

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 847 492

(21) N° d'enregistrement national : 03 13244

(51) Int Cl⁷ : B 06 B 1/06, G 10 K 11/00, H 04 R 17/00, H 05 K 3/30

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 12.11.03.

(30) Priorité : 22.11.02 US 10065813.

(43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 28.05.04 Bulletin 04/22.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été établi à la date de publication de la demande.*

(60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

(71) Demandeur(s) : GENRAL ELECTRIC COMPANY — US.

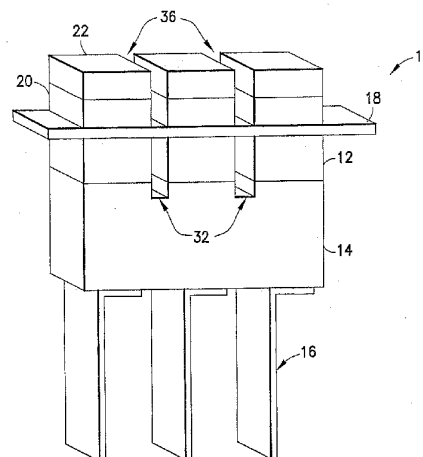
(72) Inventeur(s) : BAUMGARTNER CHARLES EDWARD et LEWANDOWSKI ROBERT STEPHEN.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : CASALONGA ET JOSSE.

(54) PROCÉDE POUR ETABLIR UNE CONNEXION ELECTRIQUE AVEC UN TRANSDUCTEUR ULTRASONORE A TRAVERS UN MATERIAU D'ISOLATION ACOUSTIQUE.

(57) Transducteur ultrasonore dans lequel les éléments transducteurs (12) sont électriquement connectés aux générateurs d'impulsions par l'intermédiaire de trous traversants dans une couche d'isolation acoustique (14). Un matériau électriquement conducteur est déposé sur la face avant de la couche d'isolation acoustique puis est découpé en dés pour former des plages conductrices, et sur les parois des trous traversants ou trous d'interconnexion pour former des rubans conducteurs ayant des extrémités à nu qui seront ultérieurement connectées à un circuit imprimé (16). Les trous de la couche d'isolation acoustique sont ensuite remplis de matériau d'affaiblissement acoustique. Les électrodes de signaux sur les faces arrière des éléments transducteurs sont électriquement connectées au circuit imprimé par l'intermédiaire des plages conductrices et des rubans conducteurs de la couche d'isolation acoustique. Une connexion commune de mise à la terre est disposée entre les faces avant des éléments transducteurs et la couche (20) d'adaptation d'impédance acoustique, laquelle connexion de mise à la terre sortant latéralement de la palette de transducteurs.



FR 2 847 492 - A1



**PROCEDE POUR ETABLIR UNE CONNEXION ELECTRIQUE AVEC UN
TRANSDUCTEUR ULTRASONORE A TRAVERS UN MATERIAU
D'ISOLATION ACOUSTIQUE**

5 La présente invention concerne d'une façon générale les procédés et les dispositifs pour établir des connexions électriques avec des transducteurs ultrasonores. En particulier, l'invention est relative à des procédés pour établir des connexions électriques avec des éléments piézoélectriques transducteurs d'ultrasons à travers une couche d'isolation acoustique.

10 Une sonde ultrasonore classique est constituée de trois parties principales : (1) un boîtier de transducteur ; (2) un câble coaxial multifilaire connectant le transducteur au reste du système ultrasonore ; et (3) divers autres éléments mécaniques tels que le boîtier de la sonde, le matériau de remplissage et le blindage électrique. Le boîtier du transducteur est ordinairement réalisé par un empilement
15 successif de couches.

 Dans un type de transducteur à empilement de couches selon la technique antérieure, une carte de circuit imprimé souple (ci-après appelée "circuit souple"), ayant une pluralité de rubans conducteurs connectés en commun à un bus à nu, est collée à une face arrière à revêtement métallique d'un grand bloc de céramique piézoélectrique. Le bus du circuit souple est collé et couplé électriquement à la face
20 arrière à revêtement métallique du bloc de céramique piézoélectrique. De plus, une feuille conductrice est collée à une face avant à revêtement métallique du bloc de céramique piézoélectrique pour constituer un circuit de terre pour les électrodes de terre de la matrice de transducteurs finale. La feuille conductrice doit être
25 suffisamment mince pour être acoustiquement transparente, c'est-à-dire pour permettre aux ultrasons émis depuis la face avant du bloc de céramique piézoélectrique de traverser la feuille sans forte atténuation. La feuille conductrice s'étend au-delà de la zone de la matrice de transducteurs et est mise électriquement à la terre.

30 Ensuite, une première couche d'adaptation d'impédance acoustique est collée à la feuille conductrice. Cette couche d'adaptation d'impédance acoustique a une impédance acoustique inférieure à celle de la céramique piézoélectrique. Eventuellement, une seconde couche d'adaptation d'impédance acoustique dont l'impédance acoustique est inférieure à celle de la première couche d'adaptation
35 d'impédance acoustique est collée à la face avant de la première couche d'adaptation.

Les couches d'adaptation d'impédance acoustique transforment la forte impédance acoustique de la céramique piézoélectrique en faible impédance acoustique du corps humain et de l'eau, ce qui améliore le couplage avec le milieu dans lequel se propagent les ondes ultrasonores émises.

5 Pour fabriquer une matrice linéaire d'éléments transducteurs piézoélectriques, la partie supérieure de cet empilement est ensuite découpée "en dés" en sciant des entailles verticales, c'est-à-dire des traits de scie, qui divisent le bloc de céramique piézoélectrique en une multiplicité d'éléments transducteurs séparés disposés côte à côte. Pendant le découpage en dés, le bus du circuit souple est
10 coupé pour former des bornes séparées et les faces arrière et avant à revêtement métallique du bloc de céramique piézoélectrique sont découpées pour former respectivement des électrodes de signaux et de terre séparées. Isolés électriquement et acoustiquement, les éléments individuels peuvent alors fonctionner de manière indépendante dans la matrice. Bien que la feuille conductrice soit également
15 découpée en bandes parallèles, ces bandes sont connectées en commun à la partie de la feuille conductrice qui s'étend au-delà de la matrice de transducteurs, laquelle partie de feuille conductrice forme un bus qui est mis à la terre. Selon une autre possibilité, le circuit souple peut être pourvu de bornes individuelles au lieu d'un bus, puis être collé à la matrice de transducteurs piézoélectriques après le découpage en
20 dés.

La pile de transducteurs comporte également une masse de matière d'amortissement acoustique appropriée ayant de fortes pertes acoustiques. Cette couche d'isolation est couplée à la surface arrière des éléments transducteurs piézoélectriques pour absorber les ondes ultrasonores qui émergent de la face arrière
25 de chaque élément de façon qu'elles ne soient pas partiellement réfléchies et qu'elles n'interfèrent pas avec les ondes ultrasonores à propagation vers l'avant.

Une technique connue pour connecter électriquement les éléments piézoélectriques d'une pile de transducteurs à un câble coaxial multifilaire consiste en un circuit souple ayant une pluralité de rubans conducteurs formés par attaque
30 chimique s'étendant depuis une première zone de bornes jusqu'à une seconde zone de bornes dans laquelle les rubans conducteurs s'évalent en éventail, c'est-à-dire que les bornes de la première zone de bornes ont un espacement linéaire plus grand que l'espacement linéaire des bornes de la seconde zone de bornes. Les bornes de la première zone de bornes sont respectivement connectées aux fils individuels du câble

coaxial. Les bornes des secondes zones de bornes sont respectivement connectées aux électrodes de signaux des différents éléments transducteurs piézoélectriques.

A mesure qu'augmentent les demandes de systèmes en ce qui concerne le nombre d'éléments dans ces dispositifs, les conditions requises pour établir une connexion électrique avec de nouvelles géométries complexes de transducteurs deviennent plus exigeantes. En particulier, la densité requise dans la matrice de transducteurs est rendue plus difficile par les transducteurs nécessaires pour l'imagerie multidimensionnelle. Ces transducteurs nécessitent des éléments en deux dimensions au lieu des types unidimensionnels nécessités par les appareils d'imagerie classiques. Cependant, lorsque l'interconnexion électrique devient bidimensionnelle, le concepteur se trouve confronté à la difficulté de réaliser une interconnexion électrique pour des éléments transducteurs qui ne sont plus accessibles par les côtés de la matrice, ce qui constitue une caractéristique commune à la plupart des transducteurs conçus selon la technique antérieure. Plus particulièrement, dans le cas d'une matrice de trois rangées d'éléments transducteurs ou davantage, une ou plusieurs rangées sont à l'intérieur de la matrice et sont rendues inaccessibles par les rangées extérieures de la matrice. Pour connecter les éléments internes, des méthodes compliquées ont été proposées et élaborées. Une solution, mise en œuvre dans divers types de transducteurs, consiste à établir des connexions électriques à travers la couche d'isolation acoustique de la pile de transducteurs.

La couche ou plaque d'isolation acoustique est ordinairement en matériau d'atténuation acoustique qui amortit l'énergie acoustique générée par le transducteur piézoélectrique dans la direction opposée à celle du patient examiné. Une couche d'isolation acoustique est ordinairement constituée par une résine époxy moulée mélangée avec des particules d'absorption et de dispersion acoustique, par exemple de petites particules de tungstène ou de silice, ou des bulles d'air. Les mélanges de ces matériaux doivent être réalisés d'une façon prédéterminée pour donner à la couche d'isolation acoustique une impédance et un affaiblissement acoustique voulus. Cet affaiblissement acoustique, ainsi que l'impédance acoustique, agit sur les paramètres de performances des transducteurs, par exemple la largeur de bande et la sensibilité. Par conséquent, les propriétés acoustiques du matériau de remplissage doivent être adaptées pour optimiser la conception de l'empilement acoustique. En même temps, la matière de remplissage doit également assurer à la fois un support mécanique pour la matrice de transducteurs découpée en dés et, dans le cas d'une matrice en deux dimensions, permettre une connectivité électrique à chacun des

différents éléments transducteurs. L'arrivée de cette dernière exigence pour les matrices en deux dimensions pose certaines contraintes atypiques quant à la conception et la possibilité de fabrication de la couche d'isolation acoustique. La connectivité électrique doit être réalisée à travers le matériau d'isolation acoustique de manière à empêcher la diaphonie électrique d'un élément à un autre. En même temps, le connecteur électrique doit également déplacer un pourcentage minime du volume du matériau d'isolation acoustique pour préserver l'ensemble de la conception acoustique du système.

Le brevet des E.U.A n° 5 267 221 décrit un matériau d'isolation acoustique contenant des éléments conducteurs alignés dans une même direction à travers le matériau acoustique pour assurer la connectivité électrique entre une matrice de transducteurs découpée en dés et un circuit électrique. Le bloc de matériau d'isolation acoustique couvert par les conducteurs électriques peut avoir une composition homogène ou hétérogène. Les conducteurs électriques noyés dans le matériau acoustique peuvent être des fils, des fils isolés, des tiges, une feuille plate, une feuille mise en forme de tubes ou un tissu tissé. Ce brevet propose également la formation d'un mince revêtement métallique sur des âmes en matériau d'isolation acoustique. Le contact électrique avec l'interface de la matrice de transducteurs peut se faire en un seul ou en plusieurs endroits sur la face de la matrice.

Une seconde solution pour obtenir un matériau composite d'affaiblissement acoustique est décrit dans le brevet des E.U.A n° 6 043 590, qui propose un bloc d'isolation acoustique constitué par un circuit souple métallisé possédant des rubans conducteurs noyés dans un matériau d'affaiblissement acoustique.

Une solution différente est adoptée dans le brevet des E.U.A n° 6 266 857, qui propose la formation d'un ensemble de trous d'interconnexion et de sièges échancrés de plages de connexion dans une couche d'isolation à affaiblissement acoustique, par exemple par usinage laser. Le substrat usiné est ensuite revêtu d'un plaquage de matériau électriquement conducteur. L'excédent de matériau électriquement conducteur est éliminé du substrat pour laisser un matériau électriquement conducteur plaqué sur les sièges échancrés de plages de connexion et les trous d'interconnexion en formant de ce fait des plages de connexion conductrices et des trous d'interconnexion plaqués, ces derniers constituant des rubans conducteurs qui pénètrent dans le substrat dans le sens de l'épaisseur. De plus, des trous d'interconnexion sont formés dans la couche de céramique piézoélectrique et sont plaqués, ces trous d'interconnexion plaqués étant alignés avec et électriquement

connectés aux trous d'interconnexion plaqués de la couche d'isolation qui sont mis à la terre. Cet agencement permet la connexion électrique d'électrodes de terre sur la surface avant et d'électrodes de signaux sur la surface arrière de la matrice d'éléments transducteurs avec un circuit souple sur la surface arrière de la couche d'isolation.

5 Il y a un besoin constant de matrices de transducteurs ultrasonores à deux dimensions d'une conception perfectionnée avec une connexion électrique à travers la couche d'isolation acoustique.

L'invention concerne en partie un transducteur ultrasonore ayant une
10 isolation acoustique constituée par un matériau d'affaiblissement acoustique possédant un plan électriquement conducteur sur au moins une face et un trajet électriquement conducteur à travers le corps du matériau d'isolation acoustique. Les épaisseurs des conducteurs sur la surface et à travers le corps sont suffisamment faibles pour présenter un impact minime sur les propriétés acoustiques globales. La
15 face conductrice vient contre les éléments transducteurs, ce qui facilite le contact avec chaque élément transducteur, et elle est séparée en éléments distincts pendant le découpage de la matrice en dés à la suite de l'assemblage.

Un premier aspect de l'invention consiste en un procédé de fabrication comprenant les étapes consistant à : former une ébauche en matériau d'isolation
20 acoustique ayant une série de trous traversant l'ébauche d'un côté à l'autre ; déposer un film électriquement conducteur sur au moins une face de l'ébauche d'isolation acoustique et sur les surfaces des trous qui traversent entièrement le matériau d'isolation acoustique ; remplir de matériau d'isolation acoustique le volume restant à l'intérieur des trous ; monter la couche de matériau d'isolation acoustique ainsi
25 obtenue sur une matrice de transducteurs ; et séparer électriquement chaque élément transducteur pour permettre une connexion électrique individuelle.

Un autre aspect de l'invention consiste en un procédé de fabrication d'un transducteur ultrasonore, comprenant les étapes consistant à :

(a) former une série de trous dans une couche relativement épaisse de
30 matériau d'affaiblissement acoustique ayant des faces avant et arrière, chaque trou s'étendant sur toute l'épaisseur du corps depuis la face avant jusqu'à la face arrière de celui-ci ; (b) déposer une couche relativement mince de matériau électriquement conducteur sur au moins la face avant de la couche relativement épaisse et sur les surfaces des trous ; (c) remplir de matériau d'affaiblissement acoustique le volume
35 restant des trous ; (d) déposer une seconde couche relativement mince de matériau

électriquement conducteur sur une face arrière d'une couche de matériau piézoélectrique ; (e) stratifier la couche relativement épaisse de matériau d'affaiblissement acoustique sur la couche de matériau piézoélectrique, la première et la seconde couches relativement minces de matériau électriquement conducteur étant électriquement connectées ; et (f) découper en dés la couche de matériau piézoélectrique et une partie de la couche relativement épaisse de matériau d'affaiblissement acoustique suivant une pluralité de plans mutuellement parallèles sur une profondeur suffisante pour former une pluralité de traits de scie qui isolent électriquement les unes des autres plusieurs régions des première et seconde couches relativement minces.

Un autre aspect de l'invention consiste en un procédé de fabrication d'un transducteur ultrasonore, comprenant les étapes consistant à : (a) former un moule ayant une pluralité de colonnes ; (b) déposer une première couche relativement mince de matériau électriquement conducteur sur les surfaces intérieures du moule, dont les surfaces périphériques des colonnes ; (c) couler dans le moule un matériau d'affaiblissement acoustique pour former une couche relativement épaisse du matériau d'affaiblissement acoustique réunie à la première couche relativement mince de matériau électriquement conducteur, un ensemble de trous étant formé par la pluralité de colonnes ; (d) retirer le moule tout en laissant la première couche relativement mince de matériau électriquement conducteur réunie à la couche relativement épaisse du matériau d'affaiblissement acoustique ; (e) remplir de matériau d'affaiblissement acoustique le volume restant des trous ; (f) déposer une seconde couche relativement mince de matériau électriquement conducteur sur une face arrière d'une couche de matériau piézoélectrique ; (g) monter la couche relativement épaisse de matériau d'affaiblissement acoustique sur la couche de matériau piézoélectrique, la première et la seconde couches relativement minces de matériau électriquement conducteur étant au contact l'une de l'autre ; et (h) découper en dés la couche de matériau piézoélectrique et une partie de la couche relativement épaisse de matériau d'affaiblissement acoustique suivant une pluralité de plans mutuellement parallèles sur une profondeur suffisante pour que plusieurs régions de la seconde couche relativement mince sur la face arrière de la couche de matériau piézoélectrique soit électriquement isolées les unes des autres et qu'une pluralité correspondante de régions de la première couche relativement mince sur la face avant de la couche relativement épaisse de matériau d'affaiblissement acoustique soient électriquement isolées les unes des autres par une pluralité de traits de scie.

Encore un autre aspect de l'invention consiste en un transducteur ultrasonore comprenant une matrice d'éléments transducteurs piézoélectriques et une couche d'isolation acoustique couplée à la face arrière de chacun des éléments transducteurs piézoélectriques, la couche d'isolation acoustique comportant une couche de matériau d'affaiblissement acoustique avec une pluralité de structures internes en forme de trous d'interconnexion, chacune des structures internes en forme de trous d'interconnexion ayant un dépôt de matériau électriquement conducteur appliqué sur celle-ci et délimitant un volume rempli de matériau d'affaiblissement acoustique.

Un autre aspect de l'invention consiste en un transducteur ultrasonore comprenant : une couche d'isolation acoustique en matériau d'affaiblissement acoustique ; une matrice d'éléments transducteurs ultrasonores qui génèrent des ondes ultrasonores en réponse à une excitation électrique, chaque élément transducteur ultrasonore ayant une face arrière couplée acoustiquement à une région respective d'une face avant de la couche d'isolation acoustique ; un groupe d'éléments de couche d'adaptation acoustique, chaque élément transducteur ultrasonore ayant une face avant couplée acoustiquement à un élément respectif de couche d'adaptation acoustique ; une connexion commune à la terre constituée par un matériau électriquement conducteur et disposée entre la matrice d'éléments transducteurs ultrasonores et le groupe d'éléments de couches d'adaptation acoustiques ; et une pluralité de conducteurs électriques qui traversent la couche d'isolation acoustique. Les faces avant et arrière des éléments transducteurs ultrasonores comportent des dépôts de matériau électriquement conducteur appliqués sur ceux-ci. Chacun des conducteurs électriques comporte une plage conductrice respective formée sur la face avant de la couche d'isolation acoustique et en contact électrique avec une face arrière, en regard, d'un élément transducteur ultrasonore respectif, et comporte en outre un ruban conducteur respectif déposé sur une structure respective, en forme de trous d'interconnexion dans la couche d'isolation acoustique, connecté à l'une, respective, des plages conductrices et à nu sur une face arrière de la couche d'isolation acoustique. Aucune partie de la connexion de mise à la terre commune ne traverse le matériau d'isolation acoustique.

D'autres aspects de l'invention sont décrits et revendiqués ci-après.

L'invention et nombre des avantages qui s'y attachent apparaîtront facilement plus clairement en référence à la description détaillée ci-après, faite en considération des dessins annexés, sur lesquels :

la Fig.1 est un dessin représentant une vue isométrique d'une colonne d'une matrice de transducteurs sur trois rangées, construite selon une forme de réalisation de l'invention ;

5 les Figures 2 à 7 sont des dessins illustrant des étapes respectives du procédé de fabrication selon une forme de réalisation de l'invention ;

la Fig. 2 est un dessin représentant une vue de dessus d'un corps en forme de barre ou de plaque d'un matériau d'affaiblissement acoustique ayant des trous traversant l'épaisseur du corps ;

10 la Fig. 3 est un dessin représentant une vue en coupe du corps d'affaiblissement acoustique illustré sur la Fig. 2, la coupe étant prise suivant la ligne 3 – 3 de la Fig. 2 ;

la Fig. 4 est un dessin représentant une vue en coupe du corps d'affaiblissement acoustique illustré sur la Fig. 3 après le dépôt d'un matériau électriquement conducteur sur la face avant et dans les trous traversants ;

15 la Fig. 5 est un dessin représentant une vue en coupe du corps d'affaiblissement acoustique illustré sur la Fig. 4 après le remplissage des trous traversants (sur lesquels est déposé un matériau électriquement conducteur) avec un matériau d'affaiblissement acoustique ;

20 la Fig. 6 est un dessin représentant une vue de dessus du corps d'affaiblissement acoustique illustré sur la Fig. 5 après que la couche supérieure du corps a été découpée en dés dans des directions mutuellement perpendiculaires ;

la Fig. 7 est un dessin représentant une vue en coupe du corps d'affaiblissement acoustique illustré sur la Fig. 6, la coupe étant prise suivant la ligne 7 – 7 de la Fig. 6 ;

25 la Fig. 8 est un dessin représentant une vue isométrique d'une palette de transducteurs à un stade de fabrication où des couches d'adaptation d'impédance acoustique ont été stratifiées sur la face avant d'une couche piézoélectrique dont la face arrière est stratifiée sur une couche d'isolation acoustique ; et

30 la Fig. 9 est un dessin représentant une vue isométrique de la palette de transducteurs illustrée sur la Fig. 8 après d'autres opérations de découpage en dés.

La présente invention concerne une couche d'isolation acoustique pour une matrice de transducteurs en deux dimensions sur plusieurs rangées et un procédé de fabrication d'une telle couche d'isolation acoustique. Le matériau d'isolation possède
35 des propriétés d'affaiblissement acoustique suffisantes pour permettre une conception

optimale d'un empilement acoustique plus une connectivité électrique à travers la couche d'isolation pour chaque élément individuel de la matrice de transducteurs.

La Fig. 1 représente une colonne d'une matrice 10 de transducteurs sur trois rangées construite selon une forme de réalisation de l'invention. Chaque élément transducteur 12 est réuni, au niveau de sa face arrière, avec une couche d'isolation acoustique 14 en matériau d'affaiblissement acoustique. Les éléments transducteurs sont de préférence en céramique piézoélectrique. La couche d'isolation acoustique a elle-même une pluralité de cartes de circuits imprimés souples (circuits souples) montés sur sa face arrière, un circuit souple pour chaque rangée d'éléments transducteurs. Un seul élément transducteur de chaque rangée a été représenté sur la Fig. 1, ainsi que des parties correspondantes de la couche d'isolation acoustique et des circuits souples. Cependant, il doit être entendu que la couche d'isolation acoustique 14, tout comme les circuits souples 16, s'étendent sur toute la largeur de chaque rangée d'éléments transducteurs.

Chaque élément transducteur 12 de la matrice 10 est couplé acoustiquement à la couche d'isolation acoustique 14. Les rangées d'éléments transducteurs sont connectées électriquement à des circuits souples respectifs 16 par l'intermédiaire de conducteurs électriques (non représentés sur la Fig. 1) noyés dans et traversant la couche d'isolation acoustique 14 dans le sens de l'épaisseur. Chaque élément transducteur 12 d'une rangée donnée est connecté électriquement à un ruban conducteur respectif (ou à une plage conductrice formée à l'extrémité de chaque ruban conducteur) sur le circuit souple correspondant. Le ruban conducteur peut être imprimé d'une manière classique sur un substrat souple. Le substrat peut être en matériau diélectrique tel qu'un polyimide. Chaque ruban conducteur (ou une plage conductrice à l'extrémité du ruban conducteur) est électriquement au contact de l'extrémité arrière d'un conducteur électrique respectif dans la couche d'isolation acoustique 14. Chaque élément transducteur 12 a, sur sa face arrière, une électrode de signaux (non représentée) électriquement au contact de l'extrémité avant du conducteur électrique respectif dans la couche d'isolation acoustique. D'une manière classique, les électrodes de signaux peuvent être formées en déposant du métal sur la face arrière d'une couche de céramique piézoélectrique puis en découpant en dés la céramique piézoélectrique pour former les éléments transducteurs. Cette opération de découpage en dés produit des traits de scie mutuellement parallèles 32 qui séparent des rangées adjacentes d'éléments transducteurs et qui pénètrent dans une partie

supérieure de la couche d'isolation acoustique, comme décrit plus en détail par la suite.

Après l'opération ci-dessus de découpage en dés, une connexion de mise à la terre 18 est mise en place sur le dessus métallisé des éléments transducteurs piézoélectriques 12. Une manière de procéder à cette fin consiste à plaquer une mince (par exemple, 2 à 4 micromètres) couche métallique sur une couche intérieure 20 d'adaptation d'impédance acoustique puis à stratifier cette dernière sur la face avant de la couche piézoélectrique. Une seconde couche 22 d'adaptation d'impédance acoustique est stratifiée sur la première couche 20 d'adaptation d'impédance acoustique. Les couches 20 et 22 sont ensuite découpées en dés dans les mêmes plans que ceux dans lesquels la couche piézoélectrique a été découpée, en formant de ce fait des traits de scie 36 globalement dans le même plan que les traits de scie 32. Le découpage en dés de la couche 20 s'arrête juste avant la métallisation de mise à la terre 18. De la sorte, les éléments d'une colonne sont acoustiquement séparés les uns des autres, mais électriquement connectés par l'intermédiaire de la métallisation de mise à la terre.

Selon une forme de réalisation de la présente invention, les conducteurs électriques connectant la matrice de transducteurs aux circuits souples par l'intermédiaire de la couche d'isolation acoustique comportent : (1) des plages conductrices respectives déposées sur la face avant de la couche d'isolation acoustique et électriquement au contact d'électrodes de signaux respectives sur des éléments transducteurs respectifs ; et (2) des rubans conducteurs respectifs connectés à des plages conductrices respectives et déposés à l'intérieur de trous d'interconnexion ou de trous traversants respectifs formés dans la couche d'isolation acoustique. Chaque trou d'interconnexion est ensuite rempli d'un matériau d'affaiblissement acoustique. Eventuellement, les conducteurs électriques de la couche d'isolation acoustique peuvent comporter en outre des plages conductrices respectives déposées sur la face arrière de la couche d'isolation acoustique et électriquement au contact de plages ou rubans conducteurs respectifs imprimés sur des circuits souples (un seul circuit souple pour chaque rangée d'éléments transducteurs).

Ainsi, le trajet électrique va du circuit souple 16 au ruban conducteur dans la couche d'isolation 14, puis à l'électrode de signaux sur la face arrière de l'élément transducteur 12. Les faces avant métallisées des éléments transducteurs sont connectées à la métallisation de mise à la terre 18, qui est commune pour tous les

éléments. Le trajet acoustique vers l'avant va des éléments 12 en céramique, via la couche métallique de mise à la terre 18, jusqu'aux couches d'adaptation acoustique 20 et 22, puis jusqu'à la lentille ou au revêtement (non représenté) pour le transducteur. Le trajet acoustique inverse permet à l'énergie de se retrouver piégée par la couche d'isolation acoustique 14.

En référence aux figures 2 à 7, on va maintenant décrire le procédé de fabrication de la couche d'isolation acoustique selon une forme de réalisation de l'invention. Le procédé commence par une couche 24 de matériau d'isolation acoustique. Lors de la première étape, une ébauche est réalisée en formant un groupe de trous espacés 26 qui traversent la couche 24 sur toute son épaisseur. On peut en voir un exemple sur les figures 2 et 3. Pour plus de simplicité, une seule rangée de trois trous est représentée, mais il doit être entendu qu'une matrice de trous sera formée dans l'ébauche. Un ou plusieurs trous seront formés pour chaque élément transducteur appartenant à la matrice de transducteurs finale. Finalement, une face de l'ébauche est placée contre la matrice de transducteurs et réunie à celle-ci. Cette face sera appelée ici la "face avant". Les trous 26 peuvent être répartis suivant la même configuration que la configuration gouvernant la matrice de transducteurs. Le matériau d'isolation acoustique lui-même peut avoir une composition homogène ou, plus couramment, peut être un mélange homogène de plusieurs matériaux possédant des propriétés acoustiques différentes.

L'ébauche, constituée par une couche 24 de matériau d'isolation acoustique plus les trous 26, peut être réalisée par n'importe laquelle de plusieurs techniques. Par exemple, l'ébauche peut être constituée d'un morceau massif de matériau d'isolation acoustique, en perçant les trous mécaniquement ou par laser. Inversement, l'ébauche peut être formée en coulant le matériau d'isolation acoustique sur un moule qui contient des colonnes. Une fois sorties du moule, les colonnes du moule forment des trous 26 dans la matière d'isolation acoustique coulée 24. Les colonnes du moule peuvent être coniques pour faciliter le démoulage de la matière coulée.

Après la réalisation de l'ébauche de couche d'isolation, une couche 28 de matériau électriquement conductrice est déposée sur la face avant de l'ébauche et sur les surfaces intérieures des trous 26, comme on le voit sur la Fig. 4. Le film conducteur 28 qui en résulte est suffisamment mince pour ne pas gêner le couplage acoustique des ondes ultrasonores se propageant vers l'arrière depuis les éléments piézoélectriques jusque dans le matériau d'isolation acoustique. Le film conducteur 28 est également mince par rapport au rayon des trous en réseau de l'ébauche. Le

matériau conducteur est de préférence un métal, mais il peut également s'agir de n'importe quelle autre matière possédant une conductivité électrique suffisante, par exemple des conducteurs inorganiques ou organiques. Le matériau électriquement conducteur déposé 28 couvre au moins la face avant du matériau d'isolation 24 et est
5 déposé à l'intérieur des trous 26 qui traversent le corps du matériau d'isolation acoustique. Le dépôt peut être réalisé à l'aide de n'importe laquelle de plusieurs techniques courantes, par exemple par plaquage non électrolytique, évaporation, dépôt en phase vapeur ou application en solution.

Une variante pour réaliser la matrice conductrice de trous dans le matériau
10 d'isolation acoustique consiste à réaliser l'ébauche pour couler le matériau d'isolation acoustique comme décrit plus haut. Une mince couche de matériau électriquement conducteur est déposée sur l'ébauche avant de couler le matériau d'isolation acoustique. Après que le matériau d'isolation a durci, l'ébauche est supprimée par chauffage ou dissolution en disparaissant donc derrière le matériau d'isolation
15 acoustique et le revêtement conducteur fixé. Le film conducteur ne se limite pas forcément à une seule face du matériau d'isolation acoustique. Cependant, il est préférable qu'au moins la face avant du matériau d'isolation acoustique soit électriquement conductrice pour un couplage électrique optimal avec les électrodes de signaux des éléments transducteurs piézoélectriques.

Une fois que le matériau d'isolation acoustique possède une connectivité
20 électrique par l'intermédiaire de chacun des trous de la matrice, on utilise une quantité supplémentaire de matériau d'isolation acoustique 30 pour remplir les ouvertures restantes dans l'ébauche d'isolation acoustique, comme représenté sur la Fig. 5. La composition du matériau d'isolation acoustique servant à remplir ces trous
25 est de préférence la même que celle utilisée pour réaliser l'ébauche initiale en matériau d'isolation acoustique. Cependant, la composition du matériau de remplissage peut être différente de la composition du matériau d'isolation acoustique initial afin de modifier le signal acoustique.

On obtient finalement un matériau d'isolation acoustique dans lequel un
30 grand volume est constitué par un matériau d'affaiblissement acoustique de manière à permettre une conception optimale des transducteurs. Cependant, le matériau d'isolation acoustique possède également une matrice de matériau conducteur déposée sur une face, pour assurer une résistance de contact minime avec l'interface de la matrice de transducteurs, et il possède une connectivité électrique à travers

l'épaisseur pour assurer un contact électrique avec le circuit électrique monté sur l'autre face.

L'opération suivante consiste à monter la couche d'isolation acoustique sur la face arrière d'une couche piézoélectrique puis à découper en dés le stratifié obtenu sur toute l'épaisseur de ce dernier et seulement à travers une partie supérieure de l'épaisseur de la couche piézoélectrique à l'aide d'une scie de découpage en dés. De préférence, cela se fait en une seule opération de sciage, bien que cela ne soit pas obligatoire et que la partie supérieure de la couche d'isolation acoustique puisse être découpée en dés avant d'être stratifiée sur la couche piézoélectrique.

Une vue de dessus de la couche d'isolation acoustique après le découpage en dés dans des directions mutuellement perpendiculaires est visible sur la Fig. 6. Une première pluralité de traits de scie mutuellement parallèles 32, réalisés pendant une même opération de découpage en dés, subdivisent la couche piézoélectrique en colonnes, tandis qu'une seconde pluralité de traits de scie mutuellement parallèles 34, perpendiculaires aux traits de scie 32 et réalisés pendant une autre opération de découpage en dés, subdivisent la couche piézoélectrique en rangées, le résultat étant une matrice d'éléments transducteurs électriquement et acoustiquement isolés disposés en rangées et en colonnes. Les traits de scie 32 et 34 sont espacés de façon qu'un élément transducteur respectif soit formé pour chaque trou d'interconnexion présent dans la couche d'isolation acoustique. Autrement dit, la matrice de transducteurs est agencée pour permettre à chaque élément de la matrice de transducteurs d'être électriquement connecté au matériau d'isolation acoustique, un trou traversant ou un trou d'interconnexion respectif, métallisé et rempli, étant connecté à chaque élément transducteur. La face métallisée du matériau d'isolation acoustique est séparée en éléments distincts coïncidant avec les éléments transducteurs en découpant physiquement à travers la couche conductrice déposée sur la face avant du matériau d'isolation acoustique pendant le découpage en dés, comme indiqué par les traits de scie 34 de la Fig. 7. Le découpage en dés de la face avant métallisée de la couche d'isolation acoustique n'a pas à pénétrer profondément dans le matériau d'isolation mais doit être suffisamment profond pour isoler électriquement et acoustiquement un élément transducteur d'un autre.

Dans le cas de traits de scie rectilignes mutuellement perpendiculaires représentés sur la Fig. 6, des plages conductrices 38 en matériau électriquement conducteur 28 sont formées sur la face avant du matériau d'isolation acoustique. Le pourtour extérieur de chaque plage conductrice 38 est globalement rectangulaire,

tandis que le pourtour intérieur de la plage conductrice est globalement circulaire. Le pourtour intérieur de chaque plage conductrice 38 est connecté à l'extrémité supérieure du ruban conducteur correspondant 40 (cf. Fig. 7) formé en déposant un matériau électriquement conducteur dans les trous de la couche d'isolation.

5 La connexion aux extrémités à nu des rubans conducteurs 40 au dos des trous en matrice dans la matière d'isolation acoustique assure donc une connexion électrique à chaque élément transducteur de la matrice à plusieurs rangées. La connexion peut se faire par l'intermédiaire de n'importe lequel de plusieurs procédés courants, tels que l'utilisation d'un circuit souple multicouche ou autre procédé de
10 métallisation directe.

 La stratification et le découpage en dés des diverses couches de la palette de transducteurs sont illustrés sur les figures 8 et 9. La couche piézoélectrique 12 est ordinairement en titanate zirconate de plomb (TZP), en bifluorure de vinylidène ou en composite de céramique de TZP/polymère. Ordinairement, la céramique
15 piézoélectrique de chaque élément transducteur a une électrode de signaux formée sur sa face arrière et une électrode de mise à la terre formée sur sa face avant. La palette de transducteurs comporte également une masse 14 de matériau d'amortissement acoustique approprié ayant de fortes pertes acoustiques, par exemple un mélange d'époxy, de caoutchouc silicone et de particules de tungstène, placé sur la
20 surface arrière de la matrice d'éléments transducteurs. Cette couche d'isolation 14 est couplée à la surface arrière des éléments transducteurs pour absorber les ondes ultrasonores qui émergent de la face arrière de chaque élément de façon qu'elles ne soient pas partiellement réfléchies et qu'elles ne gênent pas les ondes ultrasonores se propageant vers l'avant. Ordinairement, chaque élément transducteur de la matrice
25 comporte également une première couche 20 d'adaptation d'impédance acoustique, qui est collée à la face avant métallisée (laquelle métallisation forme l'électrode de terre) de la couche piézoélectrique 12. Une seconde couche 22 d'adaptation d'impédance acoustique est collée à la première couche 20 d'adaptation d'impédance acoustique. Les couches 12, 20 et 22 de la palette de transducteurs sont collées à
30 l'aide de minces couches de colle acoustiquement transparente. L'impédance acoustique de la seconde couche d'adaptation 22 doit être inférieure à l'impédance acoustique de la première couche d'adaptation 20 et supérieure à l'impédance acoustique de la substance couplée acoustiquement à la matrice de transducteurs.

 La Fig. 8 représente la palette qui résulte des étapes suivantes : la couche
35 d'isolation acoustique 14 est stratifiée sur la couche piézoélectrique 12, les couches

12 et 14 sont entièrement découpées en dés à travers la couche 12 et seulement partiellement à travers la couche 14 pour former des traits de scie 32 ; la couche 20 d'adaptation d'impédance acoustique est stratifiée par dessus la couche piézoélectrique 12 ; et la couche 22 d'adaptation d'impédance acoustique est ensuite stratifiée par dessus la couche 20 d'adaptation d'impédance acoustique. De préférence, la surface arrière de la couche 20 d'adaptation d'impédance acoustique au contact de la couche piézoélectrique 12 est métallisée pour assurer les connexions de mise à la terre pour les électrodes de mise à la terre présentes sur la face avant des éléments transducteurs. Les traits de scie 32 peuvent être laissés vides ou peuvent être remplis d'un matériau à faible module de cisaillement.

Considérant maintenant la Fig. 9, les rangées piézoélectriques sont entièrement découpées en dés à travers la métallisation sur la face arrière de la couche piézoélectrique 12 et la face avant de la couche d'isolation acoustique 14 dans la dimension en élévation pour former des éléments transducteurs individuels et pour isoler électriquement les contacts conducteurs (c'est-à-dire les plages conductrices et les électrodes) sous chaque élément transducteur individuel. Des découpes perpendiculaires en dés 36 sont également réalisées dans la direction en azimuth dans le prolongement des traits de scie 32 pour séparer mécaniquement les couches d'adaptation de chaque rangée d'éléments. Les traits de scie 36 ne traversent pas entièrement la couche d'adaptation acoustique 20, ce qui laisse des bandes continues de la surface arrière métallisée de la couche d'adaptation acoustique 20 à travers chaque colonne d'éléments dans la dimension en élévation. Ainsi, les électrodes de terre de toutes les rangées d'éléments transducteurs peuvent être connectées à une terre commune depuis l'un ou l'autre côté en élévation de la matrice de transducteurs.

Après le découpage en dés, la face avant de la seconde couche 22 d'adaptation d'impédance acoustique est collée d'une manière classique à la face arrière plane d'une lentille cylindrique convexe (par exemple, en caoutchouc silicone) à l'aide d'une mince couche acoustiquement transparente d'adhésif à la silicone.

Les plages conductrices sur la face avant de la couche d'isolation acoustique peuvent être stratifiées sur les électrodes de signaux de la matrice de transducteurs en utilisant une haute pression et une mince couche de résine époxy non conductrice. Si les surfaces du matériau d'isolation acoustique et de la céramique piézoélectrique mutuellement en regard ont une rugosité microscopique et si la couche d'époxy est suffisamment mince, une connexion électrique est réalisée par l'intermédiaire d'une

répartition de contacts directs entre des points hauts présents sur la céramique et des points hauts présents sur la couche d'isolation acoustique.

- 5 Une matrice de transducteurs ultrasonores peut être électriquement connectée à des rubans conducteurs sur un circuit souple à l'aide de la structure d'isolation acoustique décrite plus haut. Cette dernière peut également être utilisée pour connecter électriquement une matrice de transducteurs ultrasonores à d'autres agencements de conducteurs électriques, par exemple des cartes de circuits imprimés non souples, des fils, des câbles, etc.

REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à :

- 5 former une ébauche (24) en matériau d'isolation acoustique comportant une série de trous (26) qui traversent l'ébauche d'un côté à l'autre ;
déposer un film électriquement conducteur (28) sur au moins une face de l'ébauche en matériau d'isolation acoustique et sur les surfaces des trous qui traversent entièrement le matériau d'isolation acoustique ;
10 remplir d'un matériau d'isolation acoustique (30) le volume restant à l'intérieur des trous ;
monter la couche de matériau d'isolation acoustique ainsi obtenue sur une matrice (10) de transducteurs ; et
séparer électriquement chaque élément transducteur pour permettre une
15 connexion électrique individuelle.

2. Procédé de fabrication d'un transducteur ultrasonore, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à :

- former une série de trous (26) dans une couche relativement épaisse (24) de
20 matériau d'affaiblissement acoustique ayant une face avant et une face arrière, chaque trou traversant toute l'épaisseur dudit corps depuis ladite face avant jusqu'à ladite face arrière de celui-ci ;
déposer une première couche relativement mince (28) de matériau électriquement conducteur sur au moins ladite face avant de ladite couche
25 relativement épaisse et sur les surfaces desdits trous ;
remplir de matériau d'affaiblissement acoustique (30) le volume restant desdits trous ;
déposer une seconde couche relativement mince de matériau électriquement conducteur sur une face arrière d'une couche (12) de matériau piézoélectrique ;
30 stratifier ladite couche relativement épaisse de matériau d'affaiblissement acoustique sur ladite couche de matériau piézoélectrique, lesdites première et seconde couches relativement minces de matériau électriquement conducteur étant électriquement connectées ; et
découper en dés ladite couche de matériau piézoélectrique et une partie de
35 ladite couche relativement épaisse de matériau d'affaiblissement acoustique suivant

une première pluralité de plans mutuellement parallèles jusqu'à une profondeur suffisante pour former une pluralité de traits de scie (32) qui isolent électriquement les unes des autres une pluralité de régions desdites première et seconde couches relativement minces.

5

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend en outre les étapes consistant à :

déposer une troisième couche relativement mince de matériau électriquement conducteur sur une face avant de ladite couche de matériau piézoélectrique ;

10

déposer une quatrième couche relativement mince de matériau électriquement conducteur sur une face arrière d'une couche relativement épaisse de matériau d'adaptation d'impédance acoustique ;

monter ladite première couche relativement épaisse de matériau d'adaptation d'impédance acoustique sur ladite couche de matériau piézoélectrique, lesdites troisième et quatrième couches relativement minces de matériau électriquement conducteur étant au contact l'une de l'autre ; et

15

découper en dés ladite couche relativement épaisse de matériau d'adaptation d'impédance acoustique, ladite couche de matériau piézoélectrique et une partie de ladite couche relativement épaisse de matériau d'affaiblissement acoustique suivant une seconde pluralité de plans mutuellement parallèles jusqu'à une profondeur suffisante pour qu'une pluralité de régions secondaires de chacune desdites régions électriquement isolées desdites première et seconde couches relativement minces de matériau électriquement conducteur soient isolées électriquement par une seconde pluralité de traits de scie (34), ladite seconde pluralité de traits de scie étant sensiblement perpendiculaire à ladite première pluralité de traits de scie.

20

25

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'il comprend en outre l'étape consistant à découper en dés au moins une partie de ladite couche relativement épaisse de matériau d'adaptation d'impédance acoustique suivant ladite première pluralité de plans mutuellement parallèles jusqu'à une profondeur telle que ladite troisième couche relativement mince de matériau électriquement conducteur n'est pas découpée en dés.

30

5. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que ladite série de trous comprend une première et une seconde rangées de trous, le procédé comprenant en outre les étapes consistant à fixer un premier et un second circuits imprimés (16) à ladite couche relativement épaisse de matériau d'affaiblissement acoustique avec des rubans conducteurs dudit premier circuit imprimé au contact desdites couches
5 relativement minces de matériau électriquement conducteur déposées dans des trous respectifs de ladite première rangée et avec des rubans conducteurs dudit second circuit imprimé au contact desdites couches relativement minces de matériau électriquement conducteur déposées dans des trous respectifs de ladite seconde
10 rangée.

6. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend en outre l'étape consistant à découper en dés ladite couche de matériau piézoélectrique et ladite partie de ladite couche relativement épaisse de matériau d'affaiblissement
15 acoustique suivant une seconde pluralité de plans mutuellement parallèles jusqu'à une profondeur suffisante pour qu'une pluralité de régions secondaires de chacune desdites régions électriquement isolées desdites première et seconde couches relativement minces de matériau électriquement conducteur soient électriquement isolées par une seconde pluralité de traits de scie, ladite seconde pluralité de traits de
20 scie étant sensiblement perpendiculaire à ladite première pluralité de traits de scie.

7. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que le matériau d'affaiblissement acoustique remplissant lesdits trous et le matériau d'affaiblissement acoustique de ladite couche relativement épaisse ont sensiblement la même
25 composition.

8. Transducteur ultrasonore comprenant une matrice (10) d'éléments transducteurs piézoélectriques (12) et une couche d'isolation acoustique (14) couplées acoustiquement à la face arrière de chacun desdits éléments transducteurs
30 piézoélectriques, ladite couche d'isolation acoustique comportant une couche de matériau d'affaiblissement acoustique avec une pluralité de structures internes en forme de trous d'interconnexion, chacune desdites structures internes (26) en forme de trous d'interconnexion ayant un dépôt de matériau électriquement conducteur (28) appliqué sur celle-ci et délimitant un volume rempli de matériau d'affaiblissement
35 acoustique (30).

- 5 9. Transducteur ultrasonore selon la revendication 8, caractérisé en ce que lesdits éléments transducteurs piézoélectriques et des parties de ladite couche d'isolation acoustique, en regard les uns des autres, sont isolés par une pluralité de traits de scie espacés (32) disposés parallèlement à un plan en élévation, chaque élément transducteur piézoélectrique ayant une électrode sur sa face arrière et chaque partie isolée de ladite couche d'isolation acoustique ayant une plage conductrice sur sa face avant, chaque plage conductrice étant au contact d'une électrode respective.
- 10 10. Transducteur ultrasonore selon la revendication 8, caractérisé en ce que le matériau d'affaiblissement acoustique remplissant lesdits volumes délimités et ladite couche de matériau d'affaiblissement acoustique ont sensiblement la même composition.

1/4

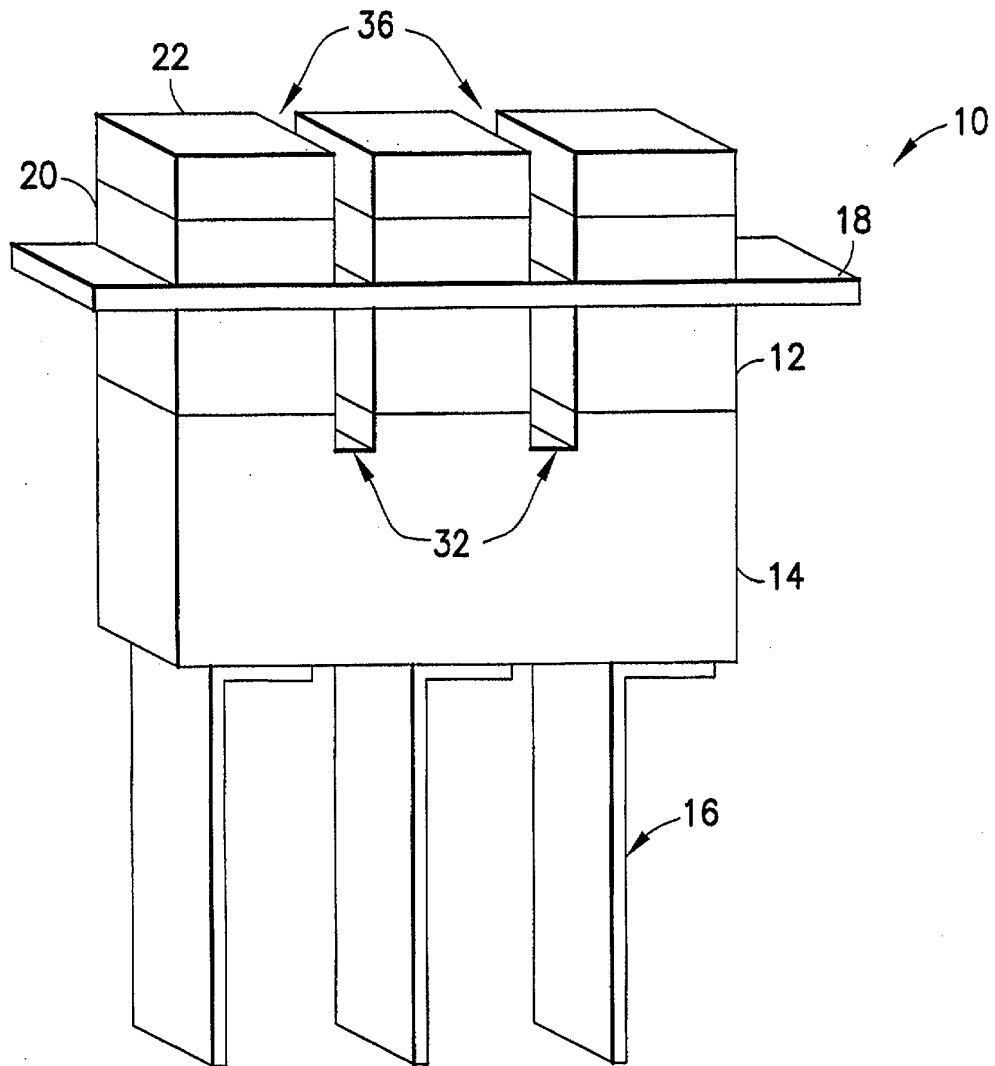


FIG. 1

2/4

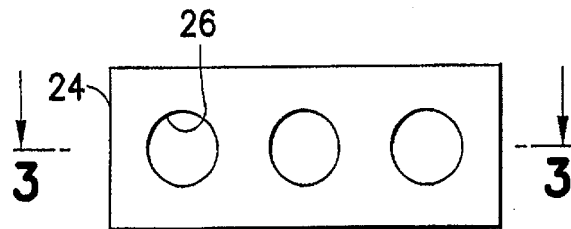


FIG. 2

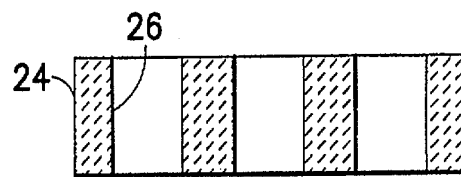


FIG. 3

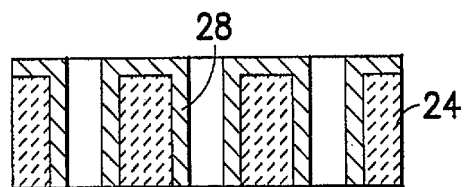


FIG. 4

3/4

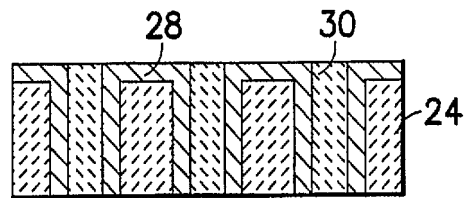


FIG. 5

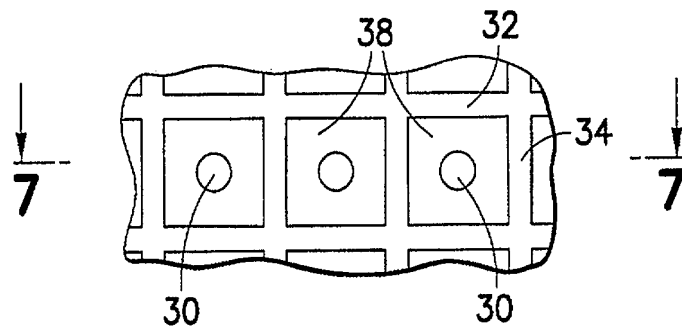


FIG. 6

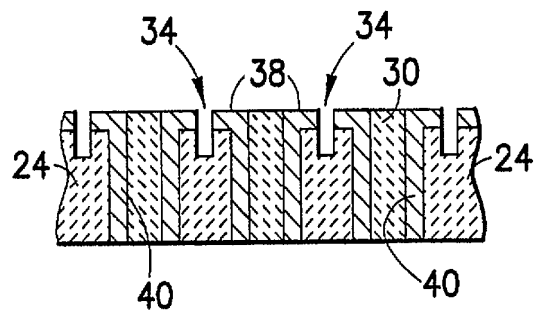


FIG. 7

4/4

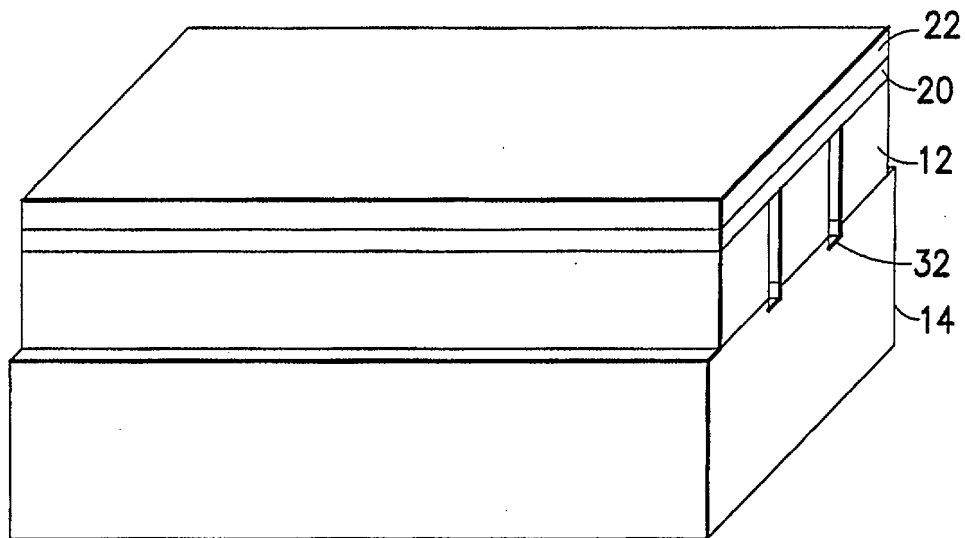


FIG. 8

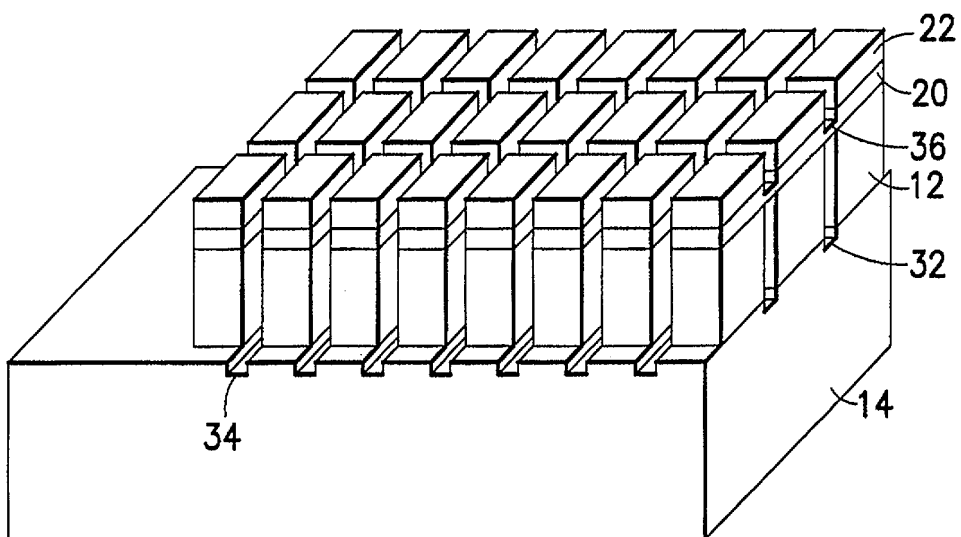


FIG. 9