



(51) Classification internationale des brevets :

G01N 29/02 (2006.01) G01N 29/22 (2006.01)
G01N 29/24 (2006.01) G01N 15/06 (2006.01)
G01N 15/02 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/EP2017/058261

(22) Date de dépôt international :

6 avril 2017 (06.04.2017)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

1653003 6 avril 2016 (06.04.2016) FR

(71) Déposants : ECO LOGIC SENSE SAS [FR/FR]; 605 Avenue Olivier Perroy, 13790 Rousset (FR). UNIVERSITE D'AIX MARSEILLE [FR/FR]; 58, Boulevard Charles Livon, 13284 Marseille Cedex 7 (FR). UNIVER-

SITE DE FRANCHE COMTE [FR/FR]; 1, Rue Goudimel, 25030 Besancon Cedex (FR). ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE MECANIQUE ET DES MICRO-TECHNIQUES [FR/FR]; 26, Chemin de l'épitaque, 25030 Besancon Cedex (FR).

(72) Inventeurs : FERTIER, Laurent; 13, Rue de la Sablière, 86000 Poitiers (FR). DJOUMI, Lyes; Chez Nazih DJOUMI 32, Rue Maurice Arnoux Bât B, 92120 Montrouge (FR). BLONDEAU-PATISSIER, Virginie; 9, Rue de l'Usine, 25320 Boussières (FR). VANOTTI, Meddy; 9, Chemin des Saulniers, 25000 Besançon (FR). QUIVET, Etienne; 30, Rue Fauchier le Kléber Bât B, 13002 Marseille (FR).

(74) Mandataires : CAMUS, Olivier et al.; 25 rue de mau-beuge, 75009 PARIS (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : SENSOR FOR MEASURING THE CONCENTRATION OF PARTICLES IN THE ATMOSPHERE

(54) Titre : CAPTEUR POUR LA MESURE DE LA CONCENTRATION ATMOSPHÉRIQUE DE PARTICULES

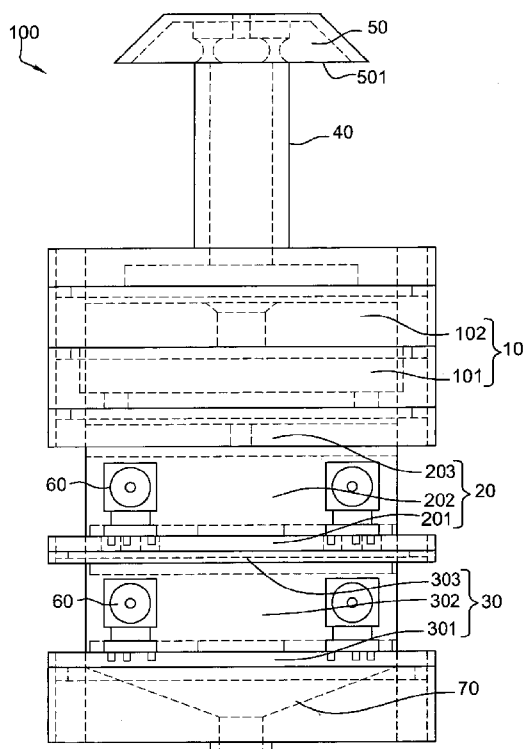


Fig. 1

(57) Abstract : A sensor for real-time measurement of the concentration of particles in the atmosphere comprises: • an air inlet for receiving an air stream (40) in which the concentration of particles is to be measured; • at least two stages (20, 30) arranged in cascade and designed to separate the particles according to size, the air inlet being connected to at least one of the two stages; • at least one of the stages (20, 30) comprising means for measuring in real time the concentration of particles; the sensor being characterised in that the means for measuring in real time the concentration of particles comprise at least one surface acoustic wave (SAW) transducer.

(57) Abrégé : Un capteur pour la mesure en temps réel de la concentration atmosphérique de particules comportant : • une entrée d'air adaptée pour recevoir un flux d'air (40) dont la concentration atmosphérique de particules est à mesurer; • au moins deux étages (20, 30) montés en cascade et configurés pour séparer les particules selon leur taille, ladite entrée d'air étant connectée à au moins un des deux étages; • au moins un desdits étages (20, 30) comprenant des moyens de mesure en temps réel de la concentration des particules; le capteur étant caractérisé en ce que lesdits moyens de mesure en temps réel de la concentration des particules comportent au moins un transducteur à Ondes Acoustiques de Surface ou Surface Acoustic Wave (SAW) en anglais.



BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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 :

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,

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

Capteur pour la mesure de la concentration atmosphérique de particules

DOMAINE DE L'INVENTION

5 L'invention concerne le domaine des capteurs de pollution atmosphérique et plus précisément le domaine des instruments pour la mesure en temps réel de la concentration de particules polluantes présentes dans l'atmosphère.

ETAT DE L'ART

La qualité de l'air est un paramètre essentiel pour assurer une bonne qualité de vie, notamment dans les villes et dans les agglomérations urbaines. Parmi les causes de pollution atmosphérique, les particules de quelques μm de diamètre sont particulièrement dangereuses pour la santé humaine. Ces particules sont produites en grande partie par des activités humaines liées à l'industrie et aux transports. Elles sont responsables de risques sanitaires tels que l'altération des fonctions pulmonaires et peuvent entraîner une diminution de l'espérance de vie.

Les particules fines (PM ou « Particulate Matter » en anglais) sont souvent classées suivant leur taille. On utilise l'appellation PM10 pour les particules ayant un diamètre aérodynamique inférieur à 10 μm et PM2.5 pour les particules de diamètre inférieur à 2.5 μm . Le diamètre aérodynamique d'une particule est défini comme étant le diamètre d'une sphère, de densité unitaire (1 g/cm³), ayant la même vitesse limite de chute qu'une particule dans un fluide. Il décrit le comportement aéraulique des particules dans le flux d'air.

Les épisodes de pollution atmosphérique intense deviennent aujourd'hui de plus en plus fréquents et les institutions doivent mettre en place des solutions – souvent dans l'urgence – pour contrer ces phénomènes. Ces solutions requièrent un suivi en temps réel de la concentration atmosphérique de particules fines. La nécessité de déployer un réseau dense de capteurs est de plus en plus ressentie.

Aujourd'hui deux méthodes de mesure des particules sont principalement utilisées :

- Les techniques optiques : ces techniques reposent sur la perturbation d'un faisceau lumineux par le passage des particules à travers le faisceau même ;

- Les techniques gravimétriques : ces techniques consistent à accumuler les particules sur un filtre puis à le quantifier par pesée directe ou indirecte.

Les dispositifs exploitant des techniques optiques comportent des coûts de réalisation élevés et, même s'ils sont assez compacts et portables, ils ont
5 généralement une faible sélectivité en taille des particules.

Les dispositifs gravimétriques les plus simples fonctionnent par impaction des particules sur un filtre qui est ensuite pesé. Même si ces dispositifs ont une bonne sélectivité en taille et des coûts relativement peu élevés, ils ne permettent pas un suivi en temps réel de la concentration de particules.

10 Les systèmes à jauge beta reposent sur une technique d'absorption d'électrons. Ces systèmes ont l'avantage d'être très fiables mais, en plus de leur coût élevé, ils demandent la présence d'une source radioactive, ce qui peut en diminuer la portabilité.

Les systèmes gravimétriques TEOM[®] (Tapered Element Oscillating Microbalance)
15 reposent sur l'utilisation d'une microbalance et sont utilisés pour le suivi réglementaire dans certains pays. Ces systèmes permettent le suivi en temps réel de la concentration de particules mais ils ne permettent pas une bonne sélectivité tout en gardant des coûts relativement élevés.

RESUME DE L'INVENTION

20 Pour remédier aux inconvénients des systèmes actuellement disponibles, la présente invention porte sur un dispositif capable notamment du suivi en temps réel de la concentration de particules dans l'atmosphère tout en assurant une bonne portabilité du système, des coûts limités et la possibilité de réaliser des réseaux de capteurs.

L'invention porte sur un capteur pour la mesure en temps réel de la concentration
25 atmosphérique de particules comportant :

- une entrée d'air adaptée pour recevoir un flux d'air dont la concentration atmosphérique de particules est à mesurer ;
- au moins deux étages montés en cascade et configurés pour séparer les particules selon leur taille, ladite entrée d'air étant connectée à au
30 moins un des deux étages ;

- au moins un desdits étages comprenant des moyens de mesure en temps réel de la concentration des particules;

lesdits moyens de mesure en temps réel de la concentration des particules comportant au moins un transducteur à Ondes Acoustiques de Surface ou Surface Acoustic Wave (SAW) en anglais.

On entend par entrée d'air une entrée connue de l'homme du métier telle qu'une canule adaptée à l'aspiration de l'air dont l'on veut mesurer la concentration de particules.

On entend par étage un empilement de pièces adaptées pour que l'air puisse s'écouler à travers l'étage et adaptées à filtrer les particules suivant leur taille. Par exemple, une ou plusieurs pièces composant l'étage peuvent posséder un ou plusieurs trous de diamètre adapté à la taille des particules à retenir et au débit d'air employé.

On entend par moyens de mesure en temps réel une ou plusieurs composantes adaptées, par exemple, pour fournir un signal proportionnel à la masse de particules présentes dans le flux d'air traversant le dispositif.

Plus spécifiquement, le capteur selon l'invention utilise comme moyens de mesure des transducteurs à Onde Acoustique de Surface (ou transducteur SAW en anglais).

Ces transducteurs sont utilisés en guise de microbalance pouvant mesurer la masse de particules se déposant sur leur surface.

Le capteur selon l'invention permet donc une mesure sélective des particules en différenciant PM10 et PM2.5.

Un avantage de l'invention est de proposer un capteur pour le suivi en temps réel de la concentration de particules atmosphériques, ledit capteur étant de taille réduite et donc ayant une grande portabilité. Le volume utile est par exemple de l'ordre de 750 cm³.

Un autre avantage de l'invention est l'utilisation de transducteurs de type SAW. Ces transducteurs ont une sensibilité plus grande par rapport à d'autres types de microbalances comme les microbalances à quartz classiques. En utilisant les transducteurs SAW, on peut estimer un gain d'un facteur 5 à 10 en sensibilité par

rapport à une microbalance à quartz. De plus, le dispositif selon l'invention permet d'atteindre une résolution très élevée de l'ordre de quelques ng/cm^2 .

Avantageusement, le temps de réponse de ce système est très rapide et inférieur à 10 minutes.

- 5 De plus, le capteur nécessite une faible maintenance et il peut fonctionner jusqu'à six mois sans intervention.

Au-delà des caractéristiques évoquées précédemment, le capteur selon l'invention peut présenter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes considérées individuellement ou selon toutes les combinaisons techniquement possibles :

- 10 • l'entrée d'air comprend un élément de protection, ledit élément de protection étant destiné à empêcher la pénétration de gouttelettes d'eau ou de particules macroscopiques à l'intérieur de la structure en cascade tout en permettant la circulation de l'air ;
- l'élément de protection est un tronc de cône creux ayant une face
15 ouverte ;
- le capteur comprend des moyens de contrôle du flux d'air à travers les étages connectés en cascade ;
- le flux d'air à l'intérieur des étages en cascade est réglé pour avoir un débit compris entre 0.45 et 5.5 l/min ;
- 20 • le capteur comporte trois étages montés en cascade et configurés pour retenir respectivement les particules de diamètre supérieur à 10 μm , celles de diamètre compris entre 10 μm et 2,5 μm et celles de diamètre inférieur à 2,5 μm ;
- la première plaque de filtrage comporte au moins un trou de diamètre
25 compris entre 3 mm et 8 mm, la deuxième plaque de filtrage au moins un trou de diamètre compris entre 1 mm et 3 mm et la troisième plaque de filtrage au moins un trou de diamètre compris entre 0,7 et 0,9 mm ;
- le capteur comprend des plaques de support pour lesdits moyens de mesure de la concentration des particules ;
- 30 • lesdites plaques de support comportent des ouvertures agencées de façon à permettre la circulation de l'air et la séparation des particules suivant leur taille ;

- lesdites plaques de support comportent des connecteurs et des circuits imprimés destinés à l'alimentation du transducteur SAW et à la récupération des signaux correspondant à la mesure de la concentration des particules ;
- 5 • les transducteurs SAW présentent une fonctionnalisation mécanique et chimique de leur surface pour faciliter l'adhésion des particules à la surface du transducteur ;
- les transducteurs SAW présentent une fonctionnalisation mécanique et chimique de la surface avec une couche en TeflonTM pour faciliter
10 l'adhésion des particules à la surface du transducteur ;
- la fréquence de vibration des transducteurs SAW est comprise entre 100 et 270 MHz ;
- la fréquence de vibration des transducteurs SAW est comprise de préférence entre 110 et 130 MHz ;
- 15 • le capteur comporte une pluralité de transducteurs SAW.
- lesdites plaques de support et lesdits transducteurs SAW sont placés au niveau du deuxième et du troisième étage montés en cascade.

LISTE DES FIGURES

- 20 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront clairement de la description qui en est donnée ci-dessous, à titre indicatif et nullement limitatif, en référence aux figures annexées, parmi lesquelles :
- La figure 1 montre une vue en coupe du capteur selon l'invention ;
 - La figure 2 montre une vue en coupe du capteur selon l'invention, le plan de
25 coupe étant normal au plan de coupe de la figure 1 ;
 - La figure 3a montre l'arrivée d'air du capteur selon l'invention ;
 - La figure 3b montre un élément de protection de l'entrée d'air dans un capteur selon l'invention ;
 - La figure 4a montre une plaque d'accélération du flux d'air utilisée pour trier
30 les particules suivant leur taille dans un capteur selon l'invention ;
 - La figure 4b montre une plaque d'impaction pour la récolte des particules de taille supérieure à 10 µm dans un capteur selon l'invention ;

- La figure 4c montre une plaque d'accélération du flux d'air utilisée pour trier les particules suivant leur taille dans un capteur selon l'invention ;
- La figure 4d montre une plaque d'accélération du flux d'air utilisée pour trier les particules suivant leur taille dans un capteur selon l'invention ;
- 5 • La figure 5 montre une plaque de support d'un transducteur SAW dans un capteur selon l'invention.

DESCRIPTION DETAILLEE

La figure 1 montre une vue en coupe du capteur 100.

10 Le capteur 100 selon l'invention comporte :

- Une entrée d'air 40 pour permettre l'entrée de l'air dont l'on veut mesurer la concentration de particules à l'intérieur du capteur ;
- Un élément de protection 50 de l'entrée d'air 40, ledit élément de protection 50 ayant une surface ouverte 501 ;
- 15 - Un étage 10 comprenant une plaque 102 dite plaque d'accélération du flux d'air ou plaque de filtrage et une plaque d'impaction 101, ladite plaque d'impaction destinée à retenir les particules de diamètre supérieur à 10 μm ;
- Un étage 20 comprenant une plaque 203 dite plaque d'accélération du flux d'air ou plaque de filtrage, un élément 202 destiné à lier la plaque 203 à une plaque 201, ladite plaque 201 étant une plaque de support d'un élément pour la mesure en temps réel de la concentration de particules, notamment un transducteur SAW ;
- 20 - Un étage 30 comprenant une plaque 303 dite plaque d'accélération du flux d'air ou plaque de filtrage, un élément 302 destiné à lier la plaque 303 à une plaque 301, ladite plaque 301 étant une plaque de support d'un élément pour la mesure en temps réel de la concentration de particules, notamment un transducteur SAW ;
- 25 - Des connecteurs 60 pour relier les transducteurs SAW pour la mesure en temps réel de la concentration de particules à l'extérieur du capteur ;
- 30 - Un élément 70 pour la sortie de l'air dont la concentration de particules a été mesuré.

L'entrée d'air 40 ramène l'air dont l'on veut mesurer la concentration de particules à l'intérieur du capteur. Elle est protégée par l'élément de protection 50 comportant la face ouverte 501, le rôle de l'ouverture 501 étant de laisser passer l'air à analyser.

Un avantage de la présence de l'élément 50 est d'empêcher l'arrivée de particules macroscopiques ou de gouttelettes d'eau à l'intérieur du capteur, éléments qui pourraient perturber l'opération de mesure.

Selon un mode de réalisation de l'invention, l'élément 50 a la forme d'un tronc de cône creux.

Un avantage de ce mode de réalisation est de faciliter l'écoulement de la pluie autour de la canule 40 d'entrée de l'air, tout en empêchant l'eau de pénétrer à l'intérieur du dispositif.

Selon un mode de réalisation de l'invention, le dispositif comporte une pluralité d'étages 10, 20, 30 montés en cascade et configurés pour retenir des particules de diamètres différents.

Un avantage de ce mode de réalisation est de pouvoir mesurer séparément les concentrations de particules de taille différente.

Selon un mode de réalisation de l'invention, le dispositif comporte trois étages (10, 20, 30) montés en cascade et configurés pour retenir respectivement les particules de diamètre supérieur à 10 μm , celles de diamètre compris entre 10 μm et 2,5 μm et celles de diamètre inférieur à 2,5 μm .

Un avantage de ce mode de réalisation est de mesurer sélectivement les concentrations des particules PM10 et PM 2.5, particulièrement importantes pour le contrôle de la qualité de l'air.

Le dispositif 100 de figure 1 est équipé de trois étages 10, 20, 30. Chacun de ces étages a le double rôle de sélectionner les particules suivant leur taille et de mesurer la quantité de particules ayant une taille donnée.

L'étage 10, connecté à l'arrivée d'air, comporte la plaque 102 d'accélération du flux d'air. Cette plaque permet d'arrêter les particules de diamètre supérieur à 10 μm .

L'étage 10 comporte également la plaque d'impaction 101 destinée à accueillir les particules de diamètre supérieur à 10 μm .

Les étages 20 et 30 permettent le suivi en temps réel de la concentration de particules en accueillant les transducteurs SAW.

- 5 L'étage 20 comporte la plaque 203 d'accélération du flux d'air et d'arrêt des particules de diamètre compris entre 10 μm et 2,5 μm . Ces particules sont mesurées à niveau de l'étage 20. L'étage 20 comporte également l'élément 202 liant l'élément 203 et la plaque 201 de support du transducteur SAW.

- 10 Un avantage de ce mode de réalisation est de permettre la mesure en temps réel de la concentration de particules ayant diamètre compris entre 10 μm et 2,5 μm . Ces particules PM10 sont particulièrement importantes pour la vérification de la qualité de l'air.

- 15 L'étage 30 comporte une plaque d'accélération 303 du flux d'air et d'arrêt des particules de diamètre inférieur à 2,5 μm . L'étage 30 comporte également un élément 302 de liaison entre l'élément 303 et la plaque 301 de support du transducteur SAW.

Un avantage de ce mode de réalisation est de permettre la mesure en temps réel de la concentration de particules ayant diamètre inférieur à 2,5 μm , dites aussi PM2.5. Les particules PM2.5 sont particulièrement importantes pour la vérification de la qualité de l'air.

- 20 Donc en combinant les mesures effectuées à niveau des étages 20 et 30 on parvient à la mesure de la concentration des particules PM10.

- 25 Les câbles sont connectés grâce aux connecteurs 60. Selon un mode de réalisation les câbles et les connecteurs 60 sont de type SMA. Les câbles de connexion permettent d'alimenter les transducteurs SAW et de récupérer les signaux relatifs à la concentration mesurée de particules.

L'élément 70 est la sortie de l'air dont la concentration de particules a été mesurée. Cet élément permet de raccorder le capteur 100 à la pompe qui assure la circulation du flux d'air à l'intérieur du dispositif.

- 30 Selon un mode de réalisation de l'invention le flux d'air à l'intérieur des étages en cascade est réglé pour avoir un débit compris entre 0,45 et 5.5 l/min.

Selon un mode préféré de réalisation de l'invention le flux d'air est réglé pour avoir un débit de 3 l/min.

Un avantage de ce mode de réalisation est de comporter une faible consommation énergétique, le débit étant relativement faible.

- 5 Pour que la sélection en taille des particules soit vraiment efficace, les trous dans les plaques d'accélération 102, 203 et 303 doivent être dimensionnés correctement par rapport au débit d'air choisi.

10 Selon un mode de réalisation de l'invention la première plaque d'accélération 102 comporte au moins un trou de diamètre compris entre 3 mm et 8 mm, la deuxième plaque d'accélération 203 au moins un trou de diamètre compris entre 1 mm et 3 mm et la troisième plaque d'accélération 303 au moins un trou de diamètre compris entre 0,7 et 0,9 mm.

15 Un avantage de ce mode de réalisation est de dimensionner le nombre et la taille des trous à chaque étage pour que la filtration et la sélection en taille des particules soit efficace pour un débit d'air donné.

La figure 2 montre une vue en coupe du capteur 100, le plan de coupe étant normal au plan de coupe de la figure 1.

La figure 3a montre l'entrée d'air 40 du capteur 100. Les trous 401 d'entrée de l'air permettent à l'air de rentrer à l'intérieur du dispositif.

- 20 La figure 3b montre l'élément de protection 50 comportant une face ouverte 501, ledit élément de protection adapté pour empêcher l'entrée de gouttelettes ou de particules macroscopiques à l'intérieur du dispositif.

Un avantage de ce mode de réalisation est d'empêcher l'entrée de gouttelettes d'eau ou de particules macroscopiques à l'intérieur du dispositif.

- 25 La figure 4a montre la plaque d'accélération 102 du flux d'air positionnée à niveau de l'étage 10 ou première plaque d'accélération.

La plaque 102 comporte un trou central 105 et des trous latéraux 106.

Avantageusement, le trou central 105 permet d'accélérer le flux d'air quand il passe à travers cet élément. Les particules de plus grande inertie sont déviées de la

trajectoire du flux d'air. Plus particulièrement, les particules de diamètre supérieur à 10 µm sont arrêtées à niveau de la plaque d'impaction 101.

Les trous latéraux 106 peuvent accueillir des moyens de maintien du capteur, par exemple pour fixer les différentes plaques qui forment le capteur.

- 5 Pour que le filtrage des particules suivant leur taille soit efficace, la taille des trous présents à chaque étage doit être dimensionnée en fonction du débit d'air utilisé. Selon un mode de réalisation préféré, pour un flux d'air de $(3 \pm 0,3)$ l/min, le trou sur la plaque 102 possède un diamètre de (7 ± 1) mm. Par exemple, pour des flux de $(0,50 \pm 0,05)$ et $(5,0 \pm 0,5)$ l/min le trou possède un diamètre respectivement de $(3,0 \pm 0,3)$ et (8 ± 1) mm.

La figure 4b montre la deuxième partie de l'étage 10 composée par une plaque d'impaction 101. La plaque 101 comprend des ouvertures 108 et des trous 107.

- Les particules de diamètre supérieur à 10 µm se déposent sur cette plaque. Les ouvertures 108 permettent au flux d'air contenant les particules de diamètre inférieur à 10 µm de s'écouler vers l'étage 20.

Les trous latéraux 107 peuvent accueillir des moyens de maintien du capteur, par exemple pour fixer les différentes plaques qui forment le capteur.

- Selon un mode de réalisation particulièrement avantageux la plaque d'impaction 101 peut être recouverte d'une couche en Teflon® pour faciliter l'adhésion des particules à la surface de la plaque 101 même.

La figure 4c représente la plaque d'accélération 203 du flux d'air à niveau de l'étage 20 du capteur 100. La plaque 203 comporte un trou central 205 et des trous latéraux 206.

- Le trou central 205 permet d'accélérer le flux d'air quand il passe à travers cet élément. Les particules de plus grande inertie sont déviées de la trajectoire du flux d'air. Plus particulièrement, les particules de diamètre supérieur à 2,5 µm sont arrêtées à niveau de la plaque 201 de support du transducteur SAW.

Cet élément permet d'arrêter les particules de diamètre compris entre 10 µm et 2.5 µm à niveau de l'étage 20.

Les trous latéraux 206 peuvent accueillir des moyens de maintien du capteur, par exemple pour fixer les différentes plaques qui forment le capteur.

Comme pour l'élément 102, dans ce cas aussi la taille des trous doit être choisie en fonction du débit d'air pour que le filtrage des particules suivant leur taille soit efficace. Selon un mode de réalisation préféré, pour un débit d'air égal à $(3 \pm 0,3)$ l/min le trou sur la plaque 203 possède un diamètre de $(3,0 \pm 0,5)$ mm. Si un débit de l'ordre de $(0,50 \pm 0,05)$ l/min est choisi le trou doit posséder un diamètre de $(1,0 \pm 0,3)$ mm. En revanche pour un débit plus élevé de l'ordre de $(5,0 \pm 0,5)$ l/min la plaque 203 doit posséder deux trous chacun de diamètre égal à $(2,0 \pm 0,3)$ mm.

La figure 4d montre la plaque 303 d'accélération du flux d'air. La plaque 303 comporte deux trous centraux 305 et des trous latéraux 306.

Les deux trous centraux 305 permettent d'accélérer le flux d'air quand il passe à travers cet élément. Les particules de plus grande inertie sont déviées de la trajectoire du flux d'air. Plus particulièrement, les particules de diamètre compris entre 2,5 et 0,3 μm sont arrêtées à niveau de la plaque 301 de support du transducteur SAW.

Les trous latéraux 306 peuvent accueillir des moyens de maintien du capteur, par exemple pour fixer les différentes plaques qui forment le capteur.

Si un débit d'air de $(3,0 \pm 0,3)$ l/min est choisi, selon un mode de réalisation préféré, la plaque 303 possède deux trous, chacun de diamètre égal à $(0,8 \pm 0,1)$ mm. Pour un débit d'air de $(0,50 \pm 0,05)$ l/min la plaque 303 comporte un seul trou de diamètre égal à $(0,7 \pm 0,1)$ mm. Pour un débit d'air égal à $(5,0 \pm 0,5)$ l/min la plaque 303 comprend 2 trous chacun de diamètre égal à $(0,9 \pm 0,1)$ mm.

Un exemple de dimensionnement des trous des plaques 102, 203 et 303 en fonction du débit d'air à analyser est présenté par le tableau suivant :

Débit (litre par minute)	N Plaque (figure 4)	Nombre de trous	Diamètre des trous (mm)
$0,50 \pm 0,05$	102	1	$3,0 \pm 0,3$
	203	1	$1,0 \pm 0,3$

	303	1	$0,7 \pm 0,1$
$3,0 \pm 0,3$	102	1	7 ± 1
	203	1	$3,0 \pm 0,5$
	303	2	$0,8 \pm 0,1$
$5,0 \pm 0,5$	102	1	8 ± 1
	203	2	$2,0 \pm 0,3$
	303	2	$0,9 \pm 0,1$

Avantageusement, en choisissant un débit compris entre 0,5 et 3 l/min le dispositif a une consommation énergétique réduite, ce qui permet d'avoir une autonomie prolongée.

- 5 En revanche un débit élevé, même si plus couteux en terme d'énergie de fonctionnement, permet des acquisitions plus rapides et précises.

10 Selon un mode de réalisation de l'invention le capteur comprend au moins une plaque de support (201,301) pour les moyens de mesure de la concentration des particules.

La figure 5 montre une des plaques de support 201, 301 des transducteurs SAW 600. Ces plaques ont plusieurs fonctions techniques :

- Accueillir le transducteur SAW 600 ;
- Accueillir les circuits imprimés 604 et les connecteurs 60 adaptés pour relier les SAW 600 à l'extérieur ;
- Accueillir les trous 603 nécessaires à l'écoulement de l'air à analyser.

Les trous latéraux 606 peuvent accueillir des moyens de maintien du capteur, par exemple pour fixer les plaques 201, 301 aux autres éléments du capteur.

20 Un avantage de ce mode de réalisation est de permettre l'installation des transducteurs SAW à l'intérieur du capteur 100 tout en assurant la connexion à l'aide de circuits imprimés sur les plaques mêmes.

Selon un mode de réalisation de l'invention lesdites plaques de support comportent des ouvertures agencées de façon à permettre la circulation de l'air et la séparation des particules suivant leur taille.

Un avantage de ce mode de réalisation est de permettre la circulation du flux d'air à
5 niveau des transducteurs, tout en permettant la mesure sélective en taille et en temps réel de la concentration de particules.

Selon un mode de réalisation de l'invention, les plaques de support 201,301
comportent des connecteurs 60 destinés à l'alimentation du transducteur SAW 600
et à la récupération des signaux correspondant à la mesure de la concentration des
10 particules.

Un avantage de ce mode de réalisation est de pouvoir en même temps alimenter les transducteurs SAW 600 et récupérer les signaux électriques contenant les informations relatives à la concentration de particules.

Chaque transducteur SAW 600 comporte deux surfaces vibrantes : une partie
15 « mesure » et une partie « référence ». Le flux d'air à analyser dépose les particules sur la partie « mesure ». De façon connue, les particules déposées sur cette surface modifient la fréquence de vibration de la surface même, pendant que la fréquence de vibration de la partie « référence » reste inaltérée. En mesurant la différence entre la fréquence originelle et celle altérée par la présence des particules déposées on peut
20 remonter à la masse des particules déposées sur la partie « mesure ».

Les transducteurs SAW 600 sont placés légèrement en décalé de quelques mm par rapport aux trous de passage du flux d'air des éléments 203 et 303. Le décalage des transducteurs SAW 600 par rapport aux trous de passage du flux d'air des éléments 202 et 203 est par exemple compris entre 1 et 5 mm. Cette disposition permet de
25 diriger le flux d'air directement sur la partie « mesure » du transducteur SAW, en laissant inaltérée la fréquence de vibration de la partie « référence ».

Les peignes interdigités des SAW 600 peuvent être reliés aux circuits imprimés par des microfils en or.

Selon un mode de réalisation de l'invention, le dispositif comprend des moyens de
30 contrôle du flux d'air à travers les étages connectés en cascade.

Un avantage de ce mode de réalisation est la possibilité de régler le débit d'air à travers le dispositif.

Selon un mode de réalisation de l'invention, les transducteurs SAW 600 présentent une fonctionnalisation mécanique et chimique de leur surface.

- 5 Un avantage de ce mode de réalisation est de faciliter l'adhésion des particules à la surface du transducteur.

Selon un mode de réalisation de l'invention, les transducteurs SAW 600 présentent une fonctionnalisation mécanique et chimique de leur surface avec une couche en TeflonTM.

- 10 Un avantage de ce mode de réalisation est de faciliter l'adhésion des particules à la surface du transducteur sans les coller définitivement, ce qui est important pour pouvoir nettoyer/régénérer le surface des transducteurs après utilisation.

Selon un mode de réalisation de l'invention la fréquence de vibration des transducteurs SAW est comprise entre 100 et 270 MHz.

- 15 Un avantage de ce mode de réalisation est d'utiliser une fréquence de vibration plus élevée que celle utilisée dans d'autres systèmes à microbalance, ce qui permet d'augmenter la sensibilité de la mesure de masse.

Selon un mode de réalisation de l'invention la fréquence de vibration des transducteurs SAW est comprise préférentiellement entre 110 et 130 MHz.

Revendications

1. Capteur pour la mesure en temps réel de la concentration atmosphérique de particules comportant :

- 5 • une entrée d'air adaptée pour recevoir un flux d'air (40) dont la concentration atmosphérique de particules est à mesurer ;
- au moins deux étages (20, 30) montés en cascade et configurés pour séparer les particules selon leur taille, ladite entrée d'air étant connectée à au moins un des deux étages ;
- 10 • au moins un desdits étages (20, 30) comprenant des moyens de mesure en temps réel de la concentration des particules;

le capteur étant caractérisé en ce que :

- 15 - lesdits moyens de mesure en temps réel de la concentration des particules comportent au moins un transducteur à Ondes Acoustiques de Surface ou Surface Acoustic Wave (SAW) en anglais ;
- il comprend au moins une plaque de support (201,301) pour lesdits moyens de mesure de la concentration des particules ;
- ladite au moins une plaque de support (201,301) comporte des ouvertures (603) agencées de façon à permettre la circulation de l'air et la séparation
- 20 des particules suivant leur taille ;
- ladite au moins une plaque de support (201, 301) comporte des connecteurs (60) et des circuits imprimés (604) destinés à l'alimentation du transducteur SAW (600) et à la récupération des signaux correspondant à la mesure de la concentration des particules.

25 2. Capteur selon la revendication précédente caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de contrôle du flux d'air à travers les étages connectés en cascade.

30 3. Capteur selon la revendication précédente caractérisé en ce que le flux d'air à l'intérieur des étages en cascade est réglé pour avoir un débit compris entre 0.45 et 5.5 l/min.

4. Capteur selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce qu'il comporte trois étages (10, 20, 30) montés en cascade et configurés pour retenir respectivement les particules de diamètre supérieur à 10 μm (10), celles de diamètre compris entre 10 μm et 2,5 μm (20) et celles de diamètre inférieur à 2,5 μm (30).
5. Capteur selon la revendication précédente caractérisé en ce que chacun des trois étages (10, 20, 30) comprend une plaque de filtrage (102, 203, 303), la plaque de filtrage (102) du premier étage (10) comportant au moins un trou de diamètre compris entre 3 mm et 8 mm, la plaque de filtrage (203) du deuxième étage au moins un trou de diamètre compris entre 1 mm et 3 mm et la plaque de filtrage (303) du troisième étage (30) au moins un trou de diamètre compris entre 0,7 et 0,9 mm ;
6. Capteur selon les revendications 3, 4 et 5, caractérisé en ce que le flux d'air à l'intérieur des étages en cascade est égal à 3 litres par minute, la plaque de filtrage (102) du premier étage (10) comprend un seul trou de diamètre égal à 7 mm, la plaque de filtrage (203) du deuxième étage (20) comprend un seul trou de diamètre égal à 3 mm et la plaque de filtrage (303) du troisième étage (30) comprend deux trous ayant chacun un diamètre de 0,8 mm.
7. Capteur selon les revendications 3, 4 et 5 caractérisé en ce que le flux d'air à l'intérieur des étages en cascade est réglé pour avoir un débit de 5 litres par minute, la plaque de filtrage (102) du premier étage (10) comprend un seul trou de diamètre égal à 7 mm, la plaque de filtrage (203) du deuxième étage (20) comprend deux trous de diamètre égal à 2 mm et la plaque de filtrage (303) du troisième étage (30) comprend deux trous ayant chacun un diamètre de 0,9 mm.
8. Capteur selon la revendication 1 et l'une des revendications 5 à 7 caractérisé en ce que Les transducteurs SAW (600) sont placés en décalé par rapport aux trous de passage du flux d'air des plaques de filtres de sorte à diriger le flux d'air directement sur la partie « mesure » du transducteur SAW, en laissant inaltérée la fréquence de vibration de la partie « référence ».

9. Capteur selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que les transducteurs SAW (600) présentent une fonctionnalisation mécanique et chimique de la surface avec une couche en TeflonTM pour faciliter l'adhésion des particules à la surface du transducteur.
10. Capteur selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que les transducteurs SAW (600) vibrent à une fréquence comprise entre 100 MHz et 270 MHz.

5

10

1/5

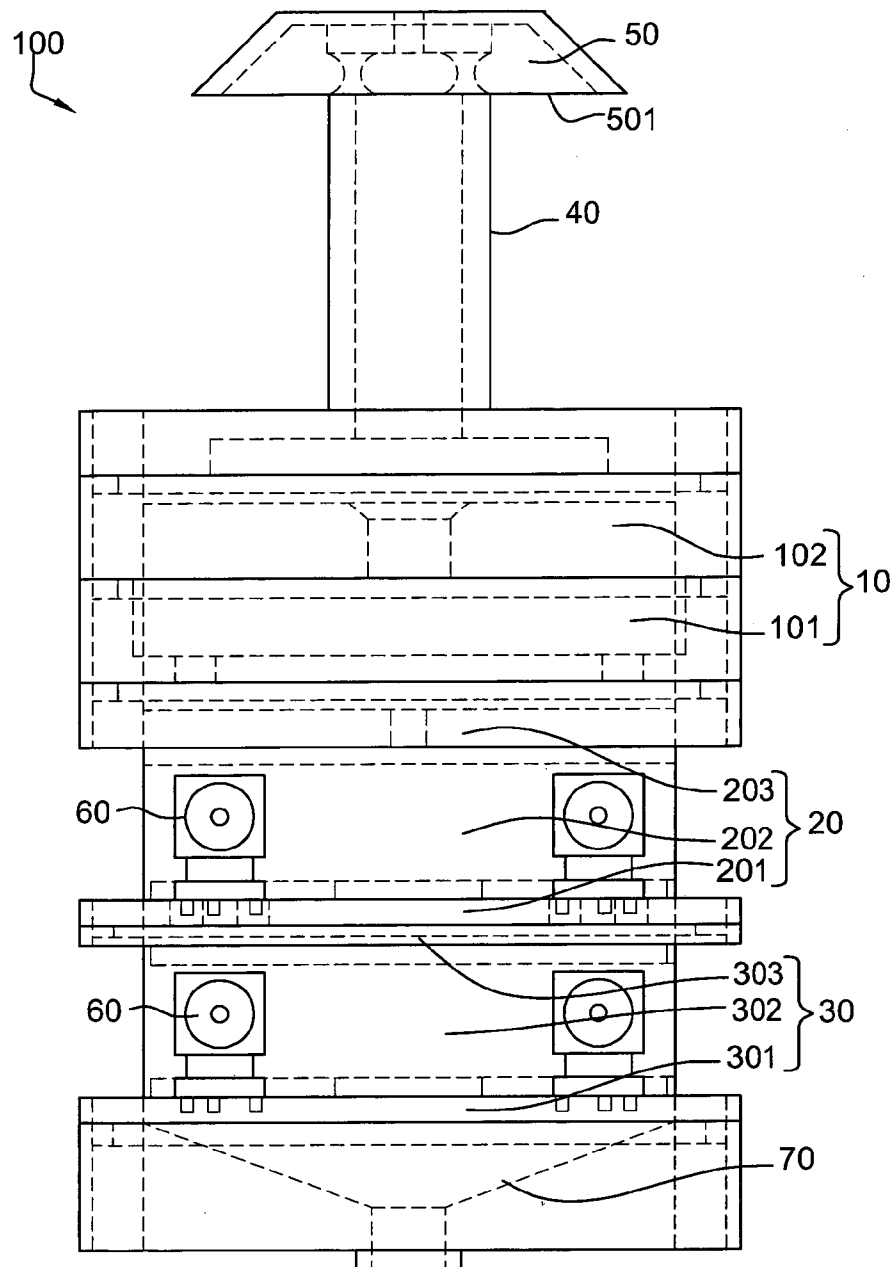


Fig. 1

2 / 5

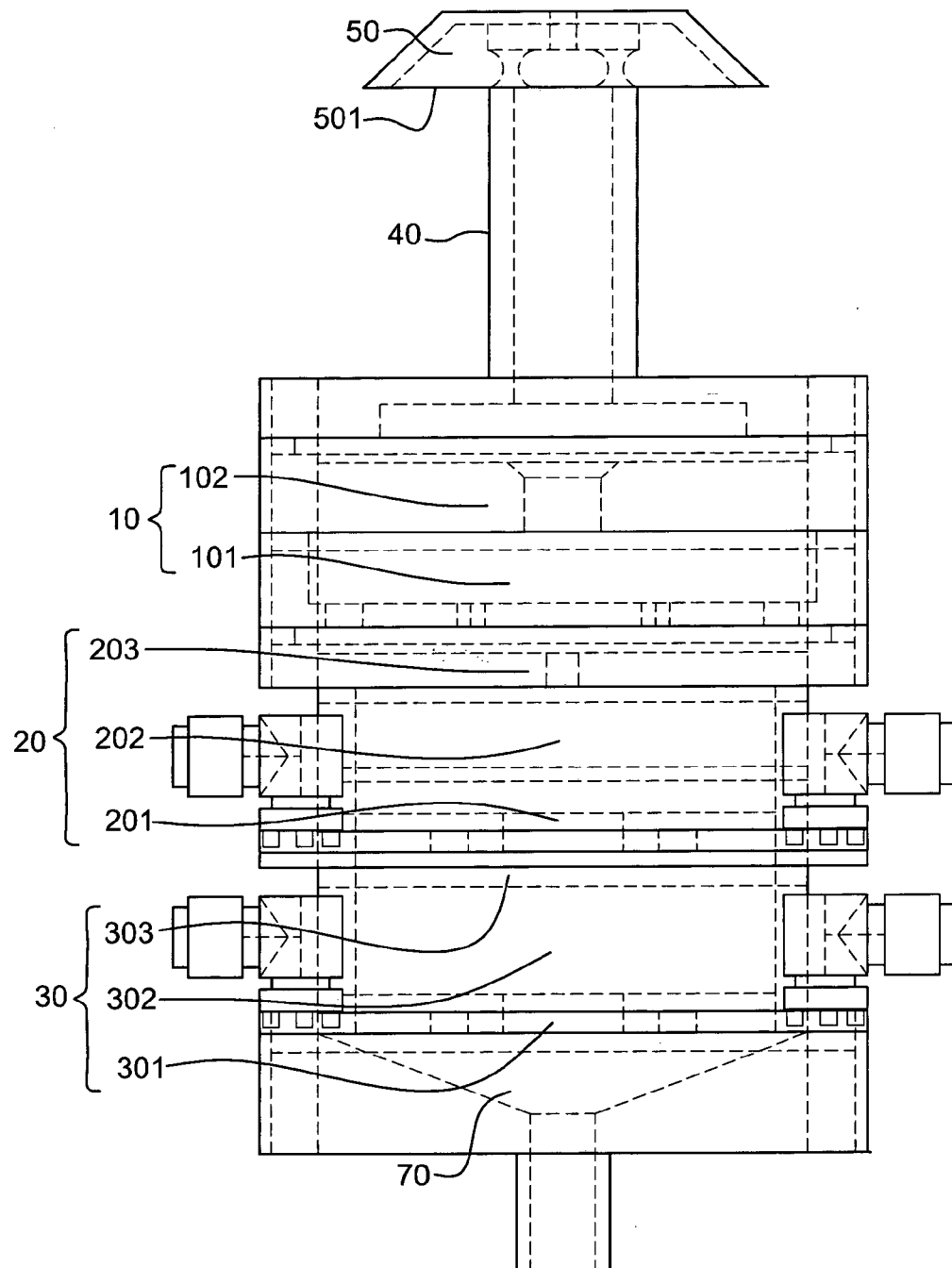


Fig. 2

3 / 5

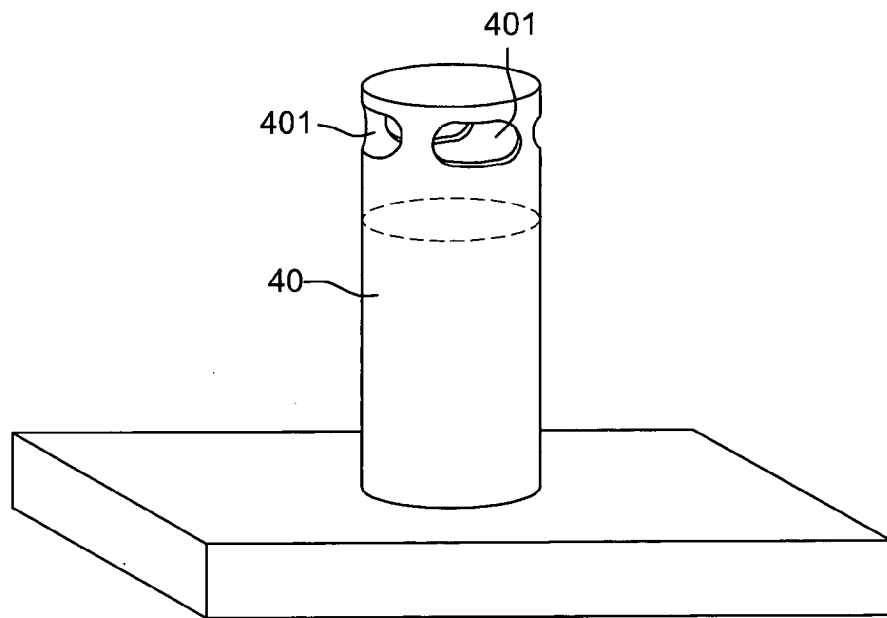


Fig. 3a

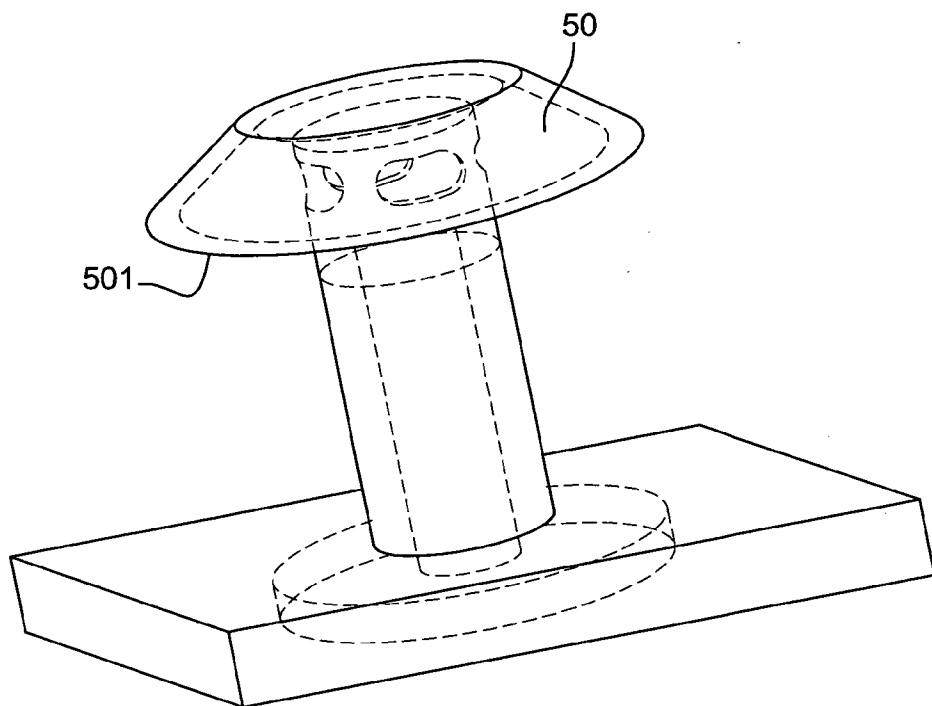


Fig. 3b

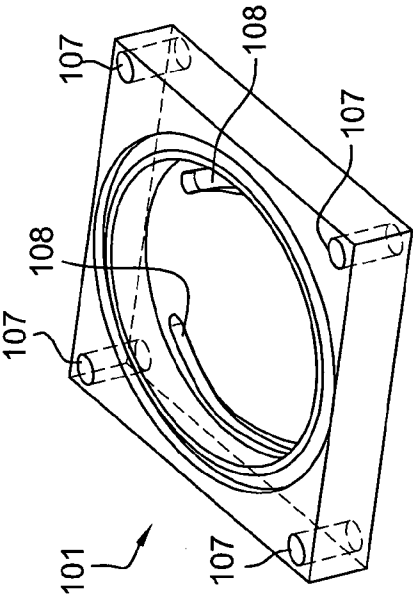


Fig. 4a

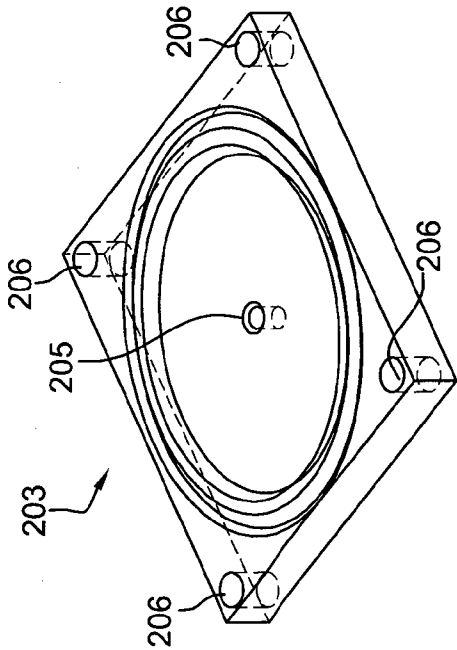


Fig. 4c

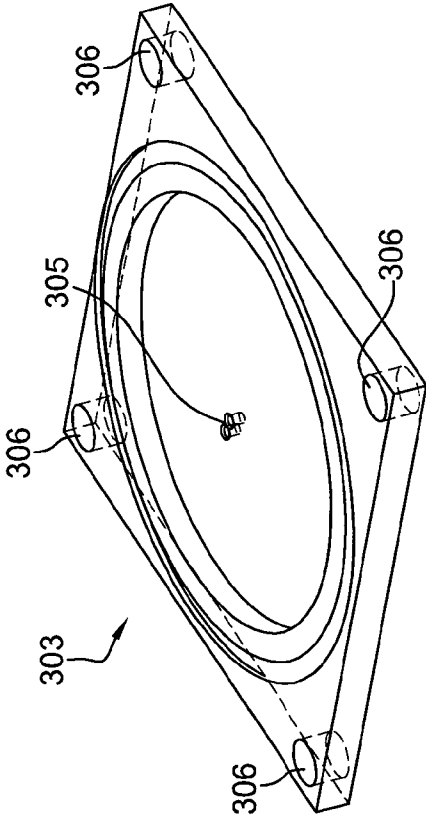


Fig. 4d

Fig. 4b

5/5

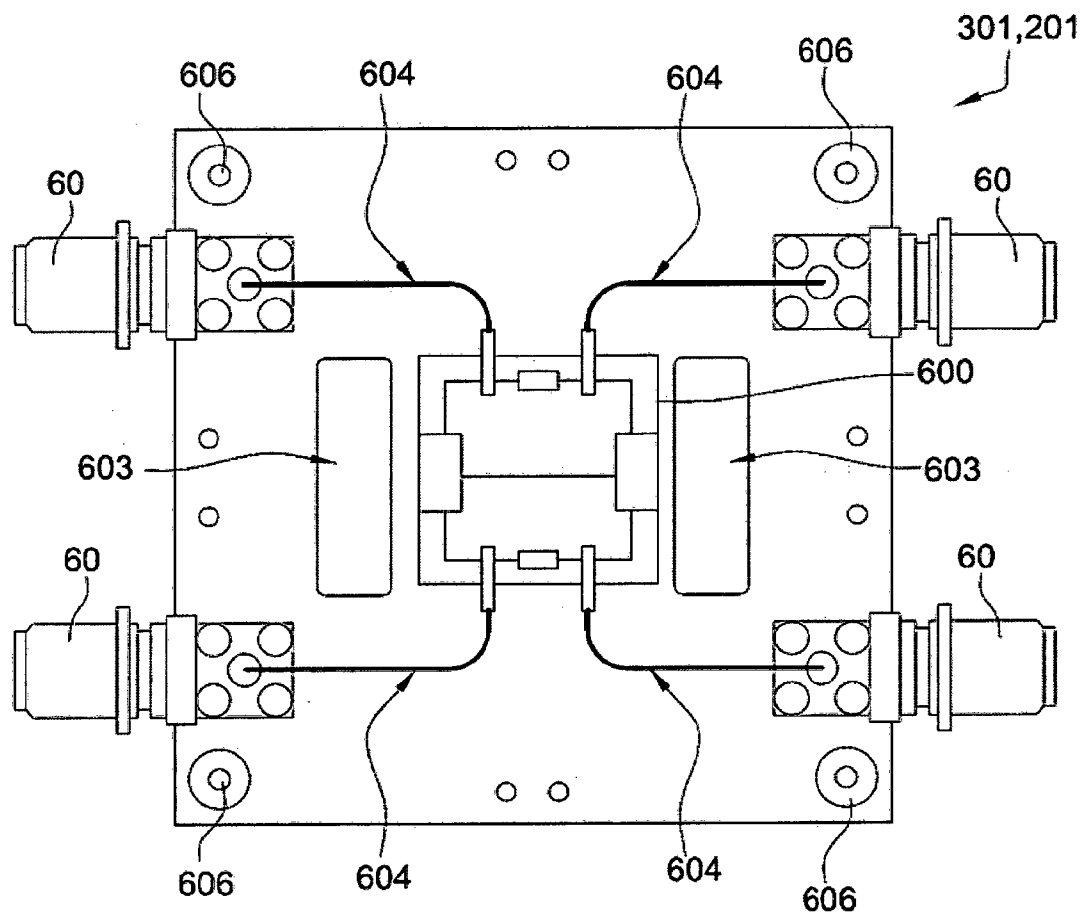


Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/058261

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G01N29/02 G01N29/24 G01N15/02 G01N29/22 G01N15/06 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) G01N		
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.
A	WO 2013/117747 A1 (LUNDIN STEFAN [SE]; OLIN ANNA-CARIN [SE]) 15 August 2013 (2013-08-15) the whole document	1-10
A	GB 2 371 362 A (UNIV NOTTINGHAM TRENT [GB]) 24 July 2002 (2002-07-24) pages 9-11; figure 5 ----- -/--	1-10
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
26 May 2017		23/06/2017
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Roetsch, Patrice

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2017/058261

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Dekati: "Dekati PM10 Impactor @BULLET PM10, PM2.5 and PM1 mass concentrations @BULLET Air quality measurements @BULLET Combustion source sampling according to ISO23210 Excellence in Particle Measurements", 31 July 2014 (2014-07-31), XP055330223, Retrieved from the Internet: URL:https://www.ecotech.com/wp-content/uploads/2015/03/Dekati-PM10-Impactor.pdf [retrieved on 2016-12-19] the whole document	1-10
A	US 2009/056452 A1 (LIU JAMES ZT [US]) 5 March 2009 (2009-03-05) paragraphs [0009], [0013] - [0014]	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/058261

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2013117747 A1	15-08-2013	EP 2811902 A1	17-12-2014
		US 2016000358 A1	07-01-2016
		WO 2013117747 A1	15-08-2013

GB 2371362 A	24-07-2002	NONE	

US 2009056452 A1	05-03-2009	NONE	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2017/058261

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G01N29/02 G01N29/24 G01N15/02 G01N29/22 G01N15/06 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) G01N		
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
A	WO 2013/117747 A1 (LUNDIN STEFAN [SE]; OLIN ANNA-CARIN [SE]) 15 août 2013 (2013-08-15) le document en entier	1-10
A	GB 2 371 362 A (UNIV NOTTINGHAM TRENT [GB]) 24 juillet 2002 (2002-07-24) pages 9-11; figure 5 ----- -/--	1-10
☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 26 mai 2017		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 23/06/2017
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Roetsch, Patrice

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	Dekati: "Dekati PM10 Impactor @BULLET PM10, PM2.5 and PM1 mass concentrations @BULLET Air quality measurements @BULLET Combustion source sampling according to ISO23210 Excellence in Particle Measurements", 31 juillet 2014 (2014-07-31), XP055330223, Extrait de l'Internet: URL:https://www.ecotech.com/wp-content/uploads/2015/03/Dekati-PM10-Impactor.pdf [extrait le 2016-12-19] le document en entier -----	1-10
A	US 2009/056452 A1 (LIU JAMES ZT [US]) 5 mars 2009 (2009-03-05) alinéas [0009], [0013] - [0014] -----	1-10

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2017/058261

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2013117747 A1	15-08-2013	EP 2811902 A1	17-12-2014
		US 2016000358 A1	07-01-2016
		WO 2013117747 A1	15-08-2013
GB 2371362 A	24-07-2002	AUCUN	
US 2009056452 A1	05-03-2009	AUCUN	