



(43) Date de la publication internationale
31 août 2017 (31.08.2017)

(51) Classification internationale des brevets :
G01K 13/00 (2006.01) *G01K 17/20* (2006.01)
G01K 17/06 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2017/054083

(22) Date de dépôt international :
22 février 2017 (22.02.2017)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1651535 24 février 2016 (24.02.2016) FR

(71) Déposant : UNIVERSITE D'ARTOIS [FR/FR]; 9 rue du
Temple, 62000 Arras (FR).

(72) Inventeurs : CHARTIER, Thierry; 61, rue de Dieval,
62150 Bajus (FR). CARPENTIER, Olivier; 530, rue du
Grand Chemin, 62350 Calonne-sur-la-Lys (FR).

(74) Mandataire : CABINET NONY; 11 rue Saint-Georges,
75009 Paris (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, DJ, 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, KH, KN,
KP, KR, KW, 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,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : HEAT FLOW METER

(54) Titre : FLUXMÈTRE THERMIQUE

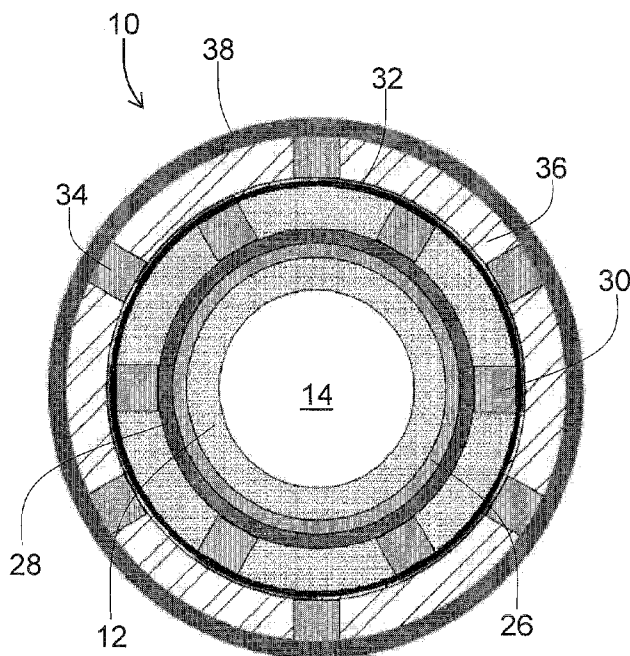


Fig. 1

(57) Abstract : The invention relates to a heat flow meter (10) with thermocouples, comprising a continuous strip (32) of a first electrically conductive or semiconductive material, at least one of the faces thereof, preferably the radially outer face, being covered with a series of zones that are separated from one another and formed by a second electrically conductive or semiconductive material having a different thermoelectric power than that of the first material, said strip (32) extending in the form of a helix.

(57) Abrégé : La présente invention se rapporte à un fluxmètre thermique (10) à thermocouples, comportant une bande (32) continue en une première matière conductrice ou semi-conductrice de l'électricité recouverte sur au moins une de ses faces, de préférence sur sa face radialement externe, par une succession de zones, séparées les unes des autres et constituées par une seconde matière conductrice ou semi-conductrice de l'électricité ayant un pouvoir thermoélectrique différent de celui de la première matière, la bande (32) s'étendant en forme d'hélice.

WO 2017/144545 A1



DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, **Publiée :**

LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE,
SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,
GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

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

FLUXMÈTRE THERMIQUE

La présente invention se rapporte à un fluxmètre thermique (ou sonde fluxmétrique), pouvant notamment, mais non exclusivement, être mis en œuvre en thermothérapie.

Un fluxmètre consiste généralement en une association de thermocouples avec une structuration en jonctions froides et chaudes. Le principe à base d'un tel fluxmètre est que le transfert de chaleur à travers un thermocouple crée une force électromotrice (fém), par effets thermoélectriques, notamment par effet Seebeck.

Il existe de nombreux types de fluxmètres, notamment le fluxmètre dit à gradient tangentiel.

Ce fluxmètre comprend essentiellement un support plan diélectrique, par exemple en kapton ou en céramique usinable, sur lequel sont formés des thermocouples reliés en série et en formant des mailles grecques (on parle de fluxmètre de type méandrique). Des cales ou plots de constriction thermique privilégient le passage du flux de chaleur dans chaque thermocouple, créant ainsi des gradients de température localisés, sources de signaux thermoélectriques représentatifs de flux de chaleur.

Un tel fluxmètre à gradient tangentiel est par exemple décrit dans le document WO-A-1984/002037.

L'absence de paroi auxiliaire dans ce type de fluxmètre permet d'en minimiser l'épaisseur, d'augmenter la présence relative de la partie métallique et donc de réduire le temps de réponse et d'en diminuer l'effet perturbateur lorsqu'il est positionné entre deux milieux soumis à un transfert de chaleur. Ce type de fluxmètre est cependant par principe très intrusif. La réduction de la plaque support pourrait être envisagée, mais elle induirait une réduction du nombre de thermocouples et donc une moins bonne précision de mesure du fluxmètre.

De plus, pour la détermination des propriétés thermophysiques telles que la conductivité et la diffusivité thermique de matériaux, son usage doit s'effectuer par paire. Ce principe de mesure implique que l'on doit soumettre l'échantillon à caractériser à un gradient de température.

Il existe donc un besoin pour un fluxmètre ne présentant pas les inconvénients susmentionnés.

À cette fin l'invention propose un fluxmètre thermique à thermocouples, comportant une bande continue en une première matière conductrice ou semi-conductrice de l'électricité recouverte sur au moins une de ses faces, de préférence sur sa face radialement externe, par une succession de zones, séparées les unes des autres et constituées par une seconde matière

conductrice ou semi-conductrice de l'électricité ayant un pouvoir thermoélectrique différent de celui de la première matière, la bande s'étendant en forme d'hélice.

Ainsi, avantageusement, le fluxmètre selon l'invention présente une forme générale à symétrie de révolution, notamment tronconique, conique, tubulaire ou cylindrique. De par cette symétrie de révolution, la détermination des propriétés thermophysiques d'un milieu est possible à l'aide d'un seul capteur. Cette géométrie axiale permet en effet d'utiliser un seul capteur afin de caractériser thermiquement le milieu ou suivre l'évolution de ses propriétés thermophysiques.

Par ailleurs, le fluxmètre thermique selon l'invention, de par sa forme générale, peut être inséré dans des milieux corrosifs, poinçonnant, sous pression, dans le sol, les organes, etc.

Le fluxmètre peut ainsi réaliser des mesures qu'un fluxmètre plan ne peut réaliser, par exemple dans un échantillon volumétrique. Le fluxmètre selon l'invention permet par exemple de contrôler la qualité de cuisson d'aliments entrant dans la composition de plats préparés pour la grande distribution, l'auscultation d'ouvrages d'art par le suivi des variations de leurs propriétés thermophysiques sous l'action de pathologies telles que la corrosion ou l'alcali-réaction, ou la mesure simples du rayonnement solaire thermique pour des applications en météorologie dédiée au bâtiment telles que la domotique liée à la régulation thermique de l'habitat.

Selon des modes de réalisation préférés, le fluxmètre thermique selon l'invention présente une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises seules ou en combinaison :

- le fluxmètre thermique comprend des cales de constriction thermique internes, disposées radialement à l'intérieur de la bande, et/ou des cales de constriction thermique externes, disposées radialement à l'extérieur de la bande ;

- les cales de constriction thermique internes sont équiréparties angulairement, les cales de constriction thermique externes sont équiréparties angulairement, et les cales de constriction thermique internes et externes sont décalées angulairement, chaque cale de constriction thermique interne, respectivement externe, étant de préférence située angulairement au milieu de deux cales de constriction thermique externes, respectivement internes, successives ;

- le fluxmètre thermique comporte en outre une source de chaleur, de préférence réglable ;

- la source de chaleur comporte un fil résistif, apte à être relié à un générateur électrique ;

- le fluxmètre thermique comporte en outre un ruban d'homogénéisation du transfert de la chaleur créée par le fil résistif, enroulé radialement à l'extérieur du fil résistif ;

- le fluxmètre thermique comporte un régulateur, notamment un régulateur PID, apte à réguler la consigne de la source de chaleur en fonction d'une température et/ou d'un flux thermique mesuré(e)(s) ;

5 - le fluxmètre thermique comporte en outre un enrobage en matériau isolant électrique, par exemple en résine époxy, autour de la bande et/ou des cales de constriction thermique internes et/ou externes et/ou du fil résistif de la source de chaleur et/ou du ruban d'homogénéisation du transfert de la chaleur créée par le fil résistif ;

10 - le fluxmètre thermique comprend un support, notamment tubulaire ou plein, avec de préférence une rainure hélicoïdale sur sa surface radialement externe, destinée à recevoir le fil résistif de la source de chaleur et/ou le ruban d'homogénéisation du transfert de la chaleur créée par le fil résistif, le cas échéant, et/ou l'enrobage en matériau isolant électrique ;

- le support présente une ou des rainures longitudinales pour recevoir les cales de constriction thermique internes et/ou l'enrobage en matériau isolant électrique ;

15 - le fluxmètre thermique comprend une paroi extérieure tubulaire, de préférence cylindrique ;

- le fluxmètre thermique comporte en outre au moins un capteur de température, notamment :

- 20
- un capteur de température disposé à l'intérieur de la paroi extérieure tubulaire, notamment au contact de la paroi extérieure tubulaire, et/ou
 - un capteur de température disposé au voisinage de la source de chaleur, et/ou
 - un capteur de température disposé à l'intérieur du support, notamment quand le support est creux.

25 Selon un autre aspect, l'invention se rapporte à un procédé de fabrication d'un fluxmètre thermique, en particulier d'un fluxmètre thermique tel que décrit ci-avant dans toutes ses combinaisons, comprenant les étapes consistant à :

- 30
- bobiner une bande d'une première matière conductrice ou semi-conductrice de l'électricité en forme d'hélice,
 - recouvrir une succession de zones, séparées les unes des autres, de la bande, avec une seconde matière conductrice ou semi-conductrice de l'électricité ayant un pouvoir thermoélectrique différent de celui de la première matière, par exemple par dépôts localisés sur la bande, de la seconde matière.

De préférence, le procédé selon l'invention comprend en outre au moins une des étapes suivantes, consistant à :

- fournir un support présentant de préférence une rainure hélicoïdale et/ou une pluralité de rainures longitudinales, la bande étant ensuite bobinée autour du support, dans la rainure hélicoïdale le cas échéant,

- bobiner un fil résistif sur le support, dans la rainure hélicoïdale le cas échéant,

5 - bobiner un ruban en matériau conducteur de la chaleur, radialement à l'extérieur du fil résistif, dans la rainure hélicoïdale le cas échéant,

- mettre en place des cales de constriction thermique internes, dans au moins certaines des rainures longitudinales le cas échéant,

- enrober de résine et/ou de colle,

10 - mettre en place des cales de constriction thermique externes, et

- fermer le fluxmètre par insertion dans un tube externe.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple illustratif et non limitatif, en regard des dessins sur lesquels :

15 - la figure 1 représente schématiquement une section transversale d'un exemple de fluxmètre thermique ;

- la figure 2 représente schématiquement en perspective un support pouvant être mis en œuvre dans le fluxmètre thermique de la figure 1 ;

- la figure 3 représente un ordinogramme d'un exemple de procédé de fabrication à l'aide du fluxmètre de la figure 1.

20 La figure 1 illustre schématiquement une section transversale d'un fluxmètre thermique 10.

Le fluxmètre thermique 10 de la figure 1 comporte tout d'abord un support 12, représenté en perspective sur la figure 2.

25 Le support 12 est de préférence tubulaire, présentant un espace central 14 cylindrique, creux. Cependant, selon une variante non illustrée, le support 12 est plein.

Le support 12 est par exemple réalisé en matériau plastique, notamment en PVC.

Le support 12 présente ici un diamètre extérieur inférieur à 2 cm, notamment égal à 1 cm, et une longueur comprise entre 5 et 15 cm, par exemple égale à 10 cm.

30 Comme cela est visible sur la figure 2 notamment, le support 12 présente sur un premier tronçon 16, une rainure hélicoïdale 18 et une pluralité de rainures longitudinales 20. La rainure hélicoïdale 18 est réalisée sur une hauteur d'environ 5 cm du support 12.

35 Les rainures hélicoïdales 18 et longitudinales 20 sont, par exemple, réalisées par filetage. Les rainures longitudinales sont ici au nombre de douze. Sur un deuxième tronçon 22, le support 12 présente des dents 24, essentiellement destinées à faciliter l'organisation du câblage du fluxmètre thermique 10.

La rainure hélicoïdale 18 reçoit ici un fil résistif 26, recouvert sur son côté radialement externe par un ruban en cuivre 28, afin d'améliorer la sensibilité du fluxmètre. Selon une variante non illustrée, cependant, le fil résistif 26 n'est pas recouvert par un ruban en cuivre 28.

Le fil résistif 26 est destiné à être relié à un générateur électrique, par exemple un générateur de courant, pour former une source de chaleur. Un régulateur, notamment un régulateur PID, peut être prévu pour réguler la consigne de la source de chaleur en fonction d'une température et/ou d'un flux thermique mesuré(e)(s). Dans le cas de la thérapie, ce fil résistif peut avantageusement être mis en œuvre pour chauffer les tissus à traiter, notamment pour le cas de tumeurs.

Le ruban en cuivre 28, recouvrant le fil résistif 26 sur son côté radialement externe, permet d'homogénéiser le transfert de la chaleur créée par le fil résistif 26 traversé par un courant électrique.

Le support 12 reçoit également, dans certaines des rainures longitudinales 20, des cales de constriction thermique 30 dites internes. Ces cales de constriction thermique internes 30 sont reçues dans la moitié des rainures longitudinales 20. Les cales de constriction thermique internes 30 sont de préférence disposées dans une rainure longitudinale 20 sur deux, pour être équiréparties angulairement autour du support 12. Ces cales de constriction thermique internes 30 sont ici en laiton, mais elles peuvent être de toute nature susceptible de transférer la chaleur de manière adéquate. Elles sont ici de section carrée, mais d'autres formes de leur section sont possibles.

Les cales de constriction thermique internes 30, le fil résistif 26 et le ruban 28 disposé radialement à l'extérieur de ce fil résistif 26, sont noyés dans une résine époxy. Cette résine comble ainsi les espaces et interstices. Cette résine laisse cependant libre l'extrémité radialement externe des cales de constriction thermique internes 30, de sorte qu'il est formé une alternance en surface entre les cales de constriction thermique internes 30 et la résine, qui permet de modifier le transfert radial de chaleur, privilégiant la déviation du flux thermique dans les cales de constriction thermique internes 30. Le contraste des conductivités thermiques entre la résine époxy et les cales de constriction thermique internes 30 permet de favoriser le transfert d'énergie, autant que possible, via le chemin des conductivités les plus élevées du fluxmètre 10. On maximise ainsi le gradient tangentiel interne des thermocouples formés sur une bande de constantan 32 bobinée autour de la résine époxy, par dépôt sur la surface radialement externe de la bande de constantan 32 de dépôts de cuivre, la bande de constantan étant de préférence isolée des cales de constriction thermique internes 30 par la résine époxy. Les cales de constriction thermique internes 30 collectent en effet la chaleur diffusée par le ruban de cuivre et la concentre

au niveau de thermojonctions situées sur ou sous la bande de constantan 32. L'augmentation de la densité locale du flux au niveau de ces thermojonctions crée une jonction chaude sur la partie inférieure des thermocouples.

Les cales de constriction thermique internes 30 sont positionnées de telle sorte que leur extrémité radialement externe est sensiblement au même niveau radial que le sommet radialement externe des rainures longitudinales, de telle sorte que les cales de constriction thermique internes s'étendent sensiblement tangentielllement au sommet de ces rainures longitudinales.

Une autre rainure, d'une largeur par exemple d'1 mm, peut être réalisée, notamment par fraisage. Cette autre rainure permet de créer une réservation en vue de l'insertion d'un capteur de température noyé dans la résine époxy. Un capteur de température, disposé de la sorte, permet de surveiller la température du fil résistif 26 et, ainsi, d'en éviter la destruction.

La bande de constantan 32 est bobinée en hélice autour du support 12 et de la résine époxy. La bande de constantan 32 est isolée électriquement des cales de constriction thermique internes 30 par la résine époxy. La bande de constantan 32 peut être collée sur la résine époxy.

Par « bobinée en hélice », on entend que la bande de constantan 32 forme des tours (ou boucles) en s'étendant sur une certaine hauteur. Les tours sont de préférence identiques, de section circulaire, le bobinage étant alors hélicoïdal.

Le pas de l'enroulement est ici choisi égal à 0,5 mm, la bande de constantan 32 présentant une épaisseur de 0,2 à 0,3 mm. Ceci permet d'éviter un court-circuit pour un tour de la bande de constantan 32.

Sur la surface radialement externe de la bande de constantan 32, sont réalisés des dépôts séparés de cuivre, formant ainsi des thermocouples dits plaqués, l'ensemble des thermocouples réalisés en série formant une thermopile.

Il peut être prévu une couche d'isolant électrique sur la surface radialement externe du ruban de constantan fonctionnalisé, recouvrant les thermocouples.

Des cales de constriction thermique 34 sont prévues radialement à l'extérieur par rapport à la bande de constantan 32 et aux thermocouples, voire par rapport à la couche d'isolant, le cas échéant. Les cales de constriction thermique externes 34 sont équiréparties angulairement. En outre, l'écart angulaire entre les cales de constriction thermique internes et les cales de constriction thermique externes est ici homogène et optimisé, notamment maximisé. Telles qu'illustrées, les cales de constriction thermique externes 34 sont décalées angulairement par rapport aux zones de la bande de constantan recouvertes de cuivre.

Une couche de résine de type époxy 36 est coulée autour de l'ensemble et noie les cales de constriction thermique externes 34. Enfin, un chemisage du fluxmètre thermique 10 est

prévu au moyen d'un tube ou d'une douille 38, ici en cuivre. Le tube 38 joue le rôle de collecteur thermique tout en assurant une protection mécanique des différents éléments du fluxmètre thermique 10. Le tube 38 peut à son tour être recouvert d'une couche d'isolant électrique, notamment sous la forme d'un vernis, et/ou d'une couche d'agent de biocompatibilité et/ou antiadhésif, par exemple sous la forme d'une couche de polytétrafluoroéthylène (PTFE).

Le fluxmètre thermique 10 de la figure 1 peut notamment être réalisé en mettant en œuvre un procédé de fabrication 100 tel qu'illustré schématiquement à la figure 3.

Dans une première étape 102, on fournit un support 12 présentant une rainure hélicoïdale et/ou une pluralité de rainures longitudinales. Ce support 12 peut être réalisé par moulage, impression 3D, ou usinage de matériau plastique suivi si nécessaire d'une ou plusieurs étapes d'usinage, notamment de fraisage, pour former les rainures hélicoïdales et/ou longitudinales. L'extrémité du support peut également être percée ~~de deux trous~~ afin de faire revenir la bande de constantan dans l'autre sens que celui de son bobinage autour du support et ainsi assurer une connectique d'un seul côté du fluxmètre.

Puis, dans une étape 104, le fil résistif 26 est bobiné autour du support 12, de préférence dans la rainure hélicoïdale. L'extrémité du support 12 est de préférence percé, pour permettre le retour du fil résistif et assurer une connectique d'un seul côté du support 12.

Ensuite, à une étape 106, un ruban de cuivre est bobiné radialement à l'extérieur du fil résistif 26, de préférence dans la rainure hélicoïdale du support, pour homogénéiser le transfert de la chaleur créée par le fil résistif 26.

Dans une étape successive 108, les cales de constriction thermique internes 30 sont mises en place et, de préférence, collées, dans au moins certaines des rainures longitudinales formées dans le support, notamment dans une rainure longitudinale sur deux.

À l'étape 110 immédiatement ultérieure, l'ensemble ainsi formé est noyé dans une résine époxy.

Une fois déposé le matériau d'enrobage que constitue la résine époxy, ce matériau d'enrobage peut être usiné afin d'obtenir une forme générale cylindrique. Un ponçage peut être effectué. Également, un fraisage peut être effectué dans la résine pour créer une réservation en vue de l'insertion d'un capteur de température.

Le procédé de fabrication du fluxmètre comprend alors une étape 112 consistant à bobiner la bande de constantan autour de la résine époxy, la bande de constantan pouvant être collée sur la résine. Pour ce faire, l'ensemble noyé dans la résine époxy peut être enduit d'adhésif, la bande de constantan étant bobiné autour de l'ensemble noyé. De préférence, une extrémité de la bande de constantan traverse le support 12 pour revenir par l'intérieur du support à l'extrémité où le bobinage débute.

La bande de constantan peut alors être poncée et/ou dégraissée pour préparer l'étape de fonctionnalisation, notamment quand cette étape de fonctionnalisation est réalisée par électrodéposition.

Une étape d'isolation électrique peut également être prévue à ce stade, notamment si la colle utilisée pour coller la bande de constantan conduit l'électricité.

La bande de constantan est ensuite, à l'étape 114, fonctionnalisée par dépôt de cuivre formant une succession de zones recouvertes de cuivre, séparées les unes des autres sur la bande de constantan. Pour ce faire, la sonde peut être étanchéifiée à ses extrémités. L'électrodéposition de cuivre est réalisée pour obtenir l'épaisseur de cuivre voulue. Puis des masques sont disposés périodiquement sur des portions de la bande et une attaque chimique du cuivre non masqué est réalisée. Les masques sont alors retirés. La sonde peut alors être plongée dans un bain qui dissout la colle des masques sans dégrader le ruban fonctionnalisé, ni le reste de la sonde.

En variante, seules les zones à ne pas revêtir de cuivre du ruban de constantan sont masquées, le cuivre étant électrodéposé sur les zones non masquées. Cette deuxième solution peut être complétée par un retrait des masques et un nettoyage mécanique et chimique pour finaliser la thermopile.

À l'étape 116 ultérieure, les cales de constriction thermique externes sont mises en place.

À l'étape 118, on noie les cales de constriction thermique externes dans une résine de type époxy pour redonner une forme sensiblement cylindrique au sous-ensemble obtenu. Un usinage de la couche de résine époxy peut être prévu pour donner lui donner une forme sensiblement cylindrique. De plus, un ponçage de la couche de résine peut être prévu.

On procède alors, à une étape 120, à la fermeture du fluxmètre en insérant le sous-ensemble obtenu à l'étape 118 dans un tube externe en cuivre. Le tube externe peut préalablement avoir été soumis à un traitement de surface. Il peut notamment avoir été recouvert d'un vernis pour créer une isolation électrique, améliorer sa conduction thermique et/ou le rendre biocompatible. D'autres fonctionnalisations du tube à l'aide d'un traitement de surface sont possibles, en fonction de l'application envisagée du fluxmètre.

Le tube est de préférence fermé à une extrémité, notamment par un élément de forme conique pour faciliter l'insertion de la sonde dans un milieu à tester.

La conception du fluxmètre permet la détermination des propriétés thermophysiques d'un milieu telles que la conductivité, la diffusivité et l'effusivité thermique. La connaissance de ces propriétés peut servir à alimenter des modèles mathématiques et/ou à observer ou anticiper des changements de flux de chaleur au sein d'un matériau. La mesure de flux permet d'anticiper la variation de température et/ou de la réguler plus finement. La connaissance d'un flux de

chaleur permet par exemple avec un dispositif d'asservissement, par exemple un régulateur PID, de ne pas dépasser une température de consigne.

La présente invention n'est pas limitée à l'exemple décrit ci-avant, mais est susceptible de nombreuses variantes accessibles à l'homme de l'art.

5 Tout d'abord, les matériaux indiqués dans la description qui précède ne sont donnés qu'à titre illustratif. Notamment, les thermocouples peuvent être réalisés par toute bande d'une première matière conductrice ou semi-conductrice de l'électricité, recouverte sur au moins une de ses faces par une succession de zones, séparées les unes des autres et constituées par une seconde matière conductrice ou semi-conductrice de l'électricité ayant un pouvoir
10 thermoélectrique différent de celui de la première matière.

En outre, la présence d'un fil résistif pour former une source de chaleur interne au fluxmètre peut être particulièrement avantageuse dans certaines applications. Ainsi, notamment, il peut permettre de mettre en œuvre le fluxmètre comme sonde de thérapie. La source de chaleur peut cependant prendre d'autres formes. Notamment, un laser ou une microcirculation
15 d'eau chaude peuvent être mis en œuvre comme source de chaleur.

Le ruban de constantan, fonctionnalisé, peut également être mis en œuvre comme source de chaleur.

En outre, dans d'autres applications, il peut être préféré d'avoir une source de chaleur séparée, distante du fluxmètre. Dans ce cas, le fluxmètre peut ne pas comporter un fil résistif, ni
20 un fil recouvrant ce fil résistif pour homogénéiser le transfert de la chaleur créée par ce fil résistif.

Enfin, le fluxmètre peut comporter, en sus ou à la place du capteur dédié à la mesure de la température du fil résistif :

- un capteur de température disposé sous la douille 38, de préférence au contact de
25 cette douille 38, pour permettre une détermination de la température du milieu dans laquelle la sonde est plongée, sans perturber le milieu ; et/ou

- un capteur de température disposé au centre de support 12, notamment dans l'espace central 14 cylindrique creux, dans le but de vérifier le comportement théorique de la sonde et/ou son fonctionnement correct.

REVENDICATIONS

1. Fluxmètre thermique (10) à thermocouples, comportant une bande (32) continue en une première matière conductrice ou semi-conductrice de l'électricité recouverte sur au moins une de ses faces, de préférence sur sa face radialement externe, par une succession de zones, séparées les unes des autres et constituées par une seconde matière conductrice ou semi-conductrice de l'électricité ayant un pouvoir thermoélectrique différent de celui de la première matière, la bande (32) s'étendant en forme d'hélice.

2. Fluxmètre thermique selon la revendication 1, comprenant des cales de constriction thermique internes (30), disposées radialement à l'intérieur de la bande (32), et/ou des cales de constriction thermique externes (34), disposées radialement à l'extérieur de la bande (32).

3. Fluxmètre thermique selon la revendication 2, dans lequel les cales de constriction thermique internes (30) sont équiréparties angulairement, les cales de constriction thermique externes (34) sont équiréparties angulairement, et les cales de constriction thermique internes (30) et externes (34) sont décalées angulairement, chaque cale de constriction thermique interne (30), respectivement externe (34), étant de préférence située angulairement au milieu de deux cales de constriction thermique externes (34), respectivement internes (30), successives.

4. Fluxmètre thermique selon l'une quelconque des revendications précédentes, comportant en outre une source de chaleur (26), de préférence réglable.

5. Fluxmètre thermique selon la revendication 4, dans lequel la source de chaleur comporte un fil résistif (26), apte à être relié à un générateur électrique.

6. Fluxmètre thermique selon la revendication 5, comportant en outre un ruban (28) d'homogénéisation du transfert de la chaleur créée par le fil résistif (26), enroulé radialement à l'extérieur du fil résistif (26).

7. Fluxmètre thermique selon l'une des revendications 4 à 6, comportant un régulateur, notamment un régulateur PID, apte à réguler la consigne de la source de chaleur (26) en fonction d'une température et/ou d'un flux thermique mesuré(e)(s).

8. Fluxmètre thermique selon la revendication précédente, comportant en outre un enrobage (36) en matériau isolant électrique, par exemple en résine époxy, autour de la bande (30) et/ou des cales de constriction thermique internes (30) et/ou externes (34) et/ou du fil résistif (26) de la source de chaleur et/ou du ruban (28) d'homogénéisation du transfert de la chaleur créée par le fil résistif (26).

9. Fluxmètre thermique selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant un support (12), notamment tubulaire ou plein, avec de préférence une rainure hélicoïdale (18) sur sa surface radialement externe, destinée à recevoir le fil résistif (26) de la source de chaleur et/ou le ruban (28) d'homogénéisation du transfert de la chaleur créée par le fil résistif (26), le cas échéant, et/ou l'enrobage (36) en matériau isolant électrique.

10. Fluxmètre thermique selon la revendication 9, dans lequel le support (12) présente une ou des rainures longitudinales (20) pour recevoir les cales de constriction thermique internes (30) et/ou l'enrobage (36) en matériau isolant électrique.

11. Fluxmètre thermique selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant une paroi extérieure tubulaire (38), de préférence cylindrique.

12. Fluxmètre thermique selon l'une quelconque des revendications précédentes, comportant en outre au moins un capteur de température, notamment :

- un capteur de température disposé à l'intérieur de la paroi extérieure tubulaire (38), notamment au contact de la paroi extérieure tubulaire, et/ou
- un capteur de température disposé au voisinage de la source de chaleur (26), et/ou
- un capteur de température disposé à l'intérieur du support (12), notamment quand le support (12) est creux.

13. Procédé de fabrication d'un fluxmètre thermique, en particulier d'un fluxmètre thermique selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant les étapes consistant à :

- bobiner (112) une bande (32) d'une première matière conductrice ou semi-conductrice de l'électricité en forme d'hélice,
- recouvrir (114) une succession de zones, séparées les unes des autres, de la bande (32), avec une seconde matière conductrice ou semi-conductrice de l'électricité ayant un pouvoir thermoélectrique différent de celui de la première matière, par exemple par dépôts localisés sur la bande (32), de la seconde matière.

14. Procédé de fabrication d'un fluxmètre thermique selon la revendication 13, comprenant en outre au moins une des étapes suivantes, consistant à :

- fournir (102) un support (12) présentant de préférence une rainure hélicoïdale (18) et/ou une pluralité de rainures longitudinales (20), la bande (32) étant ensuite bobinée autour du support (12), dans la rainure hélicoïdale (18) le cas échéant,

- bobiner (104) un fil résistif (26) sur le support (12), dans la rainure hélicoïdale (18) le cas échéant,

- bobiner (106) un ruban (28) en matériau conducteur de la chaleur, radialement à l'extérieur du fil résistif (26), dans la rainure hélicoïdale (18) le cas échéant,

5 - mettre en place (108) des cales de constriction thermique internes (34), dans au moins certaines des rainures longitudinales (20) le cas échéant,

- enrober (110) de résine et/ou de colle,

- mettre en place (116) des cales de constriction thermique externes (34), et

- fermer (120) le fluxmètre par insertion dans un tube externe (38).

1/2

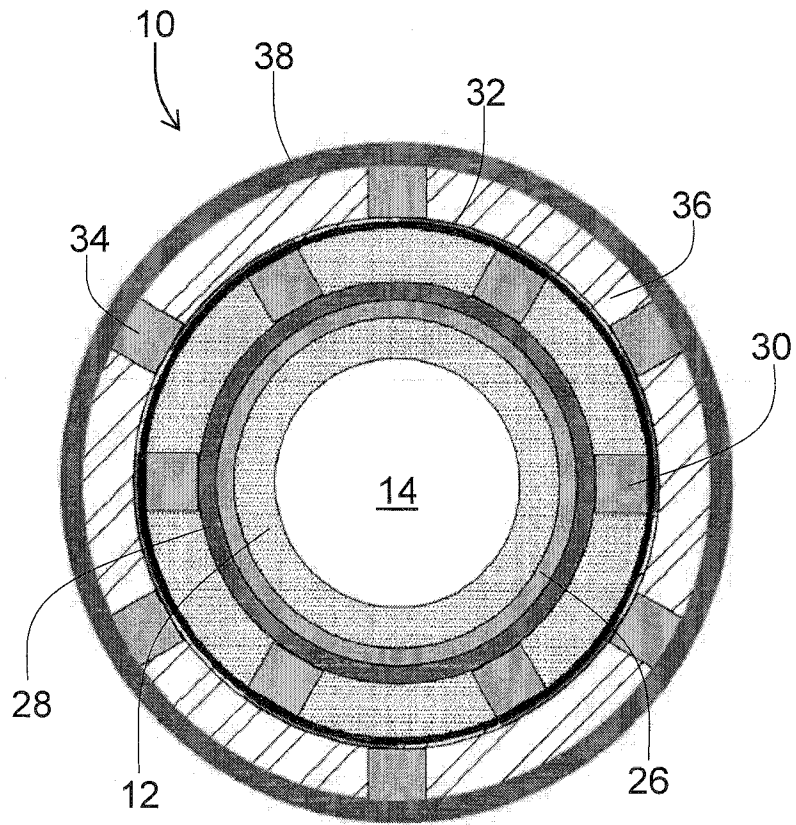


Fig. 1

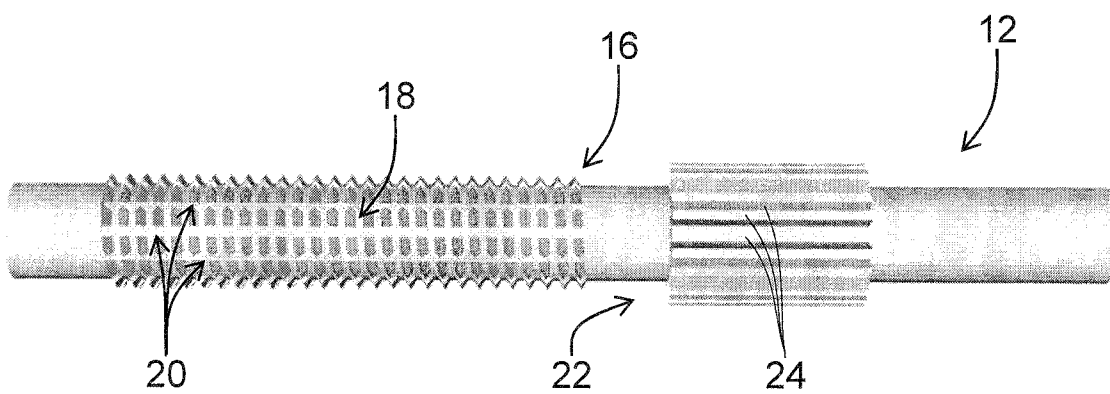
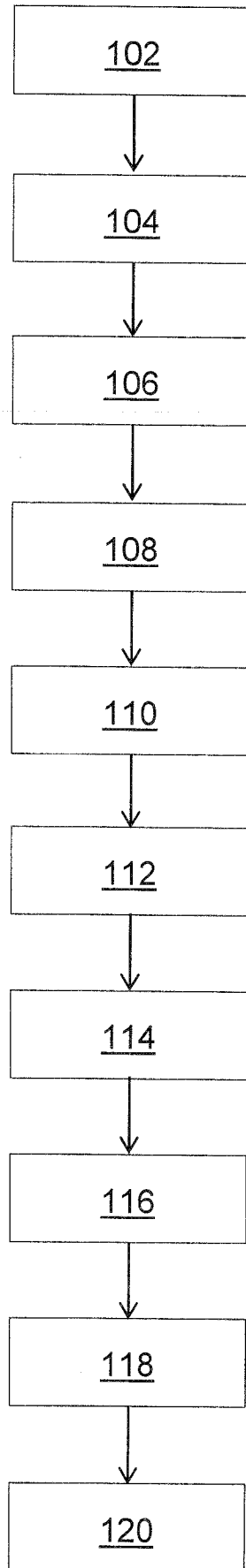


Fig. 2

2/2

100
↓Fig. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/054083

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G01K13/00 G01K17/06 G01K17/20
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)
G01K

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	FR 1 452 745 A (CENTRE NAT RECH SCIENT) 15 April 1966 (1966-04-15) pages 2-3; figures 1-2 -----	1-14
A	US 2003/112846 A1 (MURTAGH RICHARD JAMES [US]) 19 June 2003 (2003-06-19) paragraphs [0010] - [0023]; figure 1 -----	1-14
A	EP 1 962 071 A2 (ROSEMOUNT AEROSPACE INC [US]) 27 August 2008 (2008-08-27) paragraphs [0027] - [0048]; figure 9 -----	1-14
A	US 2015/098488 A1 (WANG KE [US] ET AL) 9 April 2015 (2015-04-09) paragraphs [0032] - [0048]; figures 3,4A-4G -----	1-14



Further documents are listed in the continuation of Box C.



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

9 May 2017

Date of mailing of the international search report

18/05/2017

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Franché, Vincent

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/054083

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
FR 1452745	A	15-04-1966	NONE
US 2003112846	A1	19-06-2003	NONE
EP 1962071	A2	27-08-2008	AT 555371 T 15-05-2012 EP 1962071 A2 27-08-2008 EP 2354774 A2 10-08-2011 ES 2384809 T3 12-07-2012 JP 2008203260 A 04-09-2008 JP 2012183587 A 27-09-2012 US 2008198900 A1 21-08-2008
US 2015098488	A1	09-04-2015	AU 2014392615 A1 24-11-2016 CA 2946393 A1 05-11-2015 US 2015098488 A1 09-04-2015 WO 2015167612 A1 05-11-2015

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2017/054083

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G01K13/00 G01K17/06 G01K17/20 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) G01K		
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		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	FR 1 452 745 A (CENTRE NAT RECH SCIENT) 15 avril 1966 (1966-04-15) pages 2-3; figures 1-2 -----	1-14
A	US 2003/112846 A1 (MURTAGH RICHARD JAMES [US]) 19 juin 2003 (2003-06-19) alinéas [0010] - [0023]; figure 1 -----	1-14
A	EP 1 962 071 A2 (ROSEMOUNT AEROSPACE INC [US]) 27 août 2008 (2008-08-27) alinéas [0027] - [0048]; figure 9 -----	1-14
A	US 2015/098488 A1 (WANG KE [US] ET AL) 9 avril 2015 (2015-04-09) alinéas [0032] - [0048]; figures 3,4A-4G -----	1-14
☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ 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 9 mai 2017		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 18/05/2017
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Franche, Vincent

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2017/054083

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 1452745	A	15-04-1966	AUCUN	
US 2003112846	A1	19-06-2003	AUCUN	
EP 1962071	A2	27-08-2008	AT 555371 T	15-05-2012
			EP 1962071 A2	27-08-2008
			EP 2354774 A2	10-08-2011
			ES 2384809 T3	12-07-2012
			JP 2008203260 A	04-09-2008
			JP 2012183587 A	27-09-2012
			US 2008198900 A1	21-08-2008
US 2015098488	A1	09-04-2015	AU 2014392615 A1	24-11-2016
			CA 2946393 A1	05-11-2015
			US 2015098488 A1	09-04-2015
			WO 2015167612 A1	05-11-2015