



(51) Classification internationale des brevets :
A61N 1/375 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2013/076353

(22) Date de dépôt international :
12 décembre 2013 (12.12.2013)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1262075 14 décembre 2012 (14.12.2012) FR

(71) Déposant : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES [FR/FR]; 25 rue Leblanc - Bâtiment "Le Ponant D, F-75015 Paris (FR).

(72) Inventeurs : PERRAUD, Simon; Chez M. Christian GOUX - Pas de la Garduère, F-83150 Bandol (FR). EMIEUX, Fabrice; 105, allée des Lucioles, F-38340 Voireppe (FR). KARST, Nicolas; 11 rue Saint Jean, F-57600 Folkling (FR). LE COADOU, Cécile; 25 rue Servan, F-38000 Grenoble (FR).

(74) Mandataires : REBOUSSIN, Yohann et al.; Cabinet Ores, 36, rue de St Pétersbourg, F-75008 Paris (FR).

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

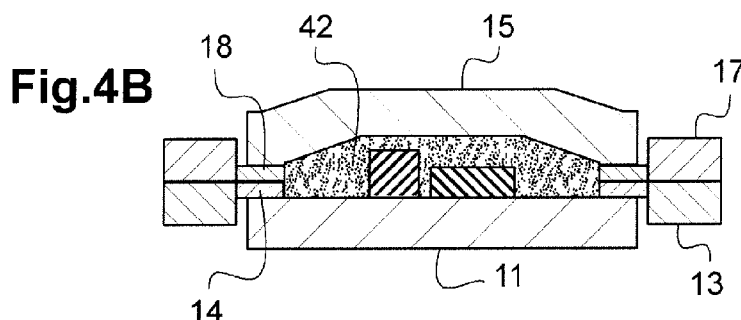
(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(54) Title : HERMETIC HOUSING, PARTICULARLY FOR ENCAPSULATING AN IMPLANTABLE MEDICAL DEVICE

(54) Titre : BOITIER HERMETIQUE, EN PARTICULIER POUR L'ENCAPSULATION D'UN DISPOSITIF MEDICAL IMPLANTABLE.



(57) Abstract : Hermetic housing comprising: a first element (11) in sheet form, made from at least one material chosen from a metal, a ceramic and a glass; a second element (15, 17, 18) for covering said first element, likewise made of at least one material chosen from a metal, a ceramic and a glass; a first metal surround (12) interposed between said first element and said second element, comprising an internal part (14) partially or fully positioned within the perimeter of said first element and an outer part (13) positioned fully on the outside of said perimeter of said first element; a first hermetic seal between said first element and said internal part of said first metal surround; and a second hermetic seal between said second element and said outer part of said first metal surround. Method of encapsulating a device, notably an implantable medical device, using such a hermetic housing.

(57) Abrégé : Boîtier hermétique comprenant : un premier

[Suite sur la page suivante]



élément en forme de feuille (11), réalisé en au moins un matériau choisi parmi un métal, une céramique et un verre; un deuxième élément (15, 17, 18) pour recouvrir ledit premier élément, également réalisé en au moins un matériau choisi parmi un métal, une céramique et un verre; un premier cadre métallique (12) interposé entre ledit premier élément et ledit deuxième élément, comprenant une partie interne (14) positionnée en partie ou en totalité à l'intérieur du périmètre dudit premier élément et une partie externe (13) positionnée en totalité à l'extérieur dudit périmètre dudit premier élément; un premier joint hermétique entre ledit premier élément et ladite partie interne dudit premier cadre métallique; et un deuxième joint hermétique entre ledit deuxième élément et ladite partie externe dudit premier cadre métallique. Procédé d'encapsulation d'un dispositif, et notamment d'un dispositif médical implantable, à l'aide d'un tel boîtier hermétique.

BOITIER HERMETIQUE, EN PARTICULIER POUR L'ENCAPSULATION D'UN DISPOSITIF MEDICAL IMPLANTABLE.

L'invention porte sur un boîtier hermétique ou étanche, de
5 préférence ultrafin et/ou conformable, pouvant notamment convenir à
l'encapsulation d'un dispositif et plus particulièrement, mais pas
exclusivement, d'un dispositif médical implantable. L'invention porte
également sur un procédé d'encapsulation d'un dispositif, et notamment d'un
dispositif médical implantable.

10 Les dispositifs médicaux implantables tels que les
stimulateurs cardiaques, les défibrillateurs cardiaques, les moniteurs
cardiaques, les neurostimulateurs, les pompes, les capteurs biomédicaux, etc.
sont généralement encapsulés dans un boîtier métallique biocompatible,
typiquement en titane, qui est clos hermétiquement par soudage au faisceau
15 laser. Ce type d'encapsulation assure une excellente herméticité, afin d'une
part de protéger les composants encapsulés contre les attaques par les tissus
ou fluides biologiques, et d'autre part de protéger le corps du patient contre
les éventuels éléments encapsulés qui soient toxiques ou non biocompatibles.
Des traversées verre-métal ou céramique-métal sont aménagées au niveau
20 des parois du boîtier, afin de permettre la sortie d'une ou plusieurs électrodes
tout en conservant une parfaite herméticité. De tels boîtiers métalliques sont
bien adaptés pour encapsuler des dispositifs médicaux implantables se
présentant sous la forme d'objets volumineux (d'épaisseur typique comprise
entre 5 et 20 mm) et mécaniquement rigides.

25 Une solution alternative d'encapsulation de dispositifs
médicaux implantables consiste à assembler un couvercle (c'est-à-dire une
pièce dont la forme ressemble à celle d'un chapeau) sur un substrat
(c'est-à-dire une pièce plane), comme décrits par exemple dans le document
US 5,750,926 et dans l'article de A. Vanhoestenbergh et al., « *Hermetic*
30 *Encapsulation of an Implantable Vision Prosthesis - Combining Implant*
Fabrication Philosophies » (Proceedings of IFESS 2008, 21- 25 septembre

2008, Fribourg). Dans le document US 5,750,926, le boîtier consiste en un couvercle métallique fixé sur un substrat électriquement isolant ; l'herméticité entre le couvercle et le substrat peut être assurée en formant un premier joint hermétique entre un cadre métallique et le substrat, puis un second joint
5 hermétique par soudage au faisceau laser entre le cadre métallique et le couvercle. Dans l'article précité de A. Vanhoestenbergh et al., le boîtier consiste en un couvercle en céramique fixé sur un substrat en céramique ; l'herméticité entre le couvercle et le substrat est assurée en formant un premier joint hermétique par brasage entre un cadre en titane et le substrat,
10 un deuxième joint hermétique par brasage entre un autre cadre en titane et le couvercle, puis un troisième joint hermétique par soudage au faisceau laser entre les deux cadres en titane. Dans ces deux documents, la sortie hermétique d'une ou plusieurs électrodes est effectuée par des pistes métalliques et des traversées métalliques verticales.

15 Les méthodes d'encapsulation décrites par ces documents sont bien adaptées pour obtenir des dispositifs après encapsulation qui soient fins (d'épaisseur typique de quelques millimètres) et mécaniquement rigides, comme démontré expérimentalement dans l'article de Vanhoestenbergh et al. Il est également envisageable d'utiliser ce type d'encapsulation pour
20 obtenir des dispositifs après encapsulation qui soient ultrafins (d'épaisseur inférieure à 3 mm), comme décrit dans le document précité US 5,750,926. Cependant, en pratique, il est techniquement difficile de réduire l'épaisseur du dispositif après encapsulation sous la barre des 3 mm. En particulier, l'utilisation de cadres métalliques ultrafins rend extrêmement délicate la
25 formation du dernier joint hermétique par soudage au faisceau laser, car si les cadres sont trop fins alors l'étape de soudage au faisceau laser risque de détériorer thermiquement le ou les joints hermétiques préalablement formés.

Il n'existe donc pas dans l'art antérieur de solution totalement satisfaisante – c'est-à-dire simple et fiable – pour obtenir des dispositifs après
30 encapsulation qui soient ultrafins, voire mécaniquement conformables. Or de tels dispositifs permettraient d'améliorer sensiblement le confort du patient, et d'envisager une implantation dans des zones du corps humain difficilement

accessibles à des dispositifs conventionnels. Par exemple, un dispositif implantable de stimulation cérébrale se présentant sous la forme d'un objet ultrafin et mécaniquement conformable pourrait être implanté au niveau de la tête, sous le cuir chevelu, au lieu d'être implanté de manière conventionnelle au niveau du haut de la poitrine. Une telle implantation au plus près de la zone à stimuler permettrait d'éviter de recourir à de longues sondes-électrodes reliant la poitrine à la tête, de telles sondes-électrodes présentant des risques de rupture en particulier au niveau du cou. Pour ce type d'implantation, le dispositif de stimulation cérébrale devrait alors
5
10 présenter une épaisseur inférieure à 1 mm, et pouvoir présenter un rayon de courbure de l'ordre de quelques centimètres.

L'invention vise à surmonter les inconvénients précités de l'art antérieur. Plus précisément, l'invention vise à procurer un boîtier hermétique et, si nécessaire, biocompatible, pouvant être réalisé aisément sous forme
15 ultrafine et, le cas échéant, mécaniquement conformable. L'invention vise également à procurer un procédé simple et fiable pour l'encapsulation d'un dispositif, et notamment d'un dispositif médical implantable, ce procédé étant en particulier adapté à la réalisation d'un assemblage ultrafin et/ou conformable. Un dispositif, boîtier ou assemblage est considéré « ultrafin »
20 lorsqu'il présente une épaisseur maximale inférieure ou égale à 3 mm, et de préférence inférieure ou égale à 1 mm, voire à 500 μm .

Ainsi, un objet de l'invention est un boîtier hermétique comprenant :

- un premier élément en forme de feuille, réalisé en au moins un
25 matériau choisi parmi un métal, une céramique et un verre ;
- un deuxième élément de dimensions et forme adaptés pour recouvrir ledit premier élément, également réalisé en au moins un matériau choisi parmi un métal, une céramique et un verre ;
- un premier cadre métallique interposé entre ledit premier élément et
30 ledit deuxième élément, comprenant une partie interne positionnée en partie ou en totalité à l'intérieur du périmètre dudit premier élément et une partie

externe positionnée en totalité à l'extérieur dudit périmètre dudit premier élément ;

- un premier joint hermétique entre ledit premier élément et ladite partie interne dudit premier cadre métallique ; et
- 5 - un deuxième joint hermétique entre ledit deuxième élément et ladite partie externe dudit premier cadre métallique.

On entend par « élément en forme de feuille » ou simplement « feuille » un élément présentant une épaisseur non supérieure à un dixième, de préférence un cinquantième et manière encore préférée un centième, de sa plus petite dimension latérale.

Avantageusement, ledit premier joint hermétique peut être réalisé par une technique choisie parmi : le brasage, le soudage par diffusion à l'état solide et, lorsque ledit premier élément est au moins en partie en céramique, le cofrittage ; et ledit deuxième joint hermétique peut être réalisé par soudage.

Selon un premier mode de réalisation de l'invention, ledit deuxième élément peut comprendre :

- une feuille dite supérieure, réalisée en au moins un matériau choisi parmi un métal, une céramique et un verre ;
 - 20 - un deuxième cadre métallique interposé entre ladite feuille supérieure et ledit premier cadre métallique, comprenant une partie interne positionnée en partie ou en totalité à l'intérieur du périmètre de ladite feuille supérieure et une partie externe positionnée en totalité à l'extérieur dudit périmètre de ladite feuille supérieure ; et
 - 25 - un troisième joint hermétique entre ladite feuille supérieure et ladite partie interne dudit deuxième cadre métallique ;
- ledit deuxième joint hermétique étant entre les parties externes desdits premier et deuxième cadre métallique.

Avantageusement, ledit troisième joint hermétique peut être réalisé par une technique choisie parmi : le brasage, le soudage par diffusion à l'état solide et, lorsque ladite feuille supérieure est au moins en partie en céramique, le cofrittage.

Selon un deuxième mode de réalisation de l'invention, ledit deuxième élément peut comprendre une feuille dite supérieure en métal, directement fixée à la partie externe dudit premier cadre métallique par ledit deuxième joint hermétique.

5 Aussi bien dans le premier que dans le deuxième mode de réalisation de l'invention, la partie externe dudit ou de chaque cadre métallique peut présenter, par rapport à la partie interne correspondante, une surépaisseur sur sa face opposée audit deuxième joint hermétique. Cela facilite la réalisation du deuxième joint hermétique par soudure, sans pour
10 autant augmenter l'épaisseur totale du boîtier ou compromettre sa flexibilité, lorsqu'une conformabilité mécanique est souhaitée.

Le boîtier hermétique peut présenter une épaisseur inférieure ou égale à 3 mm, de préférence inférieure ou égale à 1 mm et de manière encore préférée inférieure ou égale à 500 μm , et être donc « ultrafin ».

15 Le boîtier peut comporter au moins un composant, notamment électronique ou électrique, monté sur ledit premier élément en forme de feuille, directement ou par l'intermédiaire d'une couche diélectrique, et contenu dans un espace délimité par ledit premier élément, ledit deuxième élément et ledit ou lesdits cadres métalliques. Avantageusement, ledit ou
20 chaque composant peut être recouvert d'une couche en matériau polymère. Afin de permettre l'interconnexion du ou des composants électroniques contenus dans le boîtier avec des éléments extérieurs sans compromettre l'étanchéité de l'ensemble, le boîtier peut comprendre au moins une piste conductrice agencée sur ledit premier élément en forme de feuille, ladite ou
25 chaque piste conductrice s'étendant sur les deux faces et sur la tranche dudit premier élément et étant recouverte d'un matériau isolant sauf au niveau de ses extrémités, formant plages de connexion.

Un tel boîtier hermétique peut être partiellement ou totalement enrobé d'une couche en matériau polymère.

30 Dans le cas d'une réalisation implantable dans un corps humain ou animal, le boîtier devra être réalisé totalement ou au moins

partiellement (en particulier en ce qui concerne sa surface externe) en matériau ou matériaux biocompatible(s).

D'autres caractéristiques de l'invention sont présentées dans la description qui suit la définition des dessins annexés. Ces caractéristiques
5 portent notamment sur la flexibilité du boîtier, la connexion de pistes métalliques/électrodes hermétiques ou encore la conformation des feuilles inférieure ou supérieure, en particulier pour définir une cavité dans le boîtier.

Un autre objet de l'invention est un dispositif médical implantable comprenant un boîtier hermétique tel que décrit ci-dessus.

10 Encore un autre objet de l'invention est un procédé d'encapsulation d'un dispositif (en particulier d'un dispositif implantable, encore plus particulièrement d'un dispositif médical implantable), comprenant les étapes consistant à :

- monter au moins un composant dudit dispositif à encapsuler sur un
15 premier élément en forme de feuille, réalisé en au moins un matériau choisi parmi un métal, une céramique et un verre ;
- superposer audit premier élément en forme de feuille un premier cadre métallique comprenant une partie interne positionnée en partie ou en totalité à l'intérieur du périmètre dudit premier élément et une partie externe
20 positionnée en totalité à l'extérieur dudit périmètre dudit premier élément ;
- former un premier joint hermétique entre ledit premier élément et ladite partie interne dudit premier cadre métallique ;
- superposer audit premier cadre métallique un deuxième élément de dimensions et forme adaptés pour recouvrir ledit premier élément, également
25 réalisé en au moins un matériau choisi parmi un métal, une céramique et un verre ; et
- former un deuxième joint hermétique entre ledit deuxième élément et ladite partie externe dudit premier cadre métallique.

Avantageusement, l'étape de formation dudit premier joint
30 hermétique peut être réalisée par une technique choisie parmi : le brasage, le soudage par diffusion à l'état solide et, lorsque ledit deuxième élément est au

moins en partie en céramique, le cofrittage ; et l'étape de formation dudit deuxième joint hermétique peut être réalisée par soudage.

Selon un premier mode de réalisation de ce procédé, ledit deuxième élément peut comprendre :

- 5 - une feuille dite supérieure, réalisée en au moins un matériau choisi parmi un métal, une céramique et un verre ;
- un deuxième cadre métallique interposé entre ladite feuille supérieure et ledit premier cadre métallique et comprenant une partie interne positionnée en partie ou en totalité à l'intérieur du périmètre de ladite feuille supérieure et
- 10 une partie externe positionnée en totalité à l'extérieur dudit périmètre de ladite feuille supérieure ;

le procédé comprenant également une étape de formation d'un troisième joint hermétique entre ladite feuille supérieure et ladite partie interne dudit deuxième cadre métallique, ladite étape étant réalisée avant la

15 formation dudit deuxième joint hermétique entre les parties externes desdits premier et deuxième cadre métallique.

Avantageusement, l'étape de formation dudit troisième joint hermétique peut être réalisée par une technique choisie parmi : le brasage, le soudage par diffusion à l'état solide et, lorsque ladite feuille supérieure est au

20 moins en partie en céramique, le cofrittage.

Selon un deuxième mode de réalisation de ce procédé, ledit deuxième élément peut comprendre une feuille dite supérieure en métal, ledit deuxième joint hermétique étant alors formé directement entre ladite feuille supérieure et la partie externe dudit premier cadre métallique.

25 D'autres caractéristiques, détails et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description faite en référence aux dessins annexés donnés à titre d'exemple et dans lesquels :

- la figure 1 (1A – 1D) représente schématiquement les différentes pièces d'un boîtier selon le premier mode de réalisation de l'invention avant
- 30 leur assemblage ;

- la figure 2 représente un boîtier selon le premier mode de réalisation de l'invention une fois assemblé ; en particulier la figure 2A correspond à une vue de dessus et la figure 2B à une vue en coupe ;
- la figure 3 (3A, 3B) illustre la réalisation par soudage laser du
- 5 deuxième joint hermétique d'un boîtier selon le premier mode de réalisation de l'invention;
- la figure 4 illustre la « pré-encapsulation » de composants électroniques à l'intérieur d'un boîtier selon le premier mode de réalisation de l'invention (4A, 4B), la « post-encapsulation » du boîtier lui-même (4C) ;
- 10 - la figure 5 (5A – 5D) illustre la réalisation d'une sortie hermétique pour une ou plusieurs pistes conductrices ;
- la figure 6 (6A – 6C) représente schématiquement les différentes pièces d'un boîtier selon le deuxième mode de réalisation de l'invention avant leur assemblage ;
- 15 - la figure 7 représente un boîtier selon le deuxième mode de réalisation de l'invention une fois assemblé ; en particulier la figure 7A correspond à une vue de dessus et la figure 7B à une vue en coupe ;
- la figure 8 (8A, 8B) illustre la réalisation par soudure laser du deuxième joint hermétique d'un boîtier selon le deuxième mode de réalisation de
- 20 l'invention;
- la figure 9 illustre la « pré-encapsulation » de composants électroniques à l'intérieur d'un boîtier selon le deuxième mode de réalisation de l'invention, et la « post-encapsulation » du boîtier lui-même ; et
- les figures 10 (10A, 10B, 10C) et 11 représentent deux variantes de
- 25 boîtiers selon le deuxième mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 12 (12A, 12B, 12C) illustre des moyens pour améliorer la flexibilité mécanique d'un boîtier ou d'un ensemble de boîtiers selon l'invention selon plusieurs axes (figure 12A = référence);
- la figure 13 (13A, 13B, 13C) illustre la sortie d'une ou plusieurs pistes
- 30 électriques formant électrodes ou plages de connexion d'un boîtier conforme à l'invention, la feuille inférieure dudit boîtier est en céramique;

- la figure 14 (14A, 14B, 14C) illustre un autre type de sortie d'une ou plusieurs pistes électriques formant électrodes ou plages de connexion d'un boîtier conforme à l'invention, dans le cas où la feuille inférieure dudit boîtier est en céramique;
- 5 - la figure 15 (15A, 15B, 15C) illustre encore un autre type de sortie d'une plusieurs pistes électriques formant électrodes ou plages de connexion d'un boîtier conforme à l'invention, dans le cas où la feuille inférieure dudit boîtier est en métal.

Les figures 1 à 5 illustrent un boîtier selon un premier mode
10 de réalisation de l'invention et les différentes étapes de son procédé de fabrication. En particulier, la figure 1 (vue de dessus) représente schématiquement les différentes pièces du boîtier, avant leur assemblage. Ces pièces sont un premier élément en forme de feuille, ou « feuille inférieure » 11, servant de support au dispositif à encapsuler, un premier
15 cadre métallique 12, ou « cadre métallique inférieur » et un deuxième élément servant de couvercle, constitué à son tour par un deuxième élément, également en forme de feuille et dit « feuille supérieure » 15 et par un deuxième cadre métallique, ou « cadre métallique supérieur » 16.

La figure 1A représente la feuille inférieure 11 qui, dans le
20 mode de réalisation exemplaire considéré ici, est une pièce de forme carrée, de côté noté L_F , avantageusement compris entre 5 mm et 10 cm. D'autres formes sont envisageables, en particulier une forme circulaire. L'épaisseur de la feuille inférieure 11, notée e_{FI} , est avantageusement inférieure à 500µm, de préférence inférieure à 50 µm. La feuille inférieure 11 est avantageusement
25 une pièce en céramique (de préférence en zircone ZrO_2 stabilisée à l'oxyde d'yttrium Y_2O_3 à 3% molaire ou plus, ou en zircone ZrO_2 stabilisée à l'oxyde de cérium CeO_2), ou en métal (de préférence en titane ou en alliage de titane). La feuille inférieure 11 peut être également une pièce en verre. Un avantage de la céramique ou du verre par rapport au métal est sa meilleure
30 transparence aux rayonnements électromagnétiques ou lumineux, ce qui peut être utile dans certaines applications. Un avantage de la zircone stabilisée par rapport au verre est la meilleure résistance mécanique (en particulier la

meilleure ténacité). Un avantage du métal par rapport à la céramique et au verre est sa meilleure résistance mécanique.

La figure 1B représente le premier cadre métallique, ou cadre métallique inférieur 12, qui est une pièce de forme carrée (plus généralement, épousant la forme de la feuille inférieure), et présentant une ouverture centrale de forme carrée de côté noté L_C , avantageusement compris entre 5 mm et 10 cm. Le cadre métallique inférieur 12 comprend deux parties :

- une partie externe 13, de largeur notée $L_{\text{ext-C}}$ (avantageusement comprise entre 500 μm et 1 cm), et d'épaisseur notée $e_{\text{ext-CI}}$ (avantageusement inférieure à 500 μm , de préférence inférieure à 50 μm) ;
- une partie interne 14, de largeur notée $L_{\text{int-C}}$ (avantageusement comprise entre 500 μm et 1 cm), et d'épaisseur notée $e_{\text{int-CI}}$ inférieure ou égale à $e_{\text{ext-CI}}$.

La partie externe 13 et la partie interne 14 constituent, dans le cas considéré ici, une seule et unique pièce monolithique 12. Le cadre métallique inférieur 12 est avantageusement une pièce en titane ou en alliage de titane.

La figure 1C représente la feuille supérieure 15 qui, dans le mode de réalisation exemplaire considéré ici, est une pièce de forme carrée, de côté égal à L_F . L'épaisseur de la feuille supérieure 15, notée e_{FS} , est avantageusement inférieure à 500 μm , de préférence inférieure à 50 μm . La feuille supérieure 15 est avantageusement une pièce en céramique (de préférence en zircone ZrO_2 stabilisée à l'oxyde d'yttrium Y_2O_3 à 3% molaire ou plus, ou en zircone ZrO_2 stabilisée à l'oxyde de cérium CeO_2), ou en métal (de préférence en titane ou en alliage de titane). La feuille supérieure 15 peut être également une pièce en verre.

La figure 1D représente le deuxième cadre métallique, ou cadre métallique supérieur 16 qui, dans le mode de réalisation exemplaire considéré ici, est une pièce de forme carrée (plus généralement, épousant la forme de la feuille inférieure), présentant une ouverture centrale de forme carrée de côté égal à L_C . Le cadre métallique inférieur 16 comprend lui aussi deux parties :

- une partie externe 17, de largeur égale à $L_{\text{ext-C}}$, et d'épaisseur notée $e_{\text{ext-CS}}$ (avantageusement inférieure à 500 μm , de préférence inférieure à 50 μm) ;
- une partie interne 18, de largeur égale à $L_{\text{int-C}}$, et d'épaisseur notée $e_{\text{int-CS}}$ inférieure ou égale à $e_{\text{ext-CS}}$.

La partie externe 17 et la partie interne 18 constituent, dans le cas considéré ici, une seule et unique pièce monolithique 16. Le cadre métallique supérieur 16 est avantageusement une pièce en titane ou en alliage de titane.

La figure 2 représente schématiquement le boîtier une fois les différentes pièces assemblées (feuille inférieure 11, cadre métallique inférieur 12, feuille supérieure 15, cadre métallique supérieur 16). La figure 2A est une vue de dessus, alors que la figure 2B est une vue en coupe selon l'axe représenté en pointillé sur la figure 2A. La partie externe 13 du cadre métallique inférieur 12 est positionnée en totalité à l'extérieur du périmètre délimité par la feuille inférieure 11, et la partie interne 14 du cadre métallique inférieur 12 est positionnée en partie à l'intérieur du périmètre délimité par la feuille inférieure 11. De même, la partie externe 17 du cadre métallique supérieur 16 est positionnée en totalité à l'extérieur du périmètre délimité par la feuille supérieure 15, et la partie interne 18 du cadre métallique supérieur 16 est positionnée en partie à l'intérieur du périmètre délimité par la feuille supérieure 15.

Un premier joint hermétique est formé entre la feuille inférieure 11 et la partie interne 14 du cadre métallique inférieur 12. Avantageusement, ce joint hermétique est formé par brasage. Dans le cas où la feuille inférieure 11 est en zircone et le cadre métallique inférieur 12 est en titane ou en alliage de titane, ce brasage peut être effectué dans un four sous vide secondaire, à une température de l'ordre de 1000°C, via un joint de brasure à base d'un alliage titane-nickel. On pourra par exemple utiliser un joint de brasure du type TiNi-50 (Ni 50% en masse) commercialisé par la société Wesgo. Alternativement, on pourra utiliser un joint de brasure contenant une quantité plus importante de nickel (c'est-à-dire supérieure

à 50% en masse), le complément en titane étant directement apporté par le titane contenu dans le cadre métallique inférieur 12. Le joint de brasure peut être positionné légèrement en retrait (quelques mm) du bord de la feuille inférieure 11, afin notamment d'éviter des coulures du joint vers l'extérieur du

5 périmètre délimité par la feuille 11 pendant le recuit de brasage. Avant d'effectuer le brasage, une couche mince métallique (titane, or, platine, etc.) peut être préalablement déposée (par dépôt physique en phase vapeur, dépôt chimique en phase vapeur, électrodépôt, enduction, impression, etc.) sur les bords de la feuille inférieure 11. Comme connu dans l'art antérieur (voir par

10 exemple Jiang et al., « *Technology advances and challenges in hermetic packaging for implantable medical devices* », Implantable Neural Prostheses 2, Biological and Medical Physics, Biomedical Engineering 2010, pp 27-61), une telle couche mince métallique peut faciliter la formation du brasage d'une pièce métallique sur une pièce en céramique. Avant d'effectuer

15 le brasage, une couche mince d'oxyde (alumine, silice, etc.) peut être préalablement déposée (par dépôt physique en phase vapeur, dépôt chimique en phase vapeur, enduction, impression, etc.) sur les bords ou la totalité de la feuille inférieure 11, afin de limiter le noircissement de la pièce en céramique lors du brasage (cet éventuel noircissement est dû à la diffusion de l'oxygène

20 depuis la pièce en céramique vers le joint de brasure, conduisant à une pièce en céramique sous-stœchiométrique en oxygène).

En variante, le premier joint hermétique peut être réalisé par soudage par diffusion à l'état solide. En variante, lorsque la feuille inférieure est en céramique, le premier joint hermétique peut être réalisé par cofrittage

25 de ladite feuille inférieure et dudit cadre métallique inférieur.

Un autre joint hermétique, dit « troisième joint hermétique », est également formé entre la feuille supérieure 15 et la partie interne 18 du cadre métallique supérieur 16. Avantageusement, ce joint hermétique est formé par brasage, par un procédé similaire à celui utilisé pour former le

30 premier joint hermétique entre la feuille inférieure 11 et la partie interne 14 du cadre métallique inférieur 12.

Encore un autre joint hermétique, dit deuxième joint hermétique, est formé entre la partie externe 13 du cadre métallique inférieur 12 et la partie externe 17 du cadre métallique supérieur 16. Avantageusement, ce joint hermétique est formé par soudage au faisceau laser. Ce procédé se caractérise par un apport localisé de chaleur, le diamètre typique du faisceau laser pouvant être de l'ordre de quelques centaines de microns. D'autres procédés de soudage avec apport localisé de chaleur peuvent être utilisés, comme le soudage par faisceau d'électrons, ou le soudage par résistance (effet Joule).

Le fait que la partie externe 13 du cadre métallique inférieur 12 soit positionnée en totalité à l'extérieur du périmètre délimité par la feuille inférieure 11, et que la partie externe 17 du cadre métallique supérieur 16 soit positionnée en totalité à l'extérieur du périmètre délimité par la feuille supérieure 15 est particulièrement avantageux. En effet, une telle configuration géométrique permet de former un joint hermétique entre la partie externe 13 du cadre métallique inférieur 12 et la partie externe 17 du cadre métallique supérieur 16, sans pour autant dégrader thermiquement le joint hermétique entre la feuille inférieure 11 et la partie interne 14 du cadre métallique inférieur 12 (ce joint étant positionné à l'intérieur du périmètre délimité par la feuille inférieure 11) et/ou le joint hermétique entre la feuille supérieure 15 et la partie interne 18 du cadre métallique supérieur 16 (ce joint étant positionné à l'intérieur du périmètre délimité par la feuille supérieure 15).

Le fait que l'épaisseur $e_{\text{ext-CI}}$ (respectivement $e_{\text{ext-CS}}$) de la partie externe 13 (respectivement 17) du cadre métallique inférieur 12 (respectivement du cadre métallique supérieur 16) soit supérieure ou égale à l'épaisseur $e_{\text{int-CI}}$ (respectivement $e_{\text{int-CS}}$) de la partie interne 14 (respectivement 18) permet d'apporter une quantité de matière suffisante pour assurer la formation d'un joint hermétique entre la partie externe 13 et la partie externe 17, par un procédé tel que le soudage au faisceau laser. Plus particulièrement, la partie externe de chaque cadre peut présenter une surépaisseur orientée uniquement du côté opposé au deuxième joint

hermétique formé entre les deux cadres. Cela permet de ne pas augmenter l'épaisseur totale de l'assemblage.

Le fait que l'épaisseur $e_{\text{int-CI}}$ (respectivement $e_{\text{int-CS}}$) de la partie interne 14 (respectivement 18) du cadre métallique inférieur 12 (respectivement du cadre métallique supérieur 16) soit inférieure ou égale à l'épaisseur $e_{\text{ext-CI}}$ (respectivement $e_{\text{ext-CS}}$) de la partie externe 13 (respectivement 17) permet d'assurer la finesse et la flexibilité mécanique du boîtier, et ce même au niveau des zones potentiellement les plus épaisses, c'est-à-dire des zones où se trouve un empilement feuille/cadre/cadre/feuille.

La figure 3 (vue en coupe) représente schématiquement le procédé de soudage au faisceau laser pour la formation du joint hermétique entre la partie externe 13 du cadre métallique inférieur 12 et la partie externe 17 du cadre métallique supérieur 16.

La figure 3A représente la partie inférieure du boîtier (qui comprend la feuille inférieure 11 et le cadre métallique inférieur 12) et la partie supérieure du boîtier (qui comprend la feuille supérieure 15 et le cadre métallique supérieur 16), après la formation des joints hermétiques entre les feuilles et les cadres métalliques, mais avant la formation du deuxième joint hermétique entre les deux cadres métalliques. Dans le cas représenté à la figure 3A, le joint hermétique entre la feuille inférieure 11 et la partie interne 14 du cadre métallique inférieur 12 a été formé par brasage, via un joint de brasure 31 ; de même, le joint hermétique entre la feuille supérieure 15 et la partie interne 18 du cadre métallique supérieur 16 a été formé par brasage, via un joint de brasure 32.

Avantageusement, des éléments - composants, ou dispositifs (et en particulier des composants électroniques) - à encapsuler dans un boîtier hermétique selon l'invention sont positionnés entre la feuille inférieure 11 et la feuille supérieure 15 seulement après la formation du joint hermétique entre les feuilles et les cadres métalliques. En effet, le procédé de formation du joint hermétique entre les feuilles et les cadres métalliques implique généralement une étape dans un four à haute température, ce qui est susceptible de dégrader les éléments à encapsuler.

La figure 3B représente la formation dudit deuxième joint hermétique entre les deux cadres métalliques par soudage au faisceau laser. Le joint hermétique est formé entre la partie externe 13 du cadre métallique inférieur 12 et la partie externe 17 du cadre métallique supérieur 16, par apport localisé de chaleur dans cette zone. Le faisceau laser est représenté schématiquement par deux flèches en trait pointillé, pénétrant dans la partie externe 17 du cadre métallique supérieur 16 et la partie externe 13 du cadre métallique inférieur 12. Etant donné que les parties externes des cadres métalliques 12 et 16 sont positionnées en totalité à l'extérieur du périmètre délimité par les feuilles 11 et 15, le procédé de soudage ne dégrade pas thermiquement ni les joints hermétiques précédemment formés entre les feuilles et les cadres métalliques (notamment les joints de brasure 31 et 32), ni les éléments à encapsuler précédemment positionnés entre les deux feuilles.

Les éléments à encapsuler peuvent faire l'objet d'une « pré-encapsulation », c'est-à-dire d'un enrobage par un matériau polymère préalablement à la formation du deuxième joint hermétique.

La figure 4A représente la partie inférieure et la partie supérieure du boîtier, après la formation du joint hermétique entre les feuilles et les cadres métalliques, mais avant la formation du joint hermétique entre les deux cadres métalliques. Des éléments 41 à encapsuler sont fixés sur la feuille inférieure 11, éventuellement par l'intermédiaire d'une couche diélectrique si ladite feuille inférieure est métallique. En particulier, la feuille inférieure 11 peut constituer un substrat sur lequel sont assemblés des composants 41 par des techniques de type à puce retournée (« *flip chip* » en anglais) ou soudure de fils (« *wire bonding* » en anglais). Les composants 41 peuvent être des circuits intégrés (de préférence sur substrat de silicium aminci), des composants passifs discrets (notamment des condensateurs ou des bobines), des batteries en couches minces (sur substrat de silicium aminci, ou sur feuille ultrafine en polymère, céramique, métal ou verre), des modules photovoltaïques en couches minces (sur feuille ultrafine en polymère, céramique, métal ou verre), des modules photovoltaïques en

silicium cristallin (de préférence sur substrat de silicium aminci), des diodes électroluminescentes (sur substrat aminci), ou tout autre composant électronique, photonique, de récupération d'énergie, ou de stockage de l'énergie.

5 Les composants 41 sont recouverts d'une couche en polymère 42, dite de pré-encapsulation. Le rôle de la couche de pré-encapsulation 42 est de protéger mécaniquement les composants 41. Avantageusement, l'épaisseur maximale de la couche de pré-encapsulation 42 est inférieure à 300 μm . Avantageusement, et comme
10 représenté à la figure 4A, l'épaisseur de la couche de pré-encapsulation 42 dans les zones situées à proximité de la partie interne 14 du cadre métallique inférieur 12 est inférieure ou environ égale à la somme $e_{\text{int-CI}} + e_{\text{int-CS}}$. Avantageusement, la pente du relief de la couche de pré-encapsulation 42 est faible. Plus spécifiquement, la pente du relief de la couche de
15 pré-encapsulation 42 est partout inférieure à 20%. La couche de pré-encapsulation 42 est par exemple à base de silicones ou de polyuréthanes. Ces polymères présentent l'avantage d'être flexibles, facilement mis en forme par des procédés de moulage, et couramment utilisés dans les implants médicaux. La couche de pré-encapsulation 42 peut être
20 formée par un procédé de moulage, de dépôt ou de laminage.

La figure 4B représente le boîtier, après la formation du joint hermétique entre les deux cadres métalliques. Avantageusement, la feuille supérieure 15 se déforme légèrement pour épouser de manière conforme les reliefs de la couche de pré-encapsulation 42. Ceci est rendu possible par le
25 fait que la pente du relief de la couche de pré-encapsulation 42 soit faible, et par le fait que la feuille supérieure 15 soit ultrafine. Une telle configuration limite considérablement le risque d'endommagement de la feuille supérieure 15 pendant et après le procédé de formation du joint hermétique entre les deux cadres métalliques.

30 Avantageusement, la « surface libre » de la feuille supérieure 15 (c'est-à-dire la surface centrale de la feuille supérieure 15 qui ne forme pas de joint hermétique avec la partie interne 18 du cadre métallique

supérieur 16) est légèrement supérieure à la « surface libre » de la feuille inférieure 11 (c'est-à-dire la surface centrale de la feuille inférieure 11 qui ne forme pas de joint hermétique avec la partie interne 14 du cadre métallique inférieur 12). Ceci permet à la feuille supérieure 15 de se déformer légèrement pour épouser de manière conforme les reliefs de la couche de pré-encapsulation 42.

Le dispositif médical implantable encapsulé représenté schématiquement à la figure 4B se présente sous la forme d'un objet ultrafin et mécaniquement conformable. L'épaisseur de l'objet :

- 10 - au niveau de l'empilement 13/17 est de préférence inférieure à 100 μm (si l'épaisseur de chacune des parties externes des cadres métalliques est inférieure à 50 μm), et peut être de l'ordre de 60 μm (si l'épaisseur de chacune des parties externes des cadres métalliques est de l'ordre de 30 μm),
- au niveau de l'empilement 11/14/18/15 est de préférence inférieure 15 à 150 μm (si l'épaisseur de chacune des feuilles est inférieure à 50 μm et si l'épaisseur de chacune des parties internes des cadres métalliques est inférieure à 25 μm), et peut être de l'ordre de 100 μm (si l'épaisseur de chacune des feuilles est de l'ordre de 40 μm et si l'épaisseur de chacune des parties internes des cadres métalliques est de l'ordre de 10 μm),
- 20 - au niveau de l'empilement 11/42/15 est de préférence inférieure à 400 μm (si l'épaisseur de chacune des feuilles est inférieure à 50 μm et si l'épaisseur maximale de la couche de pré-encapsulation est inférieure à 300 μm), et peut être de l'ordre de 250 μm (si l'épaisseur de chacune des feuilles est de l'ordre de 40 μm et si l'épaisseur maximale de la couche de 25 pré-encapsulation est de l'ordre de 170 μm).

Ainsi l'épaisseur de l'objet au niveau de sa zone la plus épaisse (c'est-à-dire au niveau de l'empilement 11/42/15) peut être de l'ordre de 250 μm . En termes de flexibilité mécanique, la flexibilité de l'objet est limitée par les feuilles (qui sont des pièces en céramique, métal ou verre) et 30 les cadres métalliques. La flexibilité n'est pas limitée par la couche de pré-encapsulation 42, car il s'agit d'une couche en polymère qui demeure flexible même pour de fortes épaisseurs. La flexibilité sera donc

essentiellement limitée par l'épaisseur de l'empilement 11/14/18/15, qui peut être de l'ordre de 100 μm comme détaillé ci-dessus. Une telle épaisseur est suffisamment faible pour assurer une bonne flexibilité mécanique à l'objet final.

5 Le boîtier peut aussi être enrobé par un matériau polymère, après la formation du deuxième joint hermétique (« post-encapsulation »).

La figure 4C représente une couche en polymère 43, dite de post-encapsulation, qui enrobe la feuille inférieure 11, la feuille supérieure 15, et les joints hermétiques formés latéralement entre ces deux feuilles. Un premier rôle de la couche de post-encapsulation 43 est de protéger mécaniquement l'ensemble du dispositif et du boîtier, notamment la feuille inférieure 11 et la feuille supérieure 15. Un deuxième rôle de la couche de post-encapsulation 43 est d'obtenir un dispositif final dont les bords ne soient pas tranchants. Avantageusement, l'épaisseur maximale de la couche de post-encapsulation 43 est inférieure à 300 μm . La couche de post-encapsulation 43 est par exemple à base de silicones ou de polyuréthanes. La couche de post-encapsulation 43 peut être formée par un procédé de moulage, de dépôt ou de laminage.

Des dispositifs ou composants électroniques encapsulés à l'intérieur d'un boîtier selon l'invention doivent le plus souvent pouvoir communiquer avec l'extérieur au moyen d'électrodes. Par exemple, un stimulateur neuronal ou cardiaque doit pouvoir délivrer des impulsions à des tissus, directement ou par l'intermédiaire de sondes. Il est donc nécessaire de permettre la sortie d'une ou plusieurs pistes électriques formant électrodes ou plages de connexion, et cela sans compromettre l'herméticité du boîtier. Une possible solution à ce problème est illustrée par la figure 5.

La figure 5A (vue de dessus), la figure 5B (vue de dessous) et la figure 5C (vue en coupe selon l'axe représenté en pointillé sur la figure 5A) représentent la sortie d'électrodes 53 au niveau de la feuille inférieure 11. Comme mentionné précédemment, la feuille inférieure 11 est avantagement une pièce en céramique, en métal ou en verre. Dans le cas où la feuille inférieure 11 est en métal, elle doit être recouverte sur sa face

inférieure et sa face supérieure ainsi que sur ses tranches par une couche mince électriquement isolante, par exemple une couche mince d'alumine déposée par dépôt chimique en phase vapeur. Des pistes électriquement conductrices 53 sont formées sur l'un des bords de la feuille inférieure 11, de manière à ce que les pistes conductrices 53 relient la face supérieure 52 et la face inférieure 56 de la feuille inférieure 11, via la tranche de la feuille inférieure 11. La largeur des pistes conductrices 53 est avantageusement comprise entre 10 μm et 1 mm. L'épaisseur des pistes conductrices 53 est avantageusement comprise entre 10 nm et 1 μm . Les pistes conductrices 53 sont par exemple des couches minces métalliques (or, platine, etc.) déposées par dépôt physique en phase vapeur, dépôt chimique en phase vapeur, électrodépôt, enduction ou impression. L'étape de dépôt peut être associée à une étape de structuration, par exemple par photolithographie, gravure chimique, gravure plasma, gravure mécanique ou gravure laser. Les pistes conductrices 53 sont recouvertes de manière conforme par une couche mince électriquement isolante 54. Seules les extrémités des pistes conductrices 53 (au niveau de la face supérieure 52 et de la face inférieure 56 de la feuille inférieure 11) ne sont pas recouvertes par la couche mince isolante 54. L'épaisseur de la couche mince isolante 54 est avantageusement comprise entre 10 nm et 1 μm . La couche mince isolante 54 est par exemple une couche mince de silice, nitrure de silicium, alumine ou zircone déposée par dépôt physique en phase vapeur, par dépôt chimique en phase vapeur, enduction ou impression. L'étape de dépôt peut être associée à une étape de structuration. Un cadre électriquement isolant 55 est formé sur les bords de la face supérieure 52 de la feuille inférieure 11 ; il a une fonction de planarisation desdits bords, afin que la partie interne 14 du cadre métallique inférieur puisse être positionné sur une surface plane. Le cadre isolant 55 recouvre partiellement la couche mince isolante 54 et les pistes conductrices 53. L'épaisseur du cadre isolant 55 est avantageusement comprise entre 100 nm et 50 μm . Le cadre isolant 55 peut être par exemple une couche de silice, de nitrure de silicium, d'alumine ou de zircone déposée par dépôt physique en phase vapeur, dépôt chimique en phase vapeur, enduction ou impression.

L'étape de dépôt peut être associée à une étape de structuration. Un matériau isolant jouant le rôle de barrière de diffusion, telle qu'une céramique dense, est particulièrement avantageux, afin d'éviter la diffusion d'espèces métalliques à travers le cadre isolant 55 lors de la formation du joint hermétique entre la feuille inférieure 11 et la partie interne 14 du cadre métallique inférieur 12. Alternativement, le cadre isolant 55 peut être une pièce en céramique (de préférence en zircone ZrO_2 stabilisée à l'oxyde d'yttrium Y_2O_3 à 3% molaire ou plus, ou en zircone ZrO_2 stabilisée à l'oxyde de cérium CeO_2), assemblée par cofrittage avec la feuille inférieure 11.

La figure 5D (vue en coupe) représente schématiquement le boîtier une fois les différentes pièces assemblées (feuille inférieure 11 avec la sortie d'électrodes 53, cadre métallique inférieur 12, feuille supérieure 15, cadre métallique supérieur 16).

Les figures 6 à 8 illustrent un boîtier selon un deuxième mode de réalisation de l'invention et les différentes étapes de son procédé de fabrication. Ce deuxième mode de réalisation se différencie du premier mode de réalisation décrit ci-dessus en ce que le deuxième élément servant de couvercle est constitué par la seule deuxième feuille (ou feuille supérieure), qui est réalisée en métal, le deuxième cadre (ou cadre supérieur) étant absent.

La figure 6 (vue de dessus) représente schématiquement les différentes pièces d'un tel boîtier, avant leur assemblage.

La figure 6A représente la feuille inférieure 61. Dans le cas représenté à la figure 6A, la feuille inférieure 61 est une pièce de forme carrée, de côté noté L_F , avantageusement compris entre 5 mm et 10 cm. D'autres formes sont envisageables, en particulier une forme circulaire. L'épaisseur de la feuille inférieure 61, notée e_{FI} , est avantageusement inférieure à 500 μm , de préférence inférieure à 50 μm . La feuille inférieure 61 est avantageusement une pièce en céramique (de préférence en zircone ZrO_2 stabilisée à l'oxyde d'yttrium Y_2O_3 à 3% molaire ou plus, ou en zircone ZrO_2 stabilisée à l'oxyde de cérium CeO_2), ou en métal (de préférence en titane ou

en alliage de titane). La feuille inférieure 61 peut être également une pièce en verre.

La figure 6B représente le seul cadre métallique du boîtier qui, dans un souci de cohérence terminologique avec le premier mode de réalisation sera appelé « premier cadre métallique » ou « cadre métallique inférieur » 62. Dans le mode de réalisation exemplaire considéré ici, le cadre métallique inférieur 62 est une pièce de forme carrée, et présentant une ouverture centrale de forme carrée de côté noté L_C , avantageusement compris entre 5 mm et 10 cm. Comme dans le premier mode de réalisation de l'invention, le cadre métallique inférieur 62 comprend deux parties :

- une partie externe 63, de largeur notée $L_{\text{ext-C}}$ (avantageusement comprise entre 500 μm et 1 cm), et d'épaisseur notée $e_{\text{ext-CI}}$ (avantageusement inférieure à 500 μm , de préférence inférieure à 50 μm) ;
- une partie interne 64, de largeur notée $L_{\text{int-C}}$ (avantageusement comprise entre 500 μm et 1 cm), et d'épaisseur notée $e_{\text{int-CI}}$ inférieure ou égale à $e_{\text{ext-CI}}$.

Dans le mode de réalisation exemplaire considéré ici, la partie externe 63 et la partie interne 64 constituent une seule et unique pièce monolithique 62. Le cadre métallique inférieur 62 est avantageusement une pièce en titane ou en alliage de titane.

La figure 6C représente la feuille métallique supérieure 65. Dans le cas représenté à la figure 6C, la feuille métallique supérieure 65 est une pièce de forme carrée, de côté noté L_{FS} , avantageusement compris entre 5 mm et 10 cm. Le côté L_{FS} de la feuille métallique supérieure 65 est plus grand que le côté L_F de la feuille inférieure 61, afin de permettre le positionnement de la partie externe 63 du cadre métallique inférieur 62 à la verticale de la périphérie de la feuille métallique supérieure 65, puis de former un joint hermétique entre la partie externe 63 du cadre métallique inférieur 62 et la périphérie de la feuille métallique supérieure 65 (voir ci-dessous). L'épaisseur de la feuille métallique supérieure 65, notée e_{FS} , est avantageusement inférieure à 500 μm , de préférence inférieure à 50 μm . La

feuille métallique supérieure 65 est avantageusement une pièce en titane ou en alliage de titane.

La figure 7 représente schématiquement le boîtier de la figure 6 une fois les différentes pièces assemblées (feuille inférieure 61, cadre métallique inférieur 62, feuille métallique supérieure 65). La figure 7A est une
5 vue de dessus, alors que la figure 7B est une vue en coupe selon l'axe représenté en pointillé sur la figure 7A. La partie externe 63 du cadre métallique inférieur 62 est positionnée en totalité à l'extérieur du périmètre délimité par la feuille inférieure 61, et la partie interne 64 du cadre métallique
10 inférieur 62 est positionnée en partie à l'intérieur du périmètre délimité par la feuille inférieure 61. Un premier joint hermétique est formé entre la feuille inférieure 61 et la partie interne 64 du cadre métallique inférieur 62. Avantageusement, ce joint hermétique est formé par brasage. Alternativement, ce joint hermétique peut être formé par soudage par diffusion
15 à l'état solide ou par cofrittage. Un deuxième joint hermétique est formé entre la partie externe 63 du cadre métallique inférieur 62 et la périphérie de la feuille métallique supérieure 65. Avantageusement, ce joint hermétique est formé par soudage au faisceau laser. D'autres procédés de soudage avec apport localisé de chaleur peuvent être utilisés, comme le soudage par
20 faisceau d'électrons, ou le soudage par résistance (effet Joule).

Comme cela a été expliqué au sujet du premier mode de réalisation, il est avantageux que la partie externe 63 du cadre métallique inférieur 62 soit positionnée en totalité à l'extérieur du périmètre délimité par la feuille inférieure 61 ; et que l'épaisseur $e_{\text{ext-CI}}$ de la partie externe 63 du cadre
25 métallique inférieur 62 soit supérieure ou égale à l'épaisseur $e_{\text{int-CI}}$ de la partie interne 64.

La figure 8 (vue en coupe) représente schématiquement le procédé de soudage au faisceau laser pour la formation du joint hermétique entre la partie externe 63 du cadre métallique inférieur 62 et la périphérie de
30 feuille métallique supérieure 65.

La figure 8A représente la partie inférieure du boîtier (qui comprend la feuille inférieure 61 et le cadre métallique inférieur 62) et la partie

supérieure du boîtier (qui comprend la feuille métallique supérieure 65), après la formation du joint hermétique entre la feuille inférieure 61 et le cadre métallique inférieur 62, mais avant la formation du joint hermétique entre le cadre métallique inférieur 62 et la feuille métallique supérieure 65. Comme
5 cela a été expliqué au sujet du premier mode de réalisation, il est avantageux que des éléments - composants, ou dispositifs (et en particulier des composants électroniques) - à encapsuler dans un boîtier hermétique selon l'invention soient positionnés entre la feuille inférieure 61 et la feuille supérieure 65 seulement après la formation du joint hermétique entre la feuille
10 inférieure 61 et le cadre métallique inférieur 62. En effet, la formation de ce joint implique généralement une étape dans un four à haute température, ce qui est susceptible de dégrader les éléments à encapsuler.

La figure 8B représente la formation du deuxième joint hermétique entre le cadre métallique inférieur 62 et la feuille métallique
15 supérieure 65 par soudage au faisceau laser. Le joint hermétique est formé entre la partie externe 63 du cadre métallique inférieur 62 et la périphérie de la feuille métallique supérieure 65, par apport localisé de chaleur dans cette zone. Le faisceau laser est représenté schématiquement par deux flèches en trait pointillé, pénétrant dans la périphérie de la feuille métallique
20 supérieure 65 et la partie externe 63 du cadre métallique inférieur 62. Comme dans le cas du premier mode de réalisation, étant donné que la partie externe 63 du cadre métallique inférieur 62 est positionnée en totalité à l'extérieur du périmètre délimité par la feuille inférieure 61, le procédé de soudage ne dégrade pas thermiquement ni le joint hermétique précédemment
25 formé entre la feuille inférieure 61 et le cadre métallique inférieur 62, ni les éléments à encapsuler précédemment positionnés entre les deux feuilles.

De la même manière que dans le premier mode de réalisation, l'encapsulation peut être complétée par une pré-encapsulation 92 protégeant mécaniquement les éléments 93 et/ou une post-encapsulation 94,
30 comme représenté à la figure 9 (vue en coupe).

De la même manière que dans le premier mode de réalisation, une sortie hermétique d'une ou plusieurs électrodes peut être aménagée.

L'invention admet diverses variantes et améliorations.

5 Par exemple, un dessiccant peut être introduit dans le volume interne défini par le boîtier, notamment par dépôt d'une couche mince d'un gel de silice sur la face interne de l'une des feuilles, ou par utilisation d'un polymère de pré-encapsulation chargé avec des particules (en particulier des nanoparticules) de silice.

10 Les feuilles peuvent présenter un relief contrôlé, notamment afin de définir une cavité. Par exemple, comme représenté schématiquement à la figure 10A dans le cas du deuxième mode de réalisation, la feuille métallique supérieure 65 peut présenter une forme concave. Ceci permet, après assemblage des différentes pièces du boîtier, de définir une cavité 102
15 contenant les composants 93.

Dans un autre exemple, représenté schématiquement à la figure 10B dans le cas du deuxième mode de réalisation, la feuille métallique supérieure 65, initialement plane, a été mise en forme par emboutissage ou hydroformage ou tout autre procédé mécanique. Comme on peut le constater,
20 les faces interne et externe de la feuille 65 sont toutes deux de forme concave. Ceci permet, après assemblage des différentes pièces du boîtier, de définir une cavité 102 contenant les composants 93. L'épaisseur de l'objet décrit à la figure 10B dans sa zone la plus épaisse (c'est-à-dire au niveau de l'empilement 61/102/65) peut être par exemple de l'ordre de 3 mm (si
25 l'épaisseur de chacune des feuilles 61 et 65 est de l'ordre de 500 μm , et si la hauteur maximale de la cavité 102 est de l'ordre de 2 mm). A l'autre extrême de la gamme d'épaisseur avantageusement considérée dans la présente invention, l'épaisseur de l'objet décrit à la figure 10B dans sa zone la plus épaisse (c'est-à-dire au niveau de l'empilement 61/102/65) peut être de l'ordre
30 de 250 μm (si l'épaisseur de chacune des feuilles 61 et 65 est de l'ordre de 40 μm , et si la hauteur maximale de la cavité 102 est de l'ordre de 170 μm).

Dans un autre exemple, représenté schématiquement à la figure 10C dans le cas du deuxième mode de réalisation, la feuille inférieure 61 peut présenter une forme en U. Dans le cas où la feuille inférieure 61 est une pièce en céramique, une telle forme en U peut être obtenue par co-frittage d'une feuille plane en céramique et d'un cadre en céramique. La forme en U de la feuille inférieure 61 permet, après assemblage des différentes pièces du boîtier, de définir une cavité 102 contenant les composants 93. Dans le cas où la feuille inférieure 61 est une pièce en céramique, il est préférable de définir la cavité 102 en donnant une forme en U à la feuille inférieure 61, plutôt que de simplement augmenter l'épaisseur de la partie interne 64 du cadre métallique inférieur 62 ; en effet, augmenter l'épaisseur de la partie interne 64 du cadre métallique inférieur 62 a pour conséquence d'augmenter la quantité de métal dans le boîtier, ce qui peut poser des problèmes dans le cas d'applications implantables en matière de compatibilité du boîtier avec l'imagerie par résonance magnétique (IRM).

Finalement, la feuille métallique supérieure 65 peut présenter une forme concave, uniquement sur sa face interne ou à la fois sur ses faces interne et externe et/ou la feuille inférieure 61 peut présenter une forme en U.

Les variantes des figures 10 A, 10B et 10C concernent également le premier mode de réalisation.

Dans le cas d'une feuille en céramique ou en verre, un cadre métallique de protection peut être ajouté sur la face externe, afin de renforcer la résistance mécanique. Par exemple, comme représenté à la figure 11 dans le cas du deuxième mode de réalisation, un cadre métallique de protection 111 est fixé sur la face inférieure de la feuille inférieure 61. L'ouverture centrale du cadre métallique de protection 111 peut être plus ou moins grande selon l'application visée. Cette variante concerne également le premier mode de réalisation.

Dans le cas d'une feuille en céramique, un dépôt de couches minces peut être effectué sur la face externe, afin de renforcer la résistance contre les attaques par les tissus ou fluides biologiques, et de limiter le vieillissement de la céramique. En effet, les céramiques telles que la zircone

stabilisée à l'oxyde d'yttrium sont susceptibles de vieillir dans des environnements humides. Les couches minces peuvent être par exemple à base de métaux (titane, or, platine, etc.), d'oxydes (alumine, silice, etc.) ou de polymères hydrophobes (polytétrafluoroéthylène, etc.).

5 La figure 12A (vue de dessus) représente un boîtier 121 avec une forme géométrique simple. Avec une telle forme géométrique, le boîtier peut être courbé selon un axe (par exemple, l'axe représenté en pointillés sur la figure 12A), ce qui permet de positionner de manière conforme le boîtier sur des objets de type cylindrique. Cependant, il est plus difficile de courber le
10 boîtier 121 selon plusieurs axes, car ceci engendre des contraintes mécaniques fortes susceptibles d'endommager le boîtier. Ainsi, il est plus difficile de positionner de manière conforme le boîtier 121 sur des objets non cylindriques (par exemple des objets de type sphérique).

Si un boîtier présente une forme géométrique plus complexe,
15 alors il peut être courbé selon un ou plusieurs axes (en particulier plusieurs axes non parallèles entre eux), sans engendrer de contraintes mécaniques fortes. Le boîtier peut par exemple présenter une forme de croix, donc plusieurs branches, avec au moins un axe de courbure potentiel au niveau de chaque branche. Ceci autorise alors de positionner de manière conforme le
20 boîtier sur des objets de formes variées qui ne sont pas nécessairement cylindriques (par exemple des objets de type sphérique). A titre d'exemple, la figure 12B (vue de dessus) représente un boîtier 122 possédant une forme de croix avec quatre branches. Avec une telle forme géométrique, le boîtier 122 peut être courbé selon au moins quatre axes (par exemple, les axes
25 représentés en pointillés sur la figure 12B).

Il est possible de fabriquer un assemblage ou dispositif de plusieurs boîtiers, cet assemblage possédant un degré de conformabilité ou flexibilité mécanique supérieur à celui d'un boîtier unique (pour une forme et des dimensions données). A titre d'exemple, la figure 12C représente un
30 assemblage 123 de plusieurs boîtiers 121. L'assemblage 123 possède une forme et des dimensions similaires à celles du boîtier 122 représenté à la figure 12B. Cependant, l'assemblage 123 possède potentiellement un degré

de conformabilité ou flexibilité mécanique supérieur à celui du boîtier 122. En effet, les boîtiers 121 inclus dans l'assemblage 123 sont reliés mécaniquement par un support commun flexible 124 par exemple réalisé en polymère. Ce polymère peut être biocompatible, par exemple un polymère à base de silicone ou de polyuréthane. Le support commun flexible 124 peut être par exemple une feuille en polymère sur laquelle sont collés (sur une ou deux faces) les boîtiers 121 ; le support 124 peut être également une pièce en polymère surmoulée enrobant partiellement ou complètement les boîtiers 121. En plus de son rôle mécanique, le support 124 peut jouer un rôle d'interconnexion électrique. Ainsi, le support 124 peut inclure des pistes ou fils métalliques permettant d'interconnecter électriquement les différents boîtiers 121 ; le support 124 peut aussi inclure des connecteurs électriques (permettant de connecter l'assemblage 123 à d'autres composants). Enfin, le support 124 peut inclure des composants électroniques qu'il n'est pas nécessaire d'encapsuler dans les boîtiers 121 (par exemple, une bobine ou une antenne, permettant de recevoir ou émettre des informations ou de l'énergie).

Les figures 13, 14 et 15 présentent des montages alternatifs pour permettre la sortie d'une ou plusieurs pistes électriques formant électrodes ou plages de connexion, et cela sans compromettre l'herméticité du boîtier. Les figures 13 et 14 décrivent le cas où la feuille inférieure 11 est une pièce en céramique, et la figure 15 décrit le cas où la feuille inférieure 11 est une pièce en métal.

La figure 13A (vue de dessus) et la figure 13B (vue en coupe selon l'axe représenté en pointillé sur la figure 13A) représentent la sortie d'électrodes 131 au niveau d'un assemblage incluant la feuille inférieure 11 et un cadre additionnel 132. Dans le cas considéré ici, la feuille inférieure 11 est une pièce en céramique, de préférence en zircone ZrO_2 stabilisée à l'oxyde d'yttrium Y_2O_3 à 3% molaire ou plus, ou en zircone ZrO_2 stabilisée à l'oxyde de cérium CeO_2 . Le cadre additionnel 132 est également une pièce en céramique. Les électrodes 131 sont des pistes métalliques, de préférence en platine ou en alliage de platine. Les pistes métalliques 131 forment des

traversées hermétiques céramique-métal entre la feuille inférieure 11 et le cadre 132. Chaque piste métallique 131 relie la face supérieure 52 et la face inférieure 56 de la feuille inférieure 11, via la tranche de la feuille inférieure 11.

Chaque piste métallique 131 présente :

- 5 - une portion 1313 prise en sandwich entre la feuille inférieure 11 et le cadre 132,
 - une première extrémité 1311 accessible sur la face supérieure 52 de la feuille inférieure 11,
 - une deuxième extrémité 1312 accessible sur la face inférieure 56 de la
- 10 feuille inférieure 11.

L'assemblage incluant les pistes métalliques 131, la feuille inférieure 11 et le cadre additionnel en céramique 132 est de préférence élaboré par co-frittage.

- 15 La figure 13C (vue en coupe) représente schématiquement le boîtier une fois les différentes pièces assemblées. Un premier joint hermétique est formé entre le cadre additionnel 132 et la partie interne 14 du cadre métallique inférieur 12. Avantagusement, ce premier joint est formé par brasage.

- 20 La figure 14A (vue de dessus) et la figure 14B (vue en coupe selon l'axe représenté en pointillé sur la figure 14A) représentent la sortie d'électrodes 141 au niveau d'un assemblage incluant la feuille inférieure 11 et un cadre additionnel 142. Dans le cas considéré ici, la feuille inférieure 11 est une pièce en céramique, de préférence en zircone ZrO_2 stabilisée à l'oxyde d'yttrium Y_2O_3 à 3% molaire ou plus, ou en zircone ZrO_2 stabilisée à l'oxyde de cérium CeO_2 . Le cadre additionnel 142 est également une pièce en
- 25 céramique. Les électrodes 141 sont des pistes métalliques, de préférence en platine ou en alliage de platine. Les pistes métalliques 141 forment des traversées hermétiques céramique-métal entre la feuille inférieure 11 et le cadre 142.

- 30 Chaque piste métallique 141 présente :

- une portion 1413 prise en sandwich entre la feuille inférieure 11 et le cadre additionnel 142 ;

- une première extrémité 1411 accessible sur la face supérieure 52 de la feuille inférieure 11 ;
- une deuxième extrémité 1412 accessible sur la face inférieure 1422 du cadre additionnel 142.

5 L'assemblage incluant les pistes métalliques 141, la feuille inférieure 11 et le cadre 142 est de préférence élaboré par co-frittage.

La figure 14C (vue en coupe) représente schématiquement le boîtier une fois les différentes pièces assemblées. Un premier joint hermétique est formé entre le cadre 142 et la partie interne 14 du cadre métallique
10 inférieur 12. Avantageusement, ce premier joint est formé par brasage.

La figure 15A (vue de dessus) et la figure 15B (vue en coupe selon l'axe représenté en pointillé sur la figure 15A) représentent la sortie d'électrodes 151 au niveau d'un assemblage incluant un premier cadre additionnel 152 et un deuxième cadre additionnel 153. Les deux cadres 152,
15 153 sont des pièces en céramique, de préférence en zircone ZrO_2 stabilisée à l'oxyde d'yttrium Y_2O_3 à 3% molaire ou plus, ou en zircone ZrO_2 stabilisée à l'oxyde de cérium CeO_2 . Les électrodes 151 sont des pistes métalliques, de préférence en platine ou en alliage de platine. Les pistes métalliques 151 forment des traversées hermétiques céramique-métal entre le cadre 152 et le
20 cadre 153.

Chaque piste métallique 151 présente :

- une portion 1513 prise en sandwich entre le premier cadre additionnel 152 et le deuxième cadre additionnel 153,
- une première extrémité 1511 accessible sur la face supérieure 1521 du
25 premier cadre additionnel 152,
- une deuxième extrémité 1512 accessible sur la face inférieure 1532 du deuxième cadre additionnel 153.

L'assemblage incluant les pistes métalliques 151, le cadre 152 et le cadre 153 est de préférence élaboré par co-frittage.

30 La figure 15C (vue en coupe) représente schématiquement le boîtier une fois les différentes pièces assemblées. Un premier joint hermétique est formé entre le deuxième cadre additionnel 153 et la partie interne 14 du

cadre métallique inférieur 12. Avantageusement, ce premier joint est formé par brasage. Un autre joint hermétique est également formé entre le premier cadre additionnel 152 et la feuille inférieure 11. Dans le cas considéré ici, la feuille inférieure 11 est une pièce en métal. Avantageusement, le joint entre le premier cadre additionnel 152 et la feuille inférieure 11 est formé par brasage, simultanément à la formation du joint entre le deuxième cadre additionnel 153 et la partie interne 14 du cadre métallique inférieur 12.

Une autre méthode pour permettre la sortie d'une ou plusieurs pistes électriques formant électrodes ou plages de connexion consiste à utiliser des traversées hermétiques céramique-métal aménagées au travers de la feuille inférieure 11, dans le cas où cette feuille inférieure est une pièce en céramique. Ces traversées peuvent être élaborées par co-frittage, comme décrit par exemple à la figure 2 dans l'article précité de A. Vanhoestenbergh et al.

Un dispositif de test de l'herméticité du boîtier peut être intégré dans le boîtier, afin de qualifier de manière non destructive le niveau d'herméticité du boîtier fabriqué. Les tests hélium classiquement employés pour tester l'herméticité des boîtiers en titane conventionnels peuvent difficilement être utilisés dans la présente invention du fait des faibles volumes du boîtier. Afin de tester l'herméticité de boîtiers de faibles volumes (inférieurs à 50 mm³), il a été proposé dans le document EP 1 533 270 d'utiliser un élément témoin dont les propriétés optiques ou électriques changent en présence d'un fluide réactif. Ce document propose notamment d'utiliser une couche de cuivre (Cu) pour assurer un contrôle optique. En effet, en présence d'oxygène la couche de Cu s'oxyde, modifiant ainsi ses propriétés optiques. En s'oxydant, la couche de Cu devient transparente (particulièrement dans le proche infrarouge) et il est ainsi possible de quantifier la quantité d'oxygène ayant pénétrée au sein du boîtier et de remonter à un taux de fuite du boîtier. Ceci nécessite l'utilisation d'une source lumineuse d'intensité connue et d'un capteur afin de quantifier soit le rayonnement transmis au travers de l'ensemble du boîtier (ce qui demande que le boîtier soit totalement transparent) soit le rayonnement réfléchi. Il est donc avantageux, dans le cas

de la présente invention, d'utiliser un capteur présent au sein du boîtier pour caractériser l'évolution des propriétés optiques de l'élément témoin déposé par exemple sur la face intérieure d'une feuille en céramique ou en verre. Il sera ainsi possible de transcrire une variation optique de la couche en signal

5 électrique par l'intermédiaire du capteur présent au sein du boîtier. Ce capteur pourra être par exemple un photodétecteur ou une cellule photovoltaïque.

REVENDICATIONS

1. Boîtier hermétique comprenant :

- un premier élément en forme de feuille (11, 61), réalisé en au moins un
5 matériau choisi parmi un métal, une céramique et un verre ;
- un deuxième élément (15, 16 ; 65) de dimensions et forme adaptés
pour recouvrir ledit premier élément, également réalisé en au moins un
matériau choisi parmi un métal, une céramique et un verre ;
- un premier cadre métallique (12, 62) interposé entre ledit premier
10 élément et ledit deuxième élément, comprenant une partie interne (14, 64)
positionnée en partie ou en totalité à l'intérieur du périmètre dudit premier
élément et une partie externe (13, 63) positionnée en totalité à l'extérieur dudit
périmètre dudit premier élément ;
- un premier joint hermétique (31) entre ledit premier élément et ladite
15 partie interne dudit premier cadre métallique ; et
- un deuxième joint hermétique entre ledit deuxième élément et ladite
partie externe dudit premier cadre métallique.

2. Boîtier hermétique selon la revendication 1, dans lequel
20 ledit premier joint hermétique est réalisé par une technique choisie parmi : le
brasage, le soudage par diffusion à l'état solide et, lorsque ledit premier
élément est au moins en partie en céramique, le cofrittage.

3. Boîtier hermétique selon l'une des revendications
25 précédentes, dans lequel ledit deuxième joint hermétique est réalisé par
soudage.

4. Boîtier hermétique selon l'une des revendications
précédentes, dans lequel ledit deuxième élément comprend :

- 30 - une feuille dite supérieure (15), réalisée en au moins un matériau choisi
parmi un métal, une céramique et un verre ;

- un deuxième cadre métallique (16) interposé entre ladite feuille supérieure et ledit premier cadre métallique, comprenant une partie interne (18) positionnée en partie ou en totalité à l'intérieur du périmètre de ladite feuille supérieure et une partie externe (17) positionnée en totalité à l'extérieur dudit périmètre de ladite feuille supérieure ; et
 - un troisième joint hermétique (32) entre ladite feuille supérieure et ladite partie interne dudit deuxième cadre métallique ;
- ledit deuxième joint hermétique étant entre les parties externes desdits premier et deuxième cadre métallique.

10

5. Boîtier hermétique selon la revendication 4, dans lequel ledit troisième joint hermétique est réalisé par une technique choisie parmi : le brasage, le soudage par diffusion à l'état solide et, lorsque ladite feuille supérieure est au moins en partie en céramique, le cofrittage.

15

6. Boîtier hermétique selon l'une des revendications 1 à 3 dans lequel ledit deuxième élément comprend une feuille dite supérieure (65) en métal, directement fixée à la partie externe dudit premier cadre métallique par ledit deuxième joint hermétique.

20

7. Boîtier hermétique selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la partie externe dudit ou de chaque cadre métallique présente, par rapport à la partie interne correspondante, une surépaisseur sur sa face opposée audit deuxième joint hermétique.

25

8. Boîtier hermétique selon l'une des revendications précédentes, présentant une épaisseur inférieure ou égale à 3 mm et de préférence inférieure ou égale à 1mm, de manière encore préférée inférieure ou égale à 500 μm .

30

9. Boîtier hermétique selon l'une des revendications précédentes, comprenant au moins un composant (41, 93) monté sur ledit

premier élément en forme de feuille, directement ou par l'intermédiaire d'une couche diélectrique, et contenu dans un espace délimité par ledit premier élément, ledit deuxième élément et ledit ou lesdits cadres métalliques.

5 10. Boîtier hermétique selon la revendication 9, dans lequel ledit ou chaque composant est recouvert d'une couche en matériau polymère (42, 92).

10 11. Boîtier hermétique selon l'une des revendications 9 ou 10, comprenant au moins une piste conductrice (53) agencée sur ledit premier élément en forme de feuille, ladite ou chaque piste conductrice s'étendant sur les deux faces et sur la tranche dudit premier élément et étant recouverte d'un matériau isolant (54, 55) sauf au niveau de ses extrémités, formant plages de connexion.

15 12. Boîtier hermétique selon l'une des revendications précédentes, partiellement ou totalement enrobé d'une couche en matériau polymère (43, 94).

20 13. Boîtier hermétique selon l'une des revendications 4 à 12, dans lequel la partie interne de la feuille supérieure (15, 65), de préférence métallique, est concave, en particulier pour définir une cavité.

25 14. Boîtier hermétique selon la revendication précédente, dans lequel la partie externe de la feuille supérieure (15, 65), de préférence métallique, est également concave.

30 15. Boîtier hermétique selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le premier élément en forme de feuille (11, 61) présente une forme en U, en particulier pour définir une cavité.

16. Boîtier hermétique selon l'une des revendications précédentes, comprenant :

- un premier élément en forme de feuille (11, 61) réalisé en céramique ;
- un cadre additionnel (132, 142) également réalisé en céramique ; et
- 5 - une ou plusieurs électrodes (131, 141) métalliques, la ou chaque électrode métallique (131, 141) présentant une portion (1313) prise en sandwich entre le premier élément en forme de feuille (11, 61) et le cadre additionnel en céramique (132, 142), une première extrémité (1311, 1411) accessible sur une face supérieure (52) du premier élément en forme de
- 10 feuille (11, 61) et une deuxième extrémité (1312, 1412) accessible soit sur une face inférieure (56) du premier élément en forme de feuille (11, 61) soit sur une face inférieure (1422) du cadre additionnel en céramique (142).

17. Boîtier selon la revendication précédente, dans lequel il

15 est prévu un joint hermétique entre la partie interne (14, 64) du premier cadre métallique (12, 62) et le cadre additionnel en céramique (132, 142).

18. Boîtier hermétique selon l'une des revendications 1 à 15, comprenant :

- 20 - un premier élément en forme de feuille (11, 61) réalisé en métal ;
- un premier cadre additionnel (152), réalisé en céramique ;
- un deuxième cadre additionnel (153), également réalisé en céramique ;
- une ou plusieurs électrodes (151) métalliques, la ou chaque électrode métallique (151) présentant une portion (1513) prise en sandwich entre le
- 25 premier cadre additionnel en céramique (152) et le deuxième cadre additionnel en céramique (153), une première extrémité (1511) accessible sur une face supérieure (1521) du premier cadre additionnel en céramique (152) et une deuxième extrémité (1512) accessible sur une face inférieure (1532) du deuxième cadre additionnel en céramique (153).

30

19. Boîtier hermétique selon la revendication précédente, dans lequel il est prévu un joint hermétique entre la partie interne du premier

cadre métallique (12, 62) et le deuxième cadre additionnel en céramique (153).

20. Boîtier hermétique selon l'une des revendications 18 ou 19, dans lequel il est prévu un joint hermétique entre la face supérieure (52) du premier élément en forme de feuille (11,61) et la face inférieure (1522) du premier cadre additionnel en céramique (152).

21. Boîtier hermétique selon l'une des revendications précédentes, présentant la forme d'une croix (122) de sorte qu'il puisse être courbé selon plusieurs axes, en particulier non parallèles entre eux.

22. Boîtier hermétique selon l'une des revendications précédentes, au moins partiellement réalisé en matériau ou matériaux biocompatible(s), de manière à être implantable dans un corps humain ou animal.

23. Dispositif comprenant plusieurs boîtiers selon l'une des revendications 1 à 22, caractérisé en ce que lesdits boîtiers sont reliés mécaniquement entre eux par un support commun flexible (124), par exemple réalisé en polymère, pour améliorer la flexibilité de l'ensemble ainsi formé par lesdits boîtiers.

24. Dispositif selon la revendication précédente, dans lequel le support commun flexible (124) est collé aux boîtiers ou surmoulé, partiellement ou complètement, sur lesdits boîtiers.

25. Dispositif selon l'une des revendications 23 ou 24, dans lequel le support commun flexible (124) comprend des pistes ou fils métalliques pour relier électriquement des boîtiers entre eux.

26. Dispositif selon l'une des revendications 23 à 25, dans lequel le support commun flexible (124) comprend un ou plusieurs composants électroniques, par exemple une antenne.

5 27. Dispositif selon l'une des revendications 23 à 26, dont les boîtiers sont agencés pour conférer une forme de croix audit dispositif, de sorte que ce dernier puisse être courbé selon plusieurs axes, en particulier non parallèles entre eux.

10 28. Dispositif médical implantable comprenant un boîtier hermétique selon la revendication 22 ou un dispositif selon l'une des revendications 23 à 27.

29. Procédé d'encapsulation d'un dispositif, comprenant les étapes consistant à :

- 15 - monter au moins un composant (41, 93) dudit dispositif à encapsuler sur un premier élément en forme de feuille (11, 61), réalisé en au moins un matériau choisi parmi un métal, une céramique et un verre ;
- superposer audit premier élément en forme de feuille un premier cadre métallique (12, 62) comprenant une partie interne (14, 64) positionnée en
- 20 partie ou en totalité à l'intérieur du périmètre dudit premier élément et une partie externe (13, 63) positionnée en totalité à l'extérieur dudit périmètre dudit premier élément ;
- former un premier joint hermétique (31) entre ledit premier élément et ladite partie interne dudit premier cadre métallique ;
- 25 - superposer audit premier cadre métallique un deuxième élément (15, 16 ; 65) de dimensions et forme adaptés pour recouvrir ledit premier élément, également réalisé en au moins un matériau choisi parmi un métal, une céramique et un verre ; et
- former un deuxième joint hermétique entre ledit deuxième élément et
- 30 ladite partie externe dudit premier cadre métallique.

30. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel l'étape de formation dudit premier joint hermétique est réalisée par une technique choisie parmi : le brasage, le soudage par diffusion à l'état solide et, lorsque ledit deuxième élément est au moins en partie en céramique, le
5 cofrittage.

31. Procédé selon l'une des revendications 29 ou 30, dans lequel l'étape de formation dudit deuxième joint hermétique est réalisée par soudage.

10

32. Procédé selon l'une des revendications 29 à 31, dans lequel ledit deuxième élément comprend :

- une feuille dite supérieure (15), réalisée en au moins un matériau choisi parmi un métal, une céramique et un verre ;
- 15 - un deuxième cadre métallique (16) interposé entre ladite feuille supérieure et ledit premier cadre métallique et comprenant une partie interne (18) positionnée en partie ou en totalité à l'intérieur du périmètre de ladite feuille supérieure et une partie externe (17) positionnée en totalité à l'extérieur dudit périmètre de ladite feuille supérieure ;

20 le procédé comprenant également une étape de formation d'un troisième joint hermétique (32) entre ladite feuille supérieure et ladite partie interne dudit deuxième cadre métallique, ladite étape étant réalisée avant la formation dudit deuxième joint hermétique entre les parties externes desdits premier et deuxième cadre métallique.

25

33. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel l'étape de formation dudit troisième joint hermétique est réalisée par une technique choisie parmi : le brasage, le soudage par diffusion à l'état solide et, lorsque ladite feuille supérieure est au moins en partie en céramique, le
30 cofrittage.

34. Procédé selon l'une des revendications 29 à 31, dans lequel ledit deuxième élément comprend une feuille dite supérieure (65) en métal, et dans lequel ledit deuxième joint hermétique est formé directement entre ladite feuille supérieure et la partie externe dudit premier cadre

5 métallique.

1/13

Fig.1A

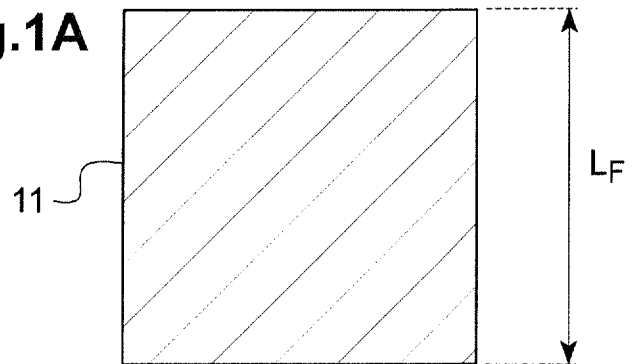


Fig.1B

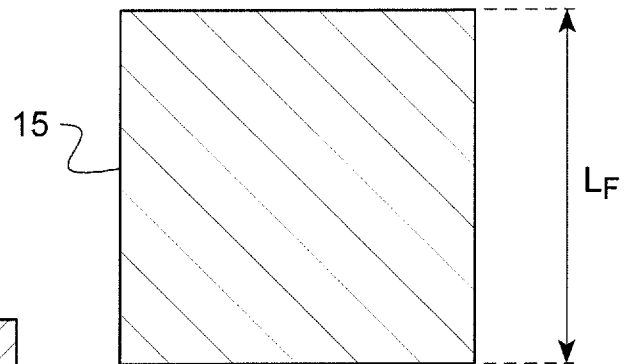
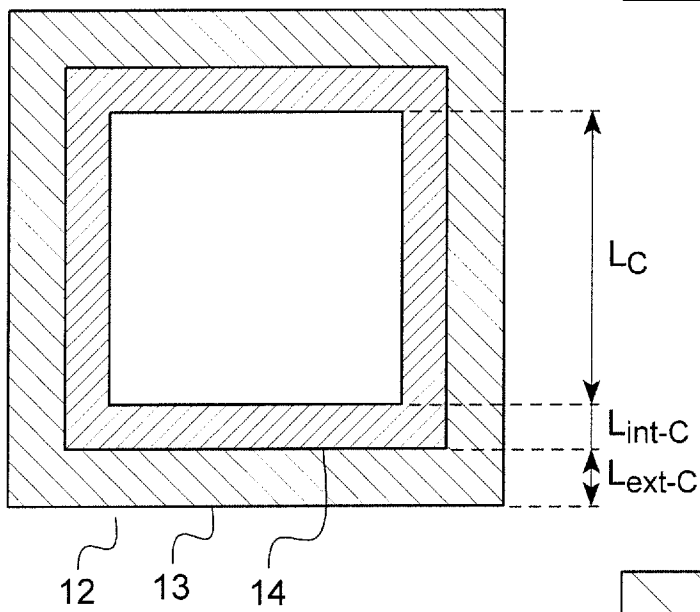
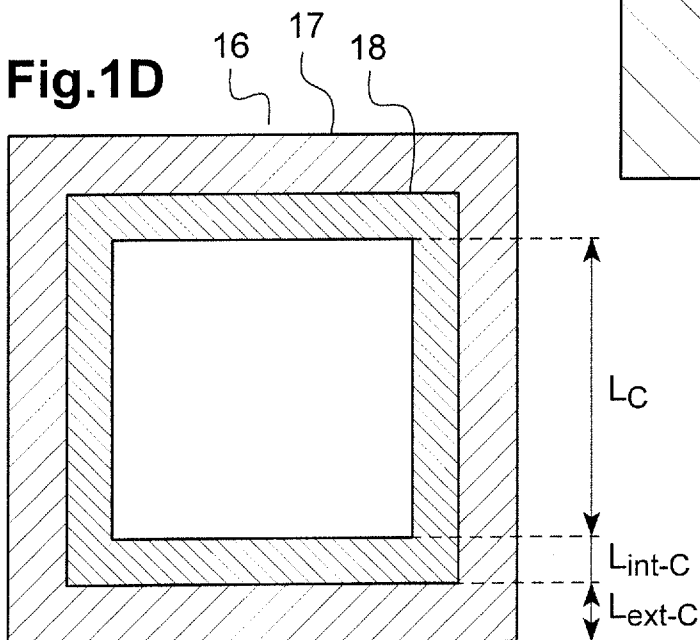


Fig.1C

Fig.1D



2/13

Fig.2A

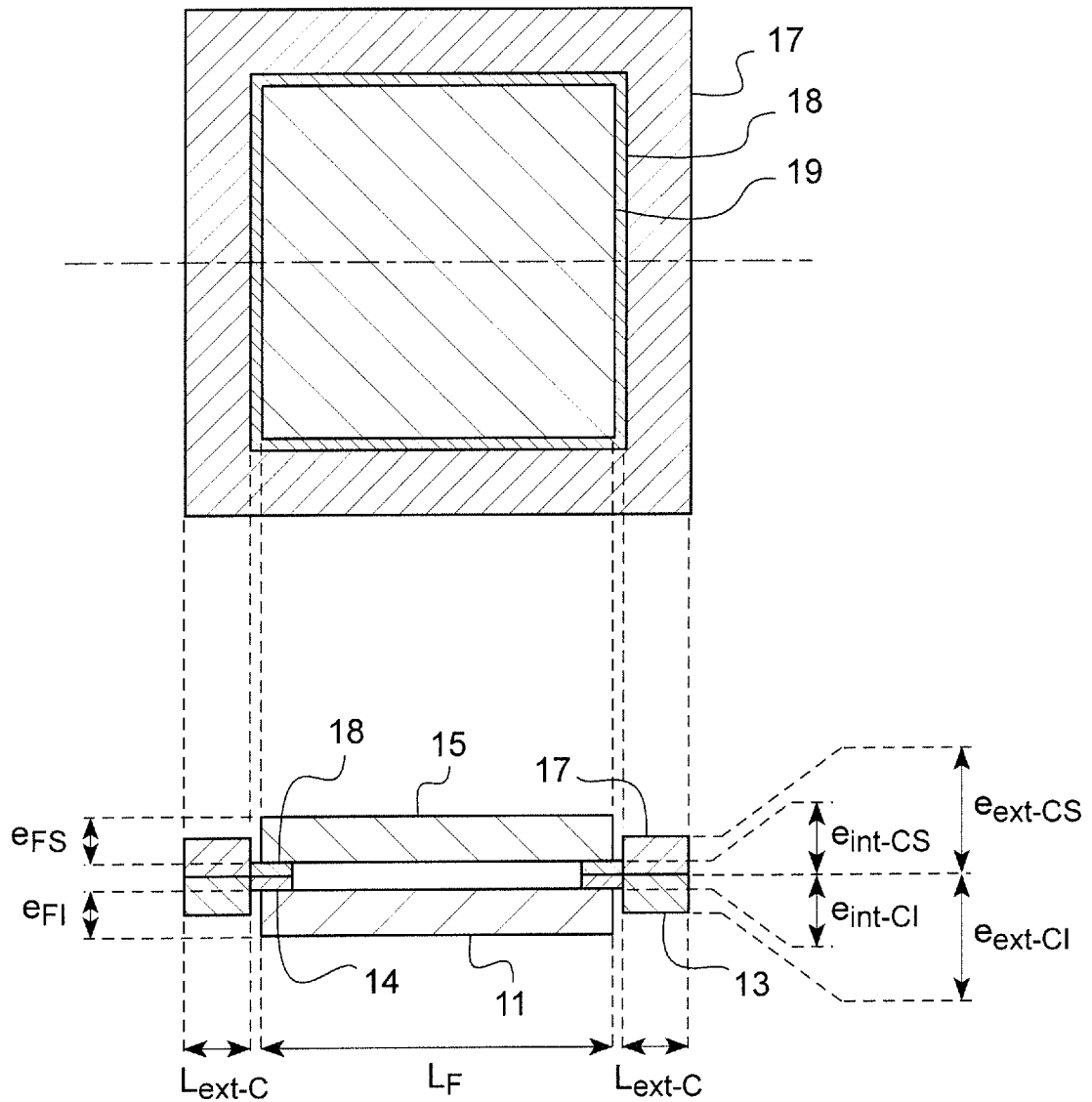
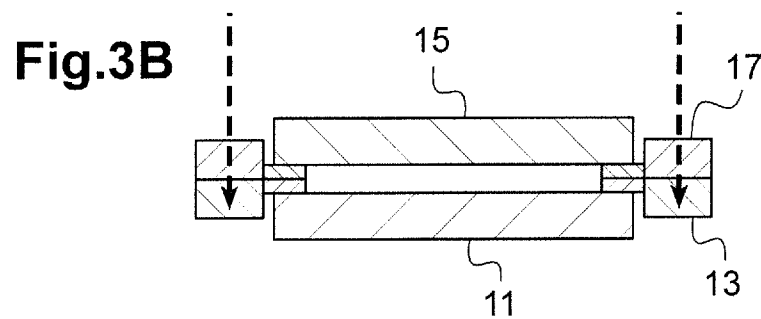
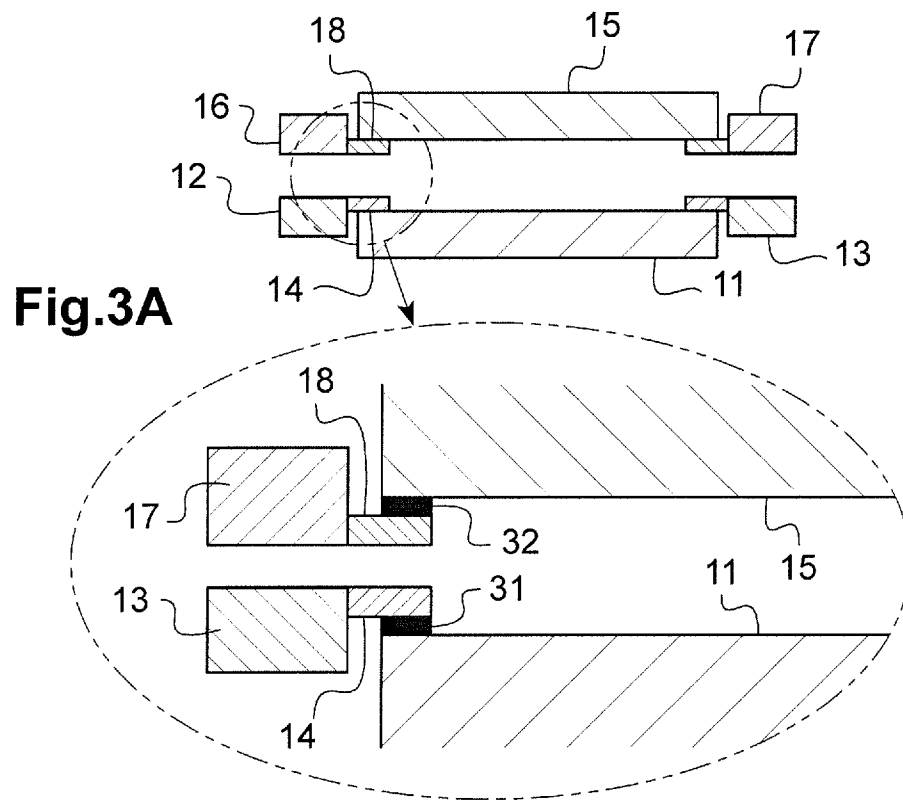


Fig.2B

3/13



4/13

Fig.4A

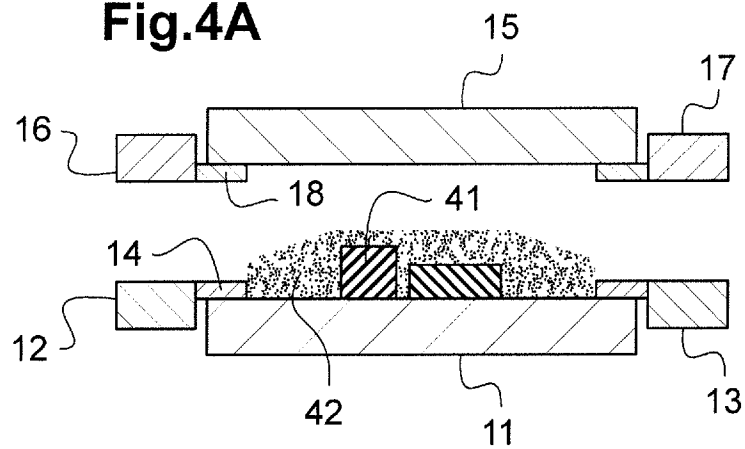


Fig.4B

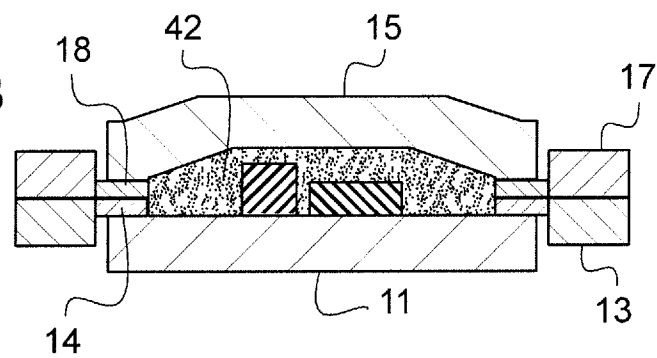
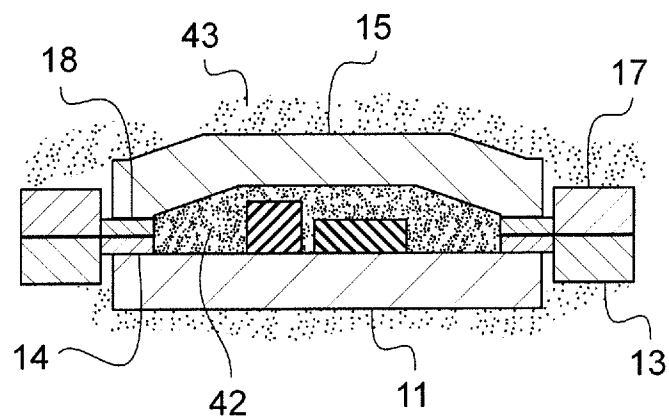


Fig.4C



5/13

Fig.5A

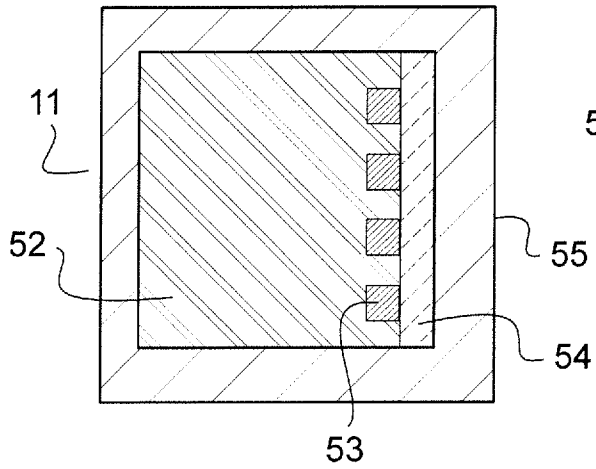


Fig.5B

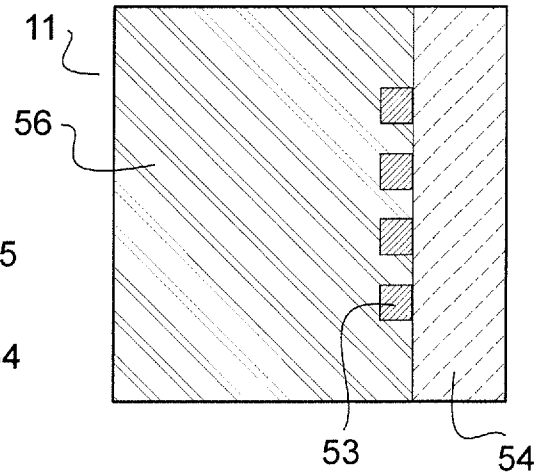


Fig.5C

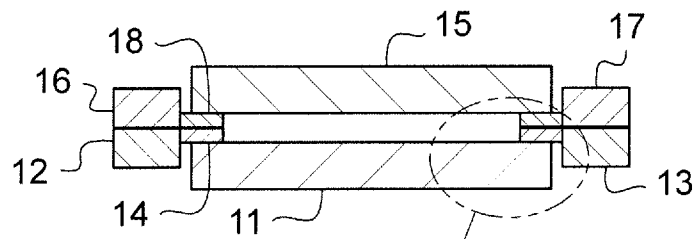
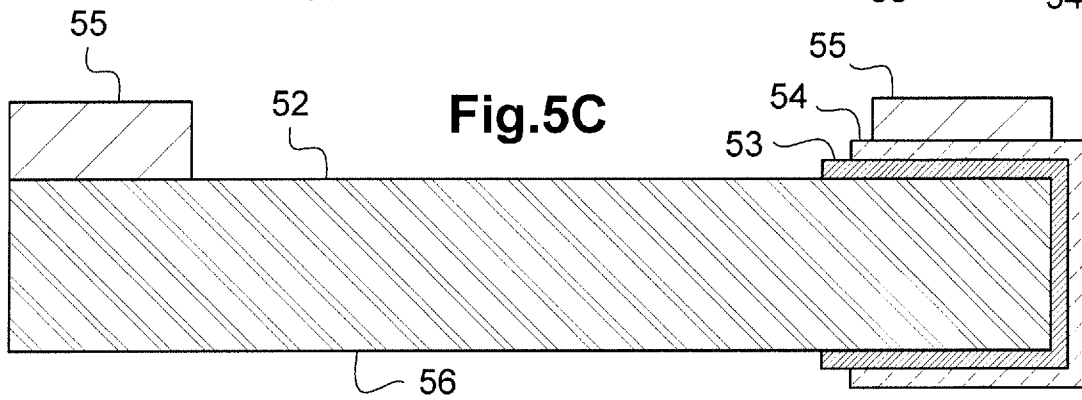
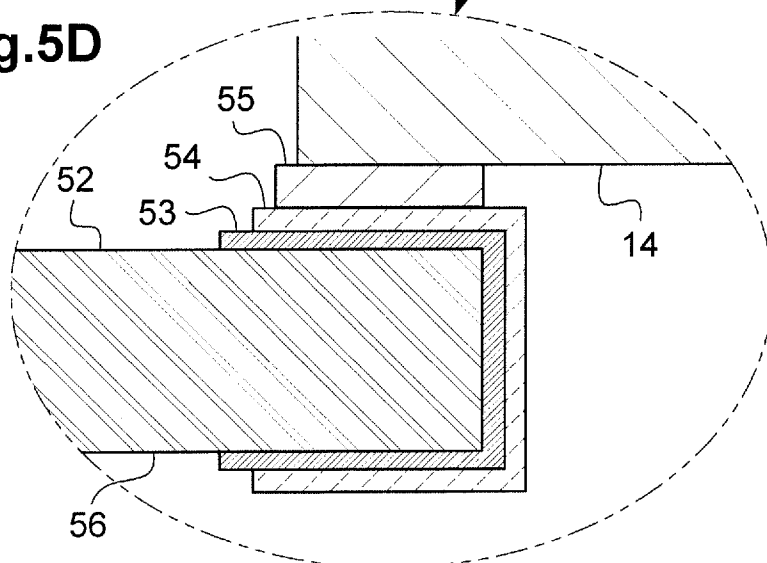
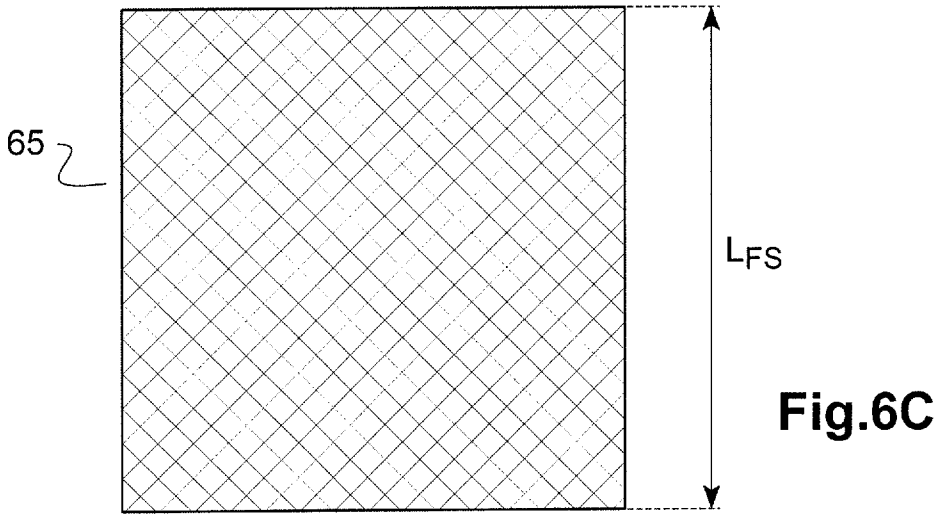
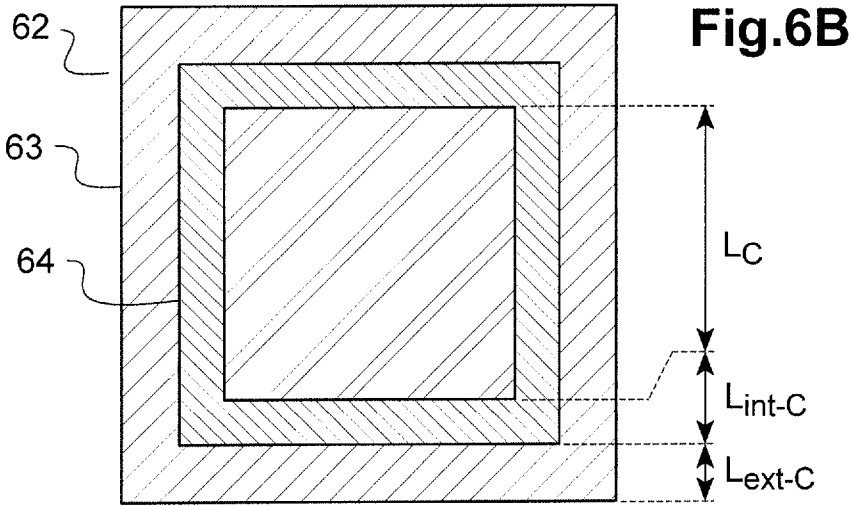
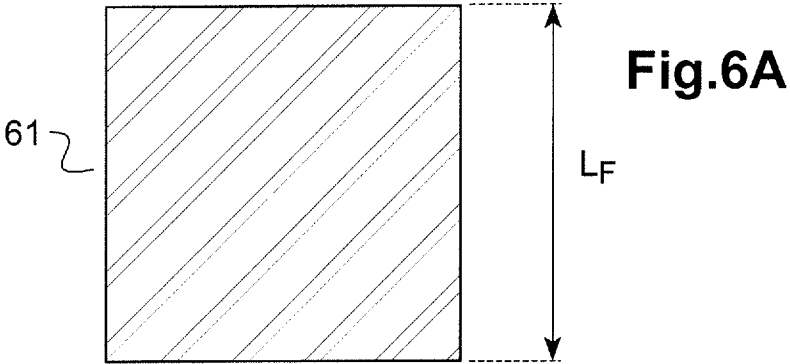


Fig.5D





7/13

Fig.7A

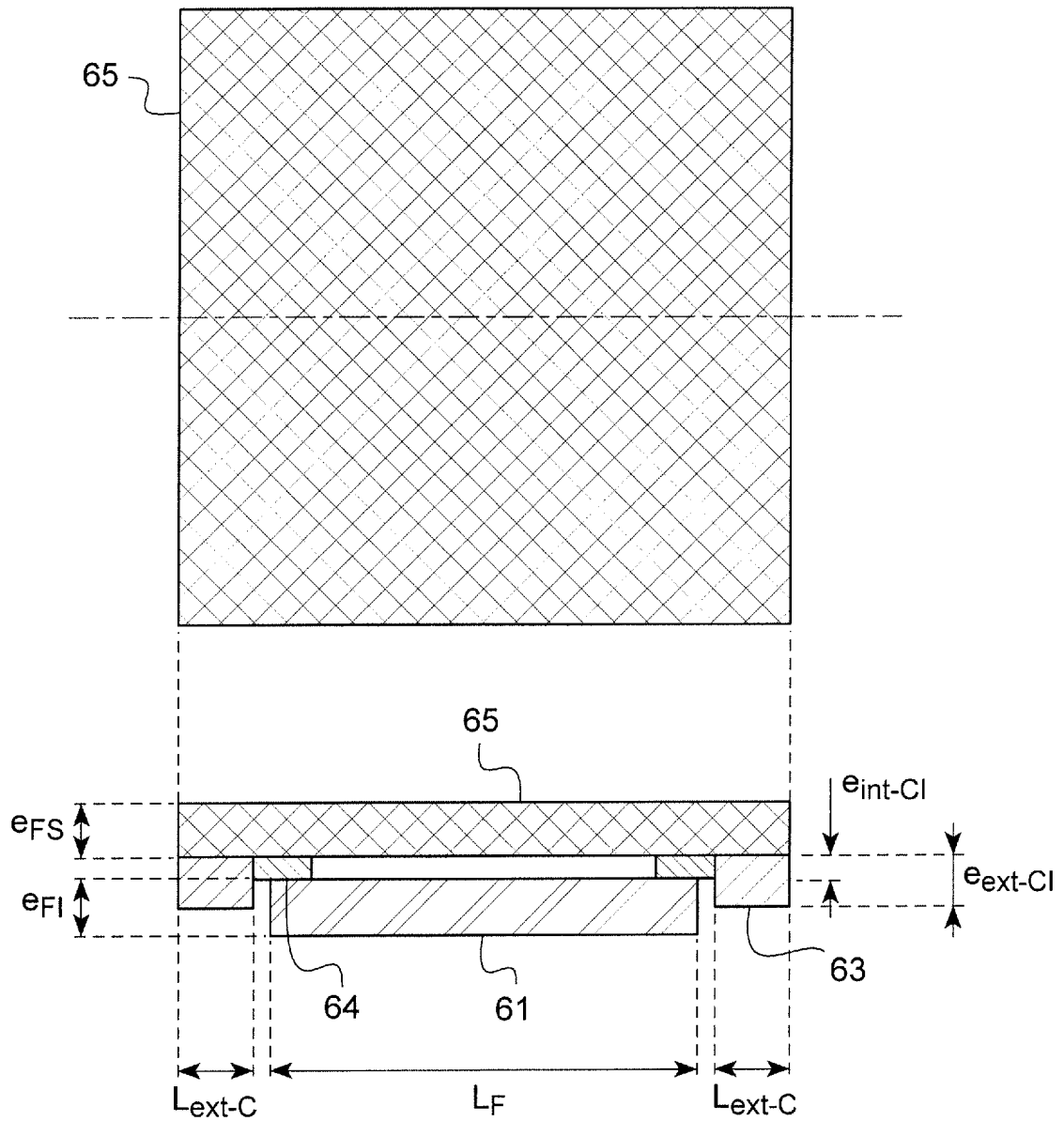


Fig.7B

8/13

Fig.8A

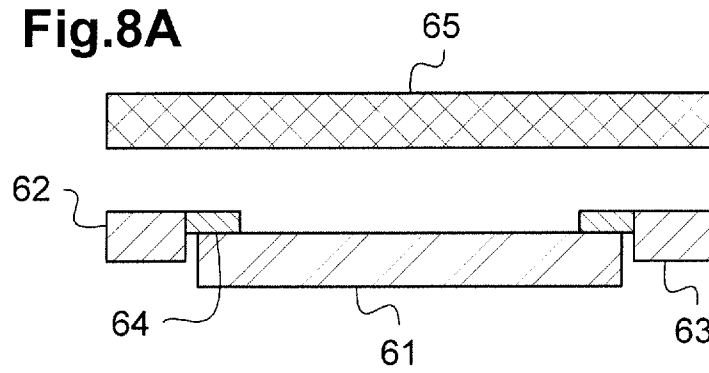


Fig.8B

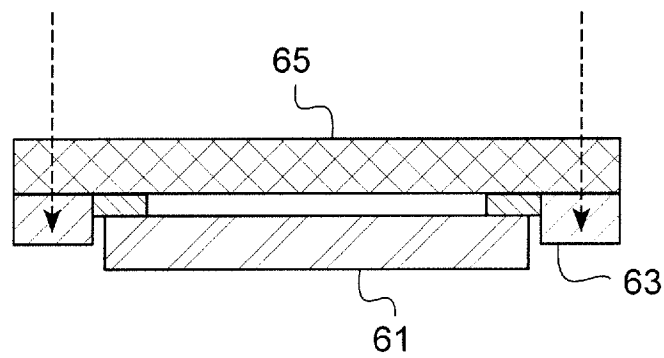
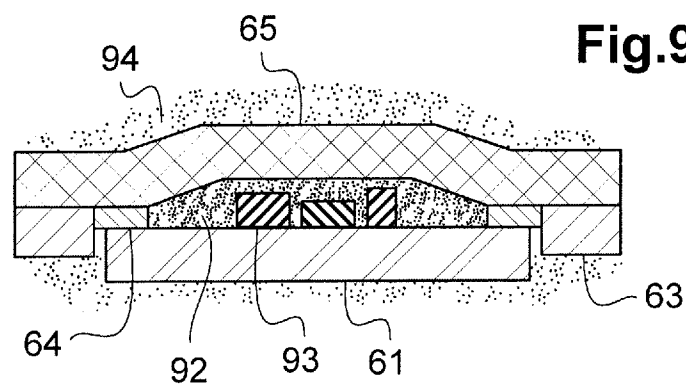


Fig.9



9/13

Fig.10A

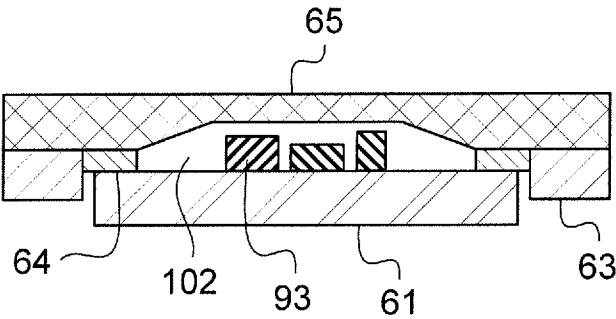


Fig.10B

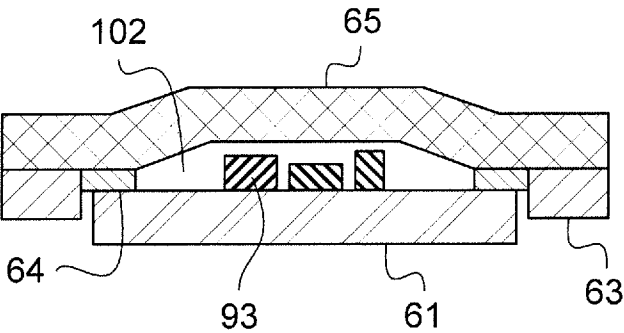


Fig.10C

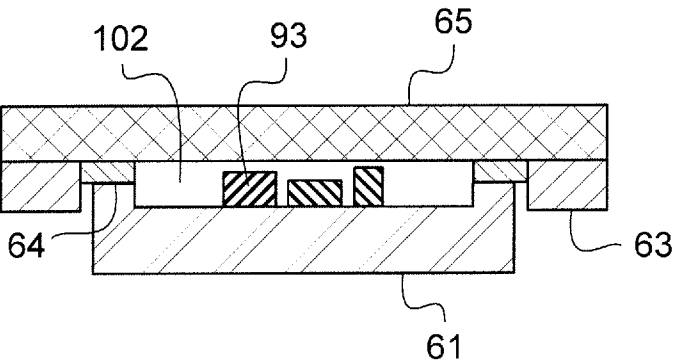
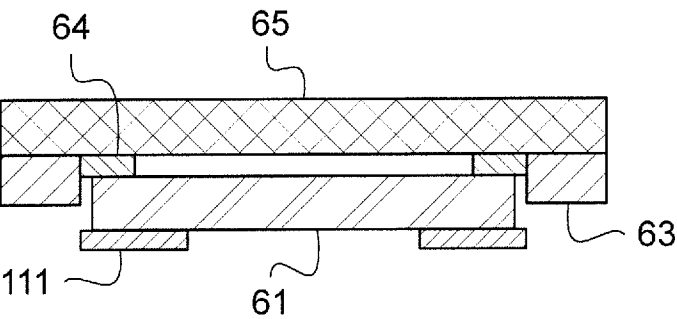


Fig.11



10/13

Fig.12A

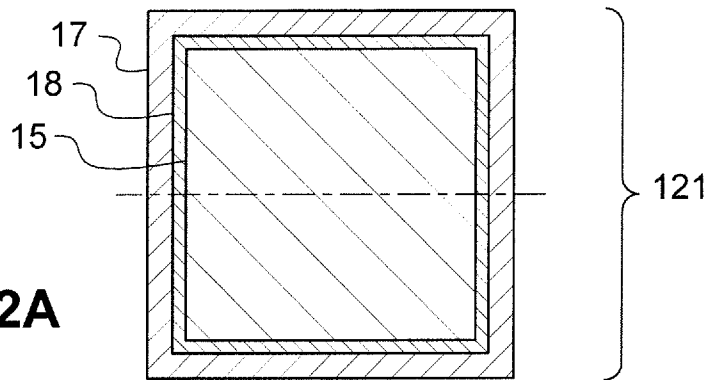


Fig.12B

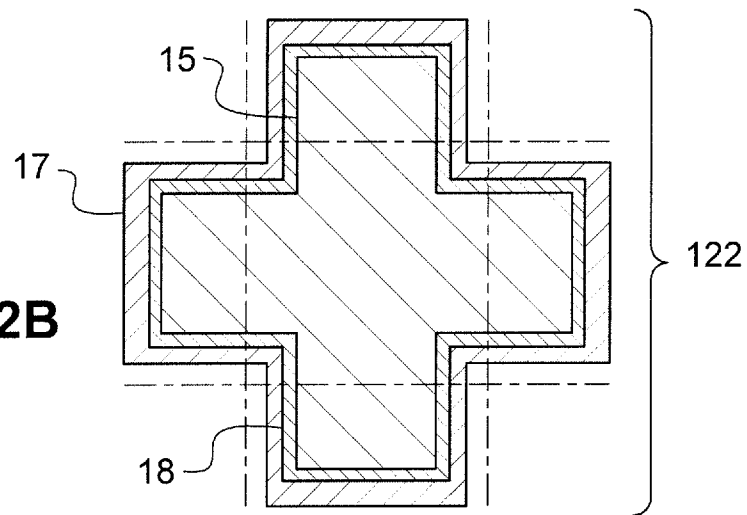
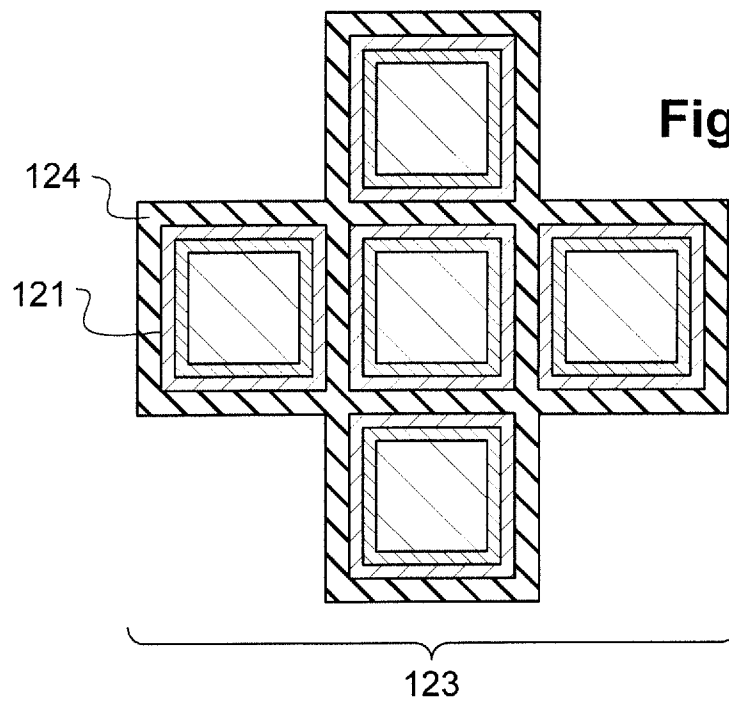
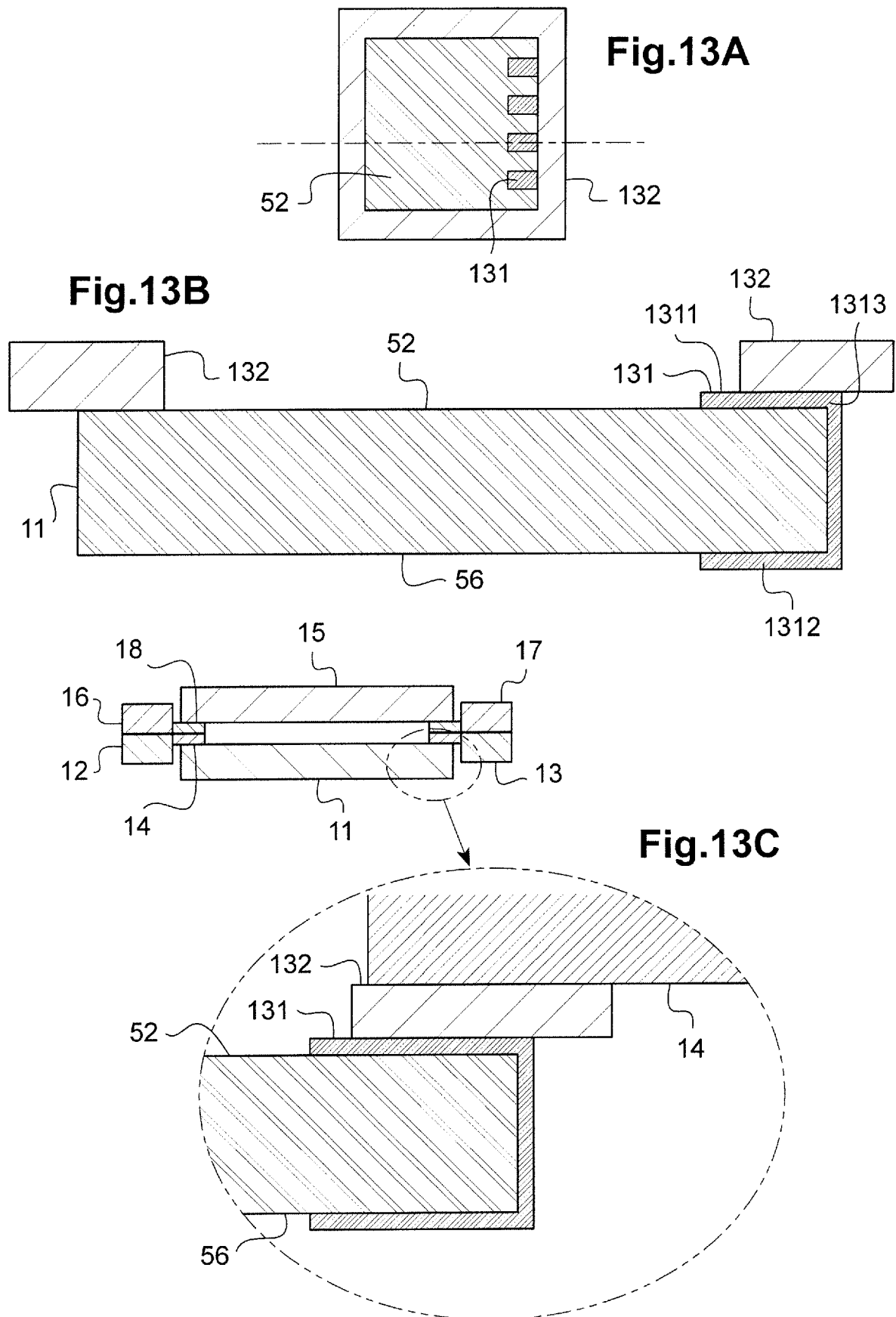


Fig.12C



11/13



12/13

Fig.14A

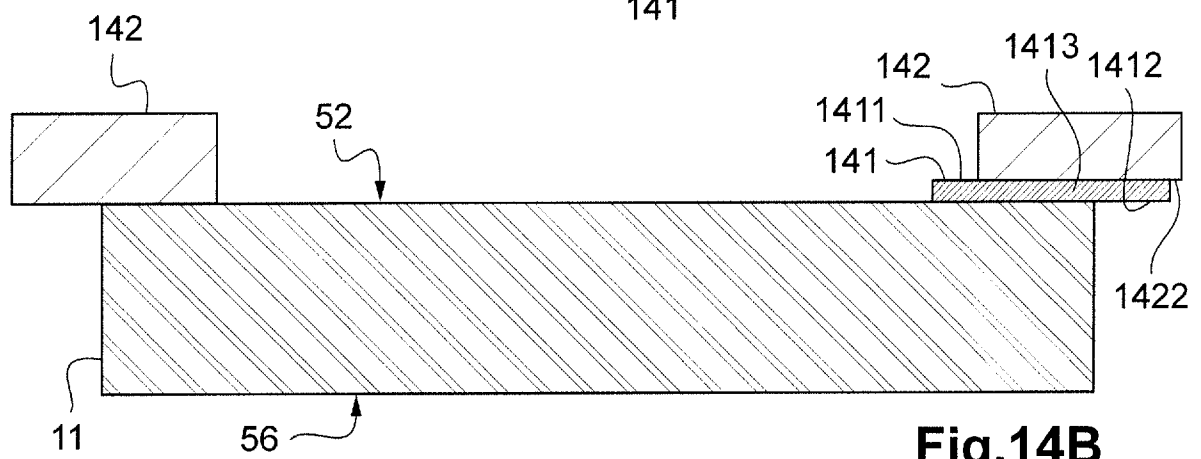
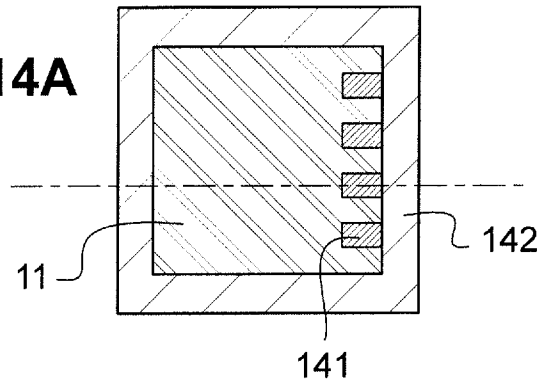


Fig.14B

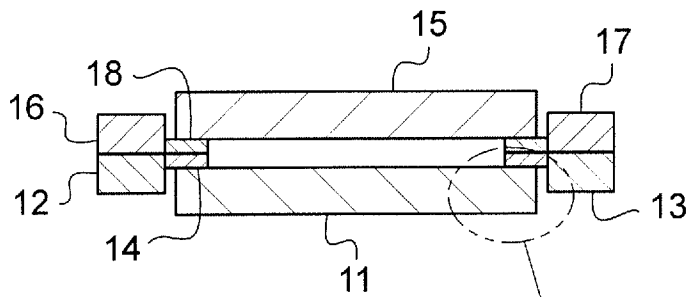
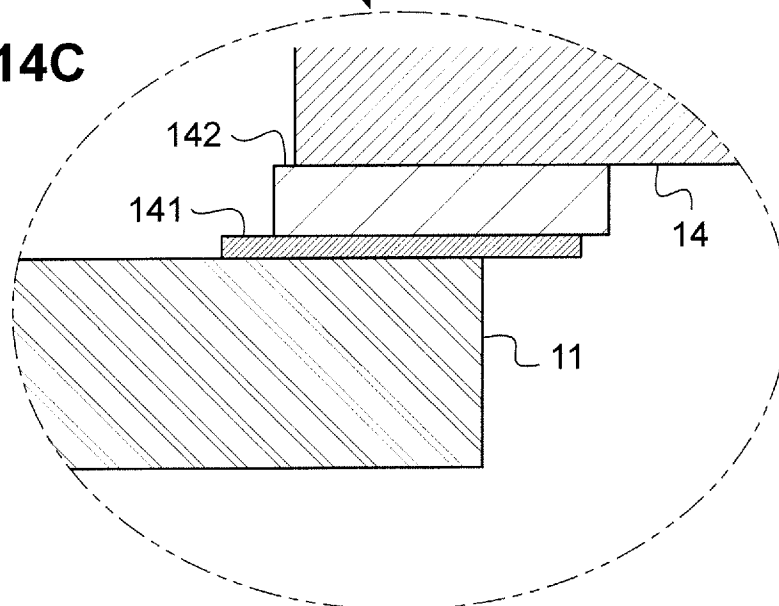


Fig.14C



13/13

Fig.15A

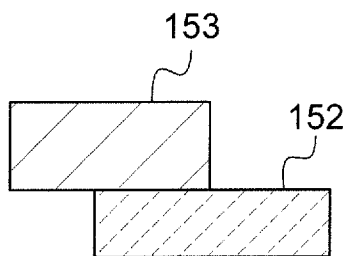
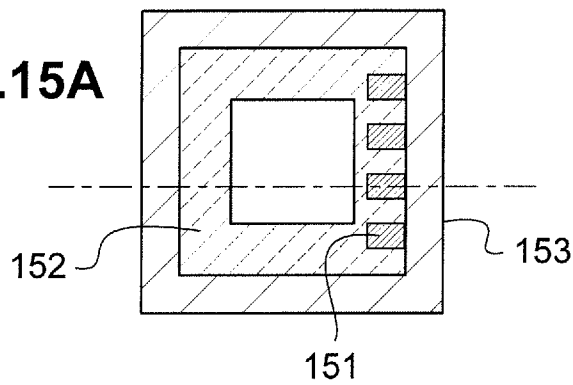


Fig.15B

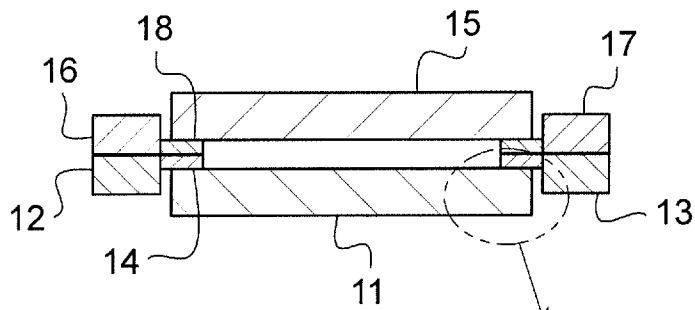
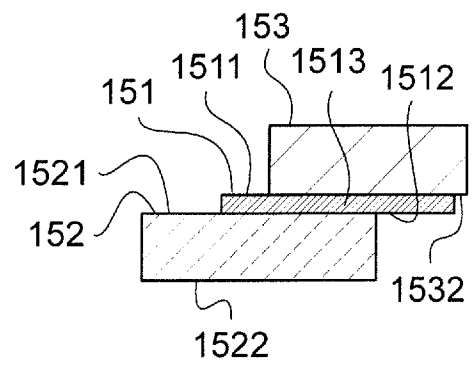
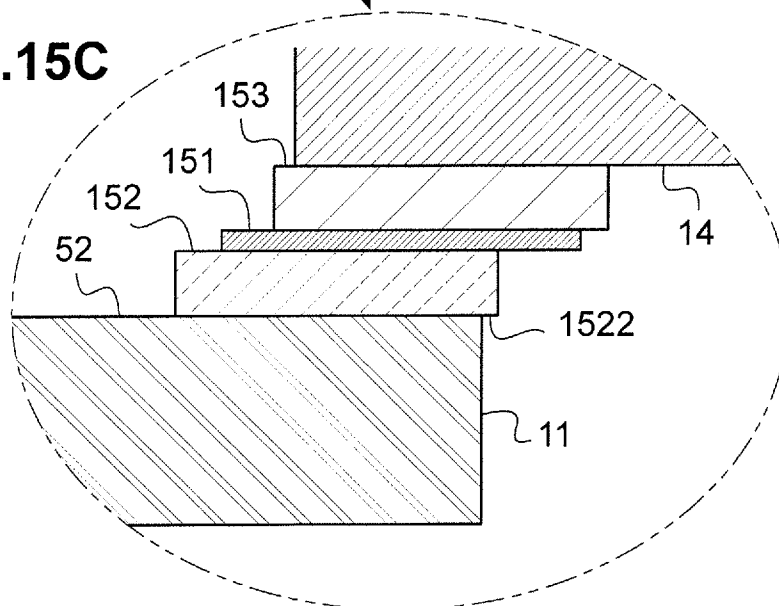


Fig.15C



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2013/076353

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. A61N1/375
ADD.

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
A61N

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

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

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2008/294207 A1 (KAST JOHN E [US] ET AL) 27 November 2008 (2008-11-27) abstract; figures 6a,6b,9a,9b paragraphs [0040] - [0054], [0058] -----	1-34
A	FR 2 974 745 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 9 November 2012 (2012-11-09) the whole document -----	1-34
A	FR 2 972 852 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 21 September 2012 (2012-09-21) the whole document -----	1-34
A	US 2012/193117 A1 (SPECHT HEIKO [DE] ET AL) 2 August 2012 (2012-08-02) the whole document ----- -/-	1-34



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

11 February 2014

Date of mailing of the international search report

19/02/2014

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Pereda Cubián, David

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2013/076353

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2010/274309 A1 (KNIPFER MICHAEL A [US] ET AL) 28 October 2010 (2010-10-28) the whole document -----	1-34
A	US 2010/114225 A1 (IMRAN MIR [US] ET AL IMRAN MIR [US]) 6 May 2010 (2010-05-06) the whole document -----	1-34
A	US 2009/266573 A1 (ENGMARK DAVID B [US] ET AL) 29 October 2009 (2009-10-29) the whole document -----	1-34
A	US 2004/176817 A1 (WAHLSTRAND CARL D [US] ET AL) 9 September 2004 (2004-09-09) the whole document -----	1-34
A	US 2002/138114 A1 (GRAMSE LEONARD J [US]) 26 September 2002 (2002-09-26) the whole document -----	1-34
A	US 6 010 803 A (HELLER JR BERNARD F [US] ET AL) 4 January 2000 (2000-01-04) the whole document -----	1-34
A	US 5 913 881 A (BENZ HANS-THOMAS [DE] ET AL) 22 June 1999 (1999-06-22) the whole document -----	1-34
A	US 5 750 926 A (SCHULMAN JOSEPH H [US] ET AL) 12 May 1998 (1998-05-12) cited in the application the whole document -----	1-34

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2013/076353

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2008294207	A1	27-11-2008	NONE
FR 2974745	A1	09-11-2012	CN 103503170 A 08-01-2014 EP 2705542 A1 12-03-2014 FR 2974745 A1 09-11-2012 WO 2012153017 A1 15-11-2012
FR 2972852	A1	21-09-2012	EP 2686888 A1 22-01-2014 FR 2972852 A1 21-09-2012 US 2014000713 A1 02-01-2014 WO 2012123649 A1 20-09-2012
US 2012193117	A1	02-08-2012	CN 102614582 A 01-08-2012 DE 102011009867 A1 02-08-2012 US 2012193117 A1 02-08-2012
US 2010274309	A1	28-10-2010	US 2010274309 A1 28-10-2010 WO 2010123617 A2 28-10-2010
US 2010114225	A1	06-05-2010	EP 2355898 A2 17-08-2011 US 2010114225 A1 06-05-2010 US 2013103124 A1 25-04-2013 WO 2010053789 A2 14-05-2010
US 2009266573	A1	29-10-2009	EP 2188013 A2 26-05-2010 US 2009266573 A1 29-10-2009 WO 2009132061 A2 29-10-2009
US 2004176817	A1	09-09-2004	AT 464932 T 15-05-2010 AT 468883 T 15-06-2010 AT 469670 T 15-06-2010 AU 2003293454 A1 30-06-2004 AU 2003294595 A1 30-06-2004 AU 2003294596 A1 30-06-2004 AU 2003296340 A1 30-06-2004 AU 2003297723 A1 30-06-2004 AU 2003297724 A1 30-06-2004 AU 2003297725 A1 30-06-2004 AU 2003297735 A1 30-06-2004 EP 1578493 A1 28-09-2005 EP 1578494 A1 28-09-2005 EP 1578495 A1 28-09-2005 EP 1578496 A1 28-09-2005 EP 1578497 A1 28-09-2005 EP 1578498 A1 28-09-2005 EP 1578499 A1 28-09-2005 EP 1578500 A1 28-09-2005 US 2004172090 A1 02-09-2004 US 2004173221 A1 09-09-2004 US 2004176673 A1 09-09-2004 US 2004176814 A1 09-09-2004 US 2004176815 A1 09-09-2004 US 2004176816 A1 09-09-2004 US 2004176817 A1 09-09-2004 US 2004176818 A1 09-09-2004 US 2004176819 A1 09-09-2004 US 2007185539 A1 09-08-2007 US 2011054563 A1 03-03-2011

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2013/076353

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
		WO 2004052452 A1	24-06-2004
		WO 2004052453 A1	24-06-2004
		WO 2004052454 A1	24-06-2004
		WO 2004052455 A1	24-06-2004
		WO 2004052456 A1	24-06-2004
		WO 2004052457 A1	24-06-2004
		WO 2004052458 A1	24-06-2004
		WO 2004052459 A1	24-06-2004

US 2002138114	A1	26-09-2002	NONE

US 6010803	A	04-01-2000	NONE

US 5913881	A	22-06-1999	DE 19645371 C1 18-12-1997
		EP 0845283 A2	03-06-1998
		US 5913881 A	22-06-1999

US 5750926	A	12-05-1998	AU 6774396 A 12-03-1997
		CA 2229596 A1	27-02-1997
		DE 69629305 D1	04-09-2003
		DE 69629305 T2	27-05-2004
		EP 0844899 A1	03-06-1998
		ES 2203711 T3	16-04-2004
		US 5750926 A	12-05-1998
		WO 9706853 A1	27-02-1997

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. A61N1/375 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) A61N		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 2008/294207 A1 (KAST JOHN E [US] ET AL) 27 novembre 2008 (2008-11-27) abrégé; figures 6a,6b,9a,9b alinéas [0040] - [0054], [0058] -----	1-34
A	FR 2 974 745 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 9 novembre 2012 (2012-11-09) le document en entier -----	1-34
A	FR 2 972 852 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 21 septembre 2012 (2012-09-21) le document en entier -----	1-34
A	US 2012/193117 A1 (SPECHT HEIKO [DE] ET AL) 2 août 2012 (2012-08-02) le document en entier ----- -/--	1-34
☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 11 février 2014		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 19/02/2014
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Pereda Cubián, David

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 2010/274309 A1 (KNIPFER MICHAEL A [US] ET AL) 28 octobre 2010 (2010-10-28) le document en entier -----	1-34
A	US 2010/114225 A1 (IMRAN MIR [US] ET AL IMRAN MIR [US]) 6 mai 2010 (2010-05-06) le document en entier -----	1-34
A	US 2009/266573 A1 (ENGMARK DAVID B [US] ET AL) 29 octobre 2009 (2009-10-29) le document en entier -----	1-34
A	US 2004/176817 A1 (WAHLSTRAND CARL D [US] ET AL) 9 septembre 2004 (2004-09-09) le document en entier -----	1-34
A	US 2002/138114 A1 (GRAMSE LEONARD J [US]) 26 septembre 2002 (2002-09-26) le document en entier -----	1-34
A	US 6 010 803 A (HELLER JR BERNARD F [US] ET AL) 4 janvier 2000 (2000-01-04) le document en entier -----	1-34
A	US 5 913 881 A (BENZ HANS-THOMAS [DE] ET AL) 22 juin 1999 (1999-06-22) le document en entier -----	1-34
A	US 5 750 926 A (SCHULMAN JOSEPH H [US] ET AL) 12 mai 1998 (1998-05-12) cité dans la demande le document en entier -----	1-34

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2013/076353

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2008294207	A1	27-11-2008	AUCUN	
FR 2974745	A1	09-11-2012	CN 103503170 A	08-01-2014
			EP 2705542 A1	12-03-2014
			FR 2974745 A1	09-11-2012
			WO 2012153017 A1	15-11-2012
FR 2972852	A1	21-09-2012	EP 2686888 A1	22-01-2014
			FR 2972852 A1	21-09-2012
			US 2014000713 A1	02-01-2014
			WO 2012123649 A1	20-09-2012
US 2012193117	A1	02-08-2012	CN 102614582 A	01-08-2012
			DE 102011009867 A1	02-08-2012
			US 2012193117 A1	02-08-2012
US 2010274309	A1	28-10-2010	US 2010274309 A1	28-10-2010
			WO 2010123617 A2	28-10-2010
US 2010114225	A1	06-05-2010	EP 2355898 A2	17-08-2011
			US 2010114225 A1	06-05-2010
			US 2013103124 A1	25-04-2013
			WO 2010053789 A2	14-05-2010
US 2009266573	A1	29-10-2009	EP 2188013 A2	26-05-2010
			US 2009266573 A1	29-10-2009
			WO 2009132061 A2	29-10-2009
US 2004176817	A1	09-09-2004	AT 464932 T	15-05-2010
			AT 468883 T	15-06-2010
			AT 469670 T	15-06-2010
			AU 2003293454 A1	30-06-2004
			AU 2003294595 A1	30-06-2004
			AU 2003294596 A1	30-06-2004
			AU 2003296340 A1	30-06-2004
			AU 2003297723 A1	30-06-2004
			AU 2003297724 A1	30-06-2004
			AU 2003297725 A1	30-06-2004
			AU 2003297735 A1	30-06-2004
			EP 1578493 A1	28-09-2005
			EP 1578494 A1	28-09-2005
			EP 1578495 A1	28-09-2005
			EP 1578496 A1	28-09-2005
			EP 1578497 A1	28-09-2005
			EP 1578498 A1	28-09-2005
			EP 1578499 A1	28-09-2005
			EP 1578500 A1	28-09-2005
			US 2004172090 A1	02-09-2004
			US 2004173221 A1	09-09-2004
			US 2004176673 A1	09-09-2004
			US 2004176814 A1	09-09-2004
			US 2004176815 A1	09-09-2004
			US 2004176816 A1	09-09-2004
			US 2004176817 A1	09-09-2004
			US 2004176818 A1	09-09-2004
			US 2004176819 A1	09-09-2004
			US 2007185539 A1	09-08-2007
			US 2011054563 A1	03-03-2011

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2013/076353

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
		WO 2004052452 A1	24-06-2004
		WO 2004052453 A1	24-06-2004
		WO 2004052454 A1	24-06-2004
		WO 2004052455 A1	24-06-2004
		WO 2004052456 A1	24-06-2004
		WO 2004052457 A1	24-06-2004
		WO 2004052458 A1	24-06-2004
		WO 2004052459 A1	24-06-2004

US 2002138114	A1	26-09-2002	AUCUN

US 6010803	A	04-01-2000	AUCUN

US 5913881	A	22-06-1999	DE 19645371 C1 18-12-1997
		EP 0845283 A2	03-06-1998
		US 5913881 A	22-06-1999

US 5750926	A	12-05-1998	AU 6774396 A 12-03-1997
		CA 2229596 A1	27-02-1997
		DE 69629305 D1	04-09-2003
		DE 69629305 T2	27-05-2004
		EP 0844899 A1	03-06-1998
		ES 2203711 T3	16-04-2004
		US 5750926 A	12-05-1998
		WO 9706853 A1	27-02-1997
