



(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt : 92401184.4

(51) Int. Cl.⁵ : G10K 11/16

(22) Date de dépôt : 24.04.92

(30) Priorité : 25.04.91 FR 9105104

**(43) Date de publication de la demande :
07.01.93 Bulletin 93/01**

**(84) Etats contractants désignés :
BE DE DK ES FR GB IT LU NL SE**

**(71) Demandeur : HUTCHINSON
2 rue Balzac
F-75008 Paris (FR)**

**(72) Inventeur : Argy, Gilles
15ter, rue Nationale
F-78940 La-Queue-Les-Yvelines (FR)
Inventeur : Alcuri, Gustavo
13, Avenue Ferdinand Buisson
F-75016 Paris (FR)**

**(74) Mandataire : Orès, Bernard et al
Cabinet ORES 6, Avenue de Messine
F-75008 Paris (FR)**

(54) Matériau de protection acoustique et dispositif incorporant un tel matériau.

(57) La présente invention est relative à un matériau de protection acoustique.
Ce matériau se caractérise en ce qu'il comprend des résonateurs ménagés sur un substrat (2) constitués par des éléments filiformes et/ou surfaciques (1) dont les caractéristiques de structure (densité, module d'élasticité, module de cisaillement, facteur d'amortissement, facteur piézoélectrique, etc...) de même que la forme et/ou les dimensions sont choisies pour associer à chaque résonateur une fréquence de résonance prédéterminée, d'une part, et pour, d'autre part, absorber à ladite fréquence de résonance l'énergie de pression acoustique issue de la source de bruit et la dissiper sous forme d'énergie mécanique de chaleur et/ou d'énergie électrique.

FIG. 1 A



L'invention a pour objet un matériau de protection acoustique et un dispositif incorporant un tel matériau.

On connaît l'importance qui s'attache à la réduction des nuisances sonores aussi bien dans la vie domestique que dans la vie industrielle et, si différents moyens de lutte contre le bruit ont été développés, les résultats obtenus ne sont pas toujours satisfaisants ou ne peuvent l'être qu'au prix de grandes difficultés. Ainsi, à côté d'une première approche consistant à limiter autant que faire se peut l'intensité des sons émis par une source, comme un moteur, un écoulement de fluide à grande vitesse, etc..., a-t-on proposé d'interposer, entre la source sonore et une zone dans laquelle on souhaite réduire la pression acoustique, des parois de protection dont l'effet est d'autant plus marqué que la densité de leur matériau constitutif est plus grande. De bons résultats ne peuvent cependant être obtenus, dans l'industrie du bâtiment par exemple, que par des épaisseurs de paroi économiquement et/ou techniquement difficiles à mettre en oeuvre. Une autre approche consiste alors à effectuer une correction acoustique à l'aide de matériaux absorbants rapportés sur la cloison limitant une enceinte à protéger pour réduire autant que possible les réverbérations des ondes sonores sur ladite cloison. Les diminutions du niveau de pression acoustique ainsi obtenues, de l'ordre de 4 à 6 dB, ne permettent pas cependant d'obtenir un effet suffisant pour protéger de manière sensible des enceintes exposées à des sources sonores intenses.

On a également proposé, dans un autre procédé, dit à "absorption active", de détecter et d'analyser l'onde sonore émise par la source de bruit et de faire disparaître cette onde, partiellement ou complètement, par une onde sonore en opposition de phase avec l'onde source incidente et qui est engendrée par des hauts-parleurs ou des moyens analogues disposés dans la zone à protéger. Un tel procédé, à la fois complexe et coûteux est, par conséquent, d'utilisation limitée à des cas très spécifiques pour lesquels les zones à protéger sont de petite dimension, d'une part, et dans lesquels les spectres de fréquences sonores ne sont pas trop importants, d'autre part. C'est pourquoi, l'on fait également parfois appel à des parois comportant des résonateurs à air, du type des résonateurs d'Helmholtz, comme décrit, par exemple dans GB-A-2 027 255, ou à des parois composites constituées d'éléments volumiques solidaires d'un support et qui entrent en résonance pour des fréquences prédéterminées comme décrit, par exemple, dans DE-A-2 834 823. Les parois du premier type (à résonateurs d'Helmholtz) exigent, pour être opératoires dans le domaine des basses fréquences (100 à 300 Hz), des volumes de résonateurs relativement importants, tout en limitant dans ce même domaine les corrections acoustiques obtenues au rapport (nécessairement faible) de la somme des surfaces des

cols des résonateurs disposés dans une paroi à la surface de ladite paroi, tandis que si l'utilisation de parois composites à résonateurs volumiques s'est révélée efficace lorsqu'on associe à la paroi des matériaux présentant un frottement visqueux important, comme des élastomères, la technique est cependant de mise en oeuvre délicate dès que l'on cherche à obtenir une protection acoustique élevée dans un large spectre de fréquences sonores.

Le problème se pose donc, dans le domaine du conditionnement, de la correction et de la protection acoustiques, de fournir un matériau et un dispositif qui permettent de pallier les inconvénients des techniques connues, d'une part, qui soient de mise en oeuvre facile et conduisent à des résultats satisfaisants y compris dans un large spectre de fréquences sonores, d'autre part, et enfin, soient d'un coût de réalisation économiquement acceptable.

C'est, d'une façon générale, un but de l'invention de fournir un matériau et des dispositifs incorporant un tel matériau qui permettent de résoudre ce problème.

C'est, aussi, un but de l'invention de fournir un matériau et un dispositif incorporant un tel matériau qui procurent une protection très efficace en faisant appel à des plaques de faible épaisseur, faciles à réaliser, propres à être assemblées, nettoyées et, d'une façon générale, pouvant aisément être mises en oeuvre par un utilisateur, même non spécialisé, disposant de moyens et d'outils simples habituels.

Un matériau de protection acoustique à l'encontre d'une source de bruit comprenant un substrat et des résonateurs sur ledit substrat est caractérisé, selon l'invention, en ce que lesdits résonateurs qui sont disposés sensiblement suivant la direction de plus grande extension du substrat sont constitués par des éléments filiformes et/ou surfaciques dont les caractéristiques de structure (densité, module d'élasticité, module de cisaillement, facteur d'amortissement, facteur piézoélectrique, etc...), de même que la forme et/ou les dimensions sont choisies pour associer à chaque résonateur une fréquence de résonance prédéterminée, d'une part, et pour, d'autre part, absorber à ladite fréquence de résonance l'énergie de pression acoustique issue de la source de bruit et la dissiper sous forme d'énergie mécanique de chaleur et/ou d'énergie électrique.

Selon une autre caractéristique de l'invention le substrat est percé d'orifices dans ou aux bords desquels sont encastrés lesdits éléments constitutifs des résonateurs réalisés en tant que membranes vibrantes et/ou cordes vibrantes et/ou lames vibrantes.

Dans un premier mode de réalisation préféré, chaque résonateur est une membrane métallique (métal ou alliage) et le substrat est un matériau du type élastomérique.

Dans une autre forme de réalisation, chaque résonateur est une membrane composite comportant

au moins deux feuilles de matière à module d'élasticité élevé et à facteur d'amortissement ($\text{tg } \delta$) faible et une feuille de matière à module de cisaillement faible et à facteur d'amortissement élevé.

Dans un mode d'exécution, la membrane composite est du type sandwich avec des feuilles externes en métal ou alliage métallique, comme de l'aluminium, d'une épaisseur comprise entre 10 et $200 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ enfermant entre elles une feuille de matière élastomère choisie pour présenter un facteur d'amortissement ($\text{tg } \delta$) compris entre 10^{-2} et $50 \cdot 10^{-2}$ et d'une épaisseur comprise entre 20 et $500 \cdot 10^{-6} \text{ m}$.

En variante, la membrane composite est du type sandwich avec des feuilles externes en ladite matière élastomère et une âme constituée par une feuille en métal ou alliage métallique, comme de l'aluminium, les épaisseurs et facteurs d'amortissement étant ceux indiqués pour la réalisation en sandwich telle que définie immédiatement ci-dessus.

La membrane constitutive du résonateur peut être à contour circulaire, mais aussi carré, rectangulaire, elliptique, en croissant, etc..., ou à lobes.

Dans ce dernier cas, l'invention prévoit de tirer parti du nombre de lobes par lesquels la membrane est encastrée périphériquement dans le substrat pour établir la valeur de fréquence de résonance prédéterminée.

Cette fréquence peut également être fixée ou ajustée en formant sur la membrane un ou des réseau(x) d'ondulations, le(s)quel(s), en diminuant la rigidité en flexion de la membrane, abaisse(nt) la fréquence de résonance de cette dernière.

Cette fréquence de résonance peut aussi être fixée à une valeur prédéterminée, -par exemple par calcul à l'aide de la méthode des éléments finis-, en pratiquant des ouvertures de forme(s) et disposition(s) variable(s) dans la surface de la membrane.

Dans un autre mode de réalisation, chaque résonateur encastré dans ou au bord des orifices du substrat est un élément filiforme, résultant de l'assemblage suivant des torons de fibres à module d'élasticité élevé comme des fils ou fibres métalliques.

En variante, chaque résonateur est un élément composite filiforme résultant de l'assemblage suivant des torons de fibres du type métallique et/ou en un matériau polymère ayant un fort module d'élasticité et qui sont imprégnées d'une quantité appropriée d'une matière à bonnes caractéristiques d'amortissement.

Dans encore un autre mode de réalisation, les résonateurs associés aux orifices du substrat sont des lames vibrantes encastrées par une de leurs extrémités et constituées par une matière métallique et/ou polymérique à haut module d'élasticité.

En variante, les résonateurs sont des lames vibrantes composites comportant une matière métallique et/ou polymérique à haut module d'élasticité et une matière à facteur d'amortissement important.

Quel que soit le mode de réalisation, à membra-

ne, corde ou lame vibrante, l'invention prévoit de constituer le substrat en une matière relativement souple, de préférence une matière du type élastomère ou plastomère.

Alors que dans les réalisations et modes d'exécution tels que définis ci-dessus, le matériau de protection acoustique selon l'invention dissipe l'énergie de pression acoustique directement sous forme de chaleur, l'invention prévoit également d'autres modes de réalisation, dans lesquels le matériau de protection acoustique transforme l'énergie de pression acoustique en énergie électrique puis dissipe cette dernière sous forme de chaleur par effet Joule.

Dans ce cas, au substrat sont associées, d'une part, des feuilles d'une matière du type cristallin ou polycristallin à propriétés piézoélectriques telles qu'il apparaît à la surface desdites feuilles des charges électriques en réponse à une onde de pression sonore et, d'autre part, de très minces électrodes conductrices, collectant les charges électriques engendrées pour leur faire traverser des résistances électriques ou des matières à propriétés analogues.

Dans un mode d'exécution, les feuilles engendrant des charges électriques en réponse à une onde de pression sonore sont constituées par un film en polymère du type PVDF rendu semi-cristallin par un traitement thermo-mécanique approprié, les électrodes de collecte des charges électriques étant réalisées par des films métalliques fins, obtenues par métallisation sous vide sur les feuilles de polymère ou, en variante, par des feuilles très minces de métal ou d'alliage métallique, par exemple à base d'aluminium, collées sur ledit film en polymère à l'aide d'un adhésif intrinsèquement conducteur.

L'invention a également pour objet un dispositif de protection et/ou de conditionnement acoustique caractérisé en ce qu'il est constitué par une paroi comportant au moins une couche du matériau tel que défini ci-dessus.

Dans une réalisation préférée d'un tel dispositif, la paroi comporte une pluralité de couches en ledit matériau, lesdites couches étant disposées de manière telle que les résonateurs de couches adjacentes ne soient pas en regard les uns des autres.

L'invention prévoit, complémentirement, que les couches du dispositif soient en des matériaux de protection acoustique qui diffèrent entre eux par les résonateurs mis en oeuvre, à la fois en ce qui concerne la forme, la disposition et/ou la nature des éléments constitutifs desdits résonateurs mais aussi, le cas échéant, le substrat sur lequel sont ménagés lesdits résonateurs.

Lorsque l'énergie de pression acoustique absorbée est transformée en énergie électrique, un dispositif selon l'invention comprend une multiplicité de couches en le matériau tel que défini ci-dessus, les électrodes de chaque couche étant mises en relation de continuité électrique par des micro-perforations de

la feuille engendrant les charges électriques dans lesdites couches.

L'invention sera bien comprise par la description qui suit, faite à titre d'exemple et en référence au dessin annexé, dans lequel :

- les figures 1A et 1B sont des vues en coupe et de dessus, respectivement, d'un résonateur à membrane;
- les figures 2A et 2B sont des vues en coupe, très schématiques, de membranes composites propres à entrer dans la constitution d'un matériau selon l'invention ;
- la figure 3 est une vue analogue à celle des figures 2A et 2B pour une autre forme de réalisation ;
- les figures 4 et 5 sont des vues de dessus de formes de membranes entrant dans la constitution d'un matériau selon l'invention ;
- les figures 6A et 6B sont des vues en coupe et de dessus, respectivement, d'un autre résonateur propre à entrer dans la constitution d'un matériau selon l'invention ;
- les figures 7A et 7B sont des vues analogues à celles des figures 6A et 6B, mais pour une autre forme de réalisation ;
- la figure 8 est une vue de dessus d'une couche de matériau selon l'invention ;
- la figure 9 est une vue en coupe schématique, selon la ligne 9-9 de la figure 8A ;
- la figure 10 est une vue très schématique en coupe d'un dispositif selon l'invention ;
- la figure 11 est une vue très schématique en coupe d'un matériau selon l'invention pour une autre forme de réalisation ;
- les figures 12 et 13 illustrent, très schématiquement, un dispositif de protection acoustique réalisé à l'aide du matériau montré sur la figure 11 ;
- les figures 14 et 15 montrent des courbes illustrant des résultats d'essai.

On se réfère d'abord aux figures 1A et 1B qui montrent une membrane vibrante 1, à contour circulaire, encastrée par son bord 3 sur un substrat 2, présentant un trou circulaire 4. Lorsqu'une telle membrane 1 est soumise à une pression P, à variation sensiblement sinusoïdale dans le temps et présentant un large spectre de fréquences, ladite membrane entre en résonance pour une fréquence f_0 , telle que :

$$f_0 = f [R^{-2}, E^{1/2}, e, \rho^{-1/2}] \quad (I)$$

où :

- . R désigne le rayon de la membrane ;
- . E est le module d'élasticité du matériau constitutif de la membrane ;
- . e est l'épaisseur de la membrane ; et
- . ρ est la densité du matériau constituant la membrane.

Si l'on désigne en outre par G le module de cisaillement de ladite membrane et par $\text{tg } \delta$ son facteur d'amortissement, on sait que la membrane subissant

le même nombre d'alternances par unité de temps que celle de l'onde sonore d'excitation de fréquence f_0 , l'énergie absorbée par alternance est représentée par une formule du type :

$$W_{\text{Joule}} = f [R^6, e^{-3}, p^2, G^{-1}, \text{tg } \delta^{-1}] \quad (II)$$

où R et e ont les mêmes significations que ci-dessus, et où P désigne la pression de l'onde sonore.

Il apparaît ainsi des équations (I) et (II) que la fréquence de résonance f_0 de la membrane est une fonction du module d'élasticité et du module de cisaillement de la matière qui la constitue et que, pour une fréquence de résonance donnée et pour un rayon de membrane également donné, il existe un domaine de corrélation entre les modules d'élasticité, de cisaillement et le facteur d'amortissement permettant d'aboutir à une valeur préférentielle de l'énergie absorbée par alternance.

Conformément à l'invention, on prévoit pour obtenir cette valeur préférentielle de réaliser la membrane 1 en tant que membrane métallique, c'est-à-dire en métal ou alliage métallique comme de l'aluminium, du cuivre, de l'acier allié dont l'épaisseur est comprise entre 10 et 200.10⁻⁶m.

En variante, l'invention prévoit de réaliser la membrane en tant que membrane composite du type sandwich, figure 2A, comprenant de part et d'autre d'une âme 5, -en une matière à faible module de cisaillement (G_2) d'épaisseur e_2 et à facteur d'amortissement ($\text{tg } \delta_2$) élevé-, des feuilles 6 et 7 d'épaisseur respective e_1 et e_3 , chacune en une matière à module d'élasticité (E_1 et E_3 , respectivement) élevé et à facteur d'amortissement ($\text{tg } \delta_1$ et $\text{tg } \delta_3$, respectivement) faible.

Dans une autre réalisation, figure 2B, l'âme médiane 8 de la membrane composite est en une matière semblable à celle des feuilles 6 et 7 de la réalisation précédente, tandis que les feuilles externes 9 et 10 sont en une matière semblable à celle de l'âme 5 de la réalisation selon la figure 2A.

Dans l'une et l'autre de ces réalisations de bons résultats ont été obtenus en choisissant pour la matière des feuilles 6, 7 et 8, un métal ou un alliage métallique, par exemple d'aluminium, de cuivre, ou d'acier allié, d'une épaisseur comprise entre 10 et 200.10⁻⁶m, les feuilles 5, 9 et 10 étant des feuilles de matériau élastomérique d'une épaisseur comprise entre 20 et 500.10⁻⁶ m qui présente un facteur d'amortissement ($\text{tg } \delta$) compris entre 10⁻² et 50.10⁻². Les feuilles 5, 9 et 10 peuvent, ainsi, être choisies parmi les feuilles à base de caoutchouc, de polymère(s) thermoplastique(s) comme des polyéthylènes, polychlorures de vinyle, polyamides ou des feuilles en polymère(s) thermodurcissable(s) à base d'époxyde(s), de résines phénoliques, de polyuréthane, lesdites feuilles d'élastomère(s) ou de polymère(s) étant, le cas échéant, renforcées par un tissu ou un matériau non tissé en fibres de verre, fibres de polyester, fibres de coton, fibres de polyaramide comme celles

connues sous le nom de KEVLAR (une Marque déposée de la Société DU PONT DE NEMOURS), des films métalliques ou analogues.

Dans la réalisation montrée schématiquement sur la figure 3, la membrane composite est du type de celle montrée sur la figure 2A, c'est-à-dire à structure sandwich avec une âme médiane 5' analogue à l'âme 5 et des parements externes 6' et 7', analogues aux parements 6 et 7 ; dans cette réalisation, toutefois, la rigidité en flexion de la membrane est abaissée par un ou des réseau(x) d'ondulations, 11, permettant de diminuer la fréquence de résonance f_0 lorsque ses autres caractéristiques dimensionnelles (rayon R, épaisseur e, caractéristiques de modules...) sont fixées.

Une telle mesure, c'est-à-dire la formation d'un ou de réseau(x) d'ondulations, trouve également application dans le cas d'une membrane entièrement métallique et non plus composite.

Etant donné que la fréquence de résonance f_0 dépend également de la nature de l'encastrement 3 l'invention prévoit, complémentirement, de fixer la valeur prédéterminée de cette fréquence de résonance en donnant à la membrane 12 une forme à périphérie découpée suivant des évidements 13₁, 13₂, 13₃, etc..., figure 4, et de fixer ladite membrane sur le substrat par encastrement des bords 14₁, 14₂, 14₃, etc... des lobes qu'elle présente, le nombre, la forme et la disposition desdits lobes étant avantageusement obtenus par calcul, par exemple par application de la méthode des éléments finis.

Cette même méthode de calcul peut être mise en oeuvre pour fixer ou ajuster la fréquence de résonance f_0 de la membrane 15 en modifiant la masse surfacique de cette dernière, le plus simplement en perçant des trous 16₁, 16₂, 16₃,..., figure 5, à forme, nombre et répartition établis précisément par le calcul.

Bien que les membranes 1, 12 et 15 des réalisations décrites ci-dessus aient été représentées avec un contour externe totalement ou partiellement sensiblement circulaire, il va de soi que l'invention n'est pas limitée à de tels exemples, le contour apparent des membranes pouvant être carré, rectangulaire, elliptique, en croissant, etc..., d'une part, tandis que, d'autre part, chaque membrane peut également être en partie perforée, ou ondulée, ou découpée en lobes, etc...

Dans la forme de réalisation illustrée aux figures 6A et 6B, les résonateurs sont constitués par des cordes vibrantes, 20, tendues en travers des orifices 4 percés dans le substrat 2, chaque corde 20, -avantageusement constituée par des torons de fibres à module d'élasticité élevé comme des fibres ou fils métalliques-, étant encastrée, à ses extrémités 3, sur le bord de l'orifice 4.

Dans une variante, chaque corde 20 est constituée par des torons de fibres métalliques ou des fibres de polyester, de polyamide ou de polyaramide,

les torons étant imprégnés d'une matière à bonnes caractéristiques d'amortissement comme, par exemple, un élastomère du type butyl.

Dans la réalisation montrée sur les figures 7A et 7B, les résonateurs du matériau de protection et/ou de conditionnement acoustique selon l'invention sont constitués par des lames vibrantes 21, encastrées à une de leurs extrémités 22 dans le substrat 2, chaque lame étant avantageusement formée dans une feuille ou film métallique du type de ceux mentionnés ci-dessus pour les résonateurs à membrane.

En variante, les lames constitutives des résonateurs sont formées par un composite du type de ceux décrits ci-dessus en référence aux figures 2 à 5, c'est-à-dire par assemblage de matières de type métallique et/ou polymérique choisies en fonction de leurs caractéristiques de module d'élasticité, de module de cisaillement et de facteur d'amortissement.

Quel que soit le mode de réalisation des résonateurs du matériau selon l'invention, le substrat 2 exerce une influence sur la fréquence de résonance desdits résonateurs et l'absorption d'énergie correspondante. Cette influence, liée aux conditions d'encastrement des résonateurs, permet alors de choisir la matière du substrat 2 pour que celle-ci présente des caractéristiques d'amortissement qui accroissent les qualités du matériau selon l'invention. Ainsi, un gain relativement important d'efficacité peut être obtenu, comme montré par la figure 14, lorsqu'une plaque support percée d'orifices circulaires d'un diamètre d'environ 10 mm est munie de membranes métalliques, suivant que la plaque est un support relativement rigide ou un support en un matériau élastomère.

Dans une réalisation préférée d'un matériau selon l'invention, le substrat est du type élastomérique et les résonateurs sont sous forme de membranes, lames ou cordes métalliques, le substrat étant, en fait, comme montré sur la figure 8, c'est-à-dire ménagé sur une surface S dans laquelle sont percés une multiplicité d'orifices 4 dont chacun est muni d'un résonateur à membrane, lame ou corde vibrante.

Lorsque tous les résonateurs de la surface S sont identiques ou quasi-identiques entre eux, ils présentent des fréquences de résonance cohérentes et l'énergie de pression acoustique absorbée est alors celle correspondant à une fréquence f_0 bien déterminée, comme montré, par exemple, par la figure 15 qui illustre la courbe de réponse à une excitation en bruit rose d'une plaque à trous circulaires d'environ 10 mm de diamètre, telle que définie ci-dessus, et pour laquelle la fréquence f_0 est de l'ordre de 2100 Hz.

Lorsque, par contre, la surface S' est comme montrée sur les figures 8A et 9, c'est-à-dire percée d'orifices 4', 4'', etc... de formes et dimensions différentes, les résonateurs ménagés sur ladite surface entrent alors en résonance pour des fréquences d'excitation f_1 , f_2 , f_3 , etc... qui diffèrent entre elles et absorbent par conséquent une partie de l'énergie de pres-

sion acoustique issue d'une source de bruit dans des bandes discrètes correspondant à chacune desdites fréquences.

Dans une telle réalisation, le matériau de protection acoustique selon l'invention est obtenu en fixant sur un substrat 2 constitué à partir d'une feuille d'élastomère ou de plastomère d'épaisseur comprise entre 0,1 et 1 mm, par exemple calandree puis perforée pour ménager les orifices 4', 4'', etc... une feuille métallique 25, la fixation ayant lieu par adhérence ou par un moyen analogue de sorte que les zones de la feuille 25 qui recouvrent les orifices 4', 4'', etc... et qui sont encastrées sur leurs bords forment des résonateurs à fréquence de résonances différentes, f_1 , f_2 , f_3 , etc...

En variante, l'invention prévoit de constituer le substrat 2 à partir d'une feuille d'élastomère comme décrit ci-dessus et d'une feuille du type de celles décrites ci-dessus en référence aux figures 2A ou 2B et préparée par calandrage ou extrusion-soufflage en ce qui concerne son constituant polymérique ou élastomérique, lequel est ensuite enduit d'un feillard métallique ou, en variante, est adhésivée à un tel feillard par collage ou analogue. Pour la solidarisation du substrat et de la feuille composite de cette forme de réalisation, l'invention propose de faire appel à des presses à plateaux chauffants ou des systèmes à cylindres chauffants "Rotocure" tels qu'utilisés dans l'industrie du caoutchouc ou de solidariser les éléments par collage à froid, à l'aide d'adhésifs structuraux, comme des résines époxydes ou analogues, ou encore par fusion d'un film en polymère thermoplastique, etc...

Pour fabriquer un dispositif de protection acoustique à l'encontre d'une source de bruit SO, figure 10, à partir d'un matériau de protection acoustique tel que défini ci-dessus, l'invention prévoit de superposer, en les accolant les unes aux autres, une multiplicité de couches S_1 , S_2 , S_3 , etc..., dont chacune est du type montré sur les figures 8 ou 8A, c'est-à-dire à substrat 2, percé d'orifices 4, 4', 4''..., dans ou aux bords desquels sont encastrés les résonateurs à membrane, corde ou lame vibrante.

Dans la forme de réalisation décrite et représentée, les résonateurs de chaque couche sont ménagés par une feuille, 25₁, pour la couche S_1 , 25₂ pour la couche S_2 , 25₃ pour la couche S_3 , etc..., et, afin de limiter la transmission d'énergie sonore par l'effet de continuité des substrats de chacune des couches accolées, on décale les différentes couches les unes par rapport aux autres de manière que les résonateurs de couches adjacentes ne soient pas en regard les uns des autres. Ce décalage peut résulter d'un calcul ou, en variante, être obtenu en plaçant les couches S_1 , S_2 , S_3 , etc..., de façon aléatoire les unes par rapport aux autres, pour alors fournir un dispositif ayant une capacité d'absorption de l'énergie sonore incidente suivant une multiplicité de fréquences.

Alors que dans les réalisations et modes d'exécu-

tion qui viennent d'être décrits le matériau de protection acoustique selon l'invention dissipe l'énergie de pression acoustique issue de la source SO directement sous forme de chaleur, l'invention prévoit également un mode de réalisation dans lequel le matériau de protection acoustique transforme l'énergie de pression acoustique en énergie électrique puis dissipe cette dernière sous forme de chaleur par effet Joule.

Pour un tel matériau, on réalise d'abord un élément composite 30, figure 11, à partir d'une feuille 31 en une matière du type cristallin ou polycristallin engendrant par effet piézoélectrique sur ses faces 32 et 33 des charges électriques en réponse à l'action sur ladite feuille d'une pression acoustique issue d'une source de bruit puis l'on rend solidaire de ladite feuille 31 des électrodes conductrices 34 et 35 de collecte desdites charges électriques, électrodes qui disposées sur les surfaces 32 et 33, respectivement, amènent lesdites charges à traverser des éléments résistants pour dissiper l'énergie électrique sous forme de chaleur par effet Joule. La feuille 31 peut être constituée par un film en polymère du type PVDF rendu semi-cristallin par un traitement thermo-mécanique approprié ou par toute autre matière ayant des caractéristiques piézoélectriques analogues, tandis que les électrodes 34 et 35 sont avantageusement formées par un film de métal ou d'alliage métallique, très fin, obtenu par métallisation sous vide sur la feuille 31 ou, en variante, collé sur ladite feuille à l'aide d'un adhésif intrinsèquement conducteur.

Pour réaliser un dispositif de protection acoustique à l'aide du matériau qui vient d'être décrit, l'invention prévoit de disposer sur un substrat 2 percé d'orifices 4, 4', 4'', ... un élément composite 30, figure 12, formant ainsi une première couche C_1 , puis de superposer, en les accolant, les couches C_1 , C_2 , etc..., formées chacune par un substrat et un élément composite 30. Dans une telle réalisation, chaque substrat 2 est alors rendu conducteur à une valeur de résistivité qui peut être fixée entre 0,1 et 100 Ohm.cm, avantageusement par incorporation dans une matrice isolante de charges conductrices comme du noir de carbone ou des poudres métalliques pour conférer à chacune des couches C un effet résistif assurant la dissipation de l'énergie électrique par effet Joule.

Dans cette réalisation, également, l'invention prévoit pour assurer la continuité électrique entre les électrodes 34 et 35 rapportées sur les deux faces opposées de la feuille 31 de ménager dans ladite feuille des micro-perforations 40, figure 13, de sorte qu'un matériau polymère conducteur 41, prévu pour l'assemblage entre elles des couches C, assure simultanément par les pontets 42 formés dans les micro-perforations 40 la continuité électrique entre les électrodes 34 et 35.

Des dispositifs tels que décrits ci-dessus trouvent application dans un très grand nombre de domaines de la vie domestique ou industrielle.

Ils peuvent ainsi, et sans que cette indication ait quelque caractère limitatif que ce soit, être mis en oeuvre pour l'atténuation des bruits dans l'habitacle d'un véhicule en étant interposés sous forme de plaque entre la source de bruit, comme un moteur, un roulement, un écoulement aérodynamique et ledit habitacle.

Ils peuvent également être utilisés pour l'atténuation des bruits d'aéronefs (par fixation de plaques sur les parois internes de la carlingue) ou de tous autres véhicules terrestres, automobiles ou ferroviaires, de même que pour les véhicules fluviaux ou marins, et cela par capotage des sources de bruit qu'il s'agisse des moteurs thermiques, des échappements, etc...

De telles plaques peuvent également être utilisées pour le capotage de machines bruyantes, le revêtement des murs d'enceinte d'usines ou d'ateliers bruyants, et, d'une manière générale, tous les bâtiments à usage d'habitation ou à usage industriel (comme par exemple des enceintes enfermant des transformateurs électriques) pour lesquels le dispositif selon l'invention trouve application aussi bien pour la diminution des bruits provenant de locaux adjacents que pour la protection des bâtiments à l'encontre des agressions sonores extérieures, cette dernière fonction trouvant également avantageusement application pour la protection de routes ou d'autoroutes, notamment urbaines.

Les matériaux ou dispositifs selon l'invention trouvent aussi une application avantageuse pour le conditionnement et/ou la correction acoustique de locaux, où ils sont alors utilisés par fixation sur les parois desdits locaux pour absorber les ondes sonores se réfléchissant sur les plaques des dispositifs, diminuant ainsi le niveau de bruit et augmentant, corrélativement, le confort des usagers.

Revendications

1. Matériau de protection acoustique à l'encontre d'une source de bruit (SO) comprenant un substrat (2) et des résonateurs sur ledit substrat, caractérisé en ce que lesdits résonateurs qui sont disposés sensiblement suivant la direction de plus grande extension du substrat (2) sont constitués par des éléments filiformes et/ou surfaciques (1, 12 ... 20, 21) dont les caractéristiques de structure (densité, module d'élasticité, module de cisaillement, facteur d'amortissement, facteur piézoélectrique, etc...), de même que la forme et/ou les dimensions sont choisies pour associer à chaque résonateur une fréquence de résonance (f_0) prédéterminée, d'une part, et pour, d'autre part, absorber à ladite fréquence de résonance l'énergie de pression acoustique issue de la source de bruit (SO) et la dissiper sous forme d'énergie mécanique de chaleur et/ou d'énergie électri-

que.

2. Matériau selon la revendication 1, caractérisé en ce que le substrat (2) est percé d'orifices (4, 4', 4'') dans ou aux bords desquels sont encastrés lesdits éléments constitutifs des résonateurs réalisés en tant que membranes vibrantes (1, 12) et/ou cordes vibrantes (20) et/ou lames vibrantes (21).

3. Matériau selon la revendication 1, caractérisé en ce que chaque résonateur est une membrane métallique (métal ou alliage) et en ce que le substrat est un matériau du type élastomérique.

4. Matériau selon la revendication 1, caractérisé en ce que chaque résonateur est une membrane composite comprenant au moins deux feuilles de matière à module d'élasticité (E) élevé et à facteur d'amortissement ($\text{tg } \delta$) faible et une feuille de matière à module de cisaillement (G) faible et à facteur d'amortissement ($\text{tg } \delta$) élevé.

5. Matériau selon la revendication 4, caractérisé en ce que la membrane composite est du type sandwich, avec des feuilles externes (6, 7) en une matière à module d'élasticité élevé et facteur d'amortissement faible, enfermant entre elles une matière à module de cisaillement faible et facteur d'amortissement élevé (5).

6. Matériau selon la revendication 5, caractérisé en ce que la ou les feuille(s) de matière à module d'élasticité élevé et facteur d'amortissement faible est(sont) une(des) feuille(s) métallique(s) ou d'alliage métallique avantageusement d'aluminium d'une épaisseur comprise entre 10 et $20 \cdot 10^{-6}$ m et en ce que la feuille de matière à coefficient de cisaillement faible et facteur d'amortissement élevé est une feuille de matière élastomérique d'une épaisseur comprise entre 20 et $500 \cdot 10^{-6}$ m choisie pour présenter un facteur d'amortissement ($\text{tg } \delta$) compris entre 10^{-2} et $50 \cdot 10^{-2}$.

7. Matériau selon la revendication 4, caractérisé en ce que la membrane composite est du type sandwich avec des feuilles externes (9, 10) en une matière du type élastomérique à faible module de cisaillement et facteur d'amortissement ($\text{tg } \delta$) élevé enfermant entre elles une feuille de métal ou d'alliage métallique (18) comme de l'aluminium, à module d'élasticité élevé et facteur d'amortissement faible.

8. Matériau selon la revendication 1, caractérisé en ce que les résonateurs sont des membranes dont chacune est à contour circulaire, carré, elliptique,

en croissant, etc... et/ou à lobes.

9. Matériau selon la revendication 8, caractérisé en ce que chaque membrane (12) est encastrée par les bords (14) d'extrémité de ses lobes. 5
10. Matériau selon la revendication 8, caractérisé en ce que la fréquence de résonance (f_0) est fixée ou ajustée en formant sur la membrane un ou des réseau(x) d'ondulations (11). 10
11. Matériau selon la revendication 8, caractérisé en ce que la fréquence de résonance (f_0) est fixée ou ajustée en pratiquant dans la surface de la membrane des ouvertures (16) de forme(s) et disposition(s) variable(s). 15
12. Matériau selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que les résonateurs sont constitués par des éléments filiformes (20), résultant de l'assemblage suivant des torons de fibres à module d'élasticité élevé comme des fils ou fibres métalliques. 20
13. Matériau selon la revendication 12, caractérisé en ce que les éléments filiformes sont des torons de fibres imprégnées d'une quantité appropriée d'une matière à bonnes caractéristiques d'amortissement. 25
14. Matériau de protection acoustique selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que les résonateurs sont des lames vibrantes (21), encastrées par une de leurs extrémités (22) et constituées par une matière métallique et/ou polymérique à haut module d'élasticité. 30
15. Matériau de protection acoustique selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que les résonateurs sont des lames vibrantes composites constituées par une matière métallique et/ou polymérique à haut module d'élasticité et une matière à facteur d'amortissement important. 35
16. Matériau de protection acoustique, caractérisé en ce qu'il comprend une ou des feuilles d'une matière du type cristallin ou polycristallin (31) à propriétés piézoélectriques telles qu'il apparaît à la surface de la ou desdites feuille(s) (32, 33) des charges électriques, en réponse à une onde de pression sonore ainsi que de très minces électrodes conductrices (34, 35) collectant les charges électriques engendrées pour leur faire traverser des résistances électriques ou des matières à propriétés analogues afin de transformer l'énergie de pression acoustique en énergie électrique, puis dissiper cette dernière sous forme de chaleur par effet Joule. 40

17. Matériau selon la revendication 16, caractérisé en ce que la ou les feuille(s) engendrant des charges électriques en réponse à une onde de pression sonore (31) est(sont) constituée(s) par un film en polymère du type PVDF, rendue semi-cristallin par un traitement thermo-mécanique approprié, les électrodes de collecte des charges électriques étant réalisées par des films métalliques (34, 35) obtenus par métallisation sous vide sur la ou les feuille(s) de polymère ou, en variante, par des feuilles très minces de métal ou d'alliage métallique, comme de l'aluminium, collées sur ledit film en polymère à l'aide d'un adhésif intrinsèquement conducteur. 45
18. Dispositif de protection acoustique, caractérisé en ce qu'il est constitué par une paroi comportant au moins une couche d'un matériau selon l'une quelconque des revendications 1 à 17. 50
19. Dispositif selon la revendication 18, caractérisé en ce que la paroi comporte une pluralité de couches ($S_1, S_2, S_3, \dots$) en ledit matériau, lesdites couches étant disposées de manière telle que les résonateurs de couches adjacentes ne soient pas en regard les uns des autres. 55
20. Dispositif selon la revendication 18, caractérisé en ce qu'il résulte de l'assemblage entre elles de couches de matériau selon la revendication 16 les électrodes de chaque couche ($C_1, C_2, \dots$) étant mises en relation de continuité électrique par des micro-perforations (40) de la feuille (31) engendrant les charges électriques dans lesdites couches ($C_1, C_2, \dots$). 60

FIG. 1 A

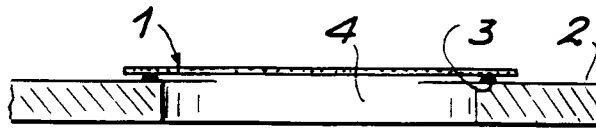


FIG. 1 B

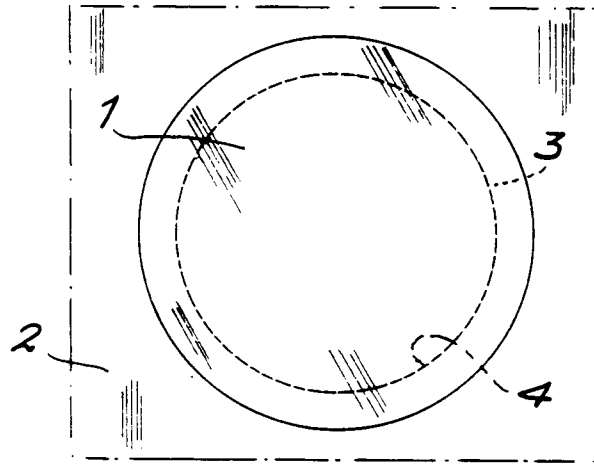


FIG. 2 A

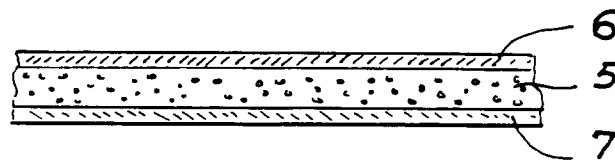


FIG. 2 B

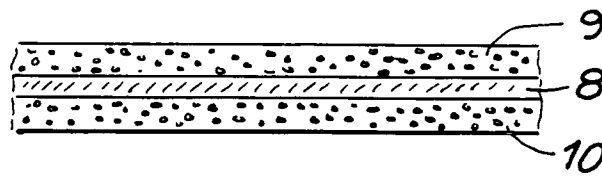


FIG. 3

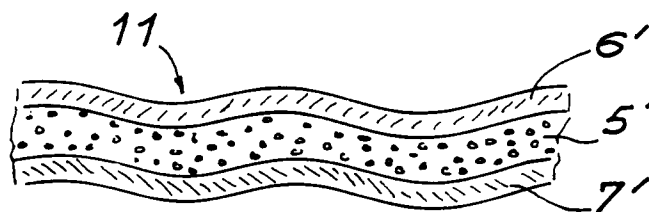


FIG. 4

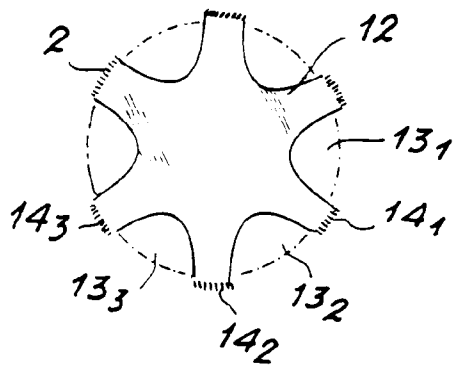


FIG. 5

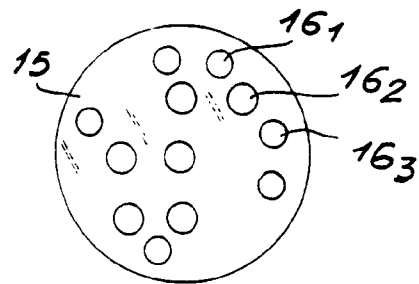


FIG. 6 A

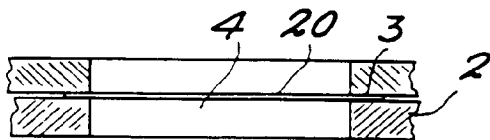
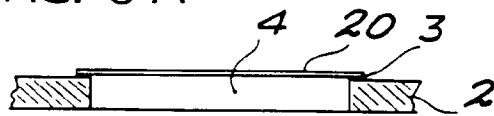


FIG. 6 B

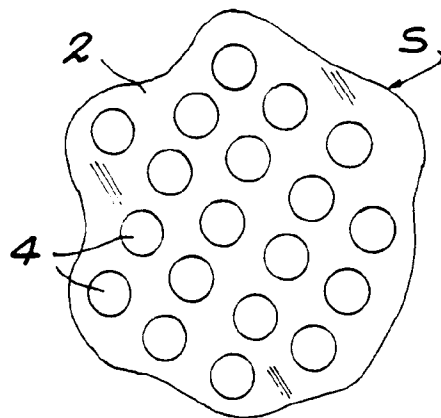


FIG. 8

FIG. 7 A

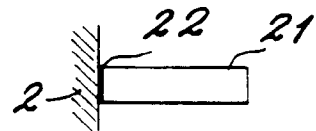
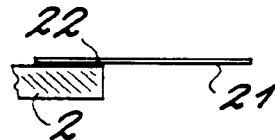


FIG. 7 B

FIG. 8 A

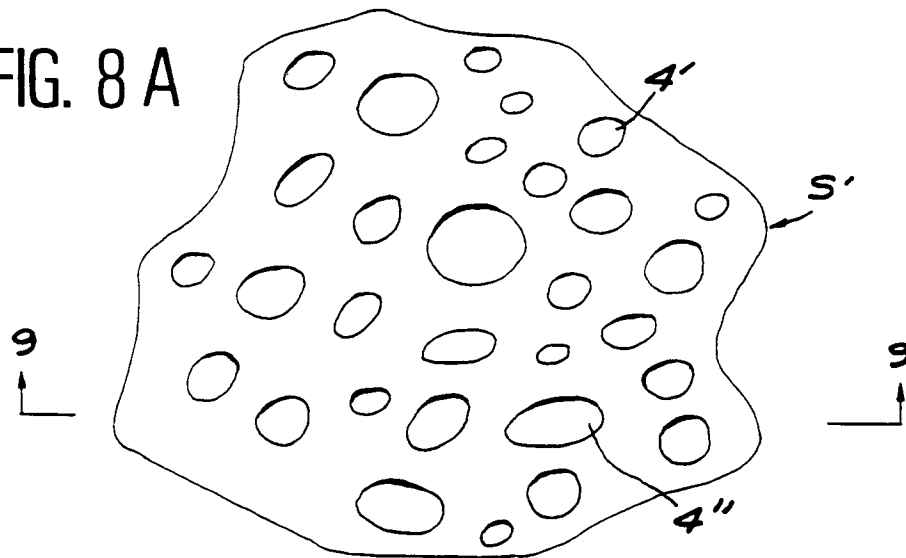


FIG. 9

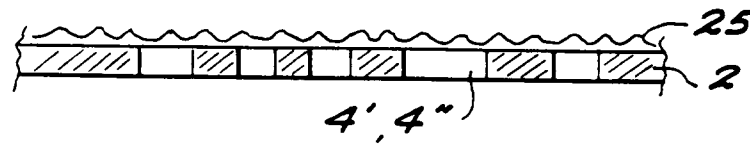


FIG. 10

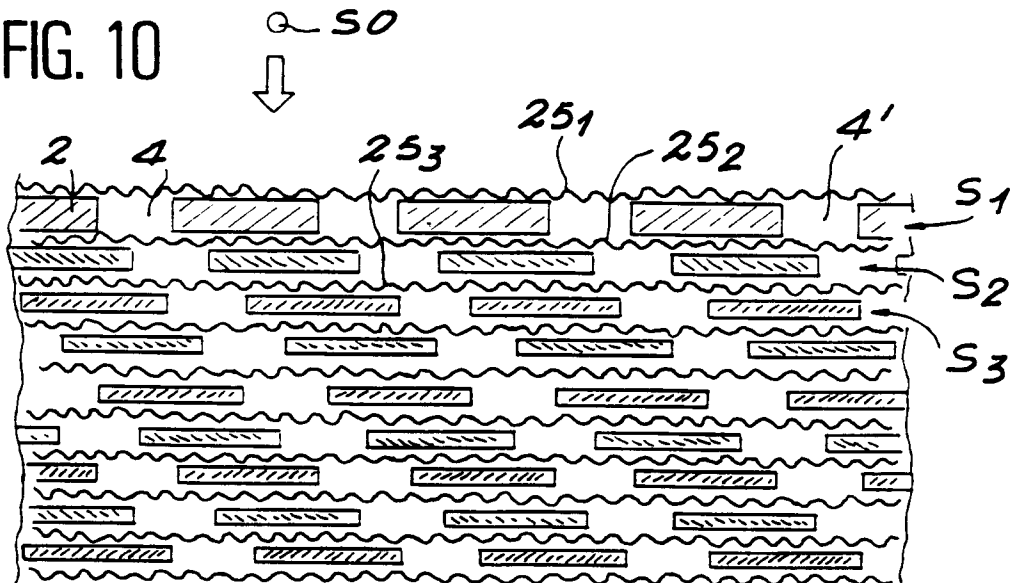
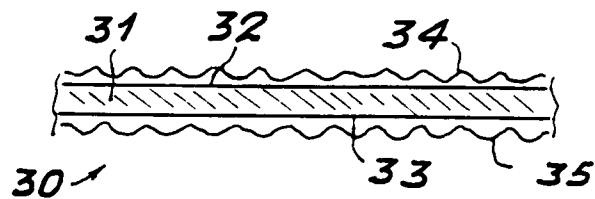


FIG. 11



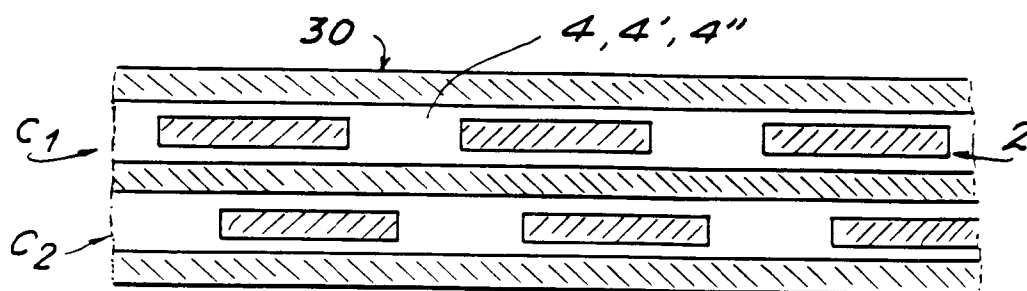


FIG. 12

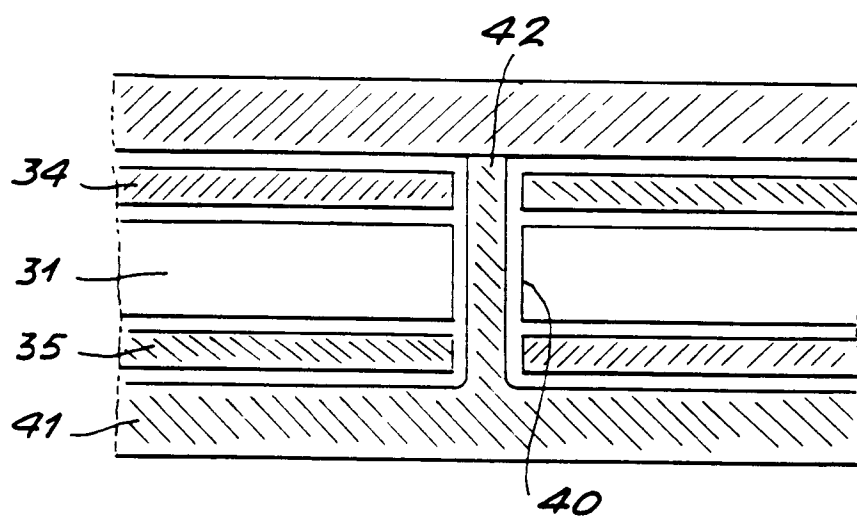


FIG. 13

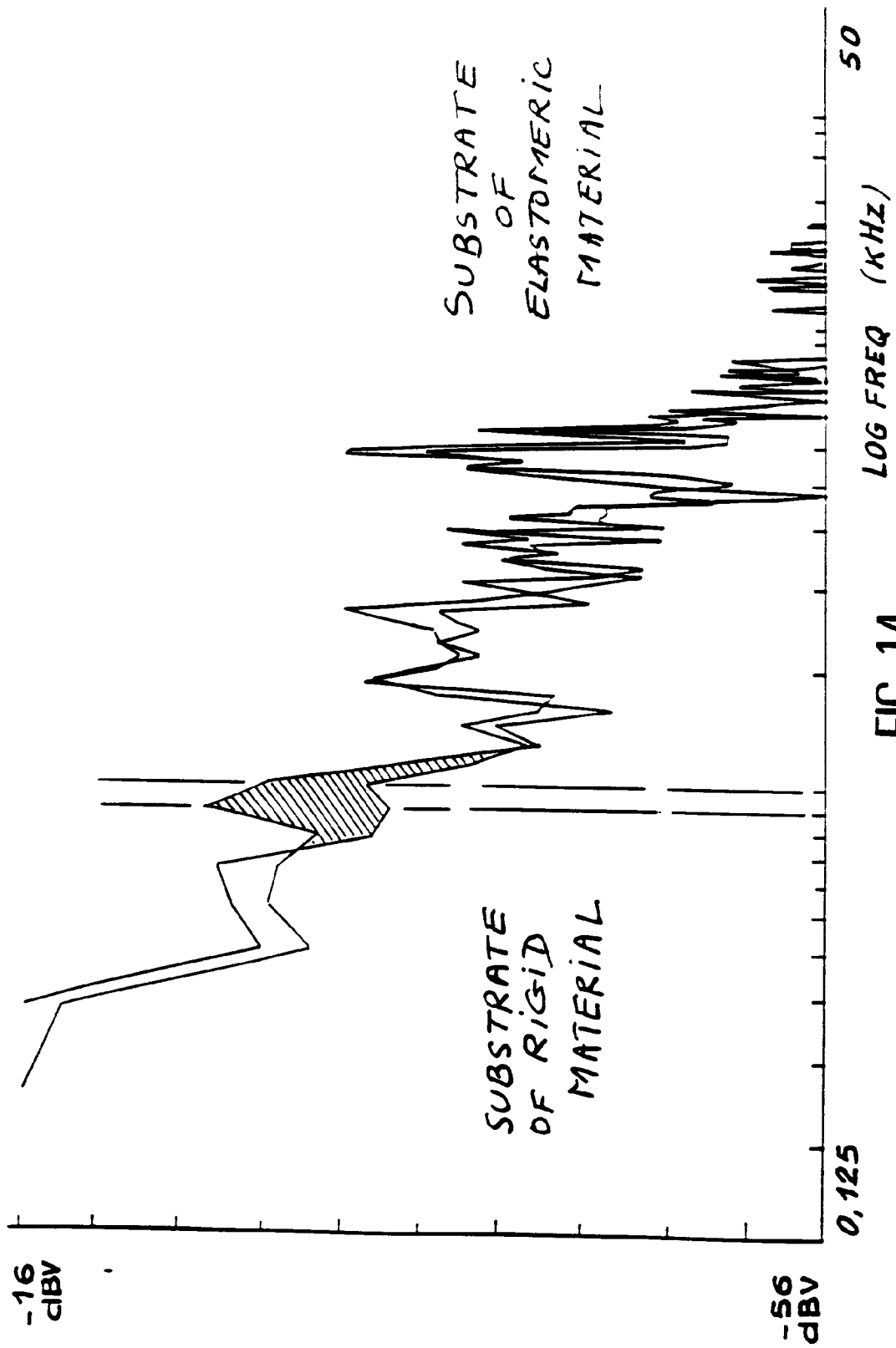


FIG. 14

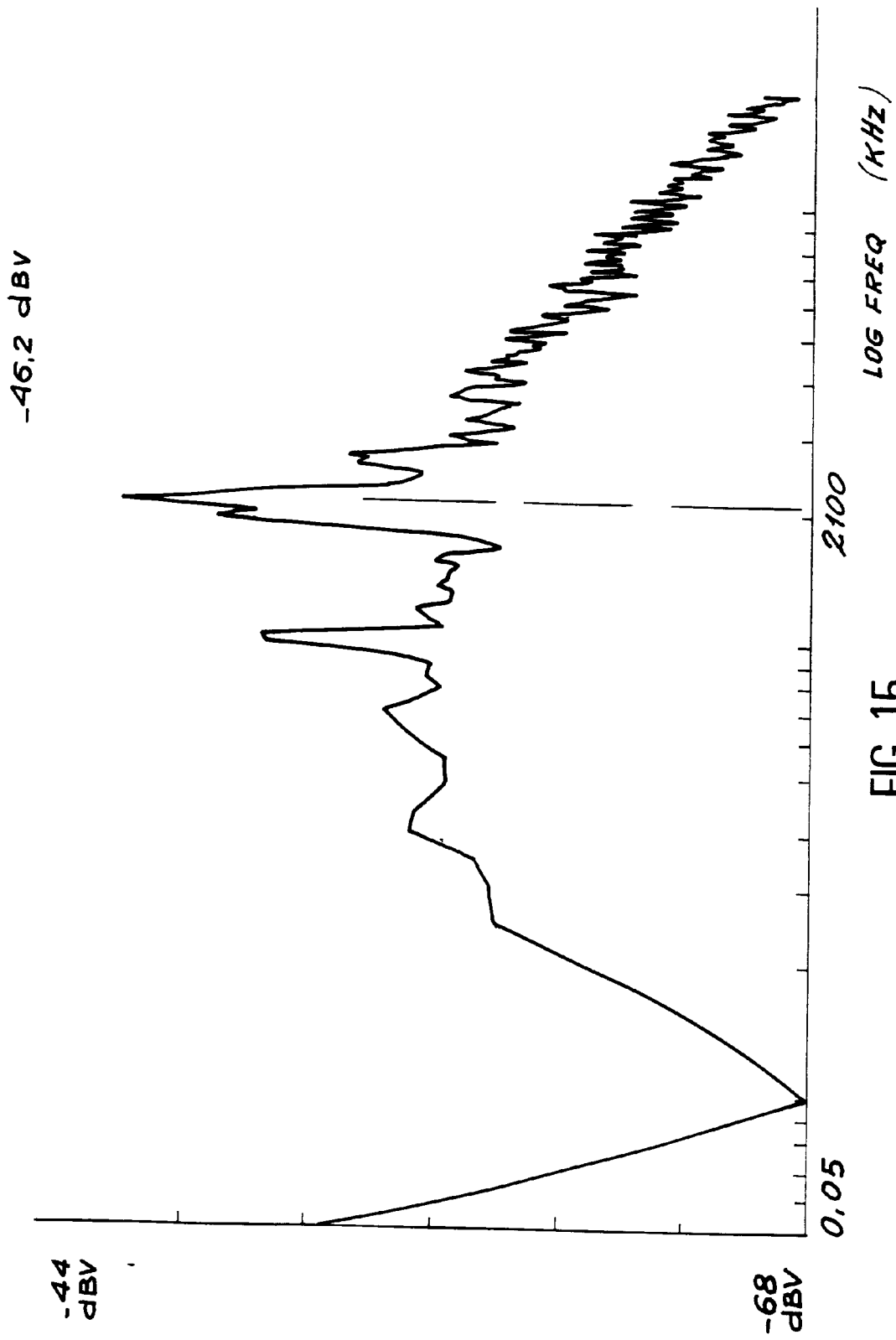


FIG. 15



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande

EP 92 40 1184

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.5)
Y	US-A-4 373 608 (HOLMES) * Abrégé; figures 3,5-9; revendications 1,10-12 *	1-5,7-9 ,12-15, 18,19	G 10 K 11/16
Y	US-A-4 924 976 (BERNETT) * Abrégé; figure 2; revendications 1,7; colonne 3, lignes 11-17 *	1-5,7-9 ,12-15, 18,19	
A	SOVIET PHYSICS: ACOUSTICS, vol. 35, no. 1, janvier/février 1989, pages 91-93, New York, US; K.A. VELIZHANINA et al.: "New resonant sound absorber design for the suppression of low-frequency noise" * Le document en entier *	1	
Y	EP-A-0 086 184 (K. AMNEUS) * Abrégé; revendication 1; figures 1,3-8 *	4,5	
Y	EP-A-0 316 744 (Dr. ALOIS STANKIEWICZ GmbH) * Abrégé *	7	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
Y	DE-A-2 834 823 (MESSERSCHMITT-BÖLKOW-BLOHM GmbH) * Revendication 4; figure 4 *	8,9	G 10 K F 01 N
Y	EP-A-0 064 677 (CHEMIE-WERK WEINSHEIM GmbH) * Abrégé; figures 1-4 *	10	
		-/-	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 08-10-1992	Examineur DE HEERING P.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
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			

EPO FORM 1503 03.82 (P/902)



Office européen
des brevets

REVENDEICATIONS DONNANT LIEU AU PAIEMENT DE TAXES

La présente demande de brevet européen comportait lors de son dépôt plus de dix revendications.

- ☐ Toutes les taxes de revendication ayant été acquittées dans les délais prescrits, le présent rapport de recherche européenne a été établi pour toutes les revendications.
- ☐ Une partie seulement des taxes de revendication ayant été acquittée dans les délais prescrits, le présent rapport de recherche européenne a été établi pour les dix premières revendications ainsi que pour celles pour lesquelles les taxes de revendication ont été acquittées.
- à savoir les revendications:
- ☐ Aucune taxe de revendication n'ayant été acquittée dans les délais prescrits, le présent rapport de recherche européenne a été établi pour les dix premières revendications.

ABSENCE D'UNITE D'INVENTION

La division de la recherche estime que la présente demande de brevet européen ne satisfait pas à l'exigence relative à l'unité d'invention et concerne plusieurs inventions ou pluralités d'inventions.

à savoir:

voir feuille -B-

- ☒ Toutes les nouvelles taxes de recherche ayant été acquittées dans les délais impartis, le présent rapport de recherche européenne a été établi pour toutes les revendications.
- ☐ Une partie seulement des nouvelles taxes de recherche ayant été acquittée dans les délais impartis, le présent rapport de recherche européenne a été établi pour les parties de la demande de brevet européen qui se rapportent aux inventions pour lesquelles les taxes de recherche ont été acquittées.
- à savoir les revendications:
- ☐ Aucune nouvelle taxe de recherche n'ayant été acquittée dans les délais impartis, le présent rapport de recherche européenne a été établi pour les parties de la demande de brevet européen qui se rapportent à l'invention mentionnée en premier lieu dans les revendications.
- à savoir les revendications:

Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande

EP 92 40 1184

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.5)
Y	US-A-4 116 303 (TRUDELL) * Colonne 3, ligne 53 - colonne 4, ligne 2; figure 1 *	12,13	
Y	DE-U-8 903 942 (HDW-ISOLIERTECHNIK GmbH) * Figure 1 *	19	
A	GB-A-2 027 255 (W.E. WELTIN) * Abrégé; figure 1 *	1-5	
X	EP-A-0 328 931 (THE BF GOODRICH COMPANY) * Abrégé; colonne 5, lignes 17-21; revendications 12,14 *	16-18	
Y	---	19	
A	SOVIET PHYSICS ACOUSTICS, vol. 28, no. 4, juillet-août 1982, pages 286-287, American Inst. of Physics, NEW YORK, US; E.K. GRISHCHENKO: "Laminated piezoelectric ultrasonic absorber" * En entier *	16	
A	US-A-4 565 940 (HUBBARD, Jr) * Abrégé; revendication 1 *	16	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 08-10-1992	Examineur DE HEERING P.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES 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 antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

EPO FORM 1503 03.82 (P0402)



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Page 3

Numero de la demande

EP 92 40 1184

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.5)
P,A	THE JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOC. OF AMERICA, vol. 91, no. 2, février 1992, pages 823-831, Acoustical Soc. of America, NEW YORK, US; T.R. HOWARTH et al.: "Piezocomposite coating for active underwater sound reduction" * En entier * -----	16	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 08-10-1992	Examineur DE HEERING P.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
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			

EPO FORM 1501 (03.82) (P0402)



Office européen
des brevets

EP 92 40 1184 - B -

ABSENCE D'UNITE D'INVENTION

La division de la recherche estime que la présente demande de brevet européen ne satisfait pas à l'exigence relative à l'unité d'invention et concerne plusieurs inventions ou pluralités d'inventions, à savoir:

1. Revendications 1-15, 18 (comme dépendant de 1-15 seulement), 19 (comme dépendant de 18 ci-devant seulement): absorption acoustique avec résonnateurs.
2. Revendications 16, 17, 18 (comme dépendant de 16,17 seulement), 19 (comme dépendant de 18 ci-devant seulement), 20 (id.): matériau absorbant électrique avec effet piezo-électrique.