



## DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIEE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS (PCT)

<p>(51) Classification internationale des brevets <sup>6</sup> : <b>H05H 7/20</b></p>	<p><b>A1</b></p>	<p>(11) Numéro de publication internationale: <b>WO 99/17592</b> (43) Date de publication internationale: 8 avril 1999 (08.04.99)</p>
<p>(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR98/02068 (22) Date de dépôt international: 28 septembre 1998 (28.09.98) (30) Données relatives à la priorité: 97/12079 29 septembre 1997 (29.09.97) FR (71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE [FR/FR]; 3, rue Michel Ange, F-75794 Paris Cedex 16 (FR). (72) Inventeur; et (75) Inventeur/Déposant (US seulement): MARINI, Jean [FR/FR]; Chemin du Bois Martin, F-78160 Marly-le-Roi (FR). (74) Mandataire: BREVATOME; 25, rue de Ponthieu, F-75008 Paris (FR).</p>		<p>(81) Etats désignés: US, brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).  <b>Publiée</b> <i>Avec rapport de recherche internationale.</i></p>

(54) Title: REINFORCED SUPRACONDUCTIVE MATERIAL, SUPRACONDUCTIVE CAVITY, AND METHODS FOR MAKING SAME

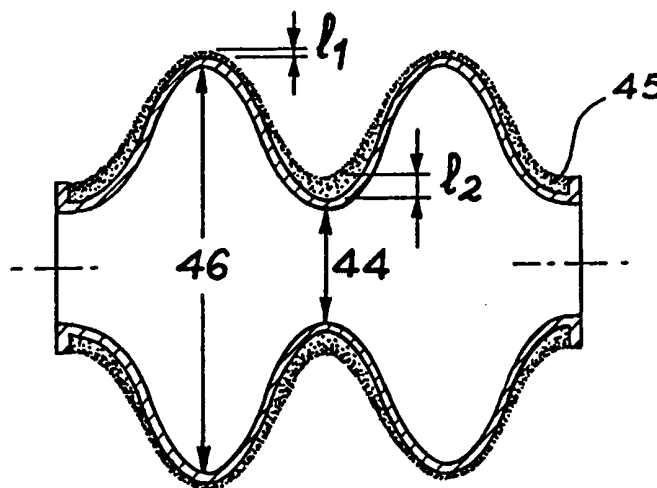
(54) Titre: MATERIAU SUPRACONDUCTEUR RENFORCE, CAVITE SUPRACONDUCTRICE, ET PROCEDES DE REALISATION

## (57) Abstract

The invention concerns a method for making a rigidized structure comprising at least an element with supraconductive properties, and rigidizing means, said method comprising a step consisting in depositing by plasma spraying a layer of material on the surface of said element.

## (57) Abrégé

L'invention a pour objet un procédé de réalisation d'une structure rigidifiée, comportant au moins un élément ayant des propriétés supraconductrices, et des moyens de rigidification, ce procédé comportant une étape de dépôt par projection plasma d'une couche de matériau sur une surface dudit élément.



**UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION**

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	ES	Espagne	LS	Lesotho	SI	Slovénie
AM	Arménie	FI	Finlande	LT	Lituanie	SK	Slovaquie
AT	Autriche	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
AU	Australie	GA	Gabon	LV	Lettonie	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	GB	Royaume-Uni	MC	Monaco	TD	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	GE	Géorgie	MD	République de Moldova	TG	Togo
BB	Barbade	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tadjikistan
BE	Belgique	GN	Guinée	MK	Ex-République yougoslave de Macédoine	TM	Turkménistan
BF	Burkina Faso	GR	Grèce	ML	Mali	TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	MN	Mongolie	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MR	Mauritanie	UA	Ukraine
BR	Brésil	IL	Israël	MW	Malawi	UG	Ouganda
BY	Bélarus	IS	Islande	MX	Mexique	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	NE	Niger	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NL	Pays-Bas	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norvège	YU	Yougoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	NZ	Nouvelle-Zélande	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	République populaire démocratique de Corée	PL	Pologne		
CM	Cameroun	KR	République de Corée	PT	Portugal		
CN	Chine	KZ	Kazakstan	RO	Roumanie		
CU	Cuba	LC	Sainte-Lucie	RU	Fédération de Russie		
CZ	République tchèque	LI	Liechtenstein	SD	Soudan		
DE	Allemagne	LK	Sri Lanka	SE	Suède		
DK	Danemark	LR	Libéria	SG	Singapour		
EE	Estonie						

## MATERIAU SUPRACONDUCTEUR RENFORCE, CAVITE SUPRACONDUCTRICE, ET PROCEDES DE REALISATION

### Domaine technique

5 L'invention concerne la réalisation de structures associant un matériau supraconducteur avec un matériau de renfort mécanique, possédant de bonnes caractéristiques thermiques. Un exemple d'une telle structure est celui de tôles, ou de tubes minces, de  
10 niobium associé(e)s à une couche de rigidification, par exemple en cuivre ou en tungstène.

De telles structures présentent des applications dans le domaine des accélérateurs de particules.

15

### Art antérieur

La figure 1A représente une structure accélératrice d'un accélérateur d'électrons. Une telle structure se présente sous la forme de cellules de  
20 cavité successives 2-1, .... 2-9. Les particules y sont accélérées par une onde radiofréquence générée par un klystron. La longueur L est de 1039 mm pour une fréquence de 1,3 GHz.

La figure 1B représente une structure  
25 accélératrice de protons. Des cellules 2-10, ..., 2-13 en niobium sont plongées dans un bain 3 d'hélium liquide. Une telle structure a un diamètre D de 1,1 m pour une fréquence de 700 MHz.

La forme et les dimensions de ces cavités sont  
30 optimisées en fonction d'un grand nombre de paramètres liés aux performances RF, courants d'obscurité, champ de sillage, etc. La résolution des équations de Maxwell associées aux conditions aux limites sur les parois

permet de définir les valeurs spatiales et temporelles pour les champs électriques et magnétiques dans une telle structure.

Ces champs électriques et magnétiques  
5 contribuent aux effets accélérateurs sur les particules du faisceau, mais aussi aux effets secondaires, notamment à l'échauffement des matériaux et des structures, aux courants d'obscurité, etc...

En particulier, un courant  $j$  induit dans les  
10 parois de la cavité conduit à une perte de puissance haute fréquence.

On distingue aujourd'hui deux types d'accélérateurs : les accélérateurs dits "chauds" réalisés avec des cavités en cuivre, et les  
15 accélérateurs "supraconducteurs" utilisant des cavités en matériau supraconducteur tel que le niobium, que l'on refroidit en-dessous de sa température critique  $T_c$  pour le rendre supraconducteur. La température critique  $T_c$  pour le niobium est de 9,3K, ce qui implique de  
20 refroidir la structure dans un bain d'hélium liquide (à la pression atmosphérique l'hélium est liquide à 4K).

Dans le premier cas, pour les accélérateurs chauds, une grande partie de la puissance électrique fournie par le réseau sert à chauffer l'eau de  
25 refroidissement des structures en cuivre. Dans le cas d'un accélérateur supraconducteur, la plus grande partie de la puissance électrique sert à accélérer le faisceau de particules, ce qui permet de comprendre tout l'intérêt de la supraconductivité en terme de  
30 consommation d'électricité. Néanmoins, une partie faible (mais non nulle) de l'énergie HF est dissipée dans une fine couche de matière supraconductrice appelée couche de LONDON. L'épaisseur typique de la

couche de LONDON est d'environ 100 nm et ne dépend pas de la fréquence, comme c'est le cas pour les courants induits dans un conducteur normal. Cette énergie dissipée permet d'expliquer les variations de la courbe caractéristique d'une cavité supraconductrice  $Q(E_{acc})$ , ou facteur de qualité, en fonction du champ accélérateur. Comme l'énergie dissipée augmente avec le champ accélérateur, la courbe caractéristique suit une pente descendante en fonction du champ.

10 La théorie BCS élaborée par Bardeen, Cooper et Schrieffer en 1957 sur la supraconductivité permet de prévoir la résistance correspondante (dite résistance BCS) et les pertes par effet Joule, qui dépendent de la fréquence et de la température.

15 A cette résistance  $R_{BCS}$ , il convient d'ajouter une résistance résiduelle liée aux défauts de structures, aux atomes interstitiels d'impuretés, aux gaz inclus...

On peut donc, dans une structure de cavités supraconductrices, considérer que l'épaisseur de matériau supraconducteur (par exemple, de niobium), constituant la cavité supraconductrice, joue plusieurs rôles :

1- Le rôle de couche supraconductrice en peau interne, du côté vide de la cavité.

2- Le rôle de dissipateur thermique, pour le reste de l'épaisseur, permettant aux calories, engendrées par les résistance BCS et résiduelles dans la couche de LONDON, de s'écouler vers le bain d'hélium.

30 3- Le rôle de structure mécanique permettant de conserver la forme interne fixant les conditions aux limites au champ électromagnétique qui est créé dans

la structure du tube et dans les cavités accélératrices.

L'optimisation évoquée plus haut permet  
5 d'aboutir à des compromis permettant en général d'optimiser les formes et les caractéristiques RF (ou HF) mais laisse ouvertes les questions de la stabilité mécanique et des propriétés thermiques de telles structures.

10 Lors du fonctionnement d'une machine accélératrice, les conditions mécaniques et géométriques doivent rester stables afin de maintenir la structure des cavités accordée sur la fréquence du klystron. Diverses causes peuvent contrecarrer cette  
15 stabilité de fonctionnement : forces de Lorentz créant une pression dans les cellules et tendant à les déformer, vibrations mécaniques induites par l'extérieur, et notamment induites par les variations de pression du bain d'hélium liquide, etc.

20 Lors des régimes transitoires, lorsque l'on introduit l'onde HF dans les cavités, la structure est soumise aux forces de Lorentz qui ont tendance à la déformer et à la désaccorder. Pour éviter ceci, on est amené à réaliser des structures rigides.

25 Un exemple d'une telle structure rigidifiée est illustré sur la figure 2A. Un tube ondulé 4 est réalisé avec une forte épaisseur de matériau supraconducteur, en général du niobium, ce qui est coûteux. En fait, le tube est un assemblage de parties élémentaires 5, 7, 9,  
30 11 assemblées par des soudures 6, 8, 10.

L'utilisation de niobium épais conduit à utiliser une grande quantité de matériau très cher (entre 1500 francs et 5000 francs le kilo), procédé peu

envisageable pour des machines mettant en oeuvre un grand nombre de cavités.

Une autre structure connue, représentée schématiquement en figure 2B, consiste à réaliser des parties de cavité en matériau 12 d'épaisseur moyenne, à les souder entre elles par des cordons de soudure 16 et à les renforcer par un anneau 14 à la hauteur des iris (régions ou zones de diamètre le plus faible). Par conséquent, pour contrecarrer l'effet des forces de Lorentz, l'utilisation de niobium moins épais oblige à souder des raidisseurs 14, compliquant le processus de fabrication et rendant difficile la maîtrise des dimensions du fait des rétreints après soudures. De plus, une telle technique permet difficilement d'obtenir des dimensions reproductibles.

Une autre technique (figure 2C) consiste à déposer une fine couche 22 de niobium sur un substrat 20 en cuivre de forte épaisseur. Ce procédé permet de résoudre le problème de rigidification de la structure. Mais, la structure obtenue possède des limitations en termes de champ accélérateur qu'il est possible d'atteindre. En effet, pour des raisons liées à la structure de la couche supraconductrice en niobium déposée par "sputtering" sur le substrat en cuivre, les champs électriques maximums susceptibles d'être atteints restent de l'ordre de 10 MV/m. Pour d'autres machines, et en particulier les collisionneurs  $e^+e^-$ , ce champ est nettement insuffisant.

Outre les problèmes mécaniques, se posent également des problèmes thermiques. Les conditions thermiques doivent être maintenues de façon à ce que le niobium reste, en peau interne, en-dessous de la

température critique  $T_c$  et en-dessous du champ critique  $H_c$ . Pour que les conditions thermiques soient maintenues et que le niobium reste supraconducteur dans l'épaisseur de LONDON, il est nécessaire qu'en cas de point chaud sur la surface interne, côté vide de l'accélérateur, les calories puissent s'évacuer rapidement vers le bain d'hélium.

Plusieurs raisons peuvent amener à la création d'un point chaud :

1) - Les pertes HF par effet Joule, dues à la résistance de surface globale et homogène uniformément distribuée et décrite par la théorie BCS et par la résistance résiduelle. Une théorie plus complète faisant intervenir des pertes non quadratiques, présentée par W. Weingarten ("Progress in thin film techniques", CERN-European Laboratory for Particle Physics, Geneva, Switzerland, 7th Workshop on RF superconductivity, Paris, 1995), montre que l'on peut exprimer les pertes supra par la formule suivante, donnant la résistance supraconductrice (mesurée en  $n\Omega/mT$ ) :

$$R_s(B_p, \omega, T, B_{ext}) = \frac{R_0(\omega)}{T} \exp\left(\frac{\Delta}{KT_c}\right) + R_{res}(\omega, B_{ext}) + R_s(\omega, T, B_{ext}) \cdot B_p + \dots \quad (1)$$

Le premier terme décrit les pertes BCS, le second les pertes dues à la résistance résiduelle et le troisième les pertes non quadratiques.

Les pertes correspondant aux deuxième et troisième termes s'expliquent par les inclusions métalliques non supraconductrices telles que le tantale qui, après les processus métallurgiques d'élaboration du niobium, sont encore présentes dans la matrice de

niobium, mais également par les impuretés (oxygène, carbone, ...) dissoutes.

2) - Les pertes HF dues à l'émission de champ et, éventuellement, aussi dues à des émissions d'électrons par effet thermoionique. Au-delà d'un certain champ de surface, des électrons sont, d'après la théorie de Fowler-Nordheim, extraits de la surface. Ils peuvent alors être accélérés par les champs électromagnétiques qui règnent dans la structure.

10 Ces électrons, émis par effet de champ et accélérés par l'onde électromagnétique, peuvent ensuite entrer en collision avec la structure des cavités, à un autre endroit, et dissipent leur énergie cinétique sous forme de chaleur.

15 3) - Les pertes HF diélectriques, au niveau des poussières et contaminants de nature diélectrique qui auraient été laissés à l'intérieur des cavités lors du processus de fabrication.

20 Pour minimiser ces sources de "points chauds", il faut donc mettre en oeuvre du niobium extrêmement pur, travailler à température basse, obtenir des états de surface sans aspérités, et éviter tout dépôt de poussières côté HF.

25 De plus, si on veut travailler à champ accélérateur élevé, et donc en conséquence à fort champ magnétique également au niveau de l'équateur, on ne peut éviter la création de chaleur. Comme l'a montré Padamsee dans "calculations for breakdown induced by large defects in supraconductive niobium activities",  
30 paru dans IEEE Transactions on Magnetics, vol. 19, 1983, même en l'absence de défauts, si l'on atteint localement le champ critique  $H_c$ , le matériau passe de l'état supraconducteur à l'état normal.

En deçà de cette limite, cette chaleur ainsi produite au niveau de la paroi interne de la cavité doit être évacuée, le plus efficacement possible, vers le bain d'hélium, de manière à limiter la montée en  
5 température de la paroi interne de la cavité.

Si la rapidité d'accès à la source froide est insuffisante, une perturbation thermique localisée peut s'étendre et conduire à terme à un emballement de la cavité, appelé "quench" dans le jargon anglo-saxon  
10 (transition de la paroi HF de l'état supraconducteur à l'état normal résistif).

Ainsi un "quench" ou "thermal breakdown" démarre généralement dans une région où existe une plus forte résistance, ou une zone de "non conduction", ou  
15 un défaut ou une particule étrangère en surface du matériau supraconducteur.

Si, localement, au niveau d'un défaut, se crée plus de chaleur que celle qui peut s'écouler en direction du bain d'hélium, la zone voit sa température  
20 augmenter et tendre vers une zone de conductibilité "non supra", qui s'étend ensuite jusqu'à ce que la totalité de l'énergie emmagasinée dans la cavité soit dissipée dans la région chaude.

On comprend ainsi que l'on cherche à obtenir  
25 une grande conductibilité thermique de la paroi de la cavité pour éviter ce phénomène de "thermal breakdown", y compris à de faibles valeurs de champs accélérateurs.

Par ailleurs, la densité de puissance générée par les courants dans la couche de LONDON est  
30 proportionnelle au carré du champ magnétique local  $B_s$ . Or, la valeur du champ magnétique local  $B(s)$ , le long du méridien, présente une valeur maximale obtenue à l'équateur (zone de plus grand diamètre).

A partir de l'équateur, et en direction de l'iris,  $B_s$  s'atténue lentement, puis plus rapidement lorsque l'on passe de l'équateur à l'iris.

Un défaut n'aura donc pas la même nocivité s'il est situé à l'équateur, ou s'il est situé très loin de l'équateur, vers l'iris. De plus, la zone de l'équateur est particulièrement sensible au point de vue des défauts de supraconductivité puisque les courants de Foucault induits au niveau des électrons normaux, en peau interne, seront dans cette zone plus importants du fait de la forte valeur du champ magnétique.

Par conséquent, la "nocivité" d'un défaut n'est pas identique selon sa localisation géographique dans la cavité. Toutes choses égales par ailleurs, situé à proximité de l'équateur, dans une zone où le champ magnétique est maximal, il aura tendance à présenter une plus grande nocivité vis-à-vis du "quençh" que s'il est situé au voisinage de l'iris.

Par contre un défaut de surface, ou très proche de la surface, au voisinage de l'iris sera plus sensible au champ électrique et sera susceptible d'émettre des électrons selon la loi de Fowler-Nordheim, ou même éventuellement (selon la loi de Richardson) tout simplement par effet thermoïonique.

Lorsqu'on réalise des cavités supraconductrices suivant le procédé actuel, mettant en oeuvre des tôles de niobium que l'on emboutit et que l'on soude par faisceau d'électrons par l'extérieur, des défauts sont introduits. Les impuretés se localisent au niveau du bain de fusion, et donc, dans le cas du procédé utilisé aujourd'hui, à l'extrémité inférieure du cordon de soudure, côté vide de la structure.

Comme, de plus, le procédé actuel consiste à réaliser une soudure au niveau de l'équateur et que l'on a vu plus haut que c'est la zone où règne le plus fort champ magnétique, on a par ce procédé toutes les chances de créer un point chaud dans cette région.

Par ailleurs, le niobium étant avide d'oxygène, il faut un très bon vide dans l'enceinte, lorsque l'on effectue les soudures par faisceau d'électrons. Des études ont montré que, durant le processus de soudage, le bain de métal en fusion absorbait l'oxygène de l'enceinte et créait donc localement une zone où la pureté du niobium était dégradée.

Toutes ces considérations montrent les difficultés à surmonter pour réaliser sur le plan industriel, de manière fiable et avec des résultats reproductibles, un objet comportant autant de soudures "mal placées" (du point de vue des défauts "supra") que celles représentées sur les figures 2A ou 2B. Il est par ailleurs difficile de réaliser des conditions de vide reproductibles à des niveaux aussi faibles que  $10^{-9}$  torr lorsque l'on réalise des soudures par faisceau d'électrons.

Les structures actuelles, du type de celles illustrées sur les figures 2A et 2B, mettent en oeuvre un grand nombre de soudures, et ces zones sont particulièrement critiques, surtout celles situées au niveau des équateurs.

De plus, les techniques de soudure pratiquées, ont tendance à concentrer vers l'intérieur (là où est localisée la couche de LONDON) les impuretés qui augmentent, entre autres, la résistance résiduelle.

Pour faire face au phénomène de "quençh", ou emballement thermique de la cavité, suite à

l'apparition d'un point chaud, les structures connues nécessitent d'utiliser des matériaux de grande pureté présentant une conductibilité thermique élevée (correspondant à un RRR au moins supérieur à 200),  
5 c'est-à-dire des matériaux dont le coût de purification vient s'ajouter au coût habituel des matériaux industriels standards (Le RRR, ou encore "Residual Resistance Ratio", est une mesure de la pureté du matériau, faisant intervenir les défauts de structure  
10 et les impuretés microscopiques ou macroscopiques. Il est aussi défini par le rapport entre la résistivité électrique à froid et la résistivité à température ambiante).

Mais, dans le cas du niobium, même si l'on  
15 utilise du niobium de grande pureté, il faut noter que la conductibilité thermique de ce matériau n'est pas très bonne comparée, par exemple, à celle du cuivre ou de l'aluminium. De plus, dans le cas où le flux de chaleur créé par un point chaud ne peut être absorbé  
20 dans l'épaisseur de niobium, il faut noter que la résistance interfaciale niobium/hélium liquide n'est pas négligeable.

Ainsi, les structures et procédés décrits ci-dessus ne permettent pas d'atteindre à la fois la  
25 stabilité mécanique et les conditions thermiques voulues, en particulier pour des champs accélérateurs élevés.

Les documents JP-0 2220399 et JP-0 2220400 (Patent Abstracts of Japan, OEB) proposent une  
30 technique de réalisation particulière de cavités supraconductrices en niobium dont les parois sont recouvertes d'un métal bon conducteur thermique au moyen d'un procédé d'application par projection plasma.

Grace à cette technique on peut réaliser une cavité supraconductrice, comportant une tôle ou un tube en matériau supraconducteur, ayant la forme appropriée et présentant des propriétés thermiques améliorées.

Il demeure cependant le problème de la rigidité des cellules et de la cavité.

Comme évoqué précédemment, la rigidité d'une cavité avec une structure à cellules multiples peut être augmentée en soudant des raidisseurs sous la forme d'anneaux (figure 2B).

Outre les problèmes déjà évoqués des contraintes mécaniques dues aux rétreints des soudures, il apparaît que la présence des anneaux est peu compatible avec la technique de projection plasma.

#### Exposé de l'invention

Un but de la présente invention est de proposer une cavité d'accélérateur et un procédé de fabrication d'une telle cavité permettant de résoudre les problèmes exposés ci-dessus.

Un but est en particulier de proposer une telle cavité d'accélérateur présentant d'excellentes propriétés thermiques et de rigidité mécanique et qui soit d'un coût de réalisation particulièrement faible.

La rigidité de la cavité peut certes être augmentée en appliquant une couche de métal projetée par plasma plus épaisse. Cependant, la réalisation d'une couche de métal épaisse, outre le coût qu'elle représente s'avère être complexe et longue, compte tenu des conditions de projection plasma.

Ainsi, pour atteindre les buts ci-dessus l'invention a plus précisément pour objet une cavité

d'accélérateur de particules à cellules multiples en chapelet, les cellules présentant une région de plus fort diamètre, appelée région d'équateur et des régions d'extrémité de plus faible diamètre appelées iris qui  
5 relie entre elles les cellules, les cellules étant délimitées par une paroi en un matériau ayant des propriétés supraconductrices, qui est recouverte d'au moins une couche de matériau conducteur thermique, caractérisée en ce que la couche de matériau conducteur  
10 thermique présente une épaisseur plus forte dans les régions d'iris que dans la région d'équateur des cellules.

On constate qu'en augmentant simplement l'épaisseur de la couche de matériau conducteur thermique dans les régions d'iris des cellules, il est  
15 possible d'augmenter de façon importante la rigidité mécanique de la cavité. Le caractère non constant de l'épaisseur permet en effet de contrecarrer efficacement les forces de Lorentz qui agissent sur la paroi. Ainsi, la mise en place d'anneaux ou d'autres renforts de rigidité devient superflue.  
20

L'épaisseur plus faible de matériau conducteur thermique dans les régions d'équateur n'est pas préjudiciable à la rigidité.

25 Une quantité de matériau conducteur thermique plus faible peut être mise en oeuvre et le temps d'application de ce matériau peut être réduit. Les coûts de fabrication de la cavité s'en trouvent diminués.

30 De plus, dès lors qu'une meilleure rigidité de la cavité est obtenue, l'épaisseur de la couche de matériau supraconducteur peut également être réduite. Ceci contribue encore à une diminution des coûts.

Une cavité conforme à l'invention peut être mise en oeuvre notamment pour des accélérateurs d'électrons ou de protons.

Comme indiqué précédemment, le matériau  
5 conducteur thermique peut être formé par projection plasma.

La projection plasma permet d'obtenir une structure poreuse réalisant une interface dont la surface totale développée peut être plus importante que  
10 celle obtenue dans l'art antérieur. Cet accroissement de la surface d'échange permet d'améliorer les échanges thermiques entre l'hélium liquide et la source éventuelle de chaleur qui pourrait se développer de manière locale.

15 L'augmentation de la surface d'échange entre matériaux permet de réduire la résistance de Kapitza, ou résistance thermique interfaciale, qui est une des propriétés physiques qui déterminent les performances thermiques de la structure supraconductrice.

20 Le procédé de revêtement par projection plasma permet, suivant la taille des particules constitutives des poudres, et suivant les réglages de la torche plasma, d'obtenir des couches poreuses dont on peut ajuster la porosité.

25 En dehors de l'avantage thermique déjà explicité, une telle couche, tout en rigidifiant la structure, permet en outre d'amortir efficacement les vibrations de la peau corruguée du matériau supraconducteur.

30 Dans le cas où le matériau supraconducteur est du niobium, on peut encore accroître la surface d'échange en projetant avantageusement sur la face externe de la structure une fine couche de niobium,

avant de projeter le cuivre ou le second matériau rigidifiant la structure. De plus, pour faciliter les échanges thermiques, la couche de matériau conducteur thermique peut être recouverte d'une couche d'un  
5 matériau présentant une impédance acoustique plus faible que celle du matériau conducteur thermique.

On peut en effet améliorer la résistance de Kapitza entre le cuivre (ou le matériau déposé par plasma) et l'hélium liquide en projetant par exemple  
10 une couche d'aluminium réalisant l'adaptation acoustique entre deux éléments, l'un solide de forte impédance acoustique, l'autre liquide de faible impédance acoustique.

Dans le cas où la forme des cellules le permet  
15 (c'est-à-dire dans le cas où le rapport entre le diamètre à l'équateur et le diamètre de l'iris n'est pas trop élevé), on peut former la cavité à partir d'un tube sans soudure que l'on déforme par un procédé connu tel que l'hydroformage, le dudgeonnage, le formage à  
20 chaud, le formage par explosion, le magnétoformage, ... Une fois obtenu le tube avec ses ondulations, au lieu de souder un anneau extérieur, comme dans l'art antérieur (figure 2B), on rigidifie la structure en projetant extérieurement de la poudre, par  
25 exemple de cuivre, sur la surface externe. On peut aussi utiliser du tungstène ou tout autre matériau possédant de bonnes caractéristiques thermiques.

Dans le cas où les dimensions des cavités sont telles que l'on ne peut pas mettre en oeuvre un procédé  
30 de déformation de tube sans soudure sans obtenir de déchirement de métal, on peut partir d'éléments de tôle mince emboutis que l'on raccorde par soudures réalisées par faisceau laser ou par faisceau d'électrons suivant

les techniques connues. Du fait du risque important que présente une soudure au niveau de l'équateur, on peut avantageusement la déporter à un autre endroit.

Une fois obtenue la structure avec ses  
5 ondulations, constituant les cellules successives, on rigidifie extérieurement l'ensemble par projection du matériau conducteur thermique par plasma de la façon décrite ci-dessus.

On entend par matériau conducteur thermique un  
10 matériau possédant de bonnes caractéristiques thermiques permettant d'évacuer un "quench". Le cuivre ou le tungstène sont par exemple de bons candidats.

L'invention a également pour objet un procédé  
15 de réalisation d'une cavité d'accélérateur comprenant une pluralité de cellules avec des régions d'équateur de plus fort diamètre et des régions d'iris de plus faible diamètre, et délimitées par une paroi en un matériau présentant des propriétés supraconductrices,  
20 dans lequel on forme une couche de matériau conducteur thermique à la surface de ladite paroi par projection plasma. Conformément à l'invention, on projette le matériau conducteur thermique de façon à former une couche plus épaisse dans les régions d'iris que dans  
25 les régions d'équateur.

#### Brève description des figures

D'autres caractéristiques et avantages de  
l'invention apparaîtront mieux à la lumière de la  
30 description qui va suivre. Cette description porte sur les exemples de réalisation, donnés à titre explicatif et non limitatif, en se référant à des dessins annexés sur lesquels :

- Les figures 1A et 1B, déjà décrites, représentent des cavités supraconductrices connues, pour accélérateur d'électrons ou de protons.

5 - Les figures 2A à 2C, déjà décrites, représentent des structures supraconductrices connues, rigidifiées.

- La figure 3 représente un procédé de projection pas plasma d'un matériau pour la réalisation d'une cavité conforme à l'invention.

10 - La figure 4 représente une structure de cavité en niobium avec soudures déportées par rapport à l'équateur.

15 - La figure 5 représente une structure de cavité selon l'invention, avec revêtement d'épaisseur variable.

#### Exposé détaillé de modes de réalisation de l'invention

Un procédé de réalisation d'une cavité, conforme à l'invention, met en oeuvre un élément, par exemple une tôle ou un tube mince, en un matériau supraconducteur, par exemple en niobium, d'épaisseur inférieure ou égale à 1 mm (par exemple : 0,5 mm, ou quelques dixièmes de mm) que l'on cherche à rigidifier par un revêtement extérieur. En fait, on réalise une projection par plasma, sur la surface extérieure de l'élément en matériau supraconducteur. Les procédés de projection de poudre par technique plasma sont par exemple décrits dans l'article de M. DUCOS intitulé "Revêtement par projection thermique" paru dans 20 Technique de l'Ingénieur, volume M5, 1645, pages 1-23. L'article de F. Brossa et al. Intitulé "Plasma Spraying, A Versatile Coating Technique" paru dans 25 Advanced Techniques for Surface Engineering, W. Gisoler 30

and H.A. Jehn, Editors, 1992, décrit également cette technique.

La structure obtenue comporte donc l'élément choisi, par exemple une tôle, ou un tube, recouvert  
5 d'un matériau qui a été projeté par plasma et qui présente les caractéristiques décrites dans l'article de M. DUCOS cité ci-dessus (voir en particulier §2.2 de ce document). En particulier, le revêtement présente une certaine porosité. C'est le cas notamment pour un  
10 revêtement de cuivre ou de tungstène déposé sur une tôle ou un tube mince de niobium. Cette porosité permet, dans le cas d'une application à une cavité supraconductrice, un refroidissement plus efficace. En effet, la cavité est plongée dans un bain d'hélium  
15 liquide et celui-ci, du fait de ses propriétés, peut aisément entrer dans les porosités du matériau déposé. Il en résulte un refroidissement plus efficace de la structure.

Dans le cas où la forme de la cavité le permet,  
20 on peut la réaliser à partir d'un tube sans soudure que l'on déforme, par un procédé connu tel que par exemple l'hydroformage, ou l'hydroformage avec flambage. On peut aussi utiliser le formage à chaud ou le formage par explosion.

25 La figure 3 représente une structure mince ondulée en niobium 30, sur laquelle on effectue un revêtement par projection plasma à l'aide d'une torche, ou d'un pistolet, 32. Une torche plasma, ou pistolet plasma, est décrite dans l'article de M. DUCOS déjà  
30 cité ci-dessus. On peut utiliser par exemple un matériel du type "Sulzer-Metco".

On peut observer sur la figure 3 que la cavité définie par la paroi en niobium présente une succession

de cellules en chapelet avec une symétrie de révolution.

Les cellules présentent chacune une région d'équateur 46 de plus grand diamètre et des régions  
5 d'iris 44 de plus faible diamètre.

Les régions d'iris 44 relient entre elles les cellules.

Dans le cas où les dimensions des cavités sont telles que l'on ne peut pas mettre en oeuvre un procédé  
10 de déformation de tube sans soudure, sous peine d'obtenir un déchirement du métal, on partira plutôt de tôles minces embouties que l'on raccordera par soudures réalisées par faisceau laser ou par faisceau d'électrons suivant les techniques connues.  
15 Avantagement, comme illustré sur la figure 4, les soudures 34, 36, 38, 40 ne sont pas réalisées au niveau des régions d'équateur, mais sont déportées de part et d'autre de l'équateur. Conformément à l'invention, la structure de la figure 4 est destinée ensuite à être  
20 revêtue d'un revêtement extérieur par projection plasma, comme décrit ci-dessus.

Le matériau projeté peut être du cuivre, ou du tungstène, ou un mélange de poudres ou de matériaux permettant de réaliser une couche thermique poreuse. On  
25 peut aussi, par exemple, réaliser une couche progressive Cu-Al, dans le cas d'un dépôt réalisé sur du niobium : le cuivre est alors déposé en contact avec le niobium, avec lequel il présente une bonne impédance acoustique, puis, au fur et à mesure que l'on s'éloigne  
30 du niobium, on se rapproche d'une composition en aluminium pur, l'aluminium présentant une impédance acoustique proche de celle de l'hélium. L'ensemble présente alors une impédance acoustique évoluant

régulièrement, depuis celle du niobium jusqu'à celle de l'hélium liquide dans lequel la cavité est plongée.

On peut aussi, en variante, réaliser un premier dépôt de cuivre, puis y projeter une couche d'aluminium réalisant l'adaptation acoustique entre la couche de cuivre et l'hélium.

Conformément à l'invention on dépose localement des couches plus importantes. Comme illustré sur la figure 5, on peut par exemple déposer, au voisinage de l'iris 44 d'une structure corruguée, une couche conductrice thermique 45 plus importante qu'au niveau de l'équateur 46 de cette même structure. Si  $L_2$  désigne l'épaisseur de la couche au niveau de l'iris et  $L_1$  l'épaisseur de la couche au niveau de l'équateur, on a :  $L_2 > L_1$ , par exemple  $L_2 = 2L_1$ .

Comme le montre la figure, l'épaisseur de la (ou des) couche(s) peut varier continûment entre les valeurs  $L_1$  et  $L_2$ .

Les valeurs numériques de  $L_1$  et  $L_2$  sont adaptées aux dimensions de la cavité. On peut indiquer à titre d'exemple des valeurs telles que  $1 \text{ mm} < L_1 < L_2 < 5 \text{ mm}$ .

La structure selon l'invention permet d'obtenir une rigidification, c'est-à-dire un renfort mécanique, d'une structure supraconductrice. En particulier, dans le cas d'une cavité pour accélérateur de particule, une bonne stabilité mécanique est obtenue vis-à-vis des forces de Lorentz. L'accélérateur comporte alors un tube présentant des ondulations, ayant la forme représentée sur la figure 1A ou 1B, ce tube en matériau supraconducteur étant renforcé par une couche de matériau déposé par plasma, comme décrit ci-dessus. L'accélérateur comporte en outre des moyens pour

introduire une onde radiofréquence (un klystron), un conteneur d'hélium liquide, et les moyens appropriés pour générer un champ électrique accélérateur.

L'invention permet également d'améliorer les propriétés thermiques du matériau supraconducteur. Les propriétés physiques qui déterminent les performances thermiques de l'élément supraconducteur et, donc, dans le cas de cavités pour accélérateurs, de l'épaisseur constitutive de la structure des cavités, en terme de réserve d'enthalpie disponible et d'accès à la source froide, sont :

- la conductivité thermique  $\lambda$  en W/ mK,
- la chaleur spécifique volumique  $\rho C_v$  où  $\rho$  et  $C_v$  désignent respectivement la masse volumique et la chaleur spécifique à volume constant,
- la résistance thermique interfaciale entre matériaux, appelée aussi résistance de Kapitza  $R_K$ . Cette résistance traduit l'effet d'un saut de température, au niveau des interfaces, en présence d'un flux de chaleur. On peut aussi parler de conductibilité interfaciale  $h_K$  ( $R_K = \frac{1}{h_K}$ ).

En ce qui concerne ce dernier paramètre  $h_K$ , on peut dire que la résistance thermique interfaciale entre deux matériaux dépend du couplage thermique lié aux phonons acoustiques dans les milieux situés de part et d'autre de l'interface. Le couplage thermique est d'autant moins bon qu'il y a désadaptation acoustique entre les deux milieux.

En ce qui concerne le flux de chaleur lié aux phonons, on peut montrer que celui-ci dépend, au niveau d'une interface, de la surface d'échange entre les deux interfaces. Plus la surface d'échange augmente, plus le

flux de chaleur augmente. La structure de revêtement selon l'invention, qui permet de réaliser un revêtement poreux, donc présentant une surface d'échange importante, permet donc bien d'améliorer les échanges thermiques entre l'élément en matériau supraconducteur, par exemple le tube, ou la tôle, de niobium, et son revêtement extérieur. Dans le cas d'une cavité pour accélérateur, l'écoulement efficace de la chaleur permet d'assurer un fonctionnement thermiquement stable de la cavité, sans dégradation sensible des caractéristiques HF, des champs électriques accélérateurs  $E_{acc}$  et du facteur de qualité Q.

De même, on cherchera à avoir, du côté extérieur au revêtement, un matériau solide présentant une impédance acoustique faible, afin de diminuer la résistance interfaciale au niveau du bain d'hélium. C'est pour cette raison qu'un dépôt d'aluminium, ou d'un matériau de type époxy, peut avantageusement être réalisé par dessus un revêtement de cuivre ou de tungstène.

Un matériau qui améliore la résistance de Kapitza présente par ailleurs, de préférence, une bonne conductibilité thermique. C'est le cas de l'aluminium, mais ce n'est pas le cas des résines époxy.

## REVENDEICATIONS

1. Cavité d'accélérateur de particules à cellules multiples, dans lequel les cellules présentent une région de plus fort diamètre, appelée région d'équateur (46) et des régions d'extrémité de plus faible diamètre appelées régions d'iris (44) qui relie entre elles les cellules, les cellules étant délimitées par une paroi en un matériau ayant des propriétés supraconductrices qui est recouverte d'au moins une couche de matériau conducteur thermique, caractérisée en ce que la couche de matériau conducteur thermique présente une épaisseur plus forte dans les régions d'iris que dans les régions d'équateur des cellules.
2. Cavité selon la revendication 1, dans laquelle la couche de matériau conducteur thermique présente une épaisseur qui varie continûment entre une première valeur  $L_1$  aux régions d'équateur et une deuxième valeur  $L_2$  aux régions d'iris, la première valeur  $L_1$  étant inférieure à la deuxième valeur  $L_2$ .
3. Cavité selon la revendication 2, dans laquelle :  $1 \text{ mm} < L_1 < L_2 < 5 \text{ mm}$ .
4. Cavité selon la revendication 1, dans laquelle le matériau conducteur thermique présente une structure poreuse.
5. Cavité selon la revendication 1, dans laquelle le matériau conducteur thermique est choisi parmi le cuivre, le tungstène ou un alliage progressif cuivre-aluminium.
6. Cavité selon la revendication 1, dans laquelle la paroi est formée d'une pluralité d'éléments assemblés par soudure.

7. Cavité selon la revendication 1, dans laquelle la couche de matériau conducteur thermique est recouverte d'une couche d'un matériau présentant une impédance acoustique plus faible que celle du matériau  
5 conducteur thermique.

8. Cavité selon la revendication 1, dans lequel le matériau ayant des propriétés supraconductrices est du niobium (Nb).

9. Procédé de réalisation d'une cavité  
10 d'accélérateur comprenant une pluralité de cellules ayant des régions d'équateur de plus fort diamètre et des régions d'iris de plus faible diamètre, et délimitées par une paroi en un matériau présentant des propriétés supraconductrices, dans lequel on forme une  
15 couche de matériau conducteur thermique à la surface de ladite paroi par projection plasma, caractérisé en ce que l'on projette le matériau conducteur thermique de façon à former une couche plus épaisse dans les régions d'iris que dans les régions d'équateur.

20 10. Procédé selon la revendication 9, dans lequel on forme un matériau conducteur thermique poreux.

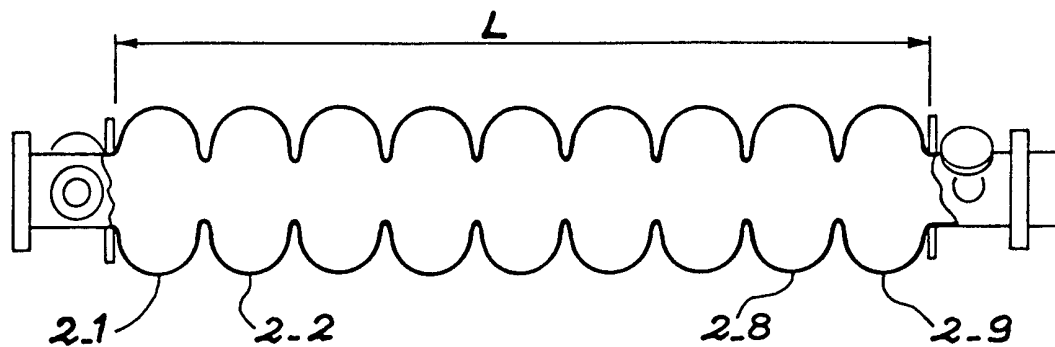


FIG. 1A

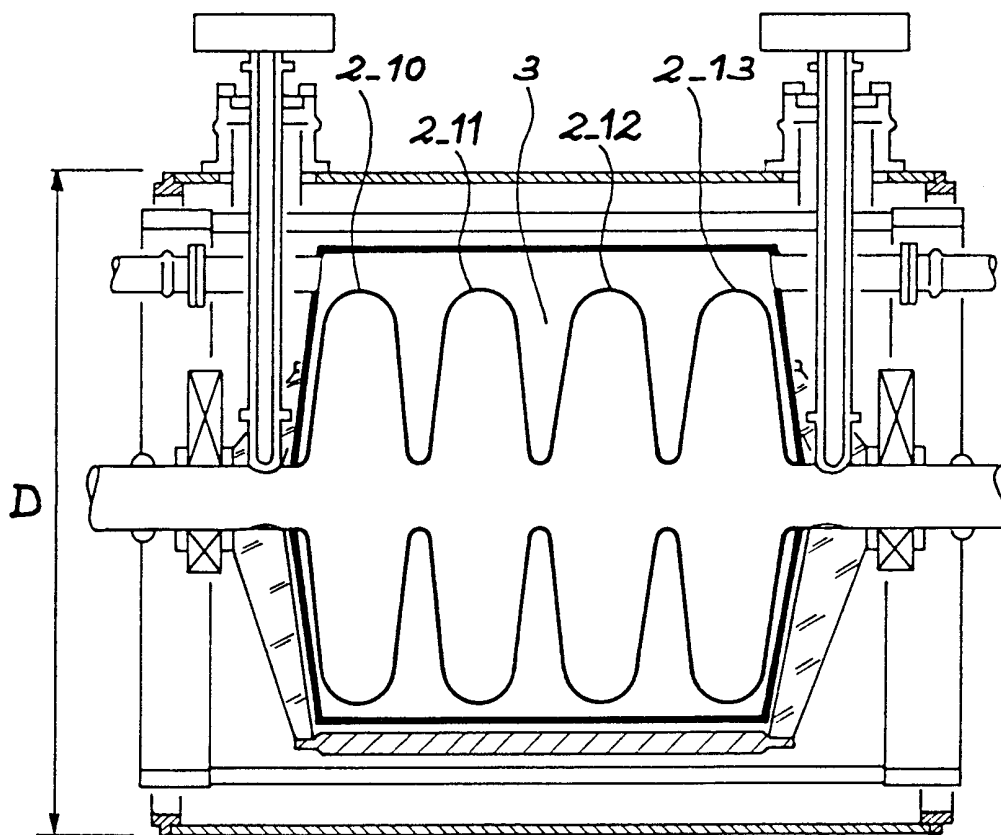


FIG. 1B

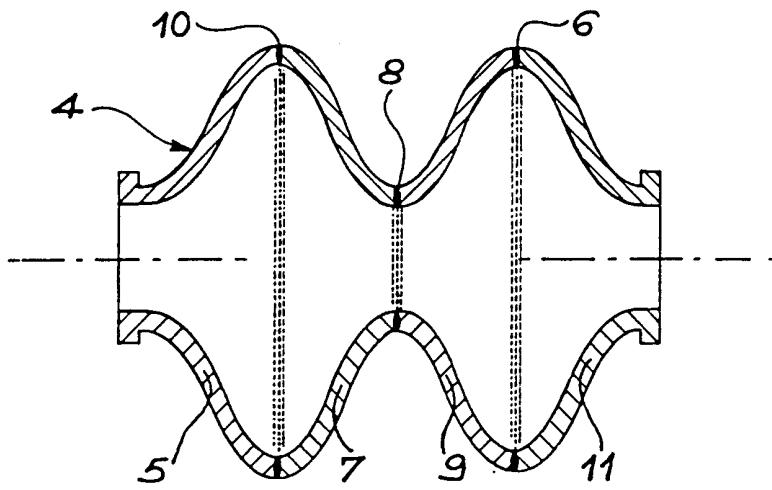


FIG. 2A

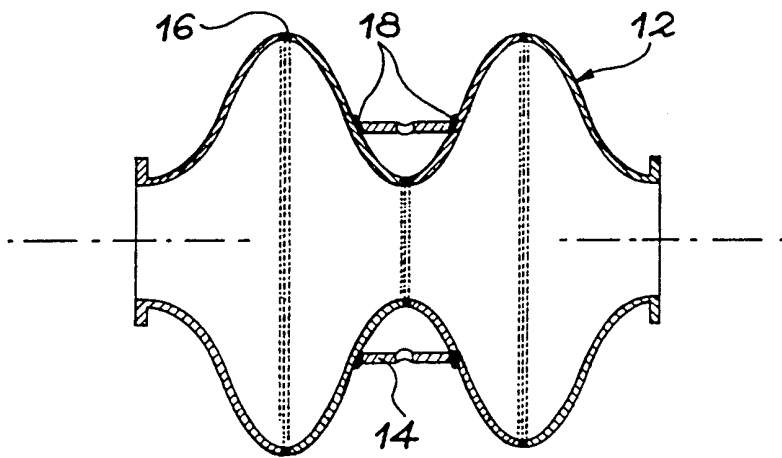


FIG. 2B

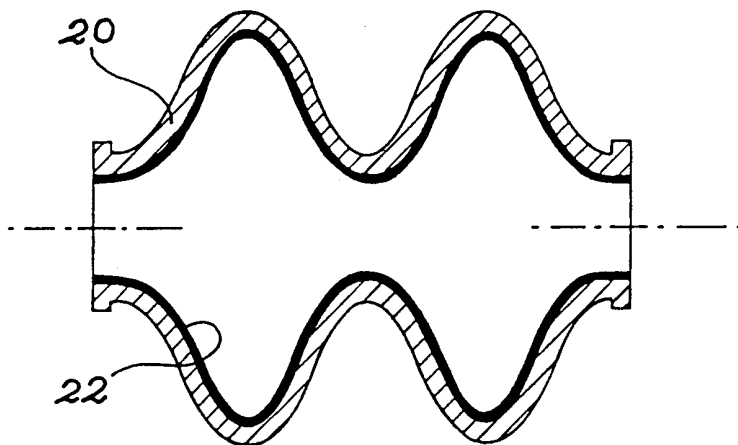
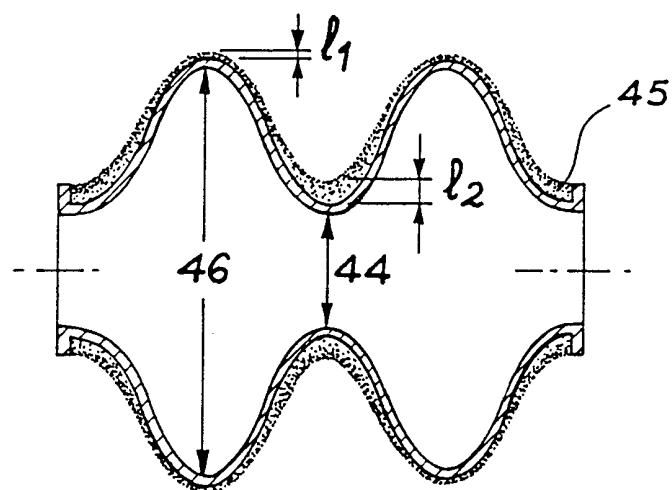
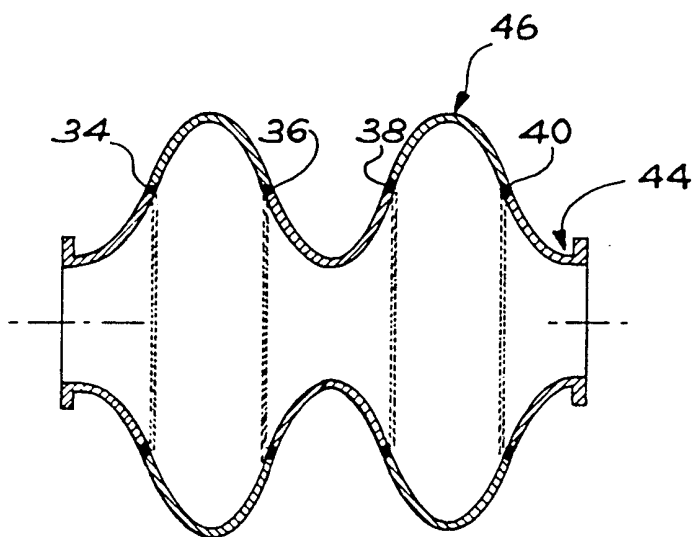
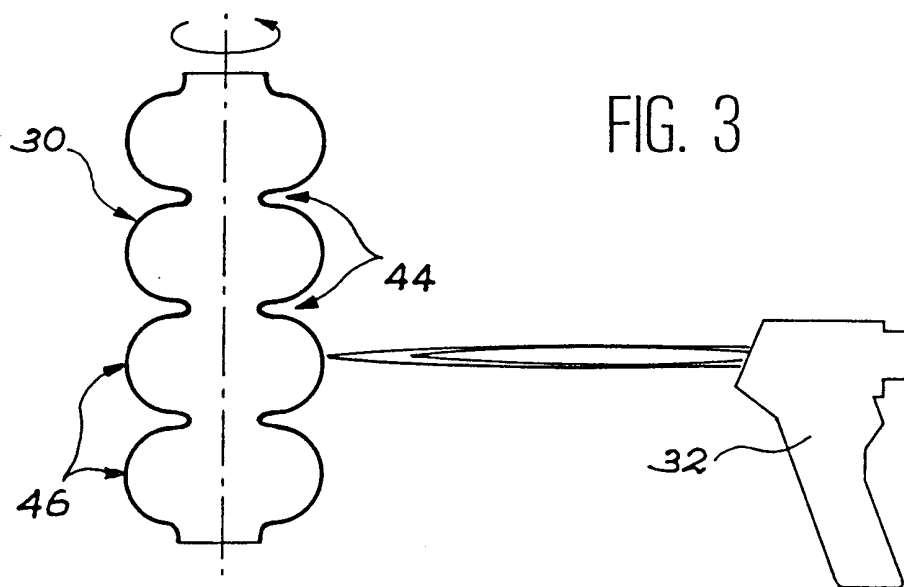


FIG. 2C



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 98/02068

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC 6 H05H7/20				
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC				
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>				
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 6 H05H				
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched				
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)				
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>				
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.		
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 014, no. 524 (E-1003), 16 November 1990 & JP 02 220400 A (FURUKAWA ELECTRIC CO LTD:THE), 3 September 1990 cited in the application see abstract	1		
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 014, no. 524 (E-1003), 16 November 1990 & JP 02 220399 A (FURUKAWA ELECTRIC CO LTD:THE), 3 September 1990 cited in the application see abstract	5,8		
--- -/--				
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.				
<input type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.				
* Special categories of cited documents :				
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none; vertical-align: top;">                     "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance                      "E" earlier document but published on or after the international filing date                      "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)                      "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means                      "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed                 </td> <td style="width: 50%; border: none; vertical-align: top;">                     "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention                      "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone                      "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.                      "&amp;" document member of the same patent family                 </td> </tr> </table>			"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "&" document member of the same patent family
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "&" document member of the same patent family			
Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report			
16 December 1998	28/12/1998			
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer  Capostagno, E			

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/FR 98/02068

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>OZAKI M ET AL: "NB/CU SUPERCONDUCTING RF CAVITY MADE BY A NEW METHOD" NUCLEAR INSTRUMENTS &amp; METHODS IN PHYSICS RESEARCH, SECTION - A: ACCELERATORS, SPECTROMETERS, DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT, vol. A284, no. 2/03, 1 December 1989, pages 286-292, XP000085546 see page 286, left-hand column, paragraph 1 - right-hand column, paragraph 2</p> <p style="text-align: center;">---</p>	6
A	<p>PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 012, no. 148 (C-493), 7 May 1988 &amp; JP 62 263956 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD), 16 November 1987 see abstract</p> <p style="text-align: center;">---</p>	1,5
A	<p>J. SUSTA: "Development in fabrication methods" PROCEEDINGS OF THE 2ND WORKSHOP ON RF SUPERCONDUCTIVITY - DESY M-84-13, July 1984, pages 597-610, XP002067766 CERN, GENEVA see page 599; table see page 602, paragraph 4.3</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1,5

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Der. e Internationale No

PCT/FR 98/02068

## A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

CIB 6 H05H7/20

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

## B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 6 H05H

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

## C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 014, no. 524 (E-1003), 16 novembre 1990 & JP 02 220400 A (FURUKAWA ELECTRIC CO LTD:THE), 3 septembre 1990 cité dans la demande voir abrégé	1
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 014, no. 524 (E-1003), 16 novembre 1990 & JP 02 220399 A (FURUKAWA ELECTRIC CO LTD:THE), 3 septembre 1990 cité dans la demande voir abrégé	5,8



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

° Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

16 décembre 1998

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

28/12/1998

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentiaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Capostagno, E

1

**RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE**

De. Je Internationale No  
PCT/FR 98/02068

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie	Identification des documents cités. avec le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>OZAKI M ET AL: "NB/CU SUPERCONDUCTING RF CAVITY MADE BY A NEW METHOD"                      NUCLEAR INSTRUMENTS &amp; METHODS IN PHYSICS RESEARCH, SECTION - A: ACCELERATORS, SPECTROMETERS, DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT,                      vol. A284, no. 2/03, 1 décembre 1989,                      pages 286-292, XP000085546                      voir page 286, colonne de gauche, alinéa 1                      - colonne de droite, alinéa 2</p> <p style="text-align: center;">---</p>	6
A	<p>PATENT ABSTRACTS OF JAPAN                      vol. 012, no. 148 (C-493), 7 mai 1988                      &amp; JP 62 263956 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD), 16 novembre 1987                      voir abrégé</p> <p style="text-align: center;">---</p>	1,5
A	<p>J. SUSTA: "Development in fabrication methods"                      PROCEEDINGS OF THE 2ND WORKSHOP ON RF SUPERCONDUCTIVITY - DESY M-84-13,                      juillet 1984, pages 597-610, XP002067766                      CERN, GENEVA                      voir page 599; tableau                      voir page 602, alinéa 4.3</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1,5