutôt de « souple » comme une poudre compactée où les grains ne sont pas liés chimiquement entre eux, améliorant ainsi le comportement sous forte sollicitation vibratoire et permettant de garantir facilement un diélectrique très élevé entre le circuit résistif et la surface extérieure du mandrin. D'autre part, en utilisant un fil platine initialement recouvert d'une couche d'émail céramique de quelque micromètres seulement (adhéré directement sur le platine ou via une métallisation très fine du platine par un métal plus facilement oxydable comme du nickel par exemple), la calibration de la résistance électrique de l'élément pourrait être réalisée « en partie droite », avant même d'insérer les fils de raccordement et les spires dans les trous du mandrin céramique. De plus, dans une telle configuration, le mandrin céramique n'est plus nécessairement ni de forme élancée, ni de section constante. Cette alternative permettrait donc également d'optimiser la forme de la céramique par rapport à la zone à mesurer, à son assemblage mécanique sur le corps du capteur ou toute autre contrainte géométrique. Cette pièce en céramique pourrait en outre être obtenue par extrusion comme nos mandrins actuels mais également par procédé CIM (en anglais, « *Ceramic Injection Molding* ») ou usinage dans un brut dense.

Dans le cas où l'élément sensible comprend un tube en verre ou en céramique, ce dernier peut supporter des contraintes diélectriques supérieures tout en réduisant les coûts de fabrication. Ce design a pour principaux avantages de

- conserver les mandrins céramiques actuels et simplifier l'usinage du mandrin céramique central (détalonner jusqu'à faire apparaître les canaux demande moins de dextérité et de temps que réaliser une extrémité hémisphérique) ;
- éviter les manipulations « à l'aveugle » des raccordements fils bobinés / fils de raccordement ;
- garantir un diélectrique élevé entre le bobinage et l'extérieur :
    - radialement : épaisseur minimum d'isolant tube et verre
    - axialement : la sur-longueur du mandrin par rapport aux fils.

En outre, grâce à l'épaisseur du tube, le verre en fusion n'a plus à réaliser une épaisseur d'enrobage extérieur importante.

De manière avantageuse, l'utilisation d'un verre très fluide permet de réduire l'épaisseur de cet enrobage extérieur et par là même les irrégularités (effet goutte). Les effets de capillarité permettent de maintenir en place ce verre très fluide dans les volumes intérieur remplis.

L'invention propose également un élément sensible obtenu par un procédé selon l'invention.

Et l'invention propose enfin un dispositif de mesure comprenant un élément sensible selon l'invention.

PRESENTATION DES FIGURES

D'autres caractéristiques, buts et avantages de l'invention ressortiront de la description qui suit, qui est purement illustrative et non limitative, et qui doit être lue en regard des dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 illustre une vue générale d'un élément sensible selon l'invention ;
- la figure 2 illustre une vue en perspective d'un élément sensible selon l'invention ;
- la figure 3 illustre une vue en coupe d'un élément sensible selon l'invention ;
- la figure 4 illustre une vue partielle d'un canal longitudinal comprenant un fil conducteur d'un élément sensible selon l'invention ;
- la figure 5 illustre une en coupe d'un élément sensible selon l'invention ;
- la figure 6 illustre une vue en coupe d'un élément sensible selon l'invention ;
- la figure 7 illustre des étapes d'un procédé de fabrication d'un élément sensible selon l'invention ;
- la figure 8 illustre des sous-étapes d'un procédé de fabrication d'un élément sensible selon l'invention ;
- les figures 9a à 9e illustrent la mise en œuvre des sous-étapes décrites en relation avec la figure 8.

Sur l'ensemble des figures les éléments similaires portent des références identiques.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

En relation avec la **figure 1**, un élément sensible 1 à au moins un paramètre physique d'un écoulement de fluide comprend un corps 2 allongé duquel sortent des fils 3 de raccordement conducteurs.

En relation avec la **figure 2**, le corps 2 allongé comprend notamment un mandrin 4 allongé dans lequel passent longitudinalement les fils 3 de raccordement conducteurs qui se raccordent à un bobinage 5 au moins bifilaire dépendant du nombre de fils 3 de raccordement constitué de fils conducteurs bobinés autour du mandrin 4.

Comme on peut le voir sur la figure 2, le bobinage 5 est enroulé sur la surface extérieure du mandrin 4.

Un revêtement isolant en verre ou vitro-céramique 6 entoure le mandrin allongé 4 et son bobinage 5, pour assurer la tenue des fils et l'étanchéité de l'élément par rapport à

l'environnement extérieur. Le revêtement isolant en verre ou vitro-céramique est obtenu par immersion du mandrin 4 dans un verre en fusion au cours d'un cycle d'immersion spécifique (comme on le détaillera par la suite).

En relation avec la **figure 3**, le mandrin allongé 4 comprend aux moins deux canaux longitudinaux 7, permettant le passage des fils 3 de raccordement conducteurs.

De manière avantageuse, les fils de raccordement 3 sont accessibles de l'autre extrémité du mandrin allongé 4, et sont alors raccordés, au moyen d'une soudure ou d'une brasure 8, au bobinage 5 qui est enroulé sur la surface extérieure du mandrin 4. Les fils de raccordement 3 sont avantageusement préformés avec une forme en « Z » afin d'améliorer leur maintien à l'intérieur des canaux longitudinaux par friction. On a illustré sur la **figure 4**, une vue partielle d'un canal longitudinal 7 avec un fil de raccordement 3 préformé avec une forme en « Z ».

De manière alternative, en relation avec la **figure 5**, le bobinage bifilaire est enroulé en « tire-bouchon » à l'intérieur des canaux 7 longitudinaux.

Les fils de raccordement 3 ainsi que le bobinage 5 sont de préférence en métal noble comme du platine ou du palladium de façon à ne pas s'oxyder à haute température.

Le mandrin 4 est classiquement obtenu par extrusion du fait de sa géométrie allongée.

A titre indicatif, les fils de raccordement 3 présentent habituellement un diamètre de l'ordre de un à cinq dixièmes de millimètre, tandis que le bobinage est constitué de fils de platine d'un diamètre de l'ordre de dix à cinquante micromètres.

En outre, le mandrin 4 est typiquement en céramique et notamment en zircone yttriée ou magnésiée (c'est-à-dire une zircone stabilisée par quelques pour cent d'oxyde d'yttrium ou d'oxyde de magnésium). Comme on l'aura compris, il s'agit de l'ossature principale de l'élément sensible.

Le matériau du mandrin 4 confère à ce dernier les propriétés suivantes.

- Il est résistant mécaniquement pour supporter les sollicitations mécaniques (flexion, torsion, traction/compression, vibrations, chocs, ...).
- Il est suffisamment isolant électriquement pour ne pas perturber le bobinage conducteur (résistance d'isolement et rigidité diélectrique).
- Il supporte à la fois les températures de fonctionnement (-260°C / +500°C) mais également les températures impliquées dans le cadre du cycle d'immersion (400°C à 1200°C).
- Il supporte les chocs thermiques de fonctionnement (jusqu'à 150°C/s) mais également les chocs thermiques rencontrés au cours du cycle d'immersion bien plus

sévères (environ 2000°C/s sur une étendue de plusieurs centaines de degrés Celsius).

- Les contraintes qu'il induit au bobinage de platine par dilatation thermique différentielle sont négligeables dans les températures usuelles de fonctionnement, la dilatation naturelle du platine conditionne directement sa réponse électrique ($R_T=\rho_T L_T/S_T$) et permet à l'élément sensible de suivre avec précision la loi de *CALLENDAR - VAN DUSSEN*.
- Il est suffisamment isolant thermiquement pour ne pas perturber la mesure thermique faite par le bobinage.
- Il est suffisamment isolant thermiquement pour ne pas transmettre la température de la zone de fixation à la zone bobinée (conduction thermique axiale).
- Il a une forme optimale pour permettre au bobinage d'être au plus près de la zone à mesurer (élément encapsulé dans un corps miniaturisé) ou au flux de fluide d'être le plus en contact possible avec le bobinage (écoulement aérothermique autour de l'élément) de façon à minimiser son temps de réponse. De plus sa forme de révolution lui permet de ne pas être sensible à l'orientation angulaire du flux de fluide.

En outre, l'utilisation de zircone permet de meilleures performances thermomécaniques par rapport aux céramiques traditionnellement utilisées pour les RTD (*Resistance Temperature Detector* ou *Device*) : les forstérites ou les alumines. En effet, la zircone présente des propriétés thermiques particulièrement intéressantes : très faibles conductivité thermique et chaleur spécifique ce qui entraine, malgré une masse volumique relativement élevée, une faible effusivité thermique (bon « écran thermique » car la surface qui capte échange mal la chaleur), très faible diffusivité thermique (bonne « barrière thermique » car la chaleur captée en surface se diffuse mal dans le matériau). La zircone stabilisée présente également des caractéristiques mécaniques élevées : bonne résistance mécanique en flexion, module de Young relativement modéré (réponse « élastique » plutôt que « rigide » et « fragile »). Ces bonnes propriétés mécaniques permettent également de miniaturiser les mandrins en réduisant davantage les épaisseurs.

En outre, la zircone a des coefficients de dilatation thermiques très proches des principaux matériaux métalliques utilisés dans l'aéronautique pour le bobinage (principalement les alliages de platine), ce qui minimise les perturbations de leur réponse électrique en température.

En outre, bien que la magnésie soit de nature très hydrophile, son utilisation comme stabilisant de la zircone permet de minimiser la susceptibilité de cette dernière à la chaleur

humide et ne pas conduire à la transformation de phase cristalline tétragonale en phase cristalline monoclinique responsable de la destruction des zircones yttriées, même sans aucune sollicitations mécanique extérieure, par gonflement d'environ 3% volumique.

Un avantage également de la zircone magnésiée est sa couleur. La magnésie lui confère une couleur ocre d'autant plus marqué que son taux est important alors que par exemple une zircone yttriée est naturellement blanche quel que soit son taux d'oxyde d'yttrium.

Cette couleur pourra donc être utilisée comme un « témoin visuel » simple et rapide de l'état cristallographique de la céramique à l'issu du procédé de fabrication.

De manière alternative ou complémentaire, en relation avec la **figure 6**, l'élément sensible 1 comprend un tube 40 en verre ou en céramique dans lequel est inséré le mandrin 4 avec le bobinage 5 et les fils de raccordement 3. Le tube 40 permet de contrôler l'épaisseur du revêtement 6 autour du mandrin 4. En particulier, le tube 40 permet de limiter l'épaisseur de ce revêtement 6. Dans ce cas, l'extrémité du mandrin est détalonnée pour laisser apparaitre les canaux longitudinaux. Le bobinage est raccordé aux fils 3 de raccordement côté sortie (là où les fils de raccordement sortent du mandrin 4) en deux points de connexion 50 et raccordé par paire en un point de connexion 51 situé sur le mandrin 4 à la valeur résistive recherchée côté opposé.

On décrit maintenant un procédé de fabrication d'un élément sensible selon un mode de réalisation de l'invention en relation avec la **figure 7**.

On part d'un mandrin 4 allongé comprenant au moins deux canaux 7 longitudinaux.

Dans une première étape (étape E1), on bobine des fils conducteurs autour du mandrin 4 afin d'obtenir le bobinage 5 de fils conducteurs enroulés sur la surface extérieure du mandrin 4.

Dans le cas, où le bobinage 5 est en tire-bouchon, celui-ci est inséré dans les canaux longitudinaux.

Dans une seconde étape (étape E2) les fils conducteurs bobinés 5 sont collés au mandrin 4 au moyen d'un verre réfractaire (barbotine d'eau et d'oxydes appliquée au pinceau, séchée puis cuite au four). Cette étape permet de régénérer électriquement le bobinage 5 en modifiant la structure cristallographique de l'alliage métallique et permettre la manipulation des pièces.

Dans une troisième étape (étape E3), on insère les fils de raccordement à l'intérieur des canaux 7 longitudinaux. Les fils de raccordement sont avantageusement préformés avec une forme en « Z » afin d'améliorer leur maintien à l'intérieur des canaux longitudinaux (voir la figure 4).

Dans une quatrième étape (étape E4), on raccorde le bobinage (5) aux fils de raccordement 3 afin de former un circuit résistif sensible au paramètre physique à mesurer. Comme mentionné précédemment, cette étape est mise en œuvre au moyen d'une soudure ou d'une brasure 8.

Dans une cinquième étape (étape E5), on effectue un pré-collage partiel des fils de raccordement 3 au mandrin 4 au moyen d'un verre ou vitro-céramique réfractaire (barbotine d'eau et d'oxydes appliquée au pinceau, séchée puis cuite au four).

On note avantageusement que cette étape de pré-collage partiel, sert essentiellement à pouvoir manipuler l'élément sensible au cours du procédé de fabrication mais ne contribue en rien au scellement des fils 3 de raccordements au mandrin 4.

On peut avantageusement procéder dans une sixième étape, à ce niveau-là du procédé, à une calibration (étape E6) de la résistance électrique du bobinage en soudant par paire les fils bobinés à la longueur appropriée.

A l'issue des étapes ci-dessus, on obtient un élément sensible pré-assemblé 10 constitué du mandrin 4, du bobinage 5 et des fils 3 de raccordement et éventuellement du tube 40. L'élément sensible pré-assemblé 10 est l'élément sensible qui va être modifié pour obtenir l'élément sensible assemblé 10'.

On peut ici insérer, de manière facultative s'agissant de l'élément sensible de la figure 5, dans une septième étape (étape E7) le mandrin 4 dans le tube 40 (l'étape E7 est sur la figure 6 représentée en pointillés pour montrer qu'elle est facultative). Dans une huitième étape (étape E8), on met en œuvre un cycle unique d'immersion pour procéder, au cours de ce cycle, à l'enrobage du mandrin bobiné au moyen d'une couche de verre et au scellement définitif des fils 3 de raccordement dans les canaux 7 longitudinaux, en une seule immersion, dans du verre en fusion à haute température (400°C à 1200°C), du mandrin 4 de l'élément sensible pré-assemblé 10. On précise ici que l'immersion de l'élément sensible pré-assemblé 10 n'est pas totale. En effet, c'est seulement le mandrin 4 et son bobinage (interne ou externe au mandrin 4) qui est totalement immergé, seule une infime partie des fils 3 de raccordement est immergée (de l'ordre du millimètre ou moins).

En outre, on précise ici que l'on entend par cycle d'immersion une succession de sous-étapes comprenant notamment la descente de l'élément sensible, l'immersion dans le verre en fusion en tant que telle, l'extraction du verre en fusion (sous-étapes détaillées par la suite) et sa solidification contrôlée. En outre, on précise qu'à l'issu du cycle d'immersion, le mandrin 4 est totalement enrobé.

Selon l'invention le cycle d'immersion (étape E8) au cours duquel on procède à l'enrobage et au scellement définitif comprend avantageusement les sous-étapes suivantes décrites en relation avec les **figures 8** et **9a** à **9e.**

Dans une sous-étape préliminaire E70 on fixe l'élément sensible 10 en bout d'une pince (non représentée).

Dans une sous-étape E71, l'élément sensible pré-assemblé 10 est descendu rapidement (soit quelques centimètres, typiquement deux à dix centimètres) dans un four 60 jusqu'au-dessus du verre 51 en fusion à haute température (c'est-à-dire sous forme liquide et à haute température (400°C à 1200°C)) contenu dans un creuset réfractaire 50 (voir la **figure 9a**) afin de pré-chauffer le mandrin 4 pour éviter qu'il ne refroidisse le verre 51 lors de l'immersion ultérieure ce qui le rendrait trop visqueux pour pouvoir pénétrer dans les canaux 7 longitudinaux et sceller les fils 3 de raccordement dans les canaux 7 longitudinaux. Ainsi, le mandrin 4 atteint une température qui est comprise entre 75% et 95% de la température du verre en fusion. L'élément sensible pré-assemblé 10 reste quelques dizaines de secondes au-dessus du verre en fusion de préférence, typiquement une minute.

Le verre est avantageusement réalisé à partir de deux principales familles de constituants :

- Les formateurs de réseau :
  - La Silice SiO2 : peu couteuse et qui présente une bonne tenue aux chocs thermiques. En revanches, elle présente une température de fusion qui est haute (1650°C à 1730°C suivant la structure), elle présente un faible coefficient de dilatation et présente une faible tenue à la trempe.
  - L'oxyde de plomb PbO : présente une température de fusion basse (888°C), fournit un verre très fluide, présente une bonne tenue à la trempe (très élastique). En revanche, il présente de faibles caractéristiques d'isolation électrique à chaud (>250°C).
  - L'oxyde de zinc ZnO : de plus en plus utilisé en remplacement de l'oxyde de plomb, fournit un verre assez fluide, présente une bonne tenue à la trempe. En revanche, il présente une température de fusion haute (1975°C) et présente de faibles caractéristiques d'isolation électrique à chaud (>400°C).
  - L'anhydride borique B_2O_3 : présente une température de fusion basse 450°C), présente une bonne tenue aux chocs thermiques, présente une bonne tenue à la trempe (élastique). En revanche, il peut se décomposer et vaporiser en cas de maintien en surfusion malgré une température

d'ébullition élevée (1860°C), il présente un faible coefficient de dilatation et présente une faible tenue aux agressions chimiques (eau, acides, etc.).

- L'anhydride phosphorique P_2O_5 : présente une température de fusion basse (340°C). En revanche, il peut se vaporiser trop rapidement en cas de maintien en surfusion (ébullition à 360°C).
- L'alumine amorphe Al_2O_3 : présente de fortes tensions superficielles, présente une bonne résistance aux agressions chimiques (eau, acides, …), présente de bonnes caractéristiques d'isolation électrique, présente une bonne conductivité thermique. En revanche, elle présente une très haute température de fusion (2054°C), elle est très visqueuse, et présente une faible tenue à la trempe.
- La zircone amorphe ZrO_2 : présente de fortes tensions superficielles, présente une bonne résistance aux agressions chimiques (eau, acides, …). En revanche, elle présente une très haute température de fusion (2715°C), elle est très visqueuse, elle présente de faibles caractéristiques d'isolation électrique à chaud (>500°C) et présente une faible conductivité thermique.

A noter que l'alumine amorphe et la zircone amorphe sont délicates à mettre œuvre et couteuses.

- Les modificateurs de réseau :
  - Une première catégorie comprend les fondants : ils permettent de modifier le réseau, généralement en affaiblissant les liaisons atomiques ou moléculaires, souvent au détriment de la résistance aux agressions chimiques. On retrouve généralement les oxydes alcalins :
    - La soude Na2O : permet d'abaisser la température de fusion et la viscosité.
    - L'oxyde de potassium K2O : permet d'abaisser la température de fusion et améliore la tenue à la trempe (augmente l'élasticité des liaisons).
    - L'oxyde de magnésium amorphe MgO : améliore la résistance aux agressions chimiques (eau, acides, …) et la conductivité thermique
    - L'oxyde de baryum BaO (oxyde très courant dans les émaux et glaçures céramiques) : abaisse la température de fusion malgré une température de fusion propre élevée (1920°C), améliore la tenue à la trempe (augmente fortement l'élasticité et la résistance mécanique) et la dureté superficielle. En revanche, il peut se décomposer et se

vaporiser en cas de maintien en surfusion malgré une température d'ébullition élevée (2000°C).

- L'oxyde de plomb PbO : abaisse la température de fusion, augmente la fluidité, améliore la tenue à la trempe (augmente l'élasticité des liaisons) mais réduit les caractéristiques d'isolation électrique à chaud.

- Une seconde catégorie comprend les stabilisants : ils permettent de stabiliser ou consolider le réseau affaiblit par les fondants.
  - L'oxyde de calcium CaO (stabilisant "bon marché" le plus employé) : améliore la résistance mécanique, améliore la résistance aux agressions chimiques (eau, acides, etc.) mais augmente les risques de recristallisation au recuit.
  - L'oxyde de zinc ZnO (de plus en plus utilisé en remplacement de l'oxyde de plomb) : Il fournit un verre assez fluide avec une bonne tenue à la trempe (très élastique). En revanche, il présente une température de fusion haute (1975°C) et présente de faibles caractéristiques d'isolation électrique à chaud (>400°C).
  - L'oxyde de fer Fe_2O_3 : réduit les caractéristiques d'isolation électrique à chaud. La coloration verdâtre induite peut être "lavée" par l'oxyde de manganèse MnO_2 (on l'appelle également "le savon du verrier").
  - L'oxyde de plomb PbO : abaisse la température de fusion, augmente la fluidité, améliore la tenue à la trempe (augmente l'élasticité des liaisons) mais réduit les caractéristiques d'isolation électrique à chaud.

Le verre et en particulier son mode d'élaboration (l'assemblage) de ce dernier sera choisi de façon à obtenir un verre avec :

- un coefficient de dilatation thermique compatible avec le mandrin céramique, le bobinage et les fils de liaison, compromis entre le glaçage extérieur et le scellement intérieur ;
- une viscosité et une tension superficielle compatible avec le procédé ;
- une température de fusion suffisamment élevée par rapport aux températures de fonctionnement de l'élément mais suffisamment basse pour limiter le stress mécanique sur le mandrin et le bobinage ;
- une bonne tenue à la trempe pour éviter l'écaillage ou le tressaillage ;
- une aptitude au recuit à basse température ;

- une bonne résistance aux agressions chimiques (eau, acides, bases, phosphates d'ester, ...) ;
- une bonne résistance au cisaillement pour le scellement des fils de raccordement ;
- une bonne adhérence chimique sur le mandrin céramique et les fils métalliques ;
- pas d'agression chimique nuisible du mandrin céramique et des fils métalliques.

A titre d'exemple, le verre, peut être composé de

- environ 15% seulement de silice ;
- une forte teneur en oxyde de plomb de plus de 70% ;
- une forte teneur en oxyde de bore de plus de 10%.

Simultanément au pré-chauffage du mandrin 4, ce dernier subit un nettoyage par pyrolyse à cause de la chaleur régnant dans le four 60. Ainsi, le mandrin 4 est nettoyé des pollutions organiques (sébum des mains, etc.) ce qui garantit la répétabilité de l'adhérence du verre sur le mandrin 4 et le bobinage 5.

Dans une sous-étape E72, le mandrin 4 de l'élément sensible pré-assemblé 10 est partiellement immergé dans le verre 51 en fusion (voir la **figure 9b**). On entend par, partiellement immergé, comme on peut le voir sur la **figure 9b**, le fait que le mandrin 4 est quasiment totalement immergé (à environ 90% de sa longueur).

L'immersion partielle est effectuée lentement (quelques millimètres par seconde typiquement entre deux et dix millimètres par seconde) et on laisse le mandrin 4 ainsi partiellement immergé le temps que les canaux se remplissent (typiquement de l'ordre de la minute).

Cette immersion partielle du mandrin 4 permet de :

- finir progressivement de mettre le mandrin 4 à la même température que le verre 51 en fusion par une immersion partielle suffisamment lente ;
- ne pas emprisonner de microbulles d'air entre les spires du bobinage 3 grâce à une immersion partielle suffisamment lente ;
- remplir par capillarité les canaux 7 longitudinaux en laissant s'échapper l'air librement par la partie du mandrin 4 non immergée (le verre en fusion est trop visqueux pour laisser s'échapper l'air) ;
- assurer un accrochage optimal du verre grâce à une attaque chimique de la couche superficielle des matériaux (métalliques et céramiques) par le verre en fusion très agressif ;
- poursuivre la régénération électrique des fils bobinés 3 initiées lors de la cuisson du collage au verre réfractaire (voir étape E2).

Dans une sous-étape E73 on immerge complétement le mandrin 4 dans le verre en fusion et on laisse le mandrin 4 ainsi complètement immergé quelques minutes dans le verre en fusion 51 (voir la **figure 9c**). Comme on l'a explicité précédemment seule une infime partie des fils de raccordements externes au mandrin 4 est immergée.

A l'issue de cette étape E73, on obtient l'élément sensible assemblé 10' (pas encore toutefois finalisé mais dont la structure est celle désirée).

Dans une sous-étape E74, après immersion complète du mandrin 4, l'élément sensible assemblé 10' est remonté lentement (voir la **figure 9d**) afin de sortir le mandrin 4 lentement du verre en fusion 51. Par remontée lente on entend une vitesse de remontée quelques millimètres par seconde typiquement entre deux et dix millimètres par seconde.

La vitesse de remontée est importante car elle a, outre les caractéristiques du verre en fusion (viscosité, tensions superficielles, masse volumique) une incidence directe sur la régularité de l'épaisseur de la couche de verre qui enrobe le mandrin 4.

De même, le remplissage des canaux 7 longitudinaux est conditionné par les mêmes phénomènes ci-dessus avec en plus le dimensionnel des canaux (longueur, diamètre), la capillarité et la dilatation thermique du verre (retrait volumique lors de sa solidification puis de son refroidissement).

Enfin, dans une sous-étape E75, l'élément sensible assemblé 10' est remonté rapidement afin de sortir rapidement le mandrin 4 du four 60 (voir la **figure 9e**). Par remontée rapide on entend une vitesse de remontée deux à dix fois plus rapide que la vitesse de remontée lente.

Le fait de ressortir rapidement le mandrin 4 de l'élément sensible assemblé 10' est important car compte tenu de la position verticale du mandrin 4, le verre liquide déposé sur le mandrin 4 lors de l'enrobage a naturellement tendance à s'affaisser et former :

- une goutte en partie basse (diamètre excessif) ;
- une épaisseur irrégulière entre le haut et le bas du mandrin.

En conséquence, la vitesse de retrait a son importance car il faut figer le verre le plus rapidement possible autour du mandrin 4 pour limiter ces effets.

La couche de verre obtenue pour l'enrobage complet du mandrin est très dense, tout en restant amorphe et donc transparente. Cette transparence permet entre autres un contrôle aisé de la qualité de l'enrobage (microbulles entre les fils bobinés) ainsi que de l'espacement entre les fils bobinés, garant des propriétés diélectriques entre circuits par exemple.

En outre, l'enrobage se faisant sur pièces chaudes, pyrolysées et avec du verre en fusion hautement réactif, l'adhérence entre le verre et le mandrin est fortement améliorée.

Une fois ressorti du four, dans une huitième étape (étape E9), on procède à une stabilisation du comportement électrique de l'élément sensible assemblé par détensionnement de l'enrobage lors d'un recuit du verre à température inférieure à la température de transition vitreuse du verre afin d'obtenir l'élément sensible définitif.

Cette étape de détensionnement (étape E9) est importante en ce sens, qu'à l'issue du cycle d'immersion, la couche de verre est figée rapidement sur le mandrin (4) réfractaire encore chaud. Lorsque ce dernier se refroidit à son tour, il se rétracte, ce qui comprime le verre dans son épaisseur (effet de trempe à cœur) et le tend à l'interface verre / mandrin. Le verre utilisé doit donc être suffisamment « élastique » pour supporter temporairement ces contraintes sans s'écailler.

Au cours de cette étape de détensionnement (étape E9), le recuit thermique a pour but de relâcher les contraintes résiduelles emmagasinées dans le verre pour stabiliser dans le temps le comportement électrique du bobinage platine. On note que de manière connue en soi, l'expansion thermique du platine se caractérise électriquement avec la loi de *CALLENDAR - VAN DUSSEN*. Ainsi, si le verre vient comprimer ou expanser le platine par dilatation thermique différentielle, la réponse électrique du platine est faussée.

En outre, les contraintes résiduelles emmagasinées dans le verre lors de son refroidissement viennent elles aussi et de la même façon fausser la réponse du bobinage du platine. Avec un comportement typique de fluide hyper-visqueux, le verre est capable de micro-déplacements moléculaires dans le temps s'il est soumis à des contraintes mécaniques (comme la mer de glace sous son propre poids). Cela veut dire que dans le temps, le verre sera capable de relâcher "tout seul" ses contraintes internes, modifiant par la même les caractéristiques électriques initiales.

En conséquence au cours de l'étape de détensionnement, le recuit est effectué à une température inférieure à la température de transition vitreuse. Plus la température sera basse, moins il y aura de risque de recristalliser le verre amorphe. Cependant, si la température est trop basse, la viscosité du verre demandera des années pour relâcher les contraintes. On note que pour l'industrie verrière, la limite de trempe est généralement caractérisée par une exposition d'environ une heure à la température normalisée dite « température inférieure de recuisson » où le verre a une viscosité de $10^{14,5}$ poises (il faudrait de l'ordre de 18 mois pour détensionner un verre à 10^{19} poises).

Dans le cadre de l'invention le recuit thermique dure plusieurs jours à une température volontairement plus basse que la température limite de recuisson normalisée (typiquement de l'ordre de 250°C à 500°C) de façon à supprimer complètement les risques

de dérive électrique dans le temps, aux températures de fonctionnement auxquelles sont destinés les éléments sensibles (généralement entre - 100°C et + 400°C).

Le procédé décrit ci-dessus présente l'avantage que les étapes E5, E7, E8 et E9 nécessitent moins d'un quart d'heure de main d'œuvre qualifiée contrairement aux techniques connues qui nécessitaient de répéter, manuellement, un certain nombre d'étapes pour sceller les fils de raccordement et enrober le mandrin.

L'élément sensible obtenu grâce au procédé de l'invention conserve en grande partie les bonnes propriétés mécaniques issues du mandrin céramique (résistance mécanique en flexion, compression et traction, rigidité en vibration, etc.) tout en ajoutant les caractéristiques du verre de la couche d'enrobage (forte densification du verre, très bonne adhérence du verre sur le mandrin céramique, étanchéité, dureté, résistance à l'usure, résistance aux agressions chimiques, diélectrique élevé, résistance d'isolement élevée, ...).

En outre, l'élément sensible ci-dessus obtenu est avantageusement utilisé dans un dispositif fortement sollicité de mesure d'un paramètre physique d'un écoulement de fluide.

REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication d'un élément sensible à au moins un paramètre physique d'un écoulement de fluide, comprenant un cycle unique d'immersion (E7) permettant de passer d'un élément sensible pré-assemblé (10) à un élément sensible assemblé (10'), le cycle unique d'immersion (E7) comprenant une immersion dans du verre (51) en fusion, c'est-à-dire sous forme liquide et à haute température, d'un mandrin (4) de l' élément sensible pré-assemblé (10), ledit mandrin (4) comprenant au moins deux canaux (7) longitudinaux dans lesquels passent longitudinalement au moins deux fils (3) de raccordement conducteurs se raccordant à un bobinage (5) au moins bifilaire, ledit bobinage (5) étant adapté pour former un circuit résistif ou inductif de détection dudit paramètre physique, ladite immersion permettant de sceller les fils (3) de raccordement dans les canaux (7), remplir lesdits canaux et enrober l'extérieur du mandrin en une seule immersion, le mandrin étant, à l'issu dudit cycle d'immersion unique, scellé et enrobé, le cycle unique d'immersion comprenant une étape (E72) d'immersion partielle, à une vitesse lente, du mandrin (4) dans le verre en fusion suivie d'une étape (E73) d'immersion complète, à une vitesse rapide, du mandrin (4) dans le verre en fusion.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel le bobinage bifilaire est enroulé sur la surface extérieure du mandrin (4), l'immersion permettant d'enrober l'extérieur du mandrin (4) ainsi bobiné.

3. Procédé selon la revendication 1, dans lequel le bobinage est enroulé en « tire-bouchon » à l'intérieur des canaux (7) longitudinaux, l'immersion permettant de maintenir les fils de raccordement au bobinage et de contrôler l'espace entre les spires du bobinage.

4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'élément sensible pré-assemblé comprend un tube (40) entourant le mandrin (4), ledit tube (40) étant de préférence en verre ou en céramique, ledit tube permettant de maitriser l'épaisseur minimum de l'enrobage au cours de l'immersion.

5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le cycle unique d'immersion comprend une étape (E71) de préchauffage et de nettoyage de l'élément sensible pré-assemblé (10) consistant à positionner ledit élément sensible pré-assemblé (10)

à proximité du verre en fusion sans immerger ledit élément sensible pré-assemblé (10) dans le verre en fusion de façon à ce que le verre en fusion chauffe l'élément sensible pré-assemblé (10) pour qu'il atteigne une température proche dudit verre en fusion, c'est-à-dire comprise entre 75% et 95% de la température du verre en fusion.

6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le cycle unique d'immersion comprend une étape (E74) d'extraction lente du mandrin (4) du verre en fusion suivie d'une étape (E75) d'extraction rapide du mandrin de la zone chaude du four.

7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, comprenant à l'issue de l'étape consistant en un cycle unique d'immersion (E7), une étape (E8) de stabilisation du comportement électrique de l'élément sensible assemblé (10') par détensionnement au cours d'un recuit du verre à température modérée et contrôlée afin d'obtenir l'élément sensible définitif.

8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les fils de raccordement et le bobinage sont en alliage de platine et le mandrin est en zircone partiellement ou totalement stabilisée, par exemple par ajout d'oxyde d'yttrium ou d'oxyde de magnésium.

9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le verre en fusion présente une température comprise entre 400°C et 1200°C, typiquement 950°C.

10. Elément sensible obtenu par un procédé selon l'une des quelconques revendications précédentes.

FIG. 1



FIG. 2

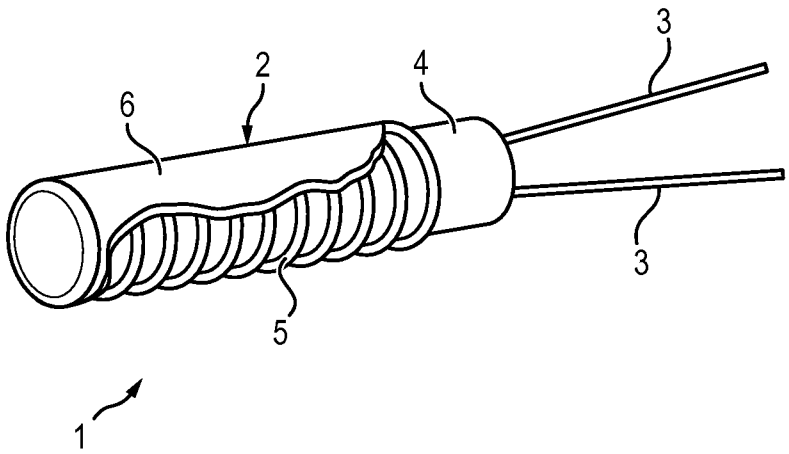


FIG. 3

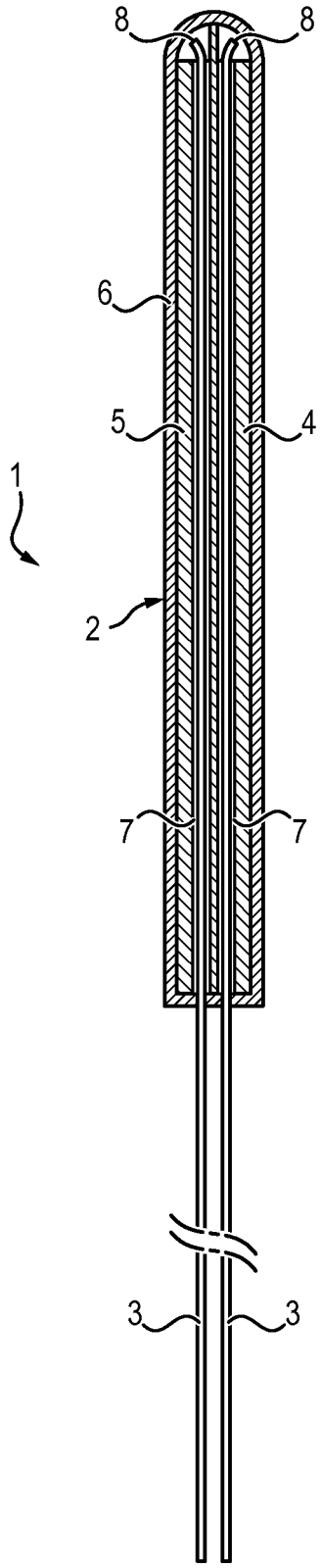


FIG. 4

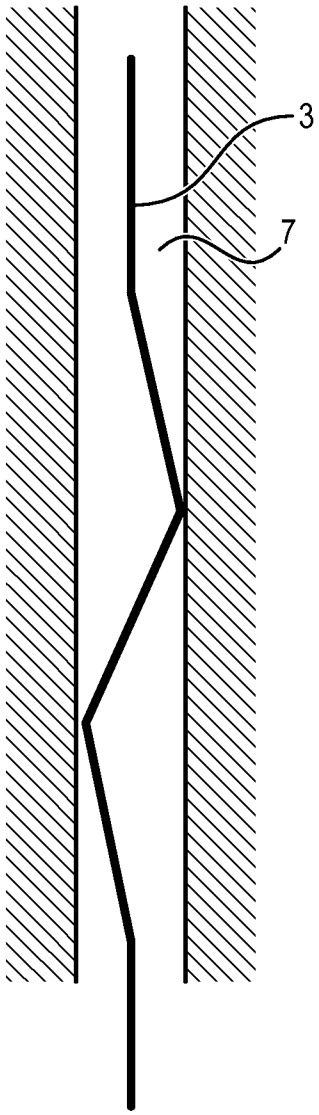


FIG. 5

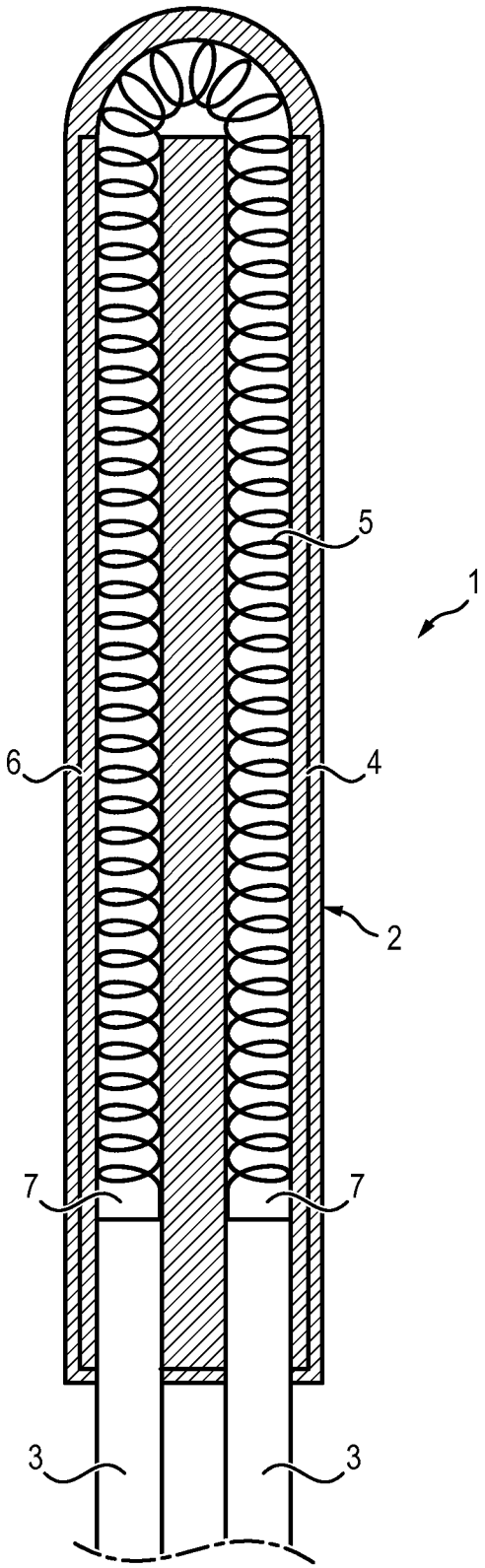


FIG. 6

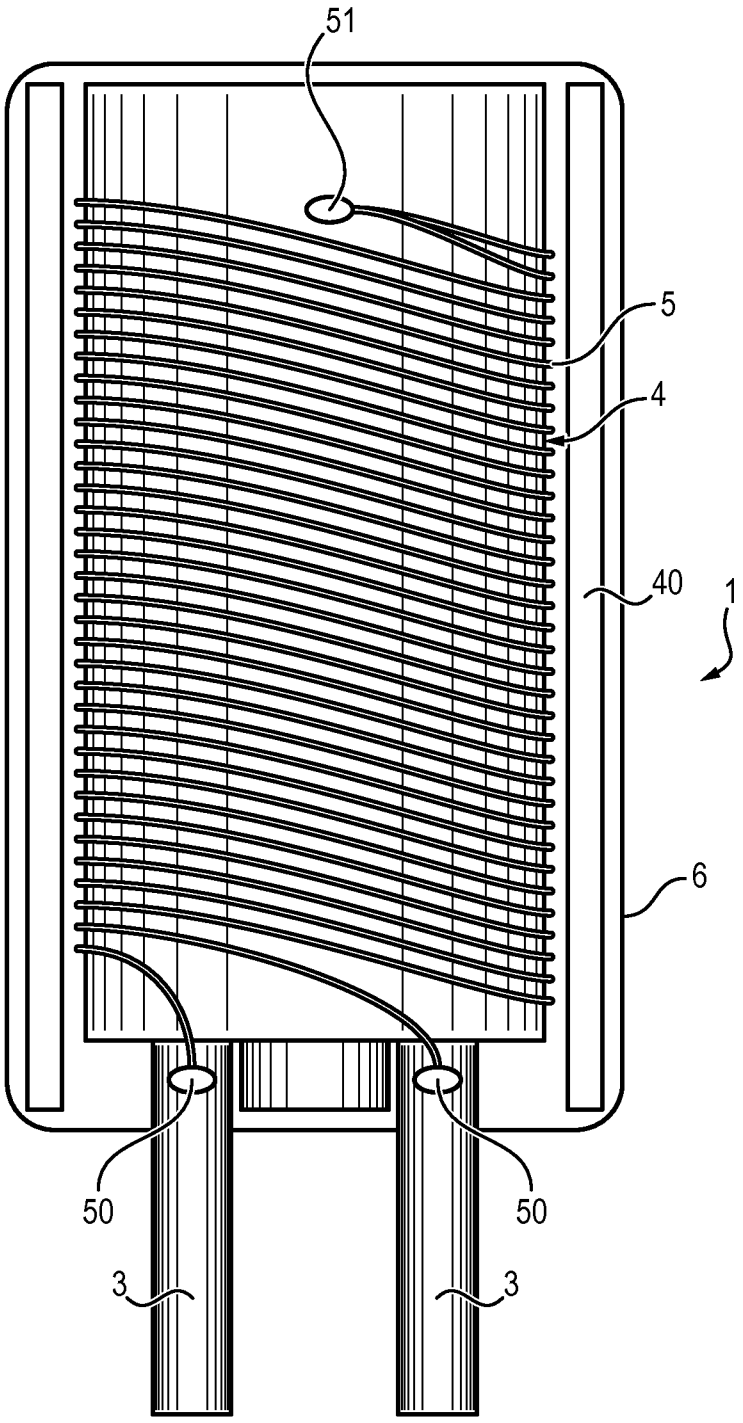


FIG. 7

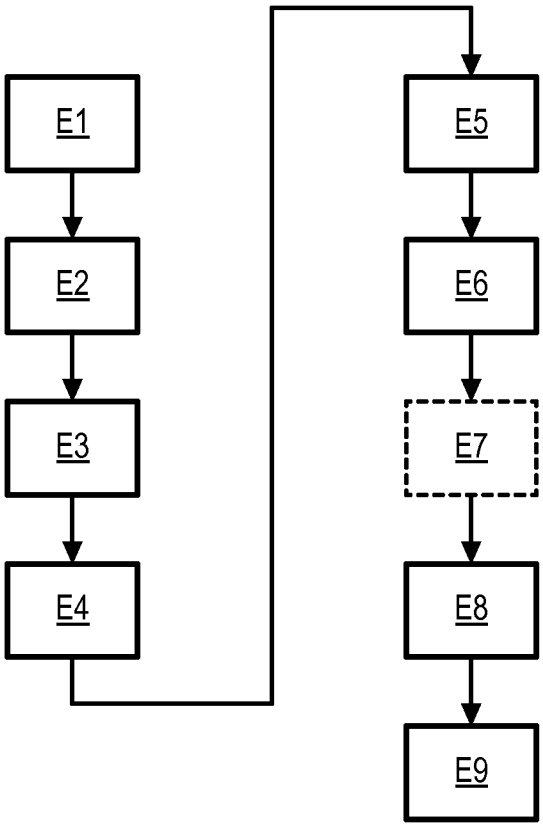


FIG. 8

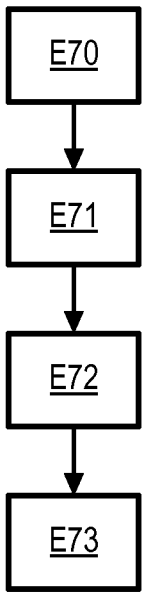


FIG. 9a

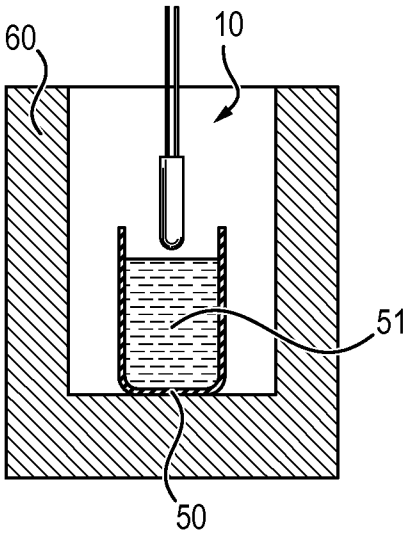


FIG. 9b

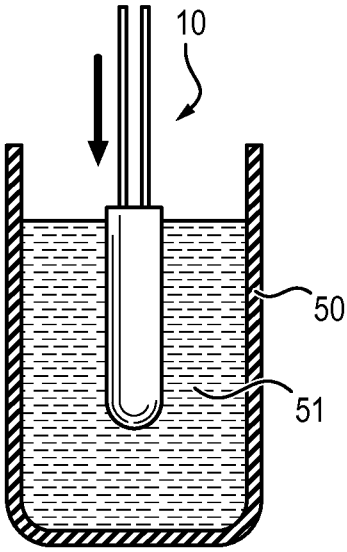


FIG. 9c

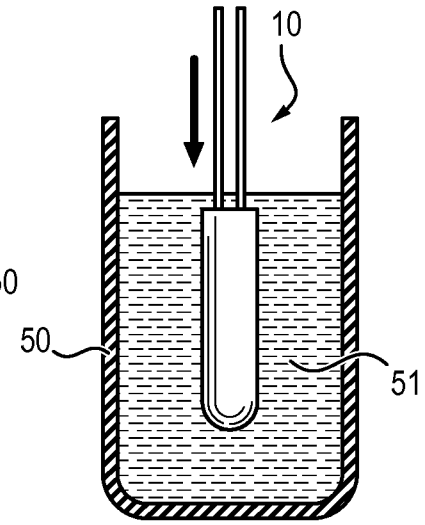


FIG. 9d

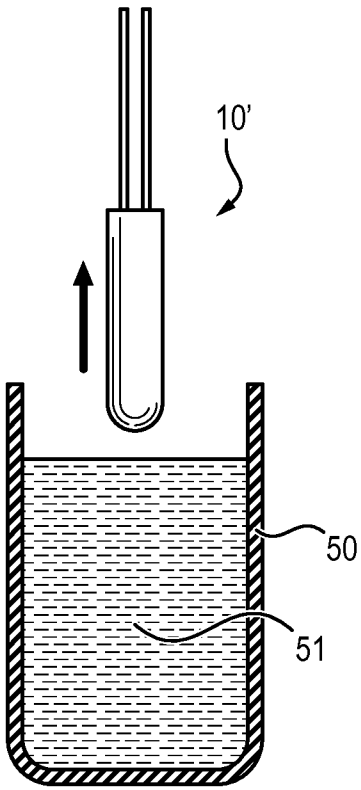
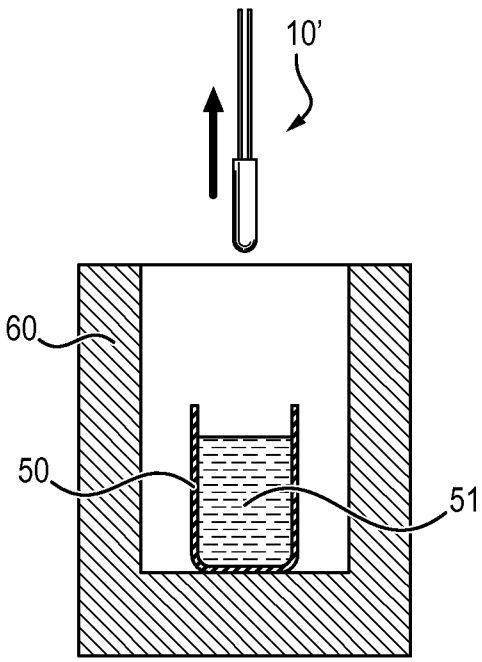


FIG. 9e



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/055583

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01F1/69 G01K1/08 G01K7/16 G01K13/02 H01C1/028 H01B3/08
ADD.
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01F G01K H01C H01B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 332 110 A2 (SNOW BRAND MILK PROD CO LTD [JP]) 13 September 1989 (1989-09-13)	1,2,5-10
Y	the whole document	1-3,5,6

X	EP 0 447 295 A1 (MATERIEL & AUXILIAIRE [FR]) 18 September 1991 (1991-09-18)	10
Y	the whole document	1,2,5,6

X	FR 890 176 A (HERAEUS GMBH W C) 31 January 1944 (1944-01-31)	10
Y	the whole document	1,2,5,6

X	JP 5 216947 B1 (OKAZAKI MFG COMPANY) 19 June 2013 (2013-06-19)	10
Y	the whole document	1,3,5,6

	-/--	

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
29 June 2015	09/07/2015

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Roetsch, Patrice

2

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/055583

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2005 045175 A (OIZUMI SEISAKUSHO KK) 17 February 2005 (2005-02-17) the whole document -----	1,2,6
A	FR 2 822 542 A1 (DENSO CORP [JP]) 27 September 2002 (2002-09-27) the whole document -----	10

2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2015/055583

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0332110 A2	13-09-1989	CA 1333754 C	03-01-1995
		DE 68925829 D1	11-04-1996
		DE 68925829 T2	31-10-1996
		EP 0332110 A2	13-09-1989
		US 4947678 A	14-08-1990
EP 0447295 A1	18-09-1991	DE 69103556 D1	29-09-1994
		DE 69103556 T2	20-04-1995
		EP 0447295 A1	18-09-1991
		FR 2659445 A1	13-09-1991
		US 5161894 A	10-11-1992
FR 890176 A	31-01-1944		
JP 5216947 B1	19-06-2013	JP 5216947 B1	19-06-2013
		WO 2014061069 A1	24-04-2014
JP 2005045175 A	17-02-2005	JP 3831906 B2	11-10-2006
		JP 2005045175 A	17-02-2005
FR 2822542 A1	27-09-2002	DE 10212908 A1	14-11-2002
		FR 2822542 A1	27-09-2002
		JP 2002289407 A	04-10-2002
		US 2002172258 A1	21-11-2002

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2015/055583

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. G01F1/69 G01K1/08 G01K7/16 G01K13/02 H01C1/028
H01B3/08
ADD.
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
G01F G01K H01C H01B

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	EP 0 332 110 A2 (SNOW BRAND MILK PROD CO LTD [JP]) 13 septembre 1989 (1989-09-13)	1,2,5-10
Y	le document en entier	1-3,5,6

X	EP 0 447 295 A1 (MATERIEL & AUXILIAIRE [FR]) 18 septembre 1991 (1991-09-18)	10
Y	le document en entier	1,2,5,6

X	FR 890 176 A (HERAEUS GMBH W C) 31 janvier 1944 (1944-01-31)	10
Y	le document en entier	1,2,5,6

X	JP 5 216947 B1 (OKAZAKI MFG COMPANY) 19 juin 2013 (2013-06-19)	10
Y	le document en entier	1,3,5,6

	-/--	

[X] Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

[X] Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée
"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
29 juin 2015	09/07/2015

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Roetsch, Patrice

2

Formulaire PCT/ISA/210 (deuxième feuille) (avril 2005)

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2015/055583

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	JP 2005 045175 A (OIZUMI SEISAKUSHO KK) 17 février 2005 (2005-02-17) le document en entier -----	1,2,6
A	FR 2 822 542 A1 (DENSO CORP [JP]) 27 septembre 2002 (2002-09-27) le document en entier -----	10

2

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°
PCT/EP2015/055583

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0332110 A2	13-09-1989	CA 1333754 C	03-01-1995
		DE 68925829 D1	11-04-1996
		DE 68925829 T2	31-10-1996
		EP 0332110 A2	13-09-1989
		US 4947678 A	14-08-1990
EP 0447295 A1	18-09-1991	DE 69103556 D1	29-09-1994
		DE 69103556 T2	20-04-1995
		EP 0447295 A1	18-09-1991
		FR 2659445 A1	13-09-1991
		US 5161894 A	10-11-1992
FR 890176 A	31-01-1944	---	
JP 5216947 B1	19-06-2013	JP 5216947 B1	19-06-2013
		WO 2014061069 A1	24-04-2014
JP 2005045175 A	17-02-2005	JP 3831906 B2	11-10-2006
		JP 2005045175 A	17-02-2005
FR 2822542 A1	27-09-2002	DE 10212908 A1	14-11-2002
		FR 2822542 A1	27-09-2002
		JP 2002289407 A	04-10-2002
		US 2002172258 A1	21-11-2002