



CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **703 393 B1**

(51) Int. Cl.: **H01P 3/12** (2006.01)
H01P 11/00 (2006.01)

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein
Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

(12) **FASCICULE DU BREVET**

(21) Numéro de la demande: 00715/07

(22) Date de dépôt: 01.05.2007

(30) Priorité: 05.05.2006 FR 06 04051

(24) Brevet délivré: 13.01.2012

(45) Fascicule du brevet publié: 13.01.2012

(73) Titulaire(s):
THALES, 45, rue de Villiers
92526 Neuilly sur Seine (FR)

(72) Inventeur(s):
Jean-François Jarno, 92160 Antony (FR)
Christian Brillinsky, 92200 Neuilly sur Seine (FR)

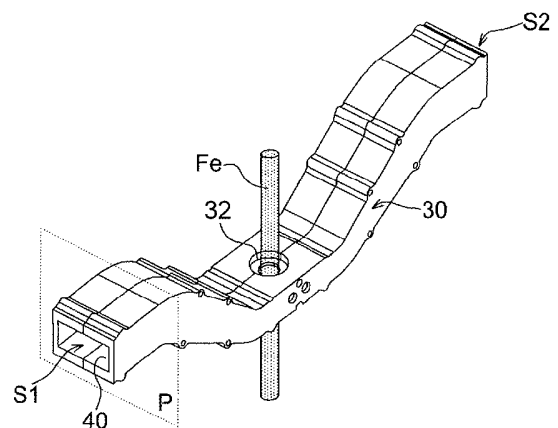
(74) Mandataire:
Kirker & Cie S.A., 122, rue de Genève Case postale 324
1226 Geneve-Thônex (CH)

(54) **Guides pour ondes électromagnétiques et procédé de fabrication de ces guides.**

(57) L'invention concerne des dispositifs de guidage pour ondes électromagnétiques ou guides ($f < 10$ THz), et des procédés de fabrication de ces guides qui comportent au moins un corps (30) supportant au moins une paroi active (40).

Le corps (30) du guide est constitué à partir d'un volume d'un matériau céramique choisi parmi les suivants: Carbures de Silicium, Nitrure d'aluminium, Nitrures de Bore et notamment les variétés cubique 3C et hexagonal 2H du Nitrure de Bore, Diamant, Oxyde de béryllium, ou des assemblages desdits matériaux.

Applications: guides d'onde, cavités de filtrage, réflecteurs et antennes pour ondes radiofréquences et hyperfréquences, horloges atomiques, accélérateurs de particules.



Description

[0001] L'invention concerne des dispositifs de guidage pour ondes électromagnétiques de fréquence inférieure à 10 térahertz.

[0002] Par dispositif de guidage, nous entendons tout dispositif destiné à contrôler la propagation d'ondes électromagnétiques. Ces dispositifs englobent, en particulier: les guides d'ondes, les cavités électromagnétiques, les réflecteurs, les diffuseurs, les antennes, les filtres, les atténuateurs.

[0003] Certains de ces dispositifs de guidage n'assurent pas seulement le contrôle de la propagation d'ondes électromagnétiques mais peuvent aussi mettre en œuvre des faisceaux d'électrons ou d'autres particules, dotées ou non d'une charge électrique. C'est le cas, en particulier, de tous les tubes électroniques et de presque tous les accélérateurs de particules.

[0004] Dans la suite de ce texte, pour une notation plus compacte, et de manière différenciée par rapport à l'acception usuelle du terme «guide», nous appellerons simplement «guide» tout dispositif de guidage au sens où nous l'avons défini ci-dessus.

[0005] Un exemple particulier de guide au sens où nous l'entendons est celui des cavités pour horloges atomiques de haute précision. Dans cet exemple, la cavité est constituée d'un seul corps, de forme complexe et qui comprend plusieurs trous.

[0006] Les fig. 1a et 1b montrent un exemple particulier d'une cavité mise en œuvre pour la réalisation d'une horloge atomique. Une onde hyperfréquence est introduite par un orifice d'accès 4. Cette onde interagit avec un jet de césium (J_c) qui traverse la cavité et qui est introduit par une ouverture 6.

[0007] Dans tous les guides, le confinement des ondes est obtenu par la mise en place, dans l'espace, d'objets matériels appelés «corps». Comme tout objet matériel, un corps occupe un volume qui est limité par une ou plusieurs surfaces fermées. Le voisinage d'une telle surface fermée est appelé «paroi» du corps.

[0008] La particularité d'un corps d'un guide est qu'au moins une partie de la surface de ses parois est en interaction directe avec les ondes électromagnétiques guidées ou confinées, et doit de ce fait être dotée de propriétés électromagnétiques contrôlées.

[0009] La partie d'une paroi, qui est en interaction directe avec les ondes électromagnétiques guidées ou confinées, et qui doit être dotée de propriétés électromagnétiques contrôlées, est appelée partie «active» de la paroi. Dans la suite, nous appellerons «paroi active», une partie «active» d'une paroi d'un corps d'un guide.

[0010] Ce sont les propriétés géométriques et électromagnétiques des parois actives qui conditionnent les propriétés électromagnétiques du guide.

[0011] Deux types de caractéristiques de ces parois actives conditionnent directement le comportement électromagnétique du guide:

- (1) leur forme géométrique,
- (2) leur réflectivité vis à vis des ondes électromagnétiques,

[0012] Dans les applications les plus exigeantes, on recherche un contrôle très précis de la propagation des ondes électromagnétiques, ce qui impose de maîtriser très précisément la forme géométrique des parois actives du guide.

[0013] Selon les applications, on va rechercher des réflectivités différentes au niveau des parois actives.

[0014] Par exemple, pour un atténuateur, on va rechercher une absorption des ondes dans la paroi active.

[0015] Cependant, pour la plupart des applications, en particulier pour un guide d'onde, au sens usuel du terme, pour une cavité électromagnétique, pour un réflecteur, on cherche le plus souvent à ce que la paroi active soit aussi réfléchissante que possible vis à vis des ondes, sans absorption de l'énergie de l'onde, ce qui impose que la conductivité électrique du corps au voisinage de la paroi soit aussi forte que possible aux fréquences qui correspondent aux ondes présentes dans le guide en fonctionnement.

[0016] Plus précisément, pour ces types de guide, que nous appellerons «à faible absorption», il faut assurer au contact direct des ondes électromagnétiques, une conductivité électrique optimale du matériau conducteur qui constitue la paroi active, sur une épaisseur égale à quelques «épaisseurs de peau» des composantes les plus pénétrantes (vis-à-vis des parois) de l'onde que l'on souhaite faire résider ou transiter dans le guide.

[0017] Par exemple, pour un guide destiné à être utilisé à température ambiante et à des fréquences proches de 10 GHz, et dont les parois sont en cuivre, l'épaisseur de peau est d'une fraction de micromètre et il suffira de moins de 10 micromètre de cuivre sur la paroi pour approcher à mieux que 99% le coefficient de qualité d'une cavité constituée de cuivre massif.

[0018] Dans les applications concrètes des guides, la fonctionnalité principale de contrôle de la propagation des ondes électromagnétiques n'est pas la seule à intervenir dans la spécification et la conception du guide. Des nombreuses autres contingences doivent être prises en compte.

[0019] Les critères additionnels les plus courants concernent les points suivants:

- le volume et la masse totale du guide,
- sa résistance aux agressions mécaniques, en particulier les accélérations et vibrations, les chocs, les contraintes,
- sa résistance aux agressions thermiques, en particulier les montées en températures lors de traitements thermiques, les cyclages en température lors du fonctionnement,
- sa résistance aux agressions chimiques, en particulier aux atmosphères corrosives,
- la conductivité électrique de volume ou de certaines zones de des parois inactives des corps,
- la facilité et le coût de la fabrication du guide,
- sa pérennité fonctionnelle dans l'environnement applicatif visé,
- sa capacité à évacuer la chaleur dissipée, très souvent essentiellement au niveau des parois actives.

Etat de l'art actuel:

[0020] Une solution habituelle pour la réalisation d'un guide réside dans l'utilisation des corps en métal homogène à forte conductivité électrique.

[0021] Dans le cas de guides pour ondes radiofréquences ou hyperfréquences, on utilise souvent soit un corps métallique massif moulé ou évidé, soit un corps constitué d'une feuille métallique dont la face interne définit la «paroi activé» ou «paroi chaude» de la cavité.

[0022] La solution la plus classique consiste à réaliser le ou les corps dans un métal homogène à forte conductivité électrique, comme le cuivre, l'argent, l'or ou l'aluminium, et même à faire appel, dans certains cas, à des matériaux supraconducteurs.

[0023] Cette solution comporte deux premiers inconvénients principaux:

- si le métal est massif, le corps va être lourd,
- si le métal est fin, le corps va être facilement déformable car les métaux à forte conductivité électrique sont, sans exception, particulièrement mous. Il est alors nécessaire de mettre en place un dispositif spécial pour contrôler l'évolution de la géométrie des parois actives dans les conditions d'utilisation du guide.

[0024] Autres inconvénients: l'or et l'argent sont très onéreux; l'aluminium s'oxyde facilement.

[0025] Tous ces métaux sont facilement déformables, ce qui peut poser des problèmes si le guide subit des accélérations importantes ou un stress mécanique, par exemple lors du décollage ou atterrissage d'un porteur aéronautique ou fusée, pour un guide destinée à être utilisée dans un satellite. Il faut faire des corps très massifs pour que les parois actives se déforment aussi peu que possible.

[0026] Les métaux à forte conductivité électrique ont aussi, presque tous, un fort coefficient de dilatation thermique, phénomène qui peut déformer la forme du volume le guide dans l'environnement opérationnel dans lequel va être utilisée le guide, si le guide est exposée à un flux de chaleur inhomogène. Nous l'avons dit plus haut, cette déformation peut être nuisible.

[0027] Cette solution comporte également des inconvénients supplémentaires:

- le volume du corps étant conducteur électrique, s'il est soumis à un gradient de température, des courants thermo-électriques permanents peuvent être générés qui peuvent engendrer des champs magnétiques qui peuvent venir perturber le transport de particules chargées dans le guide.

[0028] Par contre, ces métaux sont tous bons conducteurs thermiques.

[0029] Pour ce qui concerne les matériaux supraconducteurs, ils nécessitent un refroidissement permanent pour leur mise en œuvre, refroidissement qui demande une infrastructure volumineuse, lourde et complexe.

[0030] Dans l'exemple de la cavité pour horloge atomique représenté sur la fig. 1a, lorsque ce type de cavité est réalisé de manière classique, le corps unique est en cuivre massif.

[0031] Pour des raisons de commodité, le corps de la cavité de la fig. 1a est fabriquée par assemblage de deux demi-corps 10, 12. Les deux demi-corps sont assemblés de façon connue par effet thermique ou mécanique.

[0032] La fig. 1b montre un des deux demi-corps 12 de la cavité de la fig. 1a.

[0033] Le procédé classique de réalisation de la cavité de la fig. 1a comporte notamment des étapes de fabrication de deux demi-corps 10, 12, en alliage de cuivre, symétriques selon un plan P d'assemblage, et comportant chacun un demi-évidement 16, 18. C'est l'assemblage des deux demi-corps qui forme l'évidement 20 dont la frontière est la «paroi active» de la cavité, au contact direct des ondes électromagnétiques.

[0034] Une seconde solution habituelle consiste dans l'utilisation de corps dont l'essentiel du volume est constitué dans un premier matériau et qui comporte une couche d'un second matériau à forte conductivité électrique, rapportée ou déposée sur toute ou partie de la surface du corps ou des corps, au niveau de la paroi active ou des parois actives du guide.

[0035] Une variante intéressante de cette seconde approche de réalisation d'un corps consiste à utiliser comme premier matériau pour la réalisation du volume d'un corps un matériau métallique, ou isolant, ou semi-conducteur qui présente des caractéristiques thermo-mécaniques favorables, supérieures à celles des métaux massifs, vis à vis des critères auxiliaires de qualité que nous avons énumérés ci-dessus. Dans ce cas, une couche d'un second matériau, celui-ci à forte conductivité électrique, peut être rapportée ou déposée sur les parois actives de la cavité.

[0036] L'épaisseur de cette couche du second matériau doit être au moins égale à quelques «épaisseurs de peau» des composantes les plus pénétrantes (vis-à-vis des parois) des ondes que l'on souhaite faire résider ou transiter dans le guide.

[0037] Cette seconde solution peut permettre de solutionner une partie des problèmes par un choix judicieux du premier matériau utilisé pour réaliser un corps.

[0038] Il peut s'agir, en particulier:

- soit d'un matériau métallique ou semi-conducteur ou isolant qui 10 soit de densité plus faible que celui des métaux bons conducteurs électriques,
- soit d'un matériau métallique ou semi-conducteur ou isolant qui ait un coefficient de dilatation plus faible que celui des métaux bons conducteurs électriques,
- soit d'un matériau métallique ou semi-conducteur ou isolant qui ait un coefficient thermoélectrique plus faible que celui des métaux bons conducteurs électriques,
- soit d'un matériau métallique ou semi-conducteur ou isolant qui présente une rigidité mécanique plus élevée que celle des métaux bons 20 conducteurs électriques,

[0039] L'idéal serait de trouver un matériau qui cumulerait toutes ces propriétés.

[0040] Trouver un métal qui réunisse toutes ces conditions semble très difficile, voire impossible, surtout si, comme cela arrive souvent, on demande aussi au métal des propriétés additionnelles.

[0041] Par ailleurs, les matériaux isolants qui pourraient être choisis pour la réalisation d'un tel corps de cavité sont souvent des matériaux très durs dont la mise en forme est difficile.

[0042] Afin de palier les inconvénients des guides de l'état de l'art, l'invention propose un nouveau type de guide pour ondes électromagnétiques comportant au moins un corps supportant au moins une paroi active de forme géométrique prédéterminée,

caractérisé en ce que le ou les corps du guide, ou les pièces assemblées pour former le ou les corps du guide, sont constitués à partir d'un volume d'un matériau céramique choisi parmi les suivants: Carbure de Silicium, Nitrure d'aluminium, Nitrure de Bore, et notamment les variétés cubique 3C et hexagonal 2H du Nitrure de Bore, Diamant, Oxyde de béryllium, des solutions solides ou des assemblages des dits matériaux.

[0043] Les matériaux céramiques du corps selon l'invention, présentent une forte conductivité thermique et, pour la plupart, une faible conductivité électrique.

[0044] Pour certaines applications, il y a des avantages à ce que le matériau céramique utilisé pour le corps soit électriquement isolant ou semi-isolant.

[0045] Ces matériaux céramiques des corps de la cavité peuvent être mis en œuvre sous des formes variées:

- monocristaux,
- poly-cristaux plus ou moins textures,
- matériaux composites constitués dont la matrice est de nature différente de celle d'agrégats qui y sont noyés,
- matériaux feuilletés,
- assemblages de pièces par des procédés connus d'assemblage des céramiques.

[0046] Par rapport aux guides existants, avec des parois actives de forme géométrique similaire, les guides selon l'invention offrent des caractéristiques thermo-mécaniques améliorées pour des caractéristiques électromagnétiques identiques ou voisines.

[0047] Avantageusement, un corps du guide selon l'invention comporte, au voisinage de la ou des parois actives, un revêtement (par exemple sous forme de couche) en matériau conducteur électrique. Le matériau conducteur électrique de la ou des parois actives est en métal choisi parmi les suivants: or, argent, cuivre, aluminium.

[0048] Dans une réalisation préférentielle, le corps comporte, au voisinage des parois actives, une ou plusieurs couches intermédiaires insérées entre le revêtement en matériau conducteur électrique et le volume en céramique. La couche directement en contact avec la céramique peut avoir pour fonction de faciliter l'accrochage sur la céramique. Dans ce cas, cette couche est appelée «couche d'accrochage». Cette couche unique ou une autre couche de l'empilement des couches intermédiaires peut servir de barrière de diffusion et éviter ainsi toute réaction chimique inopportune entre le revêtement métallique externe et le matériau céramique du corps. Cette couche unique ou bien, une, deux ou plusieurs

autres couches de l'empilement peuvent encore être utilisées pour accommoder le différentiel de coefficient de dilatation entre le matériau du revêtement conducteur électrique et la céramique du corps.

[0049] La ou les couches intermédiaires peuvent être en métal, choisi parmi les métaux suivants: aluminium, titane, zirconium, hafnium, vanadium, niobium, tantale, chrome, molybdène, tungstène ou réalisées dans un alliage entre ces métaux, ou encore un composé carbure, siliciure, nitrure, ou borure, d'un ou plusieurs de ces métaux, composé métallique, semiconducteur ou isolant ou encore une solution solide, ternaire quaternaire, ou multiple, de tels composés.

[0050] Dans une famille de réalisations particulières de guides selon l'invention, la couche de revêtement en matériau conducteur électrique, au niveau des parois actives du ou des corps du guide est en cuivre et le matériau céramique est du carbure de silicium.

[0051] Les avantages de ce type de guide, selon l'invention, sont:

- une densité massique faible,
- une très forte rigidité mécanique,
- un très faible coefficient de dilatation thermique,
- une bonne conduction de la chaleur,
- une compatibilité à l'ultra vide,
- de permettre l'utilisation de températures très élevées pour réaliser ou mettre en œuvre celle-ci sans en altérer les performances,
- dans certains cas, de tirer partie des propriétés d'isolation électrique du corps de la cavité pour des fonctions autres que celles qui utilisent les «parois actives» de la cavité.

[0052] Une des principales applications de cette invention est la réalisation de guides micro-ondes, en particulier des cavités électromagnétiques, réflecteurs et antennes, présentant un faible poids et une très forte rigidité mécanique.

[0053] D'autres avantages, liés aux guides selon l'invention, résident dans le fait que leurs corps présentent un très faible coefficient de dilatation thermique et une bonne conduction de la chaleur. En outre, les corps de certains guides selon l'invention peuvent présenter une bonne compatibilité à l'ultra vide, et permettre l'utilisation de températures très élevées pour leur réalisation ou leur mise en œuvre, sans altération de leurs performances.

[0054] L'invention concerne aussi un procédé de fabrication d'un guide pour ondes électromagnétiques comportant au moins un corps supportant au moins une paroi active de forme géométrique prédéterminée, caractérisé en ce qu'il comporte au moins les étapes suivantes:

- réalisation d'au moins un corps du guide à partir d'un volume d'un matériau céramique choisi parmi les suivants: Carbure de Silicium, Nitrure d'aluminium, Nitrure de Bore, et notamment les variétés cubiques 3C et hexagonal 2H du Nitrure de Bore, Diamant, Oxyde de béryllium, des solutions solides ou des assemblages des dits matériaux;
- dépôt éventuel d'une ou plusieurs couches intermédiaires, sur toutes ou parties des parois actives du corps;
- dépôt d'un revêtement métallique à forte conductivité électrique, soit directement sur la céramique, soit sur les couches intermédiaires, sur la toute la surface des parois actives du ou des corps.

[0055] Dans un procédé de fabrication d'un guide selon l'invention, au moins un des corps du guide est obtenu par assemblage de deux demi-corps.

[0056] L'invention sera mieux comprise par la description d'un premier exemple de réalisation d'un guide selon l'invention à l'aide de dessins indexés dans lesquels:

- les fig. 1a et 1b, déjà décrites montrent un exemple particulier d'une cavité de l'état de l'art;
- les fig. 2a et 2b montrent les étapes d'un procédé de fabrication d'un corps d'un guide selon l'invention;
- les fig. 2c et 2d montrent des vues en coupe selon un plan P des sections des demi-corps des fig. 2a et 2b avant assemblage;
- la fig. 2e montre une section du corps des fig. 2a et 2b après assemblage.

[0057] Un corps 30 d'un guide selon l'invention, représenté par les fig. 2a et 2b, comporte deux ports hyperfréquences S1 et S2 et des ouvertures 32 dans les parois du guide destinées au passage d'un faisceau d'électrons Fe. Plus précisément, il s'agit d'un guide d'onde au sens usuel du terme, comportant deux sorties S1 et S2 de signaux hyperfréquences produits, dans le guide, par le passage du faisceau d'électrons Fe à travers le guide, par les ouvertures 32 ménagées dans le corps du guide.

[0058] Dans cet exemple de réalisation, le corps 30 de la cavité est obtenu par assemblage des deux demi-corps 34, 36 (voir fig. 2a).

[0059] Les fig. 2c et 2d montrent des vues en coupe selon un plan P des sections des demi-corps des fig. 2a et 2b avant assemblage. La fig. 2e montre une section du corps de guide 30 résultant de l'assemblage des deux demi-corps représentés sur les fig. 2c et 2d.

[0060] Le procédé de fabrication comporte les étapes principales suivantes:

- réalisation du volume des deux demi-corps 34, 36 en céramique à basse de carbure de silicium;

[0061] Dans cette réalisation particulière, les sections C1 et C2 de chaque demi-corps 34, 36 ont la forme d'un demi-tube à section rectangulaire de même forme comportant une paroi active 40, des parois inactives 42, dites parois de fermeture du guide, destinées à être mises en contact pour assembler le corps du guide, des parois externes 44 du guide. Parmi ces parois externes, on distingue des parois 46 adjacentes qui jouxtent les parois de fermeture 42.

- dépôt d'une ou plusieurs couches intermédiaires 50 sur les parois actives 40, les parois de fermeture 42, et les parois externes adjacentes 46 des deux demi-corps 34, 36 qui jouxtent les parois de fermeture 42;
- dépôt d'un revêtement de cuivre 52 sur les couches intermédiaires, au niveau des parois actives 40, des parois de fermeture 42, et éventuellement aussi des parois adjacentes 46.

[0062] Les couches intermédiaires 50 sont insérées entre le revêtement 52 en cuivre et les surfaces des parois actives 40, les parois de fermeture 42 et éventuellement les parois externes adjacentes 46 du corps en céramique, d'une part pour obtenir une bonne adhérence du revêtement métallique sur les surfaces des parois du corps, d'autre part, éventuellement, pour faire barrière de diffusion et éviter ainsi toute réaction chimique inopportune entre le revêtement de cuivre et la céramique du corps à base de carbure de silicium, et aussi éventuellement, pour accommoder le différentiel de coefficient de dilatation entre le matériau du revêtement conducteur électrique 52 et la céramique du corps 30.

[0063] La composition des couches intermédiaires dépend des traitements thermiques que devra subir le corps lors de l'assemblage du guide, ou lors de la vie ultérieure du guide. Selon les températures de fabrication ou de fonctionnement de la cavité, on peut utiliser soit une couche unique, soit deux ou plusieurs couches. Dans les cas les plus simples, on peut utiliser une couche unique, d'épaisseur suffisante, d'un matériau qui ne va pas réagir, ni avec le cuivre ni avec la céramique.

[0064] La ou les couches intermédiaires 50 peuvent être en métal, choisi parmi les métaux suivants: aluminium, titane, zirconium, hafnium, vanadium, niobium, tantale, chrome, molybdène, tungstène ou réalisées dans un alliage entre ces métaux, ou encore un composé carbure, siliciure, nitrure, ou borure, d'un ou plusieurs de ces métaux, composé métallique, semiconducteur ou isolant ou encore une solution solide, ternaire quaternaire, ou multiple, de tels composés.

[0065] Le revêtement en cuivre 52 forme le revêtement métallique des parois actives des deux demi-corps et il est déposé au moins sur toute la surface des parois actives 40 du guide et aussi sur toute ou partie de la surface des parois de fermeture 42 et éventuellement aussi toute ou partie de la surface des parois adjacentes 46.

[0066] Pour une épaisseur du revêtement de cuivre de quelques micromètres, on peut obtenir un niveau d'absorption d'ondes hyperfréquences en bande X (vers 10 GHz) comparable à celui d'un guide en cuivre massif, pour une même géométrie des parois actives.

- assemblage des deux demi-corps 34, 36 pour former le corps 30 du guide, soit par brasure, soit par soudure, soit par thermocompression des parois de fermeture 42 des deux demi-corps revêtus de cuivre, selon les procédés connus d'assemblage cuivre sur cuivre.

[0067] L'assemblage des deux demi-corps peut aussi être effectué par tout autre procédé d'assemblage permettant de maintenir les pièces en contact intime.

[0068] Dans une réalisation du guide de la fig. 2b, les volumes de céramique des deux demi-corps 34, 36 sont obtenus par frittage d'une poudre de carbure de silicium à petits grains à laquelle sont habituellement ajoutés, selon des techniques connues, des additifs qui facilitent le frittage, souvent à base de bore et/ou de silicium.

[0069] Chaque demi-corps 34, 36 est mis en forme à froid avant frittage puis rectifié après frittage.

[0070] Le procédé de fabrication décrit pour la réalisation du guide de la fig. 2b est bien entendu applicable à des guides d'onde (au sens usuel du terme) ou cavités pour tubes électroniques, par exemple de type Klystron. Dans ce cas, les formes des demi-corps changent en fonction de l'application.

[0071] Un second exemple de guide selon l'invention est celui d'une variante de la cavité de la fig. 1a, déjà décrite ci-dessus:

la fig. 1a montre un corps de cette cavité formé à partir de deux demi-corps;

la fig. 1b montre un des deux demi-corps de la cavité de la fig. 1a avant l'assemblage des deux demi-corps.

[0072] Chaque demi corps peut être constitué selon l'invention en utilisant les matériaux spécifiés selon l'invention, c'est à dire un, deux ou plusieurs volume(s) de céramique, recouvert(s) par une ou plusieurs couches selon l'invention.

[0073] Le corps de la cavité peut être assemblé comme pour le premier exemple décrit ci-dessus.

[0074] L'invention s'applique à des nombreux domaines couvrant en particulier les applications suivantes des «guides» réalisés selon les principes décrits dans l'invention:

- horloges atomiques, par exemple à jet de césium ou jet de rubidium,
- guides d'onde et cavité pour ondes hyperfréquences à «parois actives» métalliques ou supraconductrices,
- dispositifs électroniques amplificateurs, commutateurs, limiteurs, qui mettent en œuvre des électrons ou autres particules chargées, dans le vide ou dans une atmosphère gazeuse contrôlée, ou encore au sein d'un plasma,
- accélérateurs de particules, en particulier des électrons, protons, positons, possédant ou non une charge électrique, ou un dipôle ou quadripôle électrique ou magnétique.

Revendications

1. Guide pour ondes électromagnétiques comportant au moins un corps (30) supportant au moins une paroi active (40) de forme géométrique prédéterminée, caractérisé en ce que le ou les corps (30) du guide, ou les pièces assemblées pour former le ou les corps du guide, sont constitués à partir d'un volume d'un matériau céramique choisi parmi les suivants: Carbure de Silicium, Nitrure d'aluminium, Nitrure de Bore, et notamment les variétés cubique 3C et hexagonal 2H du Nitrure de Bore, Diamant, Oxyde de béryllium, des solutions solides ou des assemblages desdits matériaux.
2. Guide selon la revendication 1, caractérisé en ce que le corps (30) comporte, au voisinage de la ou des parois actives (40), un revêtement (52) en matériau conducteur électrique.
3. Guide selon la revendication 2, caractérisé en ce que le revêtement (52) en matériau conducteur électrique de la ou des parois actives (40) est en métal choisi parmi les suivants: or, argent, cuivre, aluminium.
4. Guide selon l'une des revendications 2 ou 3, caractérisé en ce que le corps (30) comporte, au voisinage des parois actives, une ou plusieurs couches intermédiaires (50) insérées entre le revêtement (52) en matériau conducteur électrique et le volume en céramique, la couche directement en contact avec la céramique ayant pour fonction de faciliter l'accrochage sur la céramique, cette couche étant appelée couche d'accrochage, cette couche unique ou une autre couche de l'empilement des couches intermédiaires pouvant servir de barrière de diffusion et éviter ainsi toute réaction chimique inopportune entre le revêtement métallique (52) externe et le matériau céramique du corps (30), cette couche unique ou bien, une, deux ou plusieurs autres couches de l'empilement pouvant encore être utilisées pour accommoder le différentiel de coefficient de dilatation entre le matériau du revêtement conducteur électrique et la céramique du corps.
5. Guide selon la revendication 4, caractérisé en ce que la ou les couches intermédiaires (50) sont en métal choisi parmi les métaux suivants: aluminium, titane, zirconium, hafnium, vanadium, niobium, tantale, chrome, molybdène, tungstène ou réalisés dans un alliage entre ces métaux, ou un composé carbure, siliciure, nitrure, ou borure d'un ou plusieurs de ces métaux, composé métallique, semi-conducteur ou isolant ou encore une solution solide, ternaire quaternaire, ou multiple, de tels composés.
6. Guide selon l'une des revendications 2 à 5, caractérisé en ce que la couche de revêtement en matériau conducteur électrique (50), au niveau des parois actives (40) du ou des corps (30) du guide est en cuivre et le matériau céramique est du carbure de silicium.
7. Guide selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que les matériaux constitutifs du volume des corps (30) de la cavité sont mis en œuvre sous des formes variées telles que:
 - monocristaux,
 - poly-cristaux plus ou moins textures,
 - matériaux composites constitués dont la matrice est de nature différente de celle d'agrégats qui y sont noyés,
 - matériaux feuilletés.
8. Procédé de fabrication d'un guide pour ondes électromagnétiques comportant au moins un corps (30) supportant au moins une paroi active (40) de forme géométrique prédéterminée, caractérisé en ce qu'il comporte au moins les étapes suivantes:
 - réalisation d'au moins un corps du guide à partir d'un volume d'un matériau céramique choisi parmi les suivants: Carbure de Silicium, Nitrure d'aluminium, Nitrure de Bore, et notamment les variétés cubique 3C et hexagonal 2H du Nitrure de Bore, Diamant, Oxyde de béryllium, des solutions solides ou des assemblages desdits matériaux;
 - dépôt d'une ou plusieurs couches intermédiaires (50) sur les parois actives (40) du corps;
 - dépôt d'un revêtement (52) en matériau conducteur électrique, soit directement sur la céramique, soit sur les couches intermédiaires, sur toute la surface des parois actives du ou des corps.
9. Procédé de fabrication d'un guide selon la revendication 8, caractérisé en ce qu'au moins un des corps (30) du guide est obtenu par assemblage de deux demi-corps (34), (36).
10. Procédé de fabrication d'un guide selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'il comporte au moins les étapes suivantes:
 - réalisation du volume des deux demi-corps (34), (36) en céramique à base de carbure de silicium, les sections C1 et C2 de chaque demi-corps ayant la forme d'un demi-tube rectangulaire de même forme comportant une paroi active (40), des parois de fermeture (42) du guide destinées à être mises en contact pour former le corps du guide,

CH 703 393 B1

des parois externes (44) du guide, et parmi ces parois externes des parois adjacentes (46) qui jouxtent les parois de fermeture (42);

– dépôt d'une ou plusieurs couches intermédiaires (50) sur les parois actives (40), les parois de fermeture (42) et les parois externes adjacentes (46) des deux demi-corps (34), (36) qui jouxtent les parois de fermeture (42);

– dépôt d'un revêtement de cuivre (52), sur les couches intermédiaires (50) au niveau des parois actives (40) et éventuellement aussi des parois adjacentes (46);

– assemblage des deux demi-corps (34), (36) formant le corps du guide (30), soit par brasure, soit par soudure, soit par thermocompression, au niveau des parois de fermeture (42) des demi-corps revêtus de cuivre.

11. Procédé de fabrication d'un guide selon la revendication 10, caractérisé en ce que la ou les couche(s) intermédiaire(s) (50) sont en métal choisi parmi les métaux suivants: aluminium, titane, zirconium, hafnium, vanadium, niobium, tantale, chrome, molybdène, tungstène ou un alliage entre ces métaux ou un composé carbure, siliciure, nitrure, ou borure d'un ou plusieurs de ces métaux, ou encore une solution solide de deux ou plusieurs de ces métaux et composés.
12. Procédé de fabrication d'un guide selon l'une des revendications 9 à 11, caractérisé en ce que les volumes de céramique des deux demi-corps (34), (36) sont obtenus par frittage d'une poudre de carbure de silicium à laquelle sont ajoutés des additifs qui facilitent le frittage, souvent à base de bore et/ou de silicium.
13. Procédé de fabrication d'un guide selon la revendication 12, caractérisé en ce que chaque demi-corps (34, 36) est mis en forme à froid avant frittage, puis rectifiée après frittage.

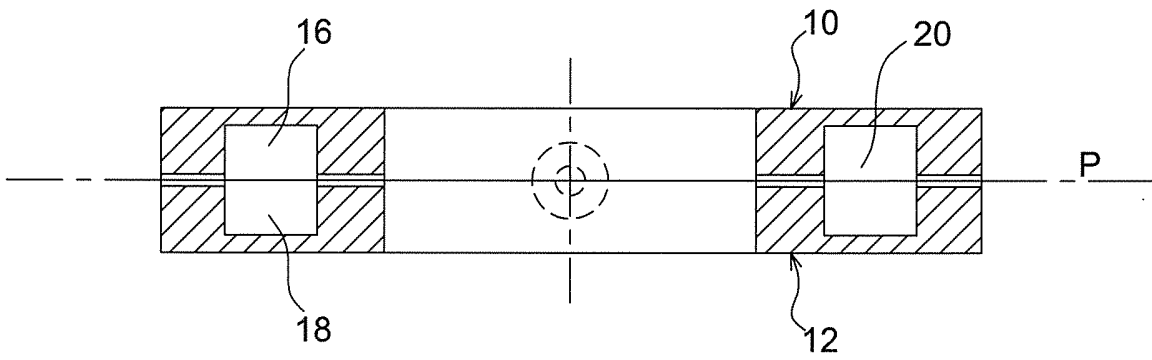


FIG.1a

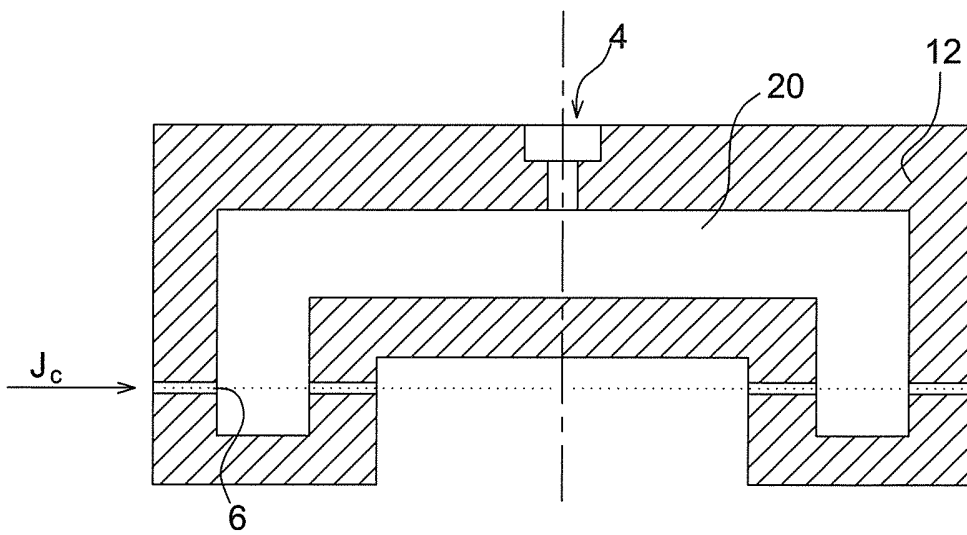


FIG.1b

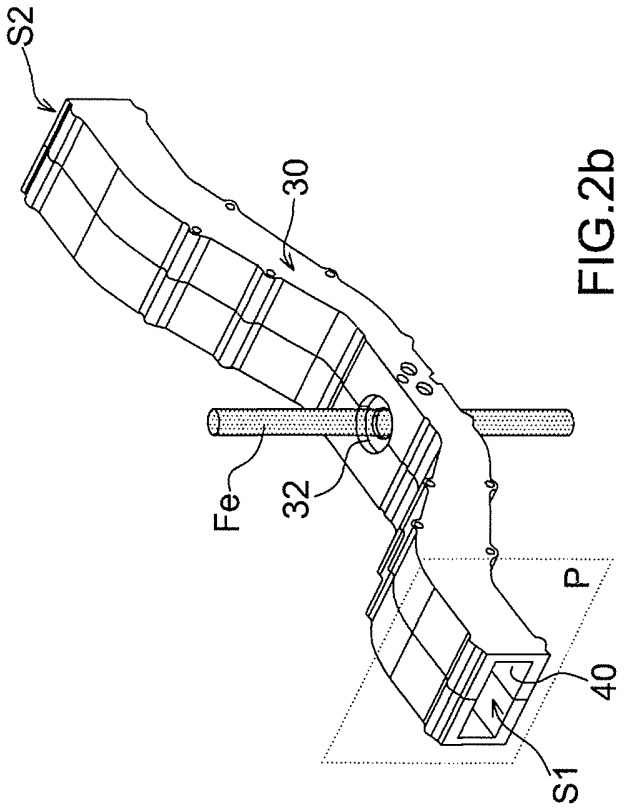


FIG. 2b

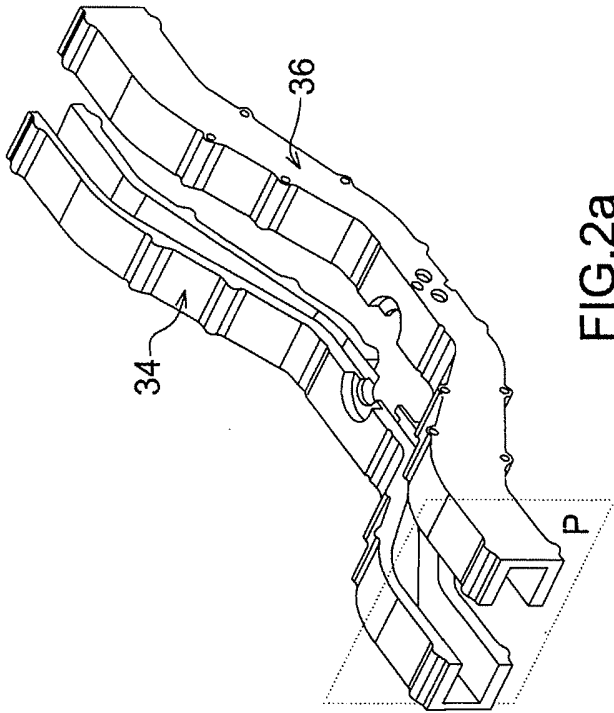


FIG. 2a

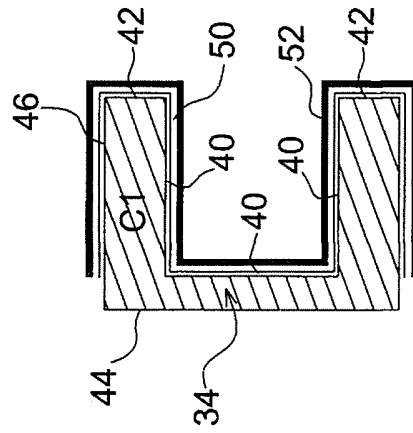


FIG. 2c

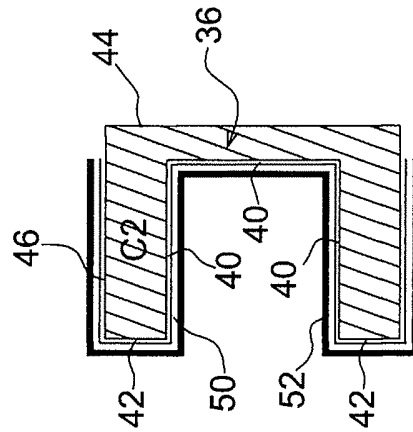


FIG. 2d

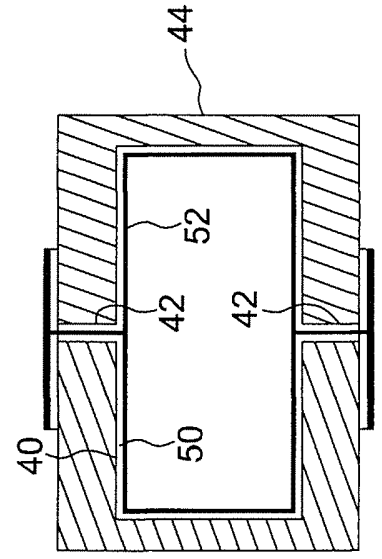


FIG. 2e