



(11) **EP 3 015 177 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
13.12.2023 Bulletin 2023/50

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
B06B 1/02 (2006.01) G10K 11/00 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **15192348.9**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
B06B 1/02; G10K 11/002

(22) Date de dépôt: **30.10.2015**

(54) **TRANSDUCTEUR ULTRASONORE À COUCHE DE MICROBALLONS**

ULTRASCHALL-SIGNALWANDLER MIT EINER SCHICHT AUS MIKROBALLONS

ULTRASONIC TRANSDUCER WITH LAYER OF MICROBALLOONS

(84) Etats contractants désignés:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

- **CHUPIN, Laurent**
25620 MAMIROLLE (FR)
- **GUEY, Jean-Luc**
25480 ECOLE-VALENTIN (FR)

(30) Priorité: **03.11.2014 FR 1460554**

(74) Mandataire: **Regimbeau**
87, rue de Sèze
69451 Lyon Cedex 06 (FR)

(43) Date de publication de la demande:
04.05.2016 Bulletin 2016/18

(73) Titulaire: **Imasonic**
70190 Voray sur L'Ognon (FR)

(56) Documents cités:
EP-A1- 0 031 614 EP-A2- 0 589 396
EP-A2- 2 602 788 WO-A2-2008/121238
FR-A1- 2 580 286 US-A- 5 068 902

(72) Inventeurs:
• **FLEURY, Gérard**
25115 POUILLEY LES VIGNES (FR)

EP 3 015 177 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

DOMAINE TECHNIQUE GENERAL ET CONTEXTE DE L'INVENTION

[0001] La présente invention concerne un transducteur ultrasonore, pour émettre et/ou recevoir un faisceau d'ondes ultrasonores. Pour certaines applications biologiques, les ultrasons sont générés avec une forte intensité acoustique, par exemple pour la destruction de tissus cancéreux, la dislocation de caillots sanguins ou de calculs, ou encore la libération de substances chimiques. D'autres applications se placent entre autres dans le domaine industriel, par exemple en sonochimie, dans le domaine de la communication et du transfert d'énergie, dans le domaine sous-marin, dans le domaine pétrolier. Lorsque les ultrasons de puissance sont focalisés, on utilise communément l'acronyme HIFU pour l'anglais "High Intensity Focused Ultrasound".

[0002] Ces ultrasons de forte intensité engendrent des effets physiques ou biophysiques dans les milieux dans lesquels ils sont générés : l'effet peut être thermique ou mécanique et, dans le cadre d'applications biologiques, peut être biophysique en contribuant, par exemple, à l'activation de substances chimiques actives, au transfert de gènes ou au contrôle de perméabilité d'une membrane. Lorsque le faisceau d'ultrasons est focalisé, l'effet est localisé au voisinage du point focal.

[0003] La génération d'ultrasons de forte densité de puissance moyenne par le transducteur cause l'échauffement de celui-ci, dégradant ses performances. De plus, l'échauffement du transducteur peut entraîner sa déformation par dilatation, ce qui peut se traduire par un déplacement du point focal où convergent les faisceaux d'ultrasons dû au changement de géométrie du transducteur. L'échauffement des transducteurs de l'état de la technique et leur manque de rigidité impose la limitation à de faibles niveaux de leur puissance moyenne d'émission par unité de surface. En outre, les transducteurs de l'état de la technique ne donnent pas entière satisfaction, dans la mesure où ceux-ci sont habituellement fragiles.

[0004] Il est habituel de concevoir un transducteur ultrasonore, notamment pour des applications d'imagerie médicales, avec un milieu arrière amortisseur et absorbant. Ce milieu arrière joue principalement un rôle acoustique mais contribue aussi à la tenue mécanique de l'ensemble de la structure du transducteur. Par exemple, la demande de brevet EP 1 542 005 A1 décrit une sonde ultrasonore comportant une couche d'oscillateur piézoélectrique formant un élément actif, comportant vers l'avant des couches d'adaptation acoustique éventuellement poreuses, ainsi qu'une lentille acoustique, avec à l'arrière un milieu amortisseur et absorbant. Ce milieu arrière est directement en contact avec l'élément actif. Il y a alors un couplage acoustique entre l'élément actif et ce milieu arrière et une partie de l'onde ultrasonore est transmise à l'élément arrière et crée des réflexions qui

viennent parasiter l'émission d'ondes ultrasonores et nuisent au rendement du transducteur.

[0005] La demande de brevet WO 2008/121238 A2 propose de prévoir, dans un milieu arrière amortisseur et absorbant, une couche d'absorption pour atténuer les ondes ultrasonores se propageant dans ledit milieu arrière. Cette couche d'absorption est constituée de fibres poreuses tissées. Il y a donc un couplage acoustique entre l'élément actif et ce milieu arrière, et une partie de l'énergie des ondes ultrasonores est transformée en chaleur dans ces fibres, ce qui atténue l'amplitude des ondes dans le milieu arrière. Cependant, cette configuration n'est pas optimale puisque la puissance des ondes ultrasonores émises par l'élément actif est réduite par cette absorption. Par conséquent, le rendement du transducteur est réduit, ce qui empêche les applications de forte puissance. En outre, la couche d'absorption s'oppose aux transferts thermiques permettant d'évacuer la chaleur produite par l'élément actif. Cette chaleur ne peut alors pas être évacuée par le milieu arrière, ce qui est problématique pour les applications de puissance.

[0006] La demande de brevet EP 2 602 788 propose un transducteur ultrasonore, notamment de thérapie, comportant un élément actif pour générer des ondes ultrasonores, et un élément support situé à l'arrière de l'élément actif, l'élément support comportant une face avant complémentaire d'une face arrière de l'élément actif, ledit élément support étant conformé de sorte à ce que la face arrière complémentaire de l'élément actif soit en appui simple sans couplage acoustique significatif avec la face avant dudit élément support, l'élément actif et l'élément support étant couplés thermiquement.

[0007] Un tel transducteur permet d'obtenir un couplage thermique entre l'élément actif et l'élément support sans couplage acoustique. A cette fin, la face avant de l'élément support et la face arrière de l'élément actif sont conformées pour définir entre elles, lorsque l'élément support et l'élément actif sont en appui simple, une couche discontinue de gaz d'une épaisseur suffisamment faible pour favoriser un couplage thermique entre l'élément support et l'élément actif.

[0008] Cependant, la conformation de la face avant de l'élément support et la face arrière de l'élément actif doit alors être finement contrôlée, par exemple via les états de surface, ce qui complexifie la fabrication de ce transducteur. En outre, l'étanchéité du transducteur doit être assurée, afin d'éviter que de l'eau ne remplace l'air dans la couche d'air, ce qui complexifie la fabrication.

PRESENTATION DE L'INVENTION

[0009] La présente invention a pour but de remédier aux inconvénients de l'état de la technique, et notamment de permettre d'obtenir un transducteur sans couplage acoustique entre l'élément actif et l'élément support, tout en restant de conception et de fabrication simple et peu onéreux.

[0010] A cet effet, il est proposé un transducteur ultra-

sonore selon la revendication 1, le transducteur ultrasonore comportant

- un élément actif pour générer et/ou recevoir des ondes ultrasonores, et
- un élément support situé à l'arrière de l'élément actif,

remarquable en ce que le transducteur comporte une couche d'assemblage entre ledit élément actif et ledit élément support, ladite couche d'assemblage comprenant des cavités renfermant du gaz et découplant acoustiquement ledit élément actif et ledit élément support, les cavités étant formées par des microballons renfermant du gaz et la couche d'assemblage comprenant une couche de colle adhérent à l'élément actif et à l'élément support, une couche de microballons étant noyée dans ladite couche de colle.

[0011] L'invention est avantageusement complétée par les caractéristiques suivantes, prises seules ou en une quelconque de leur combinaison techniquement possible:

- la couche d'assemblage présente une épaisseur comprise entre 1 et 120 μm ;
- la couche d'assemblage présente une impédance acoustique apparente à 25°C comprise entre 300 et 150000 Pa.s/m, et de préférence entre 300 et 3000 Pa.s/m;
- la couche de colle comprend une première couche entre la couche de microballons et l'élément actif, et une seconde couche entre la couche de microballons et l'élément support, la seconde couche étant plus épaisse que la première couche;
- la première couche est constituée d'un premier matériau et la seconde couche est constituée d'un second matériau, différent du premier matériau, ledit second matériau présentant une conductivité thermique plus importante ou égale à celle du premier matériau;
- la colle est une résine époxy présentant une dureté inférieure à 90 ShoreA;
- les microballons forment une couche continue;
- la couche de microballons est une monocouche de microballons;
- les microballons présentent une dimension maximale inférieure à 50 μm ;
- l'élément actif et l'élément support sont découplées acoustiquement par la couche d'assemblage de sorte que moins de 10% de l'énergie acoustique produite par l'élément actif est transmise à l'élément support;
- la couche d'assemblage couple thermiquement l'élément actif et l'élément support, de sorte que la résistance thermique de l'interface entre l'élément actif et l'élément support est inférieure à 0,002 $\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$.

[0012] L'invention concerne également des procédés

de fabrication d'un transducteur selon l'invention. Selon une première variante et la revendication 12 :

- on dépose une couche de colle sur au moins une face parmi la face arrière de l'élément actif et la face avant de l'élément support,
- on dépose des microballons sur la couche de colle,
- on assemble la face arrière de l'élément actif et la face avant de l'élément support.

[0013] Selon une autre variante et la revendication 13 :

- on dépose une couche de microballons à enveloppe thermoplastique sur une face parmi la face arrière de l'élément actif et la face avant de l'élément support,
- on assemble la face arrière de l'élément actif et la face avant de l'élément support,
- on chauffe les microballons afin d'obtenir une thermo-soudure des microballons.

PRESENTATION DES FIGURES

[0014] L'invention sera mieux comprise, grâce à la description ci-après, qui se rapporte à un exemple de réalisation préféré, donné à titre d'exemple non limitatif et expliqué avec référence aux dessins schématiques annexés, dans lesquels:

- les figures 1 et 2 sont des schémas illustrant la disposition d'une couche d'assemblage entre un élément actif et un support dans des transducteurs selon des modes de réalisation possible de l'invention;
- les figures 3a à 3d sont des schémas illustrant des étapes de fabrication d'un transducteur selon un mode de réalisation possible de l'invention.

[0015] Sur l'ensemble des figures, les éléments similaires sont désignés par les mêmes références numériques.

DESCRIPTION DETAILLEE

[0016] En référence à la figure 1, le transducteur 1 ultrasonore comporte un élément actif 3 pour générer et/ou recevoir des ondes ultrasonores, et un élément support 4 situé à l'arrière de l'élément actif 3. On entend par arrière de l'élément actif 3 le côté de l'élément actif 3 opposé à la direction dans laquelle l'élément actif 3 émet le faisceau utile d'ondes ultrasonore, cette direction d'émission correspondant à l'avant de l'élément actif 3.

[0017] L'élément actif 3 est généralement constitué principalement d'un matériau piézoélectrique, éventuellement piézocomposite, éventuellement multicouche, et d'un ensemble d'au moins deux électrodes qui permettent de créer un champ électrique dans l'épaisseur du matériau piézoélectrique. De préférence, une ou plusieurs couches d'adaptation acoustique sont intégrées

dans cet élément actif, sur la face avant de l'élément actif 3, pour faciliter le transfert acoustique vers l'avant du transducteur 1.

[0018] L'élément actif 3 peut mettre en oeuvre des phénomènes piézoélectriques. Cependant, l'élément actif 3 peut être tout dispositif électro-acoustique tel qu'un transducteur capacitif, par exemple un transducteur capacitif micro-usiné (ou CMUT pour l'anglais Capacitive Micro-machined Ultrasonic Transducer), un transducteur électrostrictif, ...

[0019] L'élément support 4 sert de référence de forme et de renfort mécanique, permettant notamment au transducteur 1 de résister aux chocs. En outre, en cas de dilatation thermique de l'élément actif 3, en raison de son utilisation ou des conditions extérieures, l'élément support 4 maintient l'élément actif dans une forme utile. L'élément support 4 présente une rigidité supérieure à l'élément actif 3 afin de constituer une référence de forme pour celui-ci.

[0020] Le transducteur comporte une couche d'assemblage 5 entre ledit élément actif 3 et ledit élément support 4. La couche d'assemblage 5 assure l'assemblage de l'élément actif 3 avec l'élément support 4, c'est-à-dire résiste à une force de dépression d'au moins 400 mbar, sans cependant créer de couplage acoustique significatif, et en assurant un certain couplage thermique.

[0021] Le couplage acoustique entre l'élément actif 3 et l'élément support 4 est jugé significatif si plus de 10 % de l'énergie acoustique produite par l'élément actif 3 est transmise à l'élément support 4. L'énergie transmise à l'élément support 4 peut être estimée par comparaison entre l'énergie fournie à l'élément actif 3 et l'énergie acoustique recueillie à l'avant de l'élément actif 3, avec et sans l'élément support 4, en prenant soin de prendre en compte des facteurs additionnels tels que l'énergie thermique ou la dispersion acoustique dans l'air.

[0022] La couche d'assemblage 5 permet cependant un couplage thermique entre l'élément actif 3 et l'élément support 4. Ce couplage thermique permet de drainer la chaleur émise au cours des cycles d'émission d'ondes ultrasonores par l'élément actif 3 depuis celui-ci vers l'élément support 4, autorisant ainsi une puissance accrue d'émission ultrasonore et/ou un fonctionnement prolongé.

[0023] Le couplage thermique entre l'élément actif 3 et l'élément support 4 est jugé satisfaisant si la résistance thermique de l'interface entre l'élément actif 3 et l'élément support 4 est inférieure à $0,002 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$. De préférence, la résistance thermique est inférieure à $0,0008 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$. Une valeur de résistance thermique de $0,002 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ correspond à une épaisseur d'air de $50 \text{ } \mu\text{m}$, tandis que celle de $0,0008 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ correspond à une épaisseur d'air de $20 \text{ } \mu\text{m}$ (à la pression atmosphérique).

[0024] On cherche à obtenir une couche d'assemblage 5 présentant des caractéristiques de découplage acoustique et de couplage thermique proches de celles d'une couche d'air d'une épaisseur maximale de l'ordre de $50 \text{ } \mu\text{m}$. Ainsi, la couche d'assemblage 5 présente une épais-

seur comprise entre $1 \text{ } \mu\text{m}$ et $120 \text{ } \mu\text{m}$, de préférence inférieure à $50 \text{ } \mu\text{m}$, afin de favoriser le transfert thermique.

[0025] Pour créer les conditions favorables au découplage acoustique, l'impédance acoustique apparente de la couche d'assemblage 5 est choisie très différente des impédances acoustiques de l'élément actif 3 et de l'élément support 4. Un rapport d'impédance supérieur à 100 est préférable. Typiquement, la couche d'assemblage 5 présente une impédance acoustique apparente à 25°C comprise entre 300 et $150000 \text{ Pa} \cdot \text{s/m}$, et de préférence entre 300 et $3000 \text{ Pa} \cdot \text{s/m}$. Une telle impédance acoustique apparente peut être estimée par recalage d'un modèle tel qu'un modèle KLM en une dimension, en fonction de résultats de mesure d'impédance électrique du transducteur avec et sans la couche d'assemblage 5.

[0026] Afin d'obtenir ces caractéristiques similaires à celles d'une couche d'air de moins de $50 \text{ } \mu\text{m}$ d'épaisseur, tout en assurant l'assemblage requis, la couche d'assemblage 5 comprend des cavités renfermant du gaz. Les cavités font en moyenne au moins $0,5 \text{ } \mu\text{m}$ et moins de $50 \text{ } \mu\text{m}$ dans leur plus grande dimension. Le gaz peut être de l'air, de l'isobutane, ou un autre gaz tel que de l'hélium. La description qui suit est faite dans le cadre d'un mode de réalisation préférentiel, dans lequel les cavités sont des microballons 7 renfermant du gaz.

[0027] Les microballons 7, tout du moins leur majorité, présentent une dimension maximale, typiquement leur diamètre, inférieure à $50 \text{ } \mu\text{m}$, de préférence inférieure à $40 \text{ } \mu\text{m}$, et de préférence encore inférieure à $30 \text{ } \mu\text{m}$, voire à $20 \text{ } \mu\text{m}$. Dans un mode de réalisation, le diamètre des microballons 7 est compris entre 18 et $28 \text{ } \mu\text{m}$, mais il peut être encore plus petit.

[0028] Un microballon 7 comprend une enveloppe renfermant un gaz. L'enveloppe est très fine par rapport au diamètre des microballons. L'épaisseur de l'enveloppe est ainsi inférieure à $1 \text{ } \mu\text{m}$, et de préférence inférieure à $0,5 \text{ } \mu\text{m}$; elle est par exemple de $0,1 \text{ } \mu\text{m}$. Les microballons 7 présentent une faible densité, plus proche de l'air que de celle de l'eau, typiquement inférieure à $100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, par exemple d'environ 55 à $65 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

[0029] L'enveloppe d'un microballon 7 peut être en matière plastique, notamment en thermoplastique. Dans un mode de réalisation, l'enveloppe est un mélange de thermoplastiques présentant des températures différentes de changement de phase. Ainsi, dans un mode de réalisation, l'enveloppe est un mélange comportant principalement de l'acrylonitrile, du méthacrylate et de l'acrylate.

[0030] De fait, les microballons présentent de préférence une haute compressibilité, la compressibilité élastique des microballons 7 étant de préférence supérieure à $1 \times 10^{-6} \text{ Pa}^{-1}$. Dans un mode de réalisation, sous une pression de 6 bars, le volume d'un microballon 7 est diminué par déformation élastique de moitié par rapport à son volume à la pression atmosphérique, et retrouve son volume initial lorsqu'il est de nouveau soumis à la pression atmosphérique. Une compressibilité élevée des microballons permet à la couche d'assemblage 5 de se

conformer aux surfaces de l'élément actif 3 et de l'élément support 4.

[0031] Il est également possible que la couche 6 de microballons soit constituée par une couche de particules de liège, dont les pores fermés, remplis de gaz, constituent lesdits microballons 7 et présentent une taille moyenne inférieure à 50 μm , et de préférence inférieure à 40 μm , voire inférieure à 30 μm .

[0032] Ces microballons 7 forment de préférence une couche continue 6 dans la couche d'assemblage 5, cette couche 6 s'étendant sur l'ensemble de l'interface entre l'élément actif 3 et l'élément support 4 constituée par la couche d'assemblage 5. La continuité de la couche 6 de microballons 7 permet d'assurer l'homogénéité des caractéristiques de la couche d'assemblage 5. De préférence, cette couche continue 6 de microballons est une monocouche de microballons. La finesse d'une telle couche 6 de microballons 7 permet d'obtenir une fine couche d'assemblage 5.

[0033] Les microballons 7 sont donc noyés dans un liant constitué par une colle. Ainsi, la couche d'assemblage 5 comprend une couche de colle adhérent à l'élément actif 3 et à l'élément support 4, la couche 6 de microballons 7 étant noyée dans ladite couche de colle.

[0034] La colle présente de préférence les caractéristiques suivantes. Elle a une impédance acoustique faible, un bon isolement électrique, avec par exemple une constante diélectrique d'au moins 4, et de préférence une bonne conduction thermique afin de conduire vers l'élément support 4 la chaleur générée par l'élément actif 3, avec une résistance thermique inférieure à 0,002 $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$, et de préférence inférieure à 0,0008 $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$.

[0035] De plus, la colle présente une bonne fluidité avant polymérisation, avec une viscosité dynamique inférieure à 0,50 Pa.s (soit 500 cP), par exemple de 0,35 Pa.s (soit 350 cP), afin d'enrober les microballons 7 et de se conformer aux surfaces de l'élément actif 3 et de l'élément support 4. La colle présente en outre une faible dureté une fois polymérisée, afin de permettre l'adaptation de la couche d'assemblage 5 aux contraintes mécaniques résultant de l'utilisation du transducteur, avec par exemple la dilatation thermique de l'élément actif 3. En outre, une faible dureté après polymérisation assure une faible impédance acoustique, ce qui permet de découpler acoustiquement l'élément actif 3 de l'élément support 4. Ainsi, la colle présente de préférence une dureté après polymérisation inférieure à 90 ShoreA, par exemple inférieure ou égale à 65 ShoreA, et de préférence inférieure à 50 ShoreA, voire inférieure à 20 ShoreA.

[0036] La couche de colle peut par exemple être une résine de poly-époxydes, plus connue sous le nom de résine époxy.

[0037] Comme illustré sur la figure 2, la couche de colle 5 peut comprendre une première couche 51 entre la couche 6 de microballons 7 et l'élément actif 3, et une seconde couche 52 entre la couche 6 de microballons 7 et l'élément support 4, la seconde couche 52 étant plus épaisse que la première couche 51, par exemple au

moins deux fois plus épaisse. A titre d'exemple, alors que la première couche 51 présente une épaisseur inférieure à 20 μm , de préférence inférieure à 10 μm , la seconde couche 52 peut présenter une épaisseur supérieure à 40 μm .

[0038] La couche 6 de microballons 7 est ainsi plus près de l'élément actif 3 que de l'élément support 4. Le découplage acoustique est alors obtenu par la couche 6 de microballons au plus près de l'élément actif 3. Ainsi, la seconde couche 52 ne joue pas de rôle acoustique : ses caractéristiques peuvent être choisies différentes de celles de la première couche 51. Notamment, la première couche 51 peut être constituée d'un premier matériau et la seconde couche 52 peut être constituée d'un second matériau, différent du premier matériau. Les caractéristiques du premier matériau et du second matériau peuvent être choisies selon les fonctions que doivent remplir leur couche respective. Par exemple, tandis que le premier matériau présente des caractéristiques de la colle exposées plus haut, le second matériau peut présenter une impédance acoustique plus élevée.

[0039] La plus grande épaisseur de la seconde couche 52 permet de faciliter la fabrication du transducteur, et permet en particulier de réduire les exigences sur la surface sur la face avant 41 de l'élément support 4 puisque d'éventuelles irrégularités peuvent être absorbées par la seconde couche 52. En outre, une seconde couche 52 plus épaisse permet à celle-ci d'encaisser les différences de dilatation thermique entre l'élément actif 3 et l'élément support 4, notamment lorsque le second matériau présente les caractéristiques mécaniques de la colle mentionnées plus haut.

[0040] Le second matériau de la seconde couche 52 est de préférence un bon conducteur thermique, afin de maintenir le couplage thermique entre l'élément actif 3 et l'élément support 4, et ce d'autant plus que la seconde couche 52 est épaisse. Le découplage acoustique opéré par la couche de microballons permet d'élargir les possibilités de choix des premiers et seconds matériaux. Ainsi, de préférence, le second matériau présente une conductivité thermique plus importante que la conductivité thermique du premier matériau.

[0041] Différents procédés de fabrication d'un transducteur selon l'invention sont proposés. Dans un premier mode de réalisation, illustré par les figures 3a à 3d, on dépose une couche de colle 51, 52 sur au moins une face parmi la face arrière 31 de l'élément actif et la face avant 41 de l'élément support. De préférence, une couche de colle 51 est déposée sur la face arrière 31 de l'élément actif 3 et une couche de colle 52 est déposée sur la face avant 41 de l'élément support. La couche de colle 52 peut être plus épaisse et dans un matériau différent de la première couche de colle 51. Dans l'exemple illustré par la figure 3a, seule la couche de colle 51 déposée sur la face arrière 31 de l'élément actif 3 est illustrée.

[0042] La couche de colle 51, 52 est fine, avec une épaisseur inférieure à 40 ou 50 μm , et homogène. Il est

possible de racler la couche de colle 51, 52 pour en homogénéiser l'épaisseur. Un gabarit peut être utilisé pour s'assurer de l'épaisseur de la colle lors du raclage avec une raclette dure. Cependant, l'état de surface de la surface raclée, avec une raclette dure, peut suffire à garantir une épaisseur de colle résiduelle après raclage. Le contrôle de l'épaisseur de colle peut aussi résulter du choix combiné d'une raclette souple appuyée contre la surface avec une pression contrôlée et d'une vitesse de raclage adaptée en fonction de la viscosité de la colle.

[0043] On dépose ensuite les microballons 7 sur la couche de colle 51, ou sur une seule des couches de colle 51, 52, de sorte à former une couche continue de microballons 7. Par exemple, on peut mettre les microballons en abondance sur la couche de colle 51, et évacuer les microballons en excès, c'est-à-dire ceux qui ne sont pas retenus par la colle, par soufflage d'un flux d'air ou en secouant. Les figures 3b et 3c illustrent ainsi respectivement le cas avant et après évacuation des microballons 7 en excès.

[0044] On assemble ensuite la face arrière 31 de l'élément actif 3 avec la face avant 41 de l'élément support 4, comme sur la figure 3d. A cet égard, l'élément actif 3 et l'élément support 4 sont pressés l'un contre l'autre, et un traitement thermique peut éventuellement être mené. Avec des microballons 7 d'un diamètre compris entre 18 et 28 μm , et des épaisseurs de 20 μm à 30 μm avant assemblage pour les couches de colle 51, 52, on obtient alors une couche d'assemblage 5 avec une épaisseur comprise entre 35 et 50 μm . L'épaisseur de la couche d'assemblage peut être calibrée par dépôt de cales d'épaisseur connue dans la couche de colle avant mise en pression des surfaces l'une contre l'autre. Ces cales peuvent par exemple prendre la forme de fils dont le diamètre calibré correspond à l'épaisseur cible de la couche d'assemblage. Par exemple, il peut s'agir de fils de cuivre émaillé d'un diamètre de 30 μm ou de fils en polyéthylène de 20 μm .

[0045] Il est également possible d'utiliser un ruban adhésif à double face en tant que couche de colle 51, 52, sur une ou sur chacune des faces parmi la face arrière 31 de l'élément actif 3 et la face avant 41 de l'élément support 4. Les microballons 7 sont déposés de même que précédemment, et l'assemblage se fait sous pression, par exemple avec une pression de l'ordre de 1 bar pendant 48h. Par exemple avec des rubans adhésifs doubles faces avec une épaisseur de colle de l'ordre de 40 à 50 μm , la couche d'assemblage 5 résultante présente une épaisseur de l'ordre de 75 à 100 μm .

[0046] Une autre solution consiste à préparer un mélange de colle et de microballons, puis à déposer ce mélange sur une face parmi la face arrière 31 de l'élément actif et la face avant 41 de l'élément support, ou bien sur les deux faces, puis à procéder à l'assemblage comme précédemment décrit, par exemple avec une pression de l'ordre de 1 bar. Un gabarit comme précédemment cité peut être utilisé. Un exemple de mélange comprend 14 % de microballons en volume, et le reste en colle. De

fait, afin que le mélange soit suffisamment chargé en microballons, notamment pour assurer une continuité d'une couche 6 de microballons 7, ceux-ci constituent de préférence au moins 10% du mélange en volume.

[0047] Il est également possible d'utiliser des microballons 7 recouverts d'adhésif, auquel cas l'assemblage se fait sans ajout de colle. Une autre solution consiste à utiliser des microballons à enveloppe thermoplastique sans ajout de colle. Une couche de microballons 7 à enveloppe thermoplastique est déposée sur une face parmi la face arrière 31 de l'élément actif 3 et la face avant 41 de l'élément support 4. On assemble ensuite la face arrière 31 de l'élément actif 3 et la face avant 41 de l'élément support 4, puis on chauffe les microballons 7 afin d'obtenir une thermo-soudure des microballons, sans faire fondre complètement lesdits microballons 7 afin qu'ils puissent conserver leur gaz enfermé dans la couche d'assemblage 5. On obtient alors une couche d'assemblage très fine, par exemple d'épaisseur inférieure à 40 μm avec des microballons d'un diamètre avant assemblage compris entre 18 et 28 μm .

Revendications

1. Transducteur (1) ultrasonore comportant :

- un élément actif (3) pour générer et/ou recevoir des ondes ultrasonores, et
- un élément support (4) situé à l'arrière de l'élément actif (3) et adapté pour

servir de référence de forme et de renfort mécanique audit élément actif (3), **caractérisé en ce que** le transducteur comporte une couche d'assemblage (5) entre ledit élément actif (3) et ledit élément support (4), ladite couche d'assemblage (5) comprenant une couche de colle (51, 52) adhérent à l'élément actif (3) et à l'élément support (4), et assurant l'assemblage de l'élément actif (3) avec l'élément support (4), ladite couche d'assemblage comprenant des cavités renfermant du gaz et découplant acoustiquement ledit élément actif (3) et ledit élément support (4) au moyen desdites cavités renfermant du gaz présentes dans la couche d'assemblage, les cavités étant formées par des microballons (7) renfermant du gaz, et une couche (6) de microballons (7) étant noyée dans ladite couche de colle.

2. Transducteur selon la revendication précédente, dans lequel l'impédance acoustique apparente de la couche d'assemblage (5) diffère des impédances acoustiques de l'élément actif (3) et de l'élément support (4) selon un rapport d'impédance supérieur à 100.
3. Transducteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la couche d'as-

semblage (5) présente une épaisseur comprise entre 1 et 120 μm .

4. Transducteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la couche d'as-
semblage (5) présente une impédance acoustique
apparente à 25°C comprise entre 300 et 150000
Pa.s/m, et de préférence entre 300 et 3000 Pa.s/m. 5
5. Transducteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la couche de colle
comprend une première couche (51) entre la couche
(6) de microballons (7) et l'élément actif (3), et une
seconde couche (52) entre la couche (6) de micro-
ballons (7) et l'élément support (4), la seconde cou-
che (52) étant plus épaisse que la première couche
(51). 10
6. Transducteur selon la revendication 5, dans lequel
la première couche (51) est constituée d'un premier
matériau et la seconde couche (52) est constituée
d'un second matériau, différent du premier matériau,
ledit second matériau présentant une conductivité
thermique plus importante ou égale à celle du pre-
mier matériau. 20 25
7. Transducteur selon l'une des revendications précé-
dentes, dans lequel la colle est une résine époxy
présentant une dureté inférieure à 90 ShoreA.
8. Transducteur selon l'une des revendications précé-
dentes, dans lequel les microballons (7) forment une
couche (6) continue et/ou la couche (6) de microbal-
lons (7) est une monocouche de microballons. 35
9. Transducteur selon l'une des revendications précé-
dentes, dans lequel les microballons (7) présentent
une dimension maximale inférieure à 50 μm .
10. Transducteur selon l'une des revendications précé-
dentes, dans lequel l'élément actif (3) et l'élément
support (4) sont découplées acoustiquement par la
présence de cavités renfermant du gaz dans la cou-
che d'assemblage (5) de sorte que moins de 10%
de l'énergie acoustique produite par l'élément actif
(3) est transmise à l'élément support (4). 40 45
11. Transducteur selon l'une des revendications précé-
dentes, dans lequel la couche d'assemblage (5) cou-
ple thermiquement l'élément actif (3) et l'élément
support (4), de sorte que la résistance thermique de
l'interface entre l'élément actif (3) et l'élément sup-
port (4) est inférieure à 0,002 m².K.W-1. 50
12. Procédé de fabrication d'un transducteur selon l'une
des revendications précédentes, ledit procédé com-
prenant les étapes selon lesquelles : 55

- on dépose une couche de colle (51, 52) sur au
moins une face parmi la face arrière (31) de l'élé-
ment actif (3) et la face avant (41) de l'élément
support (4),
- on dépose des microballons (7) sur la couche
de colle (51, 52),
- on assemble la face arrière (31) de l'élément
actif (3) et la face avant (41) de l'élément support
(4).

13. Procédé de fabrication d'un transducteur selon l'une
quelconque des revendications 1 à 11, dans lequel
les cavités sont formées par des microballons (7)
renfermant du gaz, ledit procédé comprenant les éta-
pes selon lesquelles :

- on dépose une couche de microballons (7) à
enveloppe thermoplastique sur une face parmi
la face arrière (31) de l'élément actif (3) et la
face avant (41) de l'élément support (4),
- on assemble la face arrière (31) de l'élément
actif (3) et la face avant (41) de l'élément support
(4),
- on chauffe les microballons (7) afin d'obtenir
une thermo-soudure des microballons (7).

Patentansprüche

1. Ultraschall-Signalwandler (1), aufweisend:

- ein aktives Element (3) zum Erzeugen
und/oder Empfangen der Ultraschallwellen, und
- ein Trägerelement (4), das sich hinter dem ak-
tiven Element (3) befindet und geeignet ist, als
Formreferenz und mechanische Verstärkung
für das aktive Element (3) zu dienen,

dadurch gekennzeichnet, dass der Signalwandler
eine Verbindungsschicht (5) zwischen dem aktiven
Element (3) und dem Trägerelement (4) aufweist,
wobei die Verbindungsschicht (5) eine Kleberschicht
(51, 52) aufweist, die an dem aktiven Element (3)
und an dem Trägerelement (4) anhaftet und die Ver-
bindung des aktiven Elements (3) mit dem Trägere-
lement (4) sichert, wobei die Verbindungsschicht
Hohlräume umfasst, die Gas einschließen und das
aktive Element (3) und das Trägerelement (4) mittels
der in der Verbindungsschicht vorhandenen, Gas
einschließenden Hohlräume akustisch entkoppeln,
wobei die Hohlräume von Mikrobällons (7) gebildet
sind, die Gas einschließen, und wobei eine Schicht
(6) aus Mikrobällons (7) in der Kleberschicht einge-
lassen ist.

2. Signalwandler nach vorangehendem Anspruch, wo-
bei sich die scheinbare akustische Impedanz der
Verbindungsschicht (5) von den akustischen Impe-

danzen des aktiven Elements (3) und des Trägerelements (4) gemäß einem Impedanzverhältnis über 100 unterscheidet.

3. Signalwandler nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Verbindungsschicht (5) eine Dicke aufweist, die zwischen 1 und 120 μm liegt. 5
4. Signalwandler nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Verbindungsschicht (5) eine scheinbare akustische Impedanz bei 25°C aufweist, die zwischen 300 und 150000 Pa.s/m und vorzugsweise zwischen 300 und 3000 Pa.s/m liegt. 10
5. Signalwandler nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Kleberschicht eine erste Schicht (51) zwischen der Schicht (6) aus Mikroballons (7) und dem aktiven Element (3) und eine zweite Schicht (52) zwischen der Schicht (6) aus Mikroballons (7) und dem Trägerelement (4) umfasst, wobei die zweite Schicht (52) dicker als die erste Schicht (51) ist. 15
6. Signalwandler nach Anspruch 5, wobei die erste Schicht (51) aus einem ersten Material gebildet ist und die zweite Schicht (52) aus einem zweiten Material gebildet ist, das sich vom ersten Material unterscheidet, wobei das zweite Material eine Wärmeleitfähigkeit aufweist, die größer oder gleich der des ersten Materials ist. 25
7. Signalwandler nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der Kleber ein Epoxydharz ist, das eine Härte von unter 90 ShoreA aufweist. 30
8. Signalwandler nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Mikroballons (7) eine kontinuierliche Schicht (6) bilden und/oder die Schicht (6) aus Mikroballons (7) eine Mikroballon-Monoschicht ist. 35
9. Signalwandler nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Mikroballons (7) eine maximale Größe von unter 50 μm aufweisen. 40
10. Signalwandler nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das aktive Element (3) und das Trägerelement (4) durch die Anwesenheit von Gas einschließenden Hohlräumen in der Verbindungsschicht (5) akustisch entkoppelt sind, so dass weniger als 10% der von dem aktiven Element (3) erzeugten akustischen Energie auf das Trägerelement (4) übertragen wird. 45
11. Signalwandler nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Verbindungsschicht (5) das aktive Element (3) und das Trägerelement (4) thermisch koppelt, so dass der thermische Widerstand der Schnittstelle zwischen dem aktiven Element (3) und dem Trägerelement (4) kleiner als 0,002 50

$\text{m}^2.\text{K.W}^{-1}$ ist.

12. Verfahren zur Herstellung eines Signalwandlers nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

- Aufbringen einer Kleberschicht (51, 52) auf mindestens eine Fläche von der hinteren Fläche (31) des aktiven Elements (3) und der vorderen Fläche (41) des Trägerelements (4),
- Aufbringen der Mikroballons (7) auf die Kleberschicht (51, 52),
- Verbinden der hinteren Fläche (31) des aktiven Elements (3) und der vorderen Fläche (41) des Trägerelements (4).

13. Verfahren zur Herstellung eines Signalwandlers nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei die Hohlräume von Mikroballons (7) gebildet sind, die Gas einschließen, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

- Aufbringen einer Schicht aus Mikroballons (7) mit thermoplastischer Hülle auf eine Fläche von der hinteren Fläche (31) des aktiven Elements (3) und der vorderen Fläche (41) des Trägerelements (4),
- Verbinden der hinteren Fläche (31) des aktiven Elements (3) und der vorderen Fläche (41) des Trägerelements (4),
- Erwärmen der Mikroballons (7), um eine thermische Schweißung der Mikroballons (7) zu erhalten.

Claims

1. Ultrasonic transducer (1) comprising:

- an active element (3) for generating and/or receiving ultrasonic waves, and
- a support element (4) located at the rear of the active element (3) and adapted to serve as a shape reference and mechanical reinforcement for said active element (3),

characterized in that the transducer comprises an assembly layer (5) between said active element (3) and said support element (4), said assembly layer (5) comprising a glue layer (51, 52) adhering to the active element (3) and to the support element (4), and ensuring the assembly of the active element (3) with the support element (4), said assembly layer comprising gas-containing cavities and acoustically decoupling said active element (3) and said support element (4) by means of said gas-containing cavities present in the assembly layer, the cavities being formed by gas-containing microballoons (7), and a

layer (6) of microballoons (7) being embedded in said adhesive layer.

2. The transducer according to the preceding claim, wherein the apparent acoustic impedance of the assembly layer (5) differs from the acoustic impedances of the active element (3) and the support element (4) by an impedance ratio greater than 100.
3. The transducer according to any one of the preceding claims, wherein the assembly layer (5) has a thickness of between 1 and 120 μm .
4. The transducer according to any one of the preceding claims, wherein the assembly layer (5) has an apparent acoustic impedance at 25°C of between 300 and 150,000 Pa.s/m, and preferably between 300 and 3,000 Pa.s/m.
5. The transducer according to any of the preceding claims, wherein the adhesive layer **comprises** a first layer (51) between the layer (6) of microballoons (7) and the active element (3), and a second layer (52) between the layer (6) of microballoons (7) and the support element (4), the second layer (52) being thicker than the first layer (51).
6. The transducer according to claim 5, wherein the first layer (51) is made of a first material and the second layer (52) is made of a second material, different from the first material, said second material having a thermal conductivity greater than or equal to that of the first material.
7. The transducer according to one of the preceding claims, wherein the adhesive is an epoxy resin with a hardness of less than 90 ShoreA.
8. The transducer according to one of the preceding claims, wherein the microballoons (7) form a continuous layer (6) and/or the layer (6) of microballoons (7) is a monolayer of microballoons.
9. The transducer according to one of the preceding claims, wherein the microballoons (7) have a maximum dimension of less than 50 μm .
10. The transducer according to one of the preceding claims, wherein the active element (3) and the support element (4) are acoustically decoupled by the presence of gas-containing cavities in the bonding layer (5), so that less than 10% of the acoustic energy produced by the active element (3) is transmitted to the support element (4).
11. The transducer according to one of the preceding claims, wherein the assembly layer (5) thermally couples the active element (3) and the support ele-

ment (4), so that the thermal resistance of the interface between the active element (3) and the support element (4) is less than $0.002 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$.

12. A method of manufacturing a transducer according to any of the preceding claims, said method comprising the steps in which:
 - an adhesive layer (51, 52) is applied to at least one of the rear face (31) of the active element (3) and the front face (41) of the support element (4),
 - microballoons (7) are deposited on the adhesive layer (51, 52),
 - the rear face (31) of the active element (3) and the front face (41) of the support element (4) are assembled.
13. A method of manufacturing a transducer according to any one of claims 1 to 11, wherein the cavities are formed by microballoons (7) containing gas, said method comprising the steps in which:
 - a layer of thermoplastic-coated microballoons (7) is deposited on one of the rear face (31) of the active element (3) and the front face (41) of the support element (4),
 - the rear face (31) of the active element (3) and the front face (41) of the support element (4) are assembled,
 - the microballoons (7) are heated to thermoweld the microballoons (7).

FIG 1

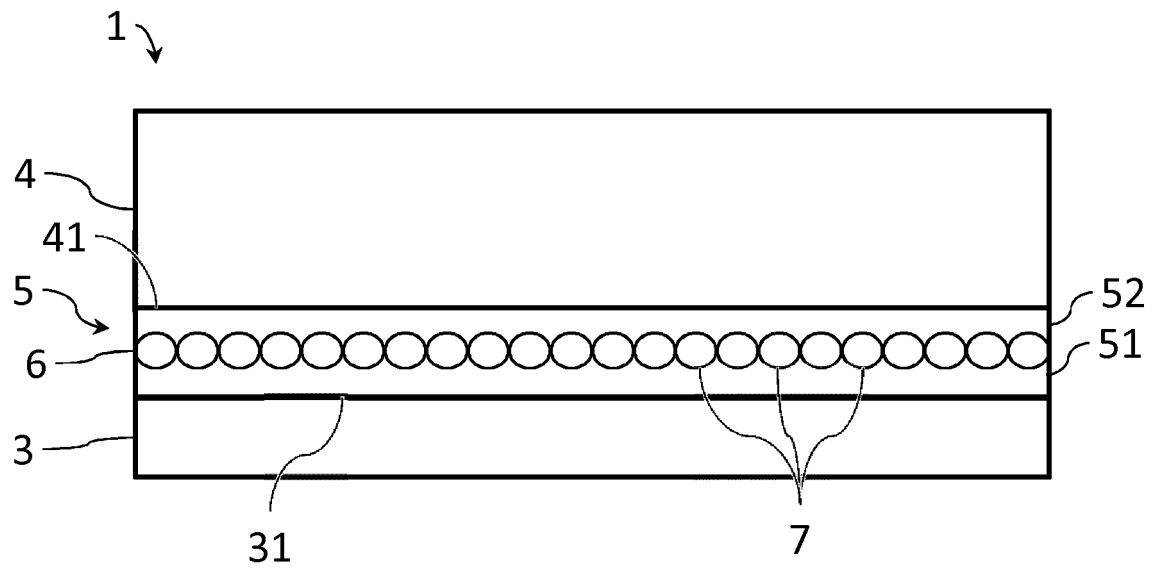


FIG 2

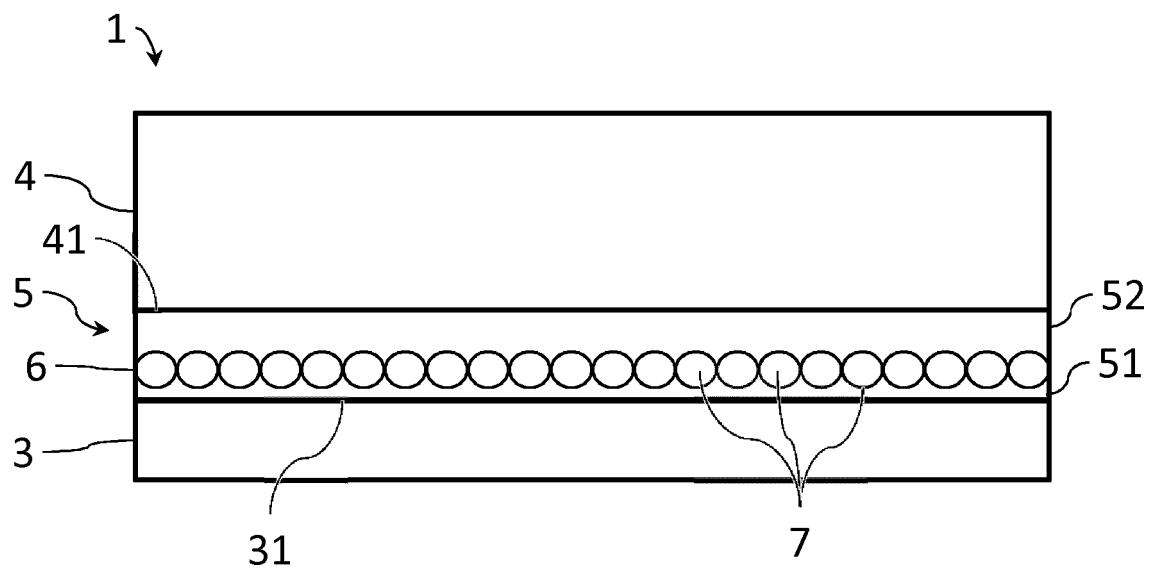


FIG 3a

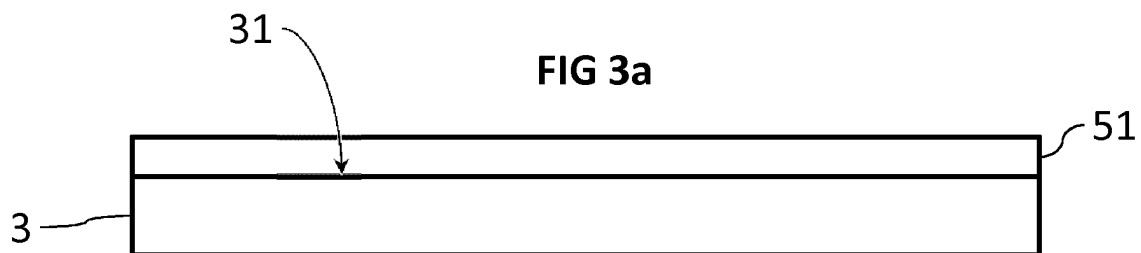


FIG 3b

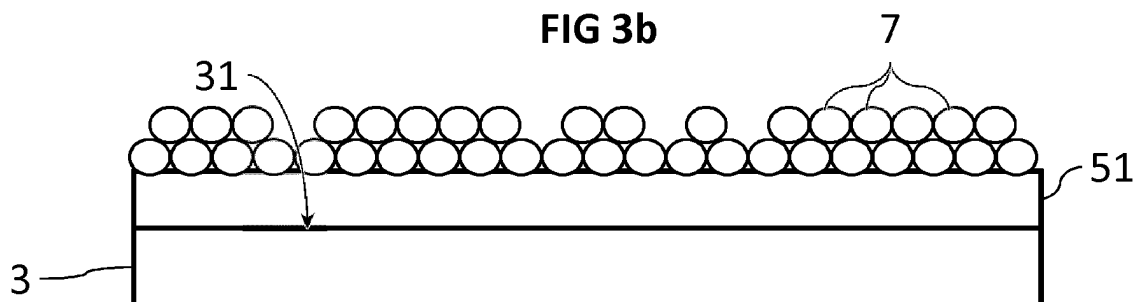


FIG 3c

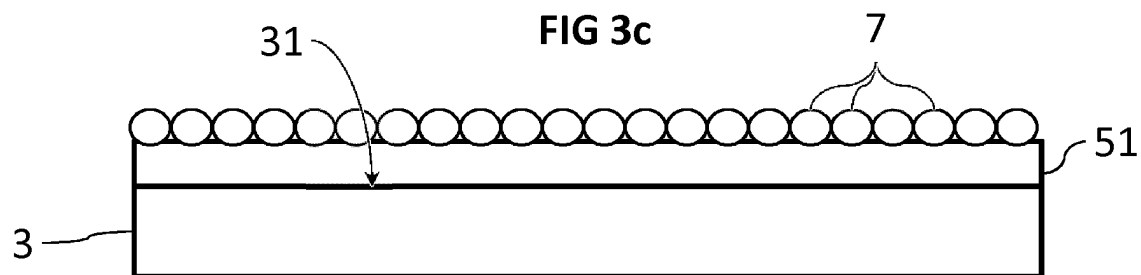
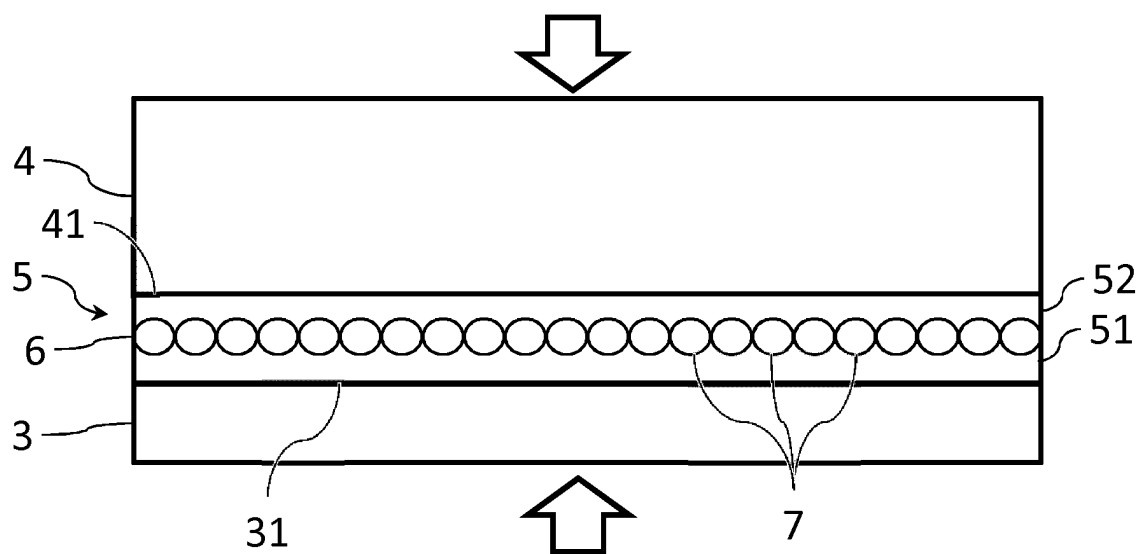


FIG 3d



RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- EP 1542005 A1 [0004]
- WO 2008121238 A2 [0005]
- EP 2602788 A [0006]