

(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  
20 octobre 2011 (20.10.2011)

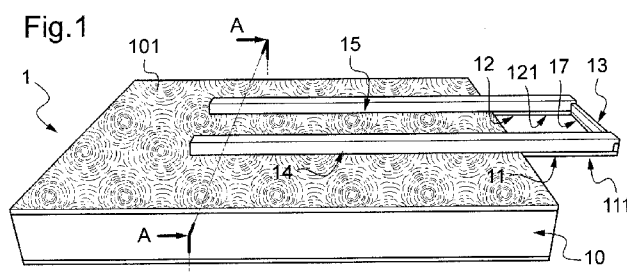
PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2011/128828 A1**

- (51) Classification internationale des brevets :  
G01P 5/12 (2006.01) G01F 1/684 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/IB2011/051546
- (22) Date de dépôt international :  
11 avril 2011 (11.04.2011)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :  
1001523 12 avril 2010 (12.04.2010) FR
- (71) Déposants (pour tous les États désignés sauf US) :  
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE [FR/FR]; 3 rue Michel Ange, F-75016 Paris (FR). ECOLE CENTRALE DE LILLE [FR/FR]; Cité Scientifique, BP 48, F-59651 Villeneuve D'ascq Cedex (FR).
- (72) Inventeurs; et
- (75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **PERNOD, Philippe Jacques** [FR/FR]; Résidence Parc du Château Blanc, 135 rue du Fb. de Roubaix, F-59800 Lille (FR). **GIMENO MONGE, Leticia** [FR/FR]; 7 bis Bd. Louis XIV, F-59800 Lille (FR). **TALBI, Abdelkrim** [FR/FR]; 13 rue des Gantois, F-59110 La Madeleine (FR). **MERLEN, Alain** [FR/FR]; 61 avenue Kennedy, F-59000 Lille (FR). **VIARD, Romain Victor Jean** [FR/FR]; 10 rue Négrier, F-59000 Lille (FR). **MORTET, Vincent** [FR/BE]; Herbert Hooverplein 5/3, B-3000 Leuven (BE). **SOLTANI, Ali** [FR/FR]; 13 rue du Dr. Schweitzer,
- F-59491 Villeneuve D'ascq (FR). **PREOBRAZHENSKY, Vladimir** [RU/FR]; 201 Bd. de Valmy, F-59650 Villeneuve D'ascq (FR).
- (74) Mandataires : **PRIORI Enrico** et al.; Cabinet Ores, 36 rue de St Pétersbourg, F-75008 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, 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, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Publiée :  
— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(54) Title : HOT-WIRE SENSOR OF SUBMILLIMETER SIZE AND ASSOCIATED METHOD OF PRODUCTION

(54) Titre : CAPTEUR A FIL CHAUD DE TAILLE SUBMILLIMÉTRIQUE ET PROCÉDE DE RÉALISATION ASSOCIÉ



(57) Abstract : The invention relates to a submillimetre-sized hot-wire sensor (1) comprising a substrate (10), two support rods (11, 12), a metal wire (13) extending between the two ends of the support rods (11, 12) and electrical contacts (14, 15) disposed on the support rods, said contacts each being linked to one of the ends of the wire (13). The metal wire comprises at least two layers of metal materials, one of said layers being made of a material exhibiting a residual stress under tension and the other layer being made of a material exhibiting a residual stress under compression. The thicknesses of these metal layers are adapted so as to compensate the residual stresses between the various layers.

(57) Abrégé : L'invention concerne un capteur (1) à fil chaud de taille submillimétrique qui comprend un substrat (10), deux tiges support (11, 12), un fil métallique (13) s'étendant entre les deux extrémités des tiges support (11, 12) et des contacts électriques (14, 15) disposés sur les tiges supports, lesdits contacts étant chacun reliés à l'une des extrémités du fil (13). Le fil métallique comprend au moins deux couches de matériaux métalliques, dont l'une est réalisée en un matériau présentant une contrainte résiduelle en tension et dont l'autre est réalisée en un matériau présentant une contrainte résiduelle en compression. Les épaisseurs de ces couches de métal étant adaptées pour compenser les contraintes résiduelles entre les différents couches.



WO 2011/128828 A1

## CAPTEUR A FIL CHAUD DE TAILLE SUBMILLIMETRIQUE ET PROCEDE DE REALISATION ASSOCIE

La présente invention se rapporte au domaine des capteurs à  
5 fil chaud de taille submillimétrique.

D'une façon générale, les fils chauds sont utilisés pour effectuer des mesures de vitesse (anémomètre), de frottement pariétal ou de pression au sein d'un écoulement.

Les exemplaires commerciaux ont habituellement des  
10 longueurs millimétriques et des diamètres de l'ordre de quelques microns (5 microns par exemple). Diminuer la taille de ces capteurs, en particulier leur longueur, permettrait de diminuer la perturbation de l'écoulement, d'augmenter la résolution spatiale de la mesure et, de pouvoir effectuer des mesures dans des zones confinées (intérieur d'un orifice par exemple ou en  
15 microfluidique).

La majorité des capteurs à fils chauds sont actuellement réalisés par des techniques de fabrication traditionnelles.

Toutefois, récemment, l'utilisation des technologies de microfabrication MEMS (signifiant « Micro Electro Mechanical Systems »  
20 selon la terminologie anglo-saxonne) pour la réalisation de capteurs à fil chaud miniaturisés a été proposée.

Un objectif poursuivi par l'utilisation de ces technologies de microfabrication est la réalisation de séries de capteurs implantés en surface de structures (maquette d'aile d'avion par exemple) dans le but de fournir des  
25 informations sur l'écoulement en proche paroi. Un autre objectif poursuivi par ces technologies est l'utilisation de ces capteurs pour effectuer une commande en boucle fermée d'actionneurs (également situés en paroi) dans le but de réaliser un contrôle actif de l'écoulement.

Un exemple d'un fil chaud de type MEMS est proposé dans  
30 l'article « Development and characterization of surface micromachined, out-of-plane hot-wire anemometer », Jack Chen & Chang Liu, Journal of

microelectromechanical systems, vol. 12 (6), December 2003 (D1) ou dans le brevet US 6, 923, 054 correspondant (D2) des mêmes auteurs.

Dans ces documents, le fil chaud de taille submillimétrique comprend un substrat en silicium, deux tiges support en polyimide, un fil  
5 métallique (fil chaud) de taille submillimétrique s'étendant entre les deux extrémités des tiges support, ce fil comprenant notamment une première couche de platine, une couche de Nickel et une deuxième couche de Platine.

Les deux tiges support s'étendent perpendiculairement par rapport à la face avant du substrat. A cet effet, les tiges support sont  
10 recourbées à angle droit par rapport au plan du substrat au cours du procédé de fabrication.

Le fil métallique est connecté à chacune de ses extrémités à des contacts métalliques en or montés sur les tiges en polyimide, par l'intermédiaire d'une couche d'accroche en Chrome.

15 Le fil métallique est également monté sur un élément de support mécanique additionnel, également en polyimide, qui s'étend entre les deux tiges support. Le maintien du fil métallique sur cet élément de maintien mécanique en polyimide s'effectue également par l'intermédiaire d'une couche de Chrome.

20 Les auteurs ont choisi le polyimide comme support pour le fil chaud car il s'agit d'un matériau faiblement conducteur de la chaleur, ce qui permet de minimiser les pertes indésirables à travers le support en polyimide et favorise l'obtention de mesures précises par la partie sensible du capteur (fil chaud).

25 La conception ainsi proposée dans ce document permet de réaliser des mesures de vitesse dépassant 5m/s, sans dégrader mécaniquement le capteur.

Ainsi, au niveau de la partie sensible du capteur, l'épaisseur du support en polyimide a été choisie de façon à résister à de telles vitesses.  
30 L'épaisseur du support en polyimide doit donc avoir une valeur minimale pour

assurer la fonction de tenue mécanique du fil chaud, ce dernier présentant une épaisseur faible, à savoir  $0,12\mu\text{m}$ .

Dans le même temps, l'épaisseur du support en polyimide ne doit pas non plus être trop importante car le polyimide apporterait alors une  
5 masse thermique trop importante, néfaste pour la réponse fréquentielle de l'anémomètre.

Dans le cas d'espèce, les auteurs ont retenu une épaisseur de polyimide d'environ  $2,7\mu\text{m}$  comme étant un compromis acceptable entre la tenue mécanique et la réponse fréquentielle de l'anémomètre (par exemple  
10 lors d'un changement de vitesse brutal de l'écoulement).

En effet, on note que l'épaisseur du support en polyimide ( $2,7\mu\text{m}$ ), largement supérieure à celle de la couche métallique formant fil chaud ( $0,12\mu\text{m}$ ), ne peut que difficilement évoluer.

En variante, le document D2 (mais pas le document D1)  
15 propose de supprimer le support en polyimide du fil chaud. Il envisage donc un capteur dont la partie sensible (fil chaud) est réalisée uniquement en métal, sans support en polyimide.

Selon cette variante, on comprend que l'épaisseur du métal ( $0,12\mu\text{m}$ ) devrait être insuffisante pour que le fil chaud résiste, sans se briser,  
20 à des vitesses supérieures à  $5\text{m/s}$ .

Par ailleurs, on comprend que la tenue mécanique de ce capteur fil chaud est également limitée par la courbure des tiges supports par rapport au substrat.

En effet, cette courbure crée une zone de flexion pour les  
25 tiges support. Par ailleurs, la contrainte au niveau de cette courbure est plus importante qu'ailleurs sur les tiges support.

En raison de sa conception, ce capteur à fil chaud laisse donc apparaître des limitations de performance.

C'est par exemple le cas si l'on souhaite effectuer des  
30 mesures de vitesse importantes ( $> 20\text{ m/s}$ , voire supérieure à  $30\text{m/s}$  pour un écoulement d'air) tout en conservant une mesure précise de cette vitesse.

Lorsque du polyimide est prévu au niveau de la partie sensible du capteur, on serait alors amené à augmenter l'épaisseur de polyimide, ce qui serait néfaste pour la précision de la mesure.

5 Ceci serait encore plus critique pour des écoulements non permanents, dans la mesure où la réponse fréquentielle du capteur est limitée par l'épaisseur de polyimide.

Lorsque que seule une épaisseur de métal est prévue, sans polyimide, au niveau de la partie sensible du capteur, on pourrait penser à augmenter l'épaisseur de métal.

10 Malheureusement, ceci n'est pas envisageable en raison des contraintes résiduelles existantes dans le métal. Par contrainte résiduelle, on entend la contrainte qui perdure dans un matériau en absence de toute sollicitation externe.

15 En effet, pour une couche de métal d'épaisseur importante, les contraintes résiduelles conduiraient à obtenir un fil chaud courbe, inexploitable pour effectuer des mesures précises.

20 En d'autres termes, soit l'épaisseur de métal serait suffisamment faible pour éviter les problèmes de courbure du fil chaud, mais alors ce fil chaud présenterait une tenue mécanique inadaptée pour des vitesses supérieures à 5m/s, soit l'épaisseur de métal serait suffisamment importante pour résister à des vitesses supérieures à 5m/s, mais, dans ce cas, les mesures effectuées par le capteur seraient insuffisamment précises.

25 En outre, dans tous les cas, l'épaisseur des tiges support devrait également être augmentée pour éviter toute flexion des tiges support, voire toute rupture mécanique de ces tiges.

30 Enfin, un tel fil chaud est, par conception, solidaire de la paroi contre laquelle l'écoulement prend place, les supports du fil chaud s'étendant hors du plan du substrat. Ce capteur à fil chaud ne peut donc pas être déplacé en tout point de l'écoulement, par exemple pour effectuer des mesures en proximité de la paroi puis au cœur de l'écoulement. En effet, la

longueur des supports est fixe et cette longueur détermine la distance entre la paroi et le fil chaud.

Un objectif de l'invention est ainsi de pallier l'un au moins des inconvénients des capteurs à fil chaud existants.

5 En particulier, un objectif de l'invention est de proposer un capteur fil chaud de taille submillimétrique capable d'effectuer des mesures précises dans un écoulement, en proche paroi ou n'importe où dans l'écoulement, tout en s'adaptant aux électroniques de traitement existantes de ce type de capteur.

10 En particulier également, un objectif de l'invention est de réaliser un capteur fil chaud de taille submillimétrique capable d'effectuer des mesures précises jusqu'à des vitesses élevées, à savoir au-delà de 20 m/s voire au-delà de 30 m/s.

Pour atteindre l'un au moins de ces objectifs, l'invention propose un capteur à fil chaud de taille submillimétrique comprenant:

- un substrat ;
- deux tiges support dont une partie est déposée sur le substrat et dont l'autre partie s'étend au-delà dudit substrat dans le prolongement de celui-ci ;
- 20 - un fil métallique s'étendant entre les deux extrémités des tiges support, ce fil étant destiné à former le fil chaud ;
- des contacts électriques disposés sur les tiges supports, lesdits contacts étant chacun reliés à l'une des extrémités du fil.

Le capteur pourra prévoir d'autres caractéristiques techniques de l'invention, prises seules ou en combinaison:

- les tiges support sont réalisées en diamant nanocristallin, en Silicium (Si) ou en carbure de silicium (SiC) ;
- les tiges supports en diamant nanocristallin présentent chacune une épaisseur inférieure à 3 $\mu$ m, par exemple comprise entre 100nm et 3 $\mu$ m ;
- 30 - le fil métallique comprend au moins l'un des matériaux métalliques suivants : Ag, Ti, Cr, Al, Cu, Au, Ni, W ou Pt ;

- le fil métallique comprend au moins une couche de Nickel revêtue d'au moins une couche de Tungstène ;
- le rapport entre l'épaisseur de la couche de Nickel et celle de la couche de Tungstène est compris entre 2 et 5 ;
- 5 - l'épaisseur de la couche de Nickel est comprise entre 50nm et 2 $\mu$ m ;
- le fil métallique comporte au moins une couche de Platine ;
- le fil métallique comporte une pluralité de bicouches métalliques, chaque bicouche étant formée par deux couches réalisés dans métaux différents, par exemple une couche de Nickel revêtue d'une couche de Tungstène ;
- 10 - le fil métallique (13) comporte :
  - o une première couche de platine ;
  - o une pluralité de bicouches formées par une couche de Nickel revêtue d'une couche de Tungstène ; et
  - 15 o une deuxième couche de platine.
- l'épaisseur du fil métallique est comprise entre 100nm et 5 $\mu$ m, de préférence entre 1 $\mu$ m et 3 $\mu$ m ;
- le fil métallique présente une longueur comprise entre 50 $\mu$ m et 1mm ;
- le fil métallique présente une résistance ohmique évoluant linéairement avec la température et telle qu'elle est comprise entre 5 Ohm et 10 Ohm à 20°C et entre 10 Ohm et 15 Ohm à 200°C ;
- 20 - les contacts électriques comprennent au moins l'un des matériaux suivants : Ag, Ti, Cr, Al, Cu, Au, Ni, W ou Pt ;
- il est prévu une couche d'isolation thermique entre les contacts métalliques et les tiges supports, par exemple en dioxyde de silicium, en nitrure de silicium, en céramique ou en un matériau polymérique ;
- 25 - il est prévu un renfort mécanique disposé entre les tiges support et sous le fil métallique ;
- le renfort mécanique présente une épaisseur inférieure à 3 $\mu$ m, par exemple comprise entre 100nm et 3 $\mu$ m.
- 30

Pour atteindre l'un au moins de ces objectifs, l'invention propose également un procédé de réalisation d'un capteur à fil chaud de taille submillimétrique comprenant les étapes consistant, à partir d'un substrat, à :

- 5 (a) déposer, sur la face avant du substrat, une couche en un matériau destiné à former des tiges support du capteur ;
- (b) graver ledit matériau déposé à l'étape (a) afin de former au moins deux tiges support ;
- (c) déposer au moins une couche de matériau métallique entre les extrémités des tiges support gravées à l'étape (b), afin de former un fil  
10 métallique ;
- (d) effectuer un recuit du fil métallique déposé à l'étape (c) ;
- (e) déposer une ou plusieurs couches de métal sur les tiges support afin de former des contacts électriques, de sorte que chaque contact soit relié à l'une des extrémités du fil métallique ;
- 15 (f) graver le support afin de libérer une partie des tiges support du substrat.

Ce procédé pourra également comprendre les étapes suivantes, prises seules ou en combinaison :

- l'étape (a) consiste à faire croître une couche de diamant nanocristallin sur la face avant du substrat ;
- 20 - l'étape (a) comporte des étapes consistant à :
  - (a<sub>1</sub>) préparer une solution colloïdale de cristallites nanométriques de diamant diluée, par exemple dans de l'eau ;
  - (a<sub>2</sub>) disposer le substrat dans ladite solution ;
  - (a<sub>3</sub>) soumettre le substrat ainsi plongé dans cette solution à des ultrasons.
- 25 - l'étape (b) comporte la gravure d'un support mécanique s'étendant entre les deux tiges, destiné à au maintien mécanique du fil métallique ;
- l'étape (c) est réalisée par un procédé lift-off avec un profil en casquette ;
- l'étape (d) est réalisée à une température comprise entre 200°C et 700°C pendant une durée comprise entre 15mn et 45mn ;
- 30 - l'étape (e) consiste à :

(e<sub>1</sub>) déposer une couche de germination, par exemple par pulvérisation, sur les tiges support ; puis

(e<sub>2</sub>) déposer au moins une couche de matériau métallique par électrolyse sur la couche de germination déposée à l'étape (e<sub>1</sub>), et éventuellement d'autres couches métalliques sur la première couche métallique.

- l'étape (f) est réalisée par gravure chimique, par exemple par une gravure humide dans un bain de KOH ou par une gravure en phase gazeuse sous XeF<sub>2</sub> ;
- l'étape (f) est réalisée par une gravure physico-chimique, par exemple une gravure sous plasma de type Bosch DRIE ;
- il est prévu, avant l'étape (e), une étape additionnelle consistant à déposer une couche d'isolation thermique sur les tiges, et sur le substrat, dans le prolongement desdites tiges.

D'autres caractéristiques, buts et avantages de l'invention seront énoncés dans la description détaillée ci-après faite en référence aux figures suivantes:

- la figure 1 est un schéma représentatif d'un capteur à fil chaud selon l'invention ;

- la figure 2 représente l'évolution de la contrainte résiduelle totale d'une multicouche de matériaux métalliques susceptible de former le fil chaud du capteur selon l'invention au fur et à mesure de son élaboration ;

- la figure 3 représente une vue par microscopie électronique de transmission à balayage d'une multicouche de matériaux métalliques susceptible de former le fil chaud du capteur selon l'invention ;

- la figure 4 représente l'évolution de la résistance ohmique d'une multicouche de matériaux métalliques en fonction de la température ;

- la figure 5 est une vue de coupe partielle selon la coupe A-A représentée sur la figure 1 ;

- la figure 6, qui comprend les figures 6(a) et 6(b), représente sur la figure 6(b) un profil particulier utilisé pour la réalisation d'une étape de dépôt d'au moins une couche métallique destinée à former le fil chaud selon

l'invention, la figure 6(a) représentant un profil classique fourni à titre de référence ;

- la figure 7 représente des structures intermédiaires obtenues par la mise en œuvre d'un procédé de réalisation du capteur selon l'invention.

Un capteur à fil chaud de taille submillimétrique selon l'invention est schématisé sur les figures 1 et 2. Ce capteur 1 à fil chaud comprend un substrat 10 et deux tiges support 11, 12 dont une partie 110 est déposée sur le substrat 10 et dont l'autre partie 111, 121 s'étend au-delà dudit substrat 10 dans le prolongement de celui-ci.

Les parties 111, 121 sont donc situées dans le prolongement des parties de la tige situées sur la face avant 101 du substrat 10.

Le substrat 10 peut être réalisé en silicium. Tout autre matériau utilisé en tant que substrat serait également susceptible de convenir.

Les tiges support 11, 12 peuvent être réalisées en diamant nanocristallin. Dans ce cas, ces tiges 11, 12 peuvent présenter chacune une épaisseur faible, inférieure à  $3\mu\text{m}$  et par exemple comprise entre 100nm et  $3\mu\text{m}$  tout en assurant une fonction de maintien mécanique. En effet, le diamant nanocristallin présente des propriétés mécaniques intéressantes associées à un faible coefficient d'expansion thermique. Ainsi, son module de Young est d'environ 1100 GPa, sa limite d'élasticité d'environ 53 GPa et son coefficient d'expansion thermique d'environ 1 ppm/°C.

En variante, les tiges support 11, 12 peuvent être réalisées en silicium (Si) ou en carbure de silicium (SiC).

La partie 111, 121 des tiges support 11, 12 qui s'étend au-delà du substrat 10 présente une largeur qui diminue avec l'augmentation de la distance par rapport au substrat (non représenté). Ceci permet de limiter l'effet intrusif des tiges support au fur et à mesure qu'on s'éloigne du substrat, c'est-à-dire de la paroi le long de laquelle prend place l'écoulement dont on cherche à connaître certaines caractéristiques (vitesse par exemple).

Le capteur 1 comprend également un fil métallique 13 de taille submillimétrique s'étendant entre les deux extrémités des tiges support 11, 12, ce fil étant destiné à former le fil chaud.

Le fil métallique 13 pourra être constitué d'au moins un matériau métallique parmi les suivants : Ag, Ti, Cr, Al, Cu, Au, Ni, W ou Pt.

De préférence, le fil métallique 13 comprendra au moins deux couches de matériaux métalliques, dont l'une est réalisée en un matériau présentant une contrainte résiduelle en tension et dont l'autre est réalisée en un matériau présentant une contrainte résiduelle en compression.

On appelle contrainte résiduelle la contrainte qui perdure dans un matériau en absence de toute sollicitation externe.

Par exemple, le fil métallique 13 comprend au moins une couche de Nickel (Ni) revêtue d'au moins une couche de Tungstène (W).

Le Nickel présente une contrainte résiduelle en tension et le Tungstène une contrainte résiduelle en compression, dont les valeurs dépendent cependant des conditions de dépôt.

Un premier test a été effectué pour déterminer ces contraintes résiduelles. Le demandeur a ainsi mesuré la contrainte résiduelle du Nickel en déposant, pleine plaque, une couche de Nickel sur un substrat silicium. Il a également mesuré la contrainte résiduelle du Tungstène en déposant, pleine plaque, une couche de Tungstène sur un substrat identique au substrat utilisé avec le Nickel.

Dans les deux cas, la couche de métal déposé (Ni ou W) est une couche mince par rapport aux dimensions du substrat.

Par ailleurs, les dépôts ont été réalisés par pulvérisation cathodique.

Cette technique utilise un plasma de gaz inerte, tel que l'Argon, pour pulvériser une cible du matériau à déposer (Ni ou W). La pression d'argon employée est comprise entre 0.9Pa (soit un débit d'Argon de 25sccm, à savoir 25 cm<sup>3</sup>/min avec la chambre utilisée) et 3.1Pa (soit un débit d'Argon de 110sccm avec cette même chambre).

Le plasma est créé entre la cible (polarisée négativement) et le substrat (polarisé positivement), et ainsi les atomes arrachés à la cible sont dirigés vers le substrat. Le plasma a été densifié et concentré à l'aide du champ magnétique créée par un magnétron pour augmenter la vitesse des dépôts. La puissance RF choisie est de 300W.

Dans la gamme de pressions de gaz inerte comprise entre 1,2Pa et 3,1Pa, le demandeur a constaté que la tension résiduelle dans le Nickel évoluait de façon peu significative et présentait une valeur absolue variant autour de 550Mpa. Par ailleurs, dans la gamme de pressions de gaz inerte comprise entre 0.9Pa et 3.1Pa, le demandeur a constaté que la compression résiduelle dans le Tungstène évoluait de façon peu significative et présentait une valeur absolue variant autour de 1250Mpa.

Pour compenser les contraintes résiduelles de la couche de Nickel avec celle de la couche de Tungstène, il apparaît donc que l'épaisseur de la couche de Nickel doit être plus élevée que l'épaisseur de la couche de Tungstène.

Un paramètre intervenant dans le contrôle de l'épaisseur des couches est le temps de dépôt de chaque couche.

Plus précisément, le rapport exact entre l'épaisseur de la couche de Nickel et celle de Tungstène pour minimiser la contrainte résiduelle totale dépend des conditions de dépôt de ces couches (puissance du magnétron, pression de gaz inerte, durée du dépôt), mais également du nombre de bicouches Ni/W que le fil métallique destiné à former le fil chaud est susceptible de comprendre.

Une compensation des contraintes résiduelles entre les différentes couches de métal du fil peut être jugée acceptable lorsque la contrainte résiduelle totale du fil métallique est inférieure à une valeur limite  $C_{lim}$ . Par exemple, cette valeur limite peut valoir  $C_{lim} = 250\text{MPa}$ , et de préférence  $C_{lim} = 200\text{MPa}$ .

Cette compensation des contraintes résiduelles est importante. En effet, une contrainte résiduelle supérieure à la valeur limite

impliquerait une forme courbe du fil chaud entre les deux tiges support 11, 12. Une telle forme rend le capteur 1 inutilisable pour effectuer des mesures précises de la grandeur physique qu'il est destiné à mesurer au sein de l'écoulement (vitesse, pression ou contrainte pariétale).

5 Le demandeur a ainsi réalisé un deuxième test pour un fil métallique comprenant plusieurs bicouches Nickel/Tungstène.

Il a ainsi été testé un fil métallique destiné à former un fil chaud comportant notamment une première couche de platine, une pluralité de bicouches formées par une couche de Nickel revêtue d'une couche de Tungstène et, une deuxième couche de platine. Le dépôt de plusieurs bicouches successives permet de compenser la contrainte résiduelle graduellement jusqu'à l'obtention de l'épaisseur désirée.

Les couches de platine protègent ainsi complètement le Nickel et Tungstène contre les phénomènes d'oxydation.

15 Plus précisément, la composition du fil métallique testé est fournie dans le tableau 1 ci-dessous, avec les durées de dépôt associées aux épaisseurs des différentes couches de métal du fil.

Matériau	Point de mesure	Temps de dépôt	Epaisseur
Pt	P9	2 min	300 nm
Ni	P8	50 min	250 nm
W	P7	1 min	65 nm
Ni		50 min	250 nm
W	P6	1 min	65 nm
Ni		50 min	250 nm
W	P5	1 min	65 nm
Ni		50 min	250 nm
W	P4	1 min	65 nm
Ni	P3	50 min	250 nm
Pt	P2	2 min	300 nm
Ti	P1	50 s	50 nm

Tableau 1

La première couche déposée sur le substrat est une couche de Titane (Ti). Elle est revêtue d'une première couche de Platine (Pt), de quatre bicouches de Ni/W, d'une couche de Nickel et d'une deuxième couche de Platine. L'épaisseur de la couche métallique ainsi obtenue est de 2,16µm.

5 Les moyens utilisés pour le dépôt sont les mêmes que ceux cités précédemment. Ainsi, on utilise de l'Argon comme gaz inerte et un magnétron réglé à la même puissance.

Les contraintes résiduelles de chaque couche ont été ajustées en jouant sur deux paramètres, à savoir le débit d'Argon (c'est-à-dire la pression d'Argon dans la chambre) et le temps de dépôt.

10 Le débit d'Argon utilisé pour le dépôt d'une couche de Nickel est de 45sccm (pression de 1,5 Pa environ). Pour une couche de Tungstène, il est de 85sccm (pression de 2,66 Pa). Enfin, pour une couche de Platine, il est de 25sccm (pression de 0,9 Pa) Les temps de dépôt sont quant à eux précisés dans le tableau 1.

La figure 2 représente l'évolution de la contrainte résiduelle totale de la couche de métal en fonction du numéro de mesure.

20 Comme on peut le constater, cette contrainte résiduelle totale dépend notamment du nombre de bicouches Ni/W prévues. Le fil correspondant à la structure du tableau 1 présente finalement une contrainte résiduelle totale mesurée d'environ 170Mpa.

Pour mesurer cette contrainte résiduelle totale, un profilomètre est utilisé. Pour effectuer la mesure, la chambre est vidée de son atmosphère neutre et mise à l'air libre. Or, le demandeur a constaté lors de la mesure n°5 que la couche de Tungstène de la bicouche n°3 (point de mesure n°4) était oxydée, probablement suite à une exposition trop longue à l'air ambiant lors de la mesure n°4. Ceci a certainement faussé les mesures des points de mesure n°5 et n°6.

Le demandeur a donc cherché à vérifier cet aspect.

30 Le tableau 2 précise les valeurs de contraintes résiduelles mesurées respectivement pour une couche de Platine (Pt), une couche de

Nickel (Ni) ou une couche de Tungstène (W) pour les débits d'Argon et épaisseurs de couches (donc temps de dépôt) mentionnés dans le tableau 1.

Matériau	Débit (sccm)	Temps de dépôt (min)	Épaisseur (nm)	Contrainte (MPa)
Pt	25	2	300	-550
Ni	45	50	250	600
W	85	1	65	-600

Tableau 2

5

Or, il est connu de l'homme du métier qu'en réalisant une multicouche dont l'épaisseur totale reste mince par rapport à celle du substrat, on peut approximer la contrainte résiduelle totale ( $\sigma_{totale}$ ) présente dans la multicouche par la somme des contraintes dans chaque couche ( $\sigma_{couche, i}$ ) pondérée par leur épaisseur relative à l'épaisseur totale ( $t_{couche, i}/t_{totale}$ ), tel que le montre l'équation suivante.

10

$$\sigma_{totale} = \sum_{i=1}^n \sigma_{couche, i} \frac{t_{couche, i}}{t_{totale}} \quad (R1)$$

Les calculs effectués avec la relation R1 et les données du tableau 2 appliquées au tableau 1 sont mentionnés sur la figure 2.

15

Ces calculs montrent effectivement que les points de mesures n°5 et n°6 ont été faussés par l'oxydation du Tungstène lors de la mesure n°4, par profilomètre, de la contrainte résiduelle totale.

20

En définitive, ces tests montrent finalement que la structure du fil métallique du tableau 1, à savoir une structure du fil comportant plusieurs bicouches Nickel/Tungstène, peut être envisagée tout en conservant une contrainte résiduelle totale inférieure à la limite requise  $C_{lim}$ .

25

Ces tests montrent également qu'on a, de manière générale, pas non plus intérêt à prévoir un trop grand nombre de bicouches Ni/W afin de conserver une contrainte résiduelle totale inférieure à cette valeur limite  $C_{lim}$ .

Comme on peut le constater, le rapport entre l'épaisseur de la couche de Nickel et celle de la couche de Tungstène est de 3,85 dans le cas d'espèce (tableaux 1 et 2).

Plus généralement, ce rapport pourra cependant être compris  
5 entre 2 et 5.

Par ailleurs, l'épaisseur de la couche de Nickel peut être comprise entre 50nm et 2 $\mu$ m. En fonction du rapport entre les épaisseurs des couches de Nickel et de Tungstène mentionnées ci-dessus, cela permet d'en déduire l'épaisseur d'une couche de Tungstène correspondante.

10 Le fil métallique 13 comportera généralement deux couches de Platine, entre lesquelles seront disposés les bicouches Ni/W afin de protéger ces dernières contre les phénomènes d'oxydation.

L'épaisseur  $e_{fil}$  du fil métallique 13 peut être comprise entre 100nm et 5 $\mu$ m, par exemple entre 150nm et 3 $\mu$ m et, de préférence, entre 1 $\mu$ m  
15 et 3 $\mu$ m.

Sa longueur  $L_{fil}$  peut être comprise entre 50 $\mu$ m et 1mm.

Sa largeur  $l_{fil}$  peut varier, mais sera généralement de l'ordre de quelques microns, par exemple voisine de 5 $\mu$ m.

Dans tous les cas, pour optimiser le fonctionnement du  
20 capteur 1 à fil chaud, il faut prendre des valeurs de longueur  $L_{fil}$  du fil métallique 13 les plus élevées possibles et des valeurs du diamètre hydraulique  $d_h$  du fil 13 les plus faibles possibles.

Le diamètre hydraulique  $d_h$  est défini par la relation :  $d_h = 4S/P$   
où S est la section du fil chaud 13 et P son périmètre mouillé. Si l'on suppose  
25 que le fil métallique 13 est de section carrée, alors le diamètre hydraulique équivaut à son côté.

Le diamètre hydraulique peut être différent, par exemple lorsque le fil métallique 13 présente une forme rectangulaire et/ou est maintenu par un élément de renfort mécanique 17 s'étendant entre les deux  
30 tiges support 11, 12. Cet élément de renfort 17 est décrit ci-après.

En réalité, il est connu de l'homme du métier que la relation :  
 $L_{fil}/d_h \geq 30$  doit être respectée pour assurer une mesure fiable de la grandeur physique à mesurer avec le fil chaud.

Il est également préférable, pour un capteur à fil chaud,  
5 d'utiliser des matériaux présentant une conductivité thermique relativement forte pour l'élément sensible, afin d'atteindre une bonne réponse en fréquence et, une faible conductivité thermique pour les éléments de support, afin d'éviter les pertes de chaleur parasites. Le choix d'un métal n'est a priori pas le plus pertinent sur ce point. Cependant, dans la famille des métaux, le Nickel  
10 et le Tungstène présentent des conductivités thermiques modérées. En effet, le Nickel présente une conductivité thermique de  $91 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$  et le Tungstène une conductivité thermique de  $173 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

Une des raisons pour lesquelles un matériau métallique est choisi pour former le fil chaud est précisé ci-après.

15 Pour un capteur à fil chaud, un aspect important est de connaître l'évolution de la résistance ohmique  $R(T)$  du fil avec la température. Cette résistance ohmique dépend de la nature des matériaux formant le fil.

En effet, les capteurs à fil chaud cherchent à maintenir soit une température constante au niveau de leur interface avec le milieu fluide,  
20 soit un flux thermique constant à travers cette interface. Ainsi, quel que soit le cas considéré, il faut ajuster la puissance dissipée par effet Joule dans le fil métallique 13 pour maintenir cette température (ou le flux thermique) d'interface. Or, la puissance dissipée par effet Joule dépend de la résistance ohmique du fil 13, laquelle dépend elle-même de la température (moyenne)  
25 de ce fil.

Dans un fil métallique, la résistance ohmique  $R(T)$  peut s'exprimer sous la forme :

$$R(T) = R_0 [1 + \alpha_0 (T - T_0)] \quad (R2)$$

30 où :

$T_0$  est une température de référence,  $\alpha_0$  est le coefficient de résistance en température à la température  $T_0$  et  $R_0$  la résistance ohmique du fil à la température  $T_0$ .

Le coefficient de résistance en température  $\alpha$  est également  
 5 connu sous l'acronyme TCR pour «Temperature Coefficient Resistance» selon la terminologie anglo-saxonne.

Dans ces conditions, déterminer l'évolution de la résistance ohmique du fil métallique en fonction de la température revient à déterminer sa résistance  $R_0$  à une température de référence  $T_0$  et son coefficient de  
 10 résistance en température  $\alpha_0$  à cette température de référence.

Le demandeur a effectué un test avec un fil métallique dont la composition est fournie dans le tableau 3 ci-dessous, avec les durées de dépôt associées aux épaisseurs des différentes couches de métal du fil. L'épaisseur du fil métallique ainsi testé est de 2,35 $\mu$ m.

15

.Ordre	Matériau	Temps de dépôt	Epaisseur
1	Ti	50 s	50 nm
2	Pt	2 min	300 nm
3-4	Ni-W	4*10min-2 min	200 nm-100 nm
5-6	Ni-W	4*10min-2 min	200 nm-100 nm
7-8	Ni-W	4*10min-2 min	200 nm-100 nm
9-10	Ni-W	4*10min-2 min	200 nm-100 nm
11-12	Ni-W	4*10min-2 min	200 nm-100 nm
13	Ni	4*10min	200 nm
14	Pt	2 min	300 nm

Tableau 3

Les moyens employés pour le dépôt de ces couches sont ceux présentés ci-avant.

20

Par ailleurs, la multicouche ainsi déposée a été recuite sous vide pendant 30 minutes, à 550°C, et avec une montée en température contrôlée (incrément de 50°C/min) ainsi qu'un refroidissement naturel.

Le recuit sous vide est important pour éviter l'oxydation de la couche de Tungstène, qui est l'élément limitant parmi le Nickel, le Tungstène et le Platine.

La structure du tableau 3 obtenue après recuit est montrée sur la figure 3.

Des résultats sont fournis sur la figure 4, avec la régression linéaire qui l'accompagne.

Compte tenu de la relation (R2), la pente de la régression linéaire est défini par le produit  $\alpha_0 R_0$  et son ordonnée à l'origine par  $R_0 - \alpha_0 T_0$ , l'origine correspondant à la température de référence  $T_0 = 0^\circ\text{C}$ . On peut alors en déduire les valeurs de  $\alpha_0$  et  $R_0$ .

Pour obtenir le coefficient de résistance en température à une température de référence  $T_{20}$  correspondant à la température ambiante de  $20^\circ\text{C}$ , on utilise alors la relation la relation (R3) suivante :

$$\alpha_{20} = \alpha_0 \frac{R_0}{R_{20}} \quad (\text{R3})$$

$\alpha_0$  et  $R_0$  étant connus et  $R_{20}$  pouvant être lu directement sur la courbe de la figure 2.

Ainsi, le fil métallique dont la composition est fournie dans le tableau 1 présente un coefficient de résistance en température à  $20^\circ\text{C}$   $\alpha_{20}$  de  $2175 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ . La résistance  $R(T)$  évolue entre  $8,7\Omega$  à  $20^\circ\text{C}$  et  $12,3\Omega$  à  $200^\circ\text{C}$ .

Compte tenu des dimensions du fil métallique du tableau 3, le demandeur a alors déterminé la résistivité électrique  $\rho$  de ce fil à  $8,6 \mu\Omega.\text{cm}$  environ.

Ces valeurs de résistance sont relativement faibles. Elles permettent une utilisation avec l'électronique de traitement existante sur le marché pour les capteurs à fil chaud, par exemple un bloc électronique Streamline® pour l'anémométrie à température constante de la société Dantec. En effet, les capteurs commercialisés par cette société ont des résistances ohmiques généralement inférieures à  $30 \text{ Ohm}$ . Lorsque ces capteurs présentent une résistance inférieure à  $30 \text{ Ohm}$ , ils peuvent être

branchés directement sur le bloc électronique. Entre 30 Ohm et 100 Ohm, ils doivent être branchés au bloc électronique par l'intermédiaire d'une résistance externe réglable.

La valeur de ce coefficient de résistance en température est plus faible que les valeurs connues du coefficient de résistance en température pour le Nickel, le Tungstène et le Platine. De même, la valeur de la résistivité est plus faible que les valeurs connues pour le Nickel, le Tungstène et le Platine.

Pour s'assurer de ce résultat, le demandeur a donc réalisé des tests dans les mêmes conditions opératoires (dépôt, recuit) pour, respectivement, une couche Nickel, une couche de Tungstène et une couche de Platine sur un substrat identique.

Le tableau 4 suivant précise les durées de dépôt associées aux épaisseurs des différentes couches de métal.

15

Matériau	Temps de dépôt	Epaisseur
Pt	3 min	380 nm
W	5 min	330 nm
Ni	3*20 min	310 nm

Tableau 4

La méthode de régression linéaire présentée ci-dessous a alors permis d'aboutir aux données suivantes pour le coefficient de résistance en température à 20°C :

- Nickel :  $\alpha_{20} = 5000 \text{ ppm/}^\circ\text{C}$  ;
- Tungstène :  $\alpha_{20} = 3375 \text{ ppm/}^\circ\text{C}$ ; et
- Platine :  $\alpha_{20} = 5750 \text{ ppm/}^\circ\text{C}$ .

Par ailleurs, compte tenu des dimensions des couches de métal ainsi déposées, la résistivité a été mesurée à

- $\rho = 24,3 \text{ } \mu\Omega \cdot \text{cm}$  pour le Nickel ;
- $\rho = 28,7 \text{ } \mu\Omega \cdot \text{cm}$  pour le Tungstène ; et
- $\rho = 20 \text{ } \mu\Omega \cdot \text{cm}$  pour le Platine.

25

On peut effectivement noter que le coefficient de résistance en température obtenu avec le fil métallique dont la composition est donnée dans le tableau 3 est sensiblement inférieur à ceux obtenus, dans les mêmes conditions opératoires, avec l'un quelconque des métaux Ni, W ou Pt pris  
5 isolément.

En définitive, la résistance du fil métallique linéairement, conformément à la relation R2. Outre l'exemple fourni précédemment, on peut considérer que l'évolution de la résistance ohmique de ce fil sera linéaire et telle qu'elle est comprise entre 5 Ohm et 10 Ohm à 20°C et entre 10 Ohm et  
10 15 Ohm à 200°C.

Le capteur 1 selon l'invention comprend aussi des contacts métalliques 14, 15 disposés sur les tiges supports 11, 12, lesdits contacts étant chacun reliés à l'une des extrémités du fil métallique 13 formant fil  
chaud.

15 Les contacts métalliques 14, 15 peuvent comprendre au moins l'un des matériaux suivants : Ag, Ti, Cr, Al, Cu, Au, Ni, W ou Pt.

En particulier, les contacts métalliques 14, 15 peuvent présenter une structure et une composition identiques à celles du fil métallique 13. Dans ce cas, les contacts métalliques 14, 15 peuvent  
20 notamment comprendre au moins une couche de Nickel revêtue d'une couche de Tungstène, celles-ci étant éventuellement disposées entre une première couche de Platine (couche inférieure) et une deuxième couche de Platine (couche supérieure). Par exemple également, les contacts métalliques 14, 15 peuvent présenter la structure du tableau 1 ou du tableau 3.

25 Un élément de renfort mécanique 17 peut être prévu entre les extrémités des tiges support 11, 12, sous le fil métallique 13. Ce renfort mécanique 17 présente une épaisseur inférieure à 3µm, par exemple comprise entre 100nm et 3µm. La nature du matériau peut par exemple être la même que celle formant les tiges support 11, 12.

30 Une couche d'isolation thermique 16 peut être prévue entre les contacts métalliques 14, 15 et les tiges supports 11, 12. Celle-ci est

représentée sur la figure 5, en vue de coupe. Cette couche peut par exemple être réalisée en dioxyde de silicium, en nitrure de silicium, en céramique ou en un matériau polymérique.

5 Cette couche d'isolation thermique 16 est en particulier utile lorsque le matériau formant les tiges support 11, 12 est un matériau conducteur thermique.

C'est par exemple le cas du diamant qui présente une conductivité thermique comprise entre  $500 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$  et  $2000 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

10 En général, le diamant nanocristallin présente une conductivité thermique voisine de  $500 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ , alors que le diamant monocristallin présente une conductivité thermique voisine de  $2000 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

Par diamant nanocristallin, on entend un diamant dont les cristaux ne dépassent généralement pas 100nm, même si certains cristaux (en faible quantité) peuvent présenter une dimension allant au-delà de 100nm.  
15 Plus précisément, la taille des cristaux peut être comprise entre 1nm et 100nm.

Selon la nature du diamant utilisé, une couche d'isolation thermique 16 peut être ajoutée pour limiter les pertes thermiques et un éventuel biais dans la mesure de la grandeur physique qu'on cherche à mesurer avec le capteur, la vitesse par exemple.  
20

Cela permet ainsi de trouver un compromis intéressant entre la sensibilité du capteur et sa réponse fréquentielle.

Par ailleurs, on peut également prévoir que cette couche d'isolation thermique 16 recouvre complètement les contacts métalliques 14, 15.  
25

Pour réaliser le capteur à fil chaud selon l'invention, on prévoit les étapes suivantes :

- (a) déposer, sur la face avant du substrat, une couche 20 en un matériau destiné à former des tiges support du capteur ;
- 30 (b) graver ledit matériau déposé à l'étape (a) afin de former au moins deux tiges support ;

(c) déposer au moins une couche de matériau métallique entre les extrémités des tiges support gravées à l'étape (b), afin de former un fil métallique ;

(d) effectuer un recuit du fil métallique déposé à l'étape (c) ;

5 (e) déposer une ou plusieurs couches de métal sur les tiges support afin de former des contacts métalliques, de sorte que chaque contact soit relié à l'une des extrémités du fil métallique ;

(f) graver le support afin de libérer une partie des tiges support du substrat.

L'étape (a) peut consister à faire croître une couche de  
10 diamant nanocristallin sur la face avant du substrat.

Le diamant est un matériau offrant une tenue mécanique élevée. Suivant les conditions de dépôt et la technique de dépôt, on peut obtenir du diamant nanocristallin, polycristallin ou monocristallin.

Dans le cas du diamant nanocristallin, la rugosité de surface  
15 est généralement faible, et s'apprête à la mise en œuvre de l'étape (b). Cependant, il peut être prévu, préalablement à l'étape (b), une étape visant à modifier la rugosité de surface, comme un polissage mécanique ou un traitement plasma.

En effet, il faut noter que les propriétés physico-chimiques de  
20 ces films dépendent de leur cristallographie. Par exemple, la taille des cristaux doit être suffisamment faible afin d'obtenir une rugosité de surface faible par rapport à l'épaisseur de la couche de diamant déposée.

A défaut, la rugosité de surface du diamant se transmettrait  
probablement aux autres couches. Ainsi, le fil métallique 13 pourrait  
25 également présenter une rugosité de surface importante, susceptible de fausser les mesures de grandeurs physiques à réaliser par le capteur à fil chaud.

Or, le diamant présente un paramètre de maille différent de  
celui du substrat, par exemple en Silicium. Pour adapter le paramètre de  
30 maille du diamant à celui du substrat, il faut alors contrôler la densité de nucléation et les conditions de dépôt du diamant sur le substrat.

Par ce biais, on contrôle la taille des nanocristaux pendant la croissance.

Le contrôle de la densité de nucléation à la surface du substrat peut s'effectuer comme suit.

5 On disperse des cristallites nanométriques de diamant sur le substrat à l'aide de solutions colloïdales diluées dans de l'eau. Le substrat est alors placé dans un bain à ultrasons avec ces éléments en suspension. Les ultrasons provoquent le dépôt des cristallites sur le substrat, dont la densité peut être supérieure à  $10^{11}$  cm<sup>-2</sup>.

10 Cette technique présente l'avantage de pouvoir traiter des surfaces en trois dimensions, tout en préservant lesdites surfaces (à l'opposé de techniques mécaniques par exemple). La surface du substrat est ainsi préservée pour le dépôt proprement dit de la couche de diamant.

Des conditions de dépôt envisageables pour la couche de diamant sont mentionnées ci-dessous.

15 La croissance de la couche de diamant s'effectue à une pression inférieure à la pression atmosphérique et à une température modérée inférieure à 1000°C, en utilisant un flux de gaz carboné porté par un gaz inerte qu'on dissocie à l'aide d'une source d'énergie. Le gaz carboné peut être du méthane. Le gaz inerte peut être de l'hydrogène. La source d'énergie peut être un générateur de micro-ondes, un filament chauffant ou tout moyen équivalent.

25 Par exemple, on peut utiliser un réacteur de dépôt CVD Astex AX6550 assisté d'un plasma H<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> gardant une concentration de méthane toujours inférieur à 3%. La source d'énergie micro-ondes est choisie à 2.45GHz, et sa puissance fixée à 3,5kW environ. La pression dans l'enceinte a été choisie à 30 Torr et la température du substrat a été maintenue à 700°C à l'aide d'un pyromètre à double longueur d'onde Williamson Pro 92.

30 Lorsque l'étape (a) consiste à faire croître un diamant nanocristallin, l'étape (b) peut alors être réalisée sous un plasma réactif O<sub>2</sub> à haute énergie, c'est-à-dire pour une puissance RF de plusieurs kW minimum.

L'étape (b) peut également comporter, en plus de la gravure des tiges de support 14, 15, la gravure de l'élément de renfort mécanique 17 s'étendant entre les deux tiges 14, 15 et destiné à être disposé sous le fil métallique 13.

L'étape (c) peut être réalisée par un procédé connu sous la dénomination anglo-saxonne « lift-off » avec un profil en forme de casquette. Ce procédé de photolithographie consiste à définir d'abord les motifs dans une résine photosensible avec un profil casquette, déposer le métal puis, enlever la résine afin de faire apparaître les motifs. La figure 6(b) représente un profil en casquette et la figure 6(a) un profil droit fourni à titre de comparaison.

Les conditions opératoires lors de cette étape (c) peuvent notamment être celles décrites ci-dessus pour la réalisation des multicouches de matériaux métalliques fournies dans les tableaux 1 ou 3.

L'étape (d) peut consister en un recuit sous vide pendant une durée comprise entre 15mn et 45mn à 550°C et un refroidissement naturel. La montée en température est contrôlée, par exemple avec un incrément de 50°C/min.

Plus généralement, la température de recuit doit être supérieure à la température de fonctionnement du fil chaud. Dans ces conditions, la température de recuit peut être comprise entre 200°C et 700°C. En particulier, on notera qu'il est ainsi possible de réaliser un capteur à fil chaud de taille submillimétrique fonctionnant à des températures supérieures ou égales à 400°C. Les matériaux employés permettent en effet d'effectuer le recuit à une température notamment comprise entre 400°C et 700°C.

Par ailleurs, la montée en température doit être progressive avec un pas maximum de 100°C/min.

Ni l'épaisseur de métal destiné à former le fil chaud, ni le nombre de couches formant celui-ci ne conditionne les paramètres de mise en œuvre de l'étape de recuit.

L'étape (e) peut consister à mettre en œuvre les deux étapes suivantes:

(e<sub>1</sub>) déposer une couche de germination, par exemple par pulvérisation, sur les tiges support ; puis

5 (e<sub>2</sub>) déposer au moins une couche de matériau métallique par électrolyse sur la couche de germination déposée à l'étape (e<sub>1</sub>), et éventuellement d'autres couches métalliques sur la première couche métallique.

Lorsque plusieurs couches métalliques sont prévues, comme pour les structures des tableaux 1 ou 3, l'étape (e<sub>2</sub>) consiste plus précisément  
10 à déposer successivement les couches de matériau métallique par électrolyse, la première couche métallique étant déposée sur la couche de germination.

L'étape (f) peut être effectuée en face arrière seule, en face avant seule ou par une combinaison des deux.

15 L'étape (f) peut être réalisée par gravure chimique, par exemple par une gravure humide dans un bain de KOH ou par une gravure en phase gazeuse sous XeF<sub>2</sub>.

En variante, l'étape (f) peut être réalisée par une gravure physico-chimique, par exemple une gravure sous plasma de type Bosch  
20 DRIE.

En variante également, l'étape (f) peut être réalisée par l'une quelconque des combinaisons des techniques chimique et physico-chimique mentionnées ci-dessus.

Ainsi, il est notamment possible d'effectuer une première  
25 étape (f<sub>1</sub>) consistant à réaliser une gravure sous plasma de type Bosch DRIE du côté face arrière du substrat, puis une deuxième étape (f<sub>2</sub>) consistant à effectuer une gravure en phase gazeuse sous XeF<sub>2</sub> du côté face avant du substrat.

L'étape (f<sub>2</sub>) facilite la libération des tiges support 11, 12 et de  
30 l'ensemble de la structure l'accompagnant (contacts métalliques 14, 15, fil métallique 13), en évitant tout arrachement.

Avant l'étape (e), on peut prévoir une étape additionnelle consistant à déposer une couche d'isolation thermique 16 sur les tiges et sur le substrat, dans le prolongement desdites tiges.

5 Cette couche d'isolation thermique 16 est par exemple utile lorsque le matériau déposé lors de l'étape (a) est conducteur thermique. C'est par exemple le cas du diamant nanocristallin.

A titre d'exemple, on a représenté sur la figure 7 différentes structures intermédiaires obtenues dans la réalisation d'un capteur fil chaud conforme à l'invention. Le capteur 1 finalement obtenu comporte une couche  
10 d'isolation thermique 16 entre les tiges support 11, 12 et les contacts métalliques 14, 15. Par ailleurs, ce capteur 1 comporte également un renfort mécanique 17 disposé sous le fil métallique 13, entre les deux tiges support 11, 12.

Il faut noter que les structures représentées sur la figure 7 font  
15 apparaître une couche 30 en aluminium, servant de masque pour la gravure du procédé Bosch DRIE.

Il faut enfin noter que le capteur représenté sur la figure 1, obtenu par le procédé ci-dessus, peut faire l'objet de déclinaisons.

Par exemple, il est possible de disposer plusieurs fils chauds  
20 en série sur le substrat 10 afin d'effectuer des cartographies de vitesse le long de l'écoulement. Il est également possible de disposer plusieurs fils chauds en parallèle pour effectuer des mesures de vorticité. Il est encore possible de disposer au moins deux fils orientés perpendiculairement l'un à l'autre afin d'obtenir des mesures de différentes composantes de la vitesse.

25 Le capteur fil chaud selon l'invention pourra être adapté pour effectuer des mesures de contrainte pariétale ou des mesures de pression.

Parmi les nombreux avantages que l'invention procure, on notera que le capteur à fil chaud permet d'effectuer des mesures précises en proche paroi ou au cœur de l'écoulement.

30 En effet, le substrat peut être solidaire d'un moyen pour déplacer le capteur n'importe où dans l'écoulement et ce, contrairement aux

capteurs à fil chaud de taille submillimétrique existants, cf. par exemple les documents D1 ou D2.

En outre, des mesures précises peuvent être obtenues à des vitesses élevées, à savoir au-delà de 20m/s voire au-delà de 30m/s grâce aux choix effectués pour la conception du capteur.

Ces choix concernent notamment l'épaisseur du fil métallique, laquelle peut être obtenue par un dépôt en multicouches, le choix éventuel de diamant nanocristallin et/ou la nature des tiges support.

Ces choix concernent également le fait qu'une partie des tiges support s'étend au-delà dudit substrat dans le prolongement de celui-ci et ce, contrairement au capteur divulgué dans les documents D1 ou D2. Les tiges support ne présentent donc aucune zone recourbée susceptible au mieux de fléchir dans un écoulement de vitesse élevée, au pire de se briser.

## REVENDICATIONS

1. Capteur (1) à fil chaud de taille submillimétrique, caractérisé en ce qu'il comprend :
- 5       - un substrat (10) ;
- deux tiges support (11, 12) dont une partie (110) est déposée sur le substrat (10) et dont l'autre partie (111, 121) s'étend au-delà dudit substrat dans le prolongement de celui-ci ;
- 10       - un fil métallique (13) destiné à former le fil chaud, ce fil s'étendant entre les deux extrémités des tiges support (11, 12) et comprenant au moins deux couches de matériaux métalliques, dont l'une est réalisée en un matériau présentant une contrainte résiduelle en tension et dont l'autre est réalisée en un matériau présentant une contrainte résiduelle en compression, les épaisseurs de ces couches de métal étant adaptées
- 15       pour compenser les contraintes résiduelles entre les différents couches afin d'obtenir une contrainte résiduelle totale du fil métallique inférieure à une valeur limite;
- des contacts électriques (14, 15) disposés sur les tiges supports, lesdits contacts étant chacun reliés à l'une des extrémités du fil (13).
- 20
2. Capteur (1) à fil chaud de taille submillimétrique selon la revendication 1, dans lequel les tiges support (11, 12) sont réalisées en diamant nanocristallin, en Silicium (Si) ou en carbure de silicium (SiC).
- 25
3. Capteur (1) à fil chaud de taille submillimétrique selon la revendication précédente, dans lequel les tiges supports (11, 12) en diamant nanocristallin présentent chacune une épaisseur inférieure à 3 $\mu$ m, par exemple comprise entre 100nm et 3 $\mu$ m.
- 30
4. Capteur (1) à fil chaud de taille submillimétrique selon l'une des revendications précédentes, dans lequel lesdites au moins deux couches

de matériaux métalliques du fil métallique (13) sont chacune réalisée avec au moins l'un des matériaux métalliques suivants : Ag, Ti, Cr, Al, Cu, Au, Ni, W ou Pt.

- 5 5. Capteur (1) à fil chaud de taille submillimétrique selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le fil métallique (13) comprend au moins une couche de Nickel revêtue d'au moins une couche de Tungstène, le rapport entre l'épaisseur de la couche de Nickel et celle de la couche de Tungstène étant compris entre 2 et 5.
- 10 6. Capteur (1) à fil chaud de taille submillimétrique selon la revendication précédente, dans lequel l'épaisseur de la couche de Nickel est comprise entre 50nm et 2 $\mu$ m.
- 15 7. Capteur (1) à fil chaud de taille submillimétrique selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le fil métallique (13) comporte au moins une couche de Platine.
- 20 8. Capteur (1) à fil chaud de taille submillimétrique selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le fil métallique (13) comporte une pluralité de bicouches métalliques, chaque bicouche étant formée par une couche réalisée en un matériau présentant une contrainte résiduelle en tension et une autre couche réalisée en un matériau présentant une contrainte résiduelle en compression, les épaisseurs de ces couches de
- 25 métal étant adaptées pour compenser les contraintes résiduelles entre les différentes couches afin d'obtenir une contrainte résiduelle totale du fil métallique inférieure à la valeur limite
- 30 9. Capteur (1) à fil chaud de taille submillimétrique selon la revendication précédente, dans lequel le fil métallique (13) comporte :
- une première couche de platine ;

- une pluralité de bicouches formées par une couche de Nickel revêtue d'une couche de Tungstène ; et
  - une deuxième couche de platine.
- 5 10. Capteur (1) à fil chaud de taille submillimétrique selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'épaisseur du fil métallique (13) est comprise entre 100nm et 5µm, de préférence entre 1µm et 3µm.
- 10 11. Capteur (1) à fil chaud de taille submillimétrique selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le fil métallique (13) présente une longueur comprise entre 50µm et 1mm.
- 15 12. Capteur (1) à fil chaud de taille submillimétrique selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le fil métallique (13) présente une résistance ohmique évoluant linéairement avec la température et telle qu'elle est comprise entre 5 Ohm et 10 Ohm à 20°C et entre 10 Ohm et 15 Ohm à 200°C.
- 20 13. Capteur (1) à fil chaud de taille submillimétrique selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les contacts électriques (14, 15) comprennent au moins l'un des matériaux suivants : Ag, Ti, Cr, Al, Cu, Au, Ni, W ou Pt.
- 25 14. Capteur (1) à fil chaud de taille submillimétrique selon l'une des revendications précédentes, dans lequel il est prévu une couche d'isolation thermique (16) entre les contacts métalliques (14, 15) et les tiges supports (11, 12), par exemple en dioxyde de silicium, en nitrure de silicium, en céramique ou en un matériau polymérique.

15. Capteur (1) à fil chaud de taille submillimétrique selon l'une des revendications précédentes, dans lequel il est prévu un renfort mécanique (17) disposé entre les tiges support (11, 12) et sous le fil métallique (13).
- 5 16. Capteur (1) à fil chaud de taille submillimétrique selon la revendication précédente, dans lequel le renfort mécanique (17) présente une épaisseur inférieure à  $3\mu\text{m}$ , par exemple comprise entre 100nm et  $3\mu\text{m}$ .
17. Procédé de réalisation d'un capteur à fil chaud de taille  
10 submillimétrique caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant, à partir d'un substrat, à :
- (a) déposer, sur la face avant du substrat, une couche en un matériau destiné à former des tiges support du capteur ;
- (b) graver ledit matériau déposé à l'étape (a) afin de former au moins deux  
15 tiges support ;
- (c) déposer au moins deux couches de matériaux métalliques entre les extrémités des tiges support gravées à l'étape (b) afin de former un fil métallique, l'une de ces couches étant réalisée en un matériau présentant une contrainte résiduelle en tension et l'autre étant réalisée en un matériau  
20 présentant une contrainte résiduelle en compression, les épaisseurs de ces couches de métal étant adaptées pour compenser les contraintes résiduelles entre les différents couches afin d'obtenir une contrainte résiduelle totale du fil métallique inférieure à une valeur limite ;
- (d) effectuer un recuit du fil métallique déposé à l'étape (c) ;
- 25 (e) déposer une ou plusieurs couches de métal sur les tiges support afin de former des contacts électriques, de sorte que chaque contact soit relié à l'une des extrémités du fil métallique ;
- (f) graver le substrat afin de libérer une partie des tiges support du substrat.
- 30 18. Procédé de réalisation d'un capteur à fil chaud de taille submillimétrique selon la revendication précédente, dans lequel l'étape (a)

consiste à faire croître une couche de diamant nanocristallin sur la face avant du substrat.

- 5 19. Procédé de réalisation d'un capteur à fil chaud de taille submillimétrique selon la revendication précédente, dans lequel l'étape (a) comporte des étapes consistant à :
- (a<sub>1</sub>) préparer une solution colloïdale de cristallites nanométriques de diamant diluée, par exemple dans de l'eau ;
  - (a<sub>2</sub>) disposer le substrat dans ladite solution ;
  - 10 (a<sub>3</sub>) soumettre le substrat ainsi plongé dans cette solution à des ultrasons.
20. Procédé de réalisation d'un capteur à fil chaud de taille submillimétrique selon l'une des revendications 17 à 19, dans lequel l'étape (b) comporte la gravure d'un support mécanique s'étendant entre les deux
- 15 tiges, destiné à au maintien mécanique du fil métallique.
21. Procédé de réalisation d'un capteur à fil chaud de taille submillimétrique selon l'une des revendications 17 à 20, dans lequel l'étape (c) est réalisée par un procédé lift-off avec un profil en casquette.
- 20
22. Procédé de réalisation d'un capteur à fil chaud de taille submillimétrique selon l'une des revendications 17 à 21, dans lequel l'étape (d) est réalisée à une température comprise entre 200°C et 700°C pendant une durée comprise entre 15mn et 45mn.
- 25
23. Procédé de réalisation d'un capteur à fil chaud de taille submillimétrique selon l'une des revendications 17 à 22, dans lequel l'étape (e) consiste à :
- (e<sub>1</sub>) déposer une couche de germination, par exemple par pulvérisation,
  - 30 sur les tiges support ; puis

(e<sub>2</sub>) déposer au moins une couche de matériau métallique par électrolyse sur la couche de germination déposée à l'étape (e<sub>1</sub>), et éventuellement d'autres couches métalliques sur la première couche métallique.

- 5 24. Procédé de réalisation d'un capteur à fil chaud de taille submillimétrique selon l'une des revendications 17 à 23, dans lequel l'étape (f) est réalisée par gravure chimique, par exemple par une gravure humide dans un bain de KOH ou par une gravure en phase gazeuse sous XeF<sub>2</sub>.
- 10 25. Procédé de réalisation d'un capteur à fil chaud de taille submillimétrique selon l'une des revendications 17 à 24, dans lequel l'étape (f) est réalisée par une gravure physico-chimique, par exemple une gravure sous plasma de type Bosch DRIE.
- 15 26. Procédé de réalisation d'un capteur à fil chaud de taille submillimétrique selon l'une des revendications 17 à 25, dans lequel il est prévu, avant l'étape (e), une étape supplémentaire consistant à déposer une couche d'isolation thermique sur les tiges, et sur le substrat, dans le prolongement desdites tiges.



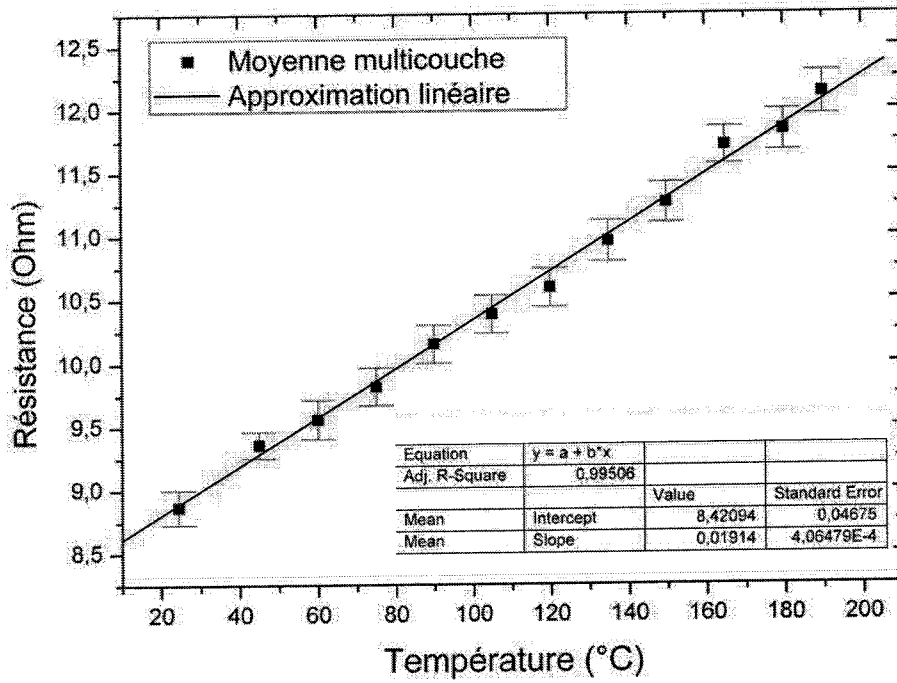


Fig.4

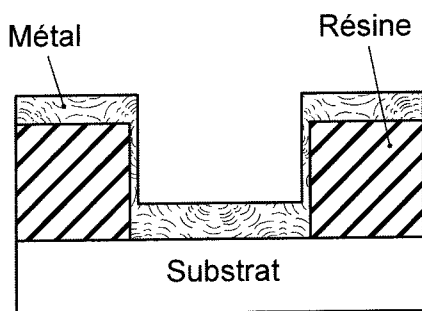
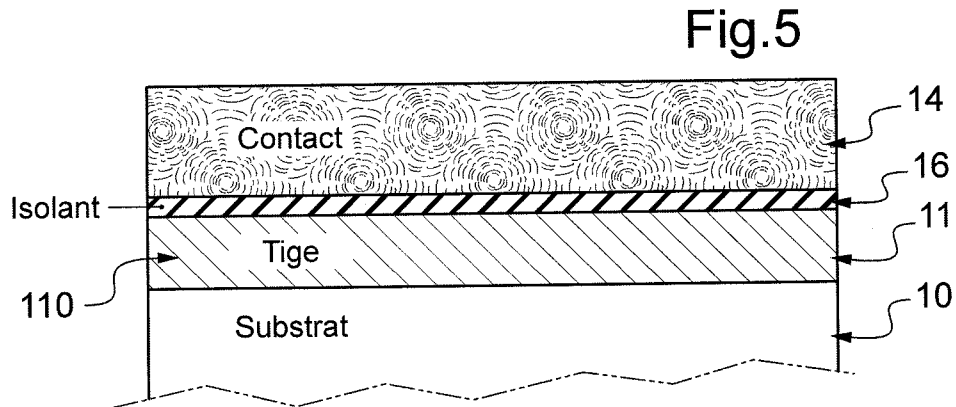


Fig.6a

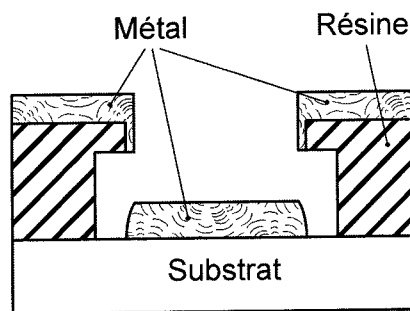
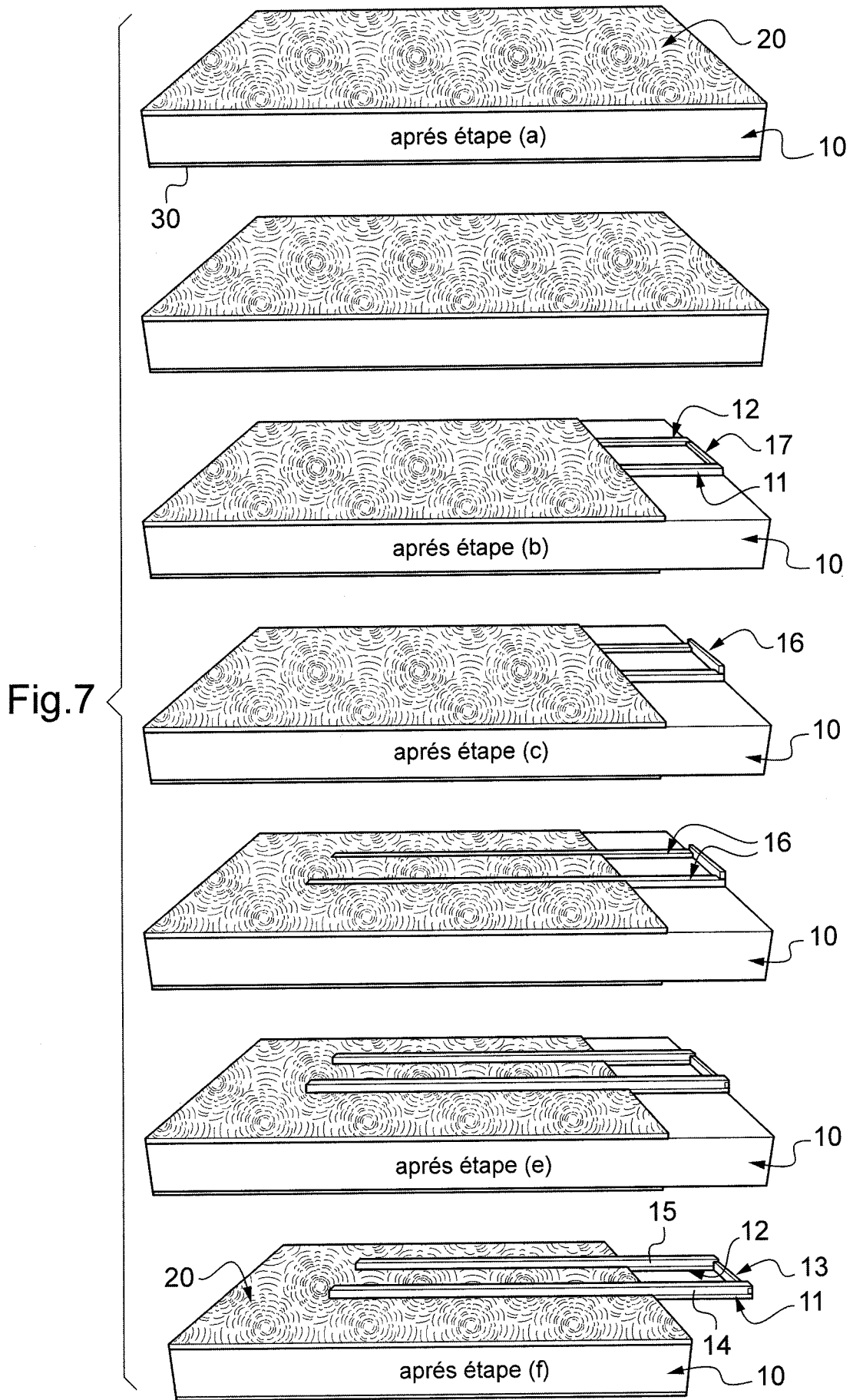


Fig.6b

3/3



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/IB2011/051546
---

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
 INV. G01P5/12 G01F1/684  
 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)  
 G01P G01F

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 practical, 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.
A	US 5 883 310 A (HO CHIH-MING [US] ET AL) 16 March 1999 (1999-03-16) column 1, line 65 - column 2, line 4 column 2, line 42 - line 52 column 4, line 55 - line 67 column 10, line 28 - line 34 -----	1-26
A	DE 10 2008 020874 A1 (EADS DEUTSCHLAND GMBH [DE]; UNIV PATRAS VERTRETEN DURCH PR [GR]) 12 November 2009 (2009-11-12) paragraph [0026] paragraph [0028] paragraph [0050] - paragraph [0054] ----- -/--	1,4,7, 12-14, 17,21-26

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 document 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

4 July 2011

Date of mailing of the international search report

12/07/2011

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

Rabenstein, Winfried

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/IB2011/051546

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 01/77694 A1 (UNIV CHICAGO [US]; KRAUSS JULIE R EF [US]; GRUEN DIETER M [US]; PELLIN) 18 October 2001 (2001-10-18) page 2, line 6 - line 8 page 5, line 15 - page 6, line 14 -----	3, 18, 19
A	CHANG LIU ET AL: "Development and characterization of surface micromachined, out-of-plane hot-wire anemometer", JOURNAL OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 12, no. 6, 1 December 2003 (2003-12-01), pages 979-988, XP011105288, ISSN: 1057-7157, DOI: DOI:10.1109/JMEMS.2003.820261 cited in the application page 981, dernier paragraphe - page 982, premier paragraphe -----	15, 16, 20
A	EP 1 348 937 A2 (HITACHI LTD [JP]; HITACHI CAR ENG CO LTD [JP]) 1 October 2003 (2003-10-01) paragraph [0045] -----	5, 6, 8, 9
A	ERM L P: "Modifications to a Constant-Temperature Hot-Wire Anemometer System to Measure Higher-Order Turbulence Terms Using Digital Signal Processing", INTERNET CITATION, 1 September 1997 (1997-09-01), page 40PP, XP009120987, Retrieved from the Internet: URL:http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?A D=ADA335307&Location=U2&doc=Get TRDoc.pdf [retrieved on 2009-08-03] page 6, line 1 - line 19 -----	4-9

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No <b>PCT/IB2011/051546</b>
--

Patent document cited in search report	Publication date	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5883310	A	16-03-1999	NONE	
-----				
DE 102008020874	A1	12-11-2009	NONE	
-----				
WO 0177694	A1	18-10-2001	AU 5699401 A	23-10-2001
			US 6613601 B1	02-09-2003
			US 6422077 B1	23-07-2002
-----				
EP 1348937	A2	01-10-2003	CN 1447098 A	08-10-2003
			JP 3698679 B2	21-09-2005
			JP 2003279394 A	02-10-2003
			US 2003183000 A1	02-10-2003
-----				

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n° PCT/IB2011/051546
--

<b>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE</b> INV. G01P5/12                      G01F1/684 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
<b>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</b>		
Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G01P G01F		
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		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</b>		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 5 883 310 A (HO CHIH-MING [US] ET AL) 16 mars 1999 (1999-03-16) colonne 1, ligne 65 - colonne 2, ligne 4 colonne 2, ligne 42 - ligne 52 colonne 4, ligne 55 - ligne 67 colonne 10, ligne 28 - ligne 34 -----	1-26
A	DE 10 2008 020874 A1 (EADS DEUTSCHLAND GMBH [DE]; UNIV PATRAS VERTRETEN DURCH PR [GR]) 12 novembre 2009 (2009-11-12) alinéa [0026] alinéa [0028] alinéa [0050] - alinéa [0054] ----- -/--	1,4,7, 12-14, 17,21-26
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input checked="" type="checkbox"/> 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	"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	
"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date	"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	
"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)	"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	
"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens	"&" document qui fait partie de la même famille de brevets	
"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale	
4 juillet 2011	12/07/2011	
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé	
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentiaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Rabenstein, Winfried	

**RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE**

Demande internationale n°  
PCT/IB2011/051546

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>WO 01/77694 A1 (UNIV CHICAGO [US]; KRAUSS JULIE R EF [US]; GRUEN DIETER M [US]; PELLIN) 18 octobre 2001 (2001-10-18) page 2, ligne 6 - ligne 8 page 5, ligne 15 - page 6, ligne 14 -----</p>	3,18,19
A	<p>CHANG LIU ET AL: "Development and characterization of surface micromachined, out-of-plane hot-wire anemometer", JOURNAL OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 12, no. 6, 1 décembre 2003 (2003-12-01), pages 979-988, XP011105288, ISSN: 1057-7157, DOI: DOI:10.1109/JMEMS.2003.820261 cité dans la demande page 981, dernier paragraphe - page 982, premier paragraphe -----</p>	15,16,20
A	<p>EP 1 348 937 A2 (HITACHI LTD [JP]; HITACHI CAR ENG CO LTD [JP]) 1 octobre 2003 (2003-10-01) alinéa [0045] -----</p>	5,6,8,9
A	<p>ERM L P: "Modifications to a Constant-Temperature Hot-Wire Anemometer System to Measure Higher-Order Turbulence Terms Using Digital Signal Processing", INTERNET CITATION, 1 septembre 1997 (1997-09-01), page 40PP, XP009120987, Extrait de l'Internet: URL:http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA335307&amp;Location=U2&amp;doc=Get TRDoc.pdf [extrait le 2009-08-03] page 6, ligne 1 - ligne 19 -----</p>	4-9

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/IB2011/051546

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5883310	A	16-03-1999	AUCUN	
-----				
DE 102008020874	A1	12-11-2009	AUCUN	
-----				
WO 0177694	A1	18-10-2001	AU 5699401 A	23-10-2001
			US 6613601 B1	02-09-2003
			US 6422077 B1	23-07-2002
-----				
EP 1348937	A2	01-10-2003	CN 1447098 A	08-10-2003
			JP 3698679 B2	21-09-2005
			JP 2003279394 A	02-10-2003
			US 2003183000 A1	02-10-2003
-----				