



(12) DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
01.07.1998 Bulletin 1998/27

(51) Int. Cl.⁶: F25B 9/14

(21) Numéro de dépôt: 96402923.5

(22) Date de dépôt: 30.12.1996

(84) Etats contractants désignés:
AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC
NL PT SE
Etats d'extension désignés:
AL LT LV RO SI

(72) Inventeurs:
• David, Marc
75006 Paris (FR)
• Maréchal, Jean-Claude
92350 Le Plessis Robinson (FR)

(71) Demandeur:
L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME POUR
L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES
GEORGES CLAUDE
75321 Paris Cédex 07 (FR)

(74) Mandataire:
Le Moenner, Gabriel et al
Société l'Air Liquide
Service Brevets et Marques
75, Quai d'Orsay
75321 Paris Cédex 07 (FR)

(54) Réfrigérateur cryogénique

(57) Ce réfrigérateur cryogénique comprend deux sources de pression oscillantes (1) fonctionnant en opposition de phases. Chaque source est reliée par un conduit (5A, 5B) à l'extrémité froide (6A, 6B) d'un tube pulsé associé (3A, 3B). L'extrémité chaude (7A, 7B) de chaque tube pulsé est reliée à une capacité respective, qui peut être constituée par l'autre tube pulsé. Un

échangeur de chaleur (2) met les deux conduits en relation d'échange thermique à contre-courant.

Application à la production frigorifique au-dessous de 10 K.

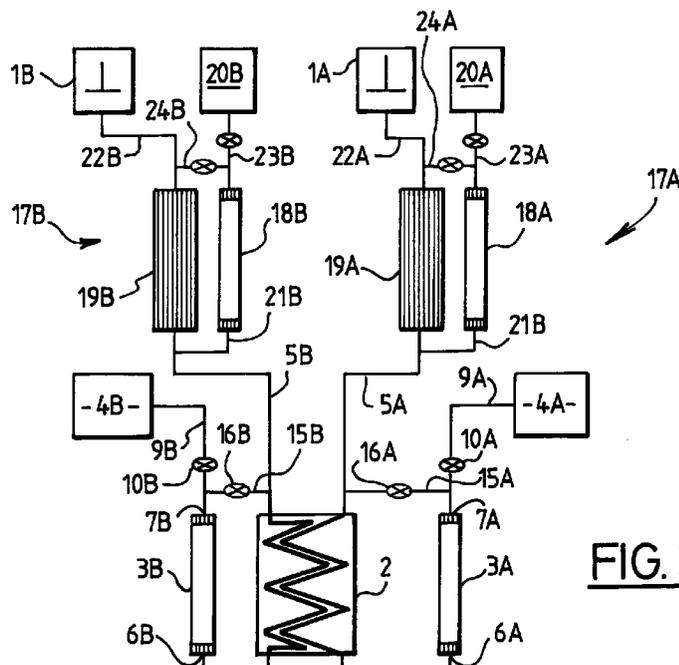


FIG. 3

Description

La présente invention concerne les réfrigérateurs cryogéniques. Elle s'applique notamment à la production frigorifique au-dessous de 10 K, notamment à environ 4 K.

Des réfrigérateurs cryogéniques utilisant des tubes à gaz pulsé, ou tubes pulsés, ont été décrits, entre autres, dans les publications suivantes :

- Gifford W.E. and Longworth R.C., Pulse Tube Refrigeration, American Society of Mechanical Engineers, Philadelphia, Pennsylvania, paper n° 63- WA-290, Nov. 17-22 (1963)
- Mikulin E.I., Tarasov A.A. and Shrkrebyonock M.P., Low Temperature Expansion Pulse Tubes, Advances in Cryogenic Engineering, Vol. 29 p. 269, Plenum Press, New York (1984)
- Radebaugh R., Zimmermann J., Smith D.R. and Louie B., A Comparison of Three Types Pulse Tube refrigerators : New Methods for reaching 60K, Advances in Cryogenic Engineering, Vol. 31 p. 779, Plenum Press, New York (1986)
- David M. and Marechal J-C., How to Achieve the Efficiency of a Gifford-Mac-Mahon Cryocooler with a Pulse Tube Refrigerator, Cryogenics, Vol. 30 p. 262 (1990)
- Liang J., Zhou Y. and Zhu W., Development of a Single-Stage Pulse Tube Refrigerator Capable of Reaching 49 K, Cryogenics, Vol. 30 (1990)
- David M., Marechal J-C., Simon Y. and Guilpin C., Theory of Ideal Orifice Pulse Tube Refrigerator, Cryogenics, Vol. 33 p. 154 (1993).

Dans toutes ces publications, on utilise, entre la source de pression oscillante et le tube pulsé, un régénérateur constitué d'un matériau dont la capacité calorifique volumique est nettement supérieure à celle du gaz pulsé. Cette contrainte ne permet d'atteindre, avec les matériaux usuels, que des températures insuffisamment basses pour certaines applications : environ 30 K pour l'acier inoxydable, le bronze et le cuivre, environ 10 K pour le plomb.

Des matériaux spéciaux tels que Er_3Ni , qui subissent à basse température des transformations de structure, permettent de descendre au-dessous de 10 K. Cependant, ces matériaux sont coûteux et, de plus, ils ont tendance à s'effriter avec le temps.

L'invention a pour but de fournir un réfrigérateur cryogénique qui conserve la simplicité et la fiabilité des réfrigérateurs à tube pulsé et permettent d'atteindre des températures inférieures à 10 K sans faire appel aux matériaux spéciaux mentionnés ci-dessus.

A cet effet, l'invention a pour objet un réfrigérateur cryogénique comprenant :

- une première source de pression oscillante reliée par un premier conduit à une extrémité froide d'un

premier tube pulsé dont l'extrémité chaude est reliée à une première capacité;

- une seconde source de pression oscillante reliée par un second conduit à une extrémité froide d'un second tube pulsé dont l'extrémité chaude est reliée à une seconde capacité;
- des moyens pour faire fonctionner les deux sources de pression en opposition de phase; et
- un échangeur de chaleur mettant lesdits premier et second conduits en relation d'échange thermique à contre-courant.

Le réfrigérateur cryogénique suivant l'invention peut comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- les extrémités chaudes des tubes pulsés sont reliées entre elles, de sorte que chaque tube pulsé forme ladite capacité de l'autre tube pulsé;
- les deux sources de pression oscillantes sont constituées par un oscillateur à double piston;
- un by-pass étranglé relie l'extrémité chaude de chaque tube pulsé audit conduit associé;
- les sources de pression oscillante sont à la température ambiante;
- au moins un étage de prérefrigération est interposé entre chaque source de pression oscillante et lesdits conduits associés.

Des exemples de réalisation de l'invention vont maintenant être décrits en regard du dessin annexé, sur lequel :

- la Figure 1 représente schématiquement un réfrigérateur cryogénique conforme à l'invention; et
- les Figures 2 et 3 représentent schématiquement deux autres modes de réalisation du réfrigérateur cryogénique suivant l'invention.

Le réfrigérateur cryogénique représenté sur la Figure 1 est constitué essentiellement :

- de deux sources de pression oscillante 1A, 1B, couplées de façon à fonctionner en opposition de phase;
- d'un échangeur de chaleur à contre-courant 2;
- de deux tubes pulsés 3A, 3B; et
- de deux capacités 4A, 4B.

La sortie de la source 1A est reliée par un tube capillaire 5A à une extrémité (extrémité froide) 6A du tube pulsé 3A. L'autre extrémité (extrémité chaude) 7A de ce dernier est reliée à l'unique entrée 8A de la capacité 4A par un tube capillaire 9A muni d'un orifice calibré 10A.

De même, la sortie de la source 1B est reliée par un tube capillaire 5B à une extrémité (extrémité froide) 6B du tube pulsé 3B. L'autre extrémité (extrémité chaude)

7B de ce dernier est reliée à l'unique entrée 8B de la capacité 4B par un tube capillaire 9B muni d'un orifice calibré 10B.

Chaque ensemble 1A, 5A, 3A, 9A d'une part, 1B, 5B, 3B, 9B d'autre part, forme un système fermé 11A, 11B dans lequel une masse de gaz est mise en mouvement alternatif par la source de pression oscillante correspondante.

Les deux systèmes 11A, 11B sont mis en relation d'échange thermique par l'échangeur de chaleur 2. Celui-ci, de toute structure appropriées (coaxiale, multitubulaire, à tubes à ailettes, à grilles, etc.), met plus précisément en relation d'échange thermique à contre-courant les conduits 5A et 5B.

Ainsi, l'échangeur 2 comporte un bout chaud 12 au voisinage de la température ambiante T_A (environ 300 K), et un bout froid 13 au voisinage de la température basse T_B à atteindre, par exemple 4 K environ.

Lorsque les sources de pression 1A et 1B, qui se trouvent à la température ambiante, fonctionnent, les masses de gaz contenues dans les deux systèmes 11A, 11B subissent des cycles compression/détente répétés. Au bout froid 13 de l'échangeur 2, la température basse T_B est obtenue alternativement sur les conduits 5A et 5B, tandis que l'autre conduit se trouve à une température égale à cette température T_B augmentée de l'écart de température au bout froid de l'échangeur, cet écart dépendant de la technologie de réalisation de l'échangeur ainsi que des paramètres de fonctionnement tels que la fréquence de pulsation et le débit de circulation du gaz. L'écart de température en question est par exemple de l'ordre de 2K.

Ne comportant pas de pièce en mouvement à basse température, le réfrigérateur est fiable, simple de construction et bon marché. Il est à noter en particulier que les orifices d'étranglement 10A, 10B ont un diamètre relativement grand et se trouvent à une température très supérieure à la température basse T_B , et également que c'est toujours le même gaz qui se déplace dans chaque système 11A, 11B. Par suite, les risques de bouchage sont très faibles. De plus, l'utilisation d'un échangeur de chaleur 2 au lieu des régénérateurs habituels a pour conséquence que la température basse obtenue est pratiquement indépendante de la chaleur spécifique des matériaux utilisés.

Par ailleurs, l'insensibilité du réfrigérateur à la gravité le rend apte à être mis en oeuvre dans des applications spatiales.

Le mode de réalisation de la Figure 2 diffère du précédent sous deux aspects.

D'une part, les deux sources 1A, 1B sont remplacés par un oscillateur à double piston 1, par exemple l'oscillateur développé par la Société MATRA MARCONI SPACE (MMS) et qualifié pour les applications spatiales.

D'autre part, les capacités 4A et 4B sont supprimées, et les extrémités chaudes 7A, 7B des deux tubes pulsés sont reliées l'une à l'autre par une unique con-

duite 9 équipée d'un orifice calibré 10.

Ainsi, le réfrigérateur forme un système fermé unique. Le mouvement alternatif du double piston 14 de l'oscillateur 1 met de lui-même en mouvement, en opposition de phase, les masses de gaz contenues dans chaque moitié du système, et chaque tube pulsé joue le rôle de la capacité 4A, 4B pour l'autre tube pulsé.

Le mode de réalisation de la Figure 3 diffère de celui de la Figure 1 par les points suivants.

D'une part, un by-pass additionnel 15A, 15B équipé d'un orifice calibré 16A, 16B relie l'extrémité chaude 7A, 7B de chaque tube pulsé au conduit correspondant 5A, 5B, au bout chaud de l'échangeur 2. Ceci correspond à la configuration classique des tubes pulsés connue sous l'appellation "Double Inlet Pulse Tube", décrite dans la publication de Liang, Zhou et Zhu précitée.

D'autre part, un étage de prérefrigération 17A, 17B est interposé entre chaque source 1A, 1B, qui se trouve de nouveau à la température ambiante, et le tube capillaire 5A, 5B associé. Dans cet exemple, cet étage de prérefrigération est constitué lui-même d'un "Double Inlet Pulse Tube" à régénérateur, comprenant un tube pulsé 18A, 18B, un régénérateur 19A, 19B, une capacité fermée 20A, 20B, et les conduits de liaison habituels dans ce type de montage : un conduit froid 21A, 21B reliant les extrémités froides du tube pulsé et du régénérateur, des conduits chauds 22A, 22B et 23A, 23B qui relient respectivement l'extrémité chaude du régénérateur à la source de pression et celle du tube pulsé à la capacité 20A, 20B, et un by-pass 24A, 24B reliant les extrémités chaudes du régénérateur et du tube pulsé. Les conduits 23A, 23B et 24A, 24B sont pourvus chacun d'un orifice calibré.

Revendications

1. Réfrigérateur cryogénique, comprenant :

- une première source de pression oscillante (1A; 1) reliée par un premier conduit (5A) à une extrémité froide (6A) d'un premier tube pulsé (3A) dont l'extrémité chaude (7A) est reliée à une première capacité (4A; 3B);
- une seconde source de pression oscillante (1B; 1) reliée par un second conduit (5B) à une extrémité froide (6B) d'un second tube pulsé (3B) dont l'extrémité chaude (7B) est reliée à une seconde capacité (4B; 3A);
- des moyens pour faire fonctionner les deux sources de pression (1A, 1B) en opposition de phase; et
- un échangeur de chaleur (2) mettant lesdits premier et second conduits (5A, 5B) en relation d'échange thermique à contre-courant.

2. Réfrigérateur cryogénique suivant la revendication 1, caractérisé en ce que les extrémités chaudes (7A, 7B) des tubes pulsés (3A, 3B) sont reliées

entre elles, de sorte que chaque tube pulsé forme ladite capacité de l'autre tube pulsé.

3. Réfrigérateur cryogénique suivant la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que les deux sources de pression oscillantes sont constituées par un oscillateur à double piston (1). 5
4. Réfrigérateur cryogénique suivant l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'un by-pass étranglé (15A, 15B) relie l'extrémité chaude (7A, 7B) de chaque tube pulsé (3A, 3B) audit conduit associé (5A, 5B). 10
5. Réfrigérateur cryogénique suivant l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que les sources de pression oscillantes (1A, 1B; 1) sont à la température ambiante. 15
6. Réfrigérateur cryogénique suivant l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'au moins un étage de préréfrigération (17A, 17B) est interposé entre chaque source de pression oscillante (1A, 1B) et ledit conduit associé (5A, 5B). 20
25

30

35

40

45

50

55

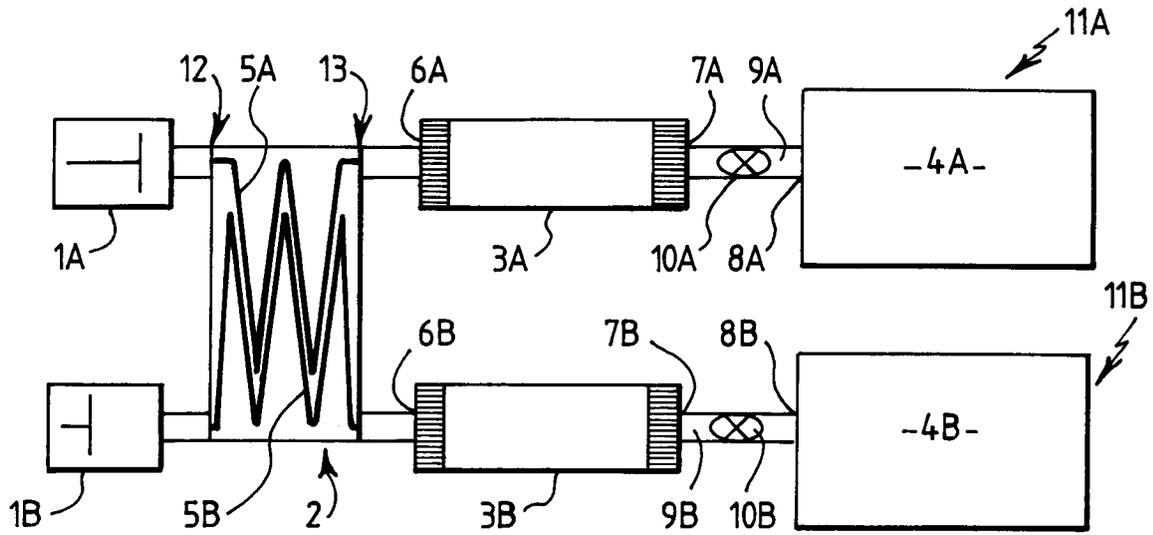


FIG. 1

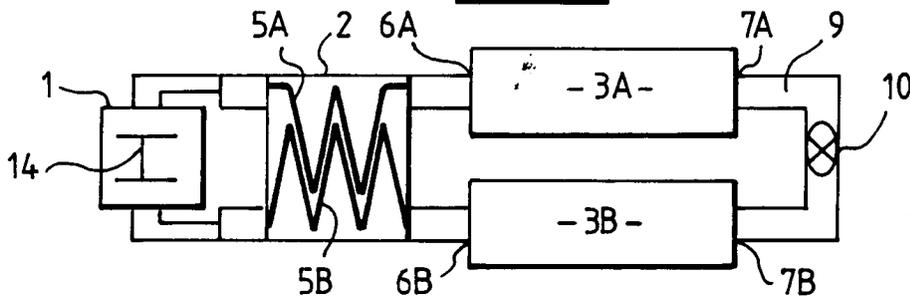


FIG. 2

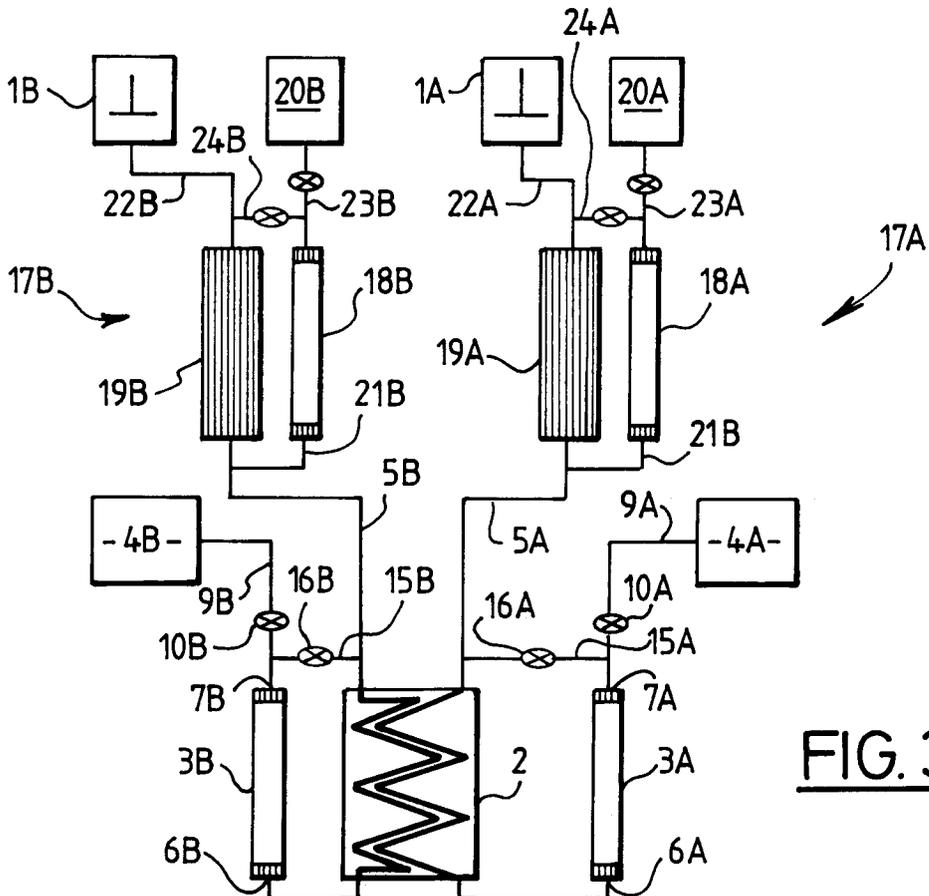


FIG. 3



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande
EP 96 40 2923

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.6)
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 14, no. 545 (M-1054), 4 Décembre 1990 & JP 02 230059 A (DAIKIN), 12 Septembre 1990, * abrégé *	1	F25B9/14
A	--- US 5 275 002 A (INOUE) * colonne 3, ligne 1 - colonne 5, ligne 3; figures 1-6 *	1,3	
A	--- US 5 435 136 A (ISHIZAKI) * colonne 10, ligne 53 - colonne 11, ligne 57; figures 6-9 *	1	
A	--- US 5 412 952 A (OHTANI) * colonne 10, ligne 34 - colonne 12, ligne 33; figures 14-16 *	1	
A	--- CRYOGENICS, vol. 34, no. 4, Avril 1994, GUILFORD,GB, pages 259-262, XP000439356 Y. MATSUBARA AND J.L. GAO: "Novel configuration of three-stage pulse tube refrigerator for temperatures below 4 K" * page 259, colonne de droite, alinéa 1 - page 262, colonne de droite, alinéa 1; figures 1-3 *	2,5,6	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.6) F25B
A	--- US 5 295 355 A (ZHOU) * colonne 3, ligne 31 - colonne 5, ligne 25; figures 1-7 *	4	
A	--- US 5 107 683 A (CHAN) * colonne 2, ligne 49 - colonne 5, ligne 23; figures 1-3 *	6	
A	--- US 5 269 147 A (ISHIZAKI) --- -/--		
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lien de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 16 Mai 1997	Examineur Boets, A
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 (PM/02)



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande
EP 96 40 2923

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.6)
A	US 5 181 383 A (GOTO) ---		
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 96, no. 5, 31 Mai 1996 & JP 08 005174 A (DAIDO HOXAN), 12 Janvier 1996, * abrégé *		
A	EP 0 625 683 A (DAIDO HOXAN) -----		
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.6)
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 16 Mai 1997	Examinateur Boets, A
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 (P/M/02)