

(19)



(11)

EP 2 019 919 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:

07.06.2017 Bulletin 2017/23

(21) Numéro de dépôt: **07766056.1**

(22) Date de dépôt: **16.05.2007**

(51) Int Cl.:

F02G 1/043^(2006.01) F25B 9/14^(2006.01)

(86) Numéro de dépôt international:

PCT/FR2007/051282

(87) Numéro de publication internationale:

WO 2007/132130 (22.11.2007 Gazette 2007/47)

(54) DISPOSITIF MINIATURISÉ APTE À FONCTIONNER COMME MOTEUR OU REFROIDISSEUR SELON UN CYCLE THERMODYNAMIQUE DE STIRLING

MINIATURVORRICHTUNG, DIE ENTSPRECHEND EINEM THERMODYNAMISCHEN STIRLING-ZYKLUS ALS MOTOR ODER KÜHLGERÄT BETRIEBEN WERDEN KANN

MINIATURISED DEVICE THAT CAN OPERATE AS AN ENGINE OR A COOLER ACCORDING TO A STIRLING THERMODYNAMIC CYCLE

(84) Etats contractants désignés:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL PL PT RO SE SI SK TR

(30) Priorité: **17.05.2006 FR 0651785**

(43) Date de publication de la demande:

04.02.2009 Bulletin 2009/06

(73) Titulaire: **Commissariat à l'Énergie Atomique**

**et aux Énergies Alternatives
75015 Paris (FR)**

(72) Inventeur: **FORMOSA, Fabien**

74650 Chavanod (FR)

(74) Mandataire: **Cabinet Laurent & Charras**

**Le Contemporain
50 Chemin de la Bruyère
69574 Dardilly Cedex (FR)**

(56) Documents cités:

WO-A-97/13956 JP-A- 62 248 857

EP 2 019 919 B1

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

Description

Domaine technique

[0001] L'invention se rattache au domaine des systèmes microélectroniques mécaniques, également appelés MEMS pour "Microelectromechanical System". Elle vise plus particulièrement des microsystèmes ou dispositifs miniaturisés permettant d'assurer une conversion d'énergie mécanique en chaleur et inversement. Elle concerne plus spécifiquement des dispositifs miniaturisés fonctionnant selon un cycle thermodynamique de Stirling, et en particulier selon les configurations dites α et β de ce type de machine thermique.

Techniques antérieures

[0002] De façon générale, une machine thermique fonctionnant selon un cycle thermodynamique de Stirling comprend une chambre de détente et une chambre de compression qui sont reliées par l'intermédiaire d'un régénérateur, permettant le passage d'un fluide de travail, qui est généralement un gaz, de la chambre de détente à la chambre de compression et inversement, sous l'effet du mouvement d'un piston couramment appelé "déplaceur". Un piston "moteur" permettant le transfert d'énergie sous forme de travail mécanique est mobile dans une fraction de la chambre de compression, afin d'en modifier le volume. Les mouvements du piston déplaceur et du piston moteur sont synchronisés et leur déphasage est maintenu par un dispositif synchronisateur, pour assurer un fonctionnement optimal selon un cycle de Stirling.

[0003] En effet, un cycle thermodynamique idéal de Stirling, pour un fonctionnement en mode moteur, enchaîne quatre phases au cours desquelles le fluide de travail, subit les transformations suivantes : à savoir, un chauffage à volume constant, une détente isotherme, puis un refroidissement à volume constant, suivi d'une compression isotherme. Dans le cadre d'un fonctionnement en mode moteur, la chambre de compression est thermiquement reliée à une source de chaleur, de sorte que le fluide de travail dans la chambre de compression se trouve à une température plus faible que dans la chambre de détente.

[0004] Les moteurs dits "Stirling" ont déjà été développés pour des fonctions de locomotion et comme sous système pour la génération électrique. La réversibilité du moteur Stirling est également mise à profit afin de produire du froid de façon industrielle. Des développements ont également été réalisés pour miniaturiser ce type de moteur, et notamment pour le réaliser par des techniques utilisées dans le domaine de la microélectronique. De tels dispositifs appartiennent ainsi à la catégorie générale des systèmes microélectromécanique ou MEMS pour "Microelectromechanical system".

[0005] Ainsi, les documents US 5 457 956, US 5 749 226, US 6 385 973 décrivent les dispositifs MEMS fonctionnant selon des cycles de Stirling. De tels mécanismes

regroupent donc dans un espace confiné très réduit l'ensemble des éléments permettant le fonctionnement du moteur ou du refroidisseur Stirling. Un autre exemple de moteur Stirling réalisé à partir de structure MEMS est décrit dans le document WO 97/13956. Dans certaines configurations envisagées dans ce document, la chambre de compression peut intégrer une fraction d'un échangeur thermique permettant d'échanger de la chaleur avec la région latérale du dispositif. La présence de cette fraction d'échangeur sépare la chambre de compression en deux parties qui sont toutefois à la même température du fait de la forte conductivité thermique de la fraction d'échangeur, nécessaire pour un bon coefficient d'échange.

[0006] Un problème se pose avec ce type de dispositif, dans la mesure où leur miniaturisation conduit inévitablement à une réduction de leur performance. Plus précisément, le rendement thermodynamique idéal d'un moteur de Stirling est égal à $1 - T_D/T_C$, où T_D est T_C sont les températures qui règnent respectivement dans les chambres de détente et de compression.

[0007] On conçoit donc que le rendement est d'autant plus élevé que l'écart en température entre la chambre de détente et la chambre de compression est importante. Or, plus un dispositif est miniaturisé, plus la chambre de détente se trouve à proximité de la chambre de compression, de sorte que l'isolation thermique entre les deux chambres ne peut pas être maintenue efficacement.

[0008] En d'autres termes, la chaleur dissipée au niveau de la chambre de détente provoque une augmentation de la température dans la chambre de compression par conduction thermique au travers des éléments du système, et donc une réduction de l'écart de température, synonyme de baisse de rendement.

[0009] Ainsi, avec les matériaux couramment utilisés dans l'industrie des MEMS, l'isolation thermique entre les deux chambres, lorsqu'elles sont séparées de quelques microns n'est pas satisfaisante.

[0010] Un problème que se propose donc de résoudre l'invention est celui de conserver des performances satisfaisantes en termes de rendement thermodynamique, et ce tout en autorisant une configuration particulièrement compacte.

[0011] Le document US 5 941 079 décrit plusieurs combinaisons de structures élémentaires de dispositifs Stirling. De telles architectures imposent des dispositions particulières afin d'être piloté. En effet, en régime permanent, le réglage du décalage de phase entre le mouvement du piston déplaceur lié à la chambre de détente, et du piston moteur lié à la chambre de compression est obtenu par une conception appropriée des caractéristiques dynamiques du piston déplaceur et du piston moteur associée aux phénomènes de dissipation d'origine visqueuse au sein du régénérateur. Dans le cas d'un fonctionnement de type moteur, le démarrage puis la synchronisation des mouvements du piston déplaceur et du piston moteur ne peut être obtenu que par la commande au travers d'un dispositif d'actionnement de ceux-

ci. Le convertisseur utilisé peut être alors de type électromécanique, piézoélectrique, électrostatique ou électrostrictif.

[0012] Un autre objectif de l'invention est de proposer une structure de moteur ou refroidisseur Stirling ne nécessitant pas le pilotage simultané du mécanisme déplaceur et du piston moteur pour obtenir le fonctionnement désiré.

Exposé de l'invention

[0013] L'invention concerne donc un dispositif miniaturisé, qui est apte à fonctionner comme moteur ou comme refroidisseur, selon un cycle thermodynamique de Stirling. De façon classique, un tel dispositif comporte une chambre de détente et une chambre de compression, qui sont reliées par l'intermédiaire d'un régénérateur permettant le passage du fluide de la chambre de détente à la chambre de compression et inversement, sous l'effet du mouvement d'un mécanisme déplaceur, également dénommé simplement déplaceur.

[0014] De façon classique, une fraction de la chambre de compression est mobile, afin d'en modifier le volume, à la manière d'un piston.

[0015] Conformément à l'invention, ce dispositif se caractérise en ce qu'il comporte également une chambre complémentaire, qui est reliée à la chambre de compression par l'intermédiaire d'un canal de connexion complémentaire. Cette chambre complémentaire est séparée de la chambre de détente par le mécanisme déplaceur. Cette chambre complémentaire est à une température intermédiaire entre la température de la chambre de compression et la température de la chambre de détente.

[0016] Autrement dit, par rapport aux configurations classiques le dispositif selon l'invention comporte une chambre supplémentaire, qui permet de ramener l'effet de pression existant dans la chambre de compression sur la face du déplaceur opposée à la chambre de détente. Le canal de connexion complémentaire ainsi que les dispositions et matériaux choisis permettent de maintenir une différence de température substantielle entre la chambre de compression et la chambre complémentaire.

[0017] En d'autres termes, contrairement aux systèmes classiques dans lesquels les deux faces du déplaceur sont au contact respectif des chambres de détente et de compression, le dispositif conforme à l'invention est remarquable en ce que le déplaceur est au contact indirect de la chambre de compression par l'intermédiaire de la chambre complémentaire caractéristique.

[0018] De la sorte, cette chambre complémentaire peut être à une température intermédiaire entre celle de la chambre de détente et la chambre de compression. Ainsi, la différence de température entre les deux faces du déplaceur est moindre que dans les systèmes classiques, à écart de température constant entre chambre de détente et chambre de compression.

[0019] Il est donc possible de réaliser des dispositifs

miniaturisés, possédant un rendement satisfaisant, malgré une très faible épaisseur du dispositif déplaceur pouvant alors être réalisé par des moyens classiques d'obtention de membranes micrométriques.

5 **[0020]** Avantagement en pratique, le canal de connexion reliant la chambre complémentaire à la chambre de compression peut inclure une disposition thermique spécifique, de manière à maintenir une différence de température entre la chambre de compression et la
10 chambre complémentaire, et ainsi favoriser une différence de température significative entre la chambre de compression et la chambre de détente.

[0021] En pratique, cette différence de température peut être maintenue par divers dispositifs. Ainsi, on peut
15 prévoir un dispositif actif de régulation de la température du gaz circulant dans le canal de connexion. Ce dispositif peut comporter des thermo-éléments qui réchauffent ou refroidissent ce gaz, en fonction des besoins. Avantagement, le dispositif de régulation peut être formé par
20 un régénérateur complémentaire.

[0022] Selon une autre caractéristique de l'invention, le déplaceur possède deux surfaces de contact, respectivement avec la chambre de détente et la chambre complémentaire, qui présentent des aires différentes. Autrement dit, la surface de contact entre le déplaceur et la
25 chambre de détente est typiquement plus importante que la surface de contact entre la chambre complémentaire et le même déplaceur. Cette dissymétrie présente des avantages par rapport à la conception du mécanisme qui assure l'auto démarrage et le maintien d'un déphasage
30 optimal entre le mouvement du déplaceur et celui du piston associé à la chambre de compression. En effet, dans un fonctionnement de type moteur, le démarrage peut être obtenu par le choix approprié des caractéristiques dynamiques du déplaceur et de l'élément jouant le rôle
35 de piston moteur. Le système dynamique formé par le mécanisme déplaceur et l'élément jouant le rôle de piston, stable jusqu'au différentiel de température entre la chambre de détente et la chambre de compression devient dynamiquement instable au-delà de ce différentiel
40 de température grâce à la rétroaction en pression sur la surface du déplaceur en contact avec le fluide contenu dans la chambre complémentaire. Cette instabilité entraîne la mise en mouvement du déplaceur et de l'élément
45 jouant le rôle de piston à la moindre perturbation. L'amplitude des déplacements augmente de telle sorte que des phénomènes de dissipation non linéaires modifient la dynamique du système pour atteindre un point de fonctionnement stable. La synchronisation des
50 mouvements du déplaceur et de l'élément jouant le rôle de piston est alors dépendante des caractéristiques dynamiques du mécanisme déplaceur et du piston ainsi que des phénomènes de dissipation d'origine visqueuse dans le régénérateur et le canal complémentaire. De
55 plus, une limitation mécanique de l'amplitude du mouvement de l'élément jouant le rôle de piston moteur peut également être mise en oeuvre de façon à obtenir les caractéristiques thermodynamiques souhaitées.

[0023] En pratique, le régénérateur, ainsi qu'éventuellement le canal de connexion peuvent être agencés de différentes manières, en fonction des propriétés du fluide de travail, des performances thermiques souhaitées et des technologies disponibles. Ainsi, plus précisément, la circulation du fluide de travail dans le régénérateur et le ou les canaux de connexion peut s'effectuer selon une direction parallèle à la direction définie entre la chambre de détente et la chambre de compression. Dans ce cas, le régénérateur ainsi que le canal de connexion peuvent être composés de plusieurs canaux tubulaires creusés dans l'épaisseur de la matière du composant.

[0024] Dans une autre variante, ce régénérateur peut autoriser la circulation du fluide de travail dans un plan perpendiculaire à cette même direction définie entre les chambres de détente et de compression. Dans ce cas, la surface du régénérateur peut être plus importante. En fonction du type de conception de régénérateur, il est ainsi possible d'ajuster les pertes de charge prenant naissance à la traversée du ou des régénérateurs, ainsi que l'écart en température entre les deux extrémités du régénérateur.

[0025] Selon une autre caractéristique de l'invention, il est possible que la chambre de détente et la chambre de compression soient aménagées dans deux composants distincts, et reliées par des canalisations assurant la connexion entre les différentes chambres de façon appropriée. De la sorte, on augmente encore la distance entre la chambre de compression et la chambre de détente, afin donc d'accroître la différence de température entre ces deux chambres, et donc le rendement du dispositif.

[0026] En pratique, le dispositif conforme à l'invention peut comporter un mécanisme de synchronisation entre le mouvement du déplaceur de l'élément jouant le rôle de piston. Ce mécanisme de synchronisation comprend de manière non obligatoire une chambre sous pression aménagée de telle sorte que la surface de l'élément jouant le rôle de piston, opposée à la chambre de compression est soumise à cette pression. La fréquence associée à l'élément jouant le rôle de piston moteur peut alors être modifiée par l'ajustement de cette pression par un dispositif adapté. Ce mécanisme de synchronisation peut comprendre également de manière non obligatoire des butées qui limitent l'amplitude de déplacement de l'élément jouant le rôle de piston à une valeur assurant le fonctionnement optimal du dispositif utilisé en mode moteur. Un dispositif de pilotage de l'élément jouant le rôle de piston moteur peut également être ajouté. Il comprend alors un convertisseur électromécanique associé à un circuit de commande qui permet de piloter l'amplitude et/ou la fréquence et/ou l'amortissement associés à l'élément jouant le rôle de piston.

[0027] La conception du dispositif conforme à l'invention lui permet d'être utilisable en moteur, dans le but de transformer une énergie thermique en une énergie mécanique, ou bien en refroidisseur, c'est-à-dire en vue de transformer une énergie mécanique en énergie thermi-

que.

[0028] De multiples configurations peuvent être envisagées pour la liaison thermique entre les chambres de détente et de compression et les sources de chaleur. Il est ainsi possible de prévoir des agencements particuliers tels que des ailettes, de manière à augmenter la surface d'échange avec les sources de chaleur.

[0029] Pour un fonctionnement en mode moteur, l'énergie mécanique produite au niveau de l'élément jouant le rôle de piston peut être utilisée et convertie de différentes manières, par exemple en énergie électrique, par l'emploi de convertisseurs de type varié tel qu'électrostatique, électromagnétique ou piézoélectrique par exemple. On peut noter que dans ce cas, le convertisseur utilisé peut faire partie du dispositif de pilotage du moteur.

[0030] A l'inverse, dans le cas d'un fonctionnement en mode refroidisseur, le piston agissant sur la chambre de compression peut être associé à un organe apte à en provoquer le déplacement par l'emploi de convertisseurs de type varié tel qu'électrostatique, électromagnétique ou piézoélectrique par exemple.

Description sommaire des figures

[0031] La manière de réaliser l'invention ainsi que les avantages qui en découlent ressortiront bien de la description du mode de réalisation qui suit, à l'appui des figures annexées dans lesquelles :

La figure 1 est une vue en coupe schématique de la partie principale du dispositif conforme à l'invention, montrée uniquement dans ce qui concerne les éléments essentiels en rapport avec l'invention.

Les figures 2 et 3 sont des vues en coupe de solutions alternatives concernant le positionnement et l'orientation du régénérateur ainsi que la réalisation du déplaceur.

La figure 4 est une vue en coupe selon le plan IV-IV' de la figure 3, montrant des agencements spécifiques du régénérateur et du canal de connexion.

Les figures 5 et 6 sont des vues en coupe schématiques de deux variantes de réalisation montrant le dispositif réalisé sous la forme de deux composants interconnectés.

La figure 7 est une vue en coupe d'une variante de réalisation concernant l'emplacement des différentes chambres caractéristiques de l'invention.

Les figures 8 et 9 sont des vues en coupe de la figure 7 selon le plan respectivement VIII-VIII' et IX-IX'.

Manière de réaliser l'invention

[0032] Comme déjà évoqué, l'invention concerne un dispositif miniaturisé, du type MEMS, fonctionnant selon un cycle thermodynamique de Stirling. La figure 1 illustre un tel dispositif (1), dans lequel sont uniquement montrés les éléments essentiels à la compréhension de l'invention, et dans laquelle n'est pas représenté tout l'environ-

nement de l'invention, qui peut être nécessaire au fonctionnement de l'invention.

[0033] Ainsi, le dispositif (1) illustré dans la figure 1 comporte une chambre de détente (2), une chambre de compression (3), qui sont reliées par un régénérateur (4). Conformément à l'invention, le dispositif (1) comporte également une chambre complémentaire (5) qui est séparée de la chambre de détente (2) par un mécanisme déplaceur (6).

[0034] Cette chambre complémentaire (5) est reliée à la chambre de compression (3) par l'intermédiaire d'un canal de connexion (7), ou de manière générale par une connexion spécifique. La chambre de compression (3) présente une de ses parois (8) qui est mobile, de manière à pouvoir faire varier son volume. Cette paroi jouant le rôle de piston (8) se déplace à l'intérieur d'un volume (9) prévu à cet effet. En fonction de la configuration de ce volume (9), de la pression qui y règne, et de la nature du gaz qu'il contient, on peut favoriser l'isolation thermique entre les chambres de compression et de détente.

[0035] Ainsi, le déplaceur (6) possède sa face supérieure (12) qui est au contact de la chambre de détente (2), tandis que la face inférieure (13) de ce même déplaceur (6) est au contact de la chambre complémentaire (5), reliée à la chambre de compression (3). La connexion spécifique (7) assure le maintien d'une différence de température entre la chambre intermédiaire (5) et la chambre de compression (3), de telle sorte que le gradient de la température à l'intérieur du déplaceur (6) est plus réduit que dans les systèmes traditionnels, à hypothèse de rendement théorique identique.

[0036] Comme illustré à la figure 1, la face inférieure (13) du déplaceur (6) présente une superficie inférieure à la superficie de la face supérieure (12) du même régénérateur, qui est en contact avec la chambre de détente (2). Cette dissymétrie entre les deux faces du déplaceur est avantageuse en ce qui concerne le démarrage et le maintien d'un déphasage optimal entre le mouvement du déplaceur et celui du piston associé à la chambre de compression.

[0037] Cette dissymétrie peut être générée par des géométries différentes des deux faces (12) et (13) du déplaceur (6), ou bien la présence de raidisseurs spécifiques présents sur l'une de ses deux faces. La réalisation du déplaceur (6) peut intégrer la prise en compte des paramètres de raideur que l'on souhaite donner au déplaceur.

[0038] Dans le cas où le dispositif (1) fonctionne en moteur, la chambre de détente (2) est thermiquement reliée à une source de chaleur (non représentée), qui peut être de natures très diverses. Ainsi, il peut s'agir d'un contact avec une chambre de combustion, ou bien un capteur thermique, susceptible de recevoir de l'énergie par conduction, convection ou radiation.

[0039] De même, le piston (8), mobile au cours du fonctionnement du dispositif peut être associé à divers convertisseurs électriques permettant de transformer le mouvement du piston (8) en une énergie électrique agis-

sant selon différents principes, en fonction des applications. Ainsi, la conversion peut intervenir par un effet piézoélectrique, électrostatique ou électromagnétique par exemple.

[0040] En pratique, le dispositif conforme à l'invention peut être réalisé au sein d'un même composant, comme illustré aux figures 2 et 3. Ainsi, comme illustré à la figure 2, la chambre de détente (22) est reliée à la chambre de la compression (23) par l'intermédiaire du régénérateur (24). La chambre complémentaire (25) est elle-même reliée à la chambre de compression (23) par l'intermédiaire du canal de connexion (27).

[0041] Dans cette configuration, le régénérateur et le canal de connexion (24, 27) présentent une configuration pluritubulaire, parallèle à la direction (28) reliant la chambre de compression (23) à la chambre de détente (22). Autrement dit, ces régénérateurs sont constitués par des canalisations creusées dans l'épaisseur de la matière (26) séparant la chambre complémentaire (25) de la chambre de compression (23).

[0042] Dans une configuration alternative, illustrée à la figure 3, la chambre de détente (32) est reliée à la chambre de compression (33) par l'intermédiaire du régénérateur composé d'une première portion (34) tubulaire, parallèle à la direction (38) reliant les chambres de compression (33) et de détente (32). Cette première portion (34) se prolonge par une portion plane (35), s'étendant dans un plan perpendiculaire à la direction (38) reliant les chambres de compression et de détente. Une troisième portion (36) parallèle à la direction (38) relie la portion plane (35) du régénérateur à la chambre de compression.

[0043] La figure 4 illustre la géométrie que peut adopter les différents éléments qui constituent la partie active du régénérateur. Ainsi, une première fraction de cette partie active du régénérateur est illustrée avec des canaux (40) séparés par des portions quasi rectilignes (41). Ces canaux (40) permettent de définir une surface de contact relativement importante, et de limiter les pertes de charge occasionnées par le passage du fluide de travail au sein de la partie active du régénérateur.

[0044] Dans la fraction gauche du régénérateur illustrée à la figure 4, les éléments permettant de jouer l'effet tampon thermique se présentent sous la forme de plots (43) répartis en quinconce, dans l'hypothèse où l'on souhaite créer des turbulences dans le but d'améliorer l'échange thermique entre le fluide de travail et les éléments actifs du régénérateur.

[0045] De manière générale, le dispositif conformément à l'invention peut être réalisé par des techniques classiques dans le domaine de la réalisation des MEMS. Selon l'échelle des dispositifs, il est également possible d'employer d'autres techniques, permettant de réaliser des membranes. Ainsi, ces membranes peuvent être réalisées à partir de films qui sont étirés de manière à générer une tension uniforme dans l'épaisseur de ceux-ci. Les films étirés ainsi prétendus seront assemblés sur le dispositif de manière à obtenir le déplaceur d'une part

et le piston d'autre part. Avantageusement, cette tension sera telle que le comportement dynamique du dispositif conformément à l'invention dépendant des fréquences de résonances des membranes jouant le rôle de piston et déplaceur soit adapté aux conditions de fonctionnement.

[0046] La configuration illustrée aux figures 5 et 6 présente un avantage en termes d'isolation thermique entre la chambre de détente et la chambre de compression. Plus précisément, la chambre de détente (52) illustrée à la figure 5 est séparée de la chambre complémentaire (55) par l'intermédiaire du déplaceur (56), qui présente une configuration dissymétrique. Les chambres de détente (52) et complémentaire (55) sont réalisées à l'intérieur d'un premier composant (51), qui comporte différentes canalisations (58), (59) permettant la liaison avec un second composant (60) qui renferme la chambre de compression (53), le régénérateur (54) et la connexion spécifique (57). Les canalisations (62, 63) qui relient les deux composants (51, 60) présentent la géométrie et notamment la longueur souhaitée, en fonction de l'éloignement des deux composants (51, 60).

[0047] Dans la configuration illustrée à la figure 6, les deux composants (51, 60) sont représentés cote à cote, et peuvent notamment être réalisés au niveau d'un même substrat. Dans ce cas, les canalisations (66) reliant la chambre de détente (52) et le régénérateur (54), ainsi que la canalisation (67) reliant la chambre complémentaire (55) et le canal de connexion (57) sont réalisés de manière appropriée, soit à l'extérieur des deux composants (51, 60), soit peuvent être formés dans l'épaisseur même du matériau permettant de réaliser les deux composants et des contraintes géométriques d'implantation.

[0048] Une telle configuration est notamment décrite à la figure 7 dans laquelle la chambre de détente (72) est réalisée au-dessus de la chambre complémentaire (75) dont elle est séparée par le déplaceur (76). La chambre de compression (73) est réalisée dans une portion décalée du composant global, et présente un piston (78) qui définit la partie supérieure. Ce piston (78) peut se déplacer entre des butées (79, 80) formées respectivement dans la chambre de compression (73) et le volume (81) situé de l'autre côté du piston (78).

[0049] Comme illustré à la figure 1, la chambre de compression est reliée à la chambre complémentaire par une canalisation (83), qui pourrait inclure un dispositif thermique (non représenté). De même, la chambre de compression (73) est reliée à la chambre de détente (72) par l'intermédiaire du régénérateur, dont une partie (84) apparaît sur la figure 8, et qui se prolonge par une fraction supplémentaire (85) visible à la figure 9. Les deux portions (84, 85) du régénérateur principal sont reliées par une portion traversant l'épaisseur qui sépare les deux plans de coupe VIII-VIII', IX-IX'.

[0050] Bien entendu, beaucoup d'autres géométries peuvent être adoptées pour améliorer différents facteurs, liés soit aux performances du dispositif, soit à des contraintes technologiques de fabrication ou d'intégration.

Dans la forme illustrée aux figures 7 à 9, les chambres de compression et de détente présentent une géométrie circulaire, favorable à leur robustesse mécanique.

[0051] Il ressort de ce qui précède que le dispositif conforme à l'invention présente l'avantage majeur de permettre une miniaturisation des machines Stirling, tout en conservant un niveau de rendement satisfaisant, par le maintien d'un écart de température important entre la chambre de détente et la chambre de compression. De plus, l'absence de cinématique complexe et de liaisons permet de s'affranchir des problématiques d'usure mécanique de pièces en mouvement relatif et de l'apparition de jeu générant chocs et vibrations. Les faibles inerties en mouvement limitent également les vibrations transmises par le dispositif à son environnement limitant ainsi le bruit généré.

Applications industrielles

[0052] Le dispositif conforme à l'invention peut trouver de multiples applications, parmi lesquelles on peut citer la micro génération d'énergie électrique, la récupération et valorisation d'énergie thermique, ainsi que le refroidissement de systèmes électroniques notamment.

Dans le cas de la génération électrique, à partir d'une source d'énergie chimique, l'énergie thermique nécessaire est générée par combustion catalytique puis le dispositif conforme à l'invention permet la conversion efficace de l'énergie thermique en énergie mécanique finalement convertie en énergie électrique exploitable par un convertisseur intégré au dispositif. La génération électrique pourra être également envisagée par l'exploitation du dispositif conforme à l'invention en série et disposé de telle façon à ce que l'énergie thermique de l'environnement (rayonnement solaire, énergie thermique dissipée par un processus) est convertie efficacement en énergie électrique.

[0053] Le dispositif conforme à l'invention utilisé en mode refroidisseur peut être appliqué au refroidissement de composants électroniques informatiques qui nécessitent un contrôle en température. La gamme de différence de température accessible par l'utilisation de dispositif fonctionnant en cycle de Stirling permet d'envisager son utilisation dans les applications de refroidissement à basse température pour les capteurs infrarouge de caméra thermique par exemple.

Revendications

1. Dispositif miniaturisé (1), apte à fonctionner comme moteur ou refroidisseur selon un cycle thermodynamique de Stirling, comportant une chambre de détente (2) et une chambre de compression (3), reliées par l'intermédiaire d'un régénérateur (4) permettant le passage du fluide de travail de la chambre de détente (2) à ladite chambre de compression (3), et inversement, sous l'effet de mouvement d'un méca-

- nisme déplaceur (6), une fraction (8) de ladite chambre de compression (3) étant mobile pour modifier le volume de ladite chambre de compression (3) à la manière d'un piston, **caractérisé en ce qu'**il comporte également une chambre complémentaire (5), ladite chambre complémentaire (5) étant reliée à ladite chambre de compression (3) par l'intermédiaire d'un canal de connexion complémentaire (7), ladite chambre de détente (2) et ladite chambre complémentaire (5) étant reliées par l'intermédiaire de ladite chambre de compression (3), ladite chambre complémentaire (5) étant à une température intermédiaire entre la température de ladite chambre de compression (3) et la température de ladite chambre de détente (2), ladite chambre complémentaire (5) étant séparée de ladite chambre de détente (2) par le mécanisme déplaceur (6).
2. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** ledit canal de connexion complémentaire inclut un régénérateur complémentaire (7).
 3. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le mécanisme déplaceur (6) possède deux surfaces de contact (12, 13), respectivement avec ladite chambre de détente (2) et ladite chambre complémentaire (5), qui présentent des aires différentes.
 4. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** ledit régénérateur principal (24) et/ou ledit canal de connexion complémentaire (27) permettent une circulation du fluide de travail selon une direction parallèle à la direction (28) définie entre ladite chambre de détente (22) et ladite chambre de compression (23).
 5. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** ledit régénérateur principal (35) et/ou ledit canal de connexion complémentaire permettent une circulation du fluide de travail dans un plan perpendiculaire à la direction (38) définie entre lesdites chambres de détente (32) et de compression (33).
 6. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** ladite chambre de détente (52) et ladite chambre de compression (53) sont aménagées dans deux composants distincts (51, 60) et reliés par des canalisations (62, 63).
 7. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'**il comporte un mécanisme de synchronisation entre le mouvement du déplaceur et le mouvement de l'élément jouant le rôle de piston.
 8. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** ladite chambre de détente est thermiquement reliée à une source de chaleur et comporte éventuellement des agencements augmentant la

surface d'échange avec la source de chaleur.

9. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'élément jouant le rôle de piston ou l'élément jouant le rôle de déplaceur est associé à un organe apte à en provoquer le déplacement.
10. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'élément jouant le rôle de piston est associé à un organe apte à convertir son énergie mécanique en énergie électrique.

Patentansprüche

1. Miniaturisiertes Gerät (1), das als Motor oder Kühler nach einem Stirling'schen Kreisprozess arbeiten kann und eine Expansionskammer (2) sowie eine Kompressionskammer (3) umfasst, die mittels eines Regenerators (4) miteinander verbunden sind, so dass das Arbeitsfluid von der Expansionskammer (2) zu dieser Kompressionskammer (3) strömen kann und umgekehrt, unter der Wirkung der Bewegung eines Verdrängungsmechanismus (6), wobei ein Teilstück (8) der Kompressionskammer (3) beweglich ist und wie ein Kolben arbeitet, um das Volumen der Kompressionskammer zu verändern, **dadurch gekennzeichnet, dass** es auch eine komplementäre Kammer (5) aufweist, diese komplementäre Kammer (5) ist mit der genannten Kompressionskammer (3) über einen komplementären Verbindungskanal (7) verbunden, wobei die genannte Expansionskammer (2) und die genannte komplementäre Kammer (5) über die genannte Kompressionskammer (3) miteinander verbunden sind, diese komplementäre Kammer (5) hat eine Temperatur, die zwischen der Temperatur der genannten Kompressionskammer (3) und der Temperatur der genannten Expansionskammer (2) liegt, die genannte komplementäre Kammer (5) ist von dieser Expansionskammer (2) durch den Verdrängungsmechanismus (6) getrennt.
2. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der genannte komplementäre Verbindungskanal einen komplementären Regenerator (7) enthält.
3. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Verdrängungsmechanismus (6) jeweils zwei Kontaktflächen (12, 13) mit dieser Expansionskammer (2) und dieser komplementären Kammer (5) umfasst, die verschiedene Areale aufweisen.
4. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der genannte Hauptregenerator (24)

und/ oder der genannte komplementäre Verbindungskanal (27) eine Zirkulation des Arbeitsfluids in einer Richtung parallel zur Richtung (28), definiert zwischen der genannten Expansionskammer (22) und der genannten Kompressionskammer (23), ermöglicht.

5. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der genannte Hauptregenerator (35) und/ oder der genannte komplementäre Verbindungskanal eine Zirkulation des Arbeitsfluids in einer Richtung senkrecht zur Richtung (38), definiert zwischen der genannten Expansionskammer (32) und der genannten Kompressionskammer (33), ermöglicht.
6. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die genannte Expansionskammer (52) und die genannte Kompressionskammer (53) in zwei unterschiedlichen Bestandteilen (51, 60) angeordnet und durch Kanalleitungen (62, 63) miteinander verbunden sind.
7. Verfahren gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** es einen Synchronisierungsmechanismus zwischen der Bewegung des Verdrängers und der Bewegung des Elementes, das die Rolle des Kolbens spielt, enthält.
8. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** diese Expansionskammer thermisch verbunden ist mit einer Wärmequelle und eventuell Einrichtungen umfasst, um die Austauschoberfläche mit der Wärmequelle zu erhöhen.
9. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Element, das die Rolle des Kolbens spielt, oder das Element, das die Rolle des Verdrängers spielt, mit einem Aggregat verbunden ist, das geeignet ist eine Fortbewegung zu veranlassen.
10. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Element, das die Rolle des Kolbens spielt, mit einem Aggregat verbunden ist, das geeignet ist seine mechanische Energie in elektrische Energie umzuwandeln

Claims

1. Miniaturised device (1), which can operate as an engine or a cooler according to a Stirling thermodynamic cycle, comprising an expansion chamber (2) and a compression chamber (3), which are interconnected by means of a regenerator (4) enabling the working fluid to flow through from the expansion chamber (2) to the compression chamber (3) and vice versa, under the effect of the movement of a displacing

mechanism (6), a fraction (8) of the compression chamber (3) being mobile and operating as a piston in order to modify the volume of said compression chamber (3), characterised it also comprises a complementary chamber (5) which is connected to the compression chamber (3) by means of a complementary connection channel (7), said expansion chamber (2) and said complementary chamber (5) being connected by means of said compression chamber (3), the said complementary chamber (5) being at an intermediate temperature between the temperature of the compression chamber (3) and the temperature of the expansion chamber, the complementary chamber (5) being separated from the expansion chamber (2) by means of the displacing mechanism (6).

2. Device according to Claim 1, **characterised in that** the connection channel includes a complementary regenerator (7).
3. Device according to Claim 1, **characterised in that** the displacing mechanism (6) has two contact surfaces (12, 13), with the expansion chamber (2) and the complementary chamber (5) respectively, which have different areas.
4. Device according to Claim 1, **characterised in that** the main regenerator (24) and/or the complementary connection (27) channel enable the working fluid to flow in a direction parallel to the direction (28) defined between the expansion chamber (22) and the compression chamber (23).
5. Device according to Claim 1, **characterised in that** the main regenerator (35) and/or the complementary connection channel enable the working fluid to flow in a plane perpendicular (38) to the direction defined between the expansion chamber (32) and the compression chamber (33).
6. Device according to Claim 1, **characterised in that** the expansion chamber (52) and the compression chamber (53) are arranged in two distinct components (51, 60), and are connected by lines (62, 63).
7. Device according to Claim 1, **characterised in that** it comprises a synchronisation mechanism between the movement of the displacer and the movement of the element operating as a piston.
8. Device according to Claim 1, the **characterised in that** the expansion chamber is thermally connected to a heat source and optionally comprises arrangements for increasing the heat exchange area with the heat source.
9. Device according to Claim 1, **characterised in that**

the element operating as a piston or the element operating as a displacer is associated with a member suitable for initiating its displacement.

10. Device according to Claim 1, **characterised in that** the element operating as a piston is associated with a member suitable for converting its mechanical energy into electrical energy.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

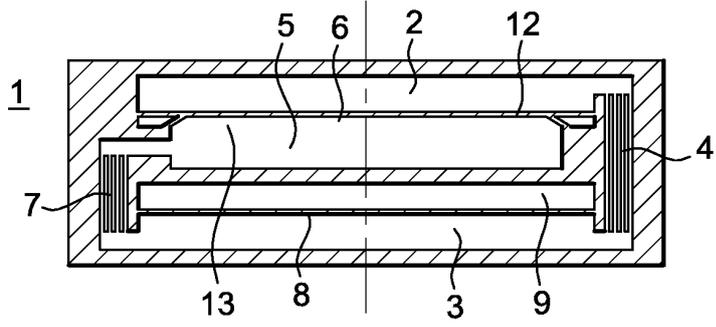


Fig. 1

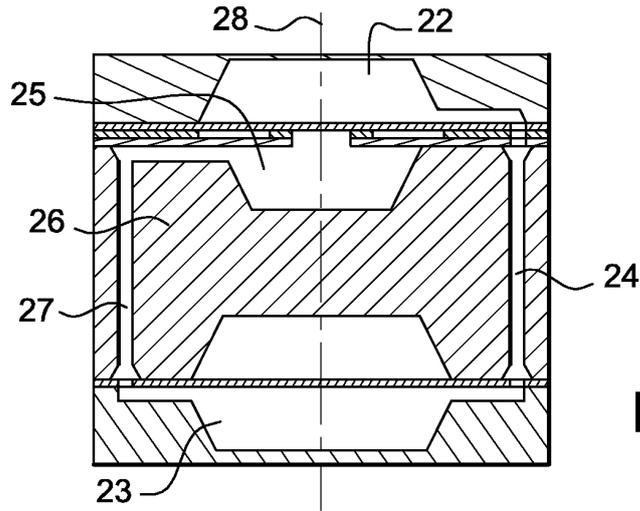


Fig. 2

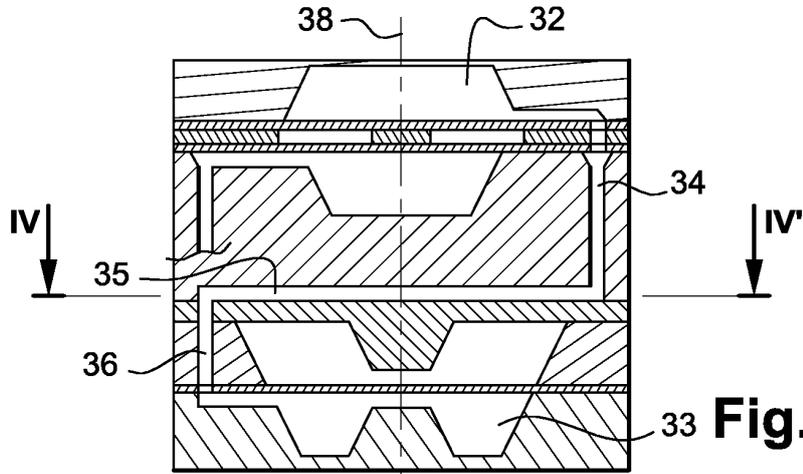


Fig. 3

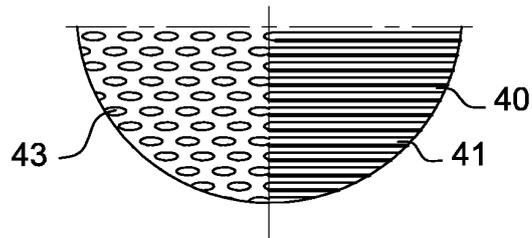


Fig. 4

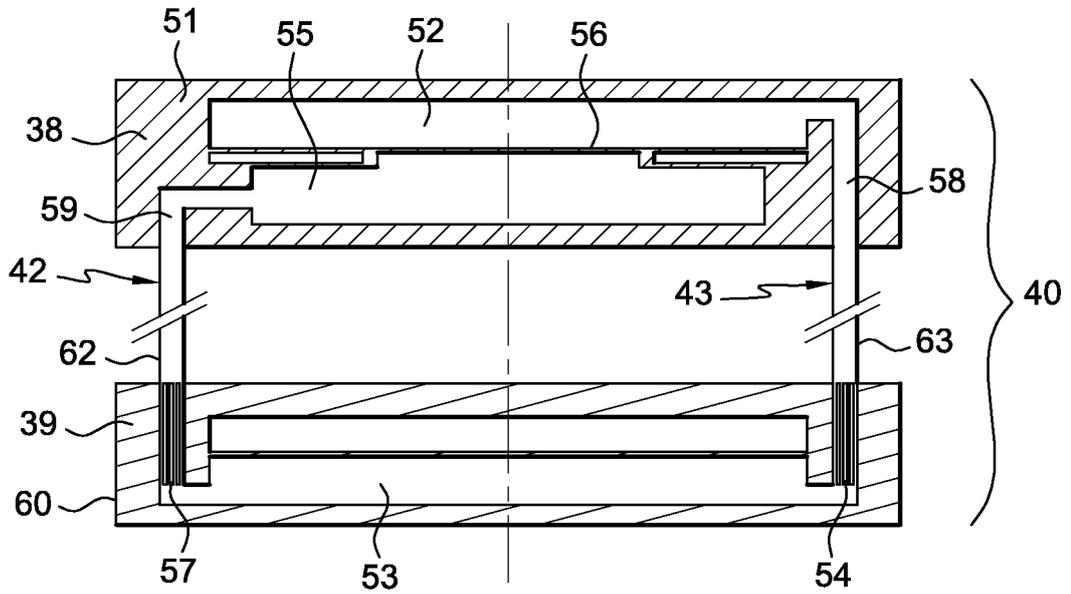


Fig. 5

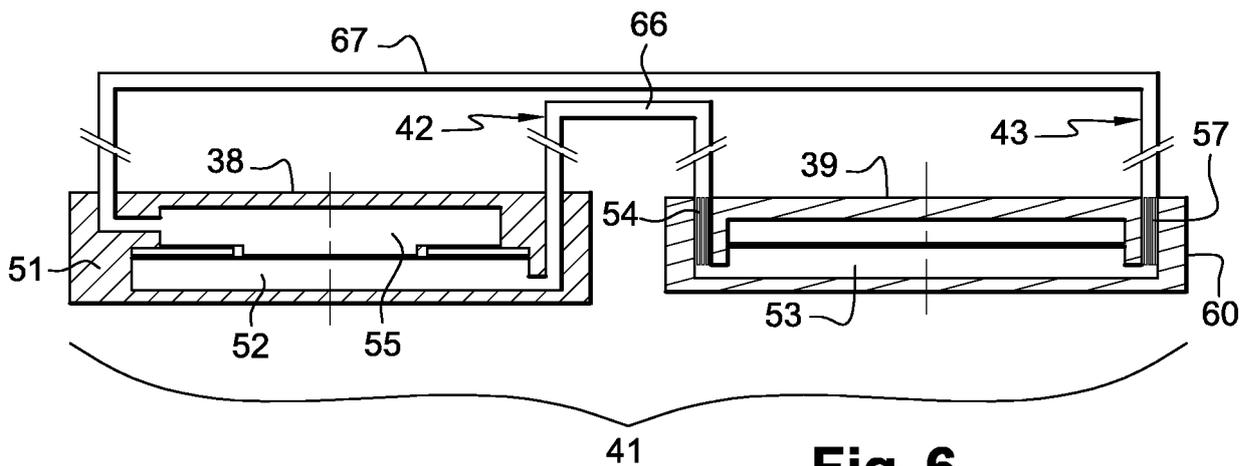


Fig. 6

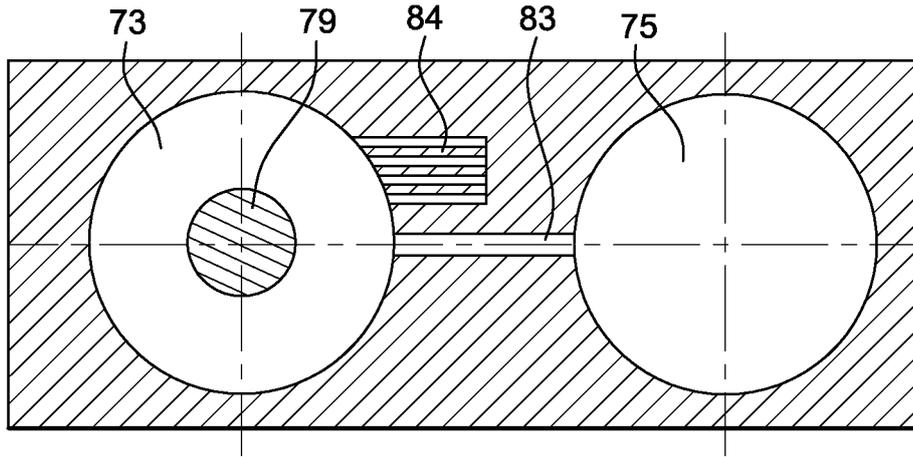


Fig. 8

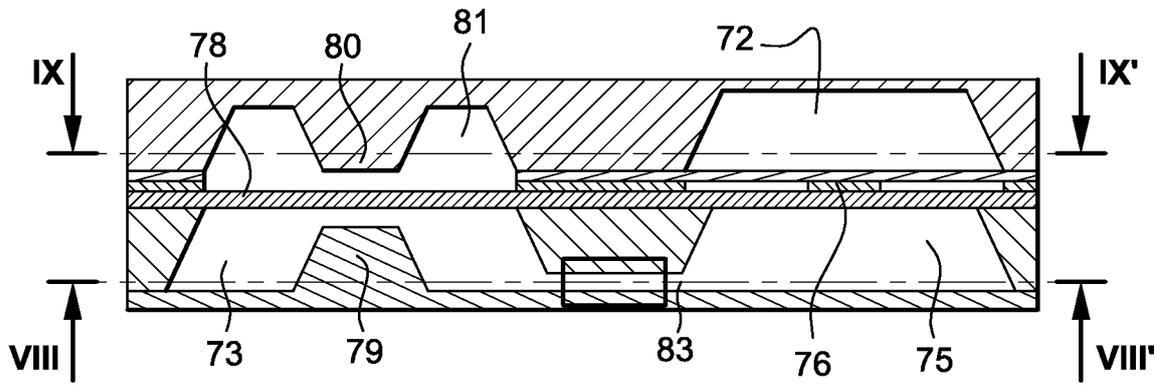


Fig. 7

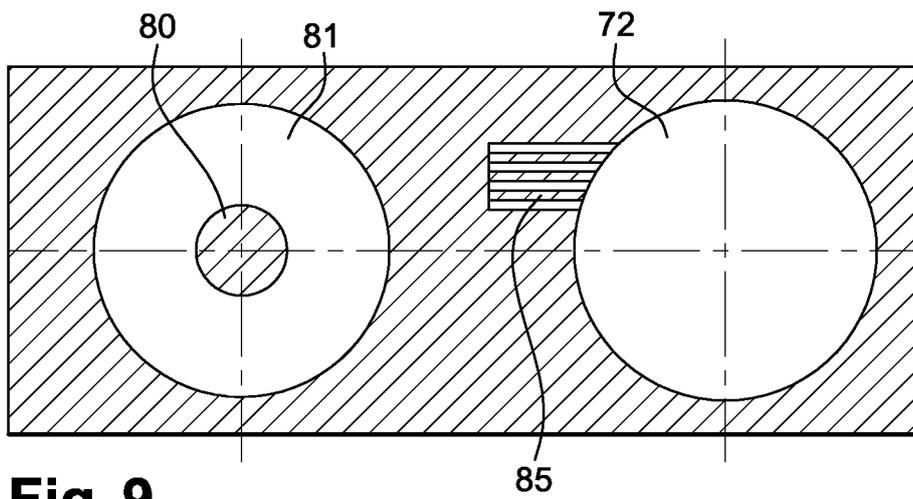


Fig. 9

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 5457956 A [0005]
- US 5749226 A [0005]
- US 6385973 B [0005]
- WO 9713956 A [0005]
- US 5941079 A [0011]