

(19)



(11)

EP 3 561 428 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:

30.10.2019 Bulletin 2019/44

(51) Int Cl.:

F28D 15/02 (2006.01)**F28D 15/04 (2006.01)**(21) Numéro de dépôt: **19168582.5**(22) Date de dépôt: **11.04.2019**

(84) Etats contractants désignés:

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

Etats d'extension désignés:

BA ME

Etats de validation désignés:

KH MA MD TN(30) Priorité: **11.04.2018 FR 1853173**(71) Demandeur: **Commissariat à l'énergie atomique
et aux énergies alternatives****75015 Paris (FR)**

(72) Inventeurs:

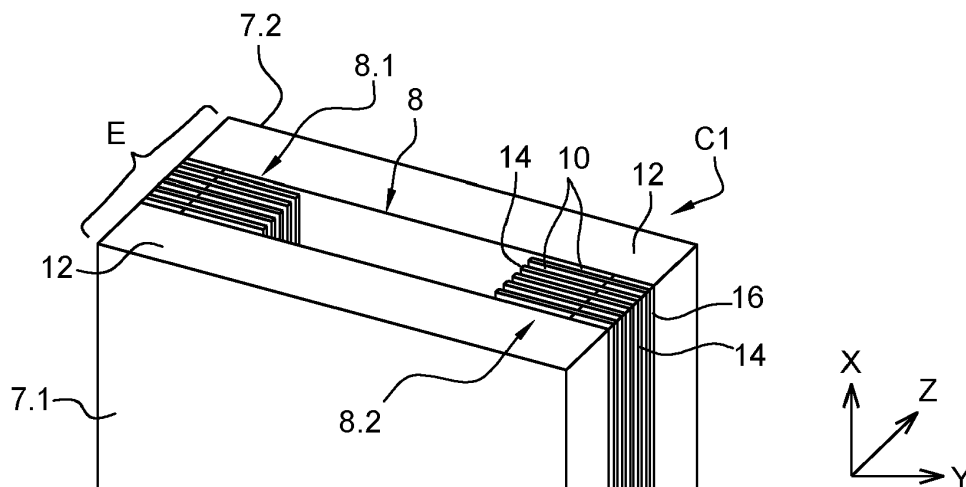
- **GRUSS, Jean-Antoine**
38170 SEYSSINET (FR)

- **MARIOTTO, Mathieu**
38054 GRENOBLE CEDEX 09 (FR)

(74) Mandataire: **Brevalex****95, rue d'Amsterdam****75378 Paris Cedex 8 (FR)**(54) **CALODUC A POMPAGE CAPILLAIRE A FONCTIONNEMENT AMELIORE**

(57) Caloduc à pompage capillaire comprenant une première extrémité destinée à être échauffée et une deuxième extrémité destinée à être refroidie, et une enceinte étanche s'étendant entre la première extrémité et la deuxième extrémité, l'enceinte comprenant un empilement de plaques (12, 14, 16), ledit empilement comportant deux plaques de fermeture (12), et des plaques intercalaires (14, 16) entre les plaques de fermeture (12), chaque plaque intercalaire (14, 16) comportant une

ouverture dont les bords délimitent en partie un canal (8). Les ouvertures d'au moins trois plaques intercalaires (14, 16) sont dimensionnées de sorte qu'elles délimitent des rainures (10) s'étendant entre la première extrémité et la deuxième extrémité du caloduc, les rainures (10) présentant une largeur dans une direction de l'empilement est inférieure à la profondeur dans la direction du plan des plaques (14, 16).

**Fig. 1B**

Description

DOMAINE TECHNIQUE ET ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

[0001] La présente invention se rapporte à un caloduc à pompage capillaire à fonctionnement amélioré.

[0002] L'invention appartient au domaine des dispositifs d'échange thermique, en particulier des caloducs, plus particulièrement des caloducs à pompage capillaire.

[0003] Un caloduc comporte une enceinte hermétiquement close, un fluide de travail et un réseau capillaire. Lors de la fabrication, tout l'air présent dans le tube caloduc est évacué et on introduit une quantité de liquide permettant de saturer le réseau capillaire. Il y a alors établissement d'un équilibre entre la phase liquide et la phase vapeur.

[0004] Sous l'effet d'une source de chaleur appliquée à l'une des extrémités, désignée évaporateur, le liquide se vaporise en induisant une légère surpression qui provoque le mouvement de la vapeur vers la seconde extrémité, désignée condenseur. Au condenseur, la vapeur se condense et repasse en phase liquide. Le fluide condensé circule dans le réseau capillaire et revient vers l'évaporateur sous l'effet de forces capillaires. Le retour du fluide liquide de la zone condenseur à la zone évaporateur est obtenu par pompage capillaire.

[0005] Les caloducs à rainures fonctionnent sur le principe du pompage capillaire. Ils comportent un tube dans lequel la surface intérieure comporte des rainures longitudinales ou légèrement en forme de spirale. Les caloducs à rainures comportent un cœur vapeur et un réseau capillaire dans lequel circule le liquide. Du fait d'une variation de courbure de l'interface vapeur-liquide entre la zone condenseur et la zone évaporateur, un gradient de pression apparaît dans le liquide, qui mène à une variation de pression capillaire. Plus la largeur des rainures est petite, plus l'effet de pompage capillaire est important.

[0006] Par ailleurs, des rainures profondes permettent d'obtenir une section de passage pour le retour liquide grande, et donc de minimiser la perte de pression.

[0007] La puissance maximale que peuvent transporter des caloducs à rainures est généralement fixée par la limite capillaire dont le terme moteur est la pression capillaire, et le terme limitant essentiellement la perte de pression liquide dans les rainures.

[0008] Or les techniques de réalisation de l'état de la technique de ces caloducs ne permettent pas d'obtenir des rainures ayant une profondeur sensiblement plus grande que leur largeur.

[0009] Ces caloducs peuvent être réalisés par extrusion. Avec une telle technique, le rapport profondeur sur largeur est de l'ordre de 1. En outre, le fond des rainures présente des coins arrondis, ce qui ne permet pas d'avoir une bonne action capillaire dans les coins.

[0010] Une autre technique utilise l'usinage mécanique, avec cette technique également le rapport profondeur sur largeur n'est pas sensiblement supérieur à 1.

[0011] Une autre technique utilise la gravure chimique. Mais elle ne permet pas non plus d'avoir un rapport profondeur sur largeur important. En outre, les coins du fond des rainures sont arrondis.

5 [0012] Le document US 7 051 793 décrit un caloduc comportant une ou plusieurs zones de circulation du fluide sous forme vapeur et de part et d'autre de ces zones des zones poreuses de circulation du liquide, ces zones capillaires s'étendant sur tout le caloduc.

10 [0013] Le caloduc est réalisé par empilement de plaques. Les zones capillaires sont obtenues en empilant des plaques comportant des fenêtres, les fenêtres ayant des directions orthogonales d'une plaque à l'autre.

15 [0014] L'effet de pompage n'est pas optimal. En outre, une importante perte de charge existe. Ce caloduc étale le flux thermique sur la largeur du caloduc et n'est pas optimisé pour le transport du flux de chaleur sur sa longueur.

20 EXPOSÉ DE L'INVENTION

[0015] C'est par conséquent un but de la présente invention d'offrir un caloduc à pompage capillaire à fonctionnement amélioré.

25 [0016] C'est également un but additionnel de la présente invention d'offrir un caloduc à pompage capillaire de réalisation simplifiée.

[0017] Les buts énoncés ci-dessus sont atteints par un caloduc comportant un empilement de plaques solidarisées entre elles de manière hermétique. Les plaques d'extrémité forment des plaques de fermeture et les plaques intercalaires sont structurées de sorte que l'empilement de plaques intercalaires délimitent des rainures s'étendant sur toute la longueur du canal du caloduc et présentant une largeur faible par rapport à sa profondeur.

30 [0018] Pour cela, dans un exemple de réalisation, le caloduc comporte au moins trois plaques intercalaires, deux premières plaques présentant chacune une ouverture de faible dimension transversale et une deuxième plaque présentant une ouverture de grande dimension transversalement à la longueur du caloduc. Ainsi la deuxième plaque délimite avec les deux premières plaques deux rainures. La largeur et la profondeur des canaux capillaires sont fixées, respectivement, par l'épaisseur de la deuxième plaque et la différence entre les dimensions transversales des ouvertures des première et deuxième plaques. En outre, le fond des rainures présente avantageusement des coins délimités par des surfaces planes.

35 [0019] Grâce à l'invention, on choisit une largeur de rainure faible, ce qui permet une pression capillaire importante. De plus, on peut avantageusement choisir un rapport largeur sur profondeur des rainures important, la perte de pression capillaire est alors diminuée.

40 [0020] L'effet de pompage capillaire est alors amélioré, il en résulte que la puissance limite que peut transporter le caloduc est augmentée.

45 [0021] De manière avantageuse, le caloduc comporte

plusieurs canaux, chaque canal étant délimité par une série d'ouvertures réalisées dans les plaques, chaque canal comportant avantageusement au moins une rainure.

[0022] En d'autres termes, les rainures sont délimitées par des plaques empilées. Ainsi la profondeur et la largeur des rainures sont obtenues séparément, ne se pose alors pas les limitations de rapport profondeur sur largeur qui se posent par exemple dans le cas de la réalisation par extrusion ou gravure chimique. Chaque face de la rainure dans la direction de l'empilement est définie par une plaque différente de la plaque définissant le fond de la rainure dans la direction du plan.

[0023] La présente invention a alors pour objet un caloduc à pompage capillaire comprenant une première extrémité destinée à être chauffée et une deuxième extrémité destinée à être refroidie, et une enceinte étanche s'étendant entre la première extrémité et la deuxième extrémité, l'enceinte comprenant un empilement de plaques, ledit empilement comportant deux plaques de fermeture, et des plaques intercalaires entre les plaques de fermeture, chaque plaque intercalaire comportant au moins une ouverture dont les bords délimitent en partie un canal. Les ouvertures d'au moins trois plaques intercalaires sont dimensionnées de sorte qu'elles délimitent au moins une rainure s'étendant entre la première extrémité et la deuxième extrémité du caloduc, ladite rainure présentant une largeur dans une direction de l'empilement inférieure ou égale à la profondeur dans la direction du plan des plaques.

[0024] Le rapport entre la profondeur et la largeur de la rainure est avantageusement compris entre 1 et 80.

[0025] Chaque plaque intercalaire peut comporter p ouvertures de sorte que l'empilement des plaques délimite p canaux.

[0026] Dans un exemple de réalisation, parmi les trois plaques intercalaires, l'une est disposée entre les deux autres plaques intercalaires et est en contact mécanique avec les deux autres plaques intercalaires.

[0027] Au moins un bord de l'ouverture de la plaque intercalaire disposée entre les deux autres plaques intercalaires peut former le fond d'au moins une rainure, et les bords des ouvertures des deux autres plaques intercalaires délimitant la rainure sont ondulés ou en dent de scie.

[0028] Le canal peut comporter deux faces latérales, lesdites trois plaques intercalaires délimitant une rainure dans chaque face latérale.

[0029] Les plaques intercalaires peuvent comporter n premières plaques intercalaires et n + 1 deuxièmes plaques intercalaires, les n premières plaques intercalaires comportant chacune au moins une ouverture de largeur L1, les n + 1 deuxièmes plaques intercalaires comportant chacune au moins une ouverture de largeur L2, la largeur L1 étant supérieure à la largeur L2, et chaque première plaque intercalaire étant reçue entre deux deuxièmes plaques intercalaires, chaque paire de premières plaques intercalaires successives définissant avec un deuxième

plaque intercalaire disposée entre les premières plaques intercalaires de ladite paire deux rainures en regard.

[0030] Le caloduc à pompage capillaire peut comporter des moyens d'échange thermique au niveau de la première extrémité et/ou deuxième extrémité. Les moyens d'échange thermique au niveau de la deuxième extrémité peuvent comporter une ou plusieurs ailettes en contact thermique avec au moins une des plaques de fermeture.

[0031] Les moyens d'échange thermique peuvent comporter un circuit fluide en contact thermique avec au moins une des plaques d'extrémité, ledit circuit étant formé par une plaque structurée de sorte à délimiter des canaux, lesdits canaux étant fermés par ladite plaque de fermeture et une plaque de fermeture supplémentaire, les moyens d'échange thermique comportant également des moyens pour alimenter en fluide caloporteur ledit circuit fluide.

[0032] Au moins l'une des plaques d'extrémité présente une surface supérieure à celle des plaques intermédiaire dans une direction transversale à l'empilement de sorte à former des diffuseurs thermiques.

[0033] La présente invention a également pour objet un procédé de fabrication d'un caloduc à pompage capillaire comportant, à partir de plaques de dimensions extérieures données :

- réalisation d'au moins une ouverture dans chacune des plaques,
- empilement desdites plaques de sorte que les ouvertures délimitent un canal et au moins trois plaques intercalaires délimitent au moins une rainure s'étendant entre la première extrémité et la deuxième extrémité,
- mise en place aux extrémités de l'empilement dans la direction de l'empilement de plaques de fermeture,
- solidarisation desdites plaques de sorte à délimiter une enceinte étanche,
- remplissage partiel du canal avec un fluide sous forme liquide et fermeture étanche du canal.

[0034] Par exemple, les plaques comportent à coeur un alliage d'aluminium et sur ses faces extérieures un alliage d'aluminium eutectique à point de fusion inférieur à celui de l'alliage d'aluminium à coeur et dans lequel la solidarisation est obtenue par brasure eutectique.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

[0035] La présente invention sera mieux comprise sur la base de la description qui va suivre et des dessins en annexe sur lesquels:

- la figure 1A est une vue de côté d'un exemple de réalisation d'un caloduc à pompage capillaire,
- la figure 1B est une vue en coupe transversale du caloduc de la figure 1A le long du plan A-A,
- la figure 2 est une vue éclatée du caloduc des figures

1A et 1B,

- la figure 3A est une représentation schématique des ménisques dans le caloduc des figures 1A, 1B et 2 au niveau de l'évaporateur,
- la figure 3B est une représentation schématique des ménisques dans le caloduc des figures 1A, 1B et 2 au niveau du condenseur,
- la figure 4 est une vue en coupe transversale d'une variante du caloduc des figures 1A et 1B,
- la figure 5 est une vue en coupe transversale d'un autre exemple de réalisation d'un caloduc comprenant plusieurs canaux,
- la figure 6 est une vue éclatée du caloduc de la figure 5,
- les figures 7A et 7B sont des vues de dessus de plaques intercalaires d'un autre exemple de réalisation d'un caloduc,
- la figure 8 est une vue éclatée du caloduc comportant les plaques intercalaires des figures 7A et 7B,
- la figure 9 est une vue de détail d'une rainure du caloduc de la figure 8,
- la figure 10 est une vue de détail d'une rainure selon une variante de la figure 8,
- la figure 11 est une vue d'une extrémité d'un caloduc selon un autre exemple de réalisation,
- la figure 12 est une vue de dessus d'une plaque intercalaire selon un autre exemple de réalisation,
- la figure 13 est une vue en coupe transversale d'un caloduc selon un autre exemple de réalisation comportant des diffuseurs thermiques,
- la figure 14 est une vue en perspective d'un autre exemple de réalisation d'un caloduc selon l'invention réparti dans plusieurs plans,
- les figures 15A à 15F sont des vues en perspective d'exemples d'ailettes applicables à un caloduc selon l'invention,
- la figure 16 est une vue éclatée d'un caloduc selon un exemple de réalisation comportant un échangeur thermique au niveau de l'absorbeur,
- la figure 17A est une vue en coupe transversale d'un caloduc de l'état de la technique,
- la figure 17B est une vue de dessus d'un empilement de plaques intercalaires d'un caloduc selon un exemple de la présente invention,
- la figure 18 est une graphique représentant les variations de limite capillaire L_c en Watt en fonction de l'inclinaison du caloduc dans le cas du caloduc de la figure 17A(II) et du caloduc de la figure 17B(I) utilisant l'eau comme fluide de travail, ceci pour une température de 60°C,
- la figure 19 est une graphique représentant la puissance maximale en Watt en fonction de la température du caloduc dans le cas du caloduc de la figure 17A (II') et du caloduc de la figure 17B (I') utilisant l'acétone comme fluide de travail, ceci à angle d'inclinaison nulle par rapport à l'horizontale.
- la figure 20 est une vue en coupe transversale d'un autre exemple de réalisation d'un caloduc selon l'in-

vention,

[0036] Les représentations ne sont pas nécessairement à l'échelle et les proportions entre une vue en coupe et une vue de côté par exemple ne sont pas nécessairement respectées.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

[0037] Sur la figure 1A, on peut voir un caloduc C1 à pompage capillaire vu de l'extérieur s'étendant selon un axe longitudinal X.

[0038] Dans la présente demande, la direction longitudinale est celle donnée par l'axe X.

[0039] Le caloduc C1 comporte une enceinte hermétique 2 s'étendant selon l'axe longitudinal X et comportant une première extrémité longitudinale 4 et une deuxième extrémité longitudinale 6. La première extrémité 4 est par exemple destinée à être disposée au niveau d'une source de chaleur SC. La première extrémité est désignée évaporateur, et la deuxième extrémité 4 est par exemple destinée à être disposée au niveau d'une source froide SF. La deuxième extrémité est désignée condenseur.

[0040] La source de chaleur est par exemple un composant électrique ou électronique, un stockage de chaud, un réacteur chimique exothermique. Les puits de chaleur des ailettes en convection forcée, des plaques froides en écoulement mono ou diphasique, un stockage de froid, une réaction chimique endothermique...

[0041] Le caloduc a avantageusement une forme telle qu'il s'étend dans le plan XY, de sorte à présenter des faces 7.1, 7.2, parallèles au plan XY, ayant de grande surface favorisant les échanges de chaleur avec la source de chaleur et la source froide.

[0042] Le caloduc est en contact avec la source de chaleur et la source froide sur une ou ses deux faces 7.1, 7.2 de grande surface. Les faces 7.1, 7.2 de plus grande surface sont dans l'exemple représenté orthogonales à la direction Z.

[0043] Sur la figure 1B, on peut voir une vue en coupe transversale du caloduc C1.

[0044] Le caloduc C1 comporte un canal 8 s'étendant le long de l'axe longitudinal X et des rainures 10 s'étendant le long de l'axe longitudinal X de part et d'autre du canal 8 dans une direction Y orthogonale à l'axe X.

[0045] Les rainures 10 sont formées dans les parois latérales 8.1, 8.2 du canal 8. Les parois latérales sont considérées par rapport à la direction longitudinale X et sont situées dans des plans sécants aux plans des faces 7.1, 7.2 de plus grande surface du caloduc.

[0046] L'enceinte du caloduc comporte un empilement E de plaques délimitant le canal 8 et les rainures 10.

[0047] L'empilement E comporte deux plaques d'extrémité 12 situées aux extrémités de l'empilement dans une direction Z orthogonale aux directions X et Y. Les plaques d'extrémité 12 sont destinées à fermer le canal

8 et sont également désignées « plaques de fermeture ».

[0048] L'empilement comporte des plaques intercalaires 14, 16 disposées entre les plaques d'extrémité 12. Les plaques intercalaires comportent des premières plaques intercalaires 14 et des deuxièmes plaques intercalaires 16, les deuxièmes plaques intercalaires 16 alternent avec les premières plaques intercalaires 14.

[0049] Dans cet exemple, toutes les plaques 12, 14, 16 présentent les mêmes dimensions extérieures, l'empilement est alors de forme parallélépipédique rectangle.

[0050] Chaque première plaque intercalaire 14 a une épaisseur e_1 , et comporte une ouverture 18 s'étendant dans la direction X et dans la direction Y. Dans cet exemple, l'ouverture 18 a une forme rectangulaire présentant une dimension L_1 dans la direction X et une dimension L_1 dans la direction Y.

[0051] Chaque deuxième plaque intercalaire 16 a une épaisseur e_2 et comporte une ouverture 20 s'étendant dans la direction X et dans la direction Y. Dans cet exemple, l'ouverture 20 a une forme rectangulaire et présente une dimension L_2 dans la direction X et une dimension L_2 dans la direction Y.

[0052] Les dimensions L_1 et L_2 sont égales ou proches et correspondent à la longueur du canal 8.

[0053] La dimension L_1 est inférieure à la dimension L_2 .

[0054] Du fait des dimensions L_1 et L_2 différentes, l'empilement de deux premières plaques de part et d'autre d'une deuxième plaque délimitent deux rainures 10 comme cela est visible sur les figure 1B et 3.

[0055] Chaque première plaque participe à délimiter des rainures 10.

[0056] Les rainures ont une épaisseur égale à l'épaisseur e_2 de la deuxième plaque 16 et une profondeur égale à $(L_1 - L_2)/2$, en considérant que les rainures 10 de part et d'autre de l'axe X ont la même profondeur et que les ouvertures sont centrées par rapport aux bords des plaques.

[0057] Ainsi il est aisé de réaliser des rainures dont le rapport profondeur sur épaisseur est grand, voire très grand. En effet, la profondeur et l'épaisseur étant fixée séparément lors d'étapes différentes, il n'y a pas de limitation due au procédé de fabrication contrairement à l'extrusion et à la gravure.

[0058] Il est possible de réaliser des deuxièmes plaques très fines et/ou des ouvertures entre les première et deuxième plaques de dimensions L_1 , L_2 très différentes.

[0059] Par exemple, les ouvertures sont réalisées par poinçonnage, découpage, par exemple au laser ou au jet d'eau.

[0060] En réalisant des rainures fines et profondes par rapport à leur épaisseur, on obtient une pression capillaire élevée et une perte de pression faible, donc un pompage capillaire amélioré par rapport aux caloducs à pompage capillaire de l'état de la technique. Le liquide est remonté plus facilement du condenseur vers l'évaporateur, indépendamment de la gravité.

[0061] La pression capillaire est la différence de pression entre la phase vapeur et la phase liquide au voisinage du ménisque.

[0062] Sur la figure 3A, on peut voir les ménisques M représentées dans les rainures 10 au niveau de l'évaporateur, et sur la figure 3B au niveau du condenseur. La pression capillaire est inversement proportionnelle au rayon de courbure du ménisque. Ce rayon de courbure est très grand au condenseur, et est sensiblement plus faible à l'évaporateur.

[0063] En augmentant la profondeur des rainures, on augmente la section de passage du liquide dans les rainures, ce qui réduit les pertes de charge et repousse la limite capillaire.

[0064] En outre, du fait de la réalisation des rainures par empilement de plaques le fond des rainures présente des angles sensiblement droits ce qui est favorable à l'action capillaire, à l'inverse des coins arrondis des rainures obtenues par extrusion ou gravure par exemple.

[0065] Le caloduc est rempli d'un fluide diphasique, il peut s'agir d'un fluide bien connu de l'homme du métier. Celui-ci est choisi par exemple en fonction de la gamme de température de fonctionnement et de stockage du dispositif, en fonction des contraintes dues à la pression, l'inflammabilité, la toxicité du fluide et de la compatibilité chimique entre le fluide et le matériau formant le caloduc.

[0066] A titre d'exemple, pour un caloduc réalisé en alliage d'aluminium assemblé par brasure eutectique, on peut utiliser comme fluide l'ammoniac, l'acétone, le méthanol, le n-heptane, le R134a ou autres fluides frigorigènes fluorés.

[0067] Le fonctionnement du caloduc va maintenant être expliqué.

[0068] Le liquide est évaporé à l'évaporateur et la vapeur générée circule dans le canal central vers le condenseur. Au condenseur, la vapeur se condense. Le liquide circule dans les rainures vers l'évaporateur. La courbure du ménisque à l'évaporateur provoque une différence de pression capillaire entre l'évaporateur et le condenseur, favorisant l'écoulement liquide vers l'évaporateur et l'écoulement vapeur vers le condenseur.

[0069] En réalisant des rainures fines et profondes, le rayon de courbure du ménisque est réduit à l'évaporateur, ce qui augmente la pression capillaire et donc le pompage du liquide vers l'évaporateur.

[0070] Par ailleurs, la technique de fabrication par empilement de plaques permet d'obtenir un rapport profondeur/largeur des rainures élevé, ce qui permet d'augmenter la section de passage liquide des rainures et donc de diminuer la perte de pression liquide.

[0071] De manière avantageuse, la largeur des rainures est comprise entre 0,05 mm et 6 mm, et peut atteindre 0,05 mm. Il est à noter que dans le cas de caloduc de l'état de la technique obtenus par extrusion, la largeur des rainures est au minimum de l'ordre de 0,2 mm pour les petits diamètres de caloduc, par exemple de diamètre intérieur inférieur à 10 mm, et environ de l'ordre de 0,5 mm pour les plus gros diamètres.

[0072] De manière avantageuse, la profondeur des rainures est comprise entre 1 mm et 4 mm, et est très avantageusement égale à 3 mm.

[0073] Le rapport profondeur/largeur des rainures peut atteindre au moins 20, voire plus avec des rainures de 0,05 mm de largeur. Dans le cas de caloduc de l'état de la technique obtenus par extrusion, le rapport profondeur/largeur est de l'ordre de 1.

[0074] La distance entre l'évaporateur et le condenseur peut varier de quelques centimètres à quelques mètres.

[0075] Le caloduc selon l'invention peut être réalisé en différents matériaux tels que, par exemple un alliage d'aluminium, en cuivre, en acier inoxydable. Le ou les matériaux utilisés pour la fabrication du caloduc sont choisis en fonction des contraintes de masse, d'assemblage, de la robustesse requise...

[0076] La technique d'assemblage des tôles dépend du matériau.

[0077] Par exemple, dans le cas de plaques en alliage d'aluminium, on peut utiliser la brasure sous vide avec tôles cladées, la brasure au bain de sel, la brasure sous gaz inerte, le soudage par ultrasons, la soudure par friction-malaxage (Friction Stir Welding), le collage...

[0078] Dans le cas de plaque en cuivre, en acier inoxydable ou en superalliage, on peut utiliser la soudure diffusion, la brasure diffusion, le collage...

[0079] Dans le cas de plaques en aciers inoxydables, super alliages, on peut utiliser la soudure diffusion, la brasure diffusion, le collage...

[0080] A titre d'exemple, l'assemblage de plaques en alliage d'aluminium est obtenu par brasure eutectique. On utilise de manière connue des plaques en alliage d'aluminium dont une ou les deux faces est ou sont revêtue(s) d'un alliage aluminium à plus bas point de fusion.

[0081] Par exemple, on utilise une tôle en alliage de la série AA3xxxx à coeur, avec un revêtement avec un alliage eutectique de la série AA4xxxx comprenant du silicium à plus bas point de fusion.

[0082] Le revêtement se fait typiquement par une technique de roll-bond.

[0083] L'épaisseur totale des plaques est typiquement de 0,05 mm à 5 mm, avec un revêtement typiquement de 5% à 10% de l'épaisseur totale.

[0084] En pressant à chaud deux plaques d'aluminium ainsi revêtues à une température supérieure à la température de fusion de l'eutectique, mais inférieure à la température de l'alliage à coeur, l'alliage eutectique en surface fond et forme un alliage de brasure d'assemblage étanche entre les deux plaques.

[0085] Sur la figure 4, on peut voir un exemple de réalisation d'un caloduc C2 comportant deux premières plaques intercalaires 16 et une deuxième plaque intercalaire 14.

[0086] Sur les figures 5 et 6, on peut voir un caloduc C3 selon un autre exemple de réalisation. Le caloduc C3 comporte plusieurs canaux 108 disposés les uns à côtés des autres.

[0087] Comme cela est particulièrement visible sur la figure 6, le caloduc C3 comporte deux plaques de fermeture 112, une pluralité de plaques empilées, les plaques intercalaires 114 et 116 comportent autant d'ouvertures que de canaux.

[0088] Dans l'exemple représenté, toutes les deuxièmes plaques intercalaires 116 comportent les ouvertures les plus larges de sorte que les bords latéraux des ouvertures forment le fond des rainures et toutes les premières plaques intercalaires 114 comportent les ouvertures les plus étroites, de sorte que les faces des premières plaques forment les flancs latéraux des rainures.

[0089] En variante, des plaques intercalaires 114 pourraient comporter des ouvertures les plus larges et des ouvertures les plus étroites ainsi que les plaques 116.

[0090] Le caloduc C3 permet d'augmenter le flux de chaleur transmis et/ou la surface d'échange.

[0091] En variante, les différents canaux pourraient ne pas comporter le même nombre de rainures et/ou la même distribution des rainures.

[0092] Dans les exemples décrits ci-dessus, les bords des ouvertures définissant les rainures sont droits et parallèles entre eux.

[0093] Sur la figure 7A, on peut voir des premières plaques intercalaires 214 comportant des ouvertures 220 comprenant des bords latéraux 220.1 ondulés, et sur la figure 7B on peut voir des deuxièmes plaques intercalaires 216 comportant des ouvertures 218 à bords latéraux droits 218.1.

[0094] Sur la figure 8, on peut voir une vue éclatée du caloduc C4 avec plusieurs deuxièmes plaques intercalaires 216 alternant avec des premières plaques intercalaires 214 entre deux plaques d'extrémité 212.

[0095] Sur la figure 9, on peut voir une vue de détail d'un canal obtenu et d'une rainure 210. La rainure est ondulée dans le plan XY.

[0096] Cette forme permet d'augmenter la longueur de la ligne triple, notamment dans la zone évaporateur, ce qui permet d'augmenter le coefficient d'échange en évaporation.

[0097] Au niveau du condenseur, la forme ondulée permet d'obtenir des parois non mouillées par le film de condensation aux sommets des ondulations. Cela permet également d'augmenter le coefficient d'échange en condensation en minimisant la résistance d'interface du film de condensation.

[0098] Dans cet exemple, le fond des rainures est droit. En variante, il peut également être ondulé.

[0099] Sur la figure 10, on peut voir une variante, dans lequel les bords 320.1 des ouvertures sont en dent de scie. Les rainures 310 sont également en dent de scie dans le plan XY. Comme pour les rainures de forme ondulée, les coefficients d'échange en condensation et en évaporation sont augmentés.

[0100] Il sera compris que toute autre forme est envisageable. Au vu du mode de réalisation des ouvertures, une grande liberté dans la forme des bords existe.

[0101] Il peut même être envisagé de réaliser des rai-

nures droites dans une face latérale du canal et des rainures ondulées dans l'autre face en regard.

[0102] Selon un autre exemple, le canal présente une section autre que rectangulaire, elle est par exemple trapézoïdale.

[0103] Dans les exemples décrits ci-dessus toutes les plaques ont les mêmes dimensions, il en résulte que le caloduc a une forme parallélépipédique. Selon un autre exemple, la surface des plaques peut varier. On peut envisager que la surface des plaques diminue dans la direction Z, comme cela est représenté sur la figure 11.

[0104] On peut également envisager que la largeur des plaques intercalaires soit variable le long de la direction X, par exemple pour réaliser un condenseur de plus grande surface que l'évaporateur comme cela est schématisé sur la figure 12 représentant une première plaque intercalaire 414. Les ouvertures sont conformées de sorte à couvrir toute la surface, elles ne sont pas parallèles.

[0105] Dans un exemple, seule une des faces latérales du canal comporte des rainures. On peut envisager en outre un nombre de rainures différent entre les deux faces latérales. Dans un autre exemple de réalisation, les rainures 610 dans une face latérale sont décalées par rapport aux rainures dans l'autre face latérale comme cela est schématisé sur la figure 20. Cet exemple de réalisation permet d'utiliser le même type de tôle pour former toutes les plaques intercalaires, pour cela il suffit de retourner alternativement chaque plaque tête-bêche.

[0106] Selon un autre exemple, les rainures n'ont pas la même profondeur dans un même canal et/ou d'un canal à l'autre.

[0107] Sur la figure 13 on peut voir un autre exemple de caloduc C5. Celui-ci est proche du caloduc C3, il comporte en outre des diffuseurs thermiques ou « spreader » en terminologie anglo-saxonne s'étendant parallèlement au plan XY. Dans cet exemple les diffuseurs thermiques sont d'un seul tenant avec les plaques de fermeture et s'étendent symétriquement de part et d'autre du canal. Ces diffuseurs ont pour effet d'étaler le flux de chaleur sur une zone plus large et d'augmenter l'efficacité globale du système thermique.

[0108] En variante, une seule des deux plaques de fermeture comporte des diffuseurs et/ou des diffuseurs ne sont prévus que d'un côté du plan XZ et/ou les diffuseurs présentent des surfaces différentes de part et d'autre du plan XZ. Il peut être envisagé que la taille du ou des diffuseurs se réduise par exemple dans la direction X.

[0109] Sur la figure 14, on peut voir un autre exemple de réalisation dans lequel le caloduc C6 n'a pas une forme droite, il comporte deux portions droites D1 et D2 orientées à angle droit l'une par rapport à l'autre. En outre, les portions D1 et D2 s'étendent dans des plans orthogonaux. La portion D1 s'étend dans le plan XY et la portion D2 s'étend dans le plan XZ. L'orientation des portions D1 et D2 l'une par rapport à l'autre est par exemple obtenue par pliage après empilage des plaques et leur solidarisation. P1 désigne la pliure.

[0110] Le caloduc C6 peut être conformé à l'applica-

tion. Le caloduc peut comporter plusieurs pliures.

[0111] Dans cet exemple, la portion D1 forme l'évaporateur et la portion D2 forme le condenseur et est muni sur ses surfaces extérieures d'ailettes A1 formant un radiateur permettant d'évacuer la chaleur. Le radiateur est par exemple en convection naturelle ou en convection forcée. Dans cet exemple, les ailettes sont prévues sur les deux faces de grande surface du condenseur. En variante, des ailettes sur une seule surface pourraient être envisagées. Sur la figure 14, on peut voir un queusot Q de remplissage du caloduc C6.

[0112] Dans cet exemple, les ailettes comportent des plaques planes perpendiculaires aux faces du condenseur. Toute autre forme est envisageable.

[0113] Il sera compris qu'un caloduc tel que celui de la figure 1A pourrait être courbé au lieu d'être rectiligne sans sortir du cadre de la présente invention.

[0114] Sur les figures 15A à 15F sont représentées des ailettes plissées selon d'autres exemples de réalisation applicables à la présente invention.

[0115] Selon d'autres exemples, les ailettes sont des ailettes extrudées, des ailettes skivées, des ailettes picots, des ailettes moulées, ailettes fixées par moletage, ailettes réalisées par impression 3D, ou tout autre ailette obtenue par une technique de réalisation d'extension de surface bien connue de l'homme du métier.

[0116] En variante, un circuit de refroidissement est intégré directement dans le caloduc C7 comme cela est représenté sur la figure 16.

[0117] Le caloduc comporte un circuit de refroidissement 524 dans lequel circule un fluide caloporteur. Le circuit de refroidissement est directement en contact avec le condenseur. Dans l'exemple représenté, le circuit de refroidissement 524 est formé par une plaque supplémentaire 526, dans laquelle sont réalisées des rainures 528 définissant les parois latérales du circuit, et la plaque de fermeture 512 et une plaque de fermeture supplémentaire 530 forment les parois d'extrémité du circuit de refroidissement. La plaque de fermeture supplémentaire 530 comporte deux orifices 532 débouchant chacun à une extrémité du circuit et permettant la circulation du fluide caloporteur.

[0118] Le fluide caloporteur peut être un liquide ou un gaz.

[0119] Selon un autre exemple, il s'agit d'un circuit diphasique.

[0120] Un tel circuit peut être également utilisé pour former la source de chaleur au niveau de l'évaporateur.

[0121] Nous allons maintenant comparer les performances d'un caloduc selon l'invention et un caloduc à pompage capillaire de l'état de la technique.

[0122] On considère un caloduc de l'état de la technique cylindrique obtenu par extrusion et comportant des rainures longitudinales 610, tel que représenté sur la figure 17A.

[0123] Chaque caloduc présente une longueur de l'évaporateur de 50 mm, une longueur de la zone adiabatique de 100 mm, une longueur du condenseur de 110

mm

[0124] Chaque caloduc est réalisé en cuivre. La température dans la zone adiabatique du caloduc est 60°C ; i.e. la température moyenne vapeur du caloduc.

[0125] Le caloduc de l'état de la technique présente les caractéristiques suivantes :

Diamètre intérieur Di : 10 mm
Diamètre extérieur De : 12 mm
Largeur de rainure Le : 0,5 mm
Profondeur de rainure Pe : 0,5 mm
Nombre de rainures : 44

[0126] Le caloduc selon l'invention présente les caractéristiques suivantes (figure 17B) :

Largeur extérieure Le : 12 mm
Hauteur extérieure He : 12 mm
Largeur de rainures L : 0,5 mm
Profondeur rainures P : 2 mm
Nombre de rainures : 15.

[0127] Sur la figure 18, on peut voir la variation de la limite capillaire Lc en Watt en fonction de l'angle d'inclinaison α du caloduc en °, i.e. l'inclinaison de l'axe X par rapport à la direction horizontale. La courbe I correspond à l'invention et la courbe II au caloduc selon l'état de la technique. Les valeurs d'inclinaison négatives correspondent à des positions du caloduc dans lesquelles l'évaporateur est au-dessus du condenseur. Le fluide est de l'eau.

[0128] On constate que le caloduc selon l'invention est plus performant que le caloduc de l'état de la technique, quelle que soit l'inclinaison du caloduc.

[0129] Sur la figure 19, on peut voir puissance maximale P en Watt en fonction de la température T en °C. La courbe I' correspond à l'invention et la courbe II' au caloduc selon l'état de la technique. Le fluide est de l'acétone. L'angle d'inclinaison par rapport à l'horizontal est nul.

[0130] On constate que le caloduc selon l'invention est plus performant que le caloduc de l'état de la technique, quelle que soit la température du caloduc.

[0131] Il sera compris que les différents exemples et variantes de réalisation ne sont pas exclusifs les uns des autres et peuvent être combinés tout ou en partie.

[0132] Un exemple de procédé de réalisation va maintenant être décrit.

[0133] Des plaques en un matériau donné sont découpées suivant la forme extérieure souhaitée pour le caloduc.

[0134] Lors d'une étape suivante, les ouvertures sont réalisées dans toutes les plaques intercalaires. Les ouvertures sont réalisées par exemple par poinçonnage, découpe laser, par découpe au jet d'eau ou par gravure chimique traversante...des ouvertures de dimensions différentes sont réalisées dans les différentes plaques de sorte qu'une fois assemblées des rainures sont formées.

[0135] Les plaques sont ensuite empilées de sorte à délimiter les rainures, des plaques de fermeture sont disposées aux extrémités de l'empilement pour fermer le ou les canaux. Eventuellement des canaux de refroidissement sont prévus sur un ou les deux faces de l'empilement.

[0136] Les plaques sont assemblées, la technique d'assemblage étant choisie en fonction du ou des matériaux des plaques, par exemple soudage, brasage, collage...l'assemblage des plaques est étanche.

[0137] Le caloduc est ensuite rempli. Un orifice de remplissage a été ménagé dans une des plaques d'ouverture lors de la fabrication des plaques. Le fluide est choisi en fonction des conditions de fonctionnement du caloduc (température de fonctionnement...) et de la compatibilité avec le ou les matériaux du caloduc.

Revendications

1. Caloduc à pompage capillaire comprenant un canal et au moins une rainure débouchant dans le canal, ledit caloduc comprenant une première extrémité (4) destinée à être échauffée et une deuxième extrémité (6) destinée à être refroidie, et une enceinte étanche (2) s'étendant entre la première extrémité (4) et la deuxième extrémité (6), l'enceinte comprenant un empilement de plaques, ledit empilement comportant deux plaques de fermeture (12), et des plaques intercalaires (14, 16, 216, 214) entre les plaques de fermeture (12), chaque plaque intercalaire (14, 16, 216, 214) comportant au moins une ouverture dont les bords délimitent en partie un canal (8), et dans lequel les ouvertures d'au moins trois plaques intercalaires (14, 16, 216, 214) sont dimensionnées de sorte qu'elles délimitent au moins une rainure (10, 210) s'étendant entre la première extrémité (4) et la deuxième extrémité (6) du caloduc, ladite rainure (10, 210) présentant une largeur dans une direction de l'empilement inférieure ou égale à la profondeur dans la direction du plan des plaques (14, 16, 216, 214), dans lequel parmi les trois plaques intercalaires (14, 16), l'une est disposée entre les deux autres plaques intercalaires et est en contact mécanique avec les deux autres plaques intercalaires et dans lequel au moins un bord de l'ouverture de la plaque intercalaire (216) disposée entre les deux autres plaques intercalaires (214) forme le fond d'au moins une rainure (210) dans la direction du plan, chaque face de la rainure dans la direction de l'empilement étant définie par une plaque intercalaire différente de la plaque intercalaire définissant le fond de la rainure dans la direction du plan.
2. Caloduc à pompage capillaire selon la revendication 1, dans lequel le rapport entre la profondeur et la largeur de la rainure (10) est compris entre 1 et 80.

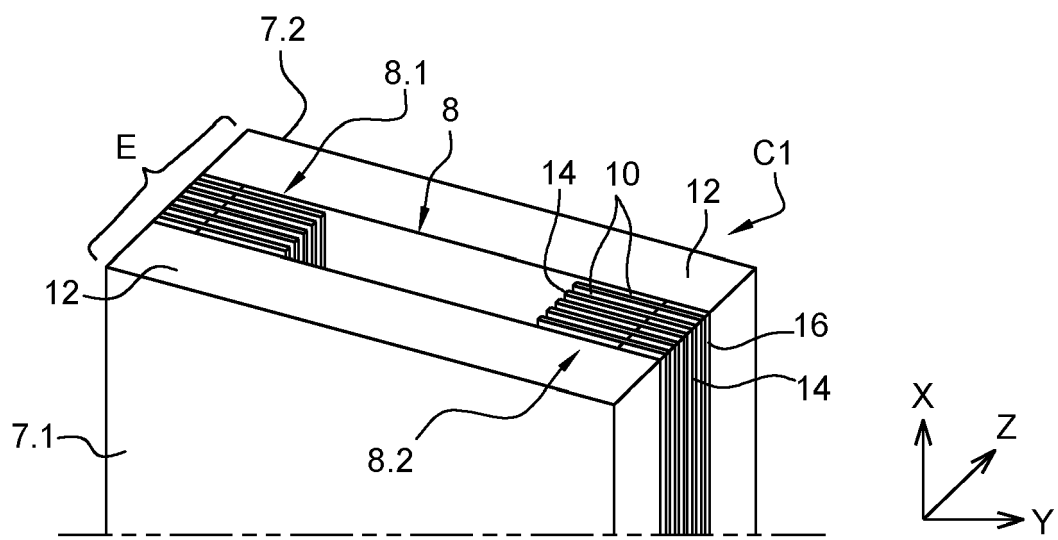
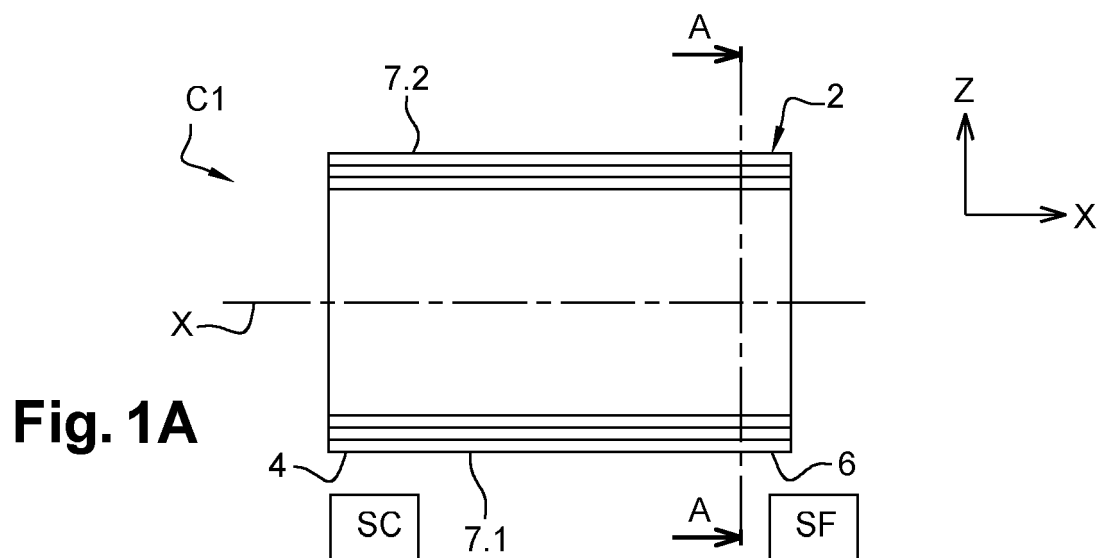
3. Caloduc à pompage capillaire selon la revendication 1 ou 2, dans lequel chaque plaque intercalaire comporte p ouvertures de sorte que l'empilement des plaques délimite p canaux. 5
4. Caloduc de pompage capillaire selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel les bords (220.1) des ouvertures des deux autres plaques intercalaires (214) délimitant la rainure (210) sont ondulées ou en dent de scie. 10
5. Caloduc à pompage capillaire selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le canal (10) comporte deux faces latérales (8.1, 8.2), lesdites trois plaques intercalaires délimitant une rainure (10) dans chaque face latérale (8.1, 8.2). 15
6. Caloduc à pompage capillaire selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel les plaques intercalaires comportent n premières plaques intercalaires (14) et n + 1 deuxièmes plaques intercalaires (16), les n premières plaques intercalaires (14) comportant chacune au moins une ouverture de largeur L1, les n + 1 deuxièmes plaques intercalaires (16) comportant chacune au moins une ouverture de largeur L2, la largeur L1 étant supérieure à la largeur L2, et chaque première plaque intercalaire (14) étant reçue entre deux deuxièmes plaque intercalaires (16), chaque paire de premières plaques intercalaires (16) successives définissant avec un deuxième plaque intercalaire (16) disposée entre les premières plaques intercalaires (14) de ladite paire deux rainures (10) en regard. 20
25
30
7. Caloduc à pompage capillaire selon l'une des revendications 1 à 6, comportant des moyens d'échange thermique au niveau de la première extrémité et/ou deuxième extrémité. 35
8. Caloduc à pompage capillaire selon la revendication 7, dans lequel les moyens d'échange thermique au niveau de la deuxième extrémité comportent une ou plusieurs ailettes (A1) en contact thermique avec au moins une des plaques de fermeture. 40
9. Caloduc à pompage capillaire, selon la revendication 7 ou 8, dans lequel les moyens d'échange thermique (524) comportent un circuit fluidique en contact thermique avec au moins une des plaques d'extrémité, ledit circuit étant formé par une plaque structurée (526) de sorte à délimiter des canaux (528), lesdits canaux (528) étant fermés par ladite plaque de fermeture et une plaque de fermeture supplémentaire (530), les moyens d'échange thermique comportant également des moyens (532) pour alimenter en fluide caloporteur ledit circuit fluidique. 45
50
55
10. Caloduc à pompage capillaire selon l'une des reven-

dications 1 à 9, dans lequel au moins l'une des plaques d'extrémité présente une surface supérieure à celle des plaques intermédiaire dans une direction transversale à l'empilement de sorte à former des diffuseurs thermiques (120).

11. Procédé de fabrication d'un caloduc à pompage capillaire comprenant un canal et au moins une rainure débouchant dans le canal, ledit procédé comportant, à partir de plaques de dimensions extérieures données :

- Réalisation d'au moins une ouverture dans chacune des plaques,
- Empilement desdites plaques de sorte que les ouvertures délimitent un canal et au moins trois plaques intercalaires délimitent au moins une rainure s'étendant entre la première extrémité et la deuxième extrémité, l'empilement étant tel que, parmi les trois plaques intercalaires (14, 16), l'une est disposée entre les deux autres plaques intercalaires et est en contact mécanique avec les deux autres plaques intercalaires et qu'au moins un bord de l'ouverture de la plaque intercalaire (216) disposée entre les deux autres plaques intercalaires (214) forme le fond d'au moins une rainure (210) dans la direction du plan, chaque face de la rainure dans la direction de l'empilement étant définie par une plaque intercalaire différente de la plaque intercalaire définissant le fond de la rainure dans la direction du plan.
- Mise en place aux extrémités de l'empilement dans la direction de l'empilement de plaques de fermeture.
- Solidarisation desdites plaques de sorte à délimiter une enceinte étanche,
- Remplissage partiel du canal avec un fluide sous forme liquide et fermeture étanche du canal.

12. Procédé de fabrication selon la revendication 11, dans lequel les plaques comportent à coeur un alliage d'aluminium et sur ses faces extérieures un alliage d'aluminium eutectique à point de fusion inférieur à celui de l'alliage d'aluminium à coeur et dans lequel la solidarisation est obtenue par brasure eutectique.



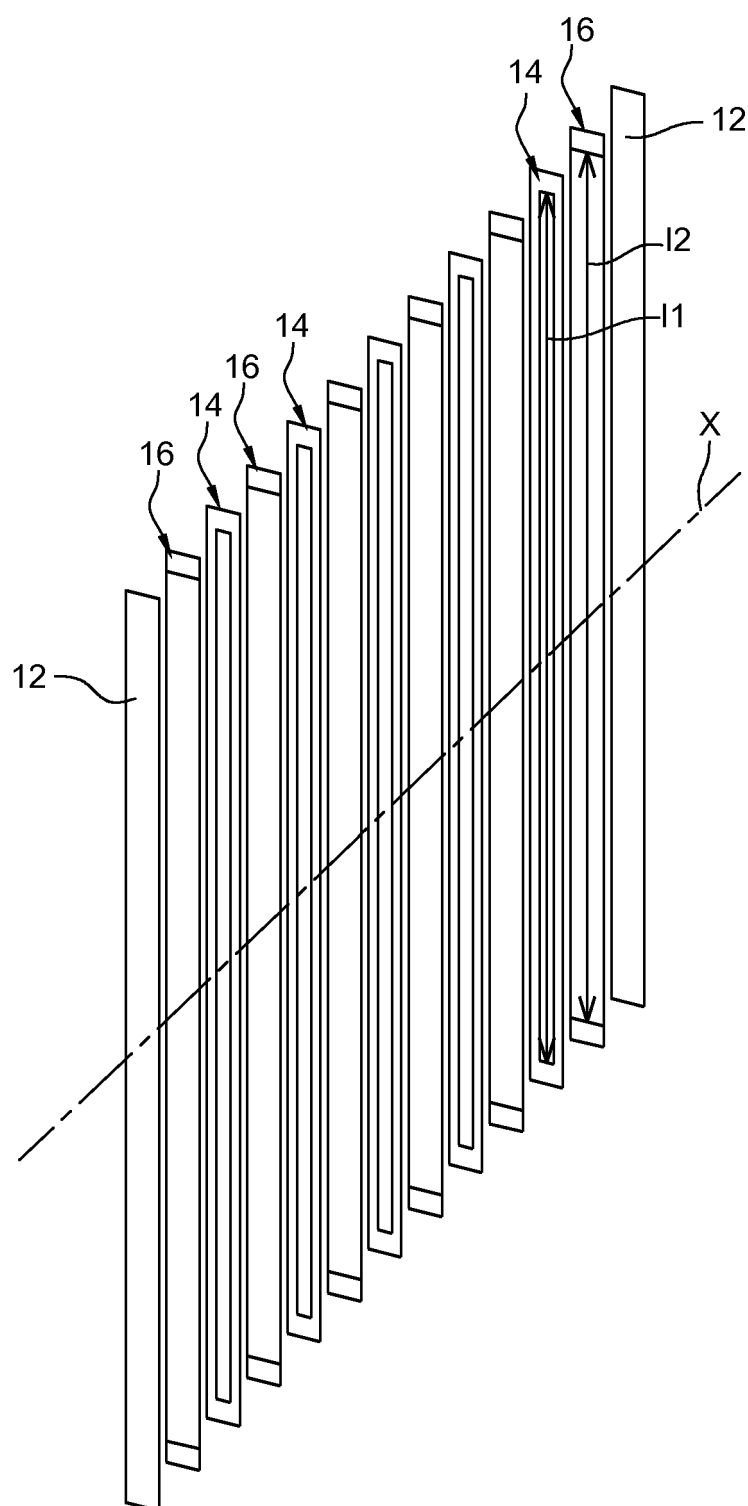
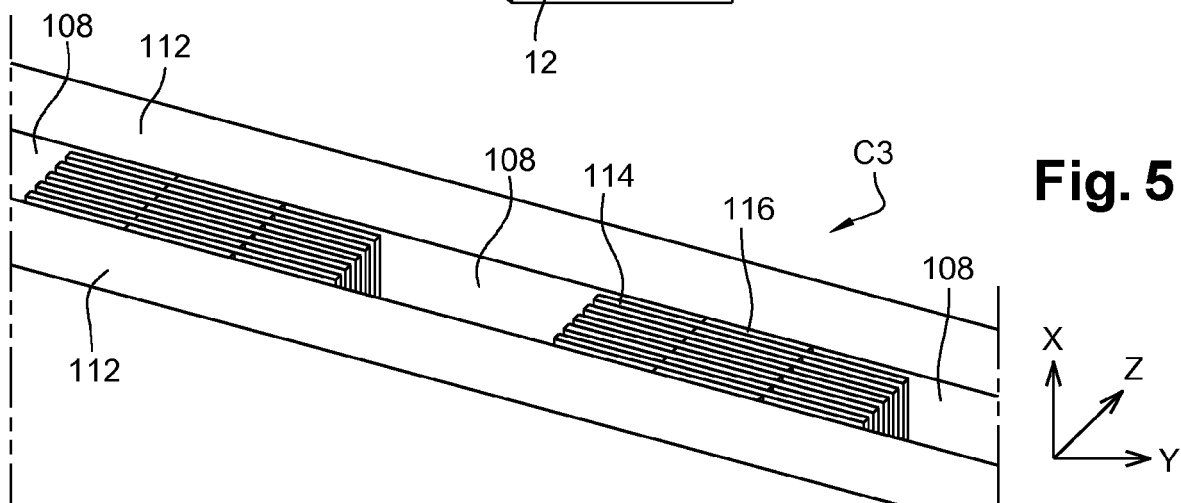
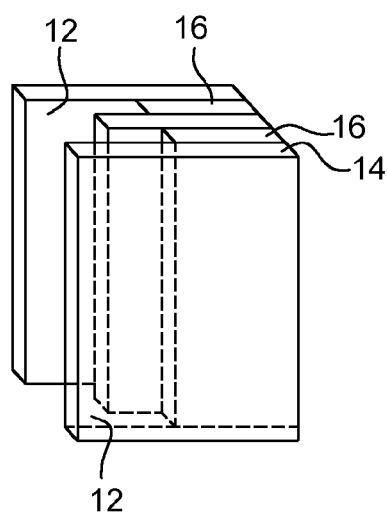
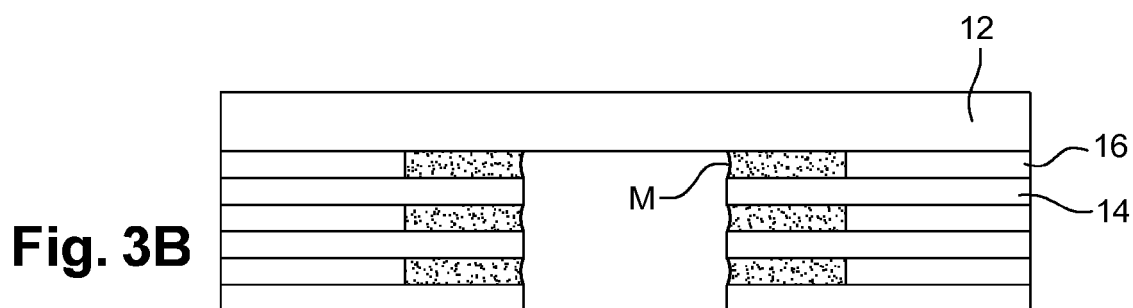
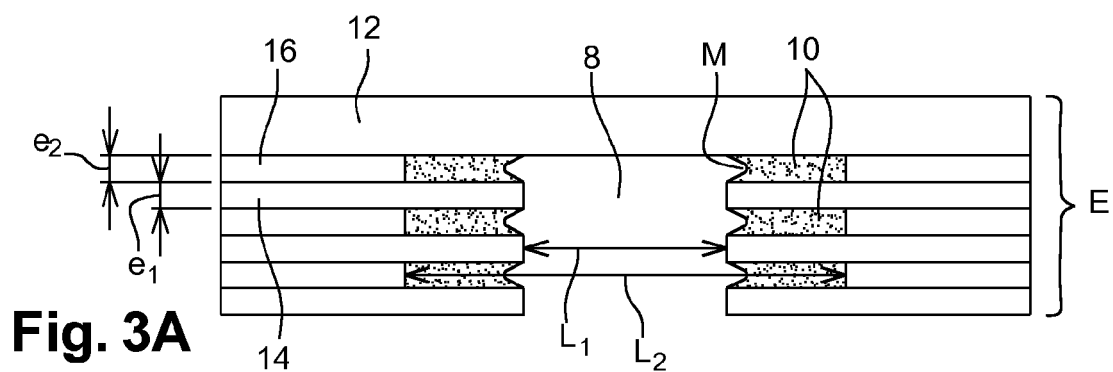


Fig. 2



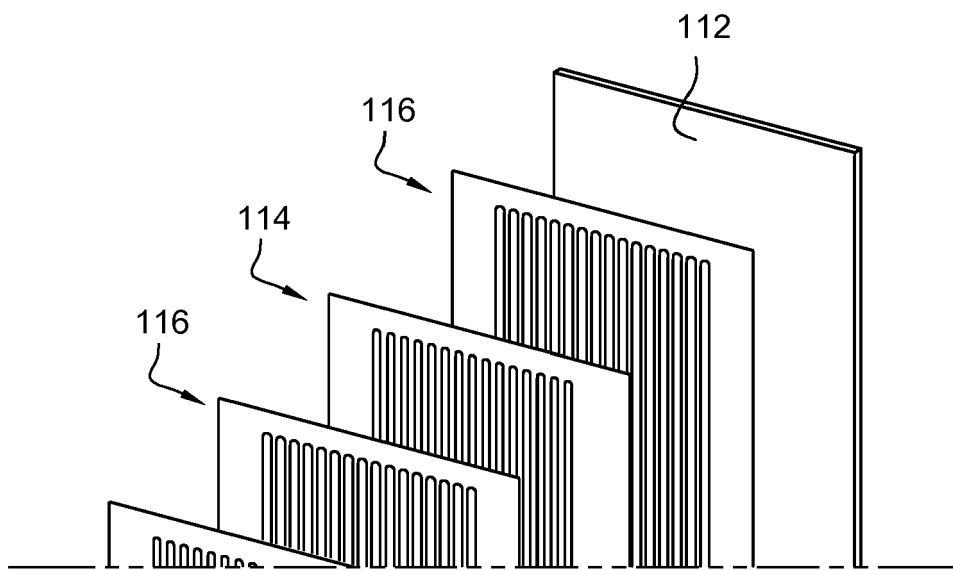


Fig. 6

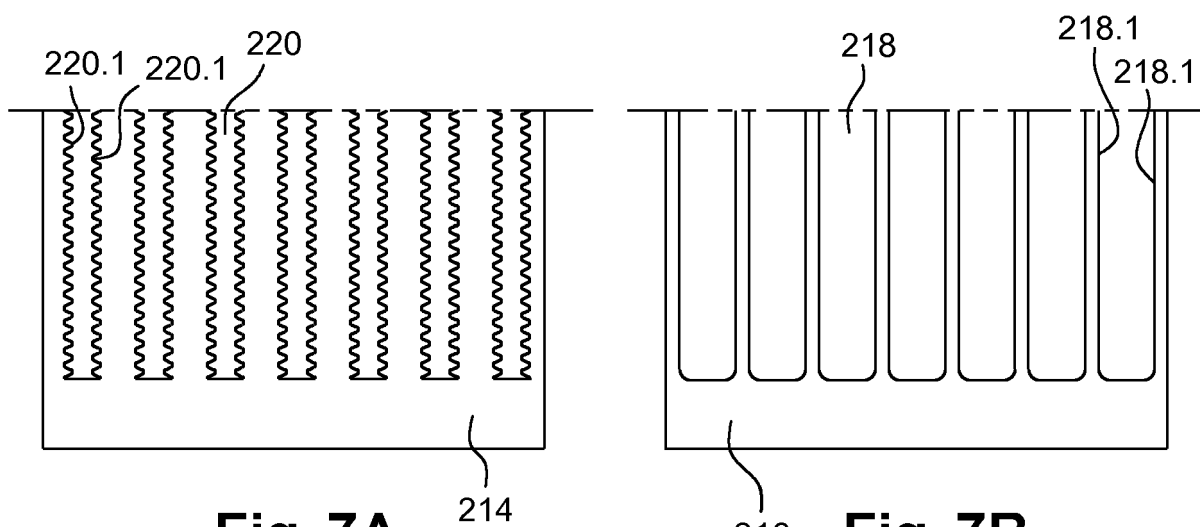


Fig. 7A

Fig. 7B

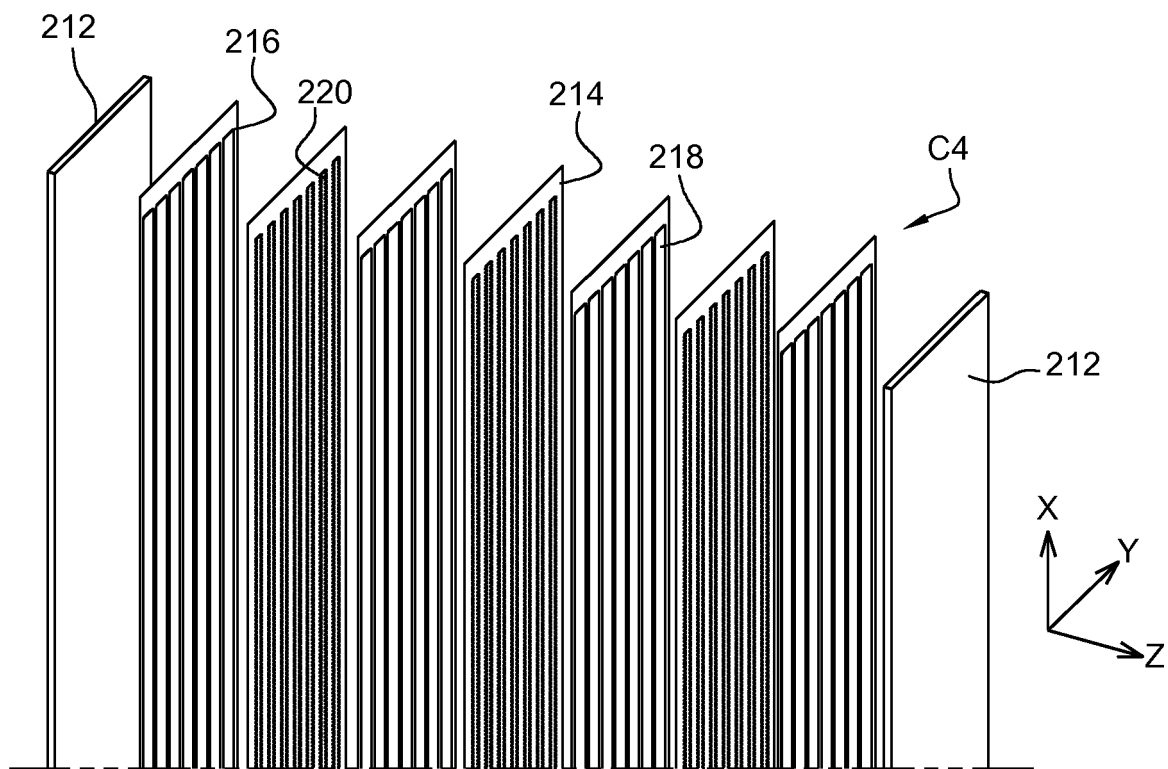


Fig. 8

Fig. 9

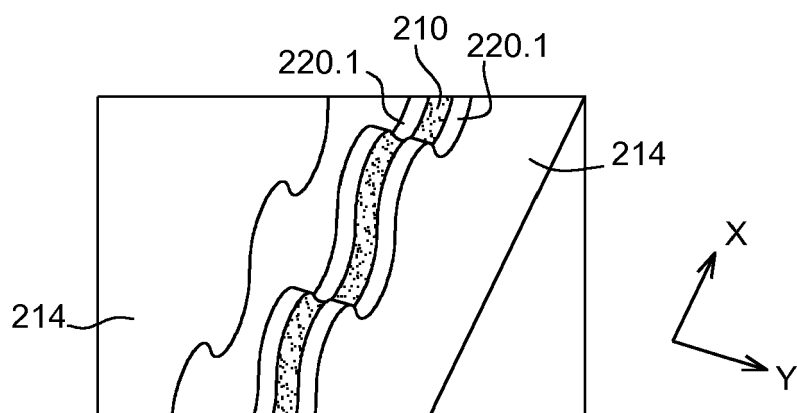


Fig. 10

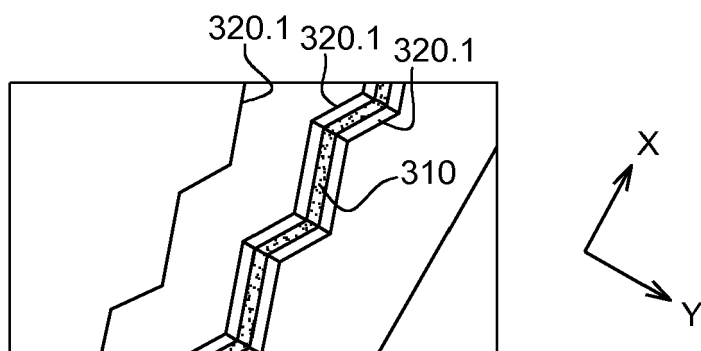


Fig. 11

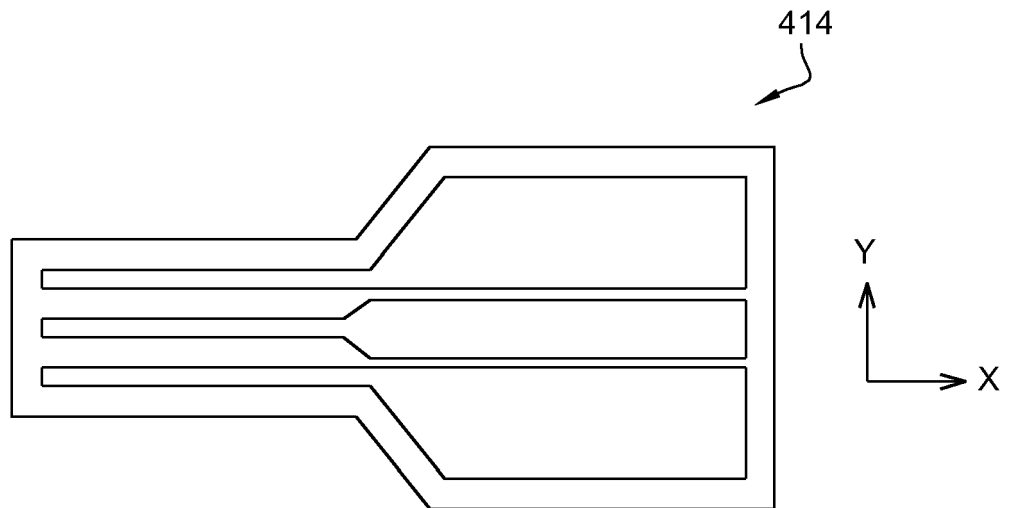
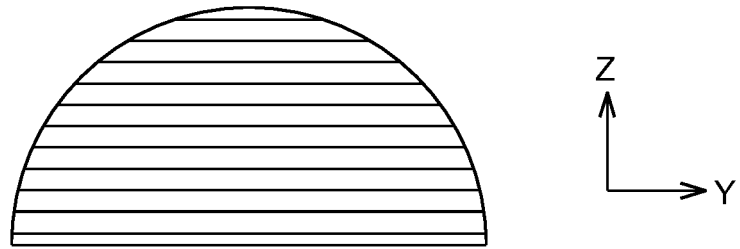


Fig. 12

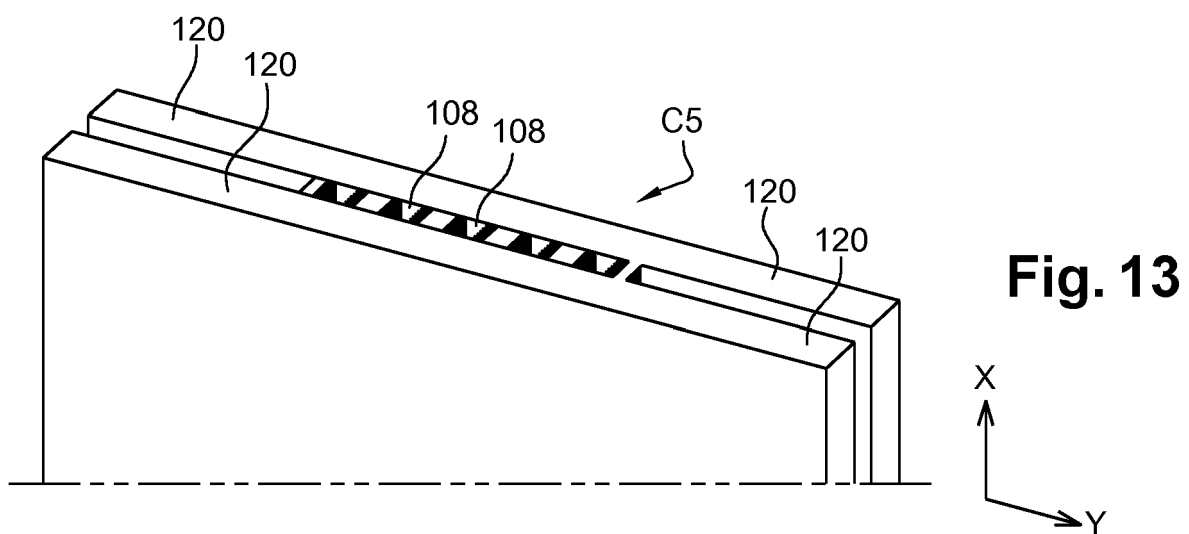
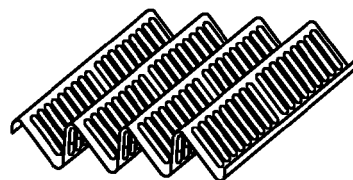
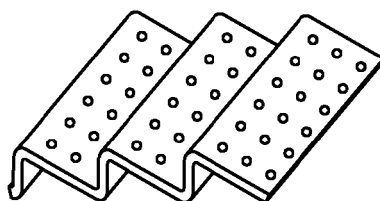
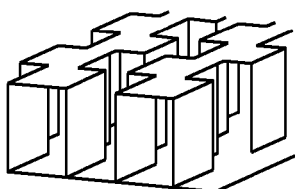
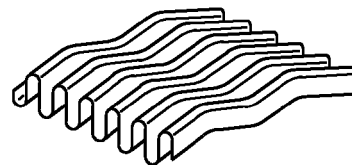
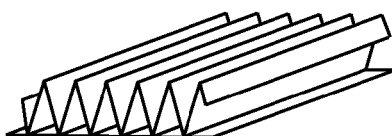
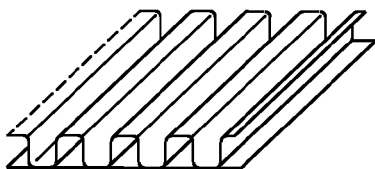
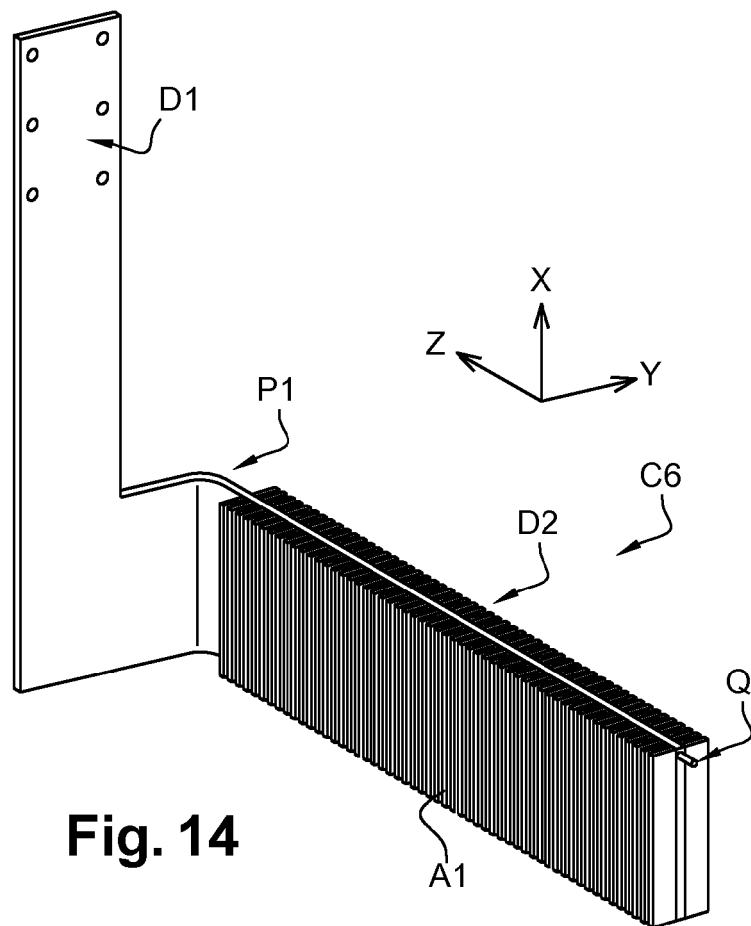


Fig. 13



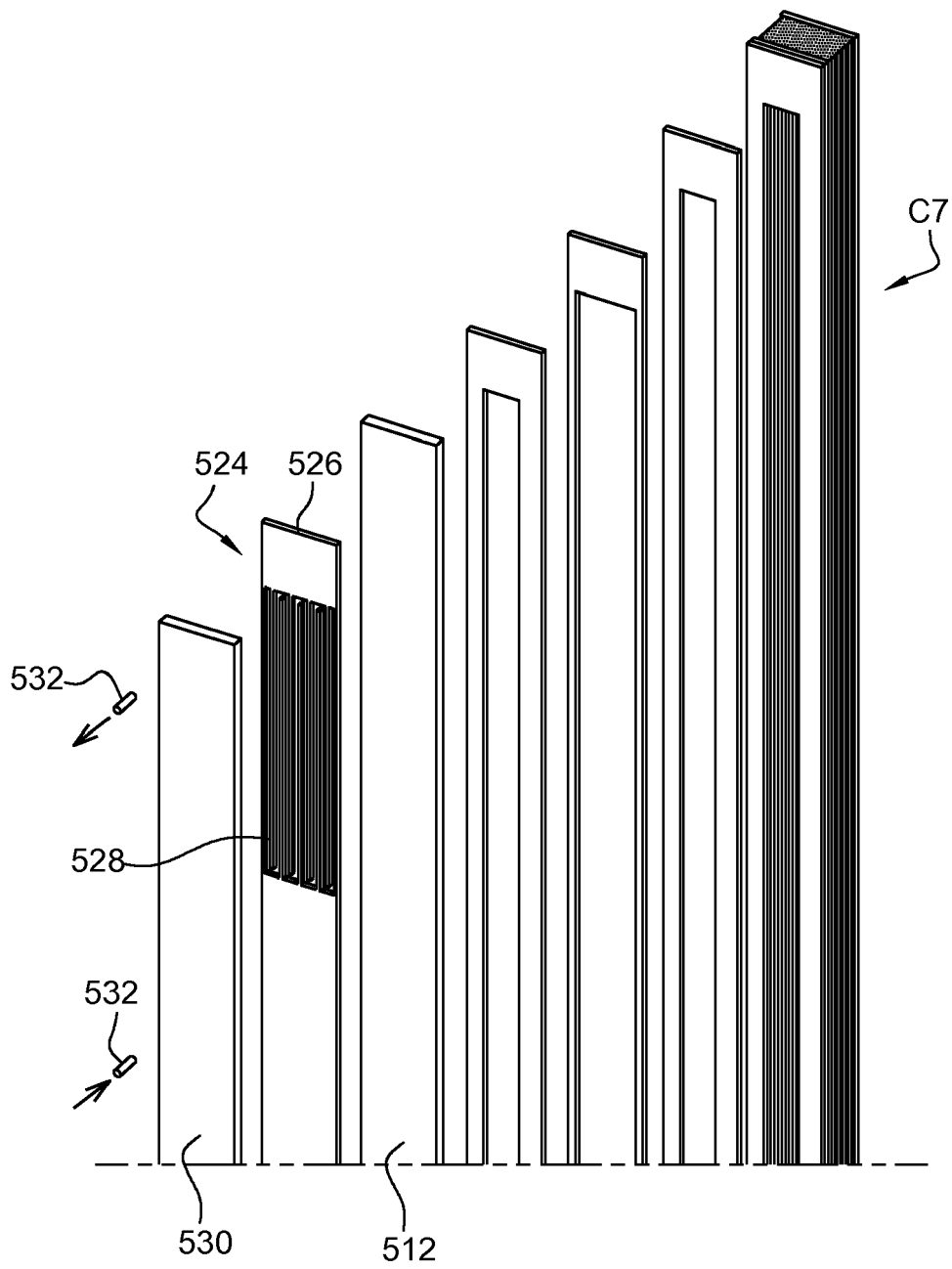


Fig. 16

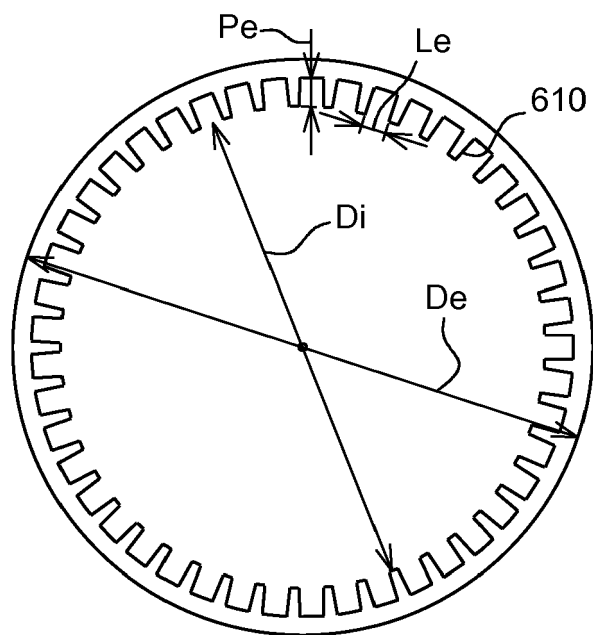


Fig. 17A

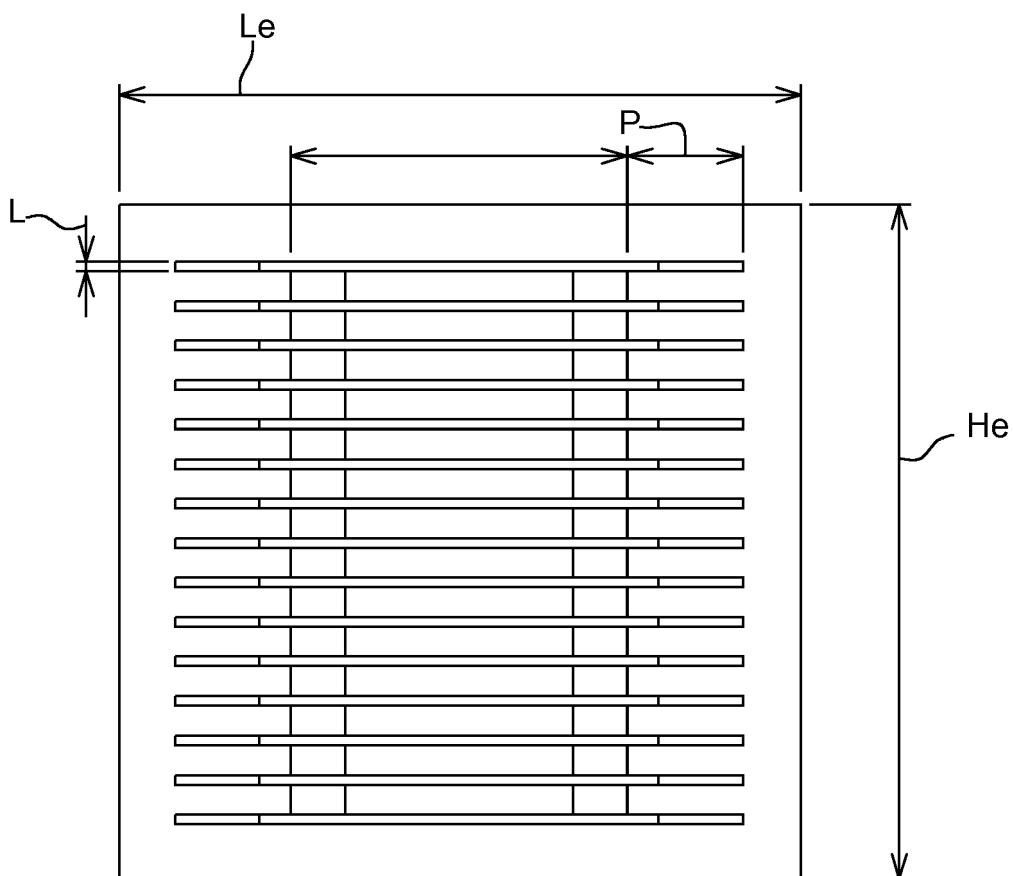


Fig. 17B

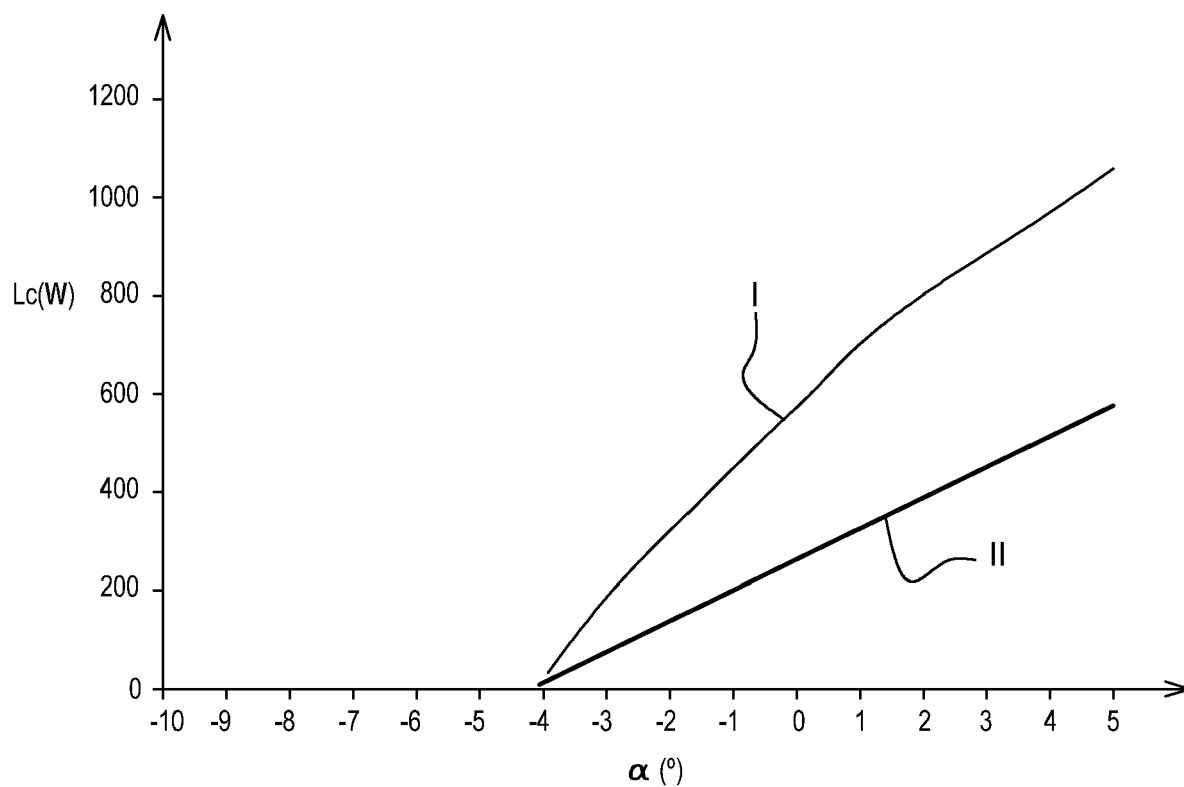


Fig. 18

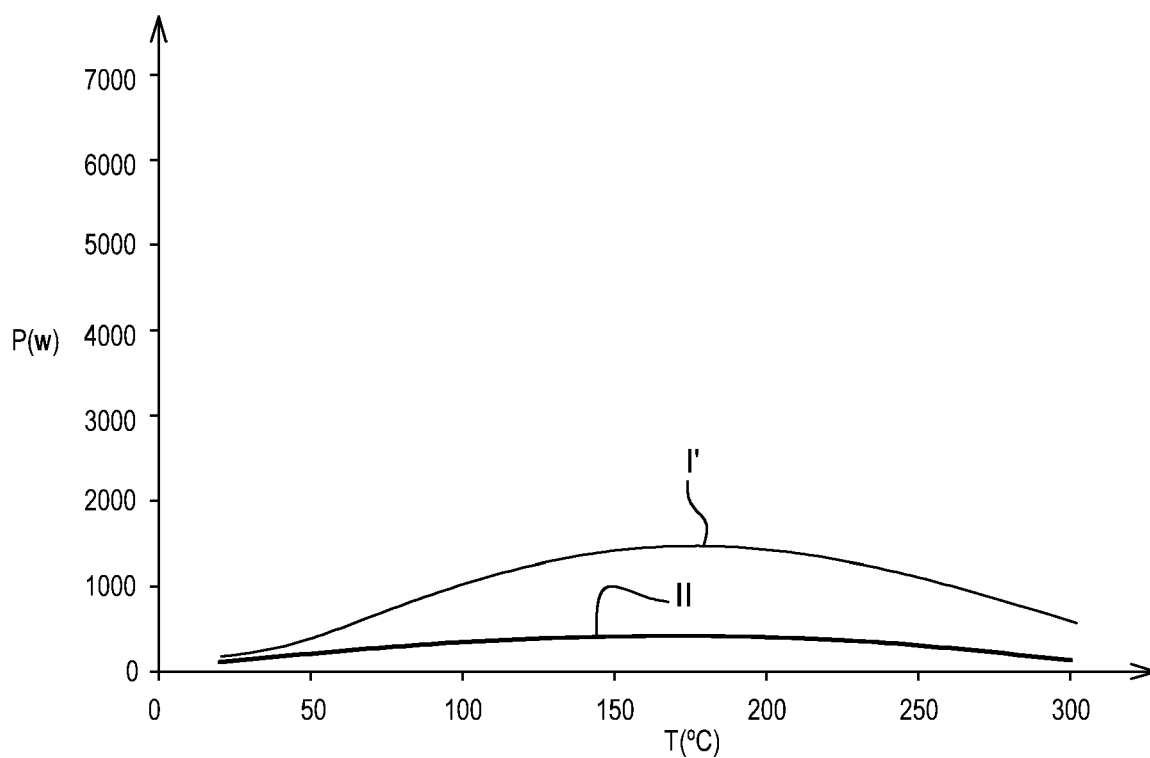


Fig. 19

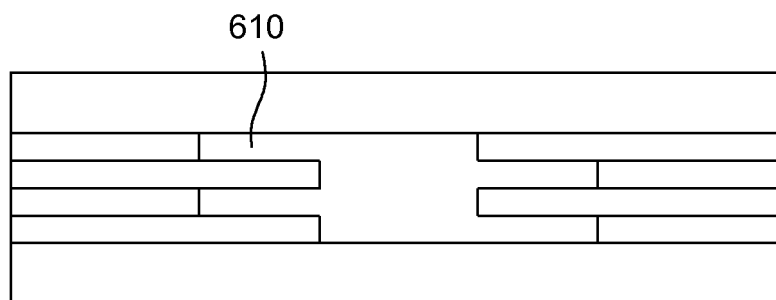


Fig. 20



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 19 16 8582

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	US 2005/022978 A1 (DUVAL JEAN [FR]) 3 février 2005 (2005-02-03) * alinéa [0072]; figure 1 * -----	1-12	INV. F28D15/02 F28D15/04
A	US 7 051 793 B1 (SCHULZ-HARDER JURGEN [DE]) 30 mai 2006 (2006-05-30) * figures 3-8 * -----	1-12	
A	WO 2011/019847 A1 (MOLEX INC [US]; OHSAWA KENJI [JP]; TSURUTA KATSUYA [JP]) 17 février 2011 (2011-02-17) * le document en entier * -----	1-12	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			F28D
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 6 août 2019	Examineur Bain, David
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 19 16 8582

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

06-08-2019

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2005022978 A1	03-02-2005	AUCUN	
US 7051793 B1	30-05-2006	AUCUN	
WO 2011019847 A1	17-02-2011	CN 202974000 U	05-06-2013
		JP 5455503 B2	26-03-2014
		JP 2011038700 A	24-02-2011
		US 2012211207 A1	23-08-2012
		WO 2011019847 A1	17-02-2011

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

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

Documents brevets cités dans la description

- US 7051793 B [0012]