

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

(11) **Nº de publication :** 3 021 670
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)
(21) **Nº d'enregistrement national :** 14 54951
(51) Int Cl⁸ : H 01 L 21/60 (2019.01), B 32 B 37/14, C 23 C 10/28,
H 01 L 23/00

(12)

BREVET D'INVENTION

B1

(54) PROCÉDÉ D'ASSEMBLAGE PERMANENT DE DEUX ÉLÉMENTS PAR INTERDIFFUSION EN PHASE LIQUIDE TRANSITOIRE.

(22) **Date de dépôt :** 02.06.14.

(30) **Priorité :**

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

Demande(s) d'extension :

(71) **Demandeur(s) :** VALEO EQUIPEMENTS ELECTRIQUES MOTEUR Société par actions simplifiée — FR.

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 04.12.15 Bulletin 15/49.

(45) **Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention :** 12.07.19 Bulletin 19/28.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche :**

Se reporter à la fin du présent fascicule

(72) **Inventeur(s) :** MORELLE JEAN-MICHEL, VIVET LAURENT et TAN KY LIM.

(73) **Titulaire(s) :** VALEO EQUIPEMENTS ELECTRIQUES MOTEUR Société par actions simplifiée.

(74) **Mandataire(s) :** VALEO EQUIPEMENTS ELECTRIQUES MOTEUR Société par actions simplifiée.



PROCEDE D'ASSEMBLAGE PERMANENT DE DEUX ELEMENTS PAR INTERDIFFUSION EN PHASE LIQUIDE TRANSITOIRE

5 DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

La présente invention concerne de manière générale l'assemblage permanent de deux éléments par interdiffusion en phase liquide transitoire.

- 10 Plus particulièrement, l'invention concerne l'assemblage de structures électroniques composées par l'empilement vertical d'au moins deux éléments à assembler.

ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE DE L'INVENTION

- 15 Le procédé d'assemblage en phase liquide transitoire est connu dans l'état de la technique et est utilisé pour l'assemblage de composants électroniques, en faisant appel à l'interdiffusion entre l'argent à l'état solide et l'étain à l'état liquide.

- 20 En référence à la Fig.1a, dans ce procédé, les deux parties à assembler 1, 1' sont revêtues chacune d'une fine couche d'argent (Ag) 2, 2' entre lesquelles est disposée une fine couche d'étain (Sn) 4 sous la forme d'un feuillard solide ayant typiquement une épaisseur de l'ordre de 5 µm. Les couches d'argent 2, 2' sont 25 réalisées sous une forme plane et compacte et ont typiquement une épaisseur de l'ordre de 15 µm.

- 30 Pour réaliser l'assemblage, une pression de l'ordre de 75 à 120 Kilo-Pascal (kPa) est généralement exercée sur l'empilement des couches Ag/Sn/Ag et celui-ci est chauffé jusqu'à 300°C pendant une durée qui peut varier de quelques minutes à plusieurs heures selon les applications. Avec la montée en température, le feuillard d'étain 4 fond et vient mouiller les surfaces des couches d'argent 2, 2'. Un phénomène de germination et croissance

d'intermétallique se produit alors sur des sites de germination hétérogène prenant naissance sur des défauts 3 de taille microscopique présents sur les surfaces des couches d'argent 2, 2'.

- 5 Ce mécanisme classique de germination et croissance est représenté aux Figs.1b et 1c. L'étain liquide 4 mouille les surfaces des couches d'argent 2, 2' et, conformément à ce qui est prévu par le diagramme de phase binaire SnAg, il se forme alors une couche solide d'intermétallique Ag_3Sn , par croissance isotrope 6 de germes d'intermétallique 5, qui coexiste avec une phase liquide 10 riche en étain 4 dont la composition dépend de la température et dont le point de fusion est celui de l'eutectique $\text{Sn}96,2\%\text{Ag}3,8\%$ qui est sensiblement plus bas ($221,3^\circ\text{C}$) que celui de l'étain pur (232°C). Tant que l'ensemble est maintenu à une température supérieure à la température de fusion de l'eutectique ($221,3^\circ\text{C}$), la phase d'intermétallique Ag_3Sn croît par diffusion de 15 l'argent, au travers de la couche d'intermétallique, jusqu'à l'interface avec la phase d'étain liquide. La croissance des grains 6 de la phase d'intermétallique se fait donc à partir des deux couches d'argent 2, 2'. Ces grains 6 croissent préférentiellement de manière équi-axiale et perpendiculairement à l'interface Ag/Sn , cette croissance produisant des joints de grains orientés 7 montrés à la 20 Fig.1c. On notera que la longueur de diffusion de l'argent au travers de la couche d'intermétallique augmente au fur et à mesure de la croissance des grains.

25 L'assemblage des deux éléments 1, 1' est réalisé une fois que toute la phase liquide riche en étain a été consommée et remplacée par les grains d'intermétallique. Ainsi en restant pendant le procédé d'assemblage à une température relativement basse ($\leq 350^\circ\text{C}$), on produit un joint d'intermétallique dont la température de fusion est beaucoup plus élevée ($T_{\text{solidus}} = 480^\circ\text{C}$, $T_{\text{liquidus}} \approx 680^\circ\text{C}$).

30

Un inconvénient de ce procédé d'assemblage connu est qu'à la fin de l'assemblage le joint d'intermétallique est constitué de gros grains allongés et orientés perpendiculairement au plan de jonction. Ce type de structure

cristalline est connu pour altérer les propriétés mécaniques du joint d'intermétallique, avec un abaissement de la limite élastique et de l'effort à la rupture. Par ailleurs, il serait souhaitable de réduire la durée de l'opération d'assemblage.

5

DESCRIPTION GENERALE DE L'INVENTION

Selon un premier aspect, le procédé selon l'invention pour assembler un premier élément et un second élément par interdiffusion d'un premier métal et 10 d'un second métal, le second métal ayant une température de fusion sensiblement plus faible que celle du premier métal, comprend les étapes successives de déposer au moins une couche du premier métal sur des première et seconde surfaces à assembler des premier et second éléments, respectivement ; disposer en sandwich une couche du second métal entre les 15 première et seconde surfaces à assembler revêtues du premier métal ; exercer une pression sur les premier et second éléments de manière à rapprocher au plus près les première et seconde surfaces à assembler ; et chauffer pendant une durée prédéterminée l'ensemble ainsi constitué avec les premier et second éléments de manière à provoquer une fusion de la couche de second métal et 20 une production par germination et croissance d'une couche d'intermétallique premier métal – second métal assurant l'assemblage des premier et second éléments. Conformément à l'invention, au moins une couche de premier métal a une structure lacunaire facilitant une pénétration du second métal dans cette couche de premier métal.

25

Par rapport au procédé d'assemblage de la technique antérieure décrit plus haut, la couche de premier métal à structure lacunaire autorise une vitesse de croissance supérieure des grains d'intermétallique et, corrélativement, une réduction de la durée de l'opération d'assemblage. Cela découle d'une 30 démultiplication de la surface d'échange entre le premier métal et le second métal à l'état liquide et d'une longueur de diffusion réduite du premier métal vers la phase liquide du second métal, au travers de l'intermétallique.

Selon une caractéristique particulière de l'invention, la couche de premier métal de structure lacunaire est une couche au moins en partie poreuse et/ou granulaire.

- 5 Selon une autre caractéristique particulière de l'invention, la couche de premier métal de structure lacunaire est déposée par une méthode de type «cold spray», une méthode de frittage partiel de poudre de premier métal et/ou une méthode de dépôt par plasma poudreux.
- 10 Selon un mode de réalisation particulier du procédé d'assemblage selon l'invention, le premier métal est l'argent (Ag) et le second métal est l'étain (Sn).

Bien entendu, d'autres combinaisons de métaux pourront être choisies selon les applications, tels que l'argent (Ag) et le cuivre (Cu) ou l'or (Au) et l'étain (Sn),
15 tout en restant dans le cadre du procédé d'assemblage selon l'invention,

Selon une caractéristique particulière du mode de réalisation particulier ci-dessus, la couche d'argent de structure lacunaire comprend des particules d'argent comprises entre 2 µm et 5 µm.

20 Selon une autre caractéristique particulière, la couche d'étain est un feuillard d'étain solide.

Selon encore une autre caractéristique particulière de l'invention, la pression appliquée sur les premier et second éléments est comprise entre sensiblement 25 9 kPa et 55 kPa.

Selon encore une autre caractéristique particulière de l'invention, l'ensemble des premier et second éléments est chauffé à une température comprise entre 30 sensiblement 250 °C et 350 °C pendant une durée comprise sensiblement entre 2 minutes et 15 minutes.

Selon encore une autre caractéristique particulière de l'invention, le premier élément est un substrat comportant au moins une trace de cuivre et le second élément est une puce électronique à assembler sur la trace de cuivre.

- 5 Selon un autre aspect, l'invention concerne également un ensemble comprenant des premier et second éléments assemblés au moyen du procédé d'assemblage tel que décrit brièvement ci-dessous.

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

10

D'autres avantages et caractéristiques de la présente invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description ci-dessous de plusieurs modes de réalisation particuliers en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- 15 - les Figs.1a, 1b et 1c sont relatives à la technique antérieure et montrent, dans le procédé connu d'assemblage en phase liquide transitoire, une étape avant assemblage de deux éléments, une étape de germination de la phase d'intermétallique et une étape de croissance des grains d'intermétallique, respectivement ;
- 20 - les Figs.2a, 2b et 2c sont relatives à l'invention et montrent, dans un mode de réalisation particulier du procédé d'assemblage selon l'invention, une étape avant assemblage des deux éléments, une étape de fusion du second métal (Sn) qui pénètre dans la couche lacunaire du premier métal (Ag), et une étape de fin d'assemblage avec le joint d'intermétallique formé entre les deux
- 25 éléments, respectivement ; et
- les Figs.3a, 3b et 3c sont relatives à l'invention et montrent le processus de création du joint d'intermétallique dans le mode de réalisation particulier des Figs.2a, 2b et 2c.

30 **DESCRIPTION DE PLUSIEURS MODES DE REALISATION DE L'INVENTION**

Un mode de réalisation particulier du procédé d'assemblage selon l'invention est maintenant décrit en référence aux Figs.2a à 2c et 3a à 3c. Ce mode de

réalisation est applicable à l'assemblage d'une puce électronique nue sur un substrat et fait appel à une combinaison de métaux Sn et Ag.

5 Comme montré à la Fig.2a, le substrat 8 comporte une trace en cuivre 8' ayant par exemple ici une épaisseur de 1 à 2 mm. La trace en cuivre 8' est recouverte par une couche de nickel 9 ayant par exemple ici une épaisseur de l'ordre de 4 µm et obtenue par dépôt électrolytique. Une couche d'argent 10, ayant 500 nm d'épaisseur environ dans cette application, est ensuite déposée sur la couche de nickel 9, par exemple par dépose de type «flash».

10

La puce électronique 11 est ici une pastille de silicium ayant par exemple une épaisseur de 200 µm environ. Sa surface à assembler est revêtue d'une couche de nickel 12 ayant par exemple ici une épaisseur de l'ordre de 500 nm. Une couche d'argent 13, analogue à la couche d'argent 10, est ensuite déposée sur 15 la couche de nickel 12, par exemple par dépose de type «flash».

Conformément au procédé d'assemblage selon l'invention, une couche d'argent poreuse 14 ayant ici une épaisseur de l'ordre de 20 µm est déposée sur la couche d'argent 10 du substrat 8.

20

Différentes techniques de dépose pour la réalisation de la couche d'argent poreuse 14 pourront être utilisées dans le procédé d'assemblage selon l'invention, selon les modes de réalisation de celui-ci.

25 Dans le mode de réalisation du procédé selon l'invention décrit ici, la couche d'argent poreuse 14 est déposée par la méthode dite «cold spray», en projetant sur la surface de la couche d'argent 9 des particules d'argent dont le diamètre est compris entre 2 µm et 5 µm.

30 D'autres méthodes de dépose de la couche d'argent poreuse 14 pourront être utilisées selon les modes de réalisation du procédé selon l'invention, comme par exemple le frittage partiel de poudre d'argent et le dépôt par plasma poudreux.

Après la réalisation de la couche d'argent poreuse 14, une couche compacte d'étain 15, ayant ici une épaisseur de l'ordre de 5 µm, est ensuite déposée sur la couche d'argent poreuse 14 par un procédé électrolytique classique.

5

A ce stade, l'ensemble comprenant le substrat 8, 8', 9, 10, la couche d'argent poreuse 14 et la couche d'étain compacte 15 est déposé sur une plaque chauffante 16.

- 10 10 La puce électronique 11, 12, 13 est ensuite aspirée par un outil de préhension 17 fixé sur un actionneur 18 et est déposée et maintenue contre la surface de la couche d'argent poreuse 14. L'actionneur 18 exerce ensuite et maintient une pression contrôlée sur l'ensemble de la structure, de l'ordre 25 kPa dans ce mode de réalisation du procédé selon l'invention. On notera que selon les 15 applications cette pression pourra varier et sera typiquement comprise entre sensiblement 9 kPa et 55 kPa. La température de la plaque chauffante 16 est augmentée ici jusqu'à 300°C avec une vitesse d'échauffement de l'ordre de 60°C par seconde. On notera que selon les applications cette température pourra varier et sera typiquement comprise entre sensiblement 250°C et 350°C.
- 20 20 De manière générale, on notera que la température de fusion du second métal (ici l'étain Sn) doit être sensiblement inférieure à celle du premier métal (ici l'argent Ag). A ce stade, la température fait fondre la couche d'étain compacte 15 et l'étain liquide s'infiltre dans la structure poreuse de la couche d'argent 14, comme montré à la Fig.2b.

25

La température de la plaque chauffante 16 est maintenue à 300°C pendant 3 minutes environ, puis la plaque est refroidie. La pression exercée par l'actionneur 18 est maintenue jusqu'à ce que la température de la plaque 16 repasse en dessous de 200°C. L'assemblage de la puce électronique 11 sur le 30 substrat 8 possède alors la structure finale montrée à la Fig.2b.

Comme montré à la Fig.2c, le procédé d'assemblage selon l'invention permet de créer un joint d'intermétallique Ag₃Sn 19 avec une continuité métallurgique

entre le substrat 8 et la puce électronique 11 qui est assurée par des couches d'alliage binaire NiAg 20. Ces couches d'alliage NiAg 20 se sont formées à partir des couches 9, 10 et 12, 13.

- 5 Le joint d'intermétallique 19 comporte un grand nombre de grains isotropes, non orientés et de petite taille, qui offrent une bonne élasticité et une bonne résistance à la rupture. Ces grains ont typiquement une taille allant de quelques μm à quelques dizaines de μm .
- 10 En référence plus particulièrement aux Figs.3a, 3b et 3c, il est maintenant détaillé, dans le cadre de ce mode de réalisation faisant appel à l'interdiffusion de Sn et Ag, le principe général du procédé d'assemblage selon l'invention qui repose sur l'utilisation d'une couche de métal (ici Ag) poreuse, lacunaire, voire granulaire sur une face d'au moins un des deux éléments à assembler.

15

- Comme montré à la Fig.3a, cette porosité de la couche d'argent 14 autorise une pénétration de la phase liquide riche en étain 15 au cœur de la couche d'argent, en s'infiltrant dans les canaux créés par les réseaux de lacunes de la couche d'argent. Par construction, la couche poreuse présente une très forte densité de structures micrométriques constituant des sites préférentiels pour la germination hétérogène de la phase d'intermétallique.
- 20

- Comme illustré par la Fig.3b, l'étain liquide 15 mouille les germes d'intermétallique 21. L'argent 22 diffuse au travers de la phase d'intermétallique jusqu'à l'interface avec la phase d'étain liquide. La croissance du germe se fait de manière isotrope et conduit, comme montré à la Fig.3c, à la formation d'un joint d'intermétallique formé d'un grand nombre de grains isotropes 23, non orientés et de petite taille (quelques μm à quelques dizaines de μm). Ce joint d'intermétallique présente une haute limite élastique et une résistance importante à la rupture.
- 25
 - 30

REVENDICATIONS

- 1) Procédé d'assemblage d'un premier élément (8) et d'un second élément (11) par interdiffusion d'un premier métal (Ag) et d'un second métal (Sn), ledit second métal (Sn) ayant une température de fusion sensiblement plus faible que celle dudit premier métal (Ag), le procédé comprenant les étapes successives de :
- a) déposer au moins une couche (10, 13, 14) dudit premier métal (Ag) sur des première et seconde surfaces à assembler desdits premier (8) et second (11) éléments, respectivement,
 - b) disposer en sandwich une couche (15) dudit second métal (Sn) entre lesdites première et seconde surfaces à assembler revêtues dudit premier métal (Ag),
 - c) exercer une pression (18) sur lesdits premier (8) et second (11) éléments de manière à rapprocher au plus près lesdites première et seconde surfaces à assembler, et
 - d) chauffer pendant une durée préterminée l'ensemble ainsi constitué avec lesdits premier (8) et second (11) éléments de manière à provoquer une fusion de ladite couche de second métal (Ag) et une production par germination et croissance d'une couche d'intermétallique premier métal – second métal (19) assurant l'assemblage desdits premier (8) et second (11) éléments,
- caractérisé en ce que ledit premier métal est l'argent (Ag) et ledit second métal est l'étain (Sn), au moins une couche d'argent (Ag, 14) ayant une structure lacunaire facilitant une pénétration de l'étain (Sn) dans ladite couche d'argent (Ag, 14) et ayant des particules d'argent comprises entre 2 µm et 5 µm, et ce que ladite couche d'argent de structure lacunaire (Ag, 14) est déposée par une méthode de type «cold spray», une méthode de frittage partiel de poudre d'argent et/ou une méthode de dépôt par plasma poudreux.
- 2) Procédé d'assemblage selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite couche d'argent de structure lacunaire (Ag, 14) est une couche au moins en partie poreuse et/ou granulaire.

- 3) Procédé d'assemblage selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que la couche d'étain (Sn, 15) est un feuillard d'étain solide.**
- 5 **4) Procédé d'assemblage selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la pression appliquée à l'étape c) est comprise entre sensiblement 9 kPa et 55 kPa.**
- 10 **5) Procédé d'assemblage selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que l'ensemble desdits premier (8) et second (11) éléments est chauffé à une température comprise entre sensiblement 250°C et 350°C pendant une durée comprise sensiblement entre 2 minutes et 15 minutes.**
- 15 **6) Procédé d'assemblage selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que ledit premier élément est un substrat (8) comportant au moins une trace de cuivre (8') et ledit second élément est une puce électronique (11) à assembler sur ladite trace de cuivre (8').**

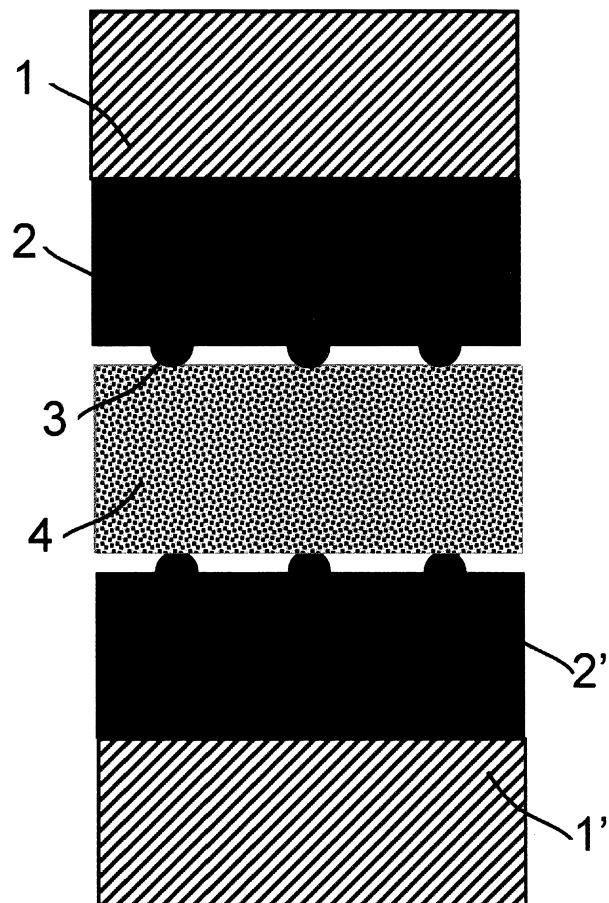


Fig. 1a

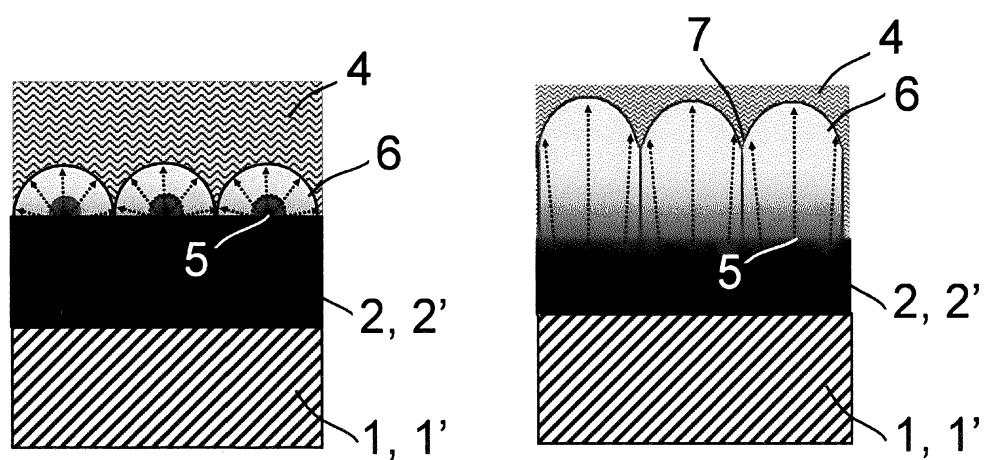


Fig. 1b

Fig. 1c

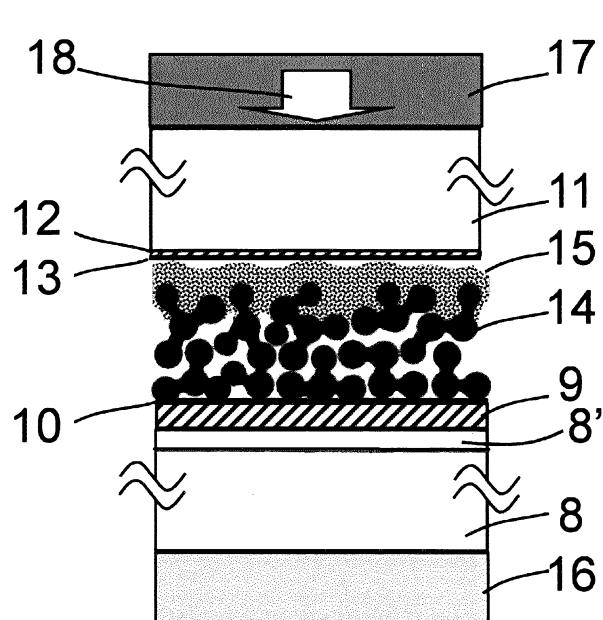


Fig. 2a

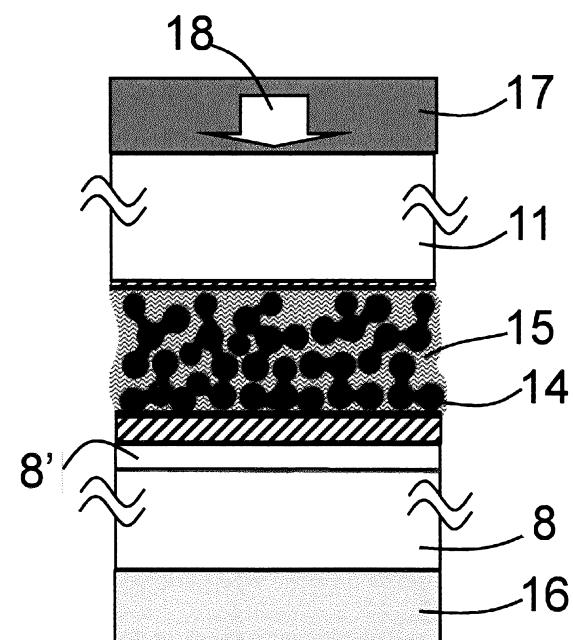


Fig. 2b

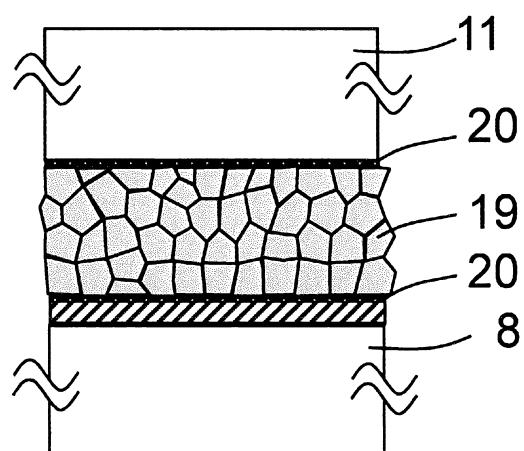
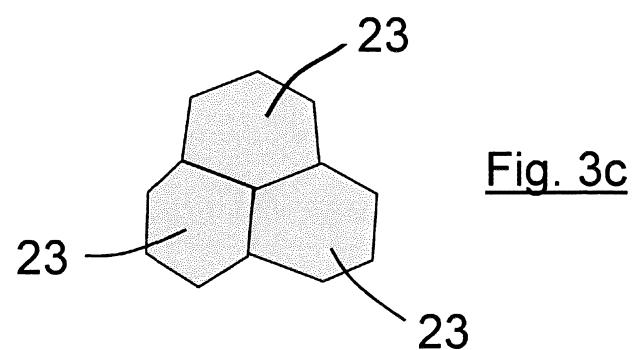
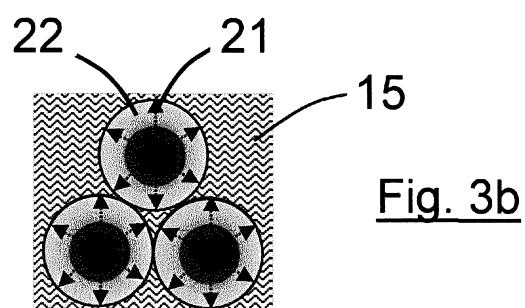
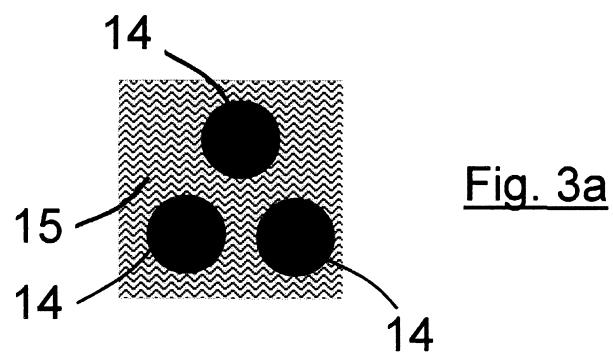


Fig. 2c

3/3



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveauté) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

[x] Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

[x] Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

[x] Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

US 2014/111956 A1 (TANIGUCHI KATSUMI [JP]) 24 avril 2014 (2014-04-24)

US 2014/120356 A1 (SHEARER CATHERINE [US] ET AL) 1 mai 2014 (2014-05-01)

US 2014/131898 A1 (SHEARER CATHERINE [US] ET AL) 15 mai 2014 (2014-05-15)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT