



(11)

EP 3 560 302 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

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

20.04.2022 Bulletin 2022/16

(21) Numéro de dépôt: **17828971.6**

(22) Date de dépôt: **19.12.2017**

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
H05H 6/00 (2006.01)

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
H05H 6/00

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2017/053679

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2018/115705 (28.06.2018 Gazette 2018/26)

(54) **SYSTÈME DE CIBLERIE À GAZ POUR PRODUCTION DE RADIO-ISOTOPES**

AUF GAS ABZIELENDES SYSTEM ZUR HERSTELLUNG VON RADIOISOTOPEN

GAS TARGETING SYSTEM FOR PRODUCING RADIOISOTOPES

(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 RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorité: **22.12.2016 FR 1663237**

(43) Date de publication de la demande:
30.10.2019 Bulletin 2019/44

(73) Titulaire: **P M B
13790 Peynier (FR)**

(72) Inventeurs:

- **CAMPANELLA, Thomas
13720 La Bouilladisse (FR)**
- **PEREZ DELAUME, Alain
83134 Folcalqueiret (FR)**

(74) Mandataire: **Santarelli
49, avenue des Champs-Élysées
75008 Paris (FR)**

(56) Documents cités:

**US-A- 5 917 874 US-A1- 2009 090 875
US-A1- 2010 294 655**

- **MOON BYUNG SEOK ET AL: "Development of additive [11C]CO₂target system in the KOTRON-13 cyclotron and its application for [11C]radiopharmaceutical production", NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH. SECTION B: BEAM INTERACTIONS WITH MATERIALS AND ATOMS, vol. 356, 14 mai 2015 (2015-05-14), pages 1-7, XP029246388, ISSN: 0168-583X, DOI: 10.1016/J.NIMB.2015.04.022**
- **MIN GOO HUR ET AL: "Design and evaluation of a carbon-11 gas target having auxiliary cooling fins in the target cavity for the stable production of carbon-11", NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH. SECTION A: ACCELERATORS, SPECTROMETERS, DETECTORS, AND ASSOCIATED EQUIPMENT, vol. 655, no. 1, 17 juin 2011 (2011-06-17), pages 108-110, XP028298440, ISSN: 0168-9002, DOI: 10.1016/J.NIMA.2011.06.032 [extrait le 2011-06-17]**

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 3 560 302 B1

Description

[0001] La présente demande concerne un système de ciblerie de production de radio-isotopes par irradiation d'un fluide cible gazeux sous pression par un faisceau de particules chargées, en particulier un faisceau à haute énergie, c'est-à-dire d'au moins 1 MeV.

[0002] En médecine nucléaire par exemple, la tomographie à émission de positrons est une technique d'imagerie nécessitant des radio-isotopes émetteurs de positrons ou des molécules marquées par ces mêmes radio-isotopes.

[0003] Pour produire des radio-isotopes, un système de ciblerie est installé en sortie d'un accélérateur de particules.

[0004] Un système de ciblerie comporte par exemple une ou plusieurs cibles à irradier. Chaque cible comporte un précurseur de radio-isotope qui permet de produire le radio-isotope correspondant lorsque le précurseur a été irradié. Le système de ciblerie est donc monté en sortie d'un accélérateur de particules avec une cible dans un axe du faisceau de particules émis par l'accélérateur. Ainsi, le faisceau de particules produit par l'accélérateur de particule peut irradier la cible du système de ciblerie pour produire le radio-isotope.

[0005] Un exemple de système de ciblerie avec un circuit de refroidissement de la cible est divulgué dans:

[0006] MOON BYUNG SEOK ET AL: "Development of additive [11C] CO2 target system in the KOTRON-13 cyclotron and its application for [11C] radiopharmaceutical production", NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH, SECTION B: BEAM INTERACTIONS WITH MATERIALS AND ATOMS, vol. 356, 14 mai 2015, pages 1-7.

[0007] Cependant, les systèmes de ciblerie de l'état de l'art présentent différents inconvénients.

[0008] L'objet de la présente demande vise à proposer un système de ciblerie à gaz amélioré, menant en outre à d'autres avantages.

[0009] A cet effet, est proposé selon un premier aspect, un système de ciblerie à gaz comportant :

- un corps, qui comporte :
 - une cavité configurée pour contenir un gaz cible à irradier avec un faisceau de particules émis par un accélérateur de particules, la cavité comportant au moins un tronçon de forme tronconique, un fond fermant une base large du tronçon de forme tronconique et une ouverture, opposée au fond par rapport au tronçon de forme tronconique, formant une entrée pour qu'au moins une partie du faisceau de particules pénètre dans la cavité ;
 - un circuit de refroidissement comportant au moins un canal qui comporte une entrée et une sortie et entoure au moins une partie de la cavité, le canal

étant positionné au plus près des parties échauffées par une interaction du faisceau de particules avec le gaz contenu dans la cavité, à savoir par exemple une surface de la cavité et la fenêtre mentionnée ci-dessous ;

- une fenêtre, positionnée en vis-à-vis de l'entrée de la cavité pour fermer la cavité, perméable aux protons pour permettre une introduction de protons du faisceau de particules émis par l'accélérateur de particules dans la cavité, la fenêtre comportant une fine feuille perméable à au moins une partie du faisceau de particules émis par l'accélérateur de particules et une grille-support configurée pour supporter des différences de pression entre un intérieur de la cavité et un extérieur du système de ciblerie, avec la fine feuille positionnée entre la grille-support et la cavité ; et
- un support-bride qui maintient la fenêtre et est fixé hermétiquement sur le corps, et qui comporte une interface mécanique d'accroché en sortie d'un accélérateur de particules ; le support-bride étant en outre configuré pour fermer hermétiquement la cavité et pour au moins assurer d'une part une étanchéité entre un air à l'extérieur du système de ciblerie et un fluide de refroidissement circulant dans le circuit de refroidissement, et d'autre part une étanchéité entre un vide formé dans une ligne faisceau de l'accélérateur de particules et un gaz cible sous pression contenu dans la cavité.

[0010] Un tel système de ciblerie de production de radio-isotopes gazeux qui comporte une telle cavité qui accueille le gaz cible et qui est suffisamment refroidie grâce à un tel circuit de refroidissement, permet ainsi les réactions nucléaires nécessaires entre ledit gaz cible et les protons incidents dans un volume plus compact.

[0011] En particulier, le circuit de refroidissement est par exemple unique pour refroidir à la fois la cavité et au moins la fine feuille de la fenêtre.

[0012] Un tel système de ciblerie à gaz pour produire des radio-isotopes permet en outre une plus grande stabilité de production des radio-isotopes et une utilisation à des pressions plus importantes qu'à l'accoutumé, notamment grâce au circuit de refroidissement qui a été amélioré.

[0013] Une longueur de la cavité, c'est-à-dire une distance entre l'entrée et le fond de la cavité, peut alors être réduite, tout en ayant une forme de « cône inversé » qui tient compte des phénomènes de divergence du faisceau de protons lorsqu'il entre en collision avec le gaz cible.

[0014] Cette réduction de la longueur dépend néanmoins du différentiel de pression. Dans un exemple de réalisation, il est par exemple possible de doubler la pression en diminuant de moitié cette longueur, c'est-à-dire qu'elle passe par exemple d'environ 180 mm à environ 90 mm.

[0015] Le système présente ainsi une compacité réduite par rapport aux systèmes de l'art antérieur ce qui

permet une augmentation de l'efficacité des équipements de radioprotection car il permet de positionner ces équipements au plus près des zones de réactions nucléaires et d'augmenter si besoin des épaisseurs de matériaux constitutifs de ces équipements pour un encombrement extérieur identique.

[0016] Dans un exemple de mise en œuvre, le système de ciblerie est un système de ciblerie de production de radio-isotopes ^{11}C par irradiation d'un gaz cible par un faisceau de particules chargées émis par un accélérateur de particules.

[0017] De préférence, la cavité est configurée pour comporter un gaz cible sous une pression comprise entre environ 15 bars (1,5 MPa - mégapascal) et environ 50 bars (5 MPa), voire entre environ 20 bars (2 MPa) et environ 50 bars, voire entre environ 40 bars (4 MPa) et environ 50 bars.

[0018] Une pression de gaz cible d'au moins 40 bars permet par exemple de diminuer sensiblement la profondeur de la cavité nécessaire pour stopper le faisceau de particules.

[0019] Dans un exemple de mise en œuvre, la cavité comporte un gaz cible qui comporte au moins un précurseur de radio-isotope ^{11}C (carbone 11).

[0020] De préférence, l'au moins un précurseur de radio-isotope ^{11}C comporte du gaz azote (^{14}N).

[0021] Selon un exemple particulièrement commode, la fenêtre comporte un assemblage brasé composé de la fine feuille positionnée en entrée de la cavité, permettant aux particules chargées de pénétrer dans la cavité, et de la grille-support, percée, qui sert de support structural à la fine feuille, configurée pour supporter un différentiel de pression créé de part et d'autre de la fenêtre pendant une utilisation du système, c'est-à-dire entre le vide de l'accélérateur de particules et la pression du gaz remplissant la cavité.

[0022] La grille-support comporte par exemple des perçages équidistants et/ou des ouvertures de forme hexagonale, par exemple en nid d'abeille.

[0023] La grille-support présente par exemple un ratio surfacique vide / matière compris entre environ 70% et environ 90%, de préférence entre environ 72% et environ 85%.

[0024] La grille-support est par exemple en tungstène ou en nitrure d'aluminium.

[0025] La grille-support a par exemple une épaisseur comprise entre environ 1 mm (millimètre) et environ 3 mm.

[0026] La fine feuille est de faible épaisseur, c'est-à-dire qu'elle a une épaisseur égale ou inférieure à 100 μm , voire 80 μm , voire 30 μm , voire même 20 μm , par exemple selon le matériau choisi.

[0027] La fine feuille est par exemple en tungstène ; elle a alors par exemple une épaisseur comprise entre environ 20 μm et environ 30 μm .

[0028] Selon un autre exemple, la fine feuille est en diamant synthétique CVD (« Chemical Vapor Déposition »), c'est-à-dire en diamant synthétique obtenu

par un procédé de dépose chimique en phase vapeur ; elle a alors par exemple une épaisseur comprise entre environ 70 μm et environ 80 μm .

[0029] Par exemple, le canal du circuit de refroidissement est formé dans une paroi du corps.

[0030] Dans un exemple de réalisation privilégié, le canal du circuit de refroidissement comporte au moins une portion hélicoïdale qui entoure au moins une partie de la cavité.

[0031] Et par exemple, la portion hélicoïdale s'étend depuis l'entrée du canal, entoure au moins une partie de la cavité jusqu'au fond de la cavité, puis entoure encore au moins une partie de la cavité depuis le fond jusqu'à la sortie du canal.

[0032] Dans un exemple de réalisation, le corps comporte une surface avant qui forme une surface d'appui pour au moins une partie de la fine feuille de la fenêtre.

[0033] Dans un exemple particulier, à la fois l'entrée et la sortie du canal débouchent à la surface avant du corps.

[0034] Dans un exemple de réalisation intéressant, le corps comporte une gorge, creusée dans la surface avant du corps, entourant au moins en partie l'entrée de la cavité ; la gorge formant une partie du circuit de refroidissement.

[0035] Le circuit de refroidissement permet ainsi de limiter non seulement réchauffement du gaz-cible contenu dans la cavité mais aussi de la fenêtre au cours d'une irradiation du gaz-cible contenu dans la cavité.

[0036] Par exemple, l'entrée et la sortie du canal débouchent dans la gorge.

[0037] Le circuit de refroidissement est par exemple non-cryogénique. Il contient par exemple un liquide de refroidissement, par exemple une eau de refroidissement, qui circule dans le circuit.

[0038] Par exemple, le circuit de refroidissement comporte une arrivée de fluide de refroidissement, par exemple à proximité de l'ouverture de la cavité.

[0039] Dans un exemple de réalisation, l'arrivée de fluide de refroidissement comporte un conduit communiquant avec le canal.

[0040] Et par exemple, l'arrivée de fluide de refroidissement est configurée pour faire circuler du fluide de refroidissement d'une part dans la portion hélicoïdale du canal, qui entoure la cavité configurée pour contenir le gaz à irradier, et d'autre part dans la gorge située en vis à vis d'une périphérie de la fenêtre.

[0041] Dans un autre exemple, le circuit de refroidissement comporte aussi une extraction de fluide de refroidissement.

[0042] L'extraction du fluide de refroidissement est par exemple positionnée à côté de l'arrivée de fluide de refroidissement.

[0043] Dans un exemple de réalisation privilégié, l'arrivée et/ou l'extraction de fluide de refroidissement communiquent avec le canal entre la gorge et la portion hélicoïdale du canal.

[0044] De préférence, la surface avant du corps est

orthogonale à un axe médian, central, du tronçon tronconique de la cavité et/ou à un axe de propagation du faisceau de particules émis par l'accélérateur de particules.

[0045] Le support-bride forme une interface mécanique de connexion permettant à la fois le maintien de la fenêtre et les étanchéités des interfaces entre le liquide de refroidissement, l'air ambiant, le vide secondaire (de l'accélérateur de particules) et le gaz cible (de la cavité), par exemple par compression de joints, par exemple de joints toriques.

[0046] Des joints sont par exemple positionnés entre une surface du support-bride et une surface du corps correspondante.

[0047] Dans un exemple particulier, l'interface mécanique d'accroché en sortie d'un accélérateur de particules du support-bride est configurée pour maintenir l'étanchéité du vide de la ligne faisceau.

[0048] L'interface mécanique d'accroché en sortie d'un accélérateur de particules comporte par exemple une bague et un joint, par exemple un joint torique. La bague et le joint sont par exemple maintenus dans le support-bride.

[0049] Dans un exemple particulièrement intéressant, la fenêtre est insérée entre le corps et le support-bride, et par exemple, le support-bride est fixé vissé sur le corps. Ceci permet de démonter et/ou remonter la fenêtre facilement pour son remplacement par simple dévissage et/ou vissage, par exemple de vis de serrage, par exemple quatre vis, d'au moins une partie du support-bride.

[0050] Par exemple, la surface avant du corps comporte un joint, par exemple un joint torique, et/ou le support-bride comporte un joint, par exemple un joint torique, possiblement situé en face du joint de la surface avant du corps.

[0051] Le cas échéant, au moins la fine feuille est coincée, comprimée, entre le joint du corps et le joint du support-bride.

[0052] Ceci permet par exemple de favoriser une étanchéité entre le circuit de refroidissement, le gaz cible et le vide côté accélérateur de particules lorsque le système est monté sur l'accélérateur de particules.

[0053] Dans un exemple de réalisation, le corps comporte un passage communiquant dans la cavité à travers le fond de la cavité, le passage étant configuré pour remplir la cavité de gaz et vider la cavité dudit gaz.

[0054] Dans un autre exemple de réalisation, le fond de la cavité comporte une surface concave. La surface est par exemple arrondie et concave.

[0055] Dans un exemple de réalisation particulièrement commode, le corps est réalisé en alliage d'aluminium AS7G6.

[0056] Dans un autre exemple de réalisation particulièrement commode, le corps est réalisé par un procédé de fabrication additive, par exemple par fusion laser sélective (procédé SLM, « Selective Laser Melting »).

[0057] Il est ainsi particulièrement facile d'intégrer le circuit de refroidissement dans une paroi du corps, par

exemple au moins des parties du canal de circulation du fluide de refroidissement au plus proche de la fenêtre et/ou d'une surface interne du corps (c'est-à-dire une paroi de la cavité), et/ou de faire varier la forme d'un conduit, par exemple entre une section de forme circulaire et une section de forme rectangulaire, pour optimiser les échanges thermiques.

[0058] Par exemple, le système de ciblerie est possiblement inscrit dans un encombrement maximal d'environ 50 x 63 x 120 mm.

[0059] L'invention, selon un exemple de réalisation, sera bien comprise et ses avantages apparaîtront mieux à la lecture de la description détaillée qui suit, donnée à titre indicatif et nullement limitatif, en référence aux dessins annexés dans lesquels :

La figure 1 montre une vue en perspective d'un système de ciblerie selon un exemple de réalisation de la présente invention,

La figure 2 est une vue en coupe du système de la figure 1 selon un plan vertical (non représenté),

La figure 3 est vue en éclaté du système des figures 1 et 2, et

La figure 4 montre un exemple de champ de température (échauffement de la ciblerie) en degrés Celsius (°C) obtenu par simulation numérique pour un exemple de mise en œuvre du système des figures 1 à 3.

[0060] Les éléments identiques représentés sur les figures précitées sont identifiés par des références numériques identiques.

[0061] Les figures 1 à 4 illustrent un système de ciblerie à gaz 100 selon un exemple de réalisation de l'invention.

[0062] En référence aux figures 1 et 2, le système de ciblerie à gaz 100 comporte ici :

- un corps 110, qui comporte :
 - une cavité 120 configurée pour contenir un gaz cible à irradier avec un faisceau de particules F émis par un accélérateur de particules (non représenté), la cavité 120 comportant au moins un tronçon 121 de forme tronconique, un fond 122 fermant une base large du tronçon 121 de forme tronconique et une ouverture 112, opposée au fond 122 par rapport au tronçon 121 de forme tronconique, formant une entrée pour qu'au moins une partie du faisceau de particules F pénètre dans la cavité 120 ;
- un circuit de refroidissement 130 comportant au moins un canal 140 qui comporte une entrée 141 et une sortie 142 et entoure au moins une partie de la cavité 120 ;
- une fenêtre 150, positionnée en vis-à-vis de l'ouverture 112 de la cavité 120 pour fermer la cavité, perméable aux protons pour permettre une introduction

de protons du faisceau de particules F émis par l'accélérateur de particules dans la cavité, la fenêtre 150 comportant une fine feuille 151, perméable à au moins une partie du faisceau de particules F émis par l'accélérateur de particules et une grille-support 152, configurée pour supporter des différences de pression entre un intérieur de la cavité 120 et un extérieur du système de ciblerie 100, avec la fine feuille 151 positionnée entre la grille-support 152 et la cavité 120 ; et

- un support-bride 160 qui maintient la fenêtre 150 et est fixé hermétiquement sur le corps 110, et qui comporte une interface mécanique d'accroché en sortie d'un accélérateur de particules 170 ; le support-bride 160 étant en outre configuré pour fermer hermétiquement la cavité 120, par exemple à l'aide d'une bride spécifique 180 décrite ci-après, et pour au moins assurer d'une part une étanchéité entre un air à l'extérieur du système de ciblerie et un fluide de refroidissement circulant dans le circuit de refroidissement 130, et d'autre part une étanchéité entre un vide formé dans une ligne faisceau de l'accélérateur de particules et le gaz cible sous pression contenu dans la cavité 120.

[0063] Un tel système de ciblerie à gaz est particulièrement compact, comme les figures permettent de le constater.

[0064] Il est notamment destiné à la production de radio-isotopes, par exemple de ^{11}C .

[0065] Le corps est par exemple un élément monobloc.

[0066] Il est par exemple réalisé en alliage d'aluminium AS7G6, en particulier par un procédé de fabrication additive, par exemple par fusion laser sélective (procédé SLM, « Selective Laser Melting ») ce qui permet de réaliser simultanément la cavité 120 qu'il contient ainsi que le circuit de refroidissement qui est avantageusement formé au sein d'une paroi du corps comme décrit ci-dessous.

[0067] En effet, le corps 110 comporte ici une paroi 111.

[0068] La paroi 111 délimite la cavité 120 et comporte en outre ici, dans son épaisseur, au moins une partie du circuit de refroidissement.

[0069] En partie avant, ici à gauche sur les figures, le corps 110 comporte une bride 180 qui comporte une surface avant 181.

[0070] Dans le présent exemple de réalisation, la bride 180 comporte notamment un plot en relief qui comporte la surface avant 181 et une surface périphérique, délimitant un pourtour du plot, ici orthogonale à la surface avant 181.

[0071] La bride 180 a ici une section sensiblement quadrilatérale, voire carrée, comme l'illustre mieux la figure 3.

[0072] La bride 180 comporte, ici, quatre trous 185. Chaque trou 185 reçoit ici un boulon 186 qui permet d'assembler le corps 110 avec le support-bride 160.

[0073] Depuis la surface avant 181, le corps comporte une ouverture 112 depuis laquelle s'étend la cavité 120.

[0074] Autour d'au moins une partie de l'ouverture 112, et creusée dans la surface avant 181, le corps 110 comporte une gorge 182 qui, ici, constitue une partie du circuit de refroidissement. La gorge 182 a toutefois de préférence une forme d'anneau et entoure l'ouverture 112.

[0075] La gorge 182 permet ainsi un refroidissement de la fenêtre 150 dont au moins une partie de la fine feuille 151 est ici accolée, en appui, sur la surface avant 181, comme ceci est décrit ultérieurement.

[0076] Dans le présent exemple de réalisation, l'entrée 141 et la sortie 142 du canal 140 débouchent dans la gorge 182, ce pourquoi elles sont désignées conjointement sur la figure 2.

[0077] En outre ici, entre la gorge 182 et l'ouverture 112, le corps comporte un sillon 183, creusé dans la surface avant 181 et recevant un joint 184. Le joint 184 sert d'ici d'appui à la fine feuille 151 de la fenêtre 150, contribuant à former une liaison étanche.

[0078] Enfin, la bride 180 comporte en outre ici une arrivée 187 et une extraction 188 de fluide de refroidissement pour respectivement acheminer et extraire du liquide de refroidissement dans le circuit de refroidissement 130.

[0079] Dans l'exemple représenté, l'arrivée 187 et l'extraction 188 sont bien entendu représentées de façon arbitraire et pourraient évidemment être interverties l'une par rapport à l'autre.

[0080] Elles comportent ici par exemple des jonctions avec des flexibles correspondants.

[0081] L'arrivée 187 et/ou l'extraction 188 comportent par exemple un conduit communiquant avec le canal, non visible sur les figures.

[0082] En particulier, l'arrivée 187 et l'extraction 188 communiquent ici avec le canal 140, en arrière de l'entrée 141 et de la sortie 142 qui ici débouchent dans la gorge 182 (en « arrière » s'étendant ici par rapport à une introduction du faisceau de particule F dans la cavité).

[0083] Selon un autre exemple de réalisation, l'entrée 141 et l'arrivée 187 seraient confondues et/ou la sortie 142 et l'extraction 188 seraient confondues.

[0084] A partir de la bride 180, le corps 110 comporte ensuite une partie principale 190 qui comporte une majeure partie de la cavité 120. La partie principale 190 est par exemple cylindrique ou en particulier ici une partie tronconique qui comporte au moins le tronçon 121 tronconique de la cavité 120.

[0085] Ainsi, la partie principale 190, tronconique, du corps 110 s'évase depuis la bride 180, comme la cavité 120 s'évase depuis l'ouverture 112 du corps, qui forme également l'ouverture 112, l'entrée, de la cavité 120.

[0086] L'ouverture 112, de forme circulaire, a donc un diamètre inférieur à celui de toute section, circulaire, du tronçon 121 tronconique de la cavité.

[0087] Par l'ouverture 112, un faisceau de particules F peut ainsi être introduit dans la cavité 120 pour irradier le gaz qu'elle contient en service.

[0088] Enfin, le corps est clos par un fond 191 qui comporte le fond 122 de la cavité 120.

[0089] Le fond 122 de la cavité 120 est par exemple une surface arrondie et concave, par exemple en forme de dôme.

[0090] Partant de l'ouverture 112, la cavité a ainsi une forme de goutte. Elle comporte une section croissante depuis l'ouverture 112 jusqu'au fond 122 (où la section se rétrécit de par sa forme arrondie).

[0091] Le fond 191 du corps 110 comporte en outre un passage spécifique, qui traverse la paroi du corps et débouche dans la cavité 120. Le système de ciblerie à gaz 100 comporte un embout de connexion 192, par exemple un raccord classique 1/16", introduit dans ce passage spécifique et permettant de remplir ou vider la cavité 120 de gaz cible.

[0092] Comme mentionné précédemment, la cavité 120 est formée au sein du corps 110, elle est entourée par la paroi 111.

[0093] Dans la paroi 111 du corps 110, principalement dans la partie de la paroi 111 qui entoure la cavité 120, le corps 110 comporte ici le canal 140 du circuit de refroidissement 130.

[0094] Le canal 140 a ici une portion de forme hélicoïdale, débutant depuis la bride 180 du corps puis s'étendant vers l'arrière du corps jusque dans le fond 191 du corps, pour revenir en partie avant du corps, ici également à la bride 180. Le canal 140 se poursuit entre la portion hélicoïdale jusqu'à l'entrée 141 et sortie 142 qui ici débouchent dans la gorge 182 de la bride 180 du corps 110.

[0095] Le canal 140 est ici alimenté via les arrivées 187 et extraction 188 de fluide de refroidissement qui communiquent avec le canal entre les entrées 141 et sortie 142 du canal 140 en surface avant 181 du corps d'une part et la portion hélicoïdale du canal 140 d'autre part.

[0096] Ainsi, le canal 140 entoure la cavité 120 et est positionné au plus près des parties chauffées par une interaction du faisceau de particules F avec le gaz contenu dans la cavité 120, à savoir notamment la surface de la cavité (c'est-à-dire une surface interne du corps) et la fenêtre 150.

[0097] Comme mentionné précédemment, le système de ciblerie à gaz 100 comporte aussi la fenêtre 150 qui comporte la fine feuille 151 et la grille-support 152.

[0098] La fenêtre permet à la fois le passage des protons vers la cavité et ferme hermétiquement cette dernière à l'aide du support-bride 160 décrit ci-après.

[0099] Pour faciliter un positionnement de la fenêtre 150, la surface avant 181 comporte possiblement une empreinte en creux dans laquelle la fenêtre 150 est possiblement déposée.

[0100] De préférence la fenêtre est maintenue sur le corps 110 à l'aide du support-bride 160, décrit ci-après, favorisant un appui de la fenêtre sur la surface avant 181 du corps et permettant de garantir les étanchéités air / vide secondaire / fluide de refroidissement / gaz cible via l'utilisation de joints aux interfaces.

[0101] La grille-support 152 permet de soutenir la fine feuille 151 de manière à accepter des différences de pression entre la partie incidente du faisceau F sous vide secondaire (côté grille-support) et la cavité 120 (côté fine feuille) sous pression de gaz compris par exemple entre 20 et 50 bars lorsque le système 100 est utilisé.

[0102] La fine feuille 151 est positionnée entre la grille-support 152 et la surface avant 181 du corps 110. La fine feuille 151 recouvre ici au moins une partie de la surface avant 181, et en particulier au moins la gorge 182 qui entoure au moins en partie l'ouverture 112 de la cavité 120, pour pouvoir être refroidie par le même circuit de refroidissement 130 que celui qui refroidit la cavité 120.

[0103] Ainsi, ici, la fine feuille recouvre à la fois l'ouverture 112, la gorge 182 et est en appui sur le joint 184 situé entre l'ouverture 112 et la gorge 182.

[0104] La grille-support 152 est par exemple en tungstène ou en nitrure d'aluminium et a par exemple une épaisseur comprise entre environ 1 mm et environ 3 mm.

[0105] La grille-support 152 a par exemple des perçages de forme circulaire ou hexagonale.

[0106] La fine feuille 151 est de faible épaisseur, c'est-à-dire qu'elle présente une épaisseur égale ou inférieure à 100 μm .

[0107] Par exemple, pour une fine feuille en tungstène, elle a par exemple une épaisseur comprise entre environ 20 μm et environ 30 μm ; tandis que pour une fine feuille en diamant synthétique CVD, elle a par exemple une épaisseur comprise entre environ 70 μm et environ 80 μm .

[0108] Enfin, le système de ciblerie à gaz 100 comporte le support-bride 160.

[0109] Le support-bride 160 est par exemple un élément massif qui a ici une section sensiblement quadrilatérale, en particulier carrée.

[0110] Il comporte ici des trous 161 en vis-à-vis des trous 185 de la bride 180 pour recevoir les boulons 186 qui contribuent à fixer, serré, le support-bride 160 à la bride 180 du corps.

[0111] Le support-bride 160 comporte un sillon 162, creusé dans une surface arrière du support-bride 160, et recevant un joint 163.

[0112] Dans le présent exemple de réalisation, le joint 163 du support-bride 160 est ainsi en vis-à-vis du joint 184 du corps 110. Ainsi, la fenêtre 150 est pincée, coincée, entre le joint 163 du support-bride 160 et le joint 184 du corps 110.

[0113] Pour sécuriser d'avantage une étanchéité du circuit de refroidissement, le support-bride 160 comporte aussi un sillon 164 qui reçoit un joint 165.

[0114] Le sillon 164 est ici creusé dans une paroi périphérique, ici orthogonale à surface arrière du support-bride 160 qui est formée en creux dans le support-bride 160. Ainsi, le joint 165 entoure la surface arrière du support bride 160.

[0115] La paroi périphérique du support-bride 160 coopère ainsi avec la surface périphérique du plot en relief de la bride 180 du corps 110.

[0116] Le joint 165 est ainsi positionné entre la paroi périphérique de la surface arrière du support-bride 160 et la surface périphérique du plot en relief de la bride 180 du corps 110.

[0117] Il est donc également possible de considérer que le joint 165 entoure, enserre, le plot en relief de la bride 180 du corps 110.

[0118] Les joints 163 et 165 du support-bride 160 sont ainsi disposés de part et d'autre de la gorge 182 de la bride 180 du corps.

[0119] Le support-bride 160 est ainsi configuré pour fermer hermétiquement la cavité 120, par exemple en coopération avec la bride 180 du corps 110, et pour au moins assurer d'une part une étanchéité entre un air à l'extérieur du système de ciblerie et le fluide de refroidissement circulant dans le circuit de refroidissement 130, et d'autre part une étanchéité entre un vide formé dans une ligne faisceau de l'accélérateur de particules et le gaz cible sous pression contenu dans la cavité 120 lorsque le système 100 est utilisé.

[0120] Enfin, le support-bride 160 comporte une interface mécanique d'accroché en sortie d'un accélérateur de particules 170.

[0121] Dans le présent exemple de réalisation, l'interface mécanique d'accroché en sortie d'un accélérateur de particules 170 comporte ici au moins une bague 171 et un joint torique 172.

[0122] En particulier, la bague 171 et le joint torique 172 sont ici incrustés dans le support-bride 160.

[0123] A cet effet, le support-bride 160 comporte, en face-avant, une gorge 166 qui délimite un plot central 167.

[0124] La bague 171 est enfoncée dans la gorge 166 et le joint torique 172 enserre le plot central 167.

[0125] Enfin, le support-bride 160 comporte par exemple un centre électronique d'encodage d'identification de cible 168 qui est par exemple un élément électronique configuré pour identifier la cible.

[0126] Le centre électronique d'encodage d'identification de cible 168 est ici inséré dans un logement prévu à cet effet dans un coin de la face avant du support-bride 160 et y est par exemple attaché par un élément de fixation amovible, comme par exemple une vis.

[0127] La figure 4 permet de constater qu'en service, le système de ciblerie à gaz 100 décrit précédemment présente un échauffement maximal au niveau de la fenêtre 150 qui est inférieur à 515°C, notamment de l'ordre de 478-512°C, tandis que la surface extérieure, l'enveloppe, du système 100, demeure à une température inférieure à environ 85°C, en particulier comprise entre environ 51 °C et environ 84°C. Une surface de la cavité 120 est quant à elle maintenue à une température inférieure à environ 249°C, voire inférieure à environ 200°C par le système de refroidissement.

Revendications

1. Système de ciblerie à gaz (100) comportant :

- un corps (110), qui comporte :
- une cavité (120) configurée pour contenir un gaz cible à irradier avec un faisceau de particules (F) émis par un accélérateur de particules, la cavité (120) comportant au moins un tronçon (121) de forme tronconique, un fond (122) fermant une base large du tronçon de forme tronconique et une ouverture (112), opposée au fond par rapport au tronçon de forme tronconique, formant une entrée pour qu'au moins une partie du faisceau de particules pénètre dans la cavité ;
- un circuit de refroidissement (130) comportant au moins un canal (140) qui comporte une entrée (141) et une sortie (142) et entoure au moins une partie de la cavité (120) ;
- une fenêtre (150), positionnée en vis-à-vis de l'entrée de la cavité pour fermer la cavité, perméable aux protons pour permettre une introduction de protons du faisceau de particules (F) émis par l'accélérateur de particules dans la cavité, la fenêtre comportant une fine feuille (151) perméable à au moins une partie du faisceau de particules émis par l'accélérateur de particules et une grille-support (152) configurée pour supporter des différences de pression entre un intérieur de la cavité et un extérieur du système de ciblerie, avec la fine feuille (151) positionnée entre la grille-support (152) et la cavité (120) ; et
- un support-bride (160) qui maintient la fenêtre (150) et est fixé hermétiquement sur le corps (110), et qui comporte une interface mécanique d'accroché en sortie d'un accélérateur de particules (170); le support-bride (160) étant en outre configuré pour fermer hermétiquement la cavité (120) et pour au moins assurer une étanchéité entre un vide formé dans une ligne faisceau de l'accélérateur de particules et un gaz cible sous pression contenu dans la cavité (120), le système de ciblerie étant **caractérisé en ce que** le support-bride est également configuré pour assurer une étanchéité entre un air à l'extérieur du système de ciblerie et un fluide de refroidissement circulant dans le circuit de refroidissement (130).

2. Système (100) selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le canal (140) du circuit de refroidissement est formé dans une paroi (111) du corps.

3. Système (100) selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le canal (140) du circuit de refroidissement comporte au moins une portion hélicoïdale qui entoure au moins une partie

de la cavité (120).

4. Système (100) selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** la portion hélicoïdale s'étend depuis l'entrée (141) du canal, entoure au moins une partie de la cavité (120) jusqu'au fond (122) de la cavité, puis entoure encore au moins une partie de la cavité (120) depuis le fond (122) jusqu'à la sortie (142) du canal. 5
5. Système (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** la grille-support (152) présente un ratio surfacique vide / matière compris entre environ 70% et environ 90%. 10
6. Système (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** la grille-support (152) est en tungstène ou en nitrure d'aluminium. 15
7. Système (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** la fine feuille (151) est en tungstène ou en diamant synthétique. 20
8. Système (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** le corps (110) comporte une surface avant (181) qui forme une surface d'appui pour au moins une partie de la fine feuille (151) de la fenêtre (150). 25
9. Système (100) selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** à la fois l'entrée (141) et la sortie (142) du canal (140) débouchent à la surface avant (181) du corps (110). 30
10. Système (100) selon l'une quelconque des revendications 8 ou 9, **caractérisé en ce que** le corps (110) comporte une gorge (182), creusée dans la surface avant (181), entourant au moins en partie l'entrée de la cavité ; la gorge (182) formant une partie du circuit de refroidissement (130). 35
11. Système (100) selon les revendications 3 et 10, **caractérisé en ce que** le circuit de refroidissement (130) comporte une arrivée (187) de fluide de refroidissement qui est configurée pour faire circuler du fluide de refroidissement d'une part dans la portion hélicoïdale du canal (140), qui entoure la cavité (120) configurée pour contenir le gaz à irradier, et d'autre part dans la gorge (182) située en vis à vis d'une périphérie de la fenêtre (150). 40
12. Système (100) selon l'une quelconque des revendications 10 ou 11, **caractérisé en ce qu'à** la fois l'entrée (141) et la sortie (142) du canal (140) débouchent dans la gorge (182). 45
13. Système (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, **caractérisé en ce que** la fenêtre (150) est insérée entre le corps (110) et le support- 50

bride (160).

14. Système (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, **caractérisé en ce que** le fond (122) de la cavité comporte une surface concave. 5
15. Système (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, **caractérisé en ce que** le corps est réalisé en alliage d'aluminium AS7G6 et/ou par un procédé de fabrication additive. 10
16. Système (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 15, **caractérisé en ce que** le circuit de refroidissement (130) est unique pour refroidir à la fois la cavité (120) et au moins la fine feuille (151) de la fenêtre (150). 15
17. Système (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, **caractérisé en ce que** le support-bride (160) forme une interface mécanique de connexion permettant à la fois le maintien de la fenêtre (150) et les étanchéités des interfaces entre le fluide de refroidissement, l'air ambiant, le vide secondaire de l'accélérateur de particules et le gaz cible de la cavité. 20

Patentansprüche

1. Gas-Targeting-System (100), enthaltend: 30

- einen Körper (110), der enthält:

- einen Hohlraum (120), der dazu ausgelegt ist, ein Target-Gas zu beinhalten, das mit einem von einem Teilchenbeschleuniger emittierten Teilchenstrahl (F) bestrahlt werden soll, wobei der Hohlraum (120) zumindest einen kegelstumpfförmigen Abschnitt (121), einen Boden (122), der eine breitere Grundfläche des kegelstumpfförmigen Abschnitts verschließt, und eine Öffnung (112) aufweist, die in Bezug auf den kegelstumpfförmigen Abschnitt dem Boden gegenüberliegt und einen Einlass bildet, damit zumindest ein Teil des Teilchenstrahls in den Hohlraum eindringt; 40

- einen Kühlkreislauf (130) mit zumindest einem Kanal (140), der einen Einlass (141) und einen Auslass (142) aufweist und zumindest einen Teil des Hohlraums (120) umgibt; 45

- ein Fenster (150), das dem Einlass des Hohlraums gegenüberliegend positioniert ist, um den Hohlraum zu schließen, und für Protonen durchlässig ist, um eine Einführung von Protonen aus dem von dem Teilchenbeschleuniger emittierten Teilchenstrahl (F) in den Hohlraum zu er- 50

- möglichen, wobei das Fenster eine dünne Folie (151), die für zumindest einen Teil des von dem Teilchenbeschleuniger emittierten Teilchenstrahls durchlässig ist, und ein Stützgitter (152) enthält, das dazu ausgelegt ist, Druckunterschieden zwischen einem Inneren des Hohlraums und einem Äußeren des Targeting-Systems standzuhalten, wobei die dünne Folie (151) zwischen dem Stützgitter (152) und dem Hohlraum (120) positioniert ist; und
- einen Flanschhalter (160), der das Fenster (150) hält und hermetisch an dem Körper (110) befestigt ist und der eine mechanische Schnittstelle zum Einhängen am Auslass eines Teilchenbeschleunigers (170) aufweist; wobei der Flanschhalter (160) ferner dazu ausgelegt ist, den Hohlraum (120) hermetisch zu verschließen und zumindest eine Abdichtung zwischen einem in einer Strahllinie des Teilchenbeschleunigers gebildeten Vakuum und einem in dem Hohlraum (120) enthaltenen, unter Druck stehenden Target-Gas sicherzustellen, wobei das Targeting-System **dadurch gekennzeichnet ist, dass** der Flanschhalter auch dazu ausgelegt ist, eine Abdichtung zwischen einer Luft außerhalb des Targeting-Systems und einem in dem Kühlkreislauf (130) zirkulierenden Kühlmittel sicherzustellen.
2. System (100) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kanal (140) des Kühlkreislaufs in einer Wand (111) des Körpers ausgebildet ist.
 3. System (100) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kanal (140) des Kühlkreislaufs zumindest einen schraubenförmigen Abschnitt aufweist, der zumindest einen Teil des Hohlraums (120) umgibt.
 4. System (100) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich der schraubenförmige Abschnitt vom Kanaleinlass (141) ausgehend erstreckt, zumindest einen Teil des Hohlraums (120) bis zum Boden (122) des Hohlraums umgibt und dann noch zumindest einen Teil des Hohlraums (120) vom Boden (122) bis zum Kanalauslass (142) umgibt.
 5. System (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Stützgitter (152) ein Vakuum/Materie-Flächenverhältnis zwischen etwa 70% und etwa 90% aufweist.
 6. System (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Stützgitter (152) aus Wolfram oder Aluminiumnitrid besteht.
 7. System (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die dünne Folie (151) aus Wolfram oder synthetischem Diamant besteht.
 8. System (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Körper (110) eine Vorderfläche (181) aufweist, die eine Auflagefläche für zumindest einen Teil der dünnen Folie (151) des Fensters (150) bildet.
 9. System (100) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** sowohl der Einlass (141) als auch der Auslass (142) des Kanals (140) in die Vorderfläche (181) des Körpers (110) münden.
 10. System (100) nach einem der Ansprüche 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Körper (110) eine Nut (182) aufweist, die in die Vorderfläche (181) eingebracht ist und den Einlass des Hohlraums zumindest teilweise umgibt; wobei die Nut (182) einen Teil des Kühlkreislaufs (130) bildet.
 11. System (100) nach den Ansprüchen 3 und 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kühlkreislauf (130) einen Kühlmittelzulauf (187) aufweist, der dazu ausgelegt ist, Kühlmittel einerseits in den schraubenförmigen Abschnitt des Kanals (140), der den Hohlraum (120) zum Aufnehmen des zu bestrahlenden Gases umgibt, und andererseits in die Nut (182), die einem Umfang des Fensters (150) gegenüberliegt, strömen zu lassen.
 12. System (100) nach einem der Ansprüche 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** sowohl der Einlass (141) als auch der Auslass (142) des Kanals (140) in die Nut (182) münden.
 13. System (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Fenster (150) zwischen Körper (110) und Flanschhalter (160) eingefügt ist.
 14. System (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Boden (122) des Hohlraums eine konkave Oberfläche aufweist.
 15. System (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Körper aus der Aluminiumlegierung AS7G6 und/oder durch ein additives Fertigungsverfahren hergestellt ist.
 16. System (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kühlkreislauf (130) einmalig vorliegt, um sowohl den Hohlraum (120) als auch zumindest die dünne Folie (151) des Fensters (150) zu kühlen.
 17. System (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Flanschhalter

(160) eine mechanische Verbindungsschnittstelle bildet, die sowohl den Halt des Fensters (150) als auch die Abdichtungen der Grenzflächen zwischen dem Kühlmittel, der Umgebungsluft, dem Sekundärvakuum des Teilchenbeschleunigers und dem Target-Gas des Hohlraums ermöglicht.

Claims

1. A gas target holder system (100) comprising:

- a body (110), which comprises:

- a cavity (120) configured to contain a target gas to irradiate with a particle beam (F) emitted by a particle accelerator, the cavity (120) comprising at least one portion (121) of frusto-conical shape, a back (122) closing a wide base of the portion of frusto-conical shape and an opening (112), opposite the back relative to the portion of frusto-conical shape, forming an entry in order for at least part of the particle beam to enter the cavity;

- a cooling circuit (130) comprising at least one duct (140) which comprises an inlet (141) and an outlet (142) and surrounds at least part of the cavity (120);

- a window (150), positioned facing the entry of the cavity to close the cavity, permeable to protons to enable introduction into the cavity of protons of the particle beam (F) emitted by the particle accelerator, the window comprising a thin sheet (151) permeable to at least part of the particle beam emitted by the particle accelerator and a support grid (152) configured to withstand pressure differences between an inside of the cavity and an outside of the target holder system, the thin sheet (151) being positioned between the support grid (152) and the cavity (120); and

- a support flange (160) which holds the window (150) and is hermetically secured on the body (110), and which comprises a mechanical fastening interface at an exit from a particle accelerator (170); the support flange (160) being furthermore configured to hermetically close the cavity (120) and to at least provide sealing between a vacuum formed in a beam line of the particle accelerator and a target gas under pressure contained in the cavity (120), the target holder system being **characterized in that** the support flange is furthermore configured to provide sealing between air outside the target holder system and a cooling fluid flowing in the cooling circuit (130).

2. A system (100) according to claim 1, **characterized in that** the cooling circuit duct (140) is formed in a body wall (111).

3. A system (100) according to any one of claims 1 or 2, **characterized in that** the cooling circuit duct (140) comprises at least one helical portion which surrounds at least part of the cavity (120).

4. A system (100) according to claim 3, **characterized in that** the helical portion extends from the duct inlet (141), surrounds at least part of the cavity (120) as far as the back (122) of the cavity, then furthermore surrounds at least part of the cavity (120) from the back (122) as far as the duct outlet.

5. A system (100) according to any one of claims 1 to 4, **characterized in that** the support grid (152) for example has an open/filled area ratio comprised between approximately 70% and approximately 90%.

6. A system (100) according to any one of claims 1 to 5, **characterized in that** the support grid (152) is for example of tungsten or of aluminum nitride.

7. A system (100) according to any one of claims 1 to 6, **characterized in that** the thin sheet (151) is of tungsten or of synthetic diamond.

8. A system (100) according to any one of claims 1 to 7, **characterized in that** the body (110) comprises a front surface (181) which forms a bearing surface for at least part of the thin sheet (151) of the window (150).

9. A system (100) according to claim 8, **characterized in that** both the inlet (141) and the outlet (142) of the duct (140) emerge into the front surface (181) of the body (110).

10. A system (100) according to anyone of claims 8 or 9, **characterized in that** the body (110) comprises a groove (182), set into the front surface (181), surrounding at least partly the entry of the cavity; the groove (182) forming part of the cooling circuit (130).

11. A system (100) according to claims 3 and 10, **characterized in that** the cooling circuit (130) comprises an ingress (187) of cooling fluid which is configured to circulate the cooling fluid both in the helical portion of the duct (140), which surrounds the cavity (120) configured to contain the gas to irradiate, and in the groove (182) located facing a periphery of the window (150).

12. A system (100) according to anyone of claims 10 or 11, **characterized in that** both the inlet (141) and the outlet (142) of the duct (140) emerge into the

groove (182).

13. A system (100) according to any one of claims 1 to 12, **characterized in that** the window (150) is inserted between the body (110) and the support flange (160). 5
14. A system (100) according to any one of claims 1 to 13, **characterized in that** the back (122) of the cavity comprises a concave surface. 10
15. A system (100) according to any one of claims 1 to 14, **characterized in that** the body is formed of AS7G6 aluminum alloy and/or by an additive manufacturing process. 15
16. A system (100) according to any one of claims 1 to 15, **characterized in that** the cooling circuit (130) is unique for cooling both the cavity (120) and at least the thin sheet (151) of the window (150). 20
17. A system (100) according to any one of claims 1 to 16, **characterized in that** the support flange (160) forms a mechanical connection interface enabling both the holding of the window (150) and the sealing of the interfaces between the cooling fluid, the ambient air, the secondary vacuum of the particle accelerator and the target gas of the cavity. 25

30

35

40

45

50

55

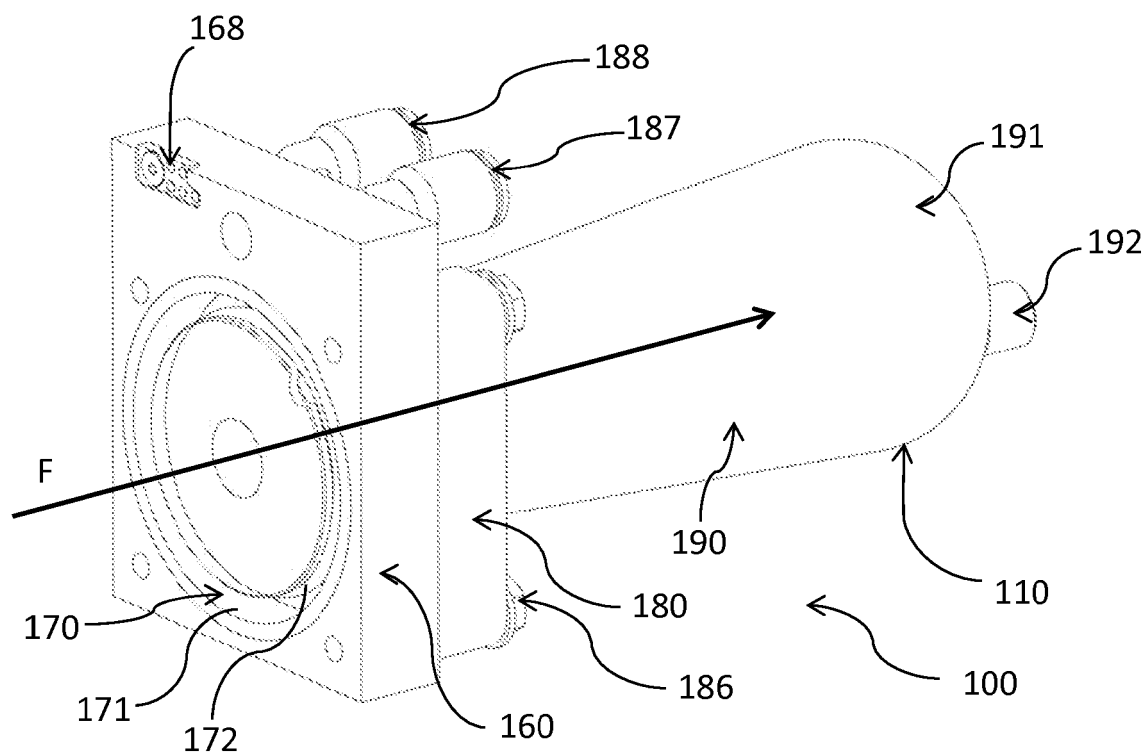


Fig. 1

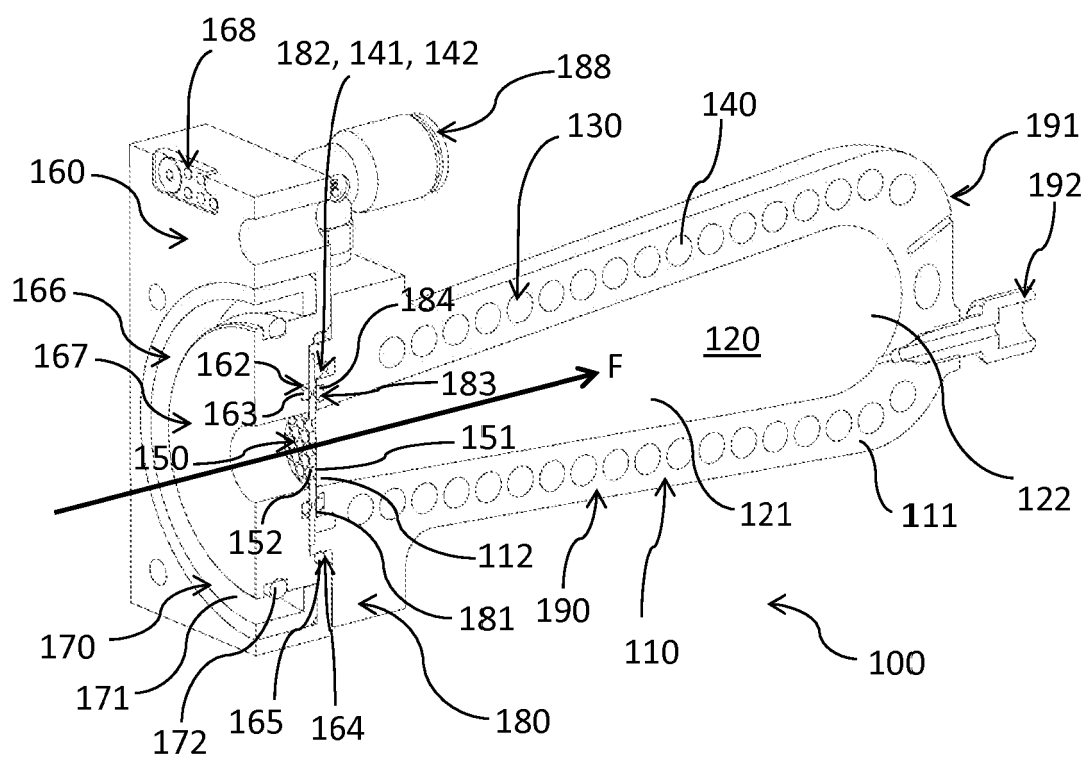


Fig. 2

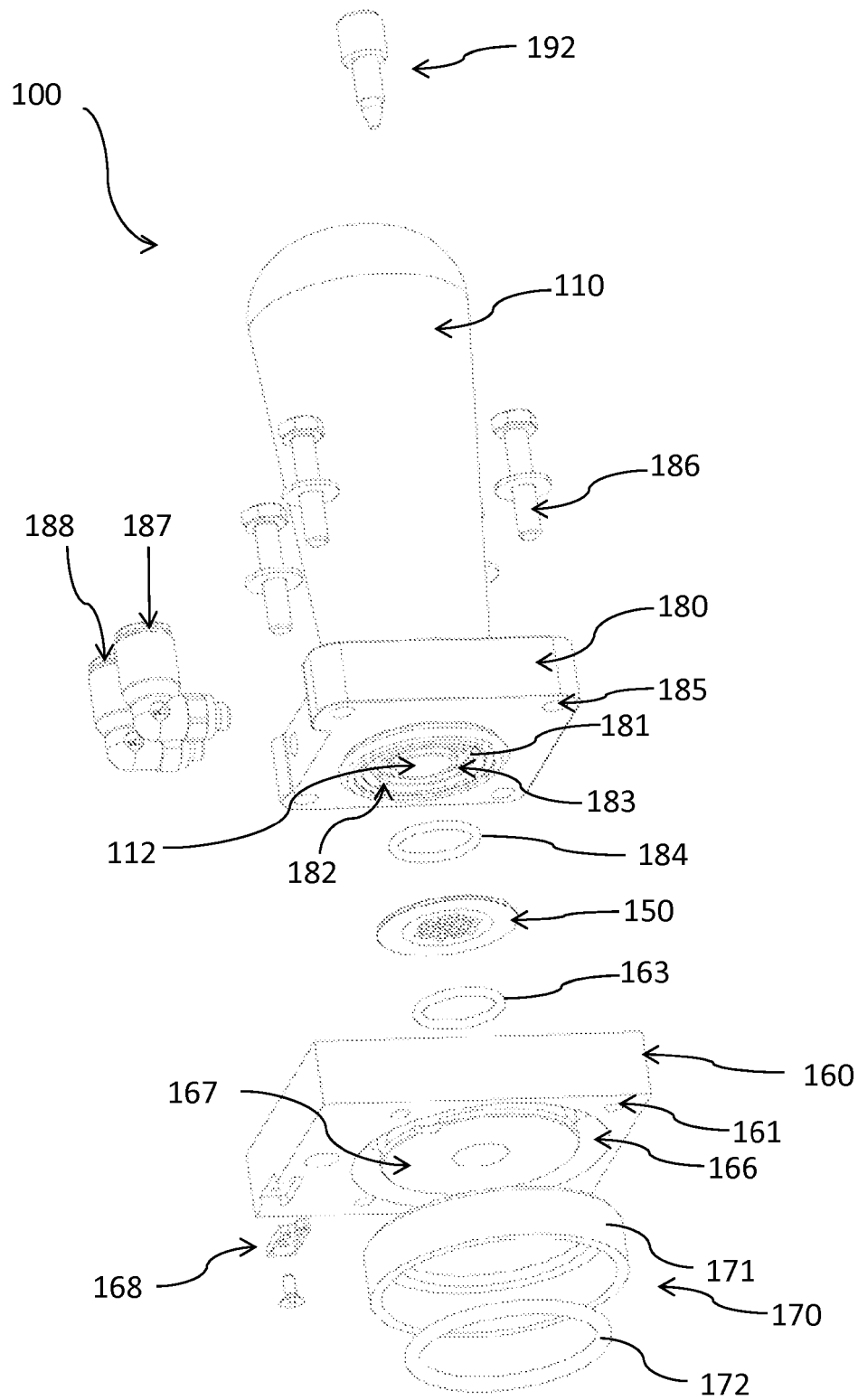


Fig. 3

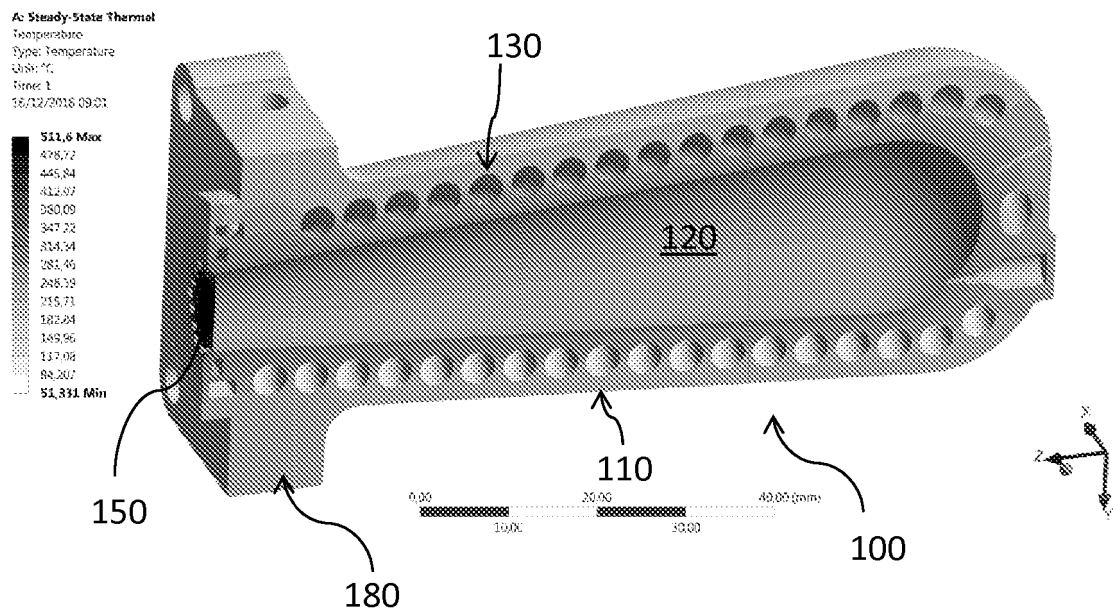


Fig. 4

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.

Littérature non-brevet citée dans la description

- **MOON BYUNG SEOK et al.** Development of additive [11C] CO₂ target system in the KOTRON-13 cyclotron and its application for [11C] radiopharmaceutical production. *NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH, SECTION B: BEAM INTERACTIONS WITH MATERIALS AND ATOMS*, 14 Mai 2015, vol. 356, 1-7 **[0006]**