



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 367 561 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
03.12.2003 Bulletin 2003/49

(51) Int Cl.7: **G10K 15/04, F28D 9/00**

(21) Numéro de dépôt: **03101535.7**

(22) Date de dépôt: **27.05.2003**

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IT LI LU MC NL PT RO SE SI SK TR**
Etats d'extension désignés:
AL LT LV MK

(30) Priorité: **27.05.2002 FR 0206421
01.04.2003 FR 0350084**

(71) Demandeur: **TECHNICATOME**
Société Technique pour l'Energie Atomique
91192 Gif-sur-Yvette Cedex (FR)

(72) Inventeur: **CHAIX, Jean-Edmond**
04860 Pierrevet (FR)

(74) Mandataire: **Poulin, Gérard**
Société BREVATOME
3, rue du Docteur Lancereaux
75008 Paris (FR)

(54) Générateur d'ondes thermo-acoustiques

(57) L'invention concerne un générateur d'ondes thermo-acoustiques comprenant un ensemble de plaques (4) montées parallèlement les unes aux autres dans une gaine remplie d'un fluide thermodynamique.

Deux échangeurs thermiques sont montés en parallèle d'une première extrémité de l'ensemble de plaques et deux échangeurs thermiques sont montés en parallèle de l'extrémité opposée à la première extrémité. Chaque échangeur thermique est constitué d'un empi-

lement alterné d'oreilles (6) et de cales (8), une oreille (6) étant formée par une extension de plaque percée d'au moins un trou (7) et chaque cale (8) comprenant au moins une ouverture en regard d'au moins un trou (7).

L'invention est mise en oeuvre dans les convertisseurs d'énergie tels que, par exemple, les convertisseurs magnéto hydrodynamiques thermo-acoustiques destinés à délivrer une puissance électrique élevée.

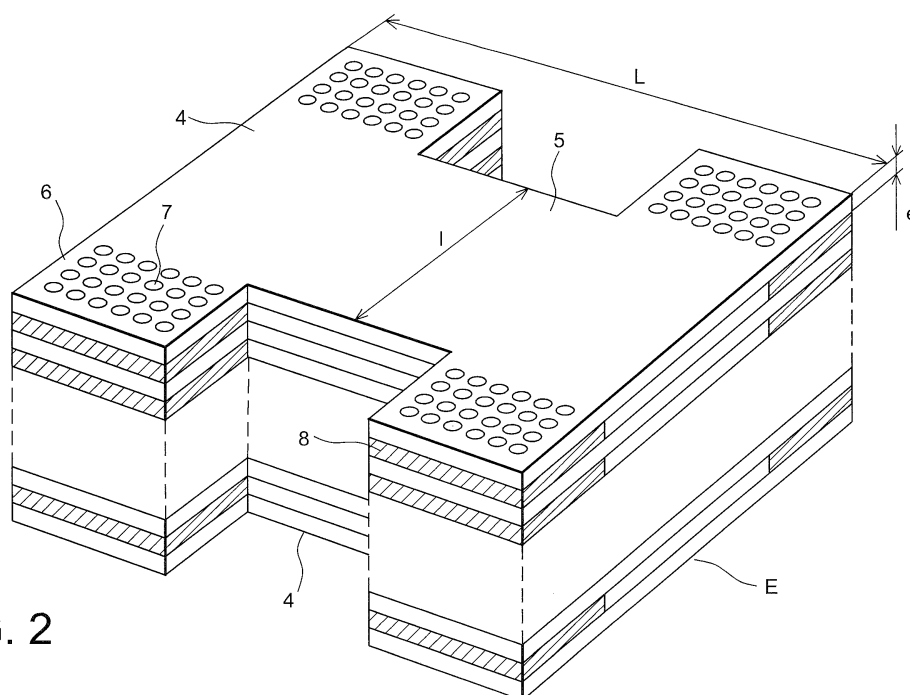


FIG. 2

EP 1 367 561 A1

Description

Domaine technique et art antérieur

[0001] L'invention concerne un générateur d'ondes thermo-acoustiques ainsi qu'un convertisseur d'énergie comprenant un générateur d'ondes thermo-acoustiques.

[0002] Un générateur d'ondes thermo-acoustiques produit de l'énergie acoustique à partir d'énergie thermique. L'invention trouve une application dans tout domaine où une conversion d'énergie thermique en énergie acoustique et/ou en énergie électrique peut être envisagée comme, par exemple, le domaine spatial ou le domaine de l'automobile.

[0003] Selon une application particulièrement avantageuse, l'invention concerne un convertisseur magnéto hydrodynamique thermo-acoustique qui produit de l'énergie électrique à partir d'énergie thermique préalablement convertie en énergie acoustique. Un convertisseur magnéto hydrodynamique thermo-acoustique selon l'invention produit ainsi une puissance électrique élevée, par exemple de l'ordre de 200kW à partir d'une puissance thermique comprise entre 800 et 1000kW.

[0004] Le générateur d'ondes thermo-acoustiques selon l'invention est du type à empilement de plaques. Un schéma de principe de générateur d'ondes thermo-acoustiques à empilement de plaques selon l'art antérieur est représenté en figure 1.

[0005] Le générateur comprend un empilement de plaques 1 maintenues à distance les unes des autres et placées dans une gaine 2. De l'air 3 emplit l'espace intérieur de la gaine 2 et, partant, l'espace entre les plaques. Un flux de chaleur est établi entre les extrémités E1 et E2 de l'empilement de plaques. A cette fin, l'extrémité E1 est portée à une température haute T1 et l'extrémité E2 à une température basse T2. Le gradient de température existant entre les extrémités E1 et E2 conduit alors à l'apparition de micro-cycles thermodynamiques dans l'air qui emplit les plaques. Une partie du flux de chaleur se transforme en ondes acoustiques. Des plans d'ondes acoustiques P apparaissent dans l'air situé du côté de l'extrémité qui est portée à la température basse.

[0006] Un problème qui se pose lors de la conception d'un générateur d'ondes thermo-acoustiques est celui de la circulation du flux de chaleur dans les plaques. Il est ainsi nécessaire de concevoir, d'une part, des moyens aptes à faire pénétrer le flux de chaleur dans celles-ci et, d'autre part, des moyens aptes à évacuer ce flux. Ce problème se pose de façon particulièrement sensible dans le cas où il est envisagé de produire des ondes acoustiques de fortes puissances.

Exposé de l'invention

[0007] Le générateur d'ondes thermo-acoustiques selon l'invention résout de façon simple et efficace le

problème mentionné ci-dessus et trouve une application particulièrement avantageuse pour la génération d'ondes acoustiques de puissance élevée.

[0008] En effet, l'invention concerne un générateur d'ondes thermo-acoustiques comprenant :

- un ensemble de plaques montées parallèlement les unes aux autres dans une gaine emplie d'un fluide thermodynamique, deux plaques successives de l'empilement étant éloignées l'une de l'autre de sorte que le fluide thermodynamique emplit l'espace entre les plaques, et
- des moyens aptes à établir un flux de chaleur entre une première extrémité de l'ensemble de plaques et une deuxième extrémité de l'ensemble de plaques située à l'opposé de la première extrémité.

Les moyens aptes à établir un flux de chaleur comprennent, d'une part, deux échangeurs thermiques montés en parallèle et situés de part et d'autre de la première extrémité et, d'autre part, deux échangeurs thermiques montés en parallèle et situés de part et d'autre de la deuxième extrémité, chaque échangeur thermique étant constitué d'un empilement alterné d'oreilles et de cales, une oreille étant formée par une extension de plaque percée d'au moins un trou, chaque cale comprenant au moins une ouverture de sorte que l'ouverture d'une cale soit placée en regard d'au moins un trou.

[0009] Selon une caractéristique supplémentaire de l'invention, une oreille comprend une pluralité de trous uniformément répartis sur la surface de l'oreille.

[0010] Selon encore une caractéristique supplémentaire de l'invention, l'ouverture globale présentée par le ou les trous d'une oreille est sensiblement égale à 60% de la surface totale de l'oreille.

[0011] Selon encore une caractéristique supplémentaire de l'invention, les oreilles et les cales d'un empilement formant échangeur sont brasées ou collées.

[0012] Selon encore une caractéristique supplémentaire de l'invention, le fluide thermodynamique est du sodium liquide ou une solution saline.

[0013] Selon encore une caractéristique supplémentaire de l'invention, le générateur comprend une capacité sous pression dans laquelle le liquide thermodynamique est maintenu sous pression.

[0014] Selon un premier mode de réalisation de l'invention, les trous des oreilles et les ouvertures des cales d'un même échangeur thermique constituent au moins un conduit pour la circulation d'un fluide caloporteur.

[0015] Selon une caractéristique supplémentaire du premier mode de réalisation de l'invention, les moyens aptes à établir un flux de chaleur comprennent des conduites pour alimenter en fluide caloporteur les échangeurs thermiques.

[0016] Selon encore une caractéristique supplémentaire du premier mode de réalisation de l'invention, les conduites comprennent des conduites pour alimenter en un premier fluide caloporteur les deux échangeurs

qui constituent un point chaud pour le flux de chaleur et des conduites pour alimenter en un deuxième fluide caloporteur les deux échangeurs qui constituent un point froid pour le flux de chaleur, les conduites pour l'alimentation du premier fluide caloporteur étant maintenues en position fixe par rapport aux deux échangeurs qui constituent le point chaud alors que les conduites pour l'alimentation du deuxième fluide caloporteur sont libres de se déplacer sous l'effet des dilatations thermiques qui apparaissent entre point chaud et point froid.

[0017] Selon encore une caractéristique supplémentaire du premier mode de réalisation de l'invention, les conduites pour l'alimentation du deuxième fluide caloporteur se croisent au niveau d'une bride de maintien afin de transformer des déplacements longitudinaux en déplacements de torsion.

[0018] Selon encore une caractéristique supplémentaire du premier mode de réalisation de l'invention, les premier et deuxième fluides caloporteurs sont du sodium liquide ou un eutectique NaK (Sodium/Potassium).

[0019] L'invention concerne également un convertisseur magnéto hydrodynamique thermo-acoustique, caractérisé en ce qu'il comprend un générateur d'ondes thermo-acoustiques selon l'invention pour former des ondes acoustiques à partir d'énergie thermique et un dispositif magnéto hydrodynamique pour délivrer de l'énergie électrique à partir des ondes acoustiques.

[0020] L'invention concerne également un réacteur spatial, caractérisé en ce qu'il comprend un convertisseur magnéto hydrodynamique thermo-acoustique selon l'invention.

[0021] L'invention concerne également un générateur électrique pour véhicule automobile, caractérisé en ce qu'il comprend un convertisseur magnéto hydrodynamique thermo-acoustique comprenant un générateur d'ondes thermo-acoustique selon l'invention pour former des ondes acoustiques à partir d'énergie thermique et un dispositif magnéto hydrodynamique pour délivrer de l'énergie électrique à partir des ondes acoustiques, en ce que le premier fluide caloporteur est un mélange d'air et d'hydrogène et en ce que le deuxième fluide caloporteur est constitué d'air ambiant.

[0022] Selon un deuxième mode de réalisation de l'invention, les trous des oreilles et les ouvertures des cales d'un même échangeur thermique forment un ensemble de cavités, des capsules contenant un radio-isotope étant placées à l'intérieur des cavités formées dans les échangeurs thermiques situés de part et d'autre de la première extrémité de l'ensemble de plaques.

[0023] Selon une caractéristique supplémentaire du deuxième mode de réalisation de l'invention, des caloducs reliés à au moins un radiateur sont placés à l'intérieur des cavités formées dans les échangeurs thermiques situés de part et d'autre de la deuxième extrémité de l'ensemble de plaques.

[0024] Selon encore une caractéristique supplémentaire du deuxième mode de réalisation de l'invention, les cavités formées dans les échangeurs thermiques situés

de part et d'autre de la deuxième extrémité sont reliées à des conduites aptes à faire circuler un fluide caloporteur dans les cavités.

[0025] Selon encore une caractéristique supplémentaire du deuxième mode de réalisation de l'invention, le fluide caloporteur est du sodium liquide, ou un eutectique NaK (sodium/potassium), ou un gaz, ou du césium liquide, ou du mercure.

[0026] Selon encore une caractéristique supplémentaire du deuxième mode de réalisation de l'invention, le radio-isotope est de l'hydrure de tritium en poudre ou du Pu 235.

[0027] L'invention concerne également un convertisseur d'énergie comprenant un générateur d'ondes thermo-acoustiques et des moyens de conversion d'énergie acoustique en énergie électrique, caractérisé en ce que le générateur d'ondes thermo-acoustiques est un générateur selon l'invention et les moyens de conversion d'énergie acoustique en énergie électrique comprennent au moins un capteur piézo-électrique.

[0028] L'invention concerne également un réacteur spatial, caractérisé en ce qu'il comprend un convertisseur d'énergie selon l'invention.

[0029] L'invention concerne encore un générateur électrique pour véhicule automobile, caractérisé en ce qu'il comprend un convertisseur d'énergie selon l'invention

Brève description des figures

[0030] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture d'un mode de réalisation préférentiel de l'invention fait en référence aux figures jointes, parmi lesquelles :

- la figure 1 représente un schéma de principe de générateur d'ondes acoustiques à empilement de plaques selon l'art antérieur ;
- la figure 2 représente un empilement de plaques pour générateur d'ondes acoustiques selon un premier mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 3 représente une vue partielle éclatée de l'empilement représenté en figure 2 ;
- la figure 4 représente une structure à empilement de plaques pour générateur d'ondes acoustiques selon le premier mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 5 représente une vue en coupe d'un élément partiel de la structure représentée en figure 4 ;
- la figure 6 représente une vue en coupe d'un convertisseur magnéto hydrodynamique thermo-acoustique selon le premier mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 7 représente une vue en perspective d'un convertisseur magnéto hydrodynamique thermo-acoustique selon le premier mode de réalisation de l'invention équipé d'une capacité sous pression ;
- la figure 8 représente un empilement de plaques pour générateur d'ondes acoustiques selon un

- deuxième mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 9 représente une vue partielle éclatée de l'empilement représenté en figure 8 ;
- la figure 10 représente une structure pour convertisseur d'énergie selon le deuxième mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 11 représente une variante de la structure représentée en figure 10 ;
- la figure 12 représente une vue en coupe d'un convertisseur d'énergie selon le deuxième mode de réalisation de l'invention.

[0031] Sur toutes les figures, les mêmes repères désignent les mêmes éléments.

Description détaillée de modes de mise en oeuvre de l'invention

[0032] La figure 2 représente un empilement E de plaques pour générateur d'ondes acoustiques selon le premier mode de réalisation de l'invention et la figure 3 représente une vue partielle éclatée de l'empilement E représenté en figure 2.

[0033] Chaque plaque 4 comprend un corps central rectangulaire 5 et quatre extensions ou oreilles 6 munies de trous 7. Les oreilles 6 sont placées aux extrémités de la plaque, de part et d'autre du corps central 5. Chaque plaque 4 de l'empilement est séparée de la plaque suivante par quatre cales 8. Chaque cale 8 est munie d'une ouverture 9. Les cales 8 sont intercalées entre les plaques au niveau des oreilles 6. Un empilement formé par une succession d'oreilles 6 et de cales 8 constitue un échangeur thermique apte à la circulation d'un fluide caloporteur.

[0034] L'empilement de plaques peut comprendre plusieurs centaines de plaques, par exemple 400, d'épaisseur e sensiblement comprise entre 0,2 et 0,3mm. Les cales 8 ont, préférentiellement, sensiblement la même épaisseur que les plaques 4. A titre d'exemple non limitatif, le corps central rectangulaire 5 d'une plaque a une longueur L de 500mm et une largeur 1 de 200mm. Les oreilles 6 ont, préférentiellement, une forme carrée de 150mm de côté. Les trous débouchants 7 formés dans chaque oreille 6 sont préférentiellement uniformément répartis sur la surface de l'oreille. L'ouverture globale présentée par les trous 7 est, par exemple, de l'ordre de 60% de la surface totale de l'oreille. Le diamètre d'un trou peut être, par exemple, égal à 10mm.

[0035] De façon générale, le dimensionnement des plaques est fonction de la puissance générée et de la nature et de la pression du fluide thermodynamique. De même, le diamètre des trous des oreilles est une fonction de la nature et du débit du fluide caloporteur.

[0036] Les plaques 4 et les cales 8 sont réalisées dans un matériau thermiquement conducteur tel que, par exemple, l'Inconel ou l'Incoloy (alliage fer nickel ou nickel chrome). Les cales 8 sont brasées ou collées aux plaques 4. Préférentiellement, l'ensemble des plaques

et des cales est brasé en une fois, selon la technique de réalisation des échangeurs de plaques. Le flux de chaleur qui parcourt une plaque de l'empilement est représenté par des flèches F sur la figure 3. Le dispositif selon l'invention assure avantageusement une très bonne conduction thermique.

[0037] Selon le mode de réalisation préférentiel de l'invention, une plaque est en forme de I et les oreilles et les cales sont de section carrée ou rectangulaire. D'autres formes d'oreilles et de cales sont également possibles telles que, par exemple, des oreilles et cales en demi-cercle ou en demi-hexagone, etc.

[0038] La figure 4 représente une structure à empilement de plaques pour générateur d'ondes acoustiques selon le premier mode de réalisation de l'invention

[0039] Un système de conduites 10, 11, 12, 13 assure la circulation des fluides caloporteurs. Les deux échangeurs thermiques qui sont situés de part et d'autre d'une même extrémité de l'ensemble de plaques sont montés en parallèle. Les conduites 10 et 11 permettent, respectivement, l'introduction et l'évacuation d'un premier fluide caloporteur C1 dans les deux échangeurs qui sont de part et d'autre de la première extrémité (source chaude) alors que les conduites 12 et 13 permettent, respectivement, l'introduction et l'évacuation d'un deuxième fluide caloporteur C2 dans les deux échangeurs qui sont de part et d'autre de la deuxième extrémité (source froide).

[0040] Comme cela a été mentionné précédemment, un fluide thermodynamique est présent dans l'espace qui sépare les plaques. En fonctionnement, des micro-cycles thermodynamiques apparaissent dans le fluide thermodynamique et le générateur d'ondes acoustiques vibre à haute fréquence. Il est important de tenir compte des différences de températures et des vibrations du générateur d'ondes acoustiques pour établir la configuration des conduites 10, 11, 12, 13 et, partant, les contraintes mécaniques appliquées à ces conduites. Préférentiellement, la partie « chaude » de la structure de plaques, c'est-à-dire la partie de la structure de plaques portée à la température la plus élevée, est maintenue fixe et la partie « froide », c'est-à-dire la partie de la structure de plaques portée à la température la plus basse, peut se déplacer librement en fonction des dilatations. Pour permettre ces dilatations et éviter un cisaillement des plaques, les conduites de fluide caloporteur 12 et 13 qui alimentent la partie « froide » se croisent au niveau d'une bride de maintien (non représentée sur la figure) de façon à transformer les déplacements longitudinaux en déplacements de torsion.

[0041] La figure 5 représente une vue en coupe d'un élément partiel de la structure représentée en figure 4. Plus précisément, la figure 5 représente la jonction entre une conduite d'arrivée de fluide caloporteur et l'empilement de plaques. Le collecteur présente un évasement 14 pour assurer un écoulement optimal des fluides caloporteurs C1, C2.

[0042] La figure 6 représente une vue en coupe d'un

schéma de principe de convertisseur magnéto hydrodynamique thermo-acoustique selon le premier mode de réalisation de l'invention. Le convertisseur comprend un générateur d'ondes acoustiques selon l'invention 15 et un dispositif magnéto hydrodynamique 16. Le générateur d'ondes acoustiques 15 comprend une structure telle que représentée en figure 2 (empilement de plaques et conduites) montée dans une gaine 18 remplie de fluide thermodynamique 17. Les conduites 10 et 11 permettent, respectivement, l'introduction et l'évacuation du fluide caloporteur C1, alors que les conduites 12 et 13 permettent, respectivement, l'introduction et l'évacuation du fluide caloporteur C2. Le fluide thermodynamique 17 est mis en pression, par exemple à une valeur sensiblement égale à 70 bars. Le fluide thermodynamique peut être du métal liquide tel que, par exemple, du sodium liquide ou encore une solution saline telle que, par exemple, une solution de NaK (sodium/potassium). Un premier fluide caloporteur C1, par exemple du sodium liquide ou un eutectique NaK (sodium/potassium), porté à température haute, par exemple 750°C, est utilisé pour chauffer la première extrémité de l'empilement de plaques (source chaude). De même, un deuxième fluide caloporteur C2, par exemple également du sodium ou un eutectique NaK (sodium/potassium), porté à température basse, par exemple 450°C, est utilisé pour évacuer la chaleur au niveau de la deuxième extrémité de l'empilement de plaques (source froide).

[0043] Les ondes acoustiques générées sont émises sous forme de plans d'ondes P en direction du dispositif magnéto hydrodynamique 16. Le dispositif magnéto hydrodynamique 16 peut alors délivrer, par exemple, une puissance électrique de 200kW à partir d'une puissance thermique comprise, par exemple, entre 800 et 1000kW. Avantagusement, le convertisseur magnéto hydrodynamique selon l'invention transforme une grande quantité d'énergie thermique en énergie électrique par l'intermédiaire de vibrations mécaniques de faible amplitude, c'est-à-dire sans pratiquement mouvoir de pièces mécaniques.

[0044] La figure 7 représente une vue en perspective d'un convertisseur magnéto hydrodynamique thermo-acoustique selon le premier mode de réalisation de l'invention, équipé d'une capacité sous pression.

[0045] La capacité sous pression 19 est une enveloppe en forme d'ampoule qui contient l'ensemble des éléments représentés en figure 6, à savoir, un dispositif magnéto hydrodynamique 16 et une gaine 18 contenant un empilement de plaques et de cales muni de conduites et un fluide thermodynamique 17. La capacité sous pression 19 a pour fonction de maintenir le liquide thermodynamique sous pression, par exemple une pression de 70 bars. Avantagusement, une structure telle que représentée en figure 7 présente un faible encombrement. La capacité sous pression 19 peut avoir une hauteur A typiquement comprise entre 0,5 et 1 m, une profondeur B typiquement comprise entre 0,1 et 0,5 m et une largeur C typiquement comprise entre 0,1 et 0,5 m.

De telles dimensions, associées aux performances électriques mentionnées ci-dessus, permettent des applications du convertisseur magnéto hydrodynamique selon l'invention particulièrement avantageuses dans le domaine spatial et dans le domaine de l'automobile.

[0046] Dans le domaine spatial, un convertisseur magnéto hydrodynamique selon l'invention peut être intégré à un réacteur spatial. La source chaude peut alors être un réacteur nucléaire à très haute température et la source froide un radiateur rayonnant vers le vide spatial. Les fluides caloporteurs peuvent être, par exemple, de l'Hélium, du NaK, du Césium, du Mercure.

[0047] Dans le domaine de l'automobile, la source chaude peut être réalisée à partir d'un mélange d'air et d'hydrogène porté à haute température et la source froide à partir de l'air ambiant. L'énergie électrique issue du convertisseur magnéto hydrodynamique selon l'invention est alors répartie sur quatre moteurs électriques élémentaires, chaque moteur électrique élémentaire actionnant une roue du véhicule automobile.

[0048] La figure 8 représente un empilement E de plaques pour générateur d'ondes acoustiques selon le deuxième mode de réalisation de l'invention et la figure 9 représente une vue partielle éclatée de l'empilement représenté en figure 8.

[0049] Chaque plaque 4 comprend un corps central rectangulaire 5 et quatre extensions ou oreilles 6 munies d'ouvertures 7. Les oreilles 6 sont placées aux extrémités de la plaque, de part et d'autre du corps central 5. Des cales 8 séparent deux plaques successives de l'empilement. Les cales 8 sont intercalées entre les plaques au niveau des oreilles 6. Comme cela apparaît sur la figure 9, chaque cale 8 est munie d'ouvertures 9 dont les dimensions sont sensiblement identiques aux dimensions des ouvertures des oreilles. Les ouvertures 7 des oreilles et les ouvertures 9 des cales se superposent de façon à créer un ensemble de cavités 20 (cf. figure 8).

[0050] De même que selon le premier mode de réalisation de l'invention, l'empilement de plaques peut comprendre plusieurs centaines de plaques, par exemple 400, d'épaisseur e sensiblement comprise entre 0,2 et 0,3mm. Les cales 8 ont, préférentiellement, sensiblement la même épaisseur que les plaques 4. A titre d'exemple non limitatif, le corps central rectangulaire 5 d'une plaque a une longueur L de 500mm et une largeur 1 de 200mm. Les oreilles 6 ont, préférentiellement, une forme carrée de 150mm de côté. Les ouvertures 7 formées dans chaque oreille 6 sont préférentiellement uniformément répartis sur la surface de l'oreille et représentent, par exemple, de l'ordre de 60% de la surface totale de l'oreille. De façon plus générale, le dimensionnement des plaques et la surface des ouvertures sont des fonctions de la puissance générée.

[0051] Les plaques 4 et les cales 8 sont réalisées dans un matériau thermiquement conducteur tel que, par exemple, l'Inconel ou l'Incoloy (alliage fer nickel ou nickel chrome). Les cales 8 sont brasées ou collées aux

plaques 4. Préférentiellement, l'ensemble des plaques et des cales est brasé en une fois, selon la technique de réalisation connue des échangeurs de plaques. Le flux de chaleur qui parcourt une plaque de l'empilement est représenté par des flèches F sur la figure 3. Le dispositif selon l'invention assure avantageusement une très bonne conduction thermique.

[0052] Selon le mode de réalisation préférentiel de l'invention, une plaque est en forme de I et les oreilles et les cales sont de section carrée ou rectangulaire. D'autres formes d'oreilles et de cales sont également possibles telles que, par exemple, des oreilles et cales en demi-cercle ou en demi-hexagone, etc. Par ailleurs, sur l'exemple des figures 8 et 9, chaque cale et chaque oreille comprend six ouvertures. L'invention concerne cependant de nombreux autres types de configurations. Ainsi chaque cale et chaque oreille peuvent-elles ne posséder, par exemple, qu'une seule ouverture.

[0053] La figure 10 représente une structure pour convertisseur d'énergie selon le deuxième mode de réalisation de l'invention.

[0054] Le convertisseur comprend un empilement E de plaques et de cales tel que décrit ci-dessus, des éléments 21 qui constituent une source chaude, des éléments 22, 23 qui constituent une source froide et des capteurs piézo-électriques 24, 25.

[0055] Les éléments 21 qui constituent la source chaude sont des capsules contenant un radio-isotope producteur d'énergie thermique tel que, par exemple, l'hydrure de tritium en poudre ou encore le Pu 235. L'hydrure de tritium en poudre présente l'avantage d'être léger et d'assurer une excellente sécurité d'utilisation. Les capsules 21 sont placées à l'intérieur des cavités 20 qui sont situées à une première extrémité de l'empilement. Un contact thermique intime est assuré entre chaque capsule et l'intérieur de la cavité qui reçoit la capsule.

[0056] Les éléments qui participent à la source froide sont constitués de caloducs 22 reliés à un radiateur 23. Les caloducs 22 sont placés à l'intérieur des cavités 20 qui sont situées à l'extrémité opposée de la première extrémité de l'empilement. Un contact thermique intime est assuré entre chaque caloduc et l'intérieur de la cavité qui reçoit le caloduc.

[0057] Comme cela a déjà été mentionné précédemment, un fluide thermodynamique (non représenté sur la figure 10) est présent dans l'espace qui sépare les plaques. En fonctionnement, des micro-cycles thermodynamiques apparaissent dans le fluide thermodynamique et le générateur d'ondes acoustiques vibre à haute fréquence. Des ondes planes sont alors générées de part et d'autre de l'empilement E. Les capteurs piézo-électriques 24 et 25, positionnés parallèlement au plan des ondes acoustiques, convertissent l'énergie mécanique des ondes acoustiques en énergie électrique.

[0058] La figure 11 représente une variante de la structure représentée en figure 10. Selon la variante représentée en figure 11, les deux échangeurs thermiques situés du côté de la source froide sont parcourus

par un fluide caloporteur C3. Les cavités 20 de l'empilement E situées du côté de la source froide constituent alors des conduits permettant la circulation du fluide caloporteur, comme cela est réalisé selon le premier mode de réalisation de l'invention. Des conduites 26, 27 assurent l'acheminement du fluide caloporteur au niveau des échangeurs. Le fluide caloporteur C3 peut être, par exemple, du sodium liquide, un eutectique NaK (sodium/potassium), un gaz, du césium liquide ou du mercure.

[0059] La figure 12 représente une vue en coupe d'un convertisseur d'énergie selon le deuxième mode de réalisation de l'invention.

[0060] Le convertisseur d'énergie comprend un empilement E de plaques et deux capteurs piézo-électriques 24, 25 montés dans une gaine 29 remplie de fluide thermodynamique 28. Le radiateur 23 de la source froide est placé à l'extérieur de la gaine 29 et au contact de celle-ci.

[0061] Un avantage du convertisseur d'énergie selon le deuxième mode de réalisation de l'invention est la présence de la source chaude (les capsules 21) et de la source froide (les caloducs 22 et le radiateur 23) dans la structure même du convertisseur. Aucune connexion mécanique encombrante n'existe alors entre les échangeurs thermiques et les sources chaude et froide. En conséquence, l'intégration du convertisseur d'énergie dans une structure d'accueil telle que, par exemple, un satellite ou un véhicule automobile s'en trouve très avantageusement facilitée. Les seules connexions vers l'extérieur sont les fils de câblage 30, 31 qui permettent d'extraire la puissance électrique du convertisseur. Par ailleurs, le liquide thermodynamique est maintenu sous pression. A cette fin, le générateur d'ondes thermo-acoustiques selon l'invention comprend une capsule sous pression (non représentée sur la figure 12) dans laquelle le liquide thermodynamique est maintenu.

[0062] Les ondes acoustiques générées sont émises sous forme de plans d'ondes en direction des capteurs piézo-électriques 24, 25. Le convertisseur d'énergie peut alors délivrer, par exemple, une puissance électrique de 200kW à partir d'une puissance thermique comprise, par exemple, entre 800 et 1000kW. De même que le premier mode de réalisation de l'invention, le convertisseur d'énergie selon le deuxième mode de réalisation de l'invention transforme une grande quantité d'énergie thermique en énergie électrique par l'intermédiaire de vibrations mécaniques de faible amplitude, c'est-à-dire sans pratiquement mouvoir de pièces mécaniques.

Revendications

1. Générateur d'ondes thermo-acoustiques comprenant :
 - un ensemble de plaques (4) montées parallèlement les unes aux autres dans une gaine (18)

emplit d'un fluide thermodynamique (17), deux plaques successives de l'empilement étant éloignées l'une de l'autre de sorte que le fluide thermodynamique emplit l'espace entre les plaques, et

- des moyens (6, 7) aptes à établir un flux de chaleur entre une première extrémité de l'ensemble de plaques et une deuxième extrémité de l'ensemble de plaques située à l'opposé de la première extrémité,

caractérisé en ce que les moyens (6, 7) aptes à établir un flux de chaleur comprennent, d'une part, deux échangeurs thermiques montés en parallèle et situés de part et d'autre de la première extrémité et, d'autre part, deux échangeurs thermiques montés en parallèle et situés de part et d'autre de la deuxième extrémité, chaque échangeur thermique étant constitué d'un empilement alterné d'oreilles (6) et de cales (8), une oreille (6) étant formée par une extension de plaque percée d'au moins un trou (7), chaque cale (8) comprenant au moins une ouverture (9) de sorte que l'ouverture (9) d'une cale soit placée en regard d'au moins un trou (7).

2. Générateur d'ondes thermo-acoustiques selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'une** oreille (6) comprend une pluralité de trous (7) uniformément répartis sur la surface de l'oreille.
3. Générateur d'ondes thermo-acoustiques selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce que** l'ouverture globale présentée par le ou les trous d'une oreille (6) est sensiblement égale à 60% de la surface totale de l'oreille.
4. Générateur d'ondes thermo-acoustiques selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** les oreilles (6) et les cales (4) d'un empilement formant échangeur sont brasées ou collées.
5. Générateur d'ondes thermo-acoustiques selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** le fluide thermodynamique est du sodium liquide ou une solution saline.
6. Générateur d'ondes thermo-acoustiques selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** comprend une capacité sous pression dans laquelle le liquide thermodynamique est maintenu sous pression.
7. Générateur d'ondes thermo-acoustiques selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les trous (7) des oreilles et les ouvertures (9) des cales (8) d'un même échangeur thermique constituent au moins un conduit

pour la circulation d'un fluide caloporteur.

8. Générateur d'ondes thermo-acoustiques selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les moyens aptes à établir un flux de chaleur comprennent des conduites (10, 11, 12, 13) pour alimenter en fluide caloporteur les échangeurs thermiques.
9. Générateur d'ondes thermo-acoustiques selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** les conduites (10, 11, 12, 13) comprennent des conduites (10, 11) pour alimenter en un premier fluide caloporteur (C1) les deux échangeurs qui constituent un point chaud pour le flux de chaleur et des conduites (12, 13) pour alimenter en un deuxième fluide caloporteur (C2) les deux échangeurs qui constituent un point froid pour le flux de chaleur, les conduites (10, 11) pour l'alimentation du premier fluide caloporteur (C1) étant maintenues en position fixe par rapport aux deux échangeurs qui constituent le point chaud alors que les conduites (12, 13) pour l'alimentation du deuxième fluide caloporteur (C2) sont libres de se déplacer sous l'effet des dilatations thermiques qui apparaissent entre point chaud et point froid.
10. Générateur d'ondes thermo-acoustiques selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** les conduites (12, 13) pour l'alimentation du deuxième fluide caloporteur (C2) se croisent au niveau d'une bride de maintien afin de transformer des déplacements longitudinaux en déplacements de torsion.
11. Générateur d'ondes thermo-acoustiques selon l'une quelconque des revendications 9 ou 10, **caractérisé en ce que** les premier et deuxième fluides caloporteurs sont du sodium liquide ou un eutectique NaK (Sodium/Potassium).
12. Convertisseur magnéto hydrodynamique thermo-acoustique, **caractérisé en ce qu'il** comprend un générateur d'ondes thermo-acoustique selon l'une quelconque des revendications 1 à 11 pour former des ondes acoustiques (P) à partir d'énergie thermique et un dispositif magnéto hydrodynamique (16) pour délivrer de l'énergie électrique à partir des ondes acoustiques (P).
13. Réacteur spatial, **caractérisé en ce qu'il** comprend un convertisseur magnéto hydrodynamique thermo-acoustique selon la revendication 12.
14. Générateur électrique pour véhicule automobile, **caractérisé en ce qu'il** comprend un convertisseur magnéto hydrodynamique thermo-acoustique comprenant un générateur d'ondes thermo-acoustique selon l'une quelconque des revendications 7 à 10 pour former des ondes acoustiques à partir d'éner-

gie thermique et un dispositif magnéto hydrodynamique pour délivrer de l'énergie électrique à partir des ondes acoustiques, **en ce que** le premier fluide caloporteur (C1) est un mélange d'air et d'hydrogène et **en ce que** le deuxième fluide caloporteur (C2) est constitué d'air ambiant.

15. Générateur d'ondes thermo-acoustiques selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** les trous (7) des oreilles (6) et les ouvertures (9) des cales (8) d'un même échangeur thermique forment un ensemble de cavités (20), des capsules (21) contenant un radio-isotope étant placées à l'intérieur des cavités (20) formées dans les échangeurs thermiques situés de part et d'autre de la première extrémité de l'ensemble de plaques. 5 10 15
16. Générateur d'ondes thermo-acoustiques selon la revendication 15, **caractérisé en ce que** des caloducs (22) reliés à au moins un radiateur (23) sont placés à l'intérieur des cavités (20) formées dans les échangeurs thermiques situés de part et d'autre de la deuxième extrémité de l'ensemble de plaques. 20
17. Générateur d'ondes thermo-acoustiques selon la revendication 15, **caractérisé en ce que** les cavités (20) formées dans les échangeurs thermiques situés de part et d'autre de la deuxième extrémité sont reliées à des conduites (26, 27) aptes à faire circuler un fluide caloporteur (C3) dans les cavités (20). 25 30
18. Générateur d'ondes thermo-acoustiques selon la revendication 17, **caractérisé en ce que** le fluide caloporteur (C3) est du sodium liquide, ou un eutectique NaK (sodium/potassium), ou un gaz, ou du césium liquide, ou du mercure. 35
19. Générateur d'ondes thermo-acoustiques selon l'une quelconque des revendications 15 à 18, **caractérisé en ce que** le radio-isotope est de l'hydru- 40 re de tritium en poudre ou du Pu 235.
20. Convertisseur d'énergie comprenant un générateur d'ondes thermo-acoustiques et des moyens de conversion d'énergie acoustique en énergie électrique, **caractérisé en ce que** le générateur d'ondes thermo-acoustiques est un générateur selon l'une quel- 45 conque des revendications 15 à 19 et les moyens de conversion d'énergie acoustique en énergie électrique comprennent au moins un capteur piézo-électrique (24, 25). 50
21. Réacteur spatial, **caractérisé en ce qu'il** comprend un convertisseur d'énergie selon la revendication 20. 55
22. Générateur électrique pour véhicule automobile,

caractérisé en ce qu'il comprend un convertisseur d'énergie selon la revendication 20.

23. Générateur d'ondes thermo-acoustiques selon l'une quelconque des revendications 1 à 11 ou 15 à 19, **caractérisé en ce que** les plaques (4) et les cales (8) sont réalisées en Inconel ou en Incoloy.

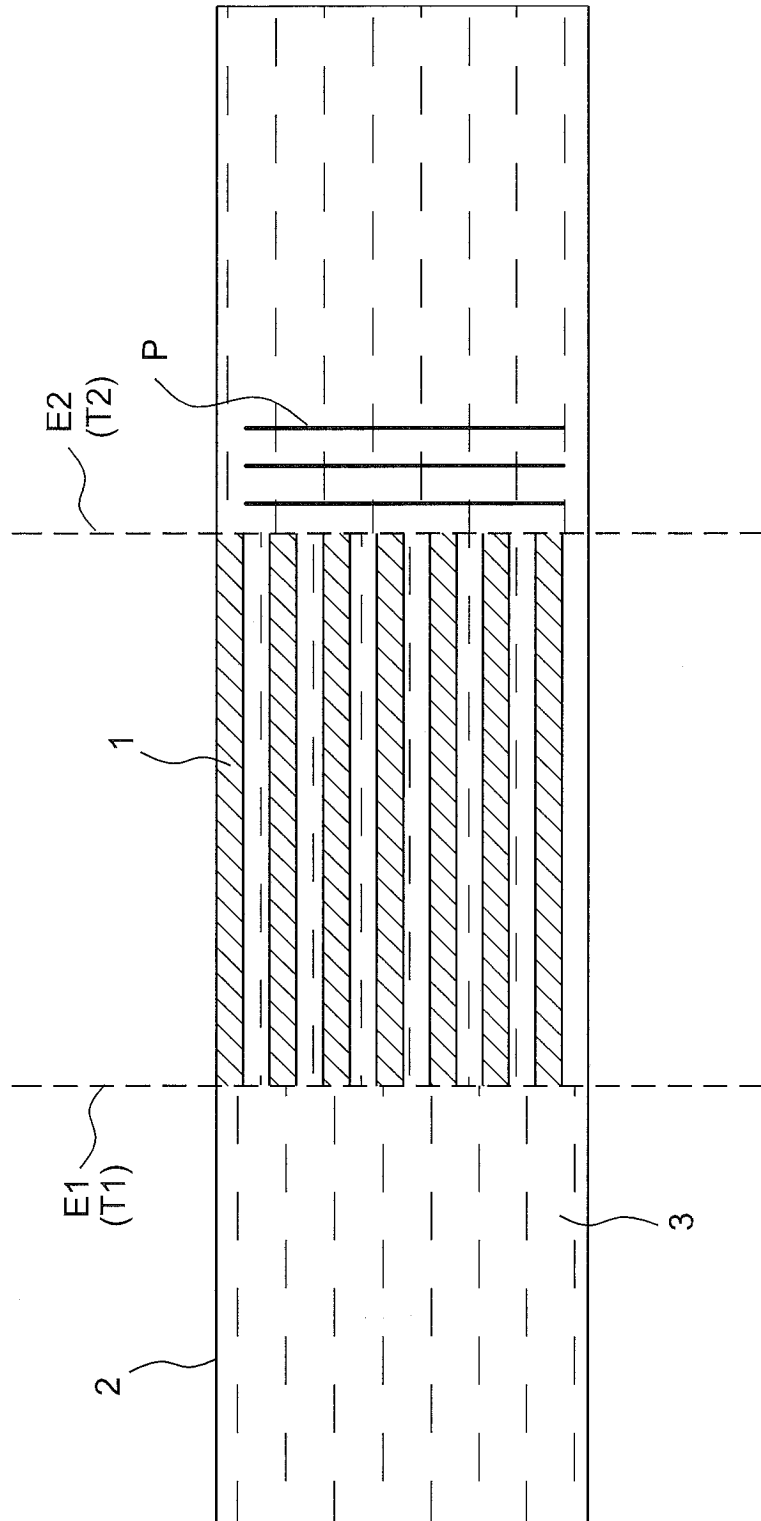


FIG. 1

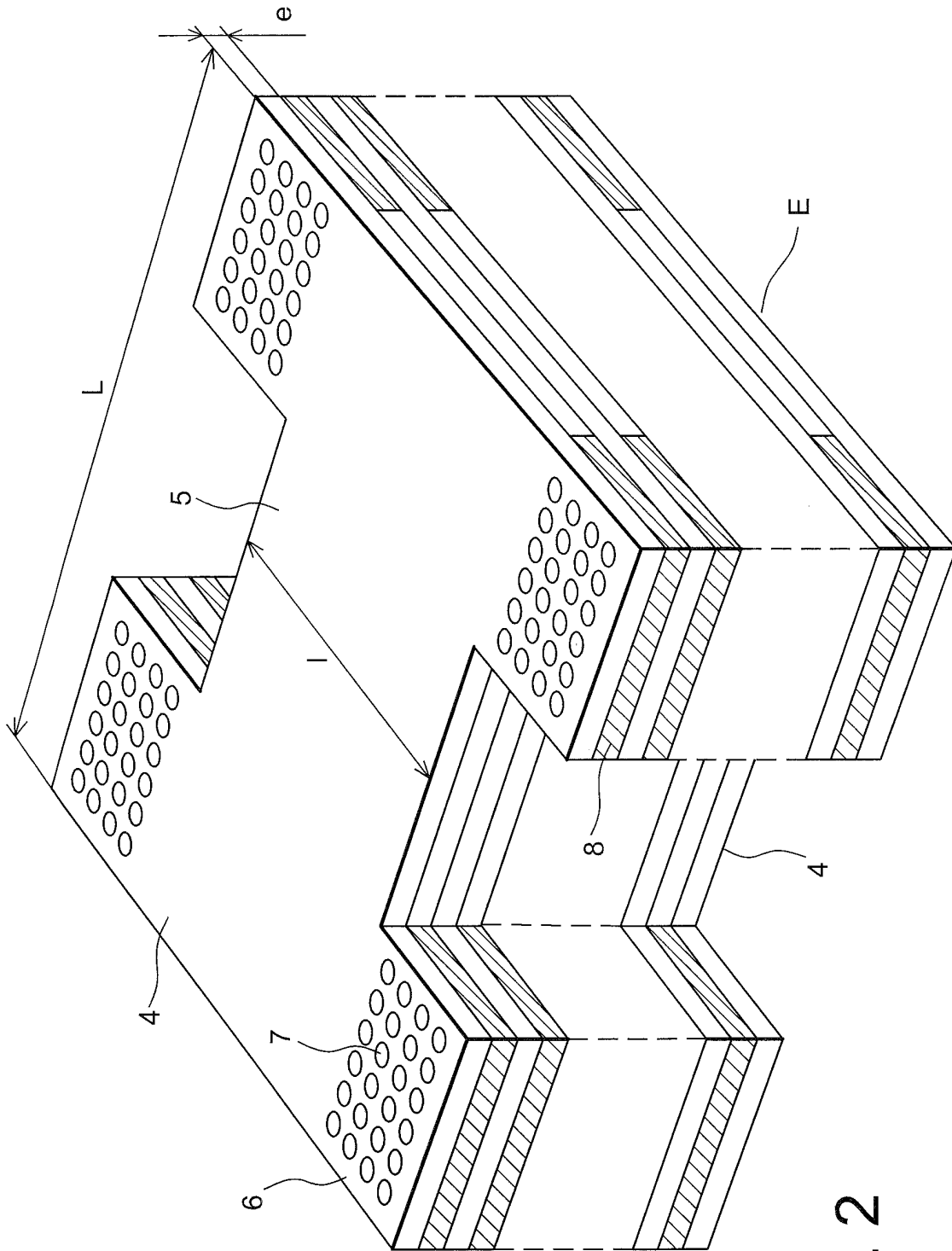


FIG. 2

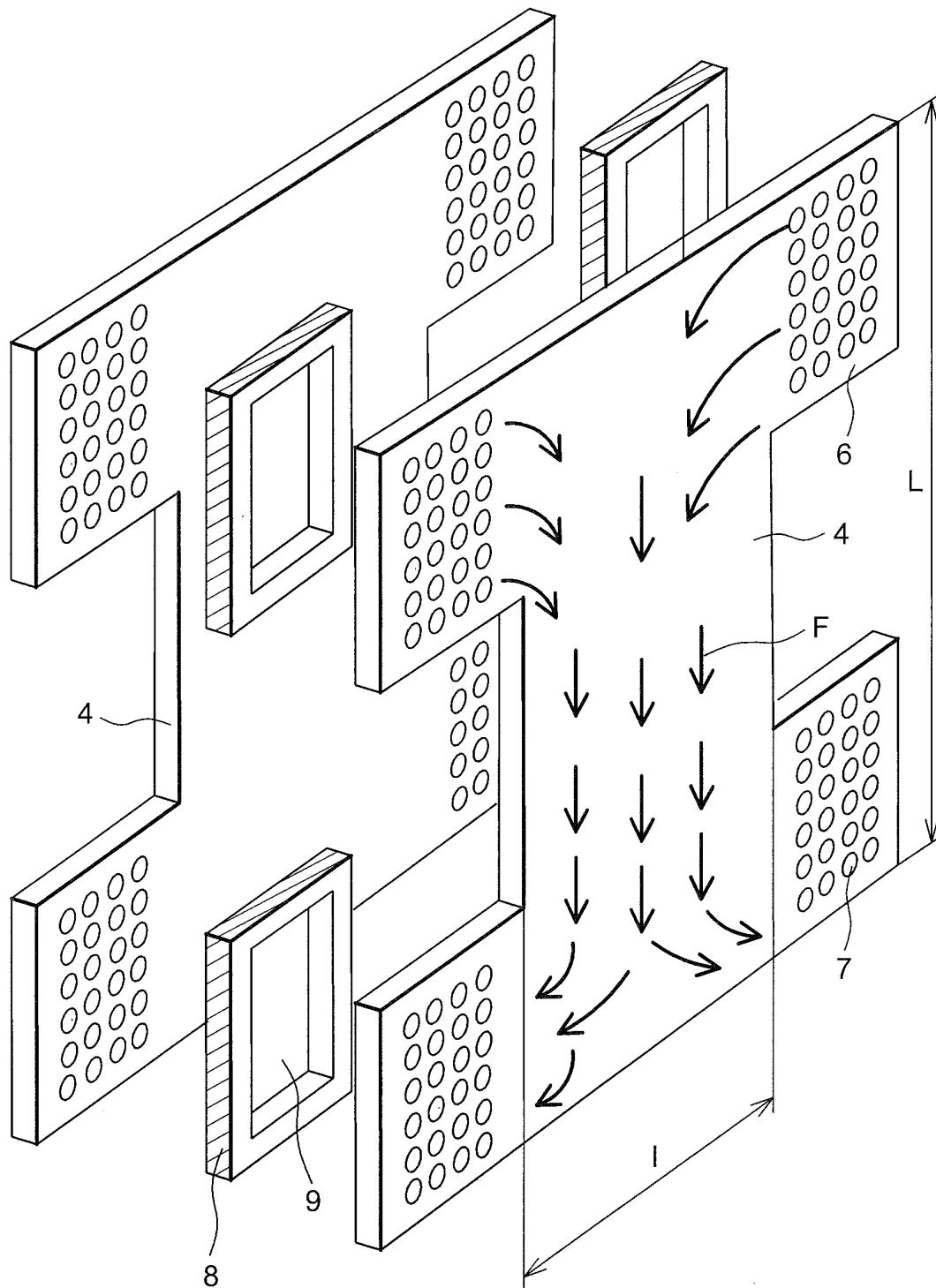


FIG. 3

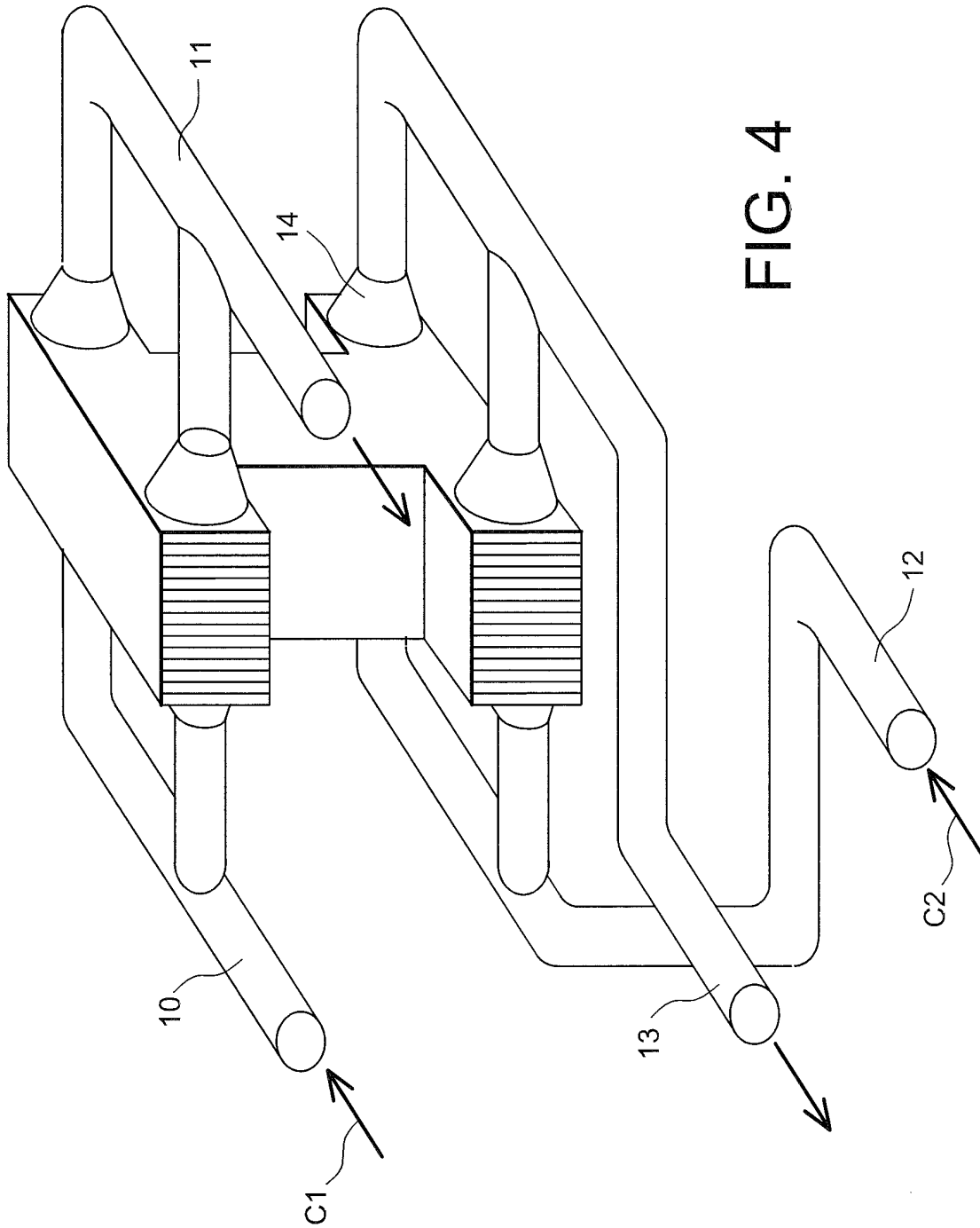


FIG. 4

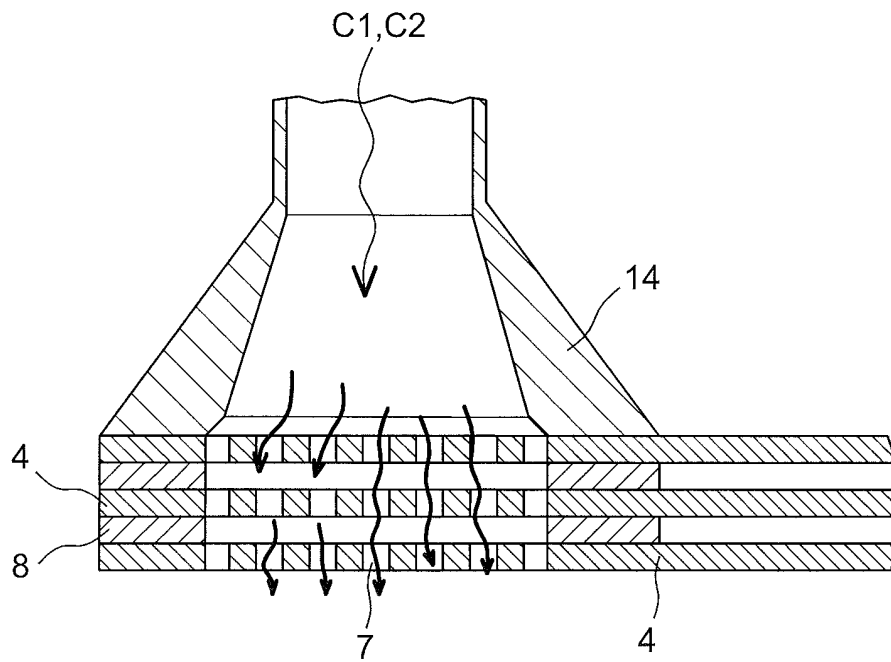


FIG. 5

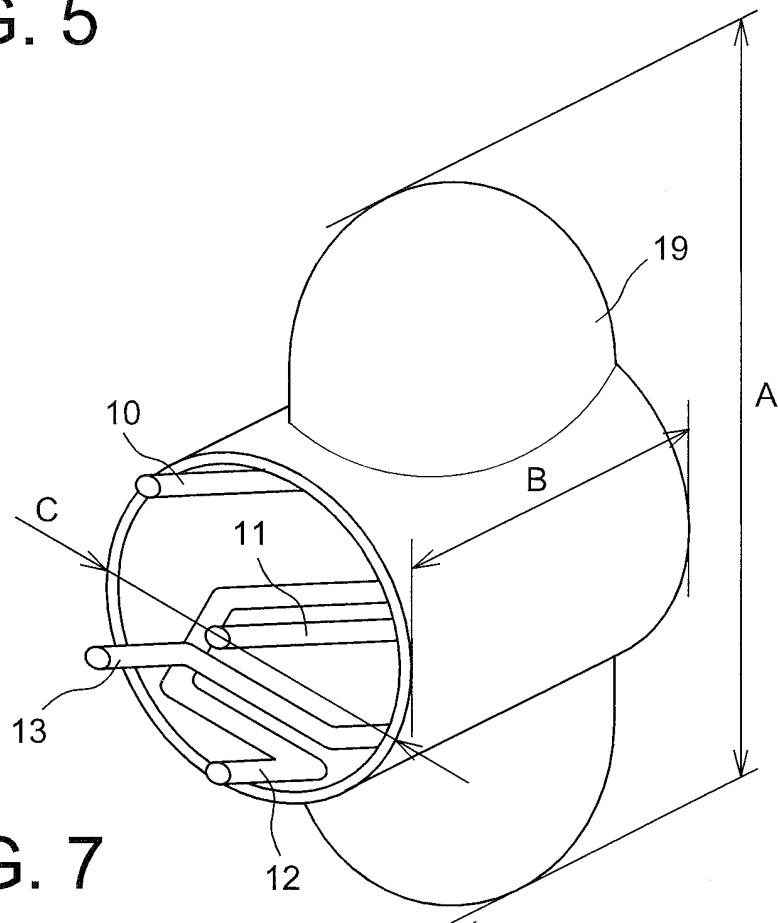


FIG. 7

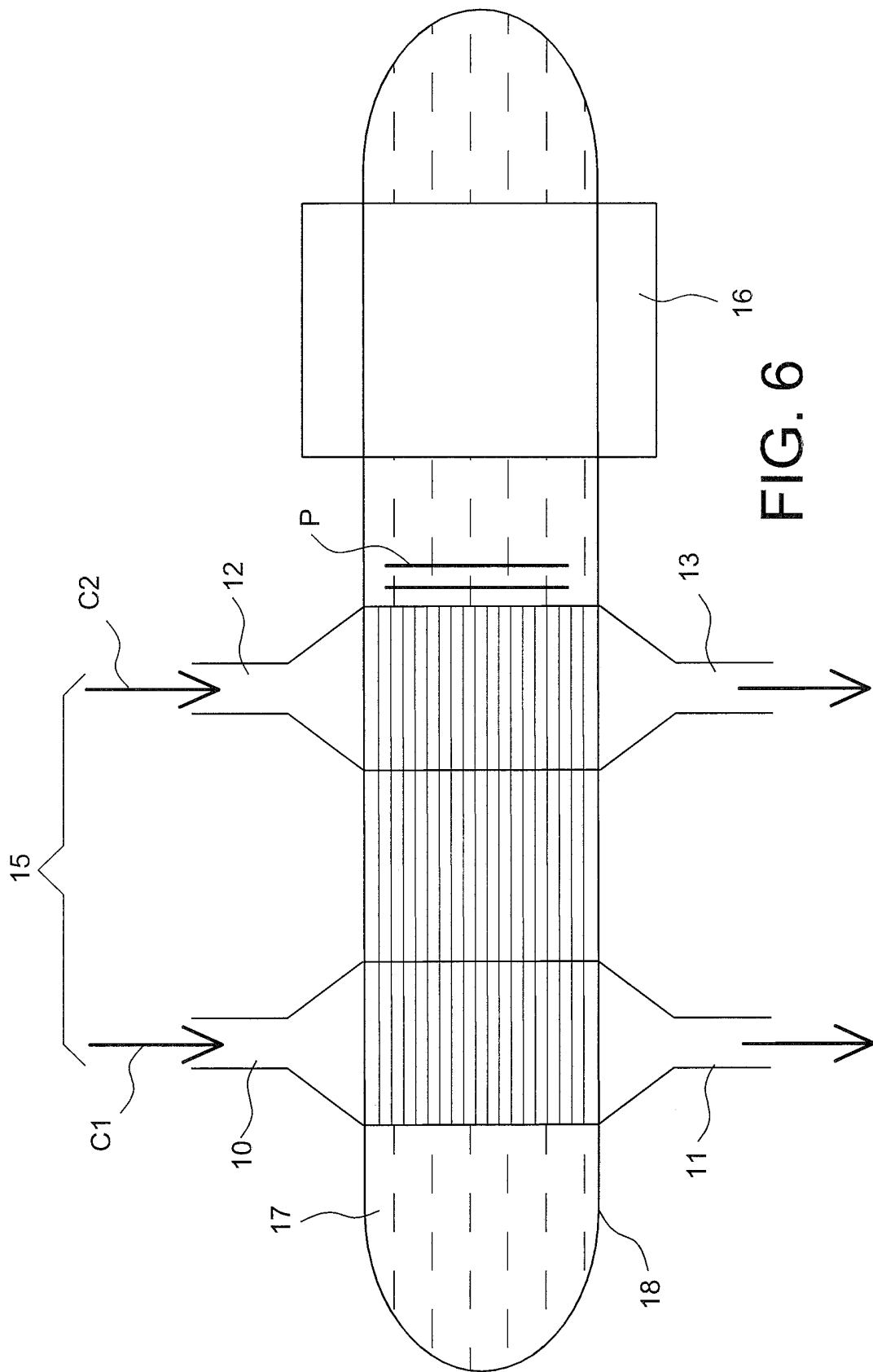


FIG. 6

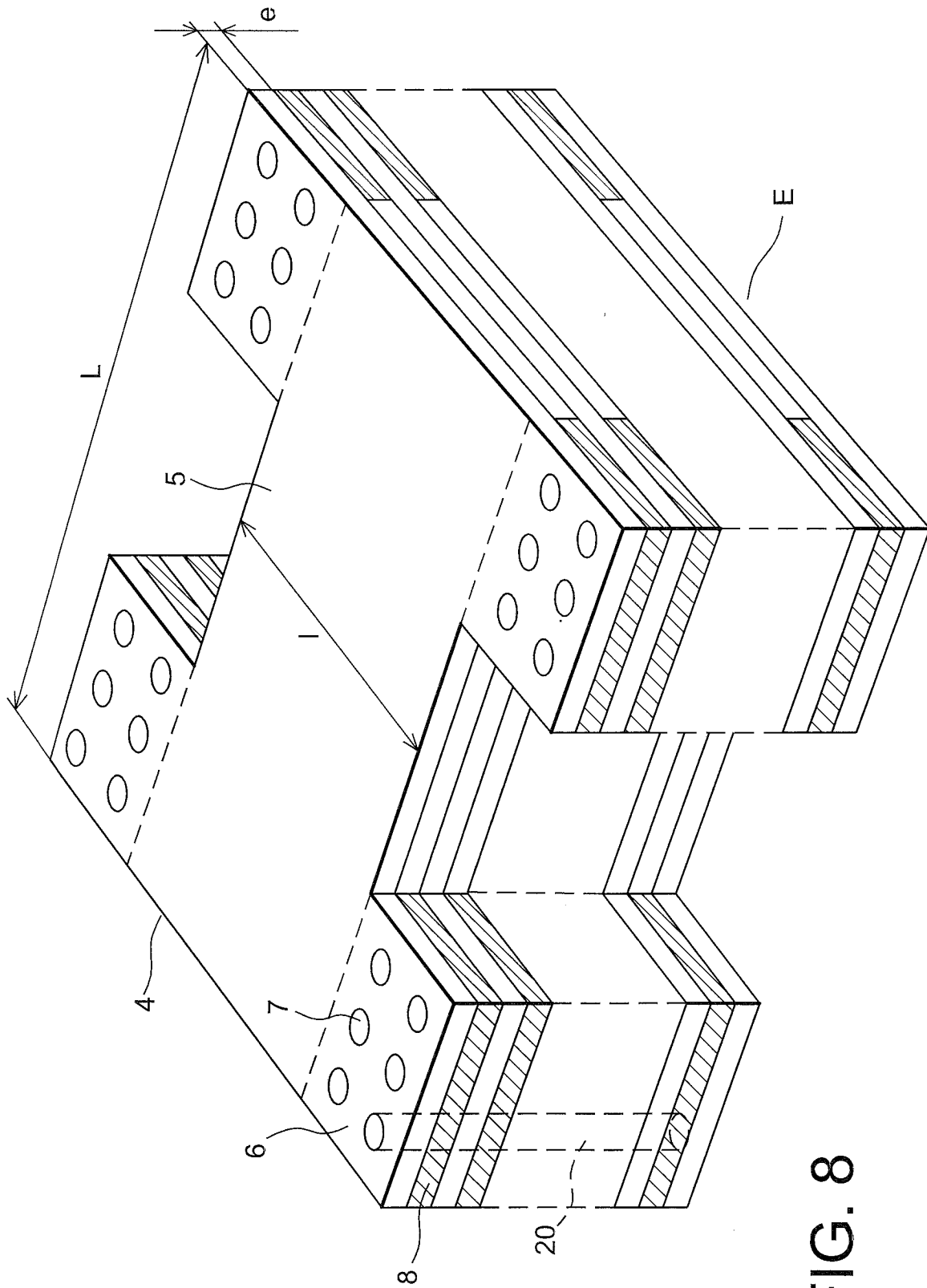


FIG. 8

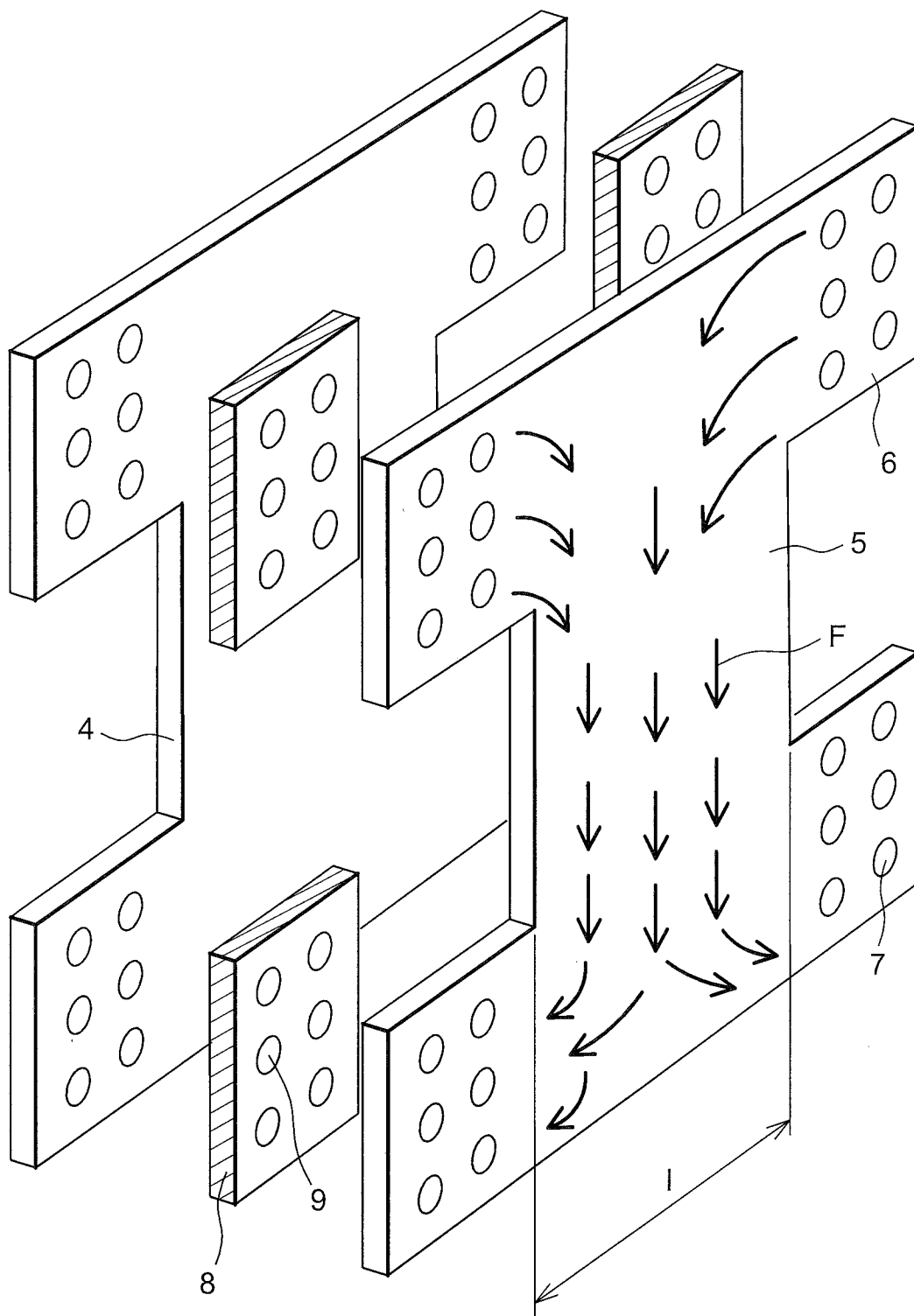


FIG. 9

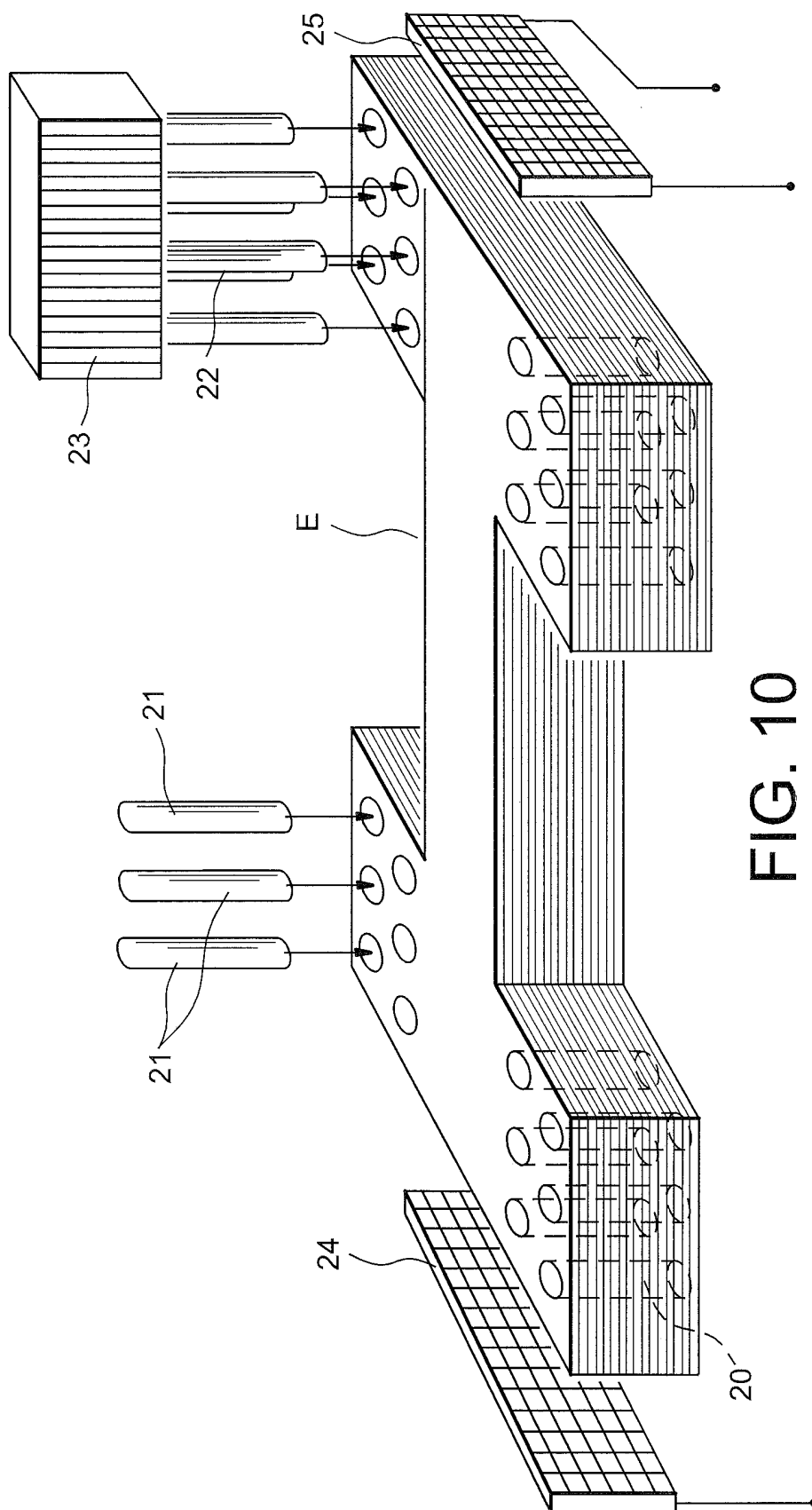
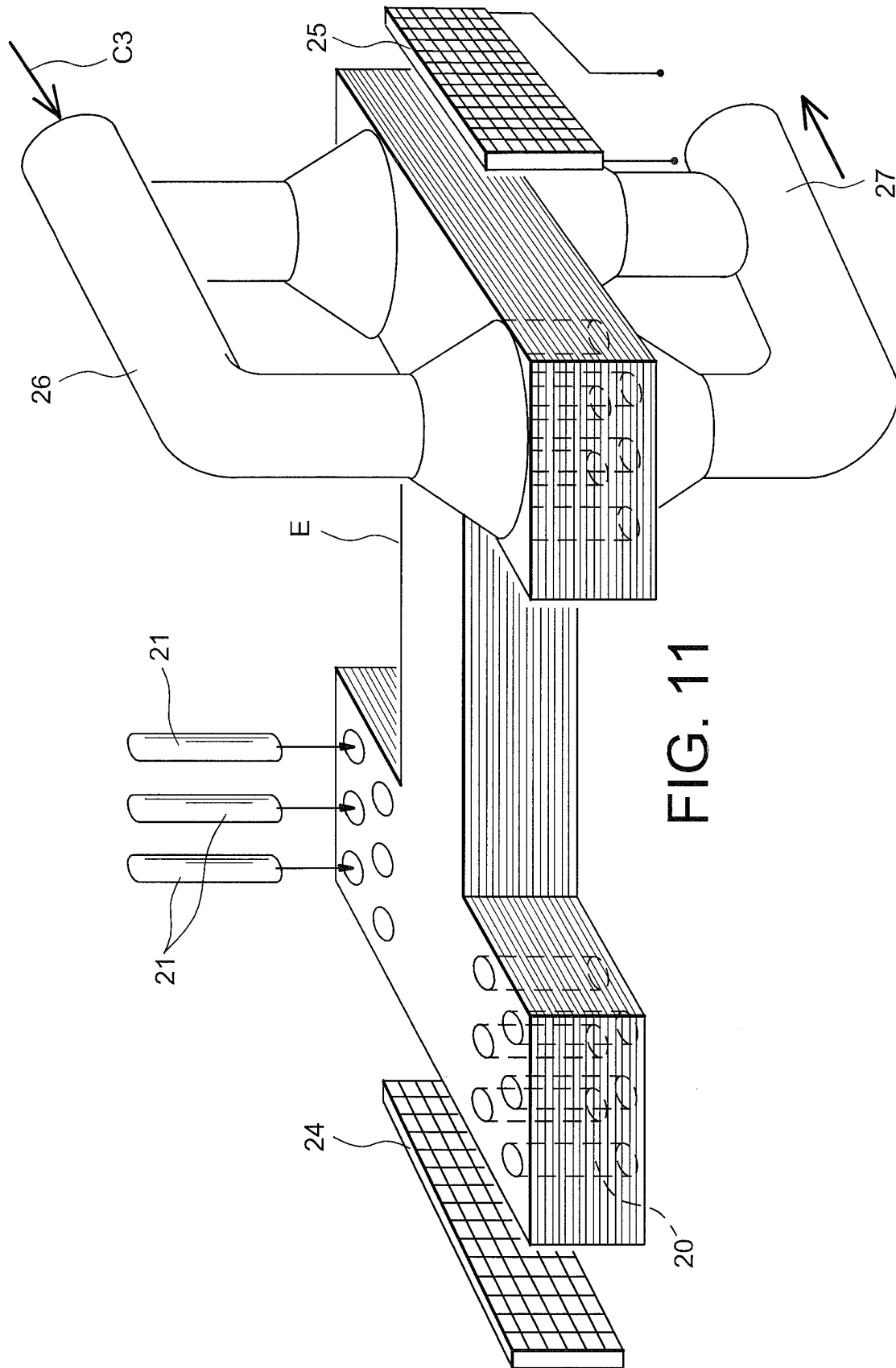


FIG. 10



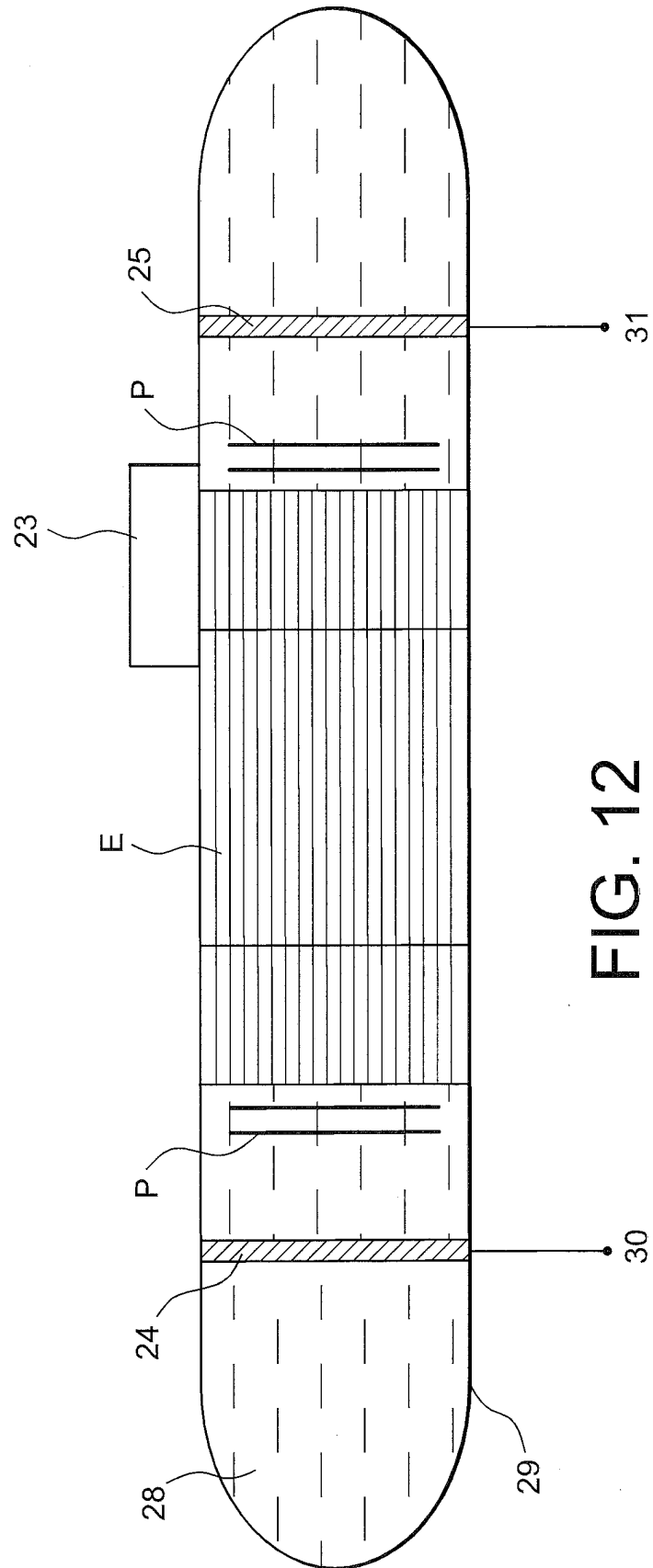


FIG. 12



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 03 10 1535

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.7)
A	US 4 599 551 A (WHEATLEY JOHN C ET AL) 8 juillet 1986 (1986-07-08) * colonne 3, ligne 34 - colonne 4, ligne 31; figure 4 *	1,2,5,6, 8,9,11, 12,14	G10K15/04 F28D9/00
A	US 5 456 082 A (SWIFT GREGORY W ET AL) 10 octobre 1995 (1995-10-10) * colonne 6, ligne 16 - ligne 45 *	1,2,8,9	
A	US 5 813 234 A (WIGHARD HERBERT F) 29 septembre 1998 (1998-09-29) * figure 2 *	1,8-10	
A	DE 199 60 966 A (BOSCH GMBH ROBERT ;CLEVER FELLOWS INNOVATION CONS (US)) 5 juillet 2001 (2001-07-05) * colonne 3, ligne 42 - colonne 4, ligne 9 *	1,6	
A	MIGLIORI A ET AL: "LIQUID-SODIUM THERMOACOUSTIC ENGINE" APPLIED PHYSICS LETTERS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, NEW YORK, US, vol. 53, no. 5, 1 août 1988 (1988-08-01), pages 355-357, XP000036922 ISSN: 0003-6951		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.7) G10K F28D B06B H02K
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 1 septembre 2003	Examineur Swartjes, H.
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 03 10 1535

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.

01-09-2003

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 4599551 A	08-07-1986	AUCUN	
US 5456082 A	10-10-1995	AUCUN	
US 5813234 A	29-09-1998	WO 0019064 A1 AU 1065199 A	06-04-2000 17-04-2000
DE 19960966 A	05-07-2001	DE 19960966 A1	05-07-2001

EPO FORM P0460

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