

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

(11) Nº de publication : 2 980 379
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)
(21) Nº d'enregistrement national : 12 58773
(51) Int Cl⁸ : B 06 B 1/06 (2013.01)

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 19.09.12.
(30) Priorité : 22.09.11 US 13/240.754.

(43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 29.03.13 Bulletin 13/13.
(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) : GENERAL ELECTRIC COMPANY — US.

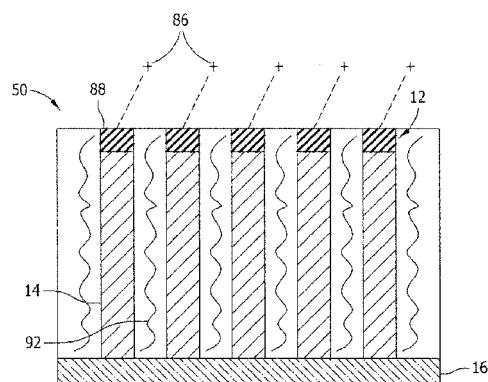
(72) Inventeur(s) : KROHN MATTHEW HARVEY, SINGH PRABHJOT, MEYER PAUL ALOYSIUS et LUO WEI.

(73) Titulaire(s) : GENERAL ELECTRIC COMPANY.

(74) Mandataire(s) : CASALONGA & ASSOCIES.

(54) STRUCTURE TRANSDUCTRICE POUR SONDE TRANSDUCTRICE ET PROCEDES DE FABRICATION DE CELLE-CI.

(57) Structure transductrice céramique composite destinée à servir dans la construction d'une sonde à ultrasons (50), comprenant un substrat (16) et une pluralité de colonnes transductrices piézoélectriques (14). La pluralité de colonnes transductrices piézoélectriques (14) sont formées d'une manière maîtrisable sur le substrat (16) à une pluralité d'emplacements situés dans un plan XY du substrat (16). La pluralité de colonnes piézoélectriques (14) ont une pluralité de formes définies dans un volume X-Y-Z du substrat (16), la pluralité de colonnes transductrices piézoélectriques (14) étant conçues pour contribuer à limiter fortement les ondes de cisaillement dans la sonde à ultrasons (50).



FR 2 980 379 - A1



Structure transductrice pour sonde transductrice et procédés de fabrication de celle-ci

La présente invention concerne des structures transductrices et, plus particulièrement, des procédés et des systèmes pour la formation et l'agencement maîtrisés d'une structure transductrice destinée à servir dans des sondes transductrices.

Les sondes à ultrasons, qui comportent souvent une colonne piézoélectrique ou une série de colonnes piézoélectriques, sont utilisées dans plusieurs applications, dont l'imagerie non destructrice de l'intérieur de structures, par exemple par échographie. Dans nombre de ces applications en imagerie, il est souhaitable d'utiliser un matériau composite qui est généralement constitué d'une matière piézoélectrique et d'une matière non piézoélectrique. Ces matériaux composites donnent de meilleures performances piézoélectriques que des matières piézoélectriques monolithiques. Il convient de réduire le plus possible les dimensions des différents éléments piézoélectriques qui constituent le composite afin de permettre un fonctionnement à de plus hautes fréquences, ce qui assure à son tour une plus grande définition de l'image obtenue. Les procédés à découpage en dés et remplissage selon la technique antérieure pour fabriquer des transducteurs piézoélectriques atteignent généralement une limite de définition lorsqu'on réduit les dimensions des colonnes dans les transducteurs piézoélectriques. De plus, les procédés de fabrication de sondes selon la technique antérieure, notamment les procédés à découpage et remplissage, se limitent à la création de saignées rectilignes entre les colonnes transductrices, ce qui limite l'espace théorique disponible pour le transducteur, par exemple limite les agencements de colonnes transductrices, les formes de section transversale et

empêche de réaliser des éléments transducteurs tridimensionnels à forme libre.

Le fonctionnement selon la technique antérieure de sondes à ultrasons à des fréquences supérieures est obtenu en partie en réduisant l'épaisseur du matériau transducteur et en réduisant corrélativement la section transversale x-y des colonnes piézoélectriques constituant le transducteur. Cette opération a pour conséquence une augmentation du temps de découpage pour terminer la fabrication du transducteur. De plus, le rendement de fabrication du procédé à découpage et remplissage pour la fabrication de transducteurs à haute fréquence est globalement plus faible, en comparaison du rendement de fabrication de transducteurs à fréquence plus basse fabriqués selon la technique antérieure, en raison du plus grand risque de rupture des colonnes piézoélectriques qui sont alors plus minces. De plus, les procédés de fabrication selon la technique antérieure peuvent produire des transducteurs qui amènent une ou plusieurs longueurs d'ondes ultrasonores de cisaillement à se propager dans la structure composite. Les ondes de cisaillement ont pour effet des contraintes de conception pour les sondes et provoquent des parasites acoustiques tels que des bourdonnements dans les sondes.

Selon un premier aspect, il est proposé une structure transductrice céramique composite destinée à servir à élaborer une sonde à ultrasons. La structure comporte un substrat et une pluralité de colonnes transductrices piézoélectriques. Les différentes colonnes transductrices piézoélectriques sont formées d'une manière maîtrisable sur le substrat en une pluralité d'emplacements situés dans un plan X-Y du substrat. Les différentes colonnes piézoélectriques ont diverses formes définies dans un volume X-Y-Z du substrat, les différentes colonnes transductrices piézoélectriques

étant conçues pour contribuer à limiter le plus possible les ondes de cisaillement dans la sonde à ultrasons.

Selon un autre aspect, il est proposé un procédé pour fabriquer une structure transductrice céramique destinée à servir à construire une sonde à ultrasons. Le procédé comporte la formation d'une couche de substrat et la formation d'une couche par-dessus la couche de substrat, la couche comprenant un matériau transducteur et un photopolymère. Le procédé comporte en outre l'exposition d'une pluralité de zones choisies de la couche à un motif lumineux programmable pour faire durcir d'une manière maîtrisable les zones choisies de la couche dans le but de faciliter la formation d'une pluralité de colonnes transductrices piézoélectriques. Les colonnes transductrices piézoélectriques comprennent une pluralité de positions situées dans un plan X-Y du substrat et ayant une pluralité de formes dans un volume X-Y-Z du substrat. Les colonnes transductrices piézoélectriques sont conçues pour contribuer à limiter le plus possible les ondes de cisaillement et à conserver des ondes longitudinales dans la sonde à ultrasons.

Selon encore un autre aspect, il est proposé une sonde à ultrasons. La sonde comporte un substrat et une pluralité de colonnes transductrices piézoélectriques formées d'une manière maîtrisable sur le substrat. Les colonnes sont formées à une pluralité d'emplacements dans un plan X-Y du substrat, les différentes colonnes piézoélectriques ayant une pluralité de formes définies dans un volume X-Y-Z du substrat. Les différentes colonnes transductrices piézoélectriques sont conçues pour contribuer à limiter le plus possible les ondes de cisaillement et à conserver des ondes longitudinales dans la sonde à ultrasons. La sonde comporte en outre un agent de remplissage circonscrit autour des colonnes transductrices piézoélectriques sur le substrat. Des

contacts électriques sont couplés à la pluralité de colonnes transductrices piézoélectriques pour faciliter la conversion d'énergie électrique en énergie ultrasonore.

5 L'invention sera mieux comprise à l'étude détaillée de quelques modes de réalisation pris à titre d'exemples non limitatifs et illustrés par les dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 représente une vue partielle en coupe d'un exemple de structure transductrice comportant une matrice composée d'une pluralité de colonnes transductrices ;

10 - la figure 2 est un organigramme d'un exemple de procédé de fabrication d'une matrice de colonnes transductrices utilisées avec la structure représentée sur la figure 1 ;

15 - la figure 3a illustre un exemple de système à suspension épaisse, qui peut être employé dans la fabrication de colonnes transductrices utilisées avec la structure représentée sur la figure 1 ;

- la figure 3b représente une autre vue du processus utilisant le système à suspension épaisse représenté sur la figure 3a ;

20 - la figure 4 représente un exemple de système de modulation de lumière qui peut être employé dans la fabrication de colonnes transductrices utilisées avec la structure représentée sur la figure 1 ;

- la figure 5a illustre une utilisation du système de modulation de lumière représenté sur la figure 4 pour fabriquer un exemple de motif lumineux ;

25 - la figure 5b représente une autre vue illustrant une utilisation du système de modulation de lumière représenté sur la figure 4 ;

- la figure 5c représente une autre vue illustrant une utilisation du système de modulation de lumière représenté sur la 30 figure 4 ;

- la figure 5d représente une autre vue illustrant une utilisation du système de modulation de lumière représenté sur la figure 4 ;
 - la figure 6 représente une vue en perspective de la structure présentée sur la figure 1 ;
 - la figure 7 représente une vue latérale d'exemples de colonnes transductrices pour la structure présentée sur la figure 6 ;
 - la figure 8 représente une autre vue latérale d'exemples de colonnes transductrices utilisables avec la structure présentée sur la figure 6 ;
 - la figure 9 représente une vue en plan d'un exemple de matrice de colonnes transductrices utilisable avec la structure présentée sur la figure 6 ;
 - la figure 10 représente une vue en perspective de la matrice de colonnes transductrices présentée sur la figure 9 ; et
 - la figure 11 représente une vue latérale partielle d'un exemple de sonde dotée d'une matrice de colonnes transductrices.
- La figure 1 représente une vue en coupe d'un exemple de structure transductrice 10 comportant une matrice 12 composée d'une pluralité de colonnes transductrices 14 disposées sur un substrat 16. La figure 2 est un organigramme de procédé 200 qui peut être employé pour fabriquer la matrice 12 de colonnes transductrices 14. Dans l'exemple illustré, le procédé 200 comporte la formation -étape 202- d'une couche 18 (représentée sur la figure 3) sur le substrat 16. Le substrat 16 peut comprendre des matières telles que, mais d'une manière nullement limitative, une matière plastique, du verre, du mica, des métaux, des céramiques et/ou des combinaisons de ceux-ci. La couche 18 est faite de matières telles que, mais d'une manière nullement limitative, un matériau transducteur ultrasonore et un polymère photodurcissable. Le

matériau transducteur ultrasonore peut comprendre une ou plusieurs matières conductrices et/ou une ou plusieurs matières piézoélectriques et/ou une ou plusieurs matières acoustiques.

Dans l'exemple illustré, une pluralité de zones choisies de la 5 couche 18 sont exposées –étape 204- à un système de lumière programmable 30 (représenté sur la figure 4). Ensuite, les zones choisies de la couche 18 sont durcies – étape 206- pour former des zones transductrices ultrasonores polymérisées et des zones non exposées de la couche 18 sont éliminées sélectivement –étape 208- 10 pour créer un agencement voulu de colonnes transductrices ultrasonores polymérisées 14. Le procédé 200 comporte également le déliançage –étape 210- des colonnes transductrices ultrasonores polymérisées 14 afin d'éliminer sélectivement des polymères organiques, puis un frittage – étape 212- de l'agencement des 15 colonnes transductrices ultrasonores polymérisées 14 afin d'obtenir une matrice voulue 12 de colonnes transductrices ultrasonores 14.

La figure 3a illustre un exemple de système à suspension épaisse 20 utilisable pour élaborer la couche 18. La figure 3b représente une autre vue d'un procédé utilisant le système à 20 suspension épaisse représenté sur la figure 3a. N'importe quel procédé de fabrication adéquat pour former de fines couches uniformes peut être utilisé pour former la couche 18. Dans l'exemple illustré, un distributeur 24 du système à suspension épaisse 20 dépose un cordon 26 de suspension épaisse 22 sur le 25 substrat 16, la suspension épaisse 22 contenant le matériau transducteur et le matériau photopolymère. Les dimensions du cordon 26 de suspension épaisse et/ou la vitesse de formation du cordon 26 peuvent être régulées d'après des caractéristiques prédéterminées de la structure 10. Pendant la fabrication, une lame 30 18 balaye d'une manière maîtrisable la suspension épaisse 22 pour

contribuer à former une couche 18 ayant des dimensions et une forme voulues. D'autres systèmes appropriés (non illustrés) utilisables pour élaborer la couche 18 comprennent, d'une manière nullement limitative, une technique à lame de couteau, une 5 technique à racle et la sérigraphie, qui sont des techniques connues.

Dans l'exemple illustré, la couche 18 comprend la matière piézoélectrique 15 et le polymère photodurcissable 17. N'importe quelle matière piézoélectrique appropriée peut être employée pour élaborer la couche 18. Par exemple, les matières piézoélectriques 10 peuvent comprendre, mais d'une manière nullement limitative, le zirconate-titanate de plomb, le métaniobate de plomb, le niobate de lithium, le titanate de bismuth, le titanate de plomb et/ou des combinaisons de ceux-ci. On peut citer comme autres matières piézoélectriques nullement limitatives le niobate de plomb et de 15 magnésium, le niobate de plomb et de zinc, le niobate de plomb et de nickel, l'oxyde de bismuth et de scandium et/ou des combinaisons de ceux-ci. Dans l'exemple illustré, la matière piézoélectrique comprend du zirconate-titanate de plomb (PZT). Dans une autre forme de réalisation, la couche 18 peut également 20 comprendre n'importe quel matériau conducteur approprié et un photopolymère. Par exemple, un matériau conducteur approprié peut comprendre, d'une manière nullement limitative, du platine, du palladium, des alliages platine-palladium et/ou des combinaisons de ceux-ci. N'importe quel polymère photodurcissable compatible avec 25 le ou les matériaux transducteurs ultrasonores peut servir à former la couche 18. Par ailleurs, n'importe quel matériau photodurcissable qui polymérise lorsqu'il est exposé à une lumière d'une répartition donnée de longueur d'onde peut être employé pour élaborer la couche 18.

La figure 4 illustre un exemple de système de modulation de lumière 30 qui peut être employé pour fabriquer une matrice 12 de colonnes transductrices 14 utilisées avec la structure 10. Les figures 5a à 5d illustrent l'utilisation du système de modulation de lumière 5 représenté sur la figure 4 pour la fabrication d'un exemple de motif lumineux. Dans une forme de réalisation, un modulateur spatial 34 de lumière est déplacé d'une manière systématique pour découvrir la couche 18, à l'aide d'une technique de fabrication "à balayage pas à pas". Pendant la fabrication, une pluralité de zones choisies 19 de la 10 couche 18 sont exposées -étape 204- à de la lumière dotée d'une répartition d'intensité et de longueurs d'onde prédéterminées, qui permet d'amorcer un processus de polymérisation. Le système 30 comporte un ordinateur 32 qui fournit des signaux numériques de commande afin de commander l'intensité de la lumière de modulation et/ou l'orientation du modulateur spatial 34 de lumière pour contribuer à créer un motif lumineux prédéterminé 36 sur la couche 18. Dans une forme de réalisation, le motif lumineux programmable 36 est commandé numériquement. L'ordinateur 32 génère des signaux électroniques de commande et le modulateur 20 spatial 34 de lumière projette le motif lumineux prédéterminé 36 sur la pluralité de zones choisies 19 de la couche 18 afin d'exposer et de durcir -étape 206-ces zones choisies 19 de la couche 18. Chaque couche 18 est exposée au motif lumineux 36 programmable numériquement et la réalisation d'images d'éléments individuels est 25 obtenue de manière dynamique par commande informatique. Un motif numérique 38 représentant la section transversale de la structure à fabriquer est projeté sur la couche 18. Le modulateur spatial 34 de lumière provoque un durcissement sélectif -étape 206- du photopolymère présent dans la zone choisie 19 de la couche 18 30 pour réaliser des zones polymérisées dans la couche 18.

Comme illustré le plus clairement sur les figures 5a à 5d, pendant la fabrication, le modulateur spatial 34 de lumière est mobile dans un plan globalement horizontal suivant des axes X et Y afin d'émettre le motif lumineux 36 à programmation numérique suivant un motif d'exposition voulu 42 sur la couche 18. Le modulateur spatial de lumière 34 peut également être mobile suivant un axe Z perpendiculaire aux précédents. Par exemple, le modulateur spatial de lumière 34 peut être déplacé suivant l'axe X afin de produire un premier motif d'exposition 44 sur au moins une partie de la couche 18 et déplacé suivant l'axe Y afin de produire un motif d'exposition différent 46 sur au moins une partie de la couche 18. De même, le modulateur spatial 34 de lumière peut être déplacé suivant l'axe Z afin de produire encore un autre motif d'exposition 48 sur au moins une autre partie de couche 18 située dans un plan différent par rapport à l'axe Z. L'utilisation de cette technique à balayage pas à pas facilite la fabrication de parties plus grandes à l'aide de masques numériques plus petits, à haute résolution.

Le procédé 200 comporte ensuite une étape dans laquelle on élimine sélectivement –étape 208- des zones non exposées 21 de la couche 18 afin de produire un agencement voulu de colonnes transductrices polymérisées 14. Ensuite, la matrice 12 de colonnes transductrices polymérisées 14 est soumise à un déliançage –étape 210- afin d'éliminer des polymères organiques. Enfin, dans l'exemple illustré, le procédé 200 comporte une étape de frittage 212 des colonnes transductrices polymérisées 14 afin d'obtenir la matrice voulue 12 de colonnes transductrices ultrasonores 14 espacées sur l'ensemble du substrat 16 (comme représenté sur la figure 1). Les colonnes transductrices 14 peuvent être disposées suivant n'importe quel espacement maîtrisé et/ou peuvent être fabriquées de manière indépendante avec des dimensions physiques

différentes et/ou des formes différentes. Les colonnes transductrices
14 peuvent être formées d'une manière maîtrisable à des coûts
réduits en choisissant un espacement quelconque et/ou avoir
n'importe quelles dimensions et/ou formes physiques pour obtenir
5 un arrangement quelconque en trois dimensions qui permet à la
structure 10 de fonctionner de la manière décrite ici.

Le procédé permettant de contrôler la formation et
l'agencement des colonnes transductrices 14, contribue à améliorer
la définition atteinte par une sonde (telle que la sonde 50
10 représentée sur la figure 11) en limitant fortement voire en
supprimant quasiment les longueurs d'onde circulant dans le
transducteur et correspondant à des ondes de cisaillement se
propageant dans la matrice 12. Les colonnes transductrices 14
peuvent avoir n'importe quelles configuration et/ou orientation et/ou
15 dimensions, ce qui contribue à limiter fortement voire à supprimer
les ondes de cisaillement dans la matrice 12 ; cela contribue à
maintenir et/ou à accentuer les ondes longitudinales dans la matrice
12 et/ou cela contribue à améliorer la définition atteinte par la
sonde 50.

20 Dans une forme de réalisation, la pluralité de colonnes
transductrices 14 est formée et agencée d'une manière maîtrisable
sur le substrat 16. Les différentes colonnes transductrices 14 sont
formées en ayant une pluralité d'emplacements situés dans le plan
X-Y du substrat 16. Par ailleurs, les différentes colonnes
25 transductrices 14 sont formées en ayant une pluralité de formes
définies dans le volume X-Y-Z du substrat 16. Les différentes
positions et les différentes formes des colonnes transductrices 14
sont conçues pour contribuer à limiter le plus possible les ondes de
cisaillement et pour contribuer à préserver la transmission des
30 ondes longitudinales dans la matrice 12. Dans une forme de

réalisation, les positions et/ou les formes des colonnes transductrices 14 sont conçues pour favoriser les interférences destructives entre les ondes de cisaillement générées par les colonnes 14 et se propageant dans et/ou parmi les colonnes 14, 5 voire l'annulation de ces ondes de cisaillement. Dans l'exemple illustré, les positions et/ou les formes des colonnes transductrices 14 contribuent en outre à réduire l'amplitude des ondes de cisaillement se propageant dans ou parmi les colonnes 14. Les différentes positions et formes contribuent à améliorer les 10 propriétés piézoélectriques et les propriétés acoustiques d'une sonde telle que la sonde 50 (représentée sur la figure 11).

La figure 6 représente une vue en perspective de la structure 10 comportant la matrice 12 de colonnes transductrices 14, formée et agencée d'une manière maîtrisable. Dans une forme de 15 réalisation, les différentes positions des colonnes transductrices 14 comprennent un agencement périodique des différentes colonnes transductrices 14 sur le substrat 16. Selon une autre possibilité, les différentes positions des colonnes transductrices 14 comprennent un agencement apériodique de la pluralité de colonnes transductrices 20 14 sur le substrat 16. Dans une forme de réalisation, les différentes positions des colonnes transductrices 14 situées sur le substrat 16 correspondent à au moins une portion de structure composite parmi les structures couramment référencées 0-3, 3-0, 1-3, 3-1, 3-3 et 2-2.

Dans l'exemple illustré, les colonnes transductrices 14 sont 25 placées de telle façon qu'un espace 52 est défini entre les colonnes transductrices adjacentes 14. Dans une forme de réalisation, l'espace 52 est le même entre au moins une des colonnes transductrices 14 et les colonnes transductrices adjacentes 14. Dans une autre forme de réalisation, l'espace 52 est inégal 30 entre au moins une des colonnes transductrices 14 et deux colonnes

transductrices adjacentes 14. Dans une forme de réalisation, l'espacement 52 entre les colonnes transductrices 14 est compris entre environ 5 micromètres et environ 50 micromètres. Chaque colonne transductrice 14 a une extrémité proximale 54, une 5 extrémité distale 56 et un corps 58 qui s'étend entre celles-ci. L'extrémité proximale 54 est montée sur le substrat 16 et le corps s'étend depuis le substrat 16 à partir de l'extrémité proximale 54. Dans l'exemple illustré, au moins une des différentes colonnes transductrices 14 a un corps 58 doté d'une configuration 10 sensiblement uniforme 60. Plus particulièrement, dans la présente invention, la configuration uniforme 60 comprend un profil latéral sensiblement lisse et/ou un profil latéral à motif sensiblement uniforme (non représenté) avec des déviations de profil mineures en coupe transversale le long du corps 58. Par ailleurs, dans la 15 présente invention, la configuration uniforme 60 comprend des zones à section transversale sensiblement similaire pour les corps 58.

Dans une autre forme de réalisation, les différentes formes pour la pluralité de colonnes transductrices 14 comprennent une 20 section transversale différente pour au moins une colonne transductrice 14 de la pluralité de colonnes transductrices 14. En outre, dans une forme de réalisation, les différentes formes pour la pluralité de colonnes transductrices 14 comprennent une forme de profil latéral différente pour au moins une colonne transductrice 14 25 de la pluralité de colonnes transductrices 14.

Dans l'exemple illustré, au moins un corps 58 de la pluralité de colonnes transductrices 14 a une forme non orthogonale 62 telle que, mais de manière nullement limitative, une forme en colonne à section transversale sensiblement circulaire. Dans une forme de 30 réalisation, un diamètre 64 d'un tel élément transducteur 14 est

compris entre environ 1 micromètre et environ 50 micromètres. Dans l'exemple illustré, les corps 58 ont chacun une hauteur sensiblement égale 66 mesurée entre les extrémités 54 et 56. Dans l'exemple illustré, la hauteur 66 de chaque élément transducteur est 5 comprises entre environ 5 micromètres et environ 150 micromètres. En outre, dans l'exemple illustré, le corps 58 a un rapport hauteur/largeur d'au moins 2/1. Selon une autre possibilité, au moins un corps 58 est doté d'une hauteur 66 différente de celle des autres corps 58 de la pluralité de colonnes transductrices 14 de la 10 matrice 12.

La figure 7 représente une vue latérale d'exemples de colonnes transductrices 14 pour la structure représentée sur la figure 6. Dans l'exemple illustré, au moins une colonne transductrice 14 peut avoir une densité 68 différente de celle des autres colonnes transductrices 14 de la pluralité de colonnes transductrices 14. Selon une autre possibilité, chaque colonne transductrice 14 de la pluralité de colonnes transductrices 14 peut avoir sensiblement la même densité. La structure de densité de 15 chaque colonne transductrice 14 contribue à limiter fortement ou à sensiblement éliminer les ondes de cisaillement du transducteur ultrasonore se propageant dans la matrice 12. La colonne transductrice 14 peut être dotée de n'importe quelle distribution de densité qui contribue à supprimer les ondes de cisaillement se propageant dans ou parmi les colonnes 14 de la matrice 12. Une 20 colonne transductrice 14 peut être dotée de toute distribution de densité contribuant à conserver des ondes longitudinales se propageant dans ou parmi les colonnes 14 de la matrice 12. Par ailleurs, dans une forme de réalisation, chaque colonne transductrice 14 de la pluralité de colonnes transductrices 14 peut 25 avoir une distribution uniforme de la densité ou une distribution 30

non uniforme de la densité. Une colonne transductrice 14 peut également comporter des structures telles que, mais de manière nullement limitative, des trous borgnes et des trous traversants répartis dans la colonne transductrice 14.

5 La figure 8 représente une vue latérale d'un exemple d'élément transducteur 14 doté d'une forme non orthogonale 70. Dans l'exemple illustré, l'élément transducteur 14 possède une forme en colonne définie par une section transversale hexagonale. Dans l'exemple illustré, une longueur 72 de chaque côté 73 de 10 l'élément transducteur 14 est d'environ 1 micromètre à environ 50 micromètres et chaque élément transducteur 14 a une hauteur 74 d'environ 5 micromètres à environ 150 micromètres, mesurée à partir du substrat 16.

15 La figure 9 représente une vue en plan d'un exemple de matrice 76 de colonnes transductrices 14 disposées sur le substrat 16 représenté sur la figure 6. La figure 10 représente une vue en perspective de la matrice 76. Dans l'exemple illustré, les colonnes transductrices 14 de la matrice 76 sont dotées d'une forme non orthogonale, notamment, mais d'une manière nullement limitative, 20 une forme en colonne définie par une section transversale sensiblement circulaire. Selon une autre possibilité, les colonnes transductrices 14 de la matrice 76 peuvent être dotées d'autres formes non orthogonales (non représentées) telles que, d'une manière nullement limitative, des formes de section transversale 25 hexagonales. Selon une variante de réalisation, des colonnes transductrices 14 de la matrice 76 peuvent être dotées d'une forme orthogonale (non représentée).

30 Comme représenté, au moins certaines colonnes transductrices 14 sont dotées de dimensions physiques différentes dans la matrice 76 en comparaison d'autres colonnes transductrices

14 de la matrice 76. Plus particulièrement, dans l'exemple illustré,
la matrice 76 comprend une pluralité de colonnes transductrices 78
dotées d'une plus grande section transversale que d'autres colonnes
transductrices 84 de la matrice 76. De plus, dans une forme de
5 réalisation, chaque élément transducteur 78 de la matrice 76 a un
diamètre 80 plus grand qu'un diamètre 82 de chaque élément
transducteur adjacent 84. Dans l'exemple illustré, chaque diamètre
80 est plus grand d'environ 30 % à 50 % que chaque diamètre 82.

Dans la matrice 76, chaque élément transducteur 78 est placé
10 entre une paire 79 de colonnes transductrices 84 et un groupe 81
d'autres colonnes transductrices 84. Le groupe 81 de colonnes
transductrices 84 peut comprendre une pluralité de colonnes
transductrices 84. Dans une forme de réalisation, le groupe 81
comprend quatre colonnes transductrices 84. Dans l'exemple
15 illustré, l'espacement 83 défini entre les colonnes transductrices
adjacentes 84 est d'environ 5 micromètres à environ 50
micromètres. En outre, l'espacement 85 défini entre l'élément
transducteur 78 et chaque élément transducteur adjacent 84 est
d'environ 5 micromètres à environ 50 micromètres. L'orientation de
20 la matrice 76 et la forme et/ou les dimensions des colonnes
transductrices 78 et 84 contribuent à limiter fortement ou à
sensiblement supprimer la propagation d'ondes de cisaillement dans
ou parmi les colonnes transductrices 14 de la structure transductrice
10. Par ailleurs, l'orientation de la matrice 76 et la forme et/ou la
25 forme des colonnes transductrices 78 et 84 contribuent à maintenir
la propagation d'ondes longitudinales dans ou parmi les colonnes
transductrices 14 de la structure transductrice 10. De plus,
l'orientation de la matrice 76 et la forme et/ou les dimensions des
colonnes transductrices 78 et 84 contribuent à réduire
30 l'encombrement de la structure 10 pour permettre à une sonde telle

que la sonde 50 (représentée sur la figure 11) de fonctionner à de plus hautes fréquences que des sondes à espacement et/ou orientation et/ou forme selon la technique antérieure. Par ailleurs, l'orientation de la matrice 76 et la forme et/ou les dimensions des 5 colonnes transductrices 78 et 84 contribuent à améliorer la définition des images obtenues par la sonde 50.

La figure 11 représente une vue latérale partielle d'un exemple de sonde 50 pourvue d'une matrice 12 de colonnes transductrices 14. La sonde 50 comporte une matrice 12 de colonnes transductrices 14 avec des électrodes 86 montées sur chaque face supérieure 88 et permettant le couplage électrique de la sonde 50 à une source d'électricité (non représentée). Les colonnes 14 convertissent l'énergie électrique en énergie ultrasonore. La sonde 50 comporte également un agent de remplissage 92 qui entoure la 10 pluralité de colonnes transductrices 14 sur le substrat 16. Dans l'exemple illustré, l'agent de remplissage 92 comprend une matière époxie qui maintient groupées les colonnes transductrices et supporte la matière de l'électrode entre les colonnes 14, ce qui crée 15 un matériau composite à impédance acoustique inférieure à celle de matières céramiques monolithiques et un plus grand facteur de 20 couplage. Cette configuration permet un couplage acoustique plus efficace entre la colonne transductrice 14 et le sujet (non représenté) examiné par la sonde 50.

Au sens de la présente invention, l'expression "maîtrisé ou 25 agencé", lorsqu'elle est utilisée dans le contexte d'une présentation d'un ou de plusieurs élément constitutifs de la structure et/ou d'une colonne transductrice et/ou de la sonde, peut faire référence à une géométrie physique et/ou des dimensions et/ou une orientation des colonnes transductrices définie(s) de manière indépendante par 30 l'utilisateur ou définie(s) puis mise(s) en œuvre à l'aide d'un

programme. L'expression peut également faire référence à, et inclure, la situation dans laquelle l'agencement des colonnes transductrices de la sonde, défini par l'utilisateur, est par exemple non uniforme et/ou uniforme. Cet agencement peut être 5 apériodique/aléatoire sur des distances maîtrisées ou sur des distances aléatoires. Le terme "colonne", lorsqu'il est utilisé dans le contexte d'une présentation d'un ou de plusieurs éléments constitutifs de la structure et/ou d'une colonne transductrice et/ou de la sonde, peut faire référence à n'importe quels éléments en 10 matières piézoélectriques.

Les formes de réalisation décrites ici permettent des géométries et/ou des orientations et/ou des espacements pour des colonnes transductrices afin de contribuer à limiter fortement et/ou à supprimer des ondes de cisaillement et à maintenir des ondes 15 longitudinales, ce qui améliore à son tour les performances de la sonde correspondante en comparaison avec les performances de sondes comprenant des colonnes transductrices selon la technique antérieure. Les formes de réalisation décrites ici comprennent des colonnes à section transversale orthogonale dans les plans x-y, x-z 20 ou y-z, par exemple une section transversale circulaire et hexagonale. Des sections transversales non orthogonales sont proposées, qui contribuent en outre à limiter fortement ou à sensiblement éliminer les ondes de cisaillement générées par l'application d'un potentiel électrique dans la structure. La forme de 25 réalisation décrite ici offre en outre la possibilité de produire des colonnes transductrices dont la géométrie peut être modulée selon trois dimensions, à, pour obtenir des coefficients de couplage électromécaniques améliorés plus élevés, une adaptation d'impédance acoustique améliorée entre le transducteur et l'article à

inspecter, et de meilleures caractéristiques de résonance au moyen d'une fabrication rentable.

Les formes de réalisation décrites ici donnent une structure destinée à servir avec une sonde transductrice. Les intervalles de dimensions indiqués peuvent être appliqués aux intervalles physiques compris dans les intervalles mentionnés. Les intervalles de dimensions proposées pour les colonnes transductrices contribuent à réduire l'encombrement de l'élément transducteur pour permettre à la sonde de fonctionner à des fréquences plus élevées.
5 De plus, les intervalles de dimensions proposées pour l'élément transducteur contribuent à améliorer la définition des images obtenues par la sonde.

Un effet technique des formes de réalisation décrites ici comprend la matrice de colonnes transductrices maîtrisée qui contribue à limiter fortement ou à supprimer la propagation d'ondes de cisaillement dans la matrice de la structure transductrice. Un autre effet technique de la matrice de colonnes transductrices décrite ici est qu'elle contribue à réduire l'encombrement de l'élément transducteur, ce qui facilite le fonctionnement de la sonde à des fréquences plus élevées. Un autre effet technique de la matrice de colonnes transductrices est qu'elle contribue à améliorer la définition des images obtenues par la sonde.
10
15
20

Liste des repères

10	Structure
12	Matrice
14	Colonne transductrice
16	Substrat
200	Procédé
18	Couche fonctionnelle
202	Formation d'une couche fonctionnelle
204	Exposition d'une pluralité de zones choisies
206	Durcissement de zones choisies de la couche fonctionnelle
208	Elimination de zones non exposées de la couche fonctionnelle
210	Déliantage d'une matrice d'éléments transducteurs
212	Frittage de la matrice d'éléments transducteurs
20	Système à suspension épaisse
22	Suspension épaisse
24	Distributeur
26	Cordon
28	Lame
30	Système à modulateur
32	Ordinateur
34	Modulateur de lumière
36	Motif de lumière
38	Motif numérique
42	Motif
44	Motif
46	Motif

48	Motif
50	Sonde
52	Espacement apériodique
54	Extrémité proximale
56	Extrémité distale
58	Corps
60	Configuration uniforme
62	Forme non orthogonale
64	Diamètre
66	Hauteur
68	Vide
70	Forme hexagonale
72	Longueur
73	Côté
74	Hauteur
76	Matrice apériodique
78	Elément transducteur
79	Paire d'éléments transducteurs 84
80	Diamètre
81	Groupe
82	Diamètre
83	Espacement (entre les éléments transducteurs 84)
84	Elément transducteur
85	Espacement (entre l'élément transducteur 78 et l'élément transducteur 84)
86	Electrodes
88	Côté
92	Agent de remplissage

REVENDICATIONS

1. Structure transductrice céramique composite (10) destinée à la construction d'une sonde à ultrasons (50), ladite structure (10) comportant :

5 un substrat (16) ; et

une pluralité de colonnes transductrices piézoélectriques (14) formées d'une manière maîtrisable sur ledit substrat (16) en une pluralité d'emplacements situés dans un plan X-Y dudit substrat (16), ladite pluralité de colonnes piézoélectriques (14) ayant une pluralité de formes définies dans un volume X-Y-Z dudit substrat (16), ladite pluralité de colonnes transductrices piézoélectriques (14) étant conçues pour contribuer à limiter fortement les ondes de cisaillement dans la sonde à ultrasons (50).

15 2. Structure transductrice céramique composite (10) selon la revendication 1, dans laquelle chaque colonne de la pluralité de colonnes transductrices piézoélectriques (14) comprend une matière céramique piézoélectrique photodurcissable.

20 3. Structure transductrice céramique composite (10) selon la revendication 1, dans laquelle ladite pluralité d'emplacements situés dans le plan X-Y dudit substrat (16) comprend au moins une portion de structure composite (10) parmi les structures référencées 0-3, 3-0, 1-3, 3-1, 3-3 et 2-2.

25 4. Structure transductrice céramique composite (10) selon la revendication 1, dans laquelle ladite pluralité d'emplacements situés dans le plan X-Y dudit substrat (16) comprend un agencement apériodique de ladite pluralité de colonnes transductrices piézoélectriques (14).

5. Structure transductrice céramique composite (10) selon la revendication 1, dans laquelle au moins une colonne de ladite

pluralité de colonnes transductrices piézoélectriques (14) a une section transversale différente de celle des autres colonnes de ladite pluralité de colonnes transductrices piézoélectriques (14).

6. Structure transductrice céramique composite (10) selon la
5 revendication 1, dans laquelle au moins une colonne de ladite pluralité de colonnes transductrices piézoélectriques (14) a un profil latéral différent de celui des autres colonnes de ladite pluralité de colonnes transductrices piézoélectriques (14).

7. Structure transductrice céramique composite (10) selon la
10 revendication 1, dans laquelle au moins une colonne de ladite pluralité de colonnes transductrices piézoélectriques (14) a une hauteur différente de celle des autres colonnes de ladite pluralité de colonnes transductrices piézoélectriques (14).

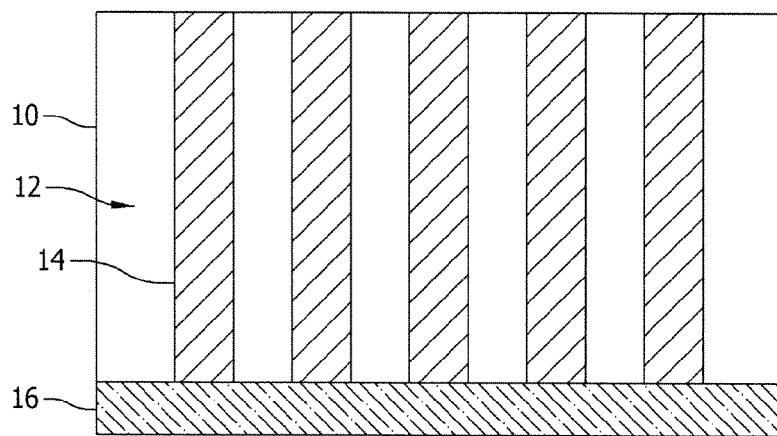
8. Structure transductrice céramique composite (10) selon la
15 revendication 1, dans laquelle au moins une colonne de ladite pluralité de colonnes transductrices piézoélectriques (14) a une densité différente de celle des autres colonnes de ladite pluralité de colonnes transductrices piézoélectriques (14).

9. Structure transductrice céramique composite (10) selon la
20 revendication 1, dans laquelle au moins une colonne de ladite pluralité de colonnes transductrices piézoélectriques (14) a une densité non uniforme.

10. Structure transductrice céramique composite (10) selon
la revendication 1, dans laquelle l'espacement (52) est inégal entre
25 au moins une des colonnes transductrices (14) de ladite pluralité de colonnes transductrices piézoélectriques (14), et deux colonnes transductrices adjacentes à cette colonne.

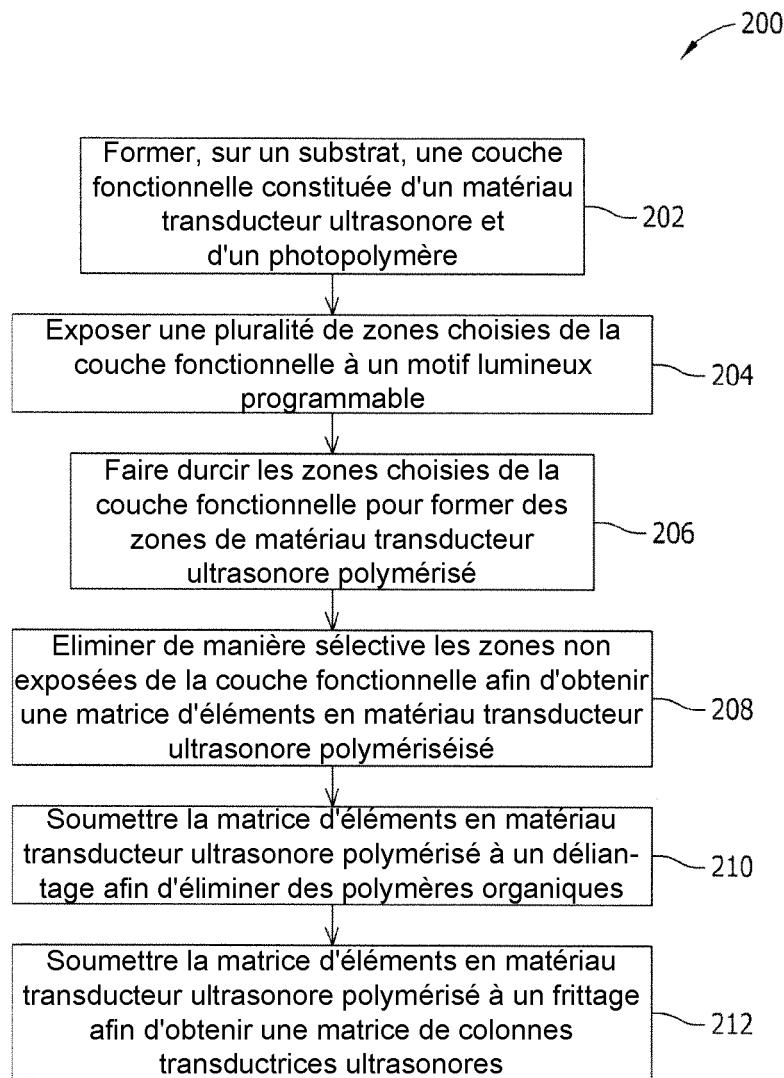
1/9

FIG. 1



2/9

FIG. 2



3/9

FIG. 3A

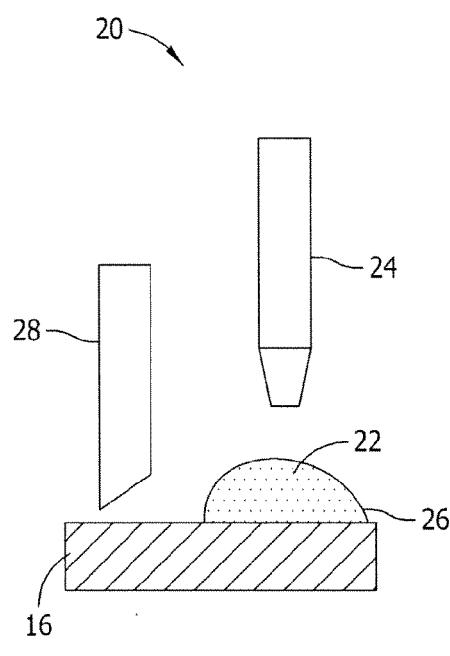
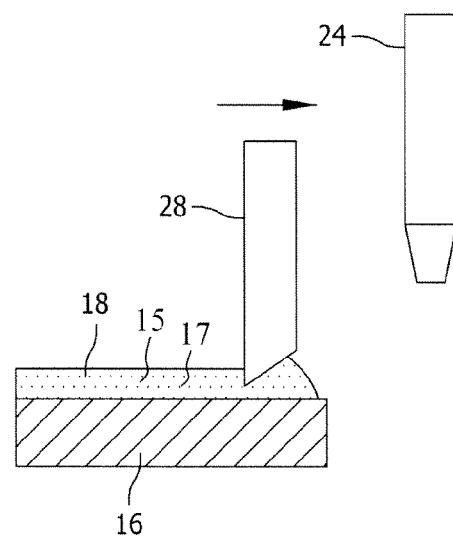
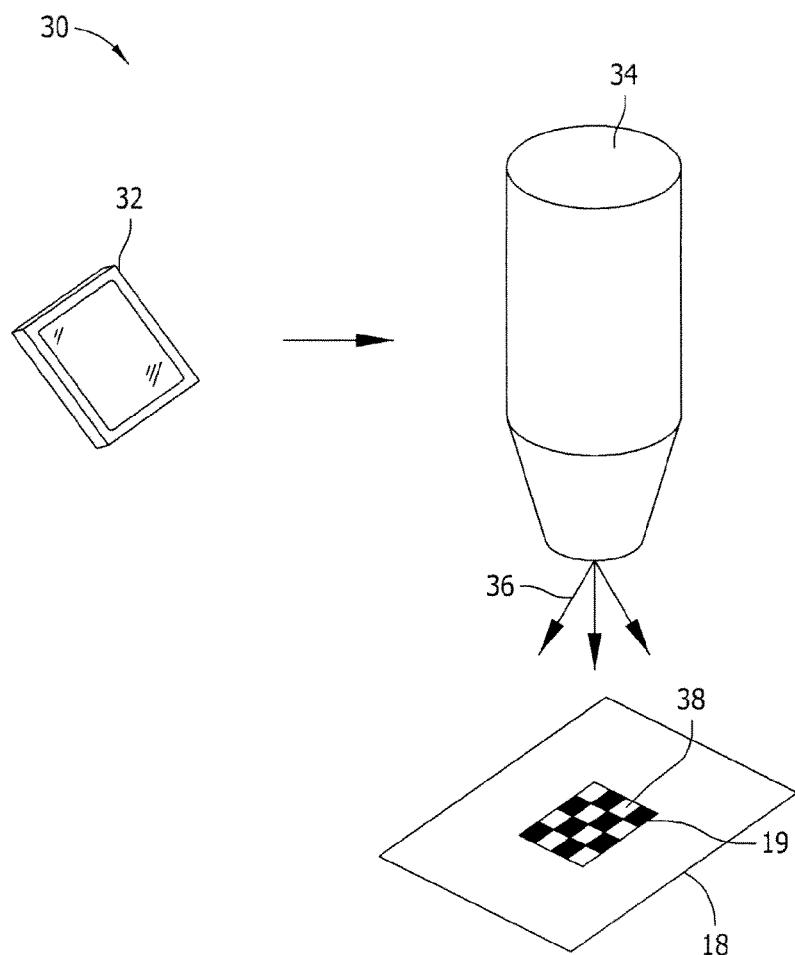


FIG. 3B

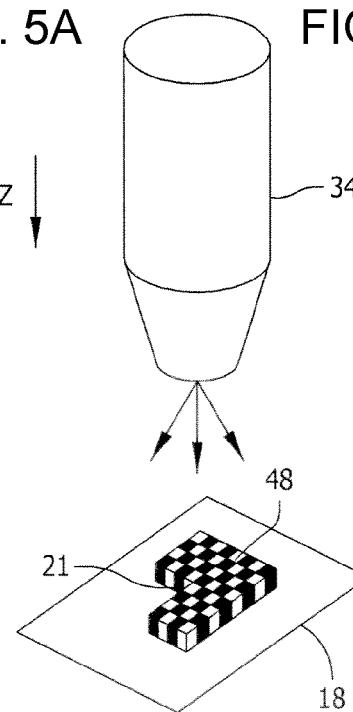
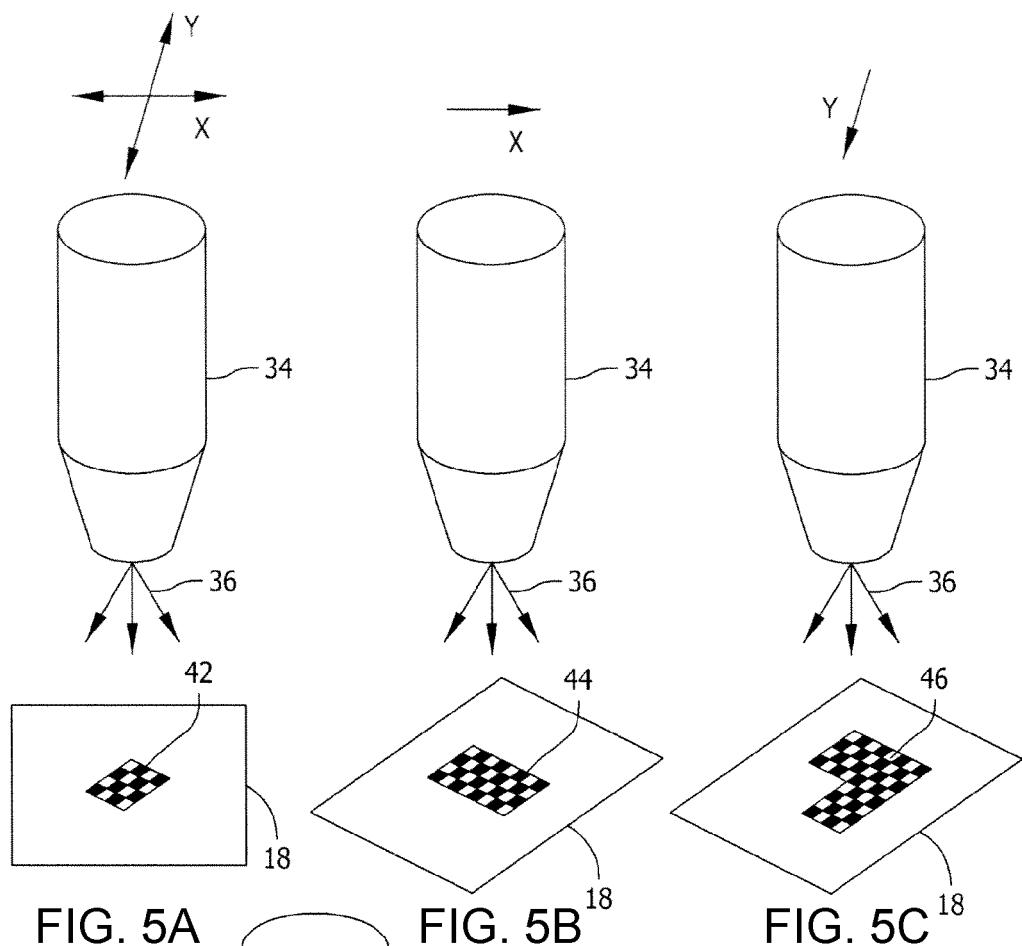


4/9

FIG. 4

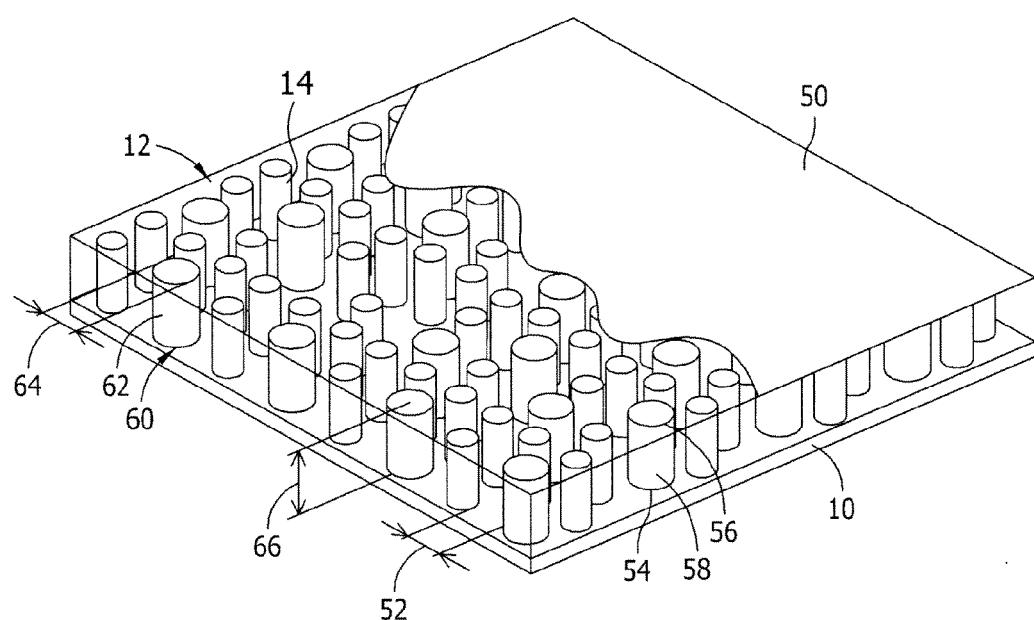


5/9



6/9

FIG. 6



7/9

FIG. 7

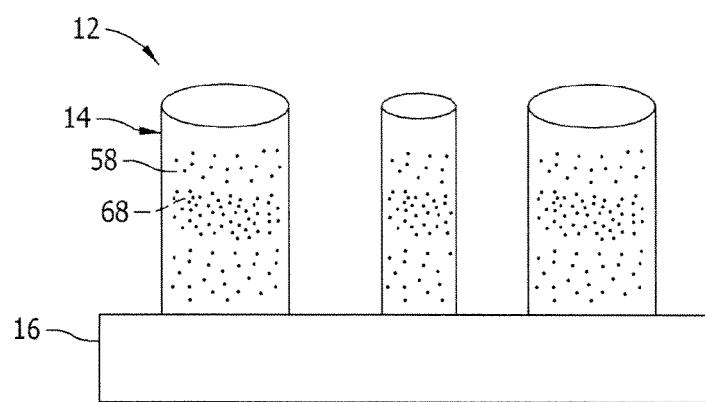
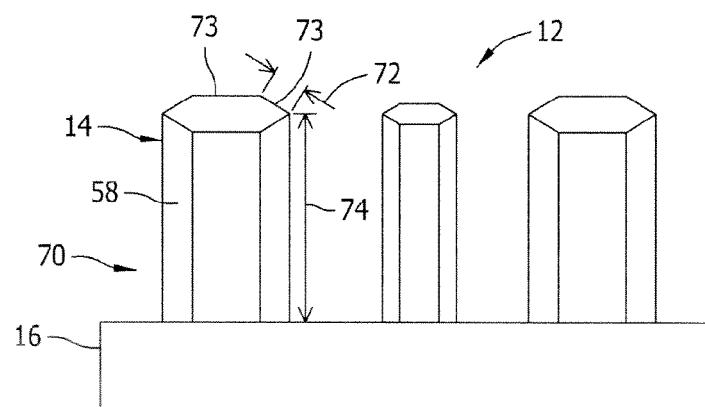


FIG. 8



8/9

FIG. 9

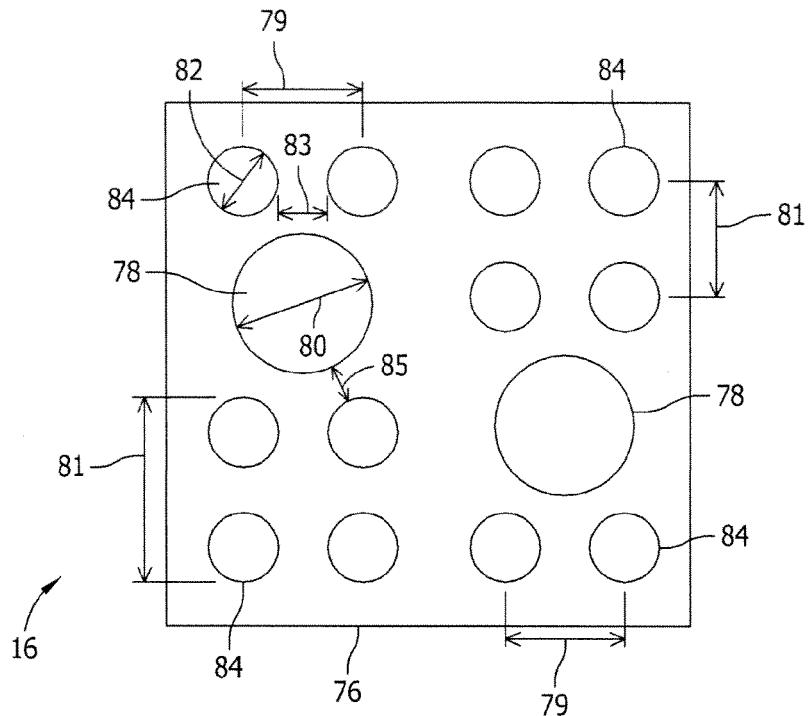
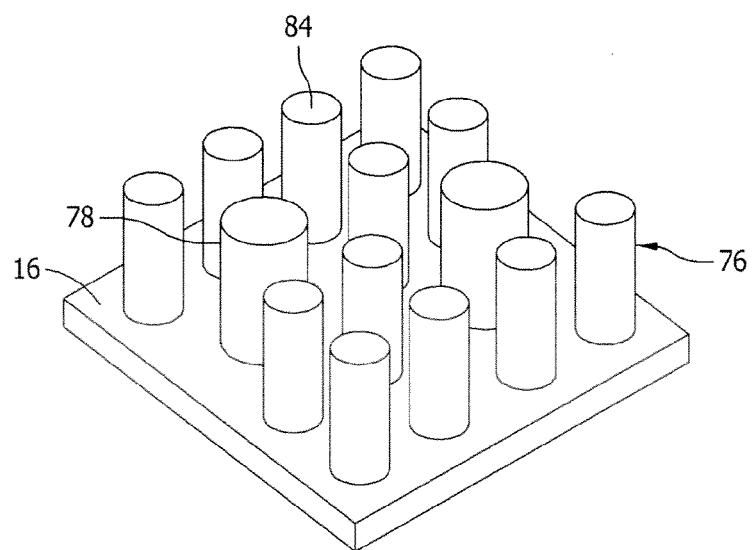


FIG. 10



9/9

FIG. 11

