

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
29 novembre 2007 (29.11.2007)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2007/135057 A1

(51) Classification internationale des brevets :

G01N 27/61 (2006.01) G01H 11/00 (2006.01)
G01N 29/04 (2006.01) H01L 41/053 (2006.01)
G01N 29/14 (2006.01)

Marie-Anne [FR/FR]; Lieu dit "Du Bois Grand", F-32600
Monbrun (FR).

(74) Mandataire : SCHMIT, Christian Norbert Marie; 111
Cours du Médoc, F-33300 Bordeaux (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/EP2007/054759

(22) Date de dépôt international : 16 mai 2007 (16.05.2007)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :

0651903 24 mai 2006 (24.05.2006) FR

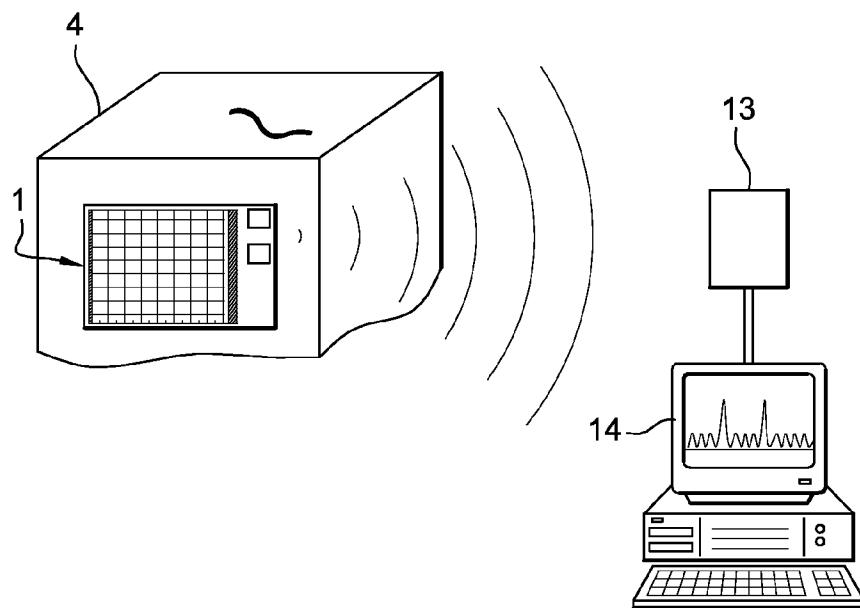
(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,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

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: DEVICE FOR NON-DESTRUCTIVE TESTING OF A STRUCTURE BY VIBRATORY ANALYSIS

(54) Titre : DISPOSITIF DE CONTRÔLE NON DESTRUCTIF D'UNE STRUCTURE PAR ANALYSE VIBRATOIRE



(57) Abstract: The invention concerns a device (1) for non-destructive testing of a structure (4) likely to contain a defect (5), comprising means for measuring (3) vibratory waves emitted by said structure at different points of a surface of said structure, said measuring means (3) being integrated in a flexible housing (2) capable of adhering on the surface of said structure to be tested. The invention is applicable to all industrial sectors where testing of the integrity of structures is important, in particular in aeronautics.

[Suite sur la page suivante]

WO 2007/135057 A1



FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— *avec rapport de recherche internationale*

Déclaration en vertu de la règle 4.17 :

- *relative au droit du déposant de revendiquer la priorité de la demande antérieure (règle 4.17.iii))*

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(57) Abrégé : L'objet de l'invention concerne une dispositif (1) de contrôle non destructif d'une structure (4) susceptible de comporter un défaut (5), comprenant des moyens de mesure (3) des ondes vibratoires émis par ladite structure en différents points d'une surface de ladite structure, lesdits moyens de mesure (3) étant intégrés dans un support souple (2) apte à adhérer sur la surface de ladite structure à contrôler. Le domaine d'application de la présente invention concerne tous les secteurs industriels où le contrôle de l'intégrité des structures est important, en particulier dans l'industrie aéronautique.

DISPOSITIF DE CONTROLE NON DESTRUCTIF D'UNE STRUCTURE PAR ANALYSE VIBRATOIRE

La présente invention concerne un dispositif de contrôle non destructif d'une structure par analyse vibratoire, comprenant des moyens de mesure des ondes vibratoires émises par la structure pour déterminer des vibrations anormales induites par la présence de défaut dans la structure. Les moyens de mesure sont intégrés dans un support souple apte à adhérer sur la surface de la structure à contrôler. La présente invention trouve des applications pour le contrôle non destructif (CND) des structures d'aéronef, mais peut être utilisée dans tous les secteurs industriels où le contrôle de l'intégrité des pièces travaillées est important, tels que l'automobile, le ferroviaire, la construction navale ou le nucléaire.

Dans le cadre de l'exploitation et de la maintenance des aéronefs, il est nécessaire d'utiliser des méthodes de contrôle qui permettent de déterminer si les structures sont endommagées par des criques ou des fissures, sans endommager les pièces constituant la structure. Les techniques utilisées sont regroupées sous la dénomination de contrôle non destructif (CND). Les techniques de CND sont nombreuses et en constante évolution car les secteurs industriels concernés sont demandeurs d'un accroissement des performances de ces techniques de CND. Les secteurs du transport aérien et du génie civil sont toujours à la recherche de techniques CND de plus en plus performantes pour remplir à la fois les impératifs de sécurité et une politique de réduction des coûts.

La présente invention a ainsi notamment pour but de détecter des vibrations anormales induites dans les structures d'aéronef lorsque l'aéronef est en vol. Ces vibrations dans certains cas sont des indicateurs de l'apparition des défauts dans les structures, par exemple l'apparition de fissures ou de criques dans le matériau constituant la structure d'aéronef.

Il existe, par exemple des moyens de contrôle par radiographie aux rayons X ou par induction magnétique, qui permettent de détecter les défaillances d'une

structure mais ces moyens sont difficiles à mettre en oeuvre et inadaptés pour une structure d'aéronef sans immobilisation de l'avion.

Il existe également des moyens de contrôle visuels pour contrôler l'apparition de fissures, mais généralement les structures qui sont les plus 5 susceptibles sujets à des défauts se développer sont des structures difficilement accessibles tels que des éléments de fixation ou des structures mobiles complexes. Ces moyens ne permettent de détecter des fissures que lorsque les fissures débouchent sur une surface directement accessible à l'opérateur, aussi les moyens de contrôle visuels ne permettent pas de réaliser une maintenance 10 prédictive performante des structures.

Tous ces moyens de contrôle nécessitent que l'aéronef soit immobilisé au sol pour procéder à une inspection des zones sensibles de l'avion à l'aide d'un appareil de contrôle. Ceci implique un temps de contrôle relativement long et la présence d'un opérateur qualifié, entraînant par conséquent un coût de 15 maintenance relativement élevé.

A la connaissance du concepteur du présent dispositif, il n'existe pas à ce jour de moyens performants permettant de contrôler l'état des structures par exemple des structures aéronautiques tout au long de leurs périodes d'utilisation, en particulier pouvant effectuer un diagnostic global de santé des structures 20 aéronautiques pendant le vol de l'avion.

La présente invention propose un dispositif adapté à un tel contrôle qui permet de surveiller la santé structurale d'une structure tout au long de sa période d'utilisation par des mesures locales du comportement vibratoire de ladite structure.

25 Les problèmes à résoudre pour un tel dispositif sont :

- de disposer d'un moyen de contrôle non destructif adapté pour être facilement apposé sur la surface des structures à contrôler qu'elles soient accessibles ou non tout en restant de masse et d'encombrement négligeable et en ne nécessitant qu'une faible puissance électrique pour son fonctionnement,

30 - de disposer d'un moyen de contrôle adapté pour être installé en permanence sur les structures à contrôler durant leur utilisation pour effectuer une maintenance prédictive en détectant l'apparition des défauts le plutôt possible,

permettant ainsi de programmer des interventions et de réaliser des réparations moins coûteuses et de garantir une sûreté maximale des structures,

- de disposer d'un moyen de contrôle qui permet une gestion automatique des contrôles et de délivrer un diagnostic complet de la santé des
- 5 structures afin de réduire au maximum le travail de l'opérateur pour réduire le coût de maintenance.

A cet effet, la présente invention présente un dispositif de contrôle non destructif d'une structure susceptible de comporter un défaut. Selon l'invention, ledit dispositif comprend des moyens de mesure des ondes vibratoires émis par 10 ladite structure en différents points d'une surface de ladite structure, lesdits moyens de mesure étant intégrés dans un support souple apte à adhérer sur la surface de ladite structure à contrôler.

Lesdits moyens de mesure des ondes vibratoires comportent un ensemble de microcapteurs apte à générer une cartographie des vibrations à la surface de la 15 structure.

Avantageusement les dimensions et l'agencement des microcapteurs sont déterminés pour être aptes à détecter les variations de vibrations induites par la présence du défaut ayant les plus petites dimensions dont la détection est recherchée.

20 Selon l'invention, les moyens de détection sont des microcapteurs piézoélectriques organisés en matrice lignes colonnes, lesdits microcapteurs transformant lesdits ondes vibratoires émis par ladite structure en signaux électriques.

Selon une forme de réalisation de l'invention, le dispositif comprend en 25 outre une électronique d'interface reliant lesdits moyens de détection et de mesure à une mémoire d'enregistrement, ladite électronique d'interface et ladite mémoire étant également intégrés sur ledit support souple de manière à réaliser avantageusement un dispositif de contrôle monolithique.

Pour transformer les ondes vibratoires émis par la structure en signaux 30 électriques, chaque microcapteur comporte un réseau de lamelles piézoélectriques disposées entre deux plaques conductrices, les extrémités desdites lamelles étant rendues solidaires aux plaques au moyen d'un matériau adhésif conducteur, une des deux plaque étant rendue solidaire audit support

souple, lesdites deux plaques étant reliée elles même à ladite électronique d'interface.

Avantageusement le dispositif de contrôle comprend un système calculateur tel qu'un système à microprocesseur pour déterminer de manière 5 automatique les ondes vibratoires induites par le défaut présent dans la structure à partir des ondes vibratoires mesurées par les microcapteurs.

Dans un mode de réalisation dans lequel le système calculateur n'étant pas intégré sur le support souple et connecté au dispositif de contrôle, ledit dispositif de contrôle comporte des moyens d'émission pour envoyer des signaux 10 électriques enregistrés dans la mémoire vers ledit système calculateur en utilisant une liaison sans fil, radio ou infrarouge.

Dans un autre mode de réalisation dans lequel le système calculateur est intégré sur le support souple et est connecté entre ladite interface et la mémoire d'enregistrement.

15 Selon une forme de réalisation du système calculateur, il comprend une mémoire contenant au moins une cartographie des ondes vibratoires de référence de la ou des structures, des moyens de calcul convertissant les signaux électriques envoyés par le dispositif de contrôle en ondes vibratoires, des moyens d'analyse différentielle et d'analyse spectrale desdits ondes vibratoires mesurées 20 par les microcapteurs par rapport aux ondes vibratoires de référence.

Selon un mode de réalisation particulier, les moyens d'analyse différentielle comportent des moyens pour générer un signal d'état S , caractéristique du fait qu'une valeur différentielle entre les ondes vibratoires de référence et les ondes vibratoires mesurées par les microcapteurs dépasse une valeur seuil.

25 Selon un autre mode réalisation particulier, les moyens d'analyse spectrale comportent des moyens pour générer un signal d'état S' caractéristique du fait que le représentation fréquentielle des ondes vibratoires mesurés par les microcapteurs par rapport à la représentation fréquentielle des ondes vibratoires de référence comporte des raies spectrales correspondant aux ondes vibratoires 30 induites par la présence du défaut dans ladites structure.

Avantageusement, selon les modes de réalisation présentés précédemment, les signaux d'état S et S' générés sont soit transmis par le système calculateur à des moyens d'alarme, soit enregistrés dans la mémoire

d'enregistrement du dispositif de contrôle, puis transmis vers des moyens d'alarme en utilisant une liaison sans fil, radio ou infrarouge.

Les moyens d'alarme comportent par exemple un écran d'affichage et des indicateurs lumineux et/ou sonores.

5 Avantageusement les lamelles piézoélectriques sont adaptées pour détecter des ondes vibratoires à basses fréquences et des ondes vibratoires à hautes fréquences.

Avantageusement, le dispositif de contrôle comporte un système d'auto-alimentation dans lequel au moins une ligne ou une colonne desdits microcapteurs 10 est reliée à un accumulateur d'énergie électrique destiné à stocker l'énergie électrique générée par lesdits microcapteurs et à restituer ladite énergie électrique sous forme de courant pour alimenter le dispositif de contrôle.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention seront mieux compris à la lecture de la description qui va suivre en référence aux dessins qui 15 représentent :

en figure 1 : une représentation schématique d'une vue de profil en coupe d'un dispositif de contrôle comprenant un réseau de microcapteurs piézoélectriques selon un mode de réalisation l'invention couvrant la surface d'une structure à contrôler, le dispositif de contrôle étant lui-même recouvert par une 20 couche de peinture;

en figure 2: une représentation schématique en coupe partielle d'un microcapteur piézoélectrique de la figure 1 comprenant un réseau de lamelles piézoélectriques disposées entre deux plaques, le microcapteur étant intégré sur un support souple;

25 en figure 3 : une représentation schématique d'une vue de dessus du dispositif de contrôle illustrant un mode de réalisation du dispositif;

en figure 4 : une représentation schématique d'un mode de réalisation du dispositif de contrôle de la figure 3 en position opérationnelle de transmission de signaux électriques vers un système calculateur disposé à distance,

30 en figure 5A, 5B et 5C : une représentation schématique des différentes étapes d'une exemple technique de photolithographie en U.V pour obtenir un réseau de lamelles;

en figure 6 : une représentation schématique d'une vue de profil en coupe du réseau de lamelles intégré sur un support souple ;

en figure 7 : une vue schématique d'un réseau de dispositifs de contrôle disposés sur la surface des structures d'un avion au sol en position de 5 transmission de signaux enregistrés au cours du vol de l'avion;

Pendant le fonctionnement normal d'un avion, notamment pendant un vol, les diverses structures de l'avion sont excitées en vibrations par des diverses sources d'énergie. Par exemple, les ondes de pression des propulseurs excitent 10 des modes vibratoires des structures dont les réponses sont caractéristiques desdites structures. Lorsque la structure est modifiée, par exemple suite à l'apparition d'une anomalie structurale telle qu'une fissure ou un désordre dans ces structures, la réponse vibratoire de la structure est modifiée. Les vibrations correspondantes sont superposées aux vibrations structurales des sources 15 d'excitation. Une analyse temporelle et spectrale des ondes vibratoires permet d'extraire les caractéristiques des vibrations et détecter la présence de modes anormaux qui sont potentiellement à l'apparition des défauts. On distingue généralement deux catégories de signaux caractéristiques d'une structure vibrante. Les ondes vibratoires de basse fréquence, dans la bande de basses 20 fréquences 0 à environ 25 KHz, qui traduisent des macrodéplacements de la structure autour d'une position fixe (déformation à l'échelle macroscopique), et les ondes de haute fréquence, dans la bande d'environ 20 kHz à quelque MHz, qui traduisent des déplacements à l'échelle microscopique au sein du matériau constituant la structure (déformation microscopique).

25 Une analyse des ondes vibratoires à basses fréquences permet de détecter la présence des défauts d'origine mécaniques alors que l'analyse des ondes vibratoires à hautes fréquences permet de détecter l'amorçage de défauts de petites dimensions tels que des fissures, voir des défauts liés à la corrosion, au caractère généralement évolutif et suivre l'évolution de ces défauts.

30 En figure 1 est représenté un dispositif de contrôle non destructif 1 d'une structure 4 suivant l'invention pour détecter et mesurer les ondes vibratoires induites par la présence du défaut dans une structure.

Il comprend un support souple 2 sur lequel sont intégrés des moyens de mesure 3 des ondes vibratoires émis par ladite structure en différents points de la surface de la structure. Le support souple 2 est par exemple réalisé dans un matériau plastique permettant ainsi de fixer le dispositif sur la surface de la structure à contrôler en épousant la forme de la structure.

Le support souple du dispositif de contrôle 1 est rendu solidaire à la surface de la structure 4 à contrôler au moyen d'un matériau adhésif.

De préférence ce dispositif est fixé sur une zone critique de la structure où les fissures sont susceptibles d'apparaître. Sur un avion, le dispositif peut être 10 disposé sur des zones considérées critiques qui se situent par exemple au niveau des zones d'accrochage des ailerons, au niveau des zones de jonction de panneaux constituant le fuselage, au niveau d'éléments de fixation important par exemple ceux des moteurs.

Avantageusement ce dispositif de contrôle 1 est adapté pour recevoir une 15 couche de revêtement 5 qui peut être par exemple une couche de peinture qui vient se superposer au dispositif de contrôle 1.

Les moyens de mesure comportent un réseau de microcapteurs piézoélectriques 3 organisés de préférence en une matrice de lignes et de colonnes. Chaque microcapteur est apte à transformer les ondes vibratoires qu'il 20 reçoit de la structure sur laquelle il est disposé en signaux électriques.

La figure 2 représente schématiquement une vue en coupe de l'un des microcapteurs du réseau. Il comprend un ensemble de lamelles piézoélectriques 6. Ledit ensemble de lamelles est disposé entre deux plaques conductrices 8, 9.

Les extrémités de chaque lamelle sont rendues solidaire aux deux plaques 25 conductrices 8, 9 au moyen d'un matériau adhésif conducteur 7, une des deux plaques étant rendue solidaire au support souple 2 qui est destinée à couvrir la surface d'une zone de la structure à contrôler.

Lorsque la structure à contrôler vibre, les lamelles piézoélectriques vibrent à la même fréquence que le point de la structure où est placé le microcapteur. Les 30 lamelles se chargent électriquement par effet piézoélectrique en se déformant. Les deux plaques conductrices 8, 9 connectées aux extrémités des lamelles permettent de recueillir les signaux électriques générés par les charges électriques sur les lamelles.

La figure 3 représente schématiquement une vue de dessus du dispositif de contrôle, selon un mode de réalisation particulier de l'invention, qui a une forme sensiblement rectangulaire comportant ici par exemple à titre illustratif un réseau de 56 microcapteurs piézoélectriques 3 organisés en une matrice de lignes 3l et 5 de colonnes 3c. En outre le dispositif comprend avantageusement une électronique d'interface 10 reliant le réseau de microcapteurs 3 à une mémoire d'enregistrement 11. L'électronique 10 et la mémoire 11 sont de préférence intégrées sur le support souple 2 de manière à réaliser avantageusement un dispositif de contrôle monolithique.

10 Les signaux électriques recueillis par les plaques 8, 9 de chaque microcapteur sont transmis vers l'électronique d'interface 10 qui comporte de préférence des moyens d'amplification desdits signaux électriques. Les signaux amplifiés sont ensuite acheminés vers la mémoire d'enregistrement 11. L'électronique d'interface 10 est disposée à l'extrémité des lignes de 15 microcapteurs dans la forme de réalisation du dispositif présenté sur la figure 3. Dans une autre forme de réalisation, l'électronique d'interface peut être disposée à l'extrémité des colonnes de microcapteurs, mais d'autres dispositif relatives entre les microcapteurs et l'électronique d'interface sont possibles dans le cadre de l'invention.

20 Chaque microcapteur 3 donne une information sur les vibrations de la structure à l'emplacement du microcapteur et la répartition des microcapteurs permet d'obtenir une cartographie des ondes vibratoires à la surface de ladite structure de sorte qu'un défaut de la structure qui induit une modification locale des ondes vibratoires peut être localisé en fonction des microcapteurs.

25 Afin de localiser précisément les défauts, le pas entre microcapteurs est fixé à une valeur inférieure aux dimensions des défauts minimum à détecter de sorte que la discrimination de la position des défauts soit possible et de sorte qu'en cas d'endommagement localisé du réseau de microcapteurs, les microcapteurs situés autour de la zone endommagée du réseau puissent toujours 30 permettre de réaliser une surveillance des zones suffisamment proche du défaut susceptible d'apparaître de telle sorte que le défaut soit effectif et détecté.

Dans un mode de réalisation particulier de l'invention, le mode de transfert des signaux électriques issus des microcapteurs 3 vers l'électronique d'interface

10 est un mode de transfert à interlignes. Au dessus de chaque ligne de microcapteurs est disposée une ligne de stockage 23. Les signaux sont temporairement stockés dans cette ligne de stockage 23. Le contenu des lignes de stockage est ensuite transféré vers l'électronique d'interface 10 selon un mode 5 en parallèle. Ensuite les signaux électriques sont évacués en série vers une mémoire d'enregistrement 11.

Dans une variante du mode de transfert des signaux électriques, chaque microcapteur est adressé directement pour envoyer les signaux électriques directement à l'électronique d'interface 10.

10 Afin de traiter de manière automatique les signaux électriques mesurés par les microcapteurs 3, le dispositif de contrôle comprend de plus un système calculateur 13 tel que représenté schématiquement sur la figure 4 pour convertir les signaux électriques caractéristiques des ondes vibratoires mesurées en valeurs numériques et pour déterminer les ondes vibratoires induites par la 15 présence du défaut dans la structure à partir des ondes vibratoires mesurées par les microcapteurs. Le système calculateur est par exemple un système à microprocesseur.

Dans un mode préféré de réalisation de l'invention représenté sur la figure 4, le système calculateur n'étant pas intégré sur le support souple 2, le dispositif 20 comporte des moyens d'émission référencé par le numéro 12 sur la figure 3 pour envoyer les signaux électriques enregistrés dans la mémoire d'enregistrement 11 vers le système calculateur 13 en utilisant une liaison sans fil, radio ou infrarouge. Ces moyens d'émission comportent par exemple un transpondeur intégré sur le support souple qui fonctionne de préférence à une fréquence fixée, ladite 25 fréquence étant choisie de sorte que l'émission des signaux électriques représentatifs des vibrations n'interfère pas avec l'émission des autres données par des dispositifs autre que le dispositif de contrôle.

Le système calculateur comporte de préférence un convertisseur analogique/numérique pour convertir les signaux électriques analogiques 30 provenant de la mémoire d'enregistrement en valeurs numériques. Ces valeurs numériques sont convertis ensuite en ondes vibratoires grâce à des moyens de calcul dans lequel est avantageusement intégré un modèle théorique ou

expérimental établissant la relation entre la vibration détectée et la charge électrique générée.

Pour déterminer les variations de vibrations induites par la présence du défaut dans la structure à partir des ondes vibratoires mesurées par les 5 microcapteurs, le système comporte des moyens d'analyse pour effectuer une étude comparative en amplitude et en fréquence entre les ondes vibratoires mesurés par les microcapteurs et les ondes vibratoires de référence. Pour cela le système calculateur comporte une mémoire dans laquelle est enregistrée une base de donnée de cartographies des ondes vibratoires de référence de la 10 structure. La cartographie de référence constitue un modèle de comparaison prédéfini par rapport au comportement de la zone couverte par le dispositif de contrôle. Cette cartographie peut être prédéterminée sur une structure de référence. On entend par structure de référence, une structure jugée ne comportant pas de défaut, par exemple une structure à la sortie de sa ligne de 15 fabrication et ayant réussi toutes les étapes de qualification. Elle peut être également prédéterminée par une modélisation. Lorsque les moyens d'analyse effectuent une comparaison en amplitude entre les ondes vibratoires de référence et les ondes vibratoires mesurés par les microcapteurs, si la valeur différentielle déterminée entre les ondes vibratoires de référence et les ondes vibratoires 20 mesurées dépasse une valeur seuil, un signal d'état S est généré par les moyens d'analyse.

Cette comparaison en amplitude est avantageusement complétée par une analyse spectrale. Par exemple les moyens d'analyse effectuent tout d'abord une transformée de Fourier des ondes vibratoires mesurées pour obtenir une 25 représentation fréquentielle de la vibration, en comparant la représentation fréquentielle des ondes vibratoires de référence et la représentation fréquentielle des ondes vibratoires mesurés, des raies spectrales correspondant aux ondes vibratoires induits par la présence du défaut dans la structure sont alors extraites par les moyens d'analyse qui génère un deuxième signal d'état S'.

30 Avantageusement l'analyse spectrale permet d'identifier la nature des défauts rencontrés. Généralement un spectre vibratoire comporte un ensemble de raies. Pour identifier facilement les raies correspondant aux défauts et les classer selon le type de défauts rencontrés de préférence une bibliothèque de

configurations spectrales est également enregistrée dans la mémoire du système calculateur.

Les signaux d'état S et S' ainsi que toutes les informations telles que la nature des défauts, la dimension des défauts et la localisation des défauts sont 5 transmis par le système calculateur vers des moyens d'alarme 14 qui comportent par exemple un écran d'affichage 22 pour afficher les informations et des indicateurs lumineux et/ou sonores 20 pour avertir l'opérateur de maintenance.

La transmission des signaux électriques enregistrés dans la mémoire 11 vers le système calculateur peut être programmée de manière à ce qu'elle soit 10 effectuée automatiquement à la fin d'un vol de l'avion par exemple. Cette transmission peut aussi être activée manuellement par l'opérateur de maintenance en interrogeant le dispositif de contrôle lors de l'inspection de l'avion.

Dans un autre mode de réalisation de l'invention, le système calculateur 13 est intégré directement sur le support souple 2 et connecté entre l'électronique 15 d'interface 10 et la mémoire d'enregistrement 11. Dans ce mode de réalisation, le système calculateur 13 reçoit directement des signaux électriques de l'électronique d'interface 10 et envoie vers la mémoire d'enregistrement 11 seulement les signaux d'état S et S' et les informations sur les défauts. Lors d'une inspection, en interrogeant le dispositif, l'opérateur décharge les signaux d'état et 20 les informations enregistrés dans la mémoire du dispositif de contrôle vers des moyens d'alarme 14 en utilisant une liaison sans fil, radio ou infrarouge.

Dans le cadre d'un contrôle en temps réel des structures, le dispositif de contrôle est par exemple programmé pour être activé lorsque l'avion n'est plus au sol et il effectue ensuite des mesures à des intervalles régulier, par exemple 25 toutes les 5 minutes pendant une période déterminée de manière à réaliser une cartographie en fonction du temps. Ainsi le dispositif de contrôle permet une cartographie de la zone surveillée en fonction du temps pour établir l'évolution du champ des ondes vibratoires émis par la pièce.

Le réseau de lamelles est réalisé selon des techniques connues dans le 30 domaine de microélectronique. Le réseau de lamelles peut être obtenu par exemple par la technique de photolithographie UV. Les figures 5.A, 5.B et 5.C présentent un exemple de réalisation des lamelles par la technique de la photolithographie. Le film piézoélectrique 17 est déposé sur un substrat dur 16,

type silicium ou verre, l'épaisseur du film 17 pouvant être de quelque dizaine de nanomètres à plusieurs dizaine de microns. Un film photosensible par exemple résine 19 est déposé sur le film piézoélectrique et est soumis à une insolation en UV à travers un masque 18. La figure 5.B présente l'ensemble après avoir été 5 trempé dans un bain de solvant de révélation et après avoir été soumis à une métallisation La surface du film piézoélectrique 17 comporte alors des zones métallisées déposées sur la surface du film piézoélectrique et des zones de résines.

En disparaissant dans un bain de solvant, les zones résines éliminent le 10 métal qui a été déposé sur sa surface, laissant sur la surface du film piézoélectrique 17 des motifs métalliques recherchés qui constituent un masque pour l'étape de gravure sèche. Le métal déposé possède un taux de gravure beaucoup plus faible que celui du film piézoélectriques 17 et, en contrôlant le temps de gravure et la vitesse de gravure, un réseau de lamelles espacées à des 15 intervalles réguliers est réalisé en effectuant la gravure sèche à travers le masque métallique. La largeur des lamelles peut être de quelques dizaines de nanomètre à quelques micromètres et le pas entre lamelles peut être de quelques dizaines de nanomètres à quelques micromètres.

Pour disposer le réseau de lamelles ainsi obtenu entre deux plaques 20 conductrices 8, 9, puis l'intégrer dans un support souple 2 pour réaliser les microcapteurs 3, on dispose d'abord une première plaque conductrice 8 qui vient se fixer sur le réseau de lamelles au moyen d'un matériau adhésif conducteur 7. Ensuite le substrat dur 16 peut être enlevé par ablation au moyen d'un laser. Le 25 réseau de lamelle est ensuite fixé sur une deuxième plaque 9 au moyen du matériau adhésif conducteur 7. La dernière étape consiste à fixer l'ensemble sur le support souple 2 au moyen d'un adhésif.

La figure 6 représente une vue de profil en coupe d'un réseau de lamelles piézoélectriques 17 prises en sandwich entre deux plaques conductrices 8, 9 ainsi obtenu. Le microcapteur ainsi réalisé est ensuite disposé à des intervalles 30 réguliers pour réaliser un réseau de microcapteurs tel que représenté par exemple sur la figure 3. Le matériau utilisé pour réaliser les lamelles piézoélectriques est par exemple un film de matériau piézoélectrique 17 de type zircotitanate de Plomb (PZT). De préférence les lamelles piézoélectriques 6 sont réalisées à partir des

matériaux présentant un coefficient piézoélectrique élevé, et une température de Curie suffisamment élevée, qui est la température au dessus de la quelle le matériau perd sa piézoélectricité pour pouvoir fonctionner dans un domaine de températures rencontrées par le dispositif au cours de son fonctionnement.

5 Les lames piézoélectriques sont adaptées pour recevoir des ondes vibratoires à basses fréquences qui sont induites par des macrodéplacement de la structure autour d'une position fixe et aussi des ondes à hautes fréquences induits par des microdéplacement internes du matériau.

Tous les autres composants électroniques intégrés sur le support souple
10 sont réalisés à partir d'une technologie de microfrémentation sur substrat dur tel que silicium ou verre, transposée ici sur un substrat plastique. La température utilisée au cours du processus de microfrémentation est susceptible de détruire le substrat plastique et ne permet donc pas de réaliser directement les composants sur le substrat souple. Pour remédier à ce problème technique, une des solutions
15 proposées actuellement est de réaliser d'abord les composants sur un substrat dur déposé lui-même sur du verre. Une autre couche de verre servant de protection vient se fixer sur les composants au moyen d'un adhésif soluble, le substrat dur est ensuite retiré de l'empilement par ablation au moyen d'un laser. Les composants sont alors appliqués sur un substrat plastique et fixés à ce
20 dernier au moyen d'un adhésif permanent et le verre de protection est retiré.

Selon une forme particulière de réalisation du dispositif, le dispositif de contrôle présente une épaisseur inférieure ou égale à 50 µm, et d'une surface de l'ordre de 10 x 10 cm de côté. La taille de chaque microcapteur est de l'ordre de centaine de microns et l'intervalle entre deux microcapteurs est de l'ordre de
25 dizaine de microns.

La figure 7 présente une vue schématique comportant un réseau de plusieurs dispositifs de contrôle suivant l'invention disposés sur des surfaces des structures d'un avion 15. L'avion est au sol et le réseau de dispositifs de contrôle est en situation de transmission de signaux enregistrés au cours d'un vol ou
30 plusieurs vols de l'avion vers un système calculateur 13 qui est relié à des moyens d'alarme 14 qui comportent ici par exemple un ordinateur avec un écran d'affichage et des indicateurs sonores 20.

Avantageusement le dispositif comporte un système d'auto-alimentation des microcapteurs piézoélectriques, par exemple au moins une ligne ou une colonne des microcapteurs du dispositif sont reliés à un accumulateur d'énergie électrique 21 destiné à stocker l'énergie électrique générée par la au moins une ligne ou la au moins une colonne de microcapteurs sous l'effet des vibrations de la structure. Cet accumulateur restitue l'énergie électrique sous forme de courant pour alimenter le dispositif de contrôle.

L'invention est présentée dans le cadre du contrôle de structures d'aéronefs, mais peut être utilisée chaque fois qu'une structure soumise à des sources d'excitation en vibration doit être surveillée pour détecter la présence de défaut par exemple dans d'autres secteurs industriels tels que l'automobile, le ferroviaire, la construction navale ou le nucléaire.

REVENDEICATIONS

-
- 1- Dispositif (1) de contrôle non destructif d'une structure (4) susceptible de comporter un défaut (5), caractérisé en ce que ledit dispositif comprend des moyens de mesure des ondes vibratoires émis par ladite structure en différents points d'une surface de ladite structure, lesdits moyens de mesure étant intégrés
- 5 dans un support souple (2) apte à adhérer sur la surface de ladite structure à contrôler.
- 2- dispositif suivant la revendication 1 dans lequel les moyens de mesure (3) des ondes vibratoires comportent un ensemble de microcapteurs (3) apte à générer une cartographie des ondes vibratoires à la surface de la structure (4).
- 10 3- dispositif suivant la revendication 2 dans lequel les dimensions et l'agencement des microcapteurs (3) sont déterminés pour être aptes à détecter les variations des ondes vibratoires induites par la présence du défaut (5) ayant les plus petites dimensions dont la détection est recherchée.
- 15 4- Dispositif de contrôle selon les revendications 1 à 3, caractérisé en ce que ledit ensemble de microcapteurs comportent un réseau de microcapteurs piézoélectriques (3) organisés en une matrice de lignes et de colonnes, lesdits microcapteurs transformant lesdites ondes vibratoires en signaux électriques.
- 20 5 - Dispositif de contrôle selon les revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'en outre ledit dispositif comprend une électronique d'interface (10) reliant lesdits microcapteurs (3) à une mémoire d'enregistrement (11).
- 6 - Dispositif de contrôle selon les revendications 1 à 5, caractérisé en ce que ladite électronique (10) et ladite mémoire (11) sont intégrés dans ledit support souple (2) de manière à réaliser un dispositif de contrôle monolithique.
- 25 7 - Dispositif de contrôle selon les revendications 1 à 6, caractérisé en ce que ladite électronique d'interface (10) est disposée à l'extrémité des lignes de microcapteurs ou à l'extrémité des colonnes de microcapteurs.
- 30 8 - Dispositif de contrôle selon les revendications 1 à 7, caractérisé en ce que chaque microcapteur comporte un ensemble de lamelles piézoélectriques (6) disposé entre deux plaques conductrices (8, 9) se chargeant électriquement par effet piézoélectrique, les extrémités desdites lamelles étant rendues solidaires auxdites plaques au moyen d'un matériau adhésif conducteur (7), une des deux

plaqué étant rendue solidaire audit support souple (2), lesdites deux plaques (8, 9) étant connectées à ladite électronique d'interface (10) pour envoyer des signaux électriques générés par les charges électriques sur lesdites lamelles (6) vers ladite interface.

5 9 - Dispositif de contrôle selon les revendications 1 à 8, caractérisé en ce que ledit dispositif de contrôle comprend un système calculateur (13) tel qu'un système à microprocesseur pour déterminer de manière automatique lesdites variations des ondes vibratoires induites par la présence du défaut (5) dans la structure à partir des ondes vibratoires mesurés par lesdits microcapteurs (3).

10 10 - Dispositif de contrôle selon les revendications 1 à 9, caractérisé en ce que ledit système calculateur (13) n'étant pas intégré dans le support souple (2), ledit dispositif de contrôle comporte des moyens d'émission (12) pour envoyer des signaux électriques représentatifs des ondes vibratoires, enregistrés dans la mémoire (11) vers ledit système calculateur (13) en utilisant une liaison filaire, 15 sans fil, radio ou infrarouge.

11 - Dispositif de contrôle selon les revendications 1 à 9, caractérisé en ce que ledit système calculateur (13) est intégré dans ledit support souple (2) et est connecté entre ladite électronique d'interface (10) et ladite mémoire d'enregistrement (11).

20 12 - Dispositif de contrôle selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le système calculateur (13) comporte une mémoire contenant au moins une cartographie des ondes vibratoires de référence de la ou des structures, des moyens de calcul convertissant les signaux électriques générés par les microcapteurs en ondes vibratoires, des moyens d'analyse 25 différentielle et d'analyse spectrale desdites ondes vibratoires par rapport aux ondes vibratoires de référence.

13 - Dispositif de contrôle selon la revendication 12, caractérisé en ce que ladite au moins une cartographie des ondes vibratoires de référence est prédéterminée sur une structure de référence.

30 14 - Dispositif de contrôle selon la revendication 12, caractérisé en ce que ladite au moins une cartographie des ondes vibratoires de référence est prédéterminée par une modélisation.

15 - Dispositif de contrôle selon les revendications 12 à 14, caractérisé en ce que les moyens d'analyse différentielle comportent des moyens de génération

d'un signal d'état S caractéristique du fait qu'une valeur différentielle entre les ondes vibratoires de référence et les ondes vibratoires mesurées par les microcapteurs dépasse une valeur seuil.

16 - Dispositif de contrôle selon les revendications 12 à 14, caractérisé en 5 ce que les moyens d'analyse spectrale comportent des moyens de génération d'un signal d'état S' caractéristique du fait que la représentation fréquentielle des ondes vibratoires mesurées par les microcapteurs par rapport à la représentation fréquentielle des ondes vibratoires de référence comporte des raies spectrales correspondant aux ondes vibratoires anormales induites par la présence du défaut 10 dans ladite structure.

17 - Dispositif de contrôle selon les revendications 10, 12 à 16, caractérisé en ce que lesdits signaux d'état S et S' sont transmis par ledit système calculateur vers des moyens d'alarme (14).

18 - Dispositif de contrôle selon les revendications 11 à 16, caractérisé en 15 ce que lesdits signaux d'état générés sont enregistrés dans ladite mémoire d'enregistrement (11) relié audit système calculateur, puis transmis vers des moyens d'alarme en utilisant une liaison filaire, sans fil, radio ou infrarouge.

19 - Dispositif de contrôle selon la revendication 17 ou 18, caractérisé en ce que lesdits moyens d'alarme (14) comportent des moyens d'affichage (22) et 20 des indicateurs lumineux ou sonores (20).

20 - Dispositif de contrôle selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que lesdites lamelles piézoélectriques sont aptes à détecter des ondes vibratoires à basse fréquence, dans une bande de fréquences de 0 à environ 25 KHz.

25 21 - Dispositif de contrôle selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que lesdites lamelles piézoélectriques sont aptes à détecter des ondes vibratoires à haute fréquence, dans une bande de fréquence d'environ 25 KHz à quelques MHz.

30 22 - Dispositif de contrôle selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que lesdites lamelles piézoélectriques (6) sont réalisées à partir des matériaux présentant un coefficient piézoélectrique élevé.

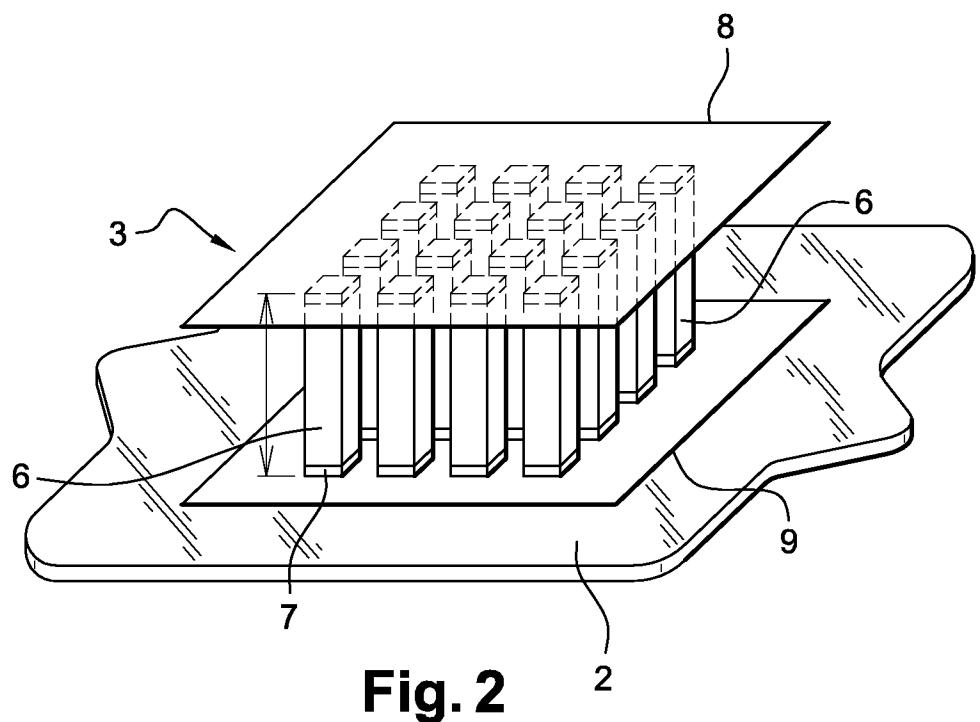
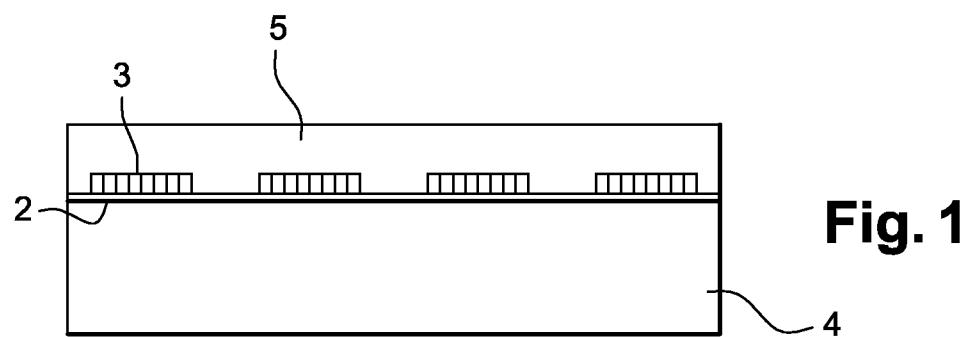
23 - Dispositif de contrôle selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que lesdites lamelles du réseau sont espacées à des intervalles réguliers.

24 – Dispositif de contrôle selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'épaisseur dudit dispositif de contrôle est inférieure ou égale à 50 µm.

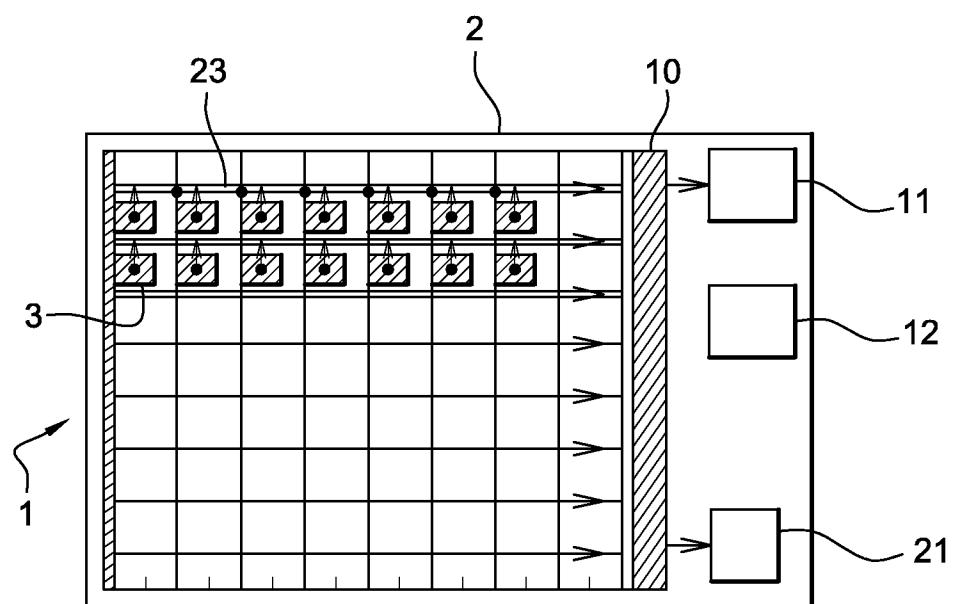
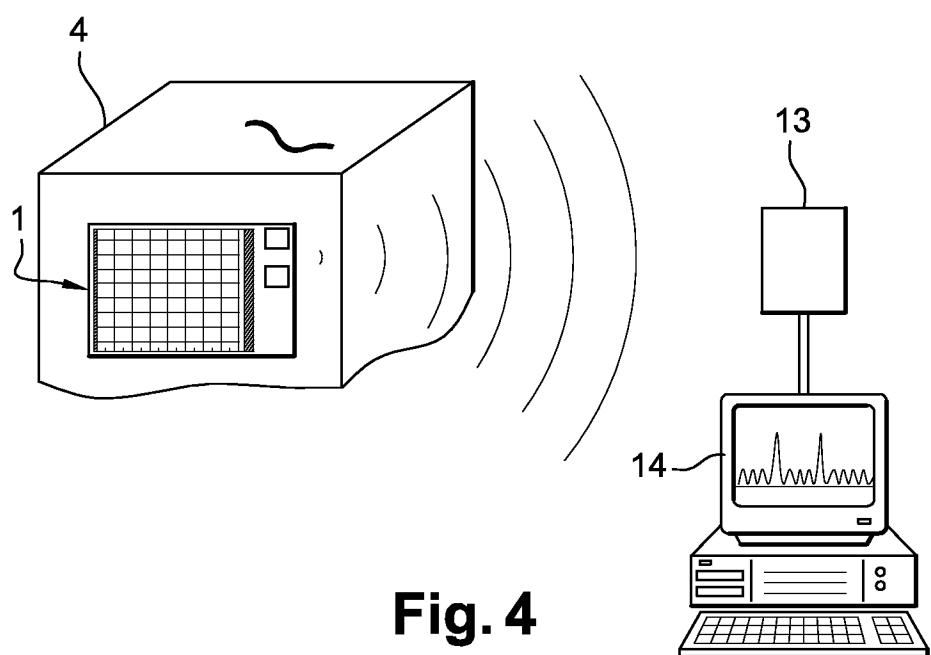
25 - Dispositif de contrôle selon l'une des revendications précédentes, 5 caractérisé en ce que ledit dispositif comporte un système d'auto-alimentation dans lequel au moins une ligne ou une colonne desdits microcapteurs est reliée à un accumulateur (21) d'énergie électrique destiné à stocker l'énergie électrique générée par ladite au moins une ligne ou colonne de microcapteurs et à restituer ladite énergie électrique sous forme de courant pour alimenter le dispositif de 10 contrôle.

26 - Dispositif de contrôle selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit support souple (2) du dispositif de contrôle (1) est rendu solidaire à la surface de la structure (4) à contrôler au moyen d'un matériau adhésif.

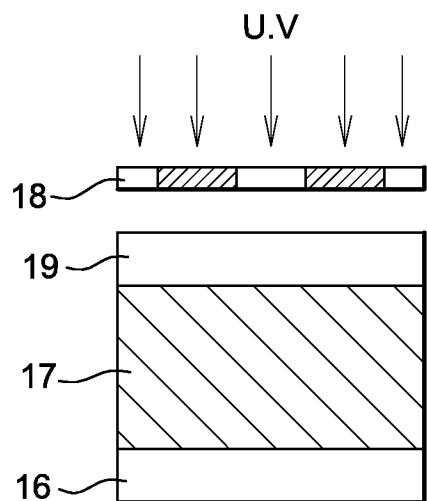
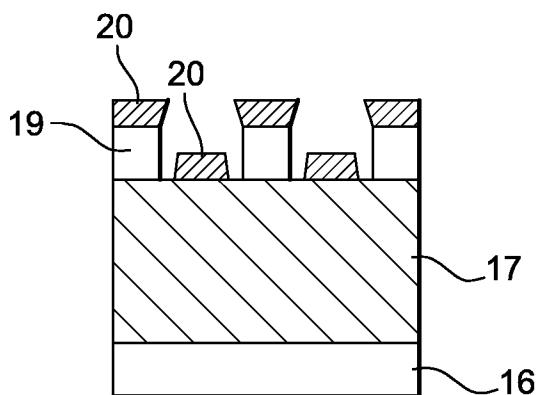
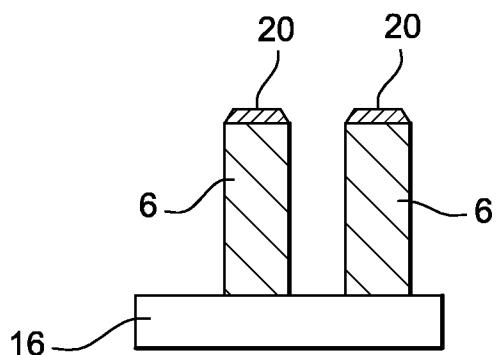
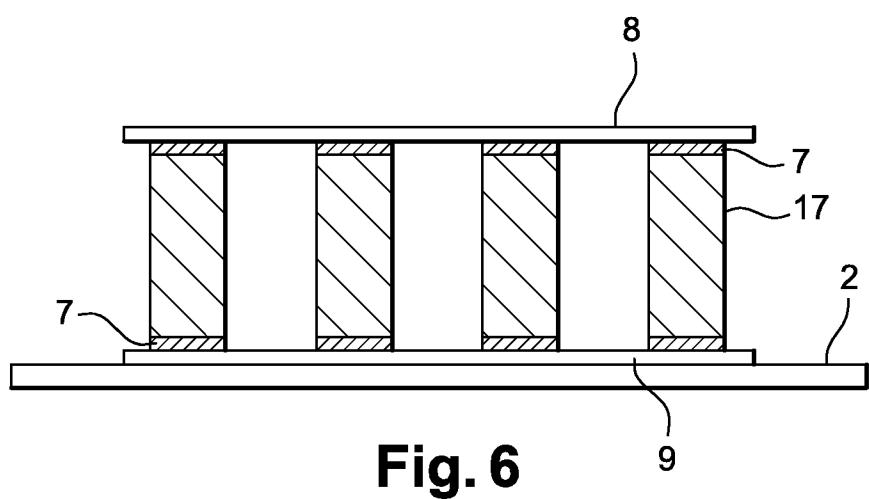
1/4



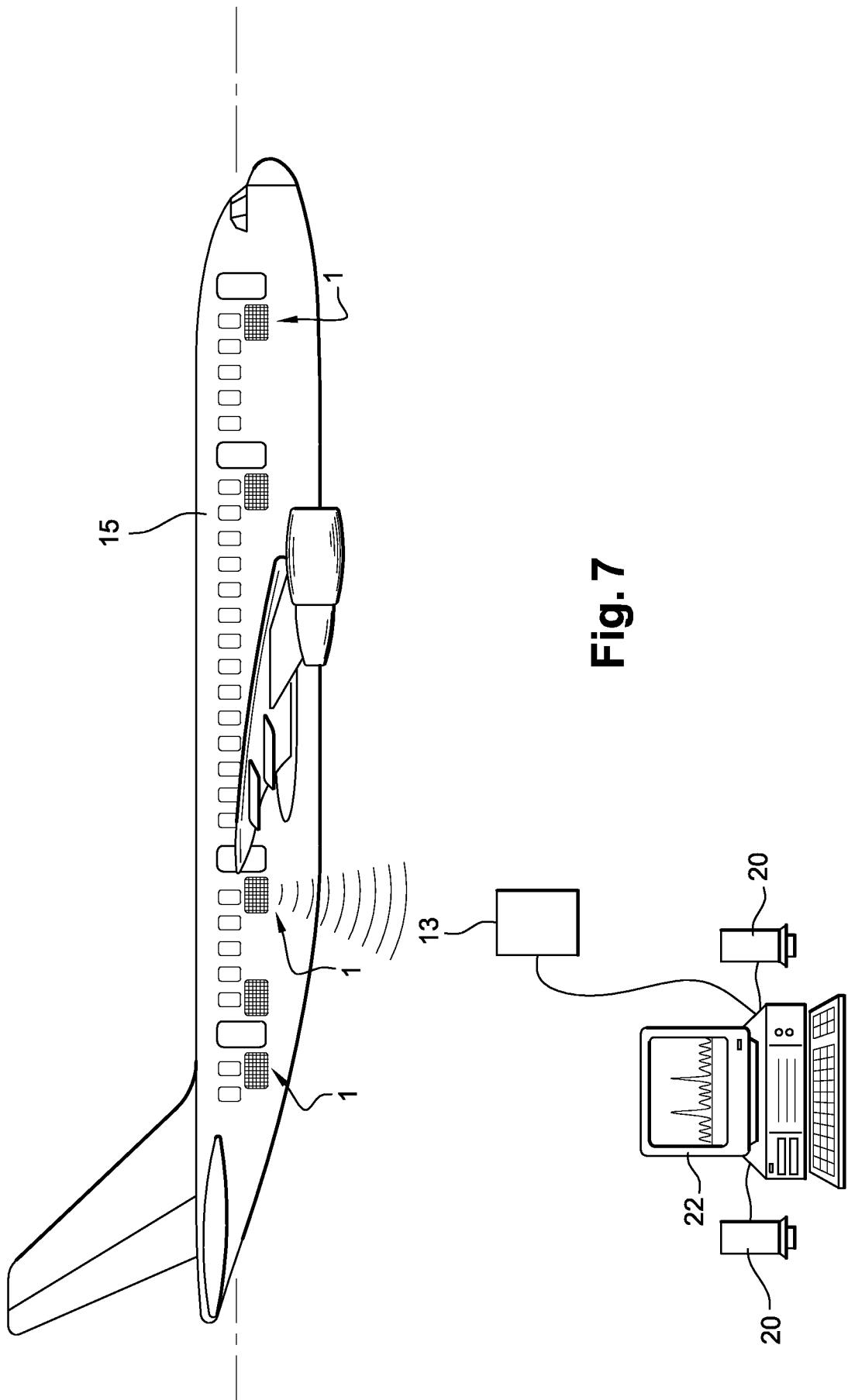
2 / 4

**Fig. 3****Fig. 4**

3 / 4

**Fig. 5A****Fig. 5B****Fig. 5C****Fig. 6**

4 / 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2007/054759

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER	INV. G01N27/61	G01N29/04	G01N29/14	G01H11/00	H01L41/053
--	----------------	-----------	-----------	-----------	------------

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01N G01H H01L

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 166 573 A (BROWN LEWIS F [US]) 24 November 1992 (1992-11-24) column 4, lines 16-40	1-6, 9, 11, 26
A	column 10, line 52 - column 11, line 13 column 11, lines 50-64 -----	7, 8, 10, 12-25
X	US 5 911 158 A (HENDERSON DOUGLAS A [US]) ET AL) 8 June 1999 (1999-06-08) abstract	1-5, 9, 10, 26
A	column 1, lines 20-25 column 3, lines 26-48 column 3, line 65 - column 4, line 16 ----- -/-	6-8, 11-25

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
---	--

3 August 2007

14/08/2007

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer
---	--------------------

Filipas, Alin

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/EP2007/054759

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	FR 2 874 430 A (EADS CCR GROUPEMENT D INT R T [FR]; EUROP AERONAUTIC DEFENCE AND S [FR) 24 February 2006 (2006-02-24) page 1, lines 4-6,17-22 page 2, line 23 - page 3, line 5 page 7, lines 1-8 page 8, lines 17-22 page 10, lines 7-10 page 11, lines 13-20 -----	1,26
X	US 2003/188579 A1 (EVANS JAMES A [US] ET AL) 9 October 2003 (2003-10-09) paragraphs [0022], [0025] -----	1,26
X	GB 2 222 255 A (PENNWALT PIEZO FILM [GB]) 28 February 1990 (1990-02-28) page 3, line 10 - page 4, line 6 -----	1,26
A	page 7, last paragraph - page 8, line 2 -----	24
A	EP 0 887 642 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 30 December 1998 (1998-12-30) column 2, line 55 - column 3, line 12 column 4, lines 46,47 column 5, lines 14-29 -----	1,5,9,13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2007/054759

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)			Publication date
US 5166573	A 24-11-1992	CA	2026053 A1		27-03-1991
		EP	0420190 A2		03-04-1991
		JP	3207200 A		10-09-1991
US 5911158	A 08-06-1999	NONE			
FR 2874430	A 24-02-2006	NONE			
US 2003188579	A1 09-10-2003	NONE			
GB 2222255	A 28-02-1990	NONE			
EP 0887642	A1 30-12-1998	DE	69835483 T2		15-03-2007
		JP	11064311 A		05-03-1999
		US	5915277 A		22-06-1999

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2007/054759

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. G01N27/61 G01N29/04 G01N29/14 G01H11/00 H01L41/053

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

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
G01N G01H H01L

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

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

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X A	US 5 166 573 A (BROWN LEWIS F [US]) 24 novembre 1992 (1992-11-24) colonne 4, ligne 16-40 colonne 10, ligne 52 - colonne 11, ligne 13 colonne 11, ligne 50-64 ----- US 5 911 158 A (HENDERSON DOUGLAS A [US]) ET AL) 8 juin 1999 (1999-06-08) abrégé colonne 1, ligne 20-25 colonne 3, ligne 26-48 colonne 3, ligne 65 - colonne 4, ligne 16 ----- -/-	1-6, 9, 11, 26 7, 8, 10, 12-25 1-5, 9, 10, 26 6-8, 11-25 -/-

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

Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- *A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- *E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- *L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- *O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- *P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- *T* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- *X* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- *Y* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- *&* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

3 août 2007

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

14/08/2007

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Filipas, Alin

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2007/054759

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	FR 2 874 430 A (EADS CCR GROUPEMENT D INT R T [FR]; EUROP AERONAUTIC DEFENCE AND S [FR) 24 février 2006 (2006-02-24) page 1, ligne 4-6,17-22 page 2, ligne 23 – page 3, ligne 5 page 7, ligne 1-8 page 8, ligne 17-22 page 10, ligne 7-10 page 11, ligne 13-20 -----	1,26
X	US 2003/188579 A1 (EVANS JAMES A [US] ET AL) 9 octobre 2003 (2003-10-09) alinéas [0022], [0025] -----	1,26
X	GB 2 222 255 A (PENNWALT PIEZO FILM [GB]) 28 février 1990 (1990-02-28) page 3, ligne 10 – page 4, ligne 6 -----	1,26
A	page 7, dernier alinéa – page 8, ligne 2 -----	24
A	EP 0 887 642 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 30 décembre 1998 (1998-12-30) colonne 2, ligne 55 – colonne 3, ligne 12 colonne 4, ligne 46,47 colonne 5, ligne 14-29 -----	1,5,9,13

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande Internationale n°
PCT/EP2007/054759

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)			Date de publication
US 5166573	A 24-11-1992	CA	2026053 A1		27-03-1991
		EP	0420190 A2		03-04-1991
		JP	3207200 A		10-09-1991
US 5911158	A 08-06-1999	AUCUN			
FR 2874430	A 24-02-2006	AUCUN			
US 2003188579	A1 09-10-2003	AUCUN			
GB 2222255	A 28-02-1990	AUCUN			
EP 0887642	A1 30-12-1998	DE	69835483 T2		15-03-2007
		JP	11064311 A		05-03-1999
		US	5915277 A		22-06-1999