(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 433 002 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:
03.01.2018 Bulletin 2018/01

(21) Numéro de dépôt: **10728782.3**

(22) Date de dépôt: **19.05.2010**

(51) Int Cl.:
F03H 1/00 *(2006.01)*

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2010/050963

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2010/133802 (25.11.2010 Gazette 2010/47)

(54) **PROPULSEUR A PLASMA A EFFET HALL**

HALL-EFFEKT-PLASMATRIEBWERK

HALL EFFECT PLASMA THRUSTER

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK SM TR

(30) Priorité: **20.05.2009 FR 0953370**

(43) Date de publication de la demande:
28.03.2012 Bulletin 2012/13

(73) Titulaires:
- **Snecma**
  75015 Paris (FR)
- **Institute Of Fundamental Technological Research**
  Polish Academy Of Sciences
  00-049 Varsovie (PL)
- **Centre National d'Etudes Spatiales**
  75039 Paris Cedex 01 (FR)
- **Centre National de la Recherche Scientifique**
  75794 Paris Cedex 16 (FR)

(72) Inventeurs:
- **BARRAL, Serge**
  PL-00-429 Varsovie (PL)
- **ZURBACH, Stéphan J.**
  F-27200 Vernon (FR)

(74) Mandataire: **Desormiere, Pierre-Louis et al**
Cabinet Beau de Loménie
158, rue de l'Université
75340 Paris Cedex 07 (FR)

(56) Documents cités:
US-A- 5 892 329 **US-A1- 2002 008 455**
US-A1- 2004 183 452

- **DIAMANT K D ET AL: "Segmented electrode hall thruster" JOURNAL OF PROPULSION AND POWER AMERICAN INST. AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS USA, vol. 22, no. 6, novembre 2006 (2006-11), pages 1396-1401, XP007911038 ISSN: 0748-4658**
- **FISCH N J ET AL: "Variable operation of Hall thruster with multiple segmented electrodes" JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, vol. 89, no. 4, 15 février 2001 (2001-02-15), pages 2040-2046, XP012052930 ISSN: 0021-8979**

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

EP 2 433 002 B1

Description

Domaine de l'invention

[0001] La présente invention a pour objet un propulseur à plasma à effet Hall comprenant un canal annulaire principal d'ionisation et d'accélération présentant une extrémité aval ouverte, au moins une cathode, une anode annulaire concentrique au canal annulaire principal, une canalisation et un distributeur pour alimenter en gaz ionisable le canal et un circuit magnétique de création d'un champ magnétique dans ledit canal annulaire principal.

[0002] L'invention concerne en particulier les propulseurs à plasma à effet Hall mis en oeuvre pour la propulsion électrique de satellites.

Art antérieur

[0003] La durée de vie des propulseurs à plasma à effet Hall est essentiellement déterminée par l'érosion du canal isolant en céramique sous l'effet du bombardement des ions. En effet, en raison de la topographie du potentiel électrique dans le canal, une partie des ions créés est accélérée radialement vers les parois.

[0004] L'allongement des missions des satellites de télécommunication et l'accroissement des vitesses d'éjection de plasma requises (en particulier pour les propulseurs dits à forte impulsion spécifique) imposent des durées de vie de plus en plus longues que ne peuvent plus satisfaire les céramiques classiques à base de nitrure de bore.

[0005] La forte résistance vis-à-vis du bombardement ionique de certains matériaux électriquement conducteurs ou semi-conducteurs tels que le graphite en font en théorie des candidats idéaux pour le canal de décharge des propulseurs à effet Hall.

[0006] L'idée d'utiliser des matériaux conducteurs et le graphite en particulier a été étudiée aux USA par Y. Raitses et al (Université de Princeton). Ces études ont relevé l'avantage du graphite en terme de durée de vie, mais n'ont pas tenté de résoudre le problème de baisse de rendement lié au court-circuitage du plasma.

[0007] Les faibles rendements constatés avec les matériaux conducteurs ont jusqu'à ce jour empêché la généralisation de leur emploi dans la construction de canaux d'accélération de propulseurs à plasma.

[0008] Ainsi, les canaux de décharge des propulseurs à effet Hall sont actuellement constitués de céramique isolante homogène, le plus souvent à base de nitrure de bore et de silice (matériaux BN-SIO_2). Les céramiques à base de nitrure de bore permettent aux propulseurs à effet Hall d'atteindre des performances élevées en terme de rendement, mais présentent des taux d'érosion élevés sous bombardement ionique qui limitent la durée de vie des propulseurs à environ 10 000 heures ainsi que leur fonctionnement à plus hautes impulsions spécifiques.

Le document US 2002/008455 A1 décrit un exemple de propulseur à plasma à effet Hall.

Définition et objet de l'invention

[0009] La présente invention a pour but de remédier aux inconvénients précités et en particulier d'accroître la durée de vie des propulseurs à plasma à effet Hall tout en maintenant un rendement énergétique élevé.

[0010] Ces buts sont atteints, conformément à l'invention, grâce à un propulseur à plasma à effet Hall comprenant un canal annulaire principal d'ionisation et d'accélération présentant une extrémité aval ouverte, au moins une cathode, une anode annulaire concentrique au canal annulaire principal, une canalisation et un distributeur pour alimenter en gaz ionisable le canal et un circuit magnétique de création d'un champ magnétique dans ledit canal annulaire principal, caractérisé en ce que le canal annulaire principal comprend des portions de parois annulaires interne et externe situées au voisinage de ladite extrémité ouverte qui comprennent chacune un assemblage d'anneaux conducteurs ou semi-conducteurs juxtaposés en forme de lamelles séparés par de fines couches d'isolant.

[0011] Avantageusement, chaque anneau conducteur ou semi-conducteur est divisé en segments disposés selon des secteurs angulaires et isolés les uns des autres.

[0012] De préférence, les segments de chaque anneau conducteur ou semi-conducteur sont disposés en quinconce par rapport aux segments des anneaux conducteurs ou semi-conducteurs voisins.

[0013] Selon une caractéristique préférentielle de l'invention, les fines couches d'isolant sont disposées sur toutes les faces d'un anneau conducteur ou semi-conducteur à l'exception de la face définissant une partie de la paroi interne du canal annulaire principal.

[0014] L'assemblage d'anneaux conducteurs ou semi-conducteurs peut s'étendre sur une longueur des parois annulaires interne et externe inférieure à la longueur totale du canal annulaire principal.

[0015] Selon un mode particulier de réalisation, les anneaux conducteurs ou semi-conducteurs sont en graphite tandis que les fines couches d'isolant sont en matériau diélectrique et en particulier en nitrure de bore pyrolytique.

[0016] L'épaisseur des anneaux conducteurs ou semi-conducteurs est de l'ordre du rayon de Larmor électronique.

[0017] Leur épaisseur maximale a est estimée par l'expression suivante : $a < \frac{8}{3} r_l$ où r est le rayon de Larmor des électrons, ainsi qu'une condition qui détermine l'angle de découpage azimutal :

$$R.\alpha < 5 abs\left(\frac{Ez}{Et}\right).r$$

avec :

° Ez, Et : champ électrique le long de l'axe et de l'azimut,

° R : rayon de bord de la portion d'anneau en contact avec le plasma,

°α : angle de la portion d'anneau

[0018] Selon un exemple de réalisation, les anneaux conducteurs ou semi-conducteurs présentent une épaisseur comprise entre 0,7 et 0,9 mm tandis que les fines couches d'isolant présentent une épaisseur comprise entre 0,04 et 0,08 mm.

[0019] Selon l'invention, un canal de décharge pseudo-isolant est réalisé à partir d'un empilement d'anneaux ou de portions d'anneaux faites d'un matériau conducteur ou semi-conducteur et recouverts d'une fine couche de céramique isolante.

[0020] Ceci permet un accroissement de la durée de vie du propulseur d'un facteur de 3 à 4 sans perte possible de rendement, dès lors que la structure permet de bénéficier des avantages de faible taux d'érosion des matériaux conducteurs sans en subir les inconvénients, et le canal peut se comporter comme un isolant électrique vis-à-vis du plasma avec une limitation au maximum des courants électroniques créés dans le canal de décharge.

[0021] L'invention optimise ainsi la structure des canaux de décharge des propulseurs à plasma à effet Hall en mettant en oeuvre un partitionnement de parois conductrices ou semi-conductrices en segments isolés de faibles dimensions qui se traduit par une forte diminution du courant de court-circuit qui évite une perte sensible de rendement.

[0022] La propulsion des satellites de télécommunication est associée à des enjeux économiques forts et les améliorations qui peuvent être apportées aux sources de plasma à effet Hall - reconnues actuellement comme les plus performants pour le maintien à poste - présentent un grand intérêt. La présente invention répond directement à la tendance à l'accroissement des durées de mission demandées aux satellites géostationnaires en améliorant la longévité des propulseurs à plasma à effet Hall.

[0023] La présente invention permet également de faire fonctionner des propulseurs avec des impulsions spécifiques (Isp) plus élevées tout en conservant une durée de vie significative. Elle peut donc procurer un avantage concurrentiel important de la propulsion par propulseur à plasma à effet Hall.

Brève description des dessins

[0024] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description suivante de modes particuliers de réalisation, donnés à titre d'exemple, en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique en perspective avec arrachement d'un propulseur à plasma à effet Hall auquel est applicable l'invention,
- la figure 2 est une vue en perspective d'un quart d'un canal de décharge avec structure lamellée selon un exemple de réalisation de l'invention,
- la figure 3 montre une variante proposée et est une vue en perspective de l'ensemble de la structure lamellée d'un canal de décharge d'un propulseur à plasma à effet Hall selon l'invention,
- la figure 3A montre une variante proposée et est une vue de détail agrandie d'un segment en matériau conducteur ou semi-conducteur recouvert de dépôts isolants utilisé dans la structure lamellée de la figure 3, et
- la figure 3B est une section selon la ligne IIIB-IIIB de la figure 3A.

Description détaillée de modes de réalisation préférentiels

[0025] On voit sur la figure 1 un exemple de propulseur à plasma à effet Hall, également dénommé propulseur à plasma stationnaire (PPS), auquel est applicable l'invention et qui peut être mis en oeuvre notamment pour la propulsion électrique de satellites.

[0026] Un tel type de propulseur à effet Hall comprend les éléments principaux suivants :

- un canal de décharge ou canal annulaire principal d'ionisation et d'accélération 120,
- une anode annulaire 125 concentrique au canal annulaire principal 120,
- une canalisation 126 et un distributeur associé à l'anode 125 et au canal annulaire principal 120 pour alimenter celui-ci en un gaz ionisable tel que le xénon,
- une cathode creuse 140,
- un circuit magnétique 131 à 136 de création d'un champ magnétique dans le canal annulaire principal.

[0027] L'anode 125 et le distributeur de gaz ionisable permettent d'injecter le combustible (tel que le xénon) dans le propulseur et de collecter les électrons de la décharge plasma.

[0028] La cathode creuse 140 a pour fonction de générer les électrons qui permettent la création d'un plasma dans le propulseur ainsi que la neutralisation du jet d'ions éjectés par le propulseur.

[0029] Le circuit magnétique comprend un pôle interne 134, un pôle externe 136, une culasse magnétique reliant les pôles interne 134 et externe 136, avec un noyau ferromagnétique central 133 et des barreaux ferromagnétiques périphériques 135, une ou plusieurs bobines 131 disposées autour du noyau central 133 et des bobines 132 disposées autour des barreaux périphériques 135.

[0030] Le circuit magnétique permet le confinement du plasma et la création d'un fort champ magnétique E en sortie du propulseur qui permet l'accélération des ions jusqu'à des vitesses de l'ordre de 20 km/s.

[0031] Différentes variantes sont possibles pour la réalisation du circuit magnétique et la présente invention

n'est pas limitée au mode de réalisation décrit sur la figure 1.

[0032] Le canal de décharge 120 permet le confinement du plasma et sa composition détermine les performances du propulseur.

[0033] Traditionnellement, le canal de décharge 120 est en céramique. La poussée du moteur est assurée par l'éjection d'un jet d'ions à haute vitesse. Or, ce jet étant légèrement divergent, la collision des ions à haute énergie avec la paroi du canal conduit à une érosion de la céramique en sortie du propulseur.

[0034] Pour cette raison, conformément à l'invention, le canal de décharge 120 comprend au moins une portion 127 de la paroi annulaire interne et au moins une portion 128 de la paroi annulaire externe, situées au voisinage de l'extrémité ouverte 129 du canal, qui ne sont pas réalisées en céramique massive, mais qui comprennent chacune un assemblage d'anneaux conducteurs ou semi-conducteurs 150 juxtaposés en forme de lamelles séparées par de fines couches d'isolant 152 (voir figure 2).

[0035] L'invention a pour but de réduire de façon significative l'érosion du canal de décharge du propulseur. Elle permet également de réduire les pertes énergétiques et les instabilités de décharge qui affectent habituellement les propulseurs à effet Hall utilisant un canal de décharge en matériau électriquement conducteur ou semi-conducteur. Tout en utilisant des matériaux tels que le graphite et les carbures plus résistants que les céramiques vis-à-vis du bombardement ionique, grâce à un assemblage d'anneaux conducteurs ou semi-conducteurs (par exemple en graphite) séparés par de fines couches d'isolant (par exemple en nitrure de bore), l'invention permet à la fois de réduire l'érosion du canal et de diminuer les instabilités de décharge.

[0036] Le canal de décharge 120 d'un propulseur à plasma selon l'invention peut ainsi comprendre à la fois une partie amont traditionnelle en céramique avec une paroi de fond 123 et des parois cylindriques externe 121 et interne 122 et une partie aval située entre la partie amont et l'ouverture 129 et comprenant des parois cylindriques externe 128 et interne 127 avec une structure lamellée composée d'anneaux conducteurs ou semi-conducteurs 150 juxtaposés, qui sont isolés par de fines couches d'isolant 152 mais présentent une face 151 non recouverte d'isolant du côté interne tourné vers l'espace intérieur 124 du canal annulaire 120.

[0037] Afin d'éliminer les éventuels courants de court-circuit azimutaux induits par des variations de potentiel le long de l'azimut (défauts de symétrie, ondes azimutales, ...), de façon préférentielle, on procède en outre à un positionnement des anneaux 150 en plusieurs sections angulaires isolées s'étendant chacune sur un secteur angulaire $\Delta\theta$ (figures 3 et 3A). On peut ainsi avoir par exemple entre 10 et 30 segments 150a, 150b dans chaque anneau 150.

[0038] Avantageusement, les segments 150a d'un anneau conducteur ou semi-conducteur 150 sont disposés en quinconce par rapport aux segments 150b des anneaux voisins 150 (fig. 3).

[0039] Comme on peut le voir sur la figure 3A, les fines couches d'isolant 152, 153, 154, 155 sont disposées sur toutes les faces d'un segment d'un anneau conducteur ou semi-conducteur 150 à l'exception de la face 151 définissant une partie de la paroi interne du canal annulaire principal 120.

[0040] A titre d'exemple, l'assemblage d'anneaux conducteurs 150 s'étend sur une longueur des parois annulaires interne et externe comprise entre 20 et 50 % et de préférence entre 30 et 40% de la longueur totale du canal annulaire principal 120, mais cette plage de valeurs n'est pas limitative.

[0041] Le dimensionnement des anneaux conducteurs ou semi-conducteurs 150 peut être établi à partir du calcul des courants électroniques reçus et émis par les parois. En première approximation, il peut être montré que le courant de court-circuit circulant dans les parois est proportionnel au courant ionique collecté, qui à température électronique et densité plasma constantes est environ proportionnel à la surface conductrice en contact avec le plasma.

[0042] Par ailleurs, pour un champ électrique axial donné, la différence de potentiel vue par un élément conducteur est environ proportionnelle à son étendue axiale. Il en résulte que pour un canal de taille donnée, l'ensemble des pertes par effet Joule par court-circuit du plasma est environ proportionnel à l'épaisseur des anneaux. On peut également montrer que le courant de court-circuit devient négligeable devant les courants liés à l'émission électronique secondaire (qui sont les seuls qui existent dans le cas d'un isolant) lorsque l'épaisseur des anneaux est de l'ordre du rayon de Larmor électronique. Ceci définit l'épaisseur critique des anneaux permettant d'obtenir un canal pseudo-isolant.

[0043] A titre d'exemple, les anneaux conducteurs 150, par exemple en graphite à faible coefficient de dilatation, peuvent présenter une épaisseur comprise entre 0,7 et 0,9 mm et typiquement de 0,8 mm.

[0044] Les fines couches d'isolant 152 à 155, par exemple en nitrure de bore pyrolytique, peuvent présenter une épaisseur comprise entre 0,04 et 0,08 mm, typiquement 0,05 mm, et peuvent être déposées sur les segments d'anneaux conducteurs 150 par un procédé de dépôt chimique en phase vapeur de manière à recouvrir chaque segment d'anneau sur toute sa surface excepté sur le bord 151 en contact avec le plasma.

Revendications

1. Propulseur à plasma à effet Hall comprenant un canal annulaire principal d'ionisation et d'accélération (120) présentant une extrémité aval ouverte (129) et comportant des portions de parois annulaires interne (127) et externe (128) situées au voisinage de ladite extrémité ouverte (129) qui comprennent cha-

cune un assemblage d'anneaux conducteurs ou semi-conducteurs (150), au moins une cathode (140), une anode annulaire (125) concentrique au canal annulaire principal (120), une canalisation (126) et un distributeur pour alimenter en gaz ionisable le canal (120) et un circuit magnétique (131 à 136) de création d'un champ magnétique dans ledit canal annulaire principal (120),
caractérisé en ce que dans le canal annulaire principal (120), lesdites portions de parois annulaires interne (127) et externe (128) situées au voisinage de ladite extrémité ouverte (129) comprennent chacune un assemblage d'anneaux conducteurs ou semi-conducteurs (150) juxtaposés en forme de lamelles séparés par de fines couches d'isolant (152) dont l'épaisseur est comprise entre 4 et 12 % de celle desdits anneaux conducteurs ou semi-conducteurs (150).

2. Propulseur à plasma selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** chaque anneau conducteur ou semi-conducteur (150) est divisé en segments disposés selon des secteurs angulaires et isolés les uns des autres.

3. Propulseur à plasma selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** les segments de chaque anneau conducteur ou semi-conducteur (150) sont disposés en quinconce par rapport aux segments des anneaux conducteurs ou semi-conducteurs voisins (150).

4. Propulseur à plasma selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** les fines couches d'isolant sont disposées sur toutes les faces d'un anneau conducteur ou semi-conducteur (150) à l'exception de la face (151) définissant une partie de la paroi interne du canal annulaire principal (120).

5. Propulseur à plasma selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** l'assemblage d'anneaux conducteurs (150) s'étend sur une longueur des parois annulaires interne (127) et externe (128) comprise entre 20 et 50 % de la longueur totale du canal annulaire principal (120).

6. Propulseur à plasma selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** les anneaux conducteurs ou semi-conducteurs (150) sont en graphite.

7. Propulseur à plasma selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** les fines couches d'isolant (152) sont en nitrure de bore pyrolytique.

8. Propulseur à plasma selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** l'épaisseur des anneaux conducteurs ou semi-conducteurs (150) est de l'ordre du rayon de Larmor électronique.

9. Propulseur à plasma selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** les anneaux conducteurs ou semi-conducteurs (150) présentent une épaisseur comprise entre 0,7 et 0,9 mm.

10. Propulseur à plasma selon les revendications 4 et 7, **caractérisé en ce que** les fines couches d'isolant (152) présentent une épaisseur comprise entre 0,04 et 0,08 mm.

11. Propulseur à plasma selon les revendications 4 et 7, **caractérisé en ce que** les fines couches d'isolant (152) sont déposées sur les segments d'anneaux conducteurs ou semi-conducteurs (150) par un procédé de dépôt chimique en phase vapeur de manière à recouvrir chaque segment d'anneau sur toute sa surface excepté sur la face (151) en contact avec le plasma qui définit une partie de la paroi interne du canal annulaire principal (120).

Patentansprüche

1. Hall-Effekt-Plasmatriebwerk, umfassend einen ringförmigen Hauptkanal zur Ionisierung und Beschleunigung (120), der ein offenes stromabwärtiges Ende (129) aufweist und in der Nähe des offenen Endes (129) gelegene innere (127) und äußere (128) ringförmige Wandabschnitte umfasst, die jeweils eine Anordnung von leitenden oder Halbleiter-Ringen (150) umfassen, wenigstens eine Kathode (140), eine ringförmige Anode (125), die zu dem ringförmigen Hauptkanal (120) konzentrisch ist, eine Rohrleitung (126) und einen Verteiler zum Versorgen des Kanals (120) mit ionisierbarem Gas sowie einen Magnetkreis (131 bis 136) zum Erzeugen eines Magnetfeldes in dem ringförmigen Hauptkanal (120),
dadurch gekennzeichnet, dass in dem ringförmigen Hauptkanal (120) die in der Nähe des offenen Endes (129) gelegenen inneren (127) und äußeren (128) ringförmigen Wandabschnitte jeweils eine Anordnung von nebeneinander liegenden, lamellenförmigen leitenden oder Halbleiter-Ringen (150) umfassen, die durch feine Isolatorschichten (152), deren Dicke zwischen 4 und 12 % von derjenigen der leitenden oder Halbleiter-Ringe (150) beträgt, getrennt sind.

2. Plasmatriebwerk nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** jeder leitende oder Halbleiter-Ring (150) in Segmente, die in Winkelsektoren angeordnet und voneinander isoliert sind, unterteilt ist.

3. Plasmatriebwerk nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Segmente eines jeden lei-

tenden oder Halbleiter-Rings (150) in Bezug auf die Segmente der benachbarten leitenden oder Halbleiter-Ringe (150) versetzt angeordnet sind.

4. Plasmatriebwerk nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die feinen Isolatorschichten auf allen Seiten eines leitenden oder Halbleiter-Rings (150) angeordnet sind, mit Ausnahme der Seite (151), die einen Teil der Innenwand des ringförmigen Hauptkanals (120) definiert.

5. Plasmatriebwerk nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anordnung von leitenden Ringen (150) sich über eine Länge der inneren (127) und äußeren (128) ringförmigen Wände im Bereich zwischen 20 und 50 % der Gesamtlänge des ringförmigen Hauptkanals (120) erstreckt.

6. Plasmatriebwerk nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die leitenden oder Halbleiter-Ringe (150) aus Graphit bestehen.

7. Plasmatriebwerk nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die feinen Isolatorschichten (152) aus pyrolytischem Bornitrid bestehen.

8. Plasmatriebwerk nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dicke der leitenden oder Halbleiter-Ringe (150) in der Größenordnung des Elektronen-Larmor-Radius liegt.

9. Plasmatriebwerk nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die leitenden oder Halbleiter-Ringe (150) eine Dicke im Bereich zwischen 0,7 und 0,9 mm aufweisen.

10. Plasmatriebwerk nach den Ansprüchen 4 und 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die feinen Isolatorschichten (152) eine Dicke im Bereich zwischen 0,04 und 0,08 mm aufweisen.

11. Plasmatriebwerk nach den Ansprüchen 4 und 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die feinen Isolatorschichten (152) auf den Segmenten von leitenden oder Halbleiter-Ringen (150) mittels eines Verfahrens zur chemischen Abscheidung aus der Gasphase abgeschieden werden, um jedes Ringsegment auf seiner gesamten Fläche zu überziehen, mit Ausnahme auf der mit dem Plasma in Kontakt stehenden Seite (151), die einen Teil der Innenwand des ringförmigen Hauptkanals (120) definiert.

Claims

1. A Hall effect plasma thruster having a main annular channel (120) for ionization and acceleration that presents an open downstream end (129) and comprising inner (127) and outer (129) annular walls portions situated in the vicinity of said open end (129), each of which comprising an assembly of conductive or semi-conductive rings (150), at least one cathode (140), an annular anode (125) concentric with the main annular channel (120), a pipe (126) and a manifold for feeding the channel (120) with ionizable gas, and a magnetic circuit (131 to 136) for creating a magnetic field in said main annular channel (120), the thruster being **characterized in that** in the main annular channel (120) each of said inner and outer annular wall portions (127, 128) situated in the vicinity of said open end (129), comprises an assembly of juxtaposed conductive or semi-conductive rings (150) in the form of laminations separated by fine layers of insulation (152), the thickness of which being comprised between 4 and 12% of that of said conductive or semi-conductive rings (150).

2. A plasma thruster according to claim 1, **characterized in that** each conductive or semi-conductive ring (150) is subdivided into segments arranged as angular sectors and insulated from one another.

3. A plasma thruster according to claim 2, **characterized in that** the segments of each conductive or semi-conductive ring (150) are arranged in a staggered configuration relative to the adjacent conductive or semi-conductive ring segments (150).

4. A plasma thruster according to any one of claims 1 to 3, **characterized in that** the fine layers of insulation are arranged on all of the faces of a conductive or semi-conductive ring (150) with the exception of the face (151) defining a portion of the inside wall of the main annular channel (120).

5. A plasma thruster according to any one of claims 1 to 4, **characterized in that** the assembly of conductive rings (150) extends over a length of the inner and outer annular walls (127, 128) lying in the range 20% to 50% of the total length of the main annular channel (120).

6. A plasma thruster according to any one of claims 1 to 5, **characterized in that** the conductive or semi-conductive rings (150) are made of graphite.

7. A plasma thruster according to any one of claims 1 to 6, **characterized in that** the fine layers of insulation (152) are made of pyrolytic boron nitride.

8. A plasma thruster according to any one of claims 1 to 7, **characterized in that** the thickness of the conductive or semi-conductive rings (150) is of the order of the electron Larmor radius.

9. A plasma thruster according to claim 6, **characterized in that** the conductive or semi-conductive rings (150) present thickness lying in the range 0.7 mm to 0.9 mm.

10. A plasma thruster according to claims 4 and 7, **characterized in that** the fine layers of insulation (152) present thickness lying in the range 0.04 mm to 0.08 mm.

11. A plasma thruster according to claims 4 and 7, **characterized in that** the fine layers of insulation (152) are deposited on the conductive or semi-conductive rings segments (150) through a vapor phase chemical deposition process in order to cover each ring segment on all of its surface except on the face (151) in contact with the plasma defining a part of the inner wall of the main annular channel (120).

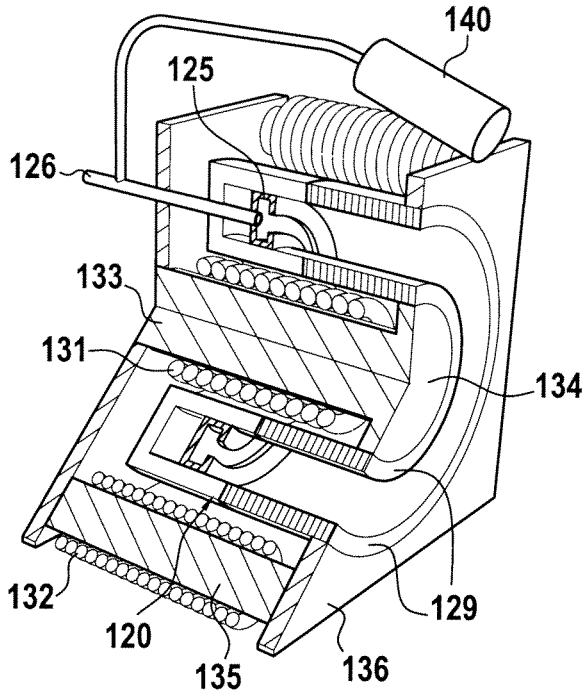

140
125
126
133
131
134
132
120
135
136
129

FIG.1

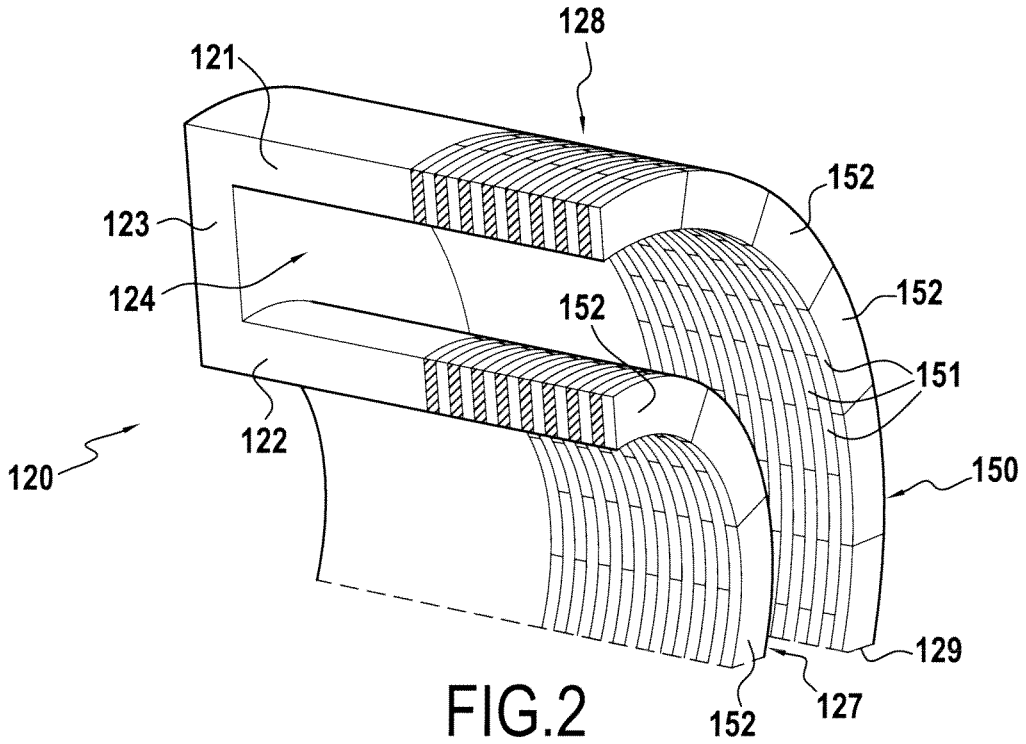

128
121
152
123
124
152
152
151
122
120
150
129
127
152

FIG.2

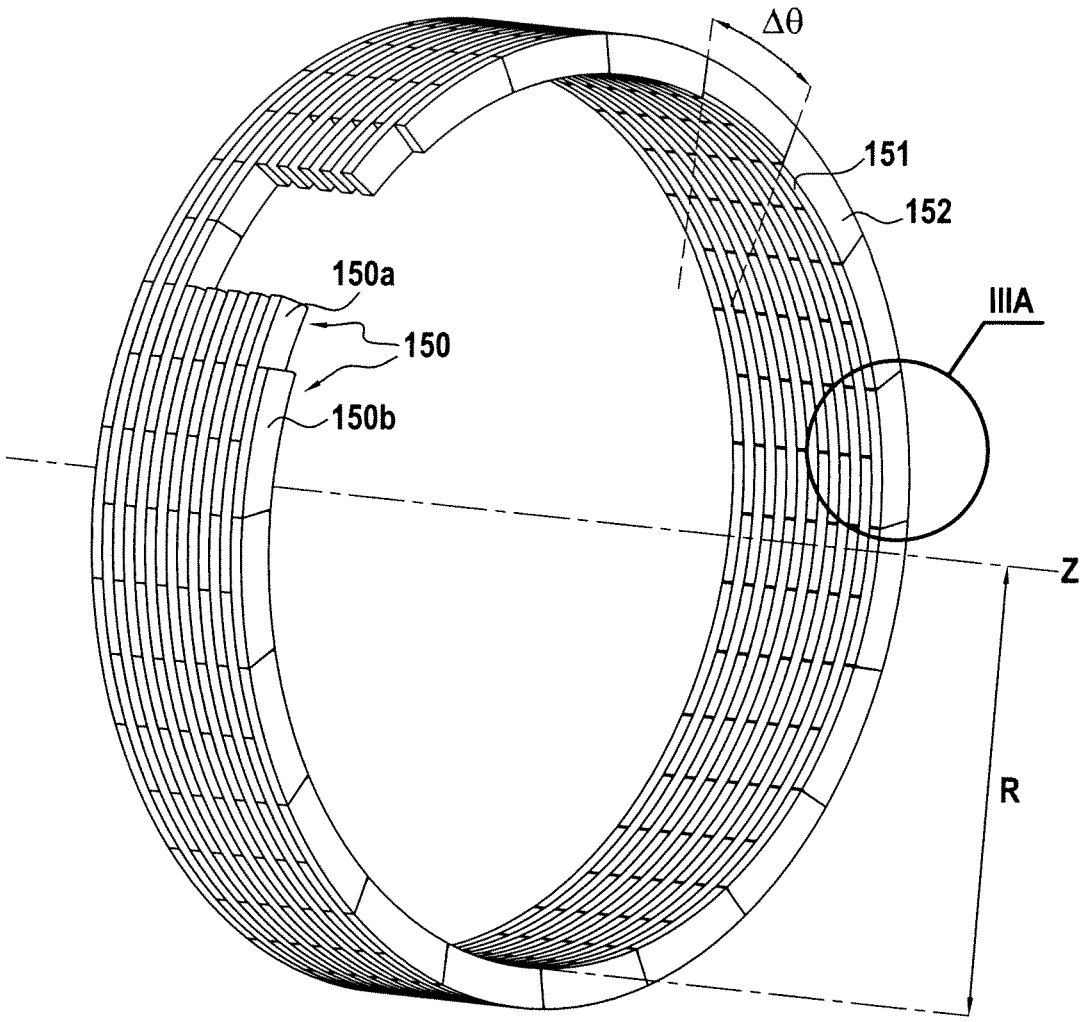


FIG.3

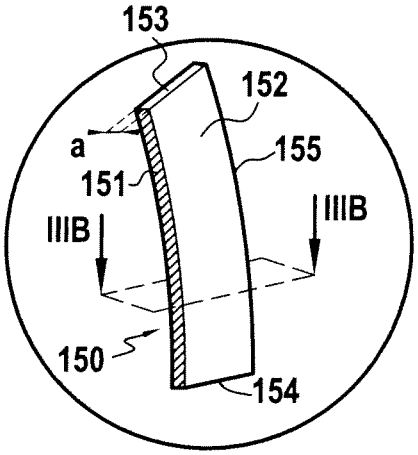


FIG.3A

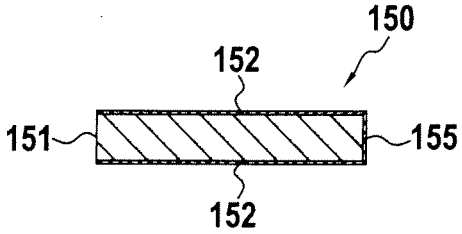


FIG.3B

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- US 2002008455 A1 **[0008]**