

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :

2 940 424

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national :

08 07135

⑤1 Int Cl⁸ : G 01 B 7/06 (2006.01), G 01 N 27/04, F 01 N 11/00

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 18.12.08.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 25.06.10 Bulletin 10/25.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE CNRS — FR, UNIVERS-
SITE DE BORDEAUX 1 — FR et ECOLE NATIONALE
SUPERIEURE D'ELECTRICITE ET DE RADIOELEC-
TRICITE DE BORDEAUX — FR.

⑦2 Inventeur(s) : LUCAT CLAUDE et MENIL FRANCIS
LOUIS.

⑦3 Titulaire(s) : CENTRE NATIONAL DE LA RECHER-
CHE SCIENTIFIQUE CNRS, UNIVERSITE DE BOR-
DEAUX 1, ECOLE NATIONALE SUPERIEURE
D'ELECTRICITE ET DE RADIOELECTRICITE DE
BORDEAUX .

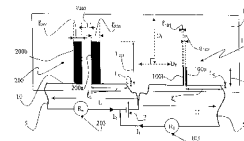
⑦4 Mandataire(s) : CABINET ORES.

⑤4 DISPOSITIF DE MESURE D'UNE EPAISSEUR SEUIL DE COUCHE DE MATERIAU PUREMENT RESISTIF, PROCEDE DE MESURE, PROCEDE DE DIMENSIONNEMENT D'UN TEL DISPOSITIF ET UTILISATION D'UN TEL DISPOSITIF DANS UN POT D'ECHAPPEMENT.

⑤7 L'invention propose un dispositif de détection d'une épaisseur seuil de dépôt fiable et précis, permettant de réduire l'influence des connexions sur la précision des mesures de détection d'une épaisseur seuil de matériau purement résistif, tout en étant résistant durablement à des conditions de gaz d'échappement, simple et économique.

A cette fin, l'invention a pour objet un dispositif de détection d'une épaisseur seuil d'une couche de matériau purement résistif, comprenant un capteur muni d'au moins trois électrodes (100a, 100b, 200a, 200b) pour définir au moins deux paires d'électrodes (100, 200), chaque paire étant disposée selon une direction longitudinale principale (D_L) sur une face d'un support (1). Chaque électrode comprend une sous-électrode (100a-100b, 200a-200b) reliée à une source de tension (2) par l'intermédiaire de connexions (10), la source de tension (2) étant réglée pour générer un courant (I_1 , I_2) entre les sous-électrodes, et un moyen de mesure des résistances ou des intensités entre les paires d'électro-

des. Les connexions (10) sont disposées sur la même face du support que les électrodes, et latéralement par rapport aux électrodes, selon une direction transversale (D_T), sensiblement perpendiculaire à la direction longitudinale (D_L) des électrodes..



FR 2 940 424 - A1



**DISPOSITIF DE MESURE D'UNE ÉPAISSEUR SEUIL DE COUCHE DE
MATÉRIAU PUREMENT RÉSISTIF, PROCÉDÉ DE MESURE, PROCÉDÉ
DE DIMENSIONNEMENT D'UN TEL DISPOSITIF ET UTILISATION D'UN
TEL DISPOSITIF DANS UN POT D'ÉCHAPPEMENT.**

5 L'invention se rapporte à un dispositif de mesure d'une épaisseur seuil de couche de matériau purement résistif, utilisable notamment pour détecter un dépôt de suie en échappement automobile. L'invention concerne également un procédé de mesure d'une épaisseur seuil, un procédé de dimensionnement d'un tel dispositif et une utilisation d'un tel dispositif dans
10 un pot d'échappement.

La diminution permanente des limites d'émissions polluantes en provenance des échappements automobiles, imposées par les normes nationales et internationales, constitue une contrainte importante pour les constructeurs automobiles. La réglementation européenne Euro 4 de 2005
15 admet un taux de polluants maximum de 0,025 mg/km, mais la future réglementation européenne Euro 5, prévue en 2010, rabaissera ce seuil à 0,005 mg/km, ce qui imposera un recours systématique à la technologie des filtres à particules (FAP) pour tous les véhicules et dans tous les pays de l'Union. Cette réglementation va donc accroître les besoins actuels de façon
20 conséquente.

L'amélioration des systèmes de contrôle des FAP pour une performance accrue est donc une des priorités actuelles des motoristes.

La Demande de brevet FR 07/04221, au nom de la Demanderesse, décrit un procédé et un dispositif de mesure d'une épaisseur
25 seuil de couche de matériau purement résistif applicables, notamment, aux dépôts de suie en échappement automobile. Cette Demande décrit, par ailleurs, deux méthodes de dimensionnement des deux paires d'électrodes constituant le capteur différentiel pour que les résistances mesurées entre ces deux paires soient égales uniquement lorsque l'épaisseur du dépôt atteint une
30 valeur seuil prédéfinie : une méthode analytique et une méthode par simulation numérique par éléments finis.

Cependant, la suie se dépose sur la totalité du capteur y compris entre les connexions longitudinales des électrodes avec le circuit de traitement, ce qui perturbe la détection.

5 Pour résoudre ce problème, l'invention décrite dans le document FR 07/04221 propose deux solutions.

La première consiste à réaliser une connexion à travers des trous réalisés au travers du substrat, ces trous étant appelés des « vias ». Mais cette méthode introduit une complexité et un coût supplémentaires car les connexions ne sont pas dans le même plan que les électrodes, mais
10 doivent passer à travers les vias puis être connectées au circuit de traitement sous le substrat. Ce surcoût et cette complexité sont incompatibles avec une production en masse dans l'industrie automobile.

La deuxième solution proposée consiste à séparer les zones de mesure des zones de connexion en déposant des caches en matière
15 isolante sur les connexions. Ces caches doivent être en matériau isolant électrique et chimiquement inerte vis-à-vis des connexions, de la suie et des gaz d'échappement, à des températures au moins égales à celle des séquences de régénération du filtre à particule, soit environ 800°C.

Si cette solution permet la réalisation d'un capteur dans lequel
20 les connexions et les électrodes sont sensiblement dans le même plan, le dépôt des caches constitue une étape complexe et coûteuse de la fabrication de ces capteurs.

En outre, après des essais de longue durée, la Demanderesse s'est aperçu que même les caches fabriqués à partir des
25 matières les mieux adaptées se détériorent prématurément.

Il est donc impératif que le dépôt de matériau purement résistif sur les connexions ne perturbe pas de manière significative l'égalité des résistances à l'épaisseur seuil, égalité conditionnée par le dimensionnement des électrodes.

30 La présente invention vise donc à proposer un dispositif fiable et précis, permettant de réduire l'influence des connexions sur la précision

des mesures de détection d'une épaisseur seuil de matériau purement résistif, tout en étant simple, économique et résistant aux conditions d'utilisation des pots d'échappement.

Pour remédier aux inconvénients des solutions précédentes, 5 la présente invention propose un dispositif de détection d'une épaisseur seuil de dépôt par des mesures différentielles de résistance entre au moins trois électrodes formant au moins deux paires d'électrodes, dont la longueur et/ou la largeur et/ou la tension d'alimentation et/ou l'espacement sont ajustés en fonction de l'épaisseur de dépôt à détecter, et dont les connexions ont une 10 conformation permettant de minimiser l'influence du dépôt de matériau purement résistif sur ces connexions.

A cette fin, l'invention a pour objet un dispositif de détection d'une épaisseur seuil d'une couche de matériau purement résistif, comprenant un capteur muni d'au moins trois électrodes pour définir au moins deux paires 15 d'électrodes, chaque paire étant disposée selon une direction longitudinale principale sur une face d'un support. Chaque électrode comprend une sous-électrode reliée à une source de tension par l'intermédiaire de connexions, la source de tension étant réglée pour générer un courant entre les sous-électrodes. Le dispositif comprend également un moyen de mesure des 20 résistances ou des intensités entre les paires d'électrodes. Les connexions sont disposées sur la même face du support que les électrodes et latéralement par rapport aux électrodes, selon une direction transversale, sensiblement perpendiculaire à la direction longitudinale des électrodes.

Autrement dit, la « sous-électrode » est la partie fonctionnelle 25 de l'électrode, dont les dimensions géométriques sont susceptibles d'être ajustées pour assurer l'égalité des résistances à l'épaisseur seuil. La « connexion » est la partie co-planaire, contigüe et sensiblement perpendiculaire à la sous-électrode, dont les dimensions géométriques sont pré-définies, et qui relie la sous-électrode au circuit de traitement. Une 30 électrode est donc l'ensemble formé par une « sous-électrode » et une « connexion ».

Les notions de direction longitudinale et transversale ne sont valables que pour chaque paire d'électrodes. Les deux paires d'électrodes peuvent avoir des directions différentes, ce qui peut éventuellement permettre de gagner de la place. Par contre, dans le cas d'un système à trois
5 électrodes, toutes les sous-électrodes doivent être disposées selon des directions longitudinales principales sensiblement parallèles.

Dans la suite de la description, la désignation des dimensions est donnée par rapport aux sous-électrodes. Ainsi, la longueur des connexions et des sous électrodes est la dimension prise selon la direction
10 longitudinale. La largeur des connexions et des sous électrodes est la dimension prise selon la direction transversale, sensiblement perpendiculaire à la direction longitudinale. Autrement dit, la longueur des sous-électrodes correspond à leur plus grande dimension, alors que la largeur des sous-électrodes correspond à leur plus petite dimension. Inversement, la longueur
15 des connexions correspond à leur plus petite dimension, alors que la largeur des connexions correspond à leur plus grande dimension.

Grâce au fait que les connexions s'étendent sensiblement perpendiculairement aux sous-électrodes, la fabrication et la mise en œuvre du dispositif sont faciles et économiques. En outre, le dispositif reste précis
20 malgré la grande largeur des connexions.

Selon d'autres modes de réalisation :

- les connexions des électrodes peuvent présenter une longueur et une largeur telles que le rapport entre la longueur des connexions et la longueur des sous-électrodes est inférieur à 1:5, de préférence
25 compris entre 1:10 et 1:100, et que le rapport entre la largeur des connexions et la largeur des sous-électrodes est supérieur à 5:1 de préférence compris entre 10:1 et 50:1 ;
- le dispositif peut comprendre, en outre, un moyen de comparaison des résistances ou des intensités entre elles et un moyen de génération
30 d'un signal quand les résistances ou les intensités mesurées sont égales ;

- les paires d'électrodes peuvent différer par au moins un premier paramètre pris parmi la largeur et l'espacement des sous-électrodes, et un deuxième paramètre pris parmi l'espacement, la largeur, la longueur et le réglage de la source de tension d'alimentation des sous-électrodes, le deuxième paramètre étant tel que, en utilisation, l'égalité de résistance ou d'intensité est obtenue lorsque l'épaisseur seuil à détecter est déposée sur les électrodes ;
- une largeur et/ou un premier espacement de la première paire de sous-électrodes peuvent être tels que, en utilisation, la dérivée du courant entre les électrodes de ladite première paire par rapport à l'épaisseur de la couche tend vers zéro lorsque l'épaisseur seuil atteinte, et une largeur et/ou un deuxième espacement de la deuxième paire de sous-électrodes peuvent être tels que, en utilisation, le courant entre les électrodes de ladite deuxième paire, augmente sensiblement linéairement avec l'épaisseur de la couche, lorsque l'épaisseur seuil est atteinte, les largeurs et/ou les longueurs et/ou les espacements des sous-électrodes et/ou le réglage de la source de tension d'alimentation étant adaptés pour que, en utilisation, l'égalité de résistance ou d'intensité soit obtenue lorsque l'épaisseur seuil est atteinte ;
- les sous-électrodes peuvent être disposées de manière parallèle, interdigitée ou mixte ;
- les sous-électrodes de la première paire peuvent présenter une largeur comprise entre 100 nm et 1 cm, de préférence entre 10 μm et 1 mm, typiquement de 30 μm à 250 μm , et les sous-électrodes de la deuxième paire peuvent présenter une largeur comprise entre 500 nm et 5 cm, de préférence entre 50 μm et 5 mm, typiquement de 250 μm à 1 mm ;
- le rapport entre la largeur des sous-électrodes de la première paire et la largeur des sous-électrodes de la deuxième paire peut être compris entre 1 : 1000 et 10 : 1, de préférence entre 1 : 100 et 1 : 1, typiquement de 1 : 10 à 1 : 2 ;

- les sous-électrodes de la première paire peuvent présenter un espacement compris entre 100 nm et 1 cm, de préférence entre 10 μ m et 1 mm, typiquement de 30 μ m à 250 μ m, et les sous-électrodes de la deuxième paire présentent un espacement compris entre 500 nm et 5 cm, de préférence entre 50 μ m et 5 mm, typiquement de 250 μ m à 1 mm ;
- le rapport entre le premier et le deuxième espacement peut être compris entre 1 : 1000 et 1 : 1, de préférence entre 1 : 100 et 1 : 2, typiquement de 1 : 10 à 1 : 3 ; et/ou
- le dispositif peut comprendre, en outre, une résistance chauffante disposée sur le support au moins partiellement autour des paires d'électrodes, de manière à assurer une combustion sensiblement complète du dépôt de matière résistive sur les sous-électrodes et les connexions.

15 L'invention se rapporte également à un procédé de mesure d'une épaisseur seuil de couche de matériau purement résistif déposée sur un capteur comprenant au moins trois électrodes pour définir au moins deux paires d'électrodes adjacentes, chaque paire étant disposée selon une direction longitudinale principale sur une face d'un support. Chaque électrode

20 comprend une sous-électrode alimentée, par l'intermédiaire d'une connexion disposée sur la même face du support que la sous-électrode et selon une direction transversale, sensiblement perpendiculaire à la direction longitudinale de la sous-électrode, avec une tension définie générant un courant entre les sous-électrodes, les paires de sous-électrodes différant par

25 au moins un premier paramètre pris parmi la largeur et l'espacement de chaque paire, au moins un deuxième paramètre pris parmi l'espacement, la largeur, la longueur et la tension d'alimentation des sous-électrodes étant ajusté pour qu'une première résistance ou une première intensité entre les électrodes de la première paire et une deuxième résistance ou une deuxième

30 intensité entre les électrodes de la deuxième paire soient égales lorsque l'épaisseur seuil est atteinte.

Selon un mode particulier de réalisation, une largeur et/ou un espacement de la première paire de sous-électrodes sont tels que la dérivée du courant entre les électrodes de ladite première paire par rapport à l'épaisseur de la couche tend vers zéro lorsque l'épaisseur seuil est atteinte, et une largeur et/ou un espacement de la deuxième paire de sous-électrodes sont tels que le courant, entre les électrodes de ladite deuxième paire, augmente sensiblement linéairement avec l'épaisseur de la couche, lorsque l'épaisseur seuil est atteinte, le procédé comprenant, en outre, les étapes consistant à :

- 5 a) alimenter les paires de sous-électrodes avec une tension définie par l'intermédiaire de connexions disposées sur la même face du support que les sous-électrodes et selon une direction transversale, sensiblement perpendiculaire à la direction longitudinale des sous-électrodes,
- b) mesurer une première résistance ou une première intensité entre les électrodes de la première paire,
- 15 c) mesurer une deuxième résistance ou une deuxième intensité entre les électrodes de la deuxième paire,
- d) comparer les deuxième et première résistances ou les première et deuxième intensités,
- 20 e) générer un signal lorsque lesdites résistances ou lesdites intensités sont égales, les largeurs, et/ou les longueurs, et/ou les tensions d'alimentation, et/ou les espacements des sous-électrodes étant adaptés pour que cette égalité soit obtenue lorsque l'épaisseur seuil est atteinte.

L'invention se rapporte également à un procédé analytique de dimensionnement d'un dispositif de détection précédent, à partir de paires d'électrodes théoriques, dans lequel chaque électrode théorique est décomposée, pour le calcul, en une sous-électrode SE et une connexion C juxtaposées, le procédé comprenant les étapes suivantes :

- α) calculer :
- 30 α1) $k_{SE} = \tanh[\pi s/4e] / \tanh[\pi(s+2\ell_{SE})/4e]$

$$\alpha_2) \quad k_C = \tanh[\pi s/4e] / \tanh[\pi(s+2\ell_C)/4e],$$

où s représente l'espacement des électrodes de la paire d'électrode, ℓ_{SE} représente la largeur de la sous-électrode, ℓ_C représente la largeur de la connexion et e représente l'épaisseur du dépôt de matériau purement résistif, exprimés dans une même unité arbitraire u.a. ;

5

- $\beta_1)$ calculer, pour chaque paire de sous-électrodes d'espacement s , et de largeur ℓ_{SE} , l'intensité I_{SE} par unité de longueur en fonction de l'épaisseur e par les équations suivantes :

$$I_{SE} = (\pi/2) \{ \ln[2(1+k_{SE}^{0,5})/(1-k_{SE}^{0,5})] \}^{-1} \text{ pour } k_{SE} \geq 0,5$$

10

et

$$I_{SE} = (1/2\pi) \ln[2\{1+(1-k_{SE}^2)^{0,25}\}/\{1-(1-k_{SE}^2)^{0,25}\}] \text{ pour } k_{SE} \leq 0,5 ;$$

- $\beta_2)$ calculer, pour chaque paire de connexions d'espacement s , et de largeur ℓ_C , l'intensité I_C par unité de longueur en fonction de l'épaisseur e par les équations suivantes :

15

$$I_C = (\pi/2) \{ \ln[2(1+k_C^{0,5})/(1-k_C^{0,5})] \}^{-1} \text{ pour } k_C \geq 0,5$$

et

$$I_C = (1/2\pi) \ln[2\{1+(1-k_C^2)^{0,25}\}/\{1-(1-k_C^2)^{0,25}\}] \text{ pour } k_C \leq 0,5 ;$$

20

- $\beta_3)$ calculer, pour chaque paire d'électrodes théoriques, l'intensité totale I_{tot} en fonction de l'épaisseur e par l'équation suivante :

$$I_{tot} = L_{SE} * I_{SE} + L_C * I_C$$

où L_{SE} représente la longueur de la sous-électrode, L_C la longueur de la connexion, exprimés en unité arbitraire u.a., pouvant différer de l'unité arbitraire u.a. utilisée pour caractériser les largeurs et espacements des sous-électrodes et de leurs connexions ainsi que l'épaisseur du matériau purement résistif.

25

- $\gamma)$ tracer la courbe $I_{tot} = f(e)$ en faisant varier l'épaisseur e du dépôt de matériau purement résistif,
- $\delta)$ parmi les courbes tracées, choisir deux courbes représentatives d'une première paire et d'une deuxième paire d'électrodes théoriques

30

différant par au moins un premier paramètre pris parmi la largeur et l'espacement de chaque paire de sous-électrodes ;

- 5 ε) mesurer, pour chaque paire d'électrodes théoriques, les intensités ou les résistances à une épaisseur seuil choisie et calculer le rapport des intensités ou le rapport des résistances entre les électrodes de chaque paire ;
- 10 ζ) fabriquer un capteur comprenant deux paires d'électrodes différant par ledit même au moins un premier paramètre que les sous-électrodes théoriques, choisi à l'étape δ), et par un deuxième paramètre pris parmi l'espacement, la largeur, la longueur et le réglage de la source de tension d'alimentation des sous-électrodes, le deuxième paramètre étant tel que, en utilisation, l'égalité de résistance ou d'intensité est obtenue lorsque l'épaisseur seuil à détecter est déposée sur les électrodes, le capteur comprenant des connexions disposées sur la même face du support que les sous-électrodes et latéralement par rapport aux sous-électrodes, selon une direction transversale, sensiblement perpendiculaire à la direction longitudinale des sous-électrodes.
- 15

Selon d'autres modes de réalisation :

- 20 • lors de l'étape δ), les courbes représentatives d'une première paire et d'une deuxième paire d'électrodes différant par au moins un premier paramètre pris parmi la largeur et l'espacement de chaque paire de sous-électrodes, peuvent être choisies de telle sorte que la dérivée du courant entre les électrodes de ladite première paire par rapport à l'épaisseur de la couche de dépôt tend vers zéro à l'épaisseur seuil, et que le courant, entre les électrodes de ladite deuxième paire, augmente sensiblement linéairement avec l'épaisseur de la couche, à l'épaisseur seuil ;
- 25
- 30 • lors de l'étape δ), les première et deuxième paires de sous-électrodes théoriques peuvent présenter respectivement une première et deuxième largeur, mais sont de longueurs, d'espacements et de

tensions d'alimentation identiques, et lors de l'étape ζ), un capteur peut être fabriqué, comprenant deux paires de sous-électrodes présentant respectivement les mêmes première et deuxième largeurs que celles des sous-électrodes théoriques, des longueurs et des espacements identiques à ceux des sous-électrodes théoriques, mais dans lequel le rapport entre la tension appliquée, en utilisation, aux bornes des électrodes de la deuxième et de la première paire, est égal au rapport des intensités ou des résistances, mesurées à l'épaisseur seuil choisie à l'étape ε) antérieure, entre les paires d'électrodes théoriques ;

- lors de l'étape δ), les première et deuxième paires de sous-électrodes théoriques peuvent présenter respectivement une première et deuxième largeur, mais sont de longueurs, d'espacements et de tensions d'alimentation identiques, et lors de l'étape ζ), un capteur peut être fabriqué, comprenant deux paires de sous-électrodes présentant respectivement les mêmes première et deuxième largeurs que celles des sous-électrodes théoriques, des tensions d'alimentation et des espacements identiques à ceux des sous-électrodes théoriques, mais dans lequel la longueur L'_{SE2} des sous-électrodes de la deuxième paire vérifie l'équation suivante :

$$L'_{SE2} * I_{SE2}(e_s) + L_{C2} * I_{C2}(e_s) = L_{SE1} * I_{SE1}(e_s) + L_{C1} * I_{C1}(e_s)$$

avec $I_{SE2}(e_s)$, l'intensité calculée entre les sous-électrodes de la deuxième paire à l'épaisseur seuil, L_{C2} la longueur des connexions de la deuxième paire, $I_{C2}(e_s)$ l'intensité calculée entre les connexions de la deuxième paire à l'épaisseur seuil, L_{SE1} la longueur des sous-électrodes de la première paire, $I_{SE1}(e_s)$ l'intensité calculée entre les sous-électrodes de la première paire à l'épaisseur seuil, L_{C1} la longueur des connexions de la première paire, et $I_{C1}(e_s)$ l'intensité calculée entre les connexions de la première paire à l'épaisseur seuil ;

- lors de l'étape δ), les première et deuxième paires de sous-électrodes théoriques peuvent présenter respectivement un premier et deuxième espacement, mais sont de longueurs, de largeurs et de tensions

d'alimentation identiques, et lors de l'étape ζ), un capteur peut être fabriqué, comprenant deux paires de sous-électrodes présentant respectivement les mêmes premier et deuxième espacements que ceux des sous-électrodes théoriques, des largeurs et des longueurs identiques à celles des sous-électrodes théoriques, mais dans lequel le rapport entre la tension appliquée, en utilisation, aux bornes des électrodes de la deuxième et de la première paire, est égal au rapport des intensités ou des résistances, mesurées à l'épaisseur seuil choisie à l'étape ε) antérieure, entre les paires d'électrodes théoriques ;

- lors de l'étape δ), les première et deuxième paires de sous-électrodes théoriques peuvent présenter respectivement un premier et deuxième espacement, mais sont de longueurs, de largeurs et de tensions d'alimentation identiques, et lors de l'étape ζ), un capteur peut être fabriqué, comprenant deux paires de sous-électrodes présentant respectivement les mêmes premier et deuxième espacements que ceux des sous-électrodes théoriques, des largeurs et des tensions d'alimentation identiques à celles des sous-électrodes théoriques, mais dans lequel la longueur L'_{SE2} des sous-électrodes de la deuxième paire vérifie l'équation suivante :

$$L'_{SE2} * I_{SE2}(e_s) + L_{C2} * I_{C2}(e_s) = L_{SE1} * I_{SE1}(e_s) + L_{C1} * I_{C1}(e_s)$$

avec $I_{SE2}(e_s)$, l'intensité calculée entre les sous-électrodes de la deuxième paire à l'épaisseur seuil, L_{C2} la longueur des connexions de la deuxième paire, $I_{C2}(e_s)$ l'intensité calculée entre les connexions de la deuxième paire à l'épaisseur seuil, L_{SE1} la longueur des sous-électrodes de la première paire, $I_{SE1}(e_s)$ l'intensité calculée entre les sous-électrodes de la première paire à l'épaisseur seuil, L_{C1} la longueur des connexions de la première paire, et $I_{C1}(e_s)$ l'intensité calculée entre les connexions de la première paire à l'épaisseur seuil.

- lors de l'étape δ), les première et deuxième paires de sous-électrodes théoriques peuvent différer par leur largeur et leur espacement, mais sont de longueurs et de tensions d'alimentation identiques, et lors de

l'étape ζ), un capteur peut être fabriqué, comprenant deux paires de sous-électrodes présentant respectivement les mêmes premier et deuxième espacements et les mêmes première et deuxième largeurs que les sous-électrodes théoriques, des longueurs identiques à celles des sous-électrodes théoriques, mais dans lequel le rapport entre la tension appliquée, en utilisation, aux bornes des électrodes de la deuxième et de la première paire, est égal au rapport des intensités ou des résistances, mesurées à l'épaisseur seuil choisie à l'étape ε) antérieure, entre les paires d'électrodes théoriques ;

- lors de l'étape δ), les première et deuxième paires de sous-électrodes théoriques peuvent différer par leur largeur et leur espacement, mais sont de longueurs et de tensions d'alimentation identiques, et lors de l'étape ζ), un capteur peut être fabriqué, comprenant deux paires de sous-électrodes présentant respectivement les mêmes premier et deuxième espacements et les mêmes première et deuxième largeurs que les sous-électrodes théoriques, des tensions d'alimentation identiques à celles des sous-électrodes théoriques, mais dans lequel la longueur L'_{SE2} des sous-électrodes de la deuxième paire vérifie l'équation suivante :

$$L'_{SE2} * I_{SE2}(e_s) + L_{c2} * I_{C2}(e_s) = L_{SE1} * I_{SE1}(e_s) + L_{c1} * I_{C1}(e_s)$$

avec $I_{SE2}(e_s)$, l'intensité calculée entre les sous-électrodes de la deuxième paire à l'épaisseur seuil, L_{c2} la longueur des connexions de la deuxième paire, $I_{C2}(e_s)$ l'intensité calculée entre les connexions de la deuxième paire à l'épaisseur seuil, L_{SE1} la longueur des sous-électrodes de la première paire, $I_{SE1}(e_s)$ l'intensité calculée entre les sous-électrodes de la première paire à l'épaisseur seuil, L_{c1} la longueur des connexions de la première paire, et $I_{C1}(e_s)$ l'intensité calculée entre les connexions de la première paire à l'épaisseur seuil.

L'invention se rapporte également à une utilisation du procédé de mesure précédent, pour détecter le dépôt d'une épaisseur seuil de couche de suie dans un pot d'échappement, dans laquelle les sous-électrodes sont

alimentées latéralement par l'intermédiaire de connexions disposées sur la même face du support que les sous-électrodes, selon une direction transversale, sensiblement perpendiculaire à la direction longitudinale des sous-électrodes.

5 Selon un mode particulier d'utilisation du procédé de mesure précédent, le signal généré à l'étape e), lorsque la première et la deuxième résistance ou intensité sont égales, consiste à commander une étape de régénération de filtre à particules.

10 Enfin, l'invention se rapporte à un pot d'échappement muni d'un filtre à particules, comprenant au moins un dispositif de détection précédent, disposé en amont et/ou en aval du filtre à particules pour la mise en œuvre du procédé de mesure précédent.

15 D'autres caractéristiques de l'invention seront énoncées dans la description détaillée ci-après faite en référence aux figures annexées qui représentent, respectivement :

- la figure 1, une vue schématique en plan d'un dispositif de détection selon l'invention ;
- la figure 2, un diagramme illustrant un mode de réalisation du procédé de dimensionnement selon l'invention, consistant à adapter, pour des paires de sous-électrodes de largeurs et d'espacement différents, la longueur d'une des paires en fonction de l'épaisseur seuil à déterminer ;
- la figure 3, une vue schématique en plan d'une paire d'électrodes théoriques, chaque électrode étant décomposée en une sous-électrode et une connexion pour le calcul de dimensionnement ;
- 25 - la figure 4, un diagramme illustrant un mode de réalisation du procédé de dimensionnement selon l'invention, d'un capteur comprenant des électrodes munies de connexions selon l'invention ; et
- les figures 5 et 6, des vues schématiques en plan de capteurs selon l'invention, présentant des géométries d'électrodes différentes et une
- 30 résistance chauffante de nettoyage.

Le dispositif de mesure d'une épaisseur seuil de matériau purement résistif selon l'invention permet une mesure différentielle de résistance ou une mesure différentielle d'intensité de la couche de matériau purement résistif entre deux paires d'électrodes disposées sur un support isolant. L'expression « deux paires d'électrodes » doit être comprise dans un sens fonctionnel et non structurel, c'est-à-dire que les mesures peuvent être effectuées entre deux paires d'électrodes obtenues avec trois électrodes physiques, l'une des électrodes appartenant aux deux paires d'électrodes.

Le procédé s'applique essentiellement aux matériaux conducteurs ou semi-conducteurs électroniques, par opposition aux diélectriques.

Chaque paire d'électrodes est caractérisée par la hauteur h et l'espacement s des électrodes, par la largeur ℓ_{SE} et la longueur L_{SE} des sous-électrodes, et par la largeur ℓ_c et la longueur L_c des connexions.

Pour obtenir une mesure différentielle de résistance ou d'intensité, les largeurs et/ou longueurs et/ou tensions et/ou espacements sont optimisés par rapport à l'épaisseur seuil de la couche à déterminer.

Un mode de réalisation d'un dispositif de détection selon l'invention, illustré en figure 1, comprend un capteur muni de deux paires de sous-électrodes 100 et 200, de largeur ℓ_{101} , ℓ_{201} et d'espacement s_{102} , s_{202} différents. Les sous-électrodes 100a-100b, 200a-200b sont disposées de manière adjacente et selon une direction longitudinale principale D_L sur une face d'un support 1. Le dispositif comprend également une source de tension 2 reliée par liaisons filaires 5 aux sous-électrodes par l'intermédiaire de connexions 10 de prise de contact électrique entre les fils 5 et les sous-électrodes.

Ainsi, une connexion d'une sous-électrode 100a, 200a de chaque paire 100, 200 est reliée au générateur 2 réglé pour délivrer une tension U définie, et une connexion de l'autre sous-électrode 100b, 200b de chaque paire 100, 200 est reliée à un moyen de mesure 103, 203 des résistances $R1$ et $R2$. Ce moyen de mesure peut être un ohmmètre ou un

ampèremètre mesurant l'intensité du courant passant entre les électrodes (la résistance est alors obtenue par la loi d'Ohm). Le dispositif comprend, en outre, un moyen de comparaison (non représenté) des résistances ou des intensités entre elles et un moyen de génération (non représenté) d'un signal
5 quand les résistances ou les intensités mesurées sont égales.

Les connexions 10 sont des lignes de contact disposées sur la même face du support 1 que les sous-électrodes et qui relient ces dernières au reste du circuit électrique par des fils de liaison électrique. Ces connexions s'étendent latéralement par rapport aux sous-électrodes, selon une direction
10 transversale D_T , sensiblement perpendiculaire à la direction longitudinale D_L des sous-électrodes.

Les connexions des électrodes présentent, de préférence, une longueur L_c et une largeur ℓ_c telles que le rapport entre la longueur des connexions et la longueur des sous-électrodes est inférieur à 1:5, de préférence compris entre 1:10 et 1:100, et que le rapport entre la largeur des connexions et la largeur des sous-électrodes est supérieur à 5:1, de préférence compris entre 10:1 et 50:1.

Grâce à cette disposition latérale et sensiblement perpendiculaire aux sous-électrodes, les connexions 10 n'ont que très peu
20 d'influence sur la précision de la détection.

La source de tension est réglée pour délivrer une tension d'alimentation entre chaque paire d'électrodes avec une même tension ou avec des tensions différentes.

La tension génère un courant entre les électrodes de chaque
25 paire lorsque du matériau résistif est déposé sur les électrodes.

Selon l'invention, les paires d'électrodes diffèrent par au moins un premier paramètre pris parmi la largeur et l'espacement des électrodes, et au moins un deuxième paramètre pris parmi l'espacement, la largeur, la longueur et le réglage de la source de tension d'alimentation des
30 électrodes. Le deuxième paramètre est tel que, en utilisation, l'égalité de

résistance ou d'intensité est obtenue lorsque l'épaisseur seuil à détecter est déposée sur les électrodes.

Les largeurs ℓ_{101} , ℓ_{201} et/ou espacements s_{102} , s_{202} sont choisis pour que, d'une part, les lignes de champ électrique résultant de l'application d'une tension entre les deux électrodes 100a, 100b de la première paire d'électrodes 100 restent majoritairement confinées à l'intérieur de la couche de matériau purement résistif et, d'autre part, pour qu'au moins une partie des lignes de champ électrique résultant de l'application d'une tension entre les électrodes 200a, 200b de la deuxième paire 200 restent à l'extérieur de la couche de matériau lorsque l'épaisseur de cette couche a atteint l'épaisseur seuil e_s à détecter.

Ainsi, tant qu'une partie des lignes de champ électrique restent à l'extérieur de la couche de matériau, le courant augmente sensiblement linéairement avec l'épaisseur de la couche. Cette évolution est illustrée sur les courbes C1 et C2 de la figure 2 par la partie sensiblement linéaire C_{1lin} - C_{2lin} desdites courbes. On dit également que les électrodes ne sont pas saturées.

Au fur et à mesure que l'épaisseur de dépôt augmente de telle sorte que les lignes de champ électrique entre deux électrodes restent majoritairement confinées à l'intérieur de la couche de matériau, la dérivée du courant par rapport à l'épaisseur dI/de tend vers zéro. Cette évolution est illustrée sur les courbes C1 et C2 de la figure 2 par la partie asymptotique C_{1asy} - C_{2asy} desdites courbes. On dit également que les électrodes sont saturées.

Il suffit de faire varier un seul des paramètres pris parmi la largeur des électrodes ou leur espacement pour obtenir des courbes présentant des allures distinctes traduisant le fait que la première paire d'électrodes développe le caractère asymptotique avant la deuxième paire.

De préférence, pour obtenir des résultats précis tout en limitant l'encombrement des électrodes et la quantité de matière utilisée, la variation dudit paramètre est choisie pour, d'une part, que la première paire

d'électrodes arrive à saturation avant le dépôt de l'épaisseur seuil, c'est-à-dire que la dérivée du courant entre les électrodes de ladite première paire 100 par rapport à l'épaisseur de la couche de dépôt tend vers zéro à l'épaisseur seuil e_s et, d'autre part, que la deuxième paire d'électrodes arrive à saturation
5 après le dépôt de l'épaisseur seuil, c'est-à-dire que le courant, entre les électrodes de ladite deuxième paire 200, augmente sensiblement linéairement avec l'épaisseur de la couche lorsque l'épaisseur de cette couche a atteint l'épaisseur seuil e_s à détecter.

Pour dimensionner le dispositif selon l'invention, il convient de
10 déterminer le couple $\ell_{101-S102}$ tel que pour la première paire d'électrodes 100 et à l'épaisseur seuil e_s , la dérivée du courant par rapport à l'épaisseur dI/de tend vers zéro, c'est-à-dire que la courbe C_1 présente une allure asymptotique C_{1asy} à l'épaisseur seuil.

Il convient également de déterminer le couple $\ell_{201-S202}$ tel que
15 pour la deuxième paire d'électrodes 200 et à l'épaisseur seuil e_s , le courant augmente sensiblement linéairement avec l'épaisseur de la couche, c'est-à-dire que la courbe C_2 présente une allure sensiblement linéaire C_{2lin} à l'épaisseur seuil.

Il est possible de déterminer ces couples $\ell_{101-S102}$ et $\ell_{201-S202}$
20 par une méthode expérimentale ou par une méthode analytique.

Cette dernière méthode est exposée dans la demande de brevet FR 07/04221, au nom de la Demanderesse, pour un dispositif de détection comprenant un capteur muni d'au moins trois électrodes définissant au moins deux paires d'électrodes.

25 Cependant, dans cette Demande antérieure, les électrodes ne comprennent pas de connexions latérales, mais des connexions longitudinales.

Les équations mathématiques données dans cette Demande antérieure ne peuvent pas être appliquées telles quelles à un dispositif muni
30 de connexions latérales.

En effet, dans la méthode antérieure, lorsque la longueur ou la tension étaient choisis comme deuxième paramètre, n'importe lequel de ces deux paramètres pouvait être multiplié par le rapport des intensités ou des résistances entre chaque paire d'électrode à une épaisseur seuil (e_s) choisie.

5 Avec un dispositif selon l'invention, comprenant des connexions latérales, seule la tension, comme deuxième paramètre, peut être multipliée ou divisée par le rapport des intensités ou des résistances pour détecter avec précision l'épaisseur seuil.

Lorsque l'on choisit d'adapter la longueur comme deuxième
10 paramètre, il n'est pas possible de la multiplier par le rapport d'intensité calculé à l'étape ε), sans risquer une certaine approximation de détection de l'épaisseur seuil. Cependant, dans certains cas, cette approximation est suffisante.

Pour obtenir un dimensionnement précis, la présente
15 invention propose une méthode dans laquelle le calcul est réalisé en décomposant chaque sous-électrode de sa connexion latérale.

Cette décomposition est schématisée à la figure 3, en référence à la paire d'électrodes théoriques 100''.

La sous-électrode présente donc la largeur ℓ_{SE} et une
20 longueur L_{SE} égale à la longueur totale L_{tot} de l'électrode moins la longueur L_c de la connexion. La connexion présente la largeur ℓ_c et la longueur L_c .

Ainsi, pour la première paire d'électrodes 100''
25 d'espacement s égal à 1ua dans l'exemple illustré en figure 4a, chaque électrode est décomposée, pour le calcul, en une sous-électrode SE de longueur L_{SE} égale à 0,95 ua' et de largeur ℓ_{SE} de 1 ua, et en une connexion c de longueur L_c égale à 0,05 ua' et de largeur ℓ_c 40 ua.

La courbe $I = f(e)$ de chaque paire d'électrodes théoriques est alors obtenue de la manière suivante :

30 $\alpha)$ calculer :

$$\alpha 1) \quad k_{SE} = \tanh[\pi s/4e] / \tanh[\pi(s+2\ell_{SE})/4e]$$

$$\alpha 2) \quad k_C = \tanh[\pi s/4e] / \tanh[\pi(s+2\ell_C)/4e],$$

Dans ces équations, s représente l'espacement des électrodes de la paire d'électrode, ℓ_{SE} représente la largeur de la sous-électrode, ℓ_C représente la largeur de la connexion et e représente l'épaisseur du dépôt de matériau purement résistif, exprimés dans une même unité arbitraire u.a. Cette étape est réalisée pour chaque électrode de chaque paire.

Puis, dans une étape β_1 , on calcule pour chaque paire de sous-électrodes d'espacement s et de largeur ℓ_{SE} , l'intensité par unité de longueur en fonction de l'épaisseur e , par les équations suivantes :

$$\beta_1) \quad I_{SE} = (\pi/2) \{ \ln[2(1+k_{SE}^{0.5})/(1-k_{SE}^{0.5})] \}^{-1} \text{ pour } k_{SE}^2 \geq 0,5$$

et

$$I_{SE} = (1/2\pi) \ln[2\{1+(1-k_{SE}^2)^{0.25}\}/\{1-(1-k_{SE}^2)^{0.25}\}] \text{ pour } k_{SE}^2 \leq 0,5$$

Puis, dans une étape β_2 , on calcule, pour chaque paire de connexions d'espacement s et de largeur ℓ_C , l'intensité I_c par unité de longueur en fonction de l'épaisseur e par les équations suivantes :

$$I_c = (\pi/2) \{ \ln[2(1+k_c^{0.5})/(1-k_c^{0.5})] \}^{-1} \text{ pour } k_c^2 \geq 0,5$$

et

$$I_c = (1/2\pi) \ln[2\{1+(1-k_c^2)^{0.25}\}/\{1-(1-k_c^2)^{0.25}\}] \text{ pour } k_c^2 \leq 0,5$$

Puis, dans une étape β_3 , on calcule, pour chaque paire d'électrodes théoriques, l'intensité totale I_{tot} en fonction de l'épaisseur e par l'équation suivante :

$$I_{tot} = L_{SE} * I_{SE} + L_c * I_c$$

où L_{SE} représente la longueur de la sous-électrode, L_c la longueur de la connexion, exprimés en unité arbitraire u.a., pouvant différer de l'unité arbitraire u.a. utilisée pour caractériser les largeurs et espacements des sous-électrodes et de leurs connexions ainsi que l'épaisseur du matériau purement résistif.

Puis, dans une étape γ , on trace la courbe $I_{\text{tot}} = f(e)$ en faisant varier l'épaisseur e du dépôt de matériau purement résistif. En pratique, on trace une multitude de courbes correspondant à une multitude d'électrodes théoriques, en faisant varier l'espacement et la

5 largeur des électrodes.

Parmi les courbes tracées, on choisit, dans une étape δ), deux courbes représentatives d'une première paire et d'une deuxième paire d'électrodes théoriques différant par au moins un premier paramètre pris parmi la largeur et l'espacement de chaque

10 paire.

On mesure alors, dans une étape ε), pour chaque paire d'électrodes théoriques, les intensités ou les résistances, à l'épaisseur seuil e_s choisie, et on calcule le rapport I''_1/I''_2 des intensités I''_1, I''_2 ou le rapport R''_2/R''_1 des résistances R''_2, R''_1 entre les électrodes de chaque

15 paire.

Enfin, on fabrique, dans une étape ζ), un capteur comprenant deux paires d'électrodes 100'' et 200'' différant par ledit même au moins un premier paramètre que les électrodes choisies à l'étape δ) (dans l'exemple, la largeur et l'espacement) et par un

20 deuxième paramètre pris parmi l'espacement, la largeur, la longueur et la tension d'alimentation des électrodes. Le deuxième paramètre est tel que, en utilisation, l'égalité de résistance ou d'intensité est obtenue lorsque l'épaisseur seuil à détecter est déposée sur les électrodes.

Dans le capteur fabriqué, les connexions sont disposées sur

25 la même face du support que les sous-électrodes et latéralement par rapport aux sous-électrodes, selon une direction transversale D_T , sensiblement perpendiculaire à la direction longitudinale D_L des sous-électrodes. Il est préférable, pour limiter leur influence sur la précision de détection, que les connexions aient les mêmes largeurs ℓ_c et longueurs L_c que celles qui ont été

30 choisies pour les électrodes théoriques.

Lorsque l'on choisit de faire varier, comme deuxième paramètre, la tension d'alimentation, celle-ci diffèrera selon un rapport égal au rapport des intensités ou au rapport des résistances, mesurées à l'épaisseur seuil à l'étape ε) précédente, entre les paires d'électrodes théoriques.

5 Lorsque l'on choisit de faire varier, comme deuxième paramètre, la longueur des sous électrodes, le rapport des longueur des sous électrodes diffèrera de celui des intensités ou des résistances mesurées à l'épaisseur seuil à l'étape ε) précédente.

10 Pour calculer la longueur de la deuxième paire d'électrodes permettant de déterminer avec précision, lorsque l'épaisseur seuil e_s est atteinte, on cherche L'_{SE2} , la longueur des sous-électrodes de la deuxième paire, de telle sorte que le rapport entre les intensités entre les deux paires d'électrodes soit égal à 1 à l'épaisseur seuil.

Autrement dit on cherche L'_{SE2} telle que :

$$15 \quad L'_{SE2} * I_{SE2}(e_s) + L_{c2} * I_{C2}(e_s) = L_{SE1} * I_{SE1}(e_s) + L_{c1} * I_{C1}(e_s)$$

20 Avec $I_{SE2}(e_s)$, l'intensité calculée entre les sous-électrodes de la deuxième paire à l'épaisseur seuil, L_{c2} la longueur des connexions de la deuxième paire, $I_{C2}(e_s)$ l'intensité calculée entre les connexions de la deuxième paire à l'épaisseur seuil, L_{SE1} la longueur des sous-électrodes de la première paire, $I_{SE1}(e_s)$ l'intensité calculée entre les sous-électrodes de la première paire à l'épaisseur seuil, L_{c1} la longueur des connexions de la première paire, et $I_{C1}(e_s)$ l'intensité calculée entre les connexions de la première paire à l'épaisseur seuil.

25 Plus la longueur L_c des connexions est négligeable devant celle des sous-électrodes L_{SE} , plus le rapport de longueurs entre les deux paires d'électrodes du capteur sera proche de celui des intensités mesurées à l'épaisseur seuil entre les électrodes théoriques $r(e_s)$. Alors, multiplier la longueur par le rapport des intensités ou des résistances pourra donner une précision suffisante.

30 Quatre exemples de réalisation du procédé de dimensionnement selon l'invention sont décrits ci-après.

Selon un premier exemple de réalisation, lors de l'étape δ), les première et deuxième paires d'électrodes théoriques présentent respectivement une première et deuxième largeur, mais sont de longueur, d'espacement et de tensions d'alimentation identiques.

5 Selon une première variante du premier exemple de réalisation, on fabrique, lors de l'étape ζ), un capteur comprenant deux paires d'électrodes 100" et 200" présentant respectivement les mêmes première et deuxième largeurs que celles des électrodes théoriques, une longueur et un espacement identiques à ceux des électrodes théoriques, et dans lequel le
10 rapport entre la tension appliquée, en utilisation, aux bornes des électrodes de la deuxième 200" et de la première 100" paire, est égal au rapport des intensités I''_1/I''_2 ou des résistances R''_2/R''_1 , mesurées à l'épaisseur seuil choisie e_s à l'étape γ) antérieure, entre les paires d'électrodes théoriques.

Selon une deuxième variante du premier exemple de
15 réalisation, on fabrique, lors de l'étape ζ), un capteur comprenant deux paires d'électrodes 100" et 200" présentant respectivement les mêmes première et deuxième largeurs que celles des électrodes théoriques, des tensions d'alimentation et des espacements identiques à ceux des électrodes théoriques, et dans lequel la longueur de la deuxième paire est calculée
20 comme suit :

- les intensités des première et deuxième paires d'électrodes théoriques, respectivement désignées par les indices 1 et 2, sont données en fonction de l'épaisseur e de la couche, par :

$$I_{tot1} = L_{SE1} * I_{SE1} + L_{c1} * I_{c1}$$

25 et

$$I_{tot2} = L_{SE2} * I_{SE2} + L_{c2} * I_{c2}$$

- le rapport des intensités mesurées entre les deux paires d'électrodes théoriques à l'épaisseur seuil e_s de la couche est donné par :

30

$$r(e_s) = I_{tot1}(e_s) / I_{tot2}(e_s)$$

Pour que les intensités ou les résistances mesurées entre les deux paires d'électrodes du capteur soient égales lorsque l'épaisseur seuil de la couche de matériau résistif est atteinte, il faudra avoir :

5

$$I'_{\text{tot}2}(e_s) = I_{\text{tot}1}(e_s)$$

où $I'_{\text{tot}2}(e_s)$ est l'intensité mesurée entre la deuxième paire d'électrodes du capteur à l'épaisseur seuil.

- 10 – on cherche $L'_{\text{SE}2}$ telle que les différentes longueurs vérifient l'équation suivante :

$$L'_{\text{SE}2} * I_{\text{SE}2}(e_s) + L_{\text{C}2} * I_{\text{C}2}(e_s) = L_{\text{SE}1} * I_{\text{SE}1}(e_s) + L_{\text{C}1} * I_{\text{C}1}(e_s)$$

- avec $I_{\text{SE}2}(e_s)$, l'intensité calculée entre les sous-électrodes de la deuxième paire à l'épaisseur seuil, $L_{\text{C}2}$ la longueur des connexions de la deuxième
 15 paire, $I_{\text{C}2}(e_s)$ l'intensité calculée entre les connexions de la deuxième paire à l'épaisseur seuil, $L_{\text{SE}1}$ la longueur des sous-électrodes de la première
 paire, $I_{\text{SE}1}(e_s)$ l'intensité calculée entre les sous-électrodes de la première
 paire à l'épaisseur seuil, $L_{\text{C}1}$ la longueur des connexions de la première
 20 paire, et $I_{\text{C}1}(e_s)$ l'intensité calculée entre les connexions de la première
 paire à l'épaisseur seuil.

La solution de cette équation permet de déterminer la longueur de la deuxième paire de sous-électrodes du capteur pour assurer le croisement des intensités ou des résistances à l'épaisseur seuil.

- 25 Selon un deuxième exemple de réalisation du procédé de dimensionnement, lors de l'étape δ), les première et deuxième paires d'électrodes théoriques présentent respectivement un premier et deuxième espacement, mais sont de longueur, de largeur et de tensions d'alimentation identiques.

- 30 Selon une première variante du deuxième exemple de réalisation, on fabrique, lors de l'étape ζ), un capteur comprenant deux paires d'électrodes 100" et 200" présentant respectivement les mêmes premier et

deuxième espacements que ceux des électrodes théoriques, des largeurs et longueurs identiques à celles des électrodes théoriques, et dans lequel le rapport entre la tension appliquée, en utilisation, aux bornes des électrodes de la deuxième 200" et de la première 100" paire, est égal au rapport des intensités I''_1/I''_2 ou des résistances R''_2/R''_1 , mesurées à l'épaisseur seuil choisie e_s à l'étape γ) antérieure, entre les paires d'électrodes théoriques.

Selon une deuxième variante du deuxième exemple de réalisation, on fabrique, lors de l'étape ζ), un capteur comprenant deux paires d'électrodes 100" et 200" présentant respectivement les mêmes premier et deuxième espacements que ceux des sous-électrodes théoriques, des largeurs et des tensions d'alimentation identiques à celles des électrodes théoriques, et dans lequel la longueur de la deuxième paire est calculée comme suit :

- les intensités des première et deuxième paires d'électrodes théoriques sont données en fonction de l'épaisseur e de la couche, par :

$$I_{tot1} = L_{SE1} * I_{SE1} + L_{c1} * I_{c1}$$

et

$$I_{tot2} = L_{SE2} * I_{SE2} + L_{c2} * I_{c2}$$

- Le rapport des intensités mesurées entre les deux paires d'électrodes théoriques à l'épaisseur seuil e_s de la couche est donné par :

$$r(e_s) = I_{tot1}(e_s) / I_{tot2}(e_s)$$

Pour que les intensités ou les résistances mesurées entre les deux paires d'électrodes du capteur soient égales lorsque l'épaisseur seuil de la couche de matériau résistif est atteinte, il faudra avoir :

$$I'_{tot2}(e_s) = I_{tot1}(e_s)$$

où $I'_{tot2}(e_s)$ est l'intensité mesurée entre la deuxième paire d'électrodes du capteur à l'épaisseur seuil.

- on cherche L'_{SE2} telle que les différentes longueurs vérifient l'équation suivante :

$$5 \quad L'_{SE2} * I_{SE2}(e_s) + L_{c2} * I_{C2}(e_s) = L_{SE1} * I_{SE1}(e_s) + L_{c1} * I_{C1}(e_s)$$

avec $I_{SE2}(e_s)$, l'intensité calculée entre les sous-électrodes de la deuxième paire à l'épaisseur seuil, L_{c2} la longueur des connexions de la deuxième paire, $I_{C2}(e_s)$ l'intensité calculée entre les connexions de la deuxième paire à l'épaisseur seuil, L_{SE1} la longueur des sous-électrodes de la première
 10 paire, $I_{SE1}(e_s)$ l'intensité calculée entre les sous-électrodes de la première paire à l'épaisseur seuil, L_{c1} la longueur des connexions de la première paire, et $I_{C1}(e_s)$ l'intensité calculée entre les connexions de la première paire à l'épaisseur seuil.

La solution de cette équation permet de déterminer la
 15 longueur de la deuxième paire de sous-électrodes du capteur pour assurer le croisement des intensités ou des résistances à l'épaisseur seuil.

Si la longueur L_c des connexions est négligeable devant celle des sous-électrodes L_{SE} , alors le rapport de longueurs entre les deux paires d'électrodes du capteur sera proche de celui des intensités mesurées à
 20 l'épaisseur seuil entre les électrodes théoriques $r(e_s)$.

De plus, si les courants mesurés entre les électrodes de la deuxième paire se situent dans le domaine linéaire des courbes $I(e)$ à l'épaisseur seuil, alors le rapport de la longueur totale de la deuxième paire d'électrodes du capteur ($L'_{SE2} + L_{c2}$) à celle de la deuxième paire d'électrodes
 25 théoriques ($L_{SE2} + L_{c2}$) sera pratiquement le même que le rapport des intensités I''_1/I''_2 ou des résistances R''_2/R''_1 , mesurées, à l'épaisseur seuil choisie e_s à l'étape γ) du procédé de dimensionnement précédent, entre les paires d'électrodes théoriques.

Un troisième exemple de réalisation du procédé de
 30 dimensionnement est illustré à la figure 4.

Un dispositif avec connexions latérales selon l'invention est illustré en figure 4a, et le diagramme représentant l'évolution de l'intensité entre les paires d'électrodes 100'' et 200'' de ce capteur en fonction de l'épaisseur de dépôt est représenté en figure 4b.

5 Les étapes α) à δ) sont mises en œuvre avec des paires d'électrodes théoriques différant par deux premiers paramètres : la largeur et l'espacement des sous électrodes.

Ainsi, à titre d'exemple pour la paire d'électrode 100'', I_{tot} est calculé, lors de l'étape β), avec :

- 10
- $s_1 = 1 \text{ ua}$
 - $l_{SE1} = 1 \text{ ua}$
 - $L_{SE1} = 0,95 \text{ ua}'$,
 - $l_{c1} = 40 \text{ ua}$
 - $L_{c1} = 0,05 \text{ ua}'$.

15 Puis, dans une étape γ , on trace la courbe $I_{tot} = f(e)$ en faisant varier l'épaisseur e du dépôt de matériau purement résistif. Dans l'exemple illustré en figure 4b, seules les courbes C_4 et $C_{100''}$ ont été représentées.

Par exemple, pour la paire d'électrode 100'', cette courbe est illustrée par la courbe $C_{100''}$ de la figure 4b. De même, la courbe C_4 illustre, dans cet exemple de la figure 4b, l'évolution de l'intensité en fonction de l'épaisseur de dépôt pour une paire d'électrodes de même longueur que celles de la paire 100'', mais avec des sous-électrodes de largeur et d'espacement différents. Dans cet exemple, la courbe C_4 a été obtenue en calculant k_{SE2} avec $s_2 = 10 \text{ ua}$, $l_{SE2} = 10 \text{ ua}$, $L_{SE2} = 0,95 \text{ ua}'$, et k_{c2} avec $s = 10$
 20 ua , $l_{c2} = 40 \text{ ua}$ et $L_{c2} = 0,05 \text{ ua}'$.

Les électrodes correspondant aux courbes $C_{100''}$ et C_4 sont donc les électrodes théoriques. Pour fabriquer le capteur permettant de détecter le dépôt de l'épaisseur seuil lorsque les intensités ou les résistances entre les électrodes du capteur sont égales, on cherche la longueur L'_{SE2} que
 30 doit avoir la deuxième paire de sous-électrodes. L'_{SE2} doit être telle que les différentes longueurs vérifient l'équation suivante :

$$L'_{SE2} * I_{SE2}(e_s) + L_{c2} * I_{c2}(e_s) = L_{SE1} * I_{SE1}(e_s) + L_{c1} * I_{c1}(e_s)$$

avec $I_{SE2}(e_s)$, l'intensité calculée entre les sous-électrodes de la deuxième paire à l'épaisseur seuil, L_{c2} la longueur des connexions de la deuxième paire, $I_{c2}(e_s)$ l'intensité calculée entre les connexions de la deuxième paire à l'épaisseur seuil, L_{SE1} la longueur des sous-électrodes de la première paire, $I_{SE1}(e_s)$ l'intensité calculée entre les sous-électrodes de la première paire à l'épaisseur seuil, L_{c1} la longueur des connexions de la première paire, et $I_{c1}(e_s)$ l'intensité calculée entre les connexions de la première paire à l'épaisseur seuil.

En résolvant cette équation, on obtient une longueur L'_{SE2} égale à 2,18.

Le capteur ainsi dimensionné comprend donc une première paire d'électrodes 100'' de dimensions suivantes : $s1 = 1 \text{ ua}$, $l_{SE1} = 1 \text{ ua}$, $L_{SE1} = 0,95 \text{ ua}'$, $l_{c1} = 40 \text{ ua}$ et $L_{c1} = 0,05 \text{ ua}'$, et une deuxième paire d'électrodes 200'' de dimensions suivantes : $s2 = 10 \text{ ua}$, $l_{SE2} = 10 \text{ ua}$, $L'_{SE2} = 2,18 \text{ ua}'$, $l_{c2} = 40 \text{ ua}$ et $L_{c2} = 0,05 \text{ ua}'$.

A titre de comparaison, pour un dispositif sans connexions latérales, la longueur des électrodes de la deuxième paire serait égale à 2,19 unités de longueur (ua'), alors que la longueur totale des électrodes de la deuxième paire d'électrodes 200'' avec connexions latérales est égale à 2,23 unités de longueur (ua'), c'est-à-dire 2,18 unités de longueur pour les sous-électrodes, auxquelles s'ajoutent 0,05 unités de longueur des connexions.

Cependant, ce surplus de longueur n'a quasiment aucune influence sur l'encombrement général du capteur.

En effet, lorsque l'on compare la longueur L_E (2,19 ua') des électrodes de la deuxième paire d'un dispositif sans connexions latérales, à la longueur L'_{SE2} des sous-électrodes de la paire 200'' (2,18 ua'), on remarque que l'influence des connexions sur le dimensionnement des électrodes est faible. Ainsi, la juxtaposition, aux sous-électrodes, de connexions latérales et sensiblement perpendiculaires de grande largeur et de faible longueur, ne

change que très légèrement le dimensionnement de la partie fonctionnelle des électrodes, c'est-à-dire des sous-électrodes.

En outre, il ne sert à rien, pour les connexions latérales des grandes électrodes, de maximiser leur largeur (c'est-à-dire leur plus grande dimension), ni de minimiser leur longueur (c'est-à-dire leur plus petite dimension), puisque dans la région linéaire de la courbe, le courant par unité de longueur est pratiquement le même pour les connexions et pour les sous-électrodes. On pourrait, par exemple, réaliser des connexions sous forme d'un carré latéral, de côté égal à la largeur des sous-électrodes. Ceci permet
10 gagner de la place.

L'accroissement de l'encombrement par rapport au capteur sans connexion est donc essentiellement lié aux connexions latérales de la petite paire d'électrodes, l'encombrement des grandes électrodes pouvant être très limité comme expliqué précédemment.

Ainsi, par une simple comparaison des intensités ou des résistances entre les électrodes des deux paires, il est possible de détecter avec précision que le dépôt de matériau purement résistif sur les électrodes a atteint l'épaisseur seuil.
15

De manière équivalente, il aurait également été possible de calculer la longueur L'_{SE1} des sous-électrodes de la première paire d'électrodes (celle dont les électrodes sont les moins espacées), de sorte que les différentes longueurs vérifient l'équation suivante :
20

$$L'_{SE1} * I_{SE1}(e_s) + L_{c1} * I_{c1}(e_s) = L_{SE2} * I_{SE2}(e_s) + L_{c2} * I_{c2}(e_s)$$

avec $I_{SE1}(e_s)$ l'intensité calculée entre les sous-électrodes de la première paire à l'épaisseur seuil, L_{c1} la longueur des connexions de la première paire, et $I_{c1}(e_s)$ l'intensité calculée entre les connexions de la première paire à l'épaisseur seuil, L_{SE2} la longueur des sous-électrodes de la deuxième paire, $I_{SE2}(e_s)$, l'intensité calculée entre les sous-électrodes de la
30 deuxième paire à l'épaisseur seuil, L_{c2} la longueur des connexions de la

deuxième paire, $I_{C2}(e_s)$ l'intensité calculée entre les connexions de la deuxième paire à l'épaisseur seuil.

De manière équivalente, il aurait également été possible de diviser la tension aux bornes de la première paire d'électrodes selon le rapport égal au rapport des intensités I''_1/I''_2 ou des résistances R''_2/R''_1 , mesurées à l'épaisseur seuil choisie e_s à l'étape γ) antérieure, entre les paires d'électrodes théoriques.

Ainsi, selon l'invention, il convient de faire varier au moins deux paramètres, lors de la phase de dimensionnement du capteur, de manière à ce que les courbes représentant l'évolution de l'intensité entre les électrodes en fonction de l'épaisseur de dépôt se croisent à l'épaisseur seuil à détecter. Autrement dit, il convient de choisir de manière adaptée ces paramètres (longueur, largeur, espacement, tension d'alimentation), pour que les intensités ou résistances mesurées entre chaque paire d'électrodes soient égales lorsque l'épaisseur de la couche de dépôt a atteint l'épaisseur seuil e_s à détecter.

Selon un quatrième mode de réalisation du procédé de dimensionnement, lors de l'étape δ), les première et deuxième paires d'électrodes théoriques présentent respectivement un premier et deuxième espacement, mais sont de longueur, de largeur et de tensions d'alimentation identiques. Lors de l'étape ζ), au lieu d'adapter la longueur ou la tension (comme dans les premier et deuxième exemples de réalisation), le procédé de mesure selon le quatrième mode de réalisation consiste à adapter la largeur ou l'espacement des électrodes en fonction de l'épaisseur seuil à déterminer.

Autrement dit, lorsque les paires d'électrodes théoriques ont des électrodes de largeurs identiques et ne diffèrent que par leur espacement, le procédé selon le quatrième mode de réalisation consiste à n'adapter que la largeur des sous-électrodes du capteur pour que les courbes se croisent à l'épaisseur seuil. De même, lorsque les paires d'électrodes théoriques sont d'espacements identiques et ne diffèrent que par la largeur des sous-

électrodes, le procédé selon le quatrième mode de réalisation consiste à n'adapter que l'espacement des électrodes du capteur pour que les courbes se croisent à l'épaisseur seuil.

5 Ainsi, les paires d'électrodes du capteur ne diffèrent que par la largeur et l'espacement des électrodes.

Cependant, dans ce cas, il est nécessaire que les deux paires d'électrodes présentent de surcroît un rapport s/l différent, sinon les deux courbes représentatives de l'évolution de l'intensité I en fonction de l'épaisseur e de dépôt auraient la même asymptote et en conséquence ne se
10 croiseraient jamais.

La variation de deux paramètres pour faire croiser les courbes de chaque paire d'électrodes théoriques à l'épaisseur seuil choisie peut être suffisante pour certaines valeurs d'épaisseur seuil, mais difficile, voire impossible, à mettre en œuvre pour d'autres valeurs d'épaisseur seuil.

15 Un mode de réalisation préféré de l'invention, plus facile à mettre en œuvre, consiste à faire varier au moins trois paramètres, comme c'est le cas pour l'exemple illustré en figure 2.

Les meilleurs résultats sont obtenus pour des gammes d'espacement et/ou de largeur dans lesquelles le courant circulant entre la première paire d'électrodes, lorsque l'épaisseur seuil e_s est atteinte, se situe dans le domaine asymptotique de la courbe C_1 , alors que le courant circulant
20 entre la deuxième paire d'électrodes, lorsque l'épaisseur seuil e_s est atteinte, se situe dans le domaine sensiblement linéaire de la courbe C_2 . Cependant, lorsque l'espacement est égal à la largeur pour chaque paire d'électrodes, le choix de $s = l$ de part et d'autre de l'épaisseur seuil n'est pas impératif, même
25 s'il est préférable.

D'une manière générale, il convient de choisir des dimensions des paires d'électrodes relativement éloignées afin d'obtenir un « angle » suffisamment important entre les courbes représentatives des deux courants
30 (plus exactement les tangentes à chaque courbe) pour obtenir un croisement précis.

En outre, les avantages liés à l'absence de couche isolante et à la prise de contact électrique sur la même face du support que les électrodes compensent le surplus de quantité de matière conductrice devant être utilisée pour fabriquer les électrodes et les connexions. En effet, le
5 dispositif selon l'invention est économique puisqu'il n'est nécessaire ni de réaliser des vias, ni de déposer du matériau isolant.

De plus, le dispositif présente une résistance améliorée au vieillissement et il est techniquement facile à mettre en œuvre car les branchements sont pratiques.

10 Dans les différents modes de réalisation décrits, la largeur de la première paire de sous-électrodes 100'' peut être choisie entre 100 nm (nanomètres) et 1 cm (centimètre), de préférence entre 10 μ m (micromètres) et 1 mm (millimètre), typiquement de 30 μ m à 250 μ m. La largeur des sous-électrodes de la deuxième paire 200'' peut être choisie entre 500 nm et 5 cm,
15 de préférence entre 50 μ m et 5 mm, typiquement de 250 μ m à 1 mm.

D'une manière plus générale, la largeur de la première paire 100'' peut être choisie pour être inférieure ou égale à $e_s/2$, de préférence, comprise entre $e_s/10$ et $e_s/4$.

De préférence, le rapport entre la largeur des sous-électrodes
20 de la première paire 100'' et la largeur des sous-électrodes de la deuxième paire 200'' peut être compris entre 1 : 1000 et 10 : 1, de préférence entre 1 : 100 et 1 : 1, typiquement de 1 : 10 à 1 : 2.

En outre, l'espacement des électrodes de la première paire 100'' est choisi entre 100 nm et 1 cm de préférence entre 10 μ m et 1 mm,
25 typiquement de 30 μ m à 250 μ m, et l'espacement des électrodes de la deuxième paire 200'' est compris entre 500 nm et 5 cm, de préférence entre 50 μ m et 5 mm, typiquement de 250 à 1 mm.

De préférence, le rapport entre le premier et le deuxième
30 espacement est compris entre 1 : 1000 et 1 : 1, de préférence entre 1 : 100 et 1 : 2, typiquement de 1 : 10 à 1 : 3.

Dans la description précédente, les formules mathématiques sont complexes et il a été effectué un certain nombre d'approximations, notamment en négligeant l'épaisseur h des électrodes. Ces approximations ont conduit à une certaine imprécision lorsque l'épaisseur seuil à détecter est

5 faible, c'est-à-dire pour des valeurs d'épaisseur seuil de l'ordre de quelques hauteurs, en particulier entre 2 et 20, et lorsque que l'espacement s des électrodes est petit, en particulier pour des espacements inférieurs à l'épaisseur seuil.

Lorsqu'il est nécessaire de prendre en compte l'épaisseur h

10 des électrodes, le calcul de la courbe $I = f(e)$ se fait de manière différente selon que l'épaisseur de dépôt est inférieure ou supérieure à l'épaisseur h des électrodes. Ainsi, entre une épaisseur de dépôt nulle et une épaisseur de dépôt égale à l'épaisseur h des électrodes, le calcul de la courbe $I = f(e)$ se fait en calculant le courant I par la loi habituelle $I = L \cdot e / s$, avec L , la longueur

15 totale des électrodes (sous-électrode + connexion), et s leur espacement. La tension appliquée et la résistivité de la couche sont supposées unitaires (comme dans toutes les équations de courant traitées antérieurement). Lorsque l'épaisseur de dépôt est supérieure à l'épaisseur h , le calcul de la courbe $I = f(e)$ se fait en utilisant les équations données précédemment.

20 Autrement dit, lorsqu'il est nécessaire de prendre en compte la hauteur h des électrodes, le calcul des courbes $I = f(e)$ consiste à translater les courbes obtenues à l'étape β) :

- 25 - selon l'axe des abscisses, de la hauteur des électrodes, exprimée dans la même unité arbitraire u.a. que les espacements et largeurs,
- selon l'axe des ordonnées, de l'intensité de courant dans toute la hauteur des électrodes, calculée par la loi classique, soit $I = Lh/s$, c'est-à-dire le rapport de la hauteur des électrodes par leur espacement multiplié par leur longueur.

Le raccord avec l'origine des courbes translatées s'effectue avec une droite de pente L/s . Cette pente est identique à la pente à l'origine des courbes avant translation.

5 Ainsi, en reprenant la courbe de la figure 4b, une hauteur d'électrode de 0,2 u.a. induirait une translation de 0,2 u.a. selon l'axe des abscisses, une translation de 0,2 unités d'intensité selon l'axe des ordonnées pour la courbe en trait plein C_{100} ($s=l_{SE1}=1u.a.$; $l_c=40u.a.$; $L_{tot}=1u.a.$ '= 0,95 u.a.' (L_{SE1}) + 0,05 ua' (L_{c1})) et une translation de 0,02 unités d'intensité selon
10 l'axe des ordonnées pour la courbe en pointillés C_4 ($s=l_{SE}=10u.a.$; $l_c=40u.a.$; $L_{tot}=1u.a.$ '=0,95 u.a.' (L'_{SE2}) + 0,05 u.a.' (L_{c2})). Le rapport des intensités des deux paires d'électrodes théoriques, égal à 2,23 à l'épaisseur seuil pour une hauteur d'électrode nulle, aurait alors une valeur de 2,72 pour une hauteur d'électrode de 0,2 u.a.

15 Le matériau des électrodes influence également la précision de la mesure de résistivité. Ainsi, les électrodes sont constituées préférentiellement de silicium dopé, de platine, d'or, d'argent-palladium ou d'oxydes métalliques lorsque l'atmosphère d'utilisation est corrosive comme, par exemple, dans un pot d'échappement en utilisation. Si l'atmosphère le
20 permet, les matériaux utilisables peuvent également être l'aluminium, le cuivre, l'étain, etc. Les électrodes peuvent ainsi être constituées de matériaux divers et variés, du moment que leur résistivité électrique reste négligeable par rapport à celle de la couche dont on veut mesurer l'épaisseur. Il convient, en outre, de s'assurer que la résistance électrique des électrodes est
25 négligeable par rapport à celle de la couche dont on veut mesurer l'épaisseur.

La précision de la mesure est d'autant plus importante que les procédés de fabrication du capteur, par exemple pour déposer les électrodes sur le support isolant, seront précis.

30 Par exemple, la sérigraphie ne permet qu'un dimensionnement à 5-10% près, notamment pour les électrodes les plus

courtes et les plus rapprochées. Une meilleure précision pourrait être obtenue en déposant les électrodes par photolithographie sur substrat d'alumine.

Les figures 5 et 6 illustrent différentes formes et agencement des paires d'électrodes. Les deux paires d'électrodes peuvent, comme illustré en figure 5, être rectangulaires. Pour résoudre les problèmes dus à une grande différence de longueurs entre les deux paires d'électrodes, il peut être envisagé que les électrodes de la première paire soient rectangulaires et que les électrodes de la deuxième paire soient interdigitées (figure 6).

Pour des couches très résistives, deux paires d'électrodes interdigitées sont envisageables. Une conception à trois électrodes peut également être envisagée, pourvu que l'électrode centrale présente la même longueur et/ou largeur que celle qui a été calculée lors de la phase de dimensionnement.

La méthode de mesure et le dispositif de détection peuvent être utilisés pour détecter le dépôt d'une épaisseur seuil d'une couche de particules de suie dans un pot d'échappement comprenant un filtre à particules (FAP), et pour contrôler le monitoring de la régénération du FAP. A cette fin, le signal généré lorsque les première et deuxième résistances ou intensités sont égales consiste à commander la régénération de filtre à particules. Pour cela, au moins un dispositif de détection selon l'invention est disposé en amont du filtre à particules pour la mise en œuvre du procédé de mesure selon l'invention. Cet agencement permet donc de déterminer qu'une quantité seuil de suie a été fournie au filtre à particules.

Cette régénération, qui est conduite à environ 800°C, ne suffit pas toujours à éliminer tout le dépôt de suie situé sur le capteur du dispositif de détection selon l'invention.

Pour nettoyer le capteur et éliminer complètement le dépôt de suie situé sur les électrodes et, éventuellement, pour assurer une température de fonctionnement suffisante du capteur, une résistance chauffante 500 est disposée sur le support, au moins partiellement autour des paires d'électrodes

et des connexions, de manière à assurer une combustion sensiblement complète du dépôt de matière résistive sur les électrodes et les connexions.

La résistance chauffante est préférentiellement en platine, mais comme pour les électrodes, d'autres matériaux conducteurs sont envisageables. L'agencement de la résistance chauffante doit assurer une distribution aussi homogène que possible de la température au niveau du dépôt de suie recouvrant les électrodes (figures 5-6). L'utilisation du montage différentiel suppose en effet la même valeur de résistivité du dépôt à tous les endroits de la surface recouvrant les électrodes et donc la même température pour les deux paires d'électrodes.

La résistance chauffante peut être déposée soit du même côté du support que les électrodes, autour de celles-ci (figures 5-6), soit sur l'autre face du support, sous les électrodes. Les technologies de dépôt de la résistance chauffante sont les mêmes que celles décrites pour les électrodes.

Le support doit être choisi pour :

- résister aux conditions drastiques de l'échappement automobile, notamment aux fortes variations de température (100 à 900°C), au caractère corrosif des gaz d'échappement,
- être compatible au niveau électrique et mécanique avec le dépôt d'électrodes et avec celui d'une résistance chauffante permettant d'assurer la combustion de la suie sur le capteur, lors des séquences de régénération du FAP.

Les substrats plans constitués d'alumine à 96-99,9%, classiquement utilisés pour le dépôt de couches épaisses ou minces en microélectronique hybride semblent bien adaptés. Néanmoins d'autres substrats isolants sont envisageables, tels que les céramiques, les verres, l'oxyde de silicium, l'oxyde de magnésium, l'oxyde de zirconium, le nitrure d'aluminium, le nitrure de silicium, le nitrure de bore, etc. Le support peut être constitué soit d'un isolant électrique soit d'un conducteur ou semi-conducteur revêtu d'un isolant électrique. Il peut s'agir d'un métal revêtu d'un isolant électrique, de zircone, de carbure de silicium, etc. Pour des applications en

milieu moins chaud et corrosif que celui des pots d'échappement, le support peut également être en plastique ou en silicium monocristallin.

La forme du support est préférentiellement plane, mais elle peut être adaptée en fonction de l'utilisation comme, par exemple, une forme
5 curviligne ou cylindrique pour être utilisé dans un pot d'échappement, ou encore en doigts de gants.

Les capteurs utilisables en échappement automobile décrits précédemment, peuvent également être utilisés dans des chaudières, en particulier à fuel, ou dans des cheminées. L'intérêt est une optimisation des
10 fréquences de nettoyage des chaudières et de ramonage des conduits.

L'épaisseur minimale pouvant être mesurée est de l'ordre de grandeur de la largeur de l'électrode la plus fine. En utilisant les technologies silicium, on peut donc envisager de mesurer des épaisseurs de couches à partir de 0,1 μ m. Pour certaines applications, il est possible de remplacer
15 avantageusement la balance à quartz pour contrôler in situ l'épaisseur au cours du dépôt.

Le procédé de mesure et le capteur résistif différentiel décrits dans la présente invention permettent la détection d'une épaisseur seuil d'un matériau purement résistif, indépendamment de sa résistivité. Ils sont
20 applicables à la détermination de l'épaisseur de n'importe quel matériau purement résistif présentant une résistivité électrique finie. Ainsi, le capteur est adapté à la mesure d'une même épaisseur seuil dans une large gamme de résistivité sans nécessiter un réétalonnage en fonction de la résistivité du matériau et/ou des conditions de dépôt et de mesure (débit, température et
25 pression des gaz d'échappement).

La méthode de mesure et le dispositif de détection selon l'invention sont particulièrement adaptés pour déterminer une épaisseur seuil d'un dépôt particulaire, en particulier un dépôt de particules de suie dont la résistivité peut être comprise entre 10⁺⁴ et 10⁺⁸ ohm.cm selon la composition
30 de la suie (notamment sa teneur en hydrocarbures) et la température de

dépôt (la température du moteur et des gaz d'échappement influence la composition du dépôt et sa résistivité).

De plus, son coût modique de fabrication avec des matériaux éprouvés en échappement automobile, la compatibilité de ses dimensions avec celle du pot, la simplicité et la fiabilité de son fonctionnement dans des conditions aussi hostiles, font que le capteur répond parfaitement au cahier des charges des constructeurs automobile.

De nombreuses variantes et alternatives peuvent être apportées sans pour cela sortir de l'invention et notamment :

- 10 • au moins un dispositif de détection selon l'invention peut également être disposé en aval du filtre à particules.
- les connexions n'ont pas nécessairement les mêmes longueurs et largeurs entre elles.

REVENDEICATIONS

1. Dispositif de détection d'une épaisseur seuil d'une
couche de matériau purement résistif, comprenant un capteur muni d'au
5 moins trois électrodes (100a, 100b, 200a, 200b) pour définir au moins deux
paires d'électrodes (100, 200, 100'', 200''), chaque paire étant disposée
selon une direction longitudinale principale (D_L) sur une face d'un support
(1), chaque électrode comprend une sous-électrode (100a-100b, 200a-
200b, SE, SE1, SE2) reliée à une source de tension (2) par l'intermédiaire
10 de connexions (10, C, C1, C2), la source de tension (2) étant réglée pour
générer un courant (I_1, I_2) entre les sous-électrodes, et un moyen de mesure
des résistances ou des intensités entre les paires d'électrodes, caractérisé
en ce que les connexions sont disposées sur la même face du support que
les électrodes, et latéralement par rapport aux électrodes, selon une
15 direction transversale (D_T), sensiblement perpendiculaire à la direction
longitudinale (D_L) des électrodes.

2. Dispositif de détection selon la revendication 1, dans
lequel les connexions des électrodes présentent une longueur (L_C) et une
largeur (l_C) telles que le rapport (L_C/L_{SE}) entre la longueur (L_C) des
20 connexions et la longueur (L_{SE}) des sous-électrodes est inférieur à 1 :5, de
préférence compris entre 1:10 et 1:100, et que le rapport (l_C/l_{SE}) entre la
largeur (l_C) des connexions et la largeur (l_{SE}) des sous-électrodes est
supérieur à 5 :1 de préférence compris entre 10:1 et 50 :1.

3. Dispositif de détection selon l'une des revendications 1
25 ou 2, comprenant, en outre, un moyen de comparaison des résistances ou
des intensités entre elles et un moyen de génération d'un signal quand les
résistances ou les intensités mesurées sont égales.

4. Dispositif de détection selon l'une quelconque des
revendications 1 à 3, dans lequel les paires d'électrodes diffèrent par au
30 moins un premier paramètre pris parmi la largeur et l'espacement des sous-
électrodes, et un deuxième paramètre pris parmi l'espacement, la largeur, la

longueur et le réglage de la source de tension d'alimentation des sous-électrodes, le deuxième paramètre étant tel que, en utilisation, l'égalité de résistance ou d'intensité est obtenue lorsque l'épaisseur seuil à détecter est déposée sur les électrodes.

5 5. Dispositif de détection selon la revendication 4, dans lequel une largeur (l_{SE1}) et/ou un premier espacement (s_1) de la première paire (100'') de sous-électrodes sont tels que, en utilisation, la dérivée du courant entre les électrodes de ladite première paire (100'') par rapport à l'épaisseur (e) de la couche tend vers zéro lorsque l'épaisseur seuil (e_s) est atteinte, et une largeur (l_{SE2}) et/ou un deuxième espacement (s_2) de la
10 deuxième paire de sous-électrodes peuvent être tels que, en utilisation, le courant entre les électrodes de ladite deuxième paire, augmente sensiblement linéairement avec l'épaisseur de la couche, lorsque l'épaisseur seuil (e_s) est atteinte, les largeurs et/ou les longueurs et/ou les
15 espacements des sous-électrodes et/ou le réglage de la source de tension d'alimentation étant adaptés pour que, en utilisation, l'égalité de résistance ou d'intensité soit obtenue lorsque l'épaisseur seuil (e_s) est atteinte.

 6. Dispositif de détection selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel les sous-électrodes sont disposées de
20 manière parallèle, interdigitée ou mixte.

 7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel les sous-électrodes de la première paire (100, 100'') présentent une largeur (101, l_{SE1}) comprise entre 100 nm et 1 cm, de préférence entre 10 μ m et 1 mm, typiquement de 30 μ m à 250 μ m, et les
25 sous-électrodes de la deuxième paire (200, 200'') présentent une largeur (201, l_{SE2}) comprise entre 500 nm et 5 cm, de préférence entre 50 μ m et 5 mm, typiquement de 250 μ m à 1 mm.

 8. Dispositif selon la revendication 7, dans lequel le rapport entre la largeur (101, l_{SE1}) des sous-électrodes de la première paire
30 et la largeur (201, l_{SE2}) des sous-électrodes de la deuxième paire est

compris entre 1 : 1000 et 10 : 1, de préférence entre 1 : 100 et 1 : 1, typiquement de 1 : 10 à 1 : 2.

5 9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel les sous-électrodes de la première paire présentent un espacement (102, s_1) compris entre 100 nm et 1 cm, de préférence entre 10 μm et 1 mm, typiquement de 30 μm à 250 μm , et les sous-électrodes de la deuxième paire présentent un espacement (202, s_2) compris entre 500 nm et 5 cm, de préférence entre 50 μm et 5 mm, typiquement de 250 μm à 1 mm.

10 10. Dispositif selon la revendication 9, dans lequel le rapport entre le premier (102, s_1) et le deuxième (202, s_2) espacement est compris entre 1 : 1000 et 1 : 1, de préférence entre 1 : 100 et 1 : 2, typiquement de 1 : 10 à 1 : 3.

15 11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, comprenant, en outre, une résistance chauffante (500) disposée sur le support (1) au moins partiellement autour des paires de sous-électrodes et des connexions, de manière à assurer une combustion sensiblement complète du dépôt de matière résistive sur les électrodes et les connexions.

20 12. Procédé de mesure d'une épaisseur seuil (e_s) de couche (3) de matériau purement résistif déposée sur un capteur comprenant au moins trois électrodes (100a, 100b, 200a, 200b) pour définir au moins deux paires (100, 200, 100'', 200'') d'électrodes adjacentes, chaque paire étant disposées selon une direction longitudinale principale (D_L) sur une face d'un support (1), caractérisé en ce que chaque électrode
25 comprend une sous-électrode (SE, SE1, SE2) alimentée, par l'intermédiaire d'une connexion (10, C, C1, C2) disposée sur la même face du support (1) que la sous-électrode et selon une direction transversale (D_T), sensiblement perpendiculaire à la direction longitudinale (D_L) de la sous-électrode, avec une tension définie (U , U_{100} , U_{200}), générant un courant entre les sous-
30 électrodes, les paires de sous-électrodes différant par au moins un premier paramètre pris parmi la largeur et l'espacement de chaque paire, au moins

un deuxième paramètre pris parmi l'espacement, la largeur, la longueur et la tension d'alimentation des sous-électrodes étant ajusté pour qu'une première résistance (R_1) ou une première intensité (I_1) entre les électrodes de la première paire (100, 100") et une deuxième résistance (R_2) ou une deuxième intensité (I_2) entre les électrodes de la deuxième paire (200, 200") soient égales lorsque l'épaisseur seuil (e_s) est atteinte.

13. Procédé de mesure selon la revendication 12, dans lequel une largeur (l_{SE1}) et/ou un espacement (s_1) de la première paire (100") de sous-électrodes sont tels que la dérivée du courant entre les électrodes de ladite première paire par rapport à l'épaisseur (e) de la couche (3) tend vers zéro lorsque l'épaisseur seuil (e_s) est atteinte, et une largeur (l_{SE2}) et/ou un espacement (s_2) de la deuxième paire de sous-électrodes sont tels que le courant, entre les électrodes de ladite deuxième paire, augmente sensiblement linéairement avec l'épaisseur de la couche, lorsque l'épaisseur seuil (e_s) est atteinte, le procédé comprenant, en outre, les étapes consistant à :

- a) alimenter les paires d'électrodes avec une tension définie (U , U_{100} , U_{200}) par l'intermédiaire de connexions (10, C, C1, C2) disposées sur la même face du support que les électrodes et selon une direction transversale (D_T), sensiblement perpendiculaire à la direction longitudinale (D_L) des électrodes,
- b) mesurer une première résistance (R_1) ou une première intensité (I_1) entre les électrodes de la première paire,
- c) mesurer une deuxième résistance (R_2) ou une deuxième intensité (I_2) entre les électrodes de la deuxième paire,
- d) comparer les deuxième et première résistances ou les première et deuxième intensités,
- e) générer un signal lorsque lesdites résistances ou lesdites intensités sont égales, les largeurs (l_{SE}), et/ou les longueurs (L_{SE}), et/ou les tensions d'alimentation, et/ou les espacements (s) des sous-électrodes étant

adaptés pour que cette égalité soit obtenue lorsque l'épaisseur seuil (e_s) est atteinte.

14. Procédé analytique de dimensionnement d'un dispositif de détection selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, à partir de paires d'électrodes théoriques, dans lequel chaque électrode théorique est décomposée, pour le calcul, en une sous-électrode SE et une connexion C juxtaposées, le procédé comprenant les étapes suivantes :

α) calculer :

$$\alpha 1) \quad k_{SE} = \tanh[\pi s/4e] / \tanh[\pi(s+2\ell_{SE})/4e]$$

$$10 \quad \alpha 2) \quad k_C = \tanh[\pi s/4e] / \tanh[\pi(s+2\ell_C)/4e],$$

où s représente l'espacement des électrodes de la paire d'électrode, ℓ_{SE} représente la largeur de la sous-électrode, ℓ_C représente la largeur de la connexion et e représente l'épaisseur du dépôt de matériau purement résistif, exprimés dans une même unité arbitraire u.a. ;

15 $\beta_1)$ calculer, pour chaque paire de sous-électrodes d'espacement s , et de largeur ℓ_{SE} , l'intensité I_{SE} par unité de longueur en fonction de l'épaisseur e par les équations suivantes :

$$I_{SE} = (\pi/2) \{ \ln[2(1+k_{SE}^{0.5})/(1-k_{SE}^{0.5})] \}^{-1} \text{ pour } k_{SE} \geq 0,5$$

et

$$20 \quad I_{SE} = (1/2\pi) \ln[2\{1+(1-k_{SE}^2)^{0.25}\}/\{1-(1-k_{SE}^2)^{0.25}\}] \text{ pour } k_{SE}^2 \leq 0,5 ;$$

$\beta_2)$ calculer, pour chaque paire de connexions d'espacement s , et de largeur ℓ_C , l'intensité I_C par unité de longueur en fonction de l'épaisseur e par les équations suivantes :

$$I_C = (\pi/2) \{ \ln[2(1+k_C^{0.5})/(1-k_C^{0.5})] \}^{-1} \text{ pour } k_C \geq 0,5$$

25 et

$$I_C = (1/2\pi) \ln[2\{1+(1-k_C^2)^{0.25}\}/\{1-(1-k_C^2)^{0.25}\}] \text{ pour } k_C^2 \leq 0,5 ;$$

$\beta_3)$ calculer, pour chaque paire d'électrodes théoriques, l'intensité totale I_{tot} en fonction de l'épaisseur e par l'équation suivante :

$$30 \quad I_{tot} = L_{SE} * I_{SE} + L_C * I_C$$

- où L_{SE} représente la longueur de la sous-électrode, L_C la longueur de la connexion, exprimés en unité arbitraire u.a.', pouvant différer de l'unité arbitraire u.a. utilisée pour caractériser les largeurs et espacements des sous-électrodes et de leurs connexions ainsi que l'épaisseur du matériau purement résistif.
- 5
- γ) tracer la courbe $I_{tot} = f(e)$ en faisant varier l'épaisseur e du dépôt de matériau purement résistif,
- δ) parmi les courbes tracées, choisir deux courbes représentatives d'une première paire et d'une deuxième paire d'électrodes théoriques
- 10 différenciant par au moins un premier paramètre pris parmi la largeur et l'espacement de chaque paire de sous-électrodes ;
- ε) mesurer, pour chaque paire d'électrodes théoriques, les intensités ou les résistances à une épaisseur seuil (e_s) choisie et calculer le rapport ($I_1/I_2, I''_1/I''_2$) des intensités (I_1, I_2, I''_1, I''_2) ou le rapport (R_2/R_1) des résistances (R_2, R_1) entre les électrodes de chaque paire ;
- 15
- ζ) fabriquer un capteur comprenant deux paires d'électrodes différenciant par ledit même au moins un premier paramètre que les sous-électrodes théoriques, choisi à l'étape δ), et par un deuxième paramètre pris parmi l'espacement, la largeur, la longueur et le réglage de la source de
- 20 tension d'alimentation des sous-électrodes, le deuxième paramètre étant tel que, en utilisation, l'égalité de résistance ou d'intensité est obtenue lorsque l'épaisseur seuil à détecter est déposée sur les électrodes, le capteur comprenant des connexions disposées sur la même face du support que les sous-électrodes et latéralement par
- 25 rapport aux sous-électrodes, selon une direction transversale (D_T), sensiblement perpendiculaire à la direction longitudinale (D_L) des sous-électrodes.

15. Procédé analytique de dimensionnement selon la revendication 14, dans lequel, lors de l'étape δ), les courbes représentatives

30 d'une première paire et d'une deuxième paire d'électrodes différenciant par au moins un premier paramètre pris parmi la largeur et l'espacement de

chaque paire, sont choisies de telle sorte que la dérivée du courant entre les électrodes de ladite première paire (100") par rapport à l'épaisseur de la couche de dépôt (3) tend vers zéro à l'épaisseur seuil (e_s), et que le courant, entre les électrodes de ladite deuxième paire (200"), augmente sensiblement linéairement avec l'épaisseur de la couche, à l'épaisseur seuil (e_s).

16. Procédé de dimensionnement selon l'une des revendications 14 ou 15, dans lequel :

- 10 - lors de l'étape δ), les première et deuxième paires de sous-électrodes théoriques peuvent présenter respectivement une première et deuxième largeur, mais sont de longueurs, d'espacements et de tensions d'alimentation identiques ; et
- 15 - lors de l'étape ζ), un capteur peut être fabriqué, comprenant deux paires de sous-électrodes présentant respectivement les mêmes première et deuxième largeurs que celles des sous-électrodes théoriques, des longueurs et des espacements identiques à ceux des sous-électrodes théoriques, mais dans lequel le rapport (U_{200}/U , U/U_{100}) entre la tension (U , U_{200} , U_{100}) appliquée, en utilisation, aux bornes des électrodes de la deuxième et de la première paire, est égal
20 au rapport des intensités (I_1 , I_2 , I'_1 , I'_2) ou des résistances (R_1 , R_2), mesurées à l'épaisseur seuil (e_s) choisie à l'étape ϵ) antérieure, entre les paires d'électrodes théoriques.

17. Procédé de dimensionnement selon l'une des revendications 14 ou 15, dans lequel :

- 25 - lors de l'étape δ), les première et deuxième paires de sous-électrodes théoriques peuvent présenter respectivement une première et deuxième largeur, mais sont de longueurs, d'espacements et de tensions d'alimentation identiques ; et
- 30 - lors de l'étape ζ), un capteur peut être fabriqué, comprenant deux paires de sous-électrodes présentant respectivement les mêmes première et deuxième largeurs que celles des sous-électrodes

théoriques, des tensions d'alimentation et des espacements identiques à ceux des sous-électrodes théoriques, mais dans lequel la longueur L'_{SE2} des sous-électrodes de la deuxième paire vérifie l'équation suivante :

$$5 \quad L'_{SE2} * I_{SE2}(e_s) + L_{c2} * I_{c2}(e_s) = L_{SE1} * I_{SE1}(e_s) + L_{c1} * I_{c1}(e_s)$$

avec $I_{SE2}(e_s)$, l'intensité calculée entre les sous-électrodes de la deuxième paire à l'épaisseur seuil, L_{c2} la longueur des connexions de la deuxième paire, $I_{c2}(e_s)$ l'intensité calculée entre les connexions de la deuxième paire à l'épaisseur seuil, L_{SE1} la longueur des sous-électrodes de la première paire, $I_{SE1}(e_s)$ l'intensité calculée entre les sous-électrodes de la première paire à l'épaisseur seuil, L_{c1} la longueur des connexions de la première paire, et $I_{c1}(e_s)$ l'intensité calculée entre les connexions de la première paire à l'épaisseur seuil.

15 18. Procédé de dimensionnement selon l'une des revendications 14 ou 15, dans lequel :

- lors de l'étape δ), les première et deuxième paires de sous-électrodes théoriques peuvent présenter respectivement un premier et deuxième espacement, mais sont de longueurs, de largeurs et de tensions d'alimentation identiques ; et
- 20 - lors de l'étape ζ), un capteur peut être fabriqué, comprenant deux paires de sous-électrodes présentant respectivement les mêmes premier et deuxième espacements que ceux des sous-électrodes théoriques, des largeurs et des longueurs identiques à celles des sous-électrodes théoriques, mais dans lequel le rapport entre la tension appliquée, en utilisation, aux bornes des électrodes de la deuxième et de la première paire, est égal au rapport des intensités ou des résistances, mesurées à l'épaisseur seuil choisie à l'étape ε) antérieure, entre les paires d'électrodes théoriques ;

30 19. Procédé de dimensionnement selon l'une des revendications 14 ou 15, dans lequel :

- lors de l'étape δ), les première et deuxième paires de sous-électrodes théoriques peuvent présenter respectivement un premier et deuxième espacement, mais sont de longueurs, de largeurs et de tensions d'alimentation identiques ; et
- 5 - lors de l'étape ζ), un capteur peut être fabriqué, comprenant deux paires de sous-électrodes présentant respectivement les mêmes premier et deuxième espacements que ceux des sous-électrodes théoriques, des largeurs et des tensions d'alimentation identiques à celles des sous-électrodes théoriques, mais dans lequel la longueur
- 10 L_{SE2} des sous-électrodes de la deuxième paire vérifie l'équation suivante :

$$L_{SE2} * I_{SE2}(e_s) + L_{C2} * I_{C2}(e_s) = L_{SE1} * I_{SE1}(e_s) + L_{C1} * I_{C1}(e_s)$$

- avec $I_{SE2}(e_s)$, l'intensité calculée entre les sous-électrodes de la deuxième paire à l'épaisseur seuil, L_{C2} la longueur des connexions de
- 15 la deuxième paire, $I_{C2}(e_s)$ l'intensité calculée entre les connexions de la deuxième paire à l'épaisseur seuil, L_{SE1} la longueur des sous-électrodes de la première paire, $I_{SE1}(e_s)$ l'intensité calculée entre les sous-électrodes de la première paire à l'épaisseur seuil, L_{C1} la longueur des connexions de la première paire, et $I_{C1}(e_s)$ l'intensité calculée entre
- 20 les connexions de la première paire à l'épaisseur seuil.

20. Procédé de dimensionnement selon l'une des revendications 14 ou 15, dans lequel :

- lors de l'étape δ), les première et deuxième paires de sous-électrodes théoriques peuvent différer par leur largeur et leur espacement, mais
- 25 sont de longueurs et de tensions d'alimentation identiques ; et
- lors de l'étape ζ), un capteur peut être fabriqué, comprenant deux paires de sous-électrodes présentant respectivement les mêmes premier et deuxième espacements et les mêmes première et deuxième largeurs que les sous-électrodes théoriques, des longueurs identiques
- 30 à celles des sous-électrodes théoriques, mais dans lequel le rapport entre la tension appliquée, en utilisation, aux bornes des électrodes de

la deuxième et de la première paire, est égal au rapport des intensités ou des résistances, mesurées à l'épaisseur seuil choisie à l'étape ε) antérieure, entre les paires d'électrodes théoriques.

5 21. Procédé de dimensionnement selon l'une des revendications 14 ou 15, dans lequel :

- lors de l'étape δ), les première et deuxième paires de sous-électrodes théoriques peuvent différer par leur largeur et leur espacement, mais sont de longueurs et de tensions d'alimentation identiques ; et
- lors de l'étape ζ), un capteur peut être fabriqué, comprenant deux
10 paires de sous-électrodes présentant respectivement les mêmes premier et deuxième espacements et les mêmes première et deuxième largeurs que les sous-électrodes théoriques, des tensions d'alimentation identiques à celles des sous-électrodes théoriques, mais dans lequel la longueur L'_{SE2} des sous-électrodes de la deuxième paire
15 vérifie l'équation suivante :

$$L'_{SE2} * I_{SE2}(e_s) + L_{c2} * I_{c2}(e_s) = L_{SE1} * I_{SE1}(e_s) + L_{c1} * I_{c1}(e_s)$$

avec $I_{SE2}(e_s)$, l'intensité calculée entre les sous-électrodes de la deuxième paire à l'épaisseur seuil, L_{c2} la longueur des connexions de la deuxième paire, $I_{c2}(e_s)$ l'intensité calculée entre les connexions de la
20 deuxième paire à l'épaisseur seuil, L_{SE1} la longueur des sous-électrodes de la première paire, $I_{SE1}(e_s)$ l'intensité calculée entre les sous-électrodes de la première paire à l'épaisseur seuil, L_{c1} la longueur des connexions de la première paire, et $I_{c1}(e_s)$ l'intensité calculée entre les connexions de la première paire à l'épaisseur seuil.

25 22. Utilisation du procédé de mesure selon l'une des revendications 12 ou 13, pour détecter le dépôt d'une épaisseur seuil de couche de suie dans un pot d'échappement, dans laquelle les sous-électrodes sont alimentées latéralement par l'intermédiaire de connexions disposées sur la même face du support que les sous-électrodes, selon une
30 direction transversale (D_T), sensiblement perpendiculaire à la direction longitudinale (D_L) des sous-électrodes.

23. Utilisation du procédé de mesure selon la revendication 13, pour détecter le dépôt d'une épaisseur seuil de couche de suie dans un pot d'échappement, au cours de laquelle le signal généré à l'étape e), lorsque la première et la deuxième résistance ou intensité sont égales, 5 consiste à commander une étape de régénération de filtre à particules.

24. Pot d'échappement muni d'un filtre à particules, comprenant au moins un dispositif de détection selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, disposé en amont et/ou en aval du filtre à particules pour la mise en œuvre du procédé de mesure selon l'une des 10 revendications 13 ou 14.

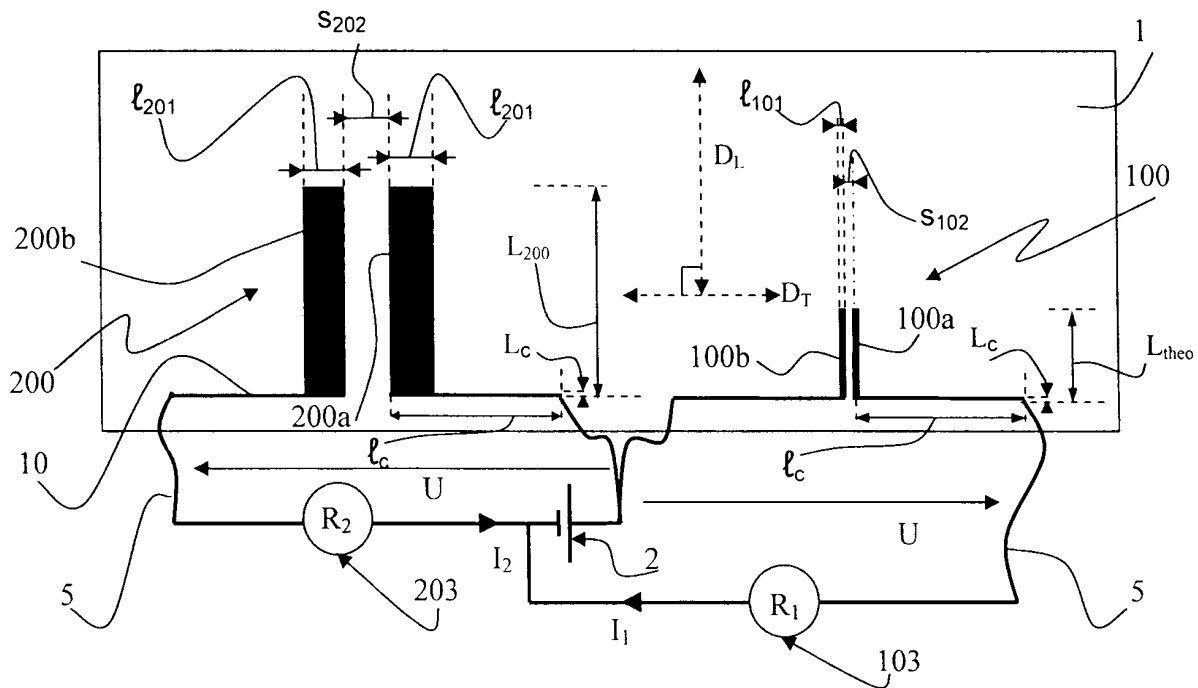


Fig. 1

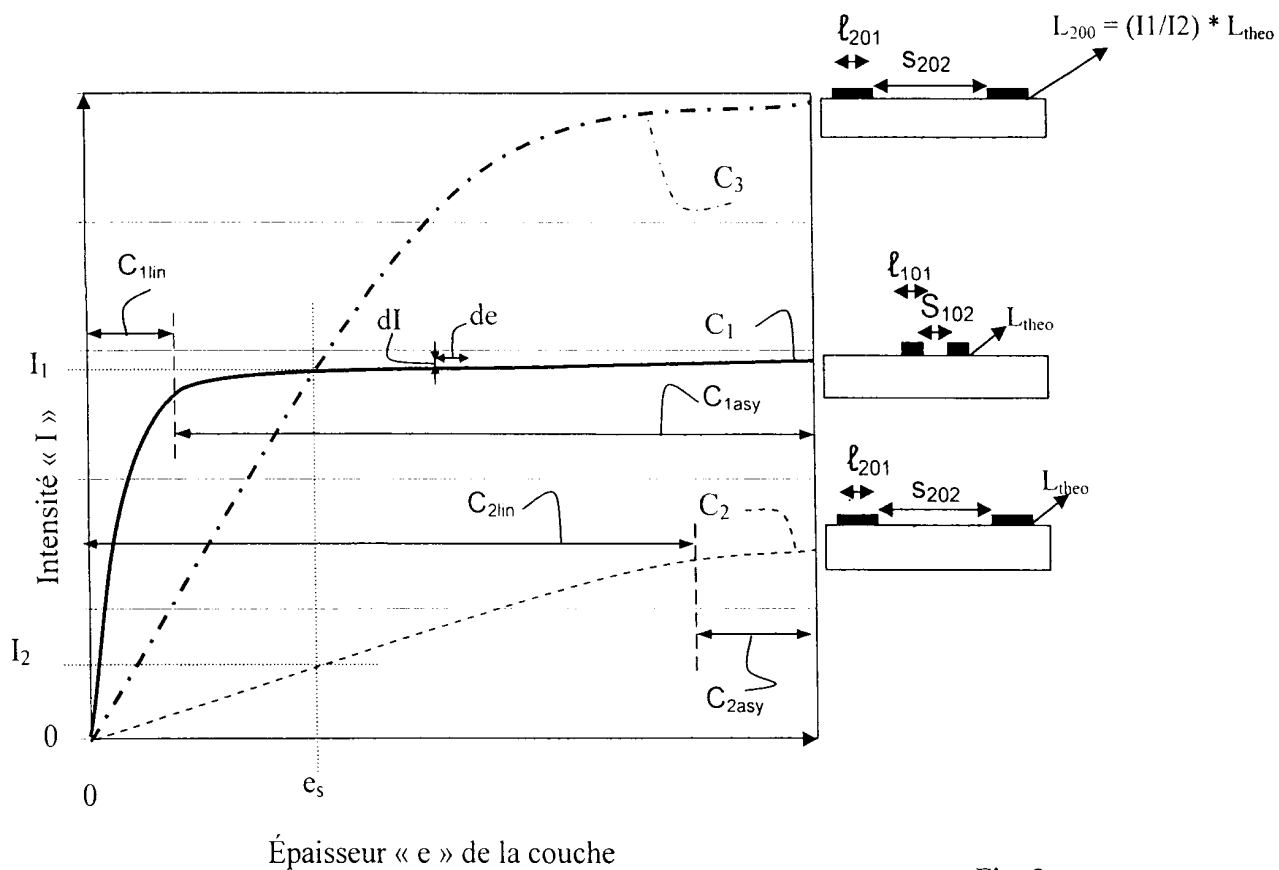


Fig. 2

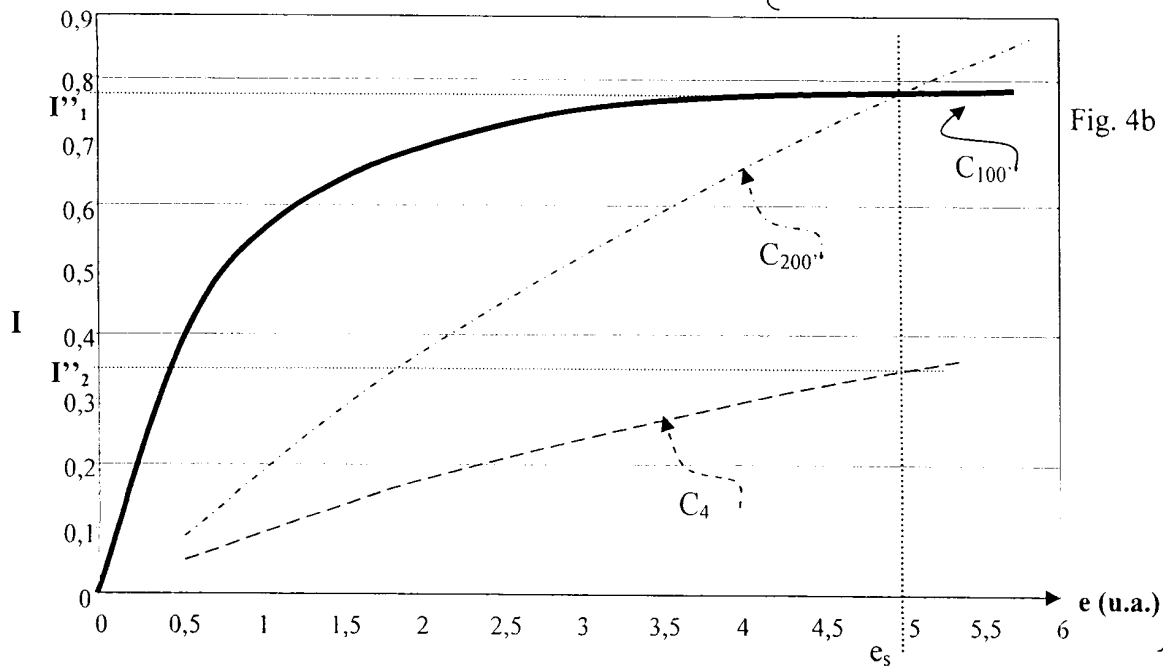
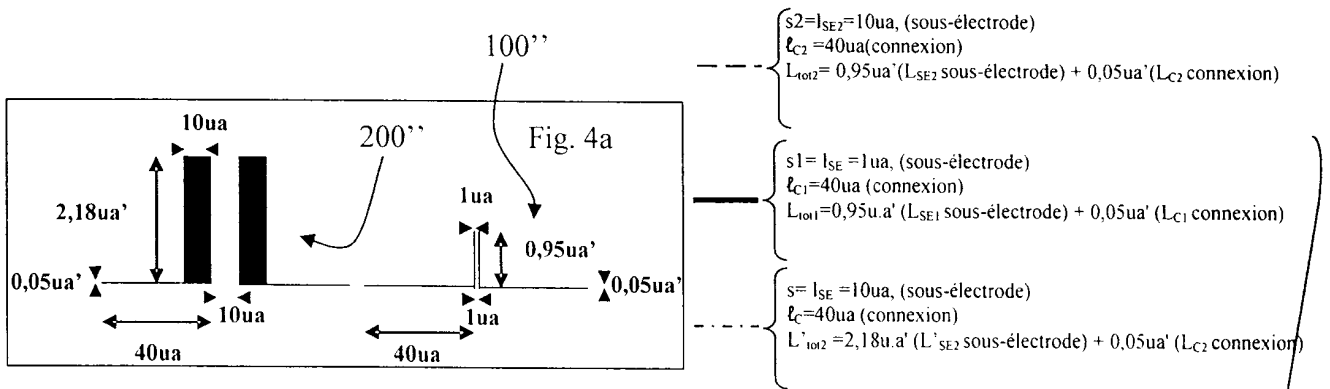
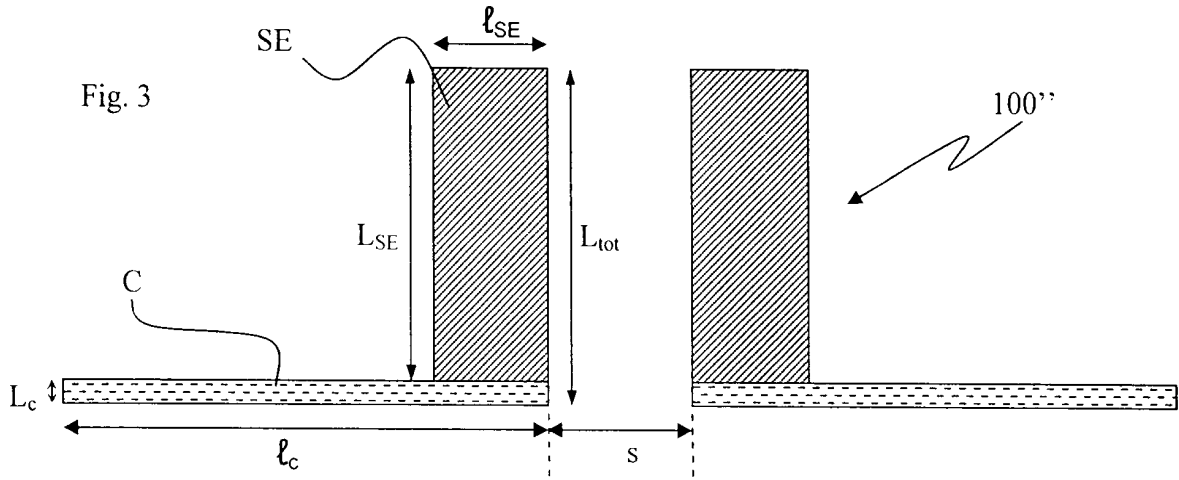


Fig. 4

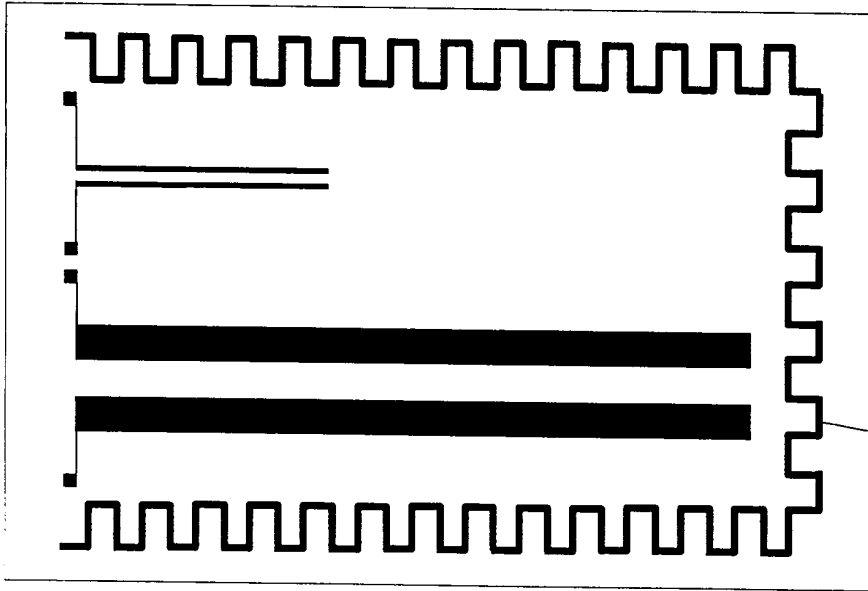
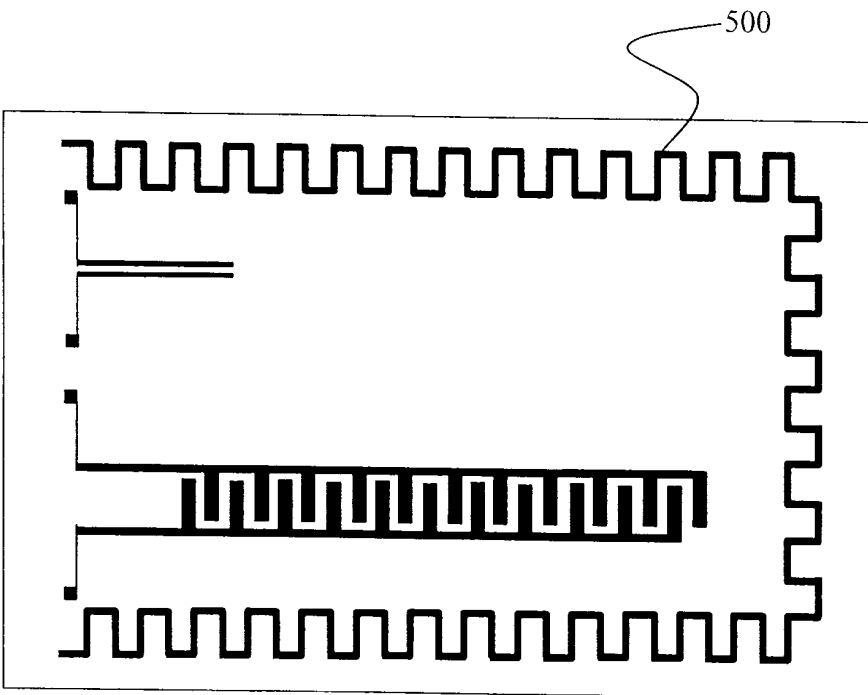


Fig. 5

500



500

Fig. 6



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 716261
FR 0807135

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
Y	EP 0 849 586 A (GOODRICH CO B F [US]) 24 juin 1998 (1998-06-24) * abrégé * * colonne 3, ligne 34 - colonne 7, ligne 58 * * colonne 10, ligne 48 - colonne 12, ligne 42 * * figures 1-6,9,12 *	1-24	G01B7/06 G01N27/04 F01N11/00
Y	DE 10 2006 047927 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 17 avril 2008 (2008-04-17) * abrégé * * figure 1 * * alinéas [0009] - [0049] *	1,12,13	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) G01B F01N C25D G01N C23C
Y	DE 10 2006 015385 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 4 octobre 2007 (2007-10-04) * le document en entier *	1,12,13	
Y	US 2004/039514 A1 (STEICHEN JOHN CARL [US] ET AL STEICHEN JOHN CARL [US] ET AL) 26 février 2004 (2004-02-26) * abrégé * * figures 3,5 * * alinéas [0390] - [0407] *	1-4	
Y	MENIL F ET AL: "A simplified model for evaluating the electrical resistance of a zirconia substrate with co-planar electrodes" SENSORS AND ACTUATORS B, ELSEVIER SEQUOIA S.A., LAUSANNE, CH, vol. 77, no. 1-2, 15 juin 2001 (2001-06-15), pages 84-89, XP004246532 ISSN: 0925-4005 * le document en entier *	2,4-10, 14-22	
----- -/--			
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
17 juillet 2009		Poizat, Christophe	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

4
EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 716261
FR 0807135

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
Y	WO 2006/111459 A (BOSCH GMBH ROBERT [DE]; DIEHL LOTHAR [DE]; RUNGE HENRICO [DE]) 26 octobre 2006 (2006-10-26) * le document en entier *	6,11	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
Y	WO 2006/077198 A (BOSCH GMBH ROBERT [DE]; ROESCH SABINE [DE]; OCHS THORSTEN [DE]; KAMP B) 27 juillet 2006 (2006-07-27) * le document en entier *	5,6,11, 23,24	
Y	FR 2 911 186 A (NEOSENS SA [FR]) 11 juillet 2008 (2008-07-11) * le document en entier *	1,14-22	
A	WO 2005/124313 A (BOSCH GMBH ROBERT [DE]; SCHNELL FRANK [DE]; DORFMUELLER LUTZ [DE]; SCH) 29 décembre 2005 (2005-12-29) * le document en entier *	1-24	
D,E	FR 2 917 497 A (CENTRE NAT RECH SCIENT [FR]) 19 décembre 2008 (2008-12-19) * le document en entier * * figures 7,8 *	1-24	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
17 juillet 2009		Poizat, Christophe	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>			

4
EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0807135 FA 716261**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **17-07-2009**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0849586 A	24-06-1998	CA 2219569 A1	20-06-1998
DE 102006047927 A1	17-04-2008	AUCUN	
DE 102006015385 A1	04-10-2007	EP 2005138 A1 WO 2007115854 A1	24-12-2008 18-10-2007
US 2004039514 A1	26-02-2004	AUCUN	
WO 2006111459 A	26-10-2006	DE 102005018838 A1 EP 1875198 A1	30-11-2006 09-01-2008
WO 2006077198 A	27-07-2006	EP 1844315 A1	17-10-2007
FR 2911186 A	11-07-2008	AUCUN	
WO 2005124313 A	29-12-2005	CN 1969179 A DE 102004028997 A1 EP 1759183 A1 JP 2008502892 T US 2009051376 A1	23-05-2007 05-01-2006 07-03-2007 31-01-2008 26-02-2009
FR 2917497 A	19-12-2008	WO 2009010645 A2	22-01-2009