(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
7 juillet 2016 (07.07.2016)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2016/107806 A1

(51) Classification internationale des brevets :
G01P 21/00 (2006.01) *G01P 15/08* (2006.01)
G01C 25/00 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2015/081115

(22) Date de dépôt international :
23 décembre 2015 (23.12.2015)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1403026 30 décembre 2014 (30.12.2014) FR

(71) Déposant : **THALES** [FR/FR]; Tour Carpe Diem, Place des Corolles, Esplanade Nord, 92400 Courbevoie (FR).

(72) Inventeurs : **SCHWARTZ, Sylvain**; Thales Research & Technology, 1 avenue Augustin Fresnel, 91767 PALAISEAU Cedex (FR). **DUPONT-NIVET, Matthieu**; Thales Research & Technology, 1 avenue Augustin Fresnel, 91767 PALAISEAU Cedex (FR).

(74) Mandataires : **BREDA, Jean-Marc** et al.; Marks & Clerk France, Conseils en Propriété Industrielle, Immeuble VISIUM, 22 avenue Aristide Briand, 94117 Arcueil Cedex (FR).

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

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : HYBRID INERTIA SENSOR EMPLOYING COLD ATOMS AND MEMS AND ASSOCIATED INERTIAL PLATFORM

(54) Titre : CAPTEUR D'INERTIE HYBRIDE À ATOMES FROIDS ET MEMS ET CENTRALE INERTIELLE ASSOCIÉE

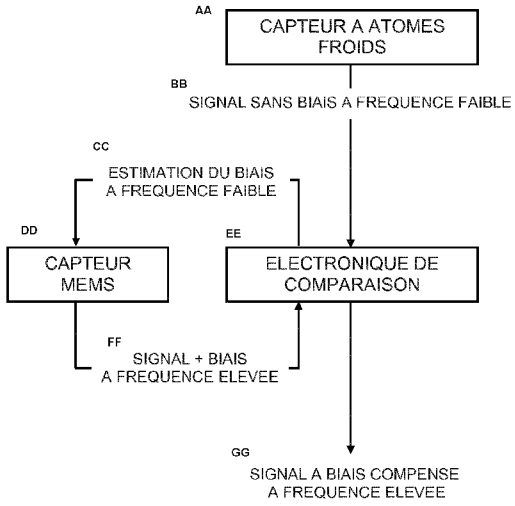


FIG. 1

AA Sensor employing cold atoms
BB Bias-free signal at low frequency
CC Estimation of the bias at low frequency
DD Mems sensor
EE Comparison electronics
FF Signal + bias at high frequency
GG Signal with compensated bias at high frequency

(57) Abstract : Device for measuring an inertia parameter comprising a first sensor of electromechanical microsystem type operating at a first frequency and a second sensor of cold atoms device type operating at a second frequency which is lower than the first measurement frequency. The device moreover comprises comparison electronics comprising: first means of calculation operating at the second frequency and calculating, on the basis of a first measurement emanating from the first sensor and of a second measurement emanating from the second sensor, a bias between said first measurement and said second measurement and; second means of calculation operating at the first frequency, and calculating measurements of said inertia parameter, each of said calculated measurements being equal to a first measurement emanating from the first sensor and corrected for said bias. This device is well adapted to the production of inertial platforms.

(57) Abrégé : Dispositif de mesure d'un paramètre d'inertie comprenant un premier capteur de type microsystème électromécanique fonctionnant à une première fréquence et un second capteur de type dispositif à atomes froids fonctionnant à une seconde fréquence inférieure à la première fréquence de mesure. Le dispositif comporte de plus une électronique de comparaison comprenant : des

[Suite sur la page suivante]

WO 2016/107806 A1

(84) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible)* : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

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

premiers moyens de calcul fonctionnant à la seconde fréquence et calculant, à partir d'une première mesure issue du premier capteur et d'une seconde mesure issue du second capteur, un biais entre ladite première mesure et ladite seconde mesure et; des seconds moyens de calcul fonctionnant à la première fréquence, et calculant des mesures dudit paramètre d'inertie, chacune desdites mesures calculées étant égale à une première mesure issue du premier capteur corrigée dudit biais. Ce dispositif est bien adapté à la réalisation de centrales inertielles.

Capteur d'inertie hybride à atomes froids et MEMS et centrale inertielle associée

Le domaine de l'invention est celui de la navigation inertielle. L'objet d'une centrale inertielle est de fournir les informations de vitesse angulaire et d'accélération d'un véhicule en mouvement. Le domaine d'application privilégiée est l'aéronautique.

Une centrale inertielle comporte donc des gyromètres et des accéléromètres pour assurer les mesures nécessaires. Il existe actuellement deux catégories de centrales inertielles selon les niveaux de performance et d'encombrement requis. Les centrales inertielles haut de gamme sont généralement réalisées à base de gyromètres optiques. Elles présentent l'inconvénient d'avoir un encombrement qui peut être important, voire rédhibitoire pour certaines applications.

Les centrales inertielles à base de capteurs micro-électro-mécaniques, encore appelés « MEMS », acronyme signifiant « Micro Electro Mechanical Systems », sont de taille significativement réduite par rapport aux technologies optiques. Cependant, ces capteurs présentent des niveaux de dérive du biais importants. Typiquement, la dérive est de l'ordre du degré par heure pour les meilleurs gyromètres à MEMS, ce qui restreint leurs applications aux domaines de la basse et de la moyenne performance. On trouvera plus d'informations sur ce type de MEMS dans la publication intitulée « Performance of MEMS inertial sensors » de Kourepenis et al, publiée dans IEEE PLANS April 1998.

Des capteurs inertiels extrêmement stables sur le long terme ont été développés ces dernières années utilisant des techniques d'interférométrie atomique avec des atomes refroidis par laser. Il est aujourd'hui possible de réaliser ce type de capteur dans un encombrement réduit. Les atomes sont alors piégés au voisinage d'un substrat ou « puce atomique » tout au long du cycle de détection. Une architecture de ce type présente potentiellement, par rapport aux capteurs utilisant des atomes froids en chute libre, les avantages d'une grande compacité. Cependant, les capteurs à atomes froids ont un niveau de bande passante réduit, typiquement de l'ordre de l'hertz. En effet, la précision de mesure dépend du

temps de séparation des atomes froids qui peut difficilement être réduit sans nuire à la précision de la mesure. Or, pour certaines applications, cette cadence de mesure est trop faible.

Dans la publication « Hybridizing matter-wave and classical accelerometers » de Lautier et al, publiée dans Applied Physics Letters 105,144102(2014), l'hybridation d'un accéléromètre et d'un gravimètre atomique a été proposée. Dans l'hybridation décrite, l'accéléromètre est utilisé pour asservir le miroir de renvoi d'un gravimètre atomique fonctionnant par interférométrie. Cette disposition permet d'obtenir à la fois une grande précision de mesure et une bande passante plus importante que celle d'un gravimètre non asservi. Cependant, cette application est limitée à la gravimétrie avec des atomes en chute libre et ne peut s'appliquer facilement à la mesure d'autres paramètres inertiels. Par ailleurs, ce dispositif reste un dispositif de laboratoire. Enfin, ce dispositif présente l'inconvénient d'asservir le système complexe d'un capteur à atomes froids.

Le dispositif de mesure d'un paramètre d'inertie selon l'invention est également un dispositif hybride qui réunit à la fois un capteur micro-électromécanique et un capteur à atomes froids sur puce. Cependant, il peut s'appliquer à tous types de MEMS et de capteurs à atomes froids dans la mesure où ce dispositif n'est pas dédié à un paramètre particulier ou à une technologie particulière. En combinant les mesures d'un même paramètre inertiel réalisées par deux capteurs de nature différente, on obtient à la fois la précision des systèmes à atomes froids et la bande passante des capteurs à MEMS.

Plus précisément, l'invention a pour objet un dispositif de mesure d'un paramètre d'inertie comprenant un premier capteur de mesure dudit paramètre d'inertie, ledit premier capteur étant un microsystème électromécanique fonctionnant à une première fréquence, caractérisé en ce que ledit dispositif de mesure comporte :

un second capteur de mesure dudit paramètre d'inertie, ledit second capteur étant un dispositif à atomes froids fonctionnant à une seconde fréquence de mesure inférieure à la première fréquence de mesure, et ;

une électronique de comparaison comprenant :

des premiers moyens de calcul fonctionnant à la seconde fréquence de mesure et calculant, à partir d'une première mesure issue du

premier capteur et d'une seconde mesure issue du second capteur, un biais entre ladite première mesure et ladite seconde mesure et ;

des seconds moyens de calcul fonctionnant à la première fréquence de mesure, et calculant des mesures dudit paramètre d'inertie, chacune desdites mesures calculées étant égale à une première mesure issue du premier capteur corrigée dudit biais.

Avantageusement, la correction du biais est une correction électronique effectuée par les seconds moyens de calcul.

Avantageusement, la correction du biais est obtenue par une modification d'un ou de plusieurs paramètres physiques du premier capteur.

Avantageusement, les paramètres physiques sont les tensions des électrodes de commande du microsystème électromécanique.

Avantageusement, le paramètre physique est la température du microsystème électromécanique.

Avantageusement, le second capteur comporte une puce électronique comportant des fils conducteurs parallèles et des moyens d'alimentation électrique desdits fils conducteurs, le nuage d'atomes froids nécessaire à la mesure étant disposé au voisinage de ladite puce électronique, les fils conducteurs et leurs moyens d'alimentation étant agencés de façon à créer les champs électromagnétiques nécessaires à la superposition d'états internes des atomes, à leur séparation et à leur recombinaison.

Avantageusement, le premier capteur est implanté sur ladite puce électronique.

Avantageusement, la puce électronique est agencée de façon à mesurer au moins un second paramètre d'inertie.

Avantageusement, le paramètre d'inertie est soit une accélération, soit une vitesse de rotation.

L'invention a également pour objet une centrale inertielle comprenant trois accéléromètres agencés de façon à mesurer l'accélération dans trois directions de l'espace non coplanaires et trois gyromètres agencés de façon à mesurer la vitesse de rotation dans trois directions de l'espace non coplanaires. Au moins un des accéléromètres ou un des gyromètres de ladite centrale inertielle est un dispositif de mesure d'un paramètre d'inertie comme décrit ci-dessus.

Avantageusement, les trois accéléromètres et les trois gyromètres sont des dispositifs de mesure d'un paramètre d'inertie comme décrit ci-dessus.

L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre donnée à titre non limitatif et grâce aux figures annexées parmi lesquelles :

La figure 1 représente le synoptique d'un dispositif de mesure d'un paramètre d'inertie selon l'invention comportant deux capteurs d'inertie ;

La figure 2 représente une vue d'une implantation des deux capteurs d'inertie sur une même puce électronique.

A titre d'exemple, la figure 1 représente le synoptique d'un dispositif de mesure d'un paramètre d'inertie selon l'invention. Sur cette figure, les dispositifs sont représentés encadrés et les flèches représentent le sens de transmission des informations. Le dispositif de mesure comporte essentiellement :

– Un premier capteur de type microsystème électromécanique mesurant ledit paramètre d'inertie. Ce capteur fonctionne à une première fréquence F1 et on note M1(t) les mesures issues de ce capteur en fonction du temps t ;

– un second capteur de type dispositif à atomes froids mesurant également ledit paramètre d'inertie. Ce capteur fonctionne à une seconde fréquence de mesure F2 inférieure à la première fréquence de mesure F1. Typiquement, F2 est de l'ordre du Hertz. On note M2(t) les mesures issues de ce capteur en fonction du temps t ;

– Une électronique de comparaison qui a deux fonctions. Sa première fonction est de comparer à une cadence qui est celle de la seconde fréquence, les mesures issues du premier et du second capteur. Sa seconde fonction est de calculer une mesure du paramètre d'inertie à la première fréquence.

On sait que, par nature, les dispositifs à atomes froids donnent des mesures d'une grande stabilité. Par conséquent, à un instant t_0 de mesure, la mesure $M2(t_0)$ est considérée comme une mesure exacte du paramètre. Généralement, le premier capteur étant moins précis que le

second, sa mesure $M1(t_0)$ à cet instant t_0 est différente de $M2(t_0)$. On appelle $B(t_0)$ le biais qui existe entre ces deux mesures et on a la relation simple :

$$M2(t_0) = M1(t_0) + B(t_0)$$

Entre cette première mesure réalisée à l'instant t_0 et la mesure suivante réalisée par le second capteur, il s'écoule une période de temps T2 qui vaut 1/F2. Avec une cadence de mesure à 1 Hertz, T2 vaut 1 seconde. Pendant cette durée T2, même si le premier capteur dérive, son biais reste pratiquement constant. Ainsi, on peut considérer qu'à tout instant t choisi entre t_0 et t_0 +T2, la mesure issue du premier capteur est exacte à condition qu'elle soit corrigée du biais $B(t_0)$. On peut alors écrire, en notant $M_{VRAIE}(t)$ la mesure exacte à l'instant t :

$$M_{VRAIE}(t) = M1(t) + B(t_0)$$

Ainsi, la connaissance du biais à la fréquence F2 permet, à partir de la mesure effectuée par le premier capteur de connaître la mesure vraie à la fréquence F1 qui peut être beaucoup plus importante que la fréquence F2 et qui n'est limitée que par les caractéristiques du capteur MEMS.

La correction du biais peut se faire de façon électronique. On calcule périodiquement le biais entre les deux capteurs et on en tient compte dans le calcul de la mesure finale. Elle peut également être obtenue par une modification d'un ou de plusieurs paramètres physiques du premier capteur. On peut ainsi agir sur les tensions des électrodes de commande du microsystème électromécanique ou réguler sa température de façon à ramener le biais au voisinage de zéro.

Le dispositif à atomes froids peut être de différentes natures. Cependant, il est intéressant de privilégier les architectures compactes, par exemple à atomes piégés, notamment sur puce électronique qui permettent l'intégration du capteur MEMS sur la même puce électronique.

Un capteur à atomes froids de ce type comporte une partie centrale constituée d'une enceinte à vide dont toutes les parois sont transparentes, sauf la paroi supérieure qui est constituée d'une puce sur laquelle ont été déposés des fils conducteurs. Cette puce 10 est représentée sur la vue en perspective de la figure 2. Dans le cas de la figure 2, le paramètre inertiel mesuré est l'accélération dont la direction est symbolisée par quatre chevrons sur la figure 2. Dans cette version, la puce électronique

comporte également le capteur MEMS 20 qui est dans ce cas, un accéléromètre.

Les atomes servant à la mesure, initialement en phase gazeuse à température ambiante dans l'enceinte, sont piégés et refroidis à l'aide de six faisceaux laser disposés symétriquement deux à deux sur trois axes perpendiculaires deux à deux combinés à un gradient de champ magnétique généré par des bobines magnétiques extérieures. Les six faisceaux laser sont disposés symétriquement sur trois axes perpendiculaires. L'ensemble des faisceaux laser et des bobines magnétiques est appelé piège magnéto-optique tridimensionnel ou « PMO 3D ».

A la fin de la phase de refroidissement et de piégeage, les atomes sont transférés dans un piège conservatif purement magnétique créé au voisinage des fils conducteurs de la puce 10 et préparés dans un état interne, par exemple |1>. A l'issue de cette phase, les atomes sont situés à une position spatiale initiale au-dessus de la puce électronique 10.

Comme on le voit sur la figure 2, la puce électronique 10 comporte au moins un premier fil conducteur central 11 utilisé comme fil de piégeage principal, un second fil conducteur 12 perpendiculaire au premier fil et utilisé comme fil de piégeage secondaire, deux guides d'onde 13 latéraux parallèles entre eux, parallèles au fil de piégeage secondaire 12 et disposés symétriquement par rapport à celui-ci. Le nuage d'atomes 15 étant situé au-dessus du premier fil conducteur 11, ledit premier fil conducteur étant traversé par un premier courant et générant un champ magnétostatique, le premier guide d'onde 13 étant traversé par un second courant modulé à une seconde fréquence micro-onde générant un second champ micro-onde et le second guide d'onde 13 étant traversé par un troisième courant modulé à une troisième fréquence micro-onde, générant un troisième champ micro-onde. Cette disposition permet de séparer et de recombiner magnétiquement le nuage atomique. Le procédé de séparation-recombinaison est détaillé ci-dessous.

Dans une première étape, les atomes sont transférés dans une superposition à poids égaux des états internes |1> et |2>, par une impulsion de durée courte dite impulsion $\pi/2$ combinant un champ micro-onde et un champ radiofréquence générés, par exemple, par les lignes conductrices 13 de la puce 10. Chaque atome est alors dans un état intermédiaire résultant noté $(|1> + |2>)/\sqrt{2}$.

Dans une seconde étape, les atomes sont séparés en deux paquets d'onde associés aux états internes |1> et |2>, grâce à un potentiel micro-onde MW dépendant de l'état interne. C'est cette phase de séparation atomique qui est représentée sur la figure 2. Le champ micro-onde utilisé pour la séparation est généré par les deux guides d'onde coplanaires ou CPW 13. La séparation est suivant la direction de l'accélération de façon à être le plus sensible possible. La distance de séparation s des atomes est de l'ordre d'une ou de plusieurs dizaines de micromètres. La séparation pendant un temps T_s entraîne un déphasage entre les deux paquets d'onde lié à l'accélération locale.

Dans une troisième étape, les atomes sont recombinés par la suppression des champs micro-ondes appliqués. Le déphasage est ensuite converti en différence de population entre les états internes au moyen d'une seconde impulsion « $\pi/2$ ».

Le nuage atomique est détecté en utilisant la technique d'imagerie par absorption qui consiste à mesurer à l'aide d'une caméra CCD l'absorption d'un faisceau laser quasi-résonant par le nuage atomique. On a ainsi accès, par spectroscopie optique, aux populations des deux états internes donc au déphasage recherché. Alternativement, les populations des deux états internes peuvent être mesurées par fluorescence à l'aide de photodiodes. Enfin, on calcule l'accélération qui est ensuite comparée à celle obtenue par l'accéléromètre à MEMS.

Le dispositif selon l'invention combinant deux types de capteurs permet de mesurer les accélérations et les vitesses de rotation à une cadence de mesure importante et avec une haute précision.

Une centrale inertielle comporte trois capteurs d'accélération et trois capteurs de rotation. On peut réaliser une centrale inertielle à partir de ce type de dispositif de mesure, soit en totalité, soit partiellement. Un des avantages des capteurs à atomes froids sur puce électronique est que, non seulement, il est possible d'intégrer sur la même puce un ou plusieurs MEMS mais l'on peut également mesurer avec la même puce différents paramètres d'inertie selon les champs électromagnétiques générés dans les fils conducteurs. On simplifie ainsi considérablement la réalisation de la centrale inertielle.

Les applications industrielles de cette centrale inertielle concernent notamment les dispositifs nécessitant un guidage inertiel de précision dans des environnements où le « GPS », acronyme de « Global Positioning System » peut être absent pendant des temps relativement longs, de l'ordre de plusieurs dizaines de minutes. De telles absence de GPS peuvent être accidentelles dues, par exemple, à une mauvaise réception ou intentionnelles, le signal GPS étant alors brouillé.

REVENDICATIONS

1. Dispositif de mesure d'un paramètre d'inertie comprenant un premier capteur de mesure (20) dudit paramètre d'inertie, ledit premier capteur étant un microsystème électromécanique fonctionnant à une première fréquence, caractérisé en ce que ledit dispositif de mesure comporte :

– un second capteur de mesure dudit paramètre d'inertie, ledit second capteur étant un dispositif à atomes froids fonctionnant à une seconde fréquence de mesure inférieure à la première fréquence de mesure, ledit second capteur comportant une puce électronique (10) comportant des fils conducteurs parallèles (12, 13) et des moyens d'alimentation électrique desdits fils conducteurs, le nuage d'atomes froids nécessaire à la mesure étant disposé au voisinage de ladite puce électronique, les fils conducteurs et leurs moyens d'alimentation étant agencés de façon à créer les champs électromagnétiques nécessaires à la superposition d'états internes des atomes, à leur séparation et à leur recombinaison, le premier capteur (20) étant implanté sur ladite puce électronique ;

– une électronique de comparaison comprenant :

des premiers moyens de calcul fonctionnant à la seconde fréquence de mesure et calculant, à partir d'une première mesure issue du premier capteur et d'une seconde mesure issue du second capteur, un biais entre ladite première mesure et ladite seconde mesure et ;

des seconds moyens de calcul fonctionnant à la première fréquence de mesure, et calculant des mesures dudit paramètre d'inertie, chacune desdites mesures calculées étant égale à une première mesure issue du premier capteur corrigée dudit biais.

2. Dispositif de mesure d'un paramètre d'inertie selon la revendication 1, caractérisé en ce que la correction du biais est une correction électronique effectuée par les seconds moyens de calcul.

3. Dispositif de mesure d'un paramètre d'inertie selon la revendication 1, caractérisé en ce que la correction du biais est obtenue par

une modification d'un ou de plusieurs paramètres physiques du premier capteur.

4. Dispositif de mesure d'un paramètre d'inertie selon la revendication 3, caractérisé en ce que les paramètres physiques sont les tensions des électrodes de commande du microsystème électromécanique.

5. Dispositif de mesure d'un paramètre d'inertie selon la revendication 3, caractérisé en ce que le paramètre physique est la température du microsystème électromécanique.

6. Dispositif de mesure d'un paramètre d'inertie selon la revendication 1, caractérisé en ce que la puce électronique est agencée de façon à mesurer au moins un second paramètre d'inertie.

7. Dispositif de mesure d'un paramètre d'inertie selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le paramètre d'inertie est soit une accélération, soit une vitesse de rotation.

8. Centrale inertielle comprenant trois accéléromètres agencés de façon à mesurer l'accélération dans trois directions de l'espace non coplanaires et trois gyromètres agencés de façon à mesurer la vitesse de rotation dans trois directions de l'espace non coplanaires, caractérisé en ce que au moins un des accéléromètres ou un des gyromètres de ladite centrale inertielle est un dispositif de mesure d'un paramètre d'inertie selon l'une des revendications précédentes.

9. Centrale inertielle selon la revendication 8, caractérisé en ce que les trois accéléromètres et les trois gyromètres sont des dispositifs de mesure d'un paramètre d'inertie selon l'une des revendications 1 à 7.

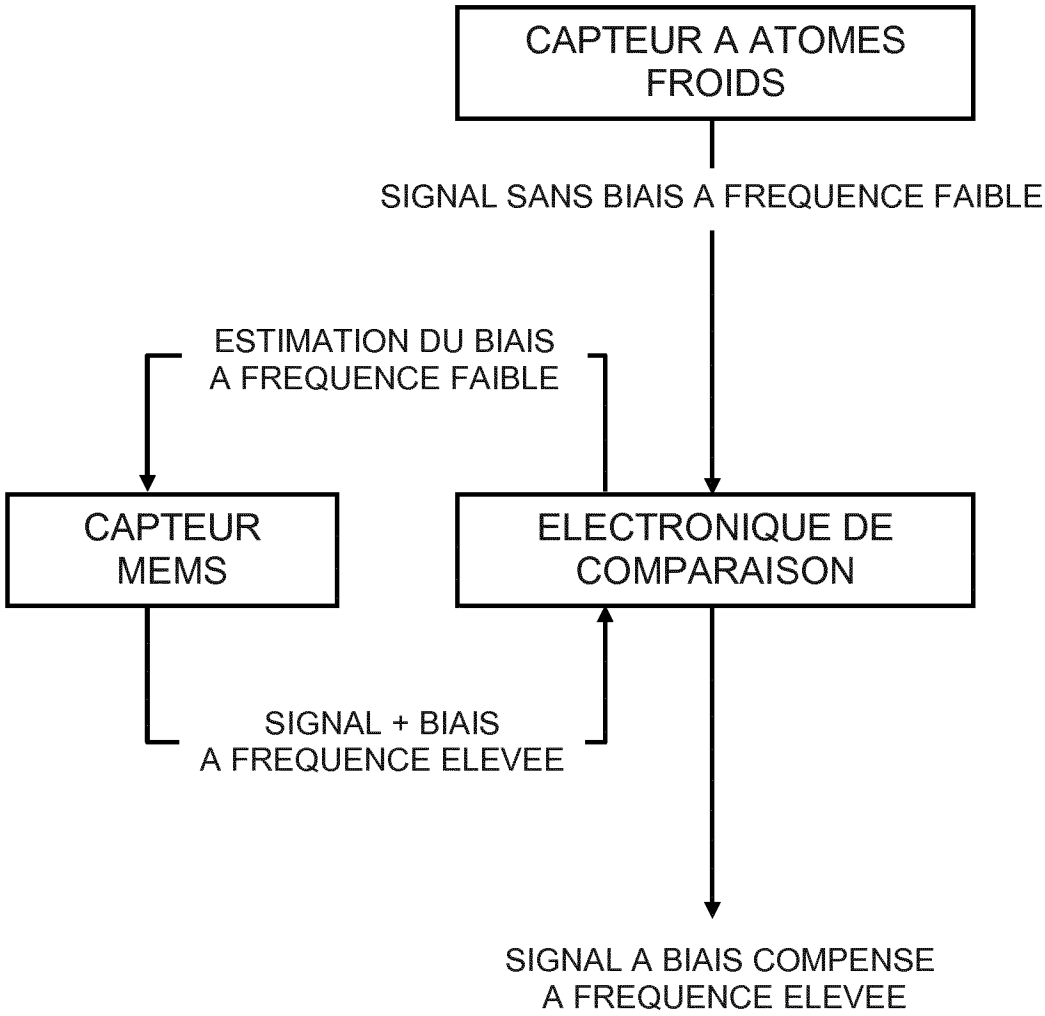

CAPTEUR A ATOMES FROIDS
SIGNAL SANS BIAIS A FREQUENCE FAIBLE
ESTIMATION DU BIAIS A FREQUENCE FAIBLE
CAPTEUR MEMS
ELECTRONIQUE DE COMPARAISON
SIGNAL + BIAIS A FREQUENCE ELEVEE
SIGNAL A BIAIS COMPENSE A FREQUENCE ELEVEE

FIG. 1

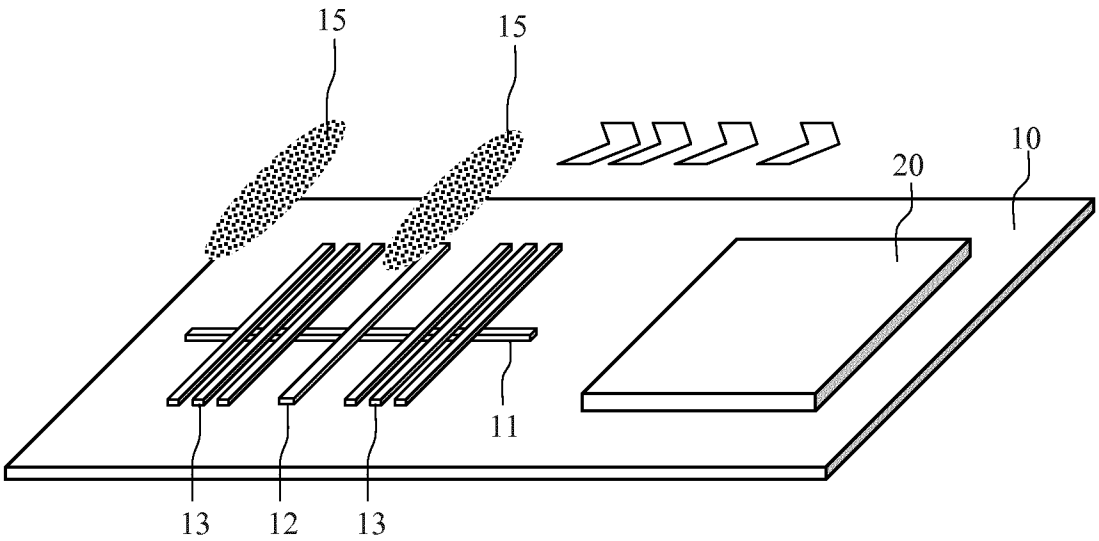


FIG. 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/081115

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01P21/00 G01C25/00 G01P15/08
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01P G01C

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

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 2 679 953 A1 (HONEYWELL INT INC [US]) 1 January 2014 (2014-01-01) column 2, paragraph 11 - column 6, paragraph 28; figures 2, 4, 5	1-9
Y	EP 2 629 303 A1 (HONEYWELL INT INC [US]) 21 August 2013 (2013-08-21) column 2, paragraph 16 - column 7, paragraph 33; figure 6	1-9
Y	US 2010/149541 A1 (AARONS ROBERT L [US] ET AL) 17 June 2010 (2010-06-17) the whole document	1-9
Y	FR 2 975 218 A1 (THALES SA [FR]) 16 November 2012 (2012-11-16) page 3, line 31 - page 6, line 34 page 13, line 30 - line 35; figures 1-5	1-9

-/--

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

[X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
7 April 2016	18/04/2016

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

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 2 199 742 A1 (THALES SA [FR]) 23 June 2010 (2010-06-23) page 5, paragraph 8 - page 6, paragraph 10; figures 1-3	1-9
Y	US 2013/152680 A1 (SACKETT CHARLES [US] ET AL) 20 June 2013 (2013-06-20) the whole document	1-9
A	WO 2014/145233 A1 (JOHNSON DAVID M S [US]; BUTTS DAVID L [US]; STONER RICHARD E [US]) 18 September 2014 (2014-09-18) page 17, line 1 - page 31, line 13; figure 2	1-9
A	LAUTIER J ET AL: "Hybridizing matter-wave and classical accelerometers", APPLIED PHYSICS LETTERS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, 2 HUNTINGTON QUADRANGLE, MELVILLE, NY 11747, vol. 105, no. 14, 6 October 2014 (2014-10-06), XP012190775, ISSN: 0003-6951, DOI: 10.1063/1.4897358 [retrieved on 1901-01-01] the whole document	1-9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2015/081115

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 2679953 A1	01-01-2014	CN 103512568 A	15-01-2014
		EP 2679953 A1	01-01-2014
		JP 2014029325 A	13-02-2014
		US 2014022534 A1	23-01-2014
EP 2629303 A1	21-08-2013	CN 103323620 A	25-09-2013
		EP 2629303 A1	21-08-2013
		EP 2955721 A1	16-12-2015
		JP 2013178243 A	09-09-2013
		US 2013213135 A1	22-08-2013
US 2010149541 A1	17-06-2010	NONE	
FR 2975218 A1	16-11-2012	NONE	
EP 2199742 A1	23-06-2010	EP 2199742 A1	23-06-2010
		FR 2939884 A1	18-06-2010
		JP 2010145403 A	01-07-2010
		US 2010177317 A1	15-07-2010
US 2013152680 A1	20-06-2013	NONE	
WO 2014145233 A1	18-09-2014	NONE	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2015/081115

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. G01P21/00 G01C25/00 G01P15/08
ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
G01P G01C

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

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

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	EP 2 679 953 A1 (HONEYWELL INT INC [US]) 1 janvier 2014 (2014-01-01) colonne 2, alinéa 11 - colonne 6, alinéa 28; figures 2, 4, 5	1-9
Y	EP 2 629 303 A1 (HONEYWELL INT INC [US]) 21 août 2013 (2013-08-21) colonne 2, alinéa 16 - colonne 7, alinéa 33; figure 6	1-9
Y	US 2010/149541 A1 (AARONS ROBERT L [US] ET AL) 17 juin 2010 (2010-06-17) le document en entier	1-9
Y	FR 2 975 218 A1 (THALES SA [FR]) 16 novembre 2012 (2012-11-16) page 3, ligne 31 - page 6, ligne 34 page 13, ligne 30 - ligne 35; figures 1-5	1-9

-/--

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

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

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
7 avril 2016	18/04/2016

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

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	EP 2 199 742 A1 (THALES SA [FR]) 23 juin 2010 (2010-06-23) page 5, alinéa 8 - page 6, alinéa 10; figures 1-3	1-9

Y	US 2013/152680 A1 (SACKETT CHARLES [US] ET AL) 20 juin 2013 (2013-06-20) le document en entier	1-9

A	WO 2014/145233 A1 (JOHNSON DAVID M S [US]; BUTTS DAVID L [US]; STONER RICHARD E [US]) 18 septembre 2014 (2014-09-18) page 17, ligne 1 - page 31, ligne 13; figure 2	1-9

A	LAUTIER J ET AL: "Hybridizing matter-wave and classical accelerometers", APPLIED PHYSICS LETTERS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, 2 HUNTINGTON QUADRANGLE, MELVILLE, NY 11747, vol. 105, no. 14, 6 octobre 2014 (2014-10-06), XP012190775, ISSN: 0003-6951, DOI: 10.1063/1.4897358 [extrait le 1901-01-01] le document en entier	1-9

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°
PCT/EP2015/081115

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 2679953 A1	01-01-2014	CN 103512568 A	15-01-2014
		EP 2679953 A1	01-01-2014
		JP 2014029325 A	13-02-2014
		US 2014022534 A1	23-01-2014
EP 2629303 A1	21-08-2013	CN 103323620 A	25-09-2013
		EP 2629303 A1	21-08-2013
		EP 2955721 A1	16-12-2015
		JP 2013178243 A	09-09-2013
		US 2013213135 A1	22-08-2013
US 2010149541 A1	17-06-2010	AUCUN	
FR 2975218 A1	16-11-2012	AUCUN	
EP 2199742 A1	23-06-2010	EP 2199742 A1	23-06-2010
		FR 2939884 A1	18-06-2010
		JP 2010145403 A	01-07-2010
		US 2010177317 A1	15-07-2010
US 2013152680 A1	20-06-2013	AUCUN	
WO 2014145233 A1	18-09-2014	AUCUN	