(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
08 mars 2018 (08.03.2018)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2018/041861 A1

(51) Classification internationale des brevets :
H05H 13/02 (2006.01) *H05H 7/02* (2006.01)
H05H 7/18 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2017/071704

(22) Date de dépôt international :
30 août 2017 (30.08.2017)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1658064 31 août 2016 (31.08.2016) FR

(71) Déposant : **AIMA DEVELOPPEMENT** [FR/FR] ; Laboratoire du Cyclotron 227, avenue de la Lanterne, 06200 NICE (FR).

(72) Inventeurs : **MANDRILLON, Pierre** ; C/O AIMA DEVELOPPEMENT au Centre de Protonthérapie Lacassagne 227, avenue de la Lanterne, 06200 NICE (FR). **MANDRILLON, Jérôme** ; C/O AIMA DEVELOPPEMENT au Centre de Protonthérapie Lacassagne 227, avenue de la Lanterne, 06200 NICE (FR).

(74) Mandataire : **CABINET NONY** ; 11 rue Saint-Georges, 75009 PARIS (FR).

(81) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible)* : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC,

WO 2018/041861 A1

(54) Title: SUPERCONDUCTIVE SYNCHROCYCLOTRON

(54) Titre : SYNCHROCYCLOTRON SUPRACONDUCTEUR

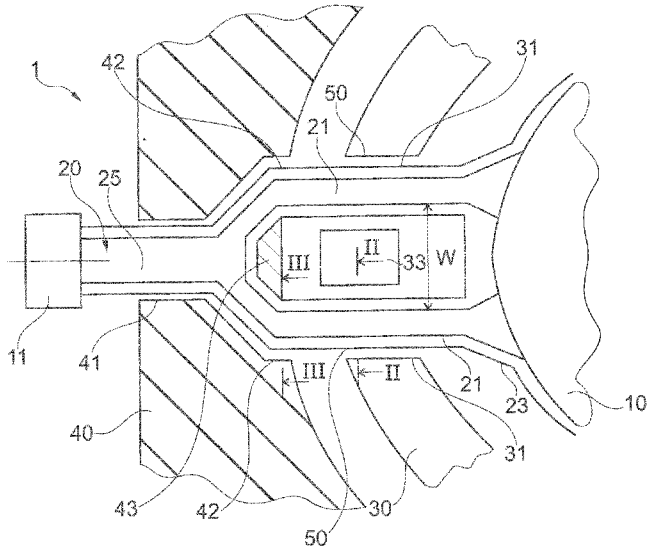


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a superconductive synchrocyclotron comprising at least one die connected to a HF source with a variable frequency by means of a stem, and at least one superconductive coil arranged in a cryostat, characterised in that the stem divides into at least two branches from the HF source towards the die, said branches each crossing the cryostat via a respective opening.

(57) Abrégé : Synchrocyclotron supraconducteur comportant au moins un Dé relié à une source HF de fréquence variable par un stem, et au moins une bobine supraconductrice disposée dans un cryostat, caractérisé par le fait que le stem se divise en au moins deux branches en allant de la source HF vers le Dé, ces branches traversant chacune le cryostat à la faveur d'une ouverture respective.

[Suite sur la page suivante]

SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible)* : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

— *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*

SYNCHROCYCLOTRON SUPRACONDUCTEUR

La présente invention concerne les synchrocyclotrons, et plus particulièrement les synchrocyclotrons supraconducteurs.

Les synchrocyclotrons sont actuellement utilisés en protonthérapie pour traiter certaines tumeurs-en radiothérapie de haute précision, notamment chez l'enfant.

Un synchrocyclotron supraconducteur comporte classiquement une cavité accélératrice au sein de laquelle un champ accélérateur est généré par au moins un Dé relié à une source HF de fréquence variable par un élément appelé « stem » qui assure également son maintien mécanique en porte-à-faux à l'intérieur de la cavité accélératrice. Les particules sont amenées à décrire des révolutions à l'aide d'un champ magnétique puissant, généré au moyen de bobines supraconductrices maintenues à basse température au sein d'un cryostat. Ce dernier est traversé par le stem et comporte un support qui maintient les bobines en place. La tenue mécanique de ce support doit lui permettre de résister, notamment là où il est affaibli par l'ouverture de passage du stem, aux forces d'origine électromagnétiques créées par les bobines, ainsi qu'à la contraction de ces dernières lors de leur refroidissement.

Un synchrocyclotron de ce type, destiné à la protonthérapie, a été présenté lors du 38ème European Cyclotron Progress Meeting (ECPM) en mai 2012.

Il existe un besoin pour disposer d'accélérateurs de plus grande énergie capables d'accélérer des particules plus lourdes que les protons, notamment des particules alpha, les bénéfices sur le plan clinique de tels accélérateurs étant très importants.

Néanmoins, les accélérateurs pour l'hadronthérapie (c'est-à-dire accélérant des hadrons, i.e. protons et particules chargées plus lourdes) se doivent de rester le plus compact possible pour limiter les travaux d'infrastructure lors de leur installation et conserver un coût compatible avec leur diffusion auprès du plus grand nombre d'hôpitaux.

L'accroissement de la taille de l'accélérateur entraîne celle du Dé.

Il est connu du synchrocyclotron installé à l'université de Nevis de reprendre une partie du poids du Dé à l'aide d'isolateurs placés au centre de la chambre accélératrice.

Une telle solution pose un problème de maintenance car les isolateurs sont soumis au champ radiofréquence, s'échauffent, s'usent rapidement et deviennent radioactifs.

Il subsiste par conséquent un besoin pour perfectionner encore les synchrocyclotrons supraconducteurs afin de faciliter la réalisation de synchrocyclotrons de plus forte puissance et qui restent relativement compacts.

L'invention répond à ce besoin grâce à un synchrocyclotron supraconducteur comportant au moins un Dé relié à une source HF de fréquence variable par un stem, et au moins une bobine supraconductrice disposée dans un cryostat, caractérisé par le fait que le stem se divise en au moins deux branches en allant de la source HF vers le Dé, ces branches traversant chacune le cryostat à la faveur d'une ouverture respective.

Un tel synchrocyclotron est avantageusement configuré pour accélérer des ions plus lourds que les protons, notamment des deutons ou des ions He^3, He^4, carbone, néon ou oxygène.

Grâce à l'invention, le Dé peut être supporté mécaniquement en porte-à-faux sans qu'il soit nécessaire de prévoir un maintien par des isolateurs au centre de la cavité accélératrice, les branches du stem étant réalisées avec l'inertie nécessaire pour maitriser la flèche du Dé.

La traversée du cryostat se fait par des ouvertures de taille plus restreinte que pour un stem sans division, de sorte que le support des bobines disposé à l'intérieur du cryostat peut être réalisé plus facilement avec la résistance mécanique nécessaire pour tenir les bobines.

De plus, la division en branches du stem diminue l'impédance au niveau des branches, ce qui permet d'allonger le stem et d'éloigner la source HF, ce qui est avantageux notamment lorsque la source HF comporte un condensateur rotatif qu'il convient d'éloigner au mieux du champ magnétique de fuite de l'électroaimant de l'accélérateur.

Le synchrocyclotron peut comporter une culasse avec un retour de culasse pour refermer le champ. Dans ce cas, le retour de culasse est traversé par le stem. La division du stem peut avoir lieu à l'intérieur du retour de culasse. Les branches du stem peuvent sortir du retour de culasse en direction du cryostat par des ouvertures respectives du retour de culasse.

La source HF peut être de tout type, par exemple à condensateur rotatif, ou comporter une ferrite ou être à large bande.

De préférence le stem ne comporte que deux branches.

De préférence l'écart entre les branches est supérieur à la dimension transversale des branches mesurée parallèlement au plan médian d'accélération. Cela facilite la réalisation d'ouvertures séparées pour la traversée du cryostat.

L'invention pourra être mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, d'un exemple de mise en œuvre non limitatif de celle-ci, et à l'examen du dessin annexé, sur lequel :

- La figure 1 est une vue de dessus schématique et partielle d'un synchrocyclotron selon l'invention, dans une direction perpendiculaire au plan médian de la cavité accélératrice,
- Les figures 2 et 3 sont des coupes schématiques selon II-II et III-III de la figure 1.

On a représenté à la figure 1 un synchrocyclotron supraconducteur 1 comportant de façon connue en soi une cavité accélératrice pourvu d'au moins un Dé 10 permettant de générer un champ électrique accélérateur.

Ce Dé 10 est relié à une source HF à fréquence variable 11 comportant par exemple un condensateur rotatif, connu en lui-même, par un stem 20.

Le synchrocyclotron 1 comporte un cryostat 30 qui entoure la cavité accélératrice et qui loge des bobines supraconductrices non représentées permettant de générer le champ magnétique nécessaire pour incurver la trajectoire des particules durant leur accélération afin de leur permettre de décrire des révolutions dans la cavité accélératrice.

Dans l'exemple considéré, le synchrocyclotron 1 comporte une culasse magnétique qui comporte un retour 40 permettant de refermer le champ magnétique généré par les bobines.

La partie 25 du stem 20 provenant de la source HF 11 pénètre par à l'intérieur du retour de culasse 40 par une ouverture 41 et s'y divise en deux branches 21, lesquelles sont de préférence parallèles, comme illustré. Ces dernières quittent le retour 40 par des ouvertures respectives 42 et traversent le cryostat 30 à la faveur d'ouvertures respectives 31. Les ouvertures 41 sont séparées par une portion pleine 43 du retour de culasse 40. Les ouvertures 31 du cryostat sont séparées par une portion 33 de celui-ci participant au support des bobines contenues à l'intérieur.

Un blindage de masse 23, encore appelé « liner », s'étend en regard du stem 20. Sur les figures 2 et 3, ce blindage 23 a été représenté espacé de la paroi des ouvertures 31 et 41 mais il peut en variante s'appliquer dessus.

L'écartement W entre les branches 21 est supérieur à la dimension transversale *d* des branches mesurée parallèlement au plan médian M de la cavité accélératrice.

Des moyens d'étanchéité 50 sont prévus pour assurer la traversée étanche du cryostat 30 par les branches 21 du stem 20.

Ces moyens d'étanchéité 50 sont par exemple disposés à l'entrée des ouvertures 31, comme illustré.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée à l'exemple qui vient d'être décrit.

Par exemple, la section des branches 21 du stem 20 peut être quelconque, notamment circulaire.

La forme du stem 20 peut varier, notamment l'orientation des branches 21, lesquelles peuvent par exemple diverger vers le Dé 10. La forme de ce dernier n'est pas limitée à la forme illustrée.

REVENDICATIONS

1. Synchrocyclotron supraconducteur (1) comportant au moins un Dé (10) relié à une source HF (11) de fréquence variable par un stem (20), et au moins une bobine supraconductrice disposée dans un cryostat (30), caractérisé par le fait que le stem (20) se divise en au moins deux branches (21) en allant de la source HF vers le Dé, ces branches traversant chacune le cryostat à la faveur d'une ouverture respective (31).

2. Synchrocyclotron selon la revendication 1, comportant une culasse magnétique et un retour de culasse (40) traversé par le stem (20).

3. Synchrocyclotron selon la revendication 2, la division du stem ayant lieu à l'intérieur du retour de culasse.

4. Synchrocyclotron selon la revendication 3, les branches (21) du stem sortant du retour de culasse en direction du cryostat par des ouvertures respectives (42) du retour de culasse (40).

5. Synchrocyclotron selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, la source HF étant à condensateur rotatif (11).

6. Synchrocyclotron selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, la source HF comportant une ferrite.

7. Synchrocyclotron selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, la source HF est à large bande.

8. Synchrocyclotron selon l'une quelconque des revendications précédentes, le stem (20) ne se divisant qu'en deux branches (21).

9. Synchrocyclotron selon l'une quelconque des revendications précédentes, l'écart (W) entre les branches (21) étant supérieur à la dimension transversale (d) des branches mesurées parallèlement au plan médian d'accélération (M).

10. Utilisation du synchrocyclotron selon l'une quelconque des revendications précédentes, pour accélérer des ions plus lourds que les protons.

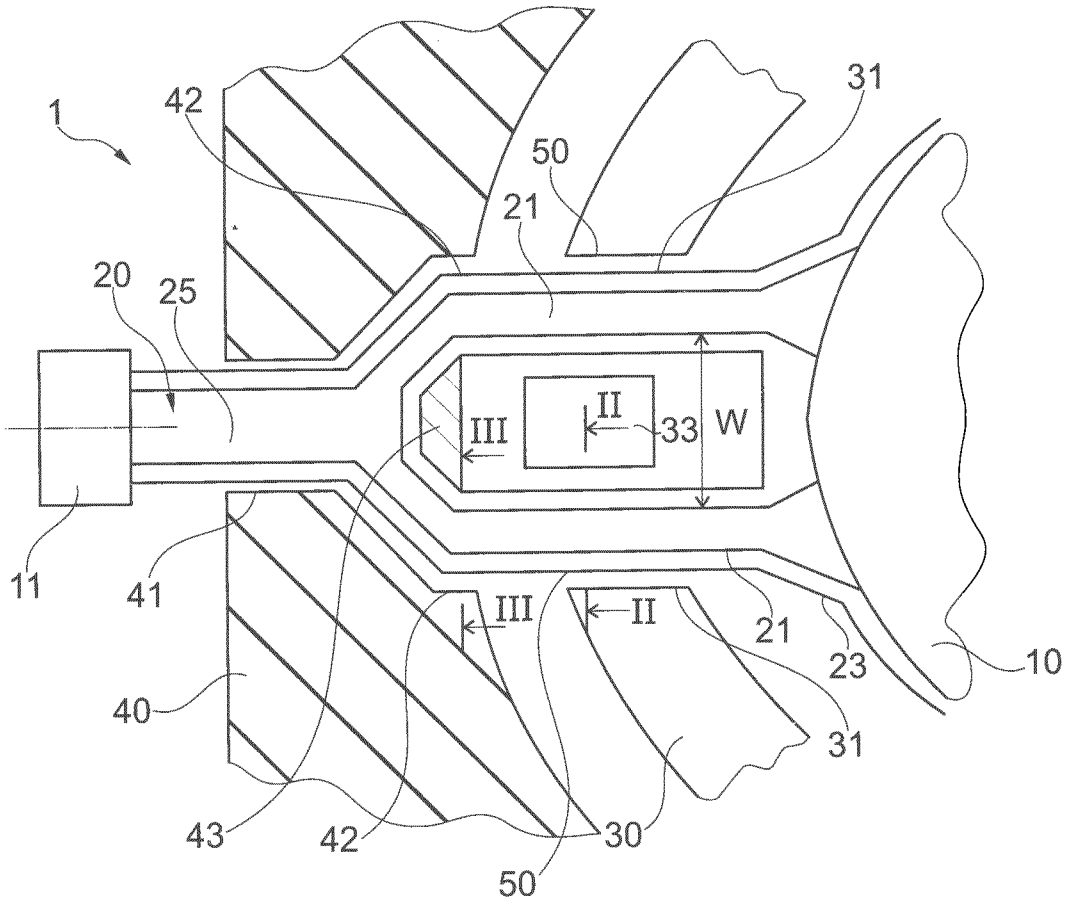


Fig. 1

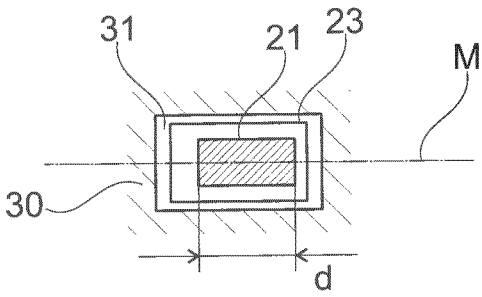


Fig. 2

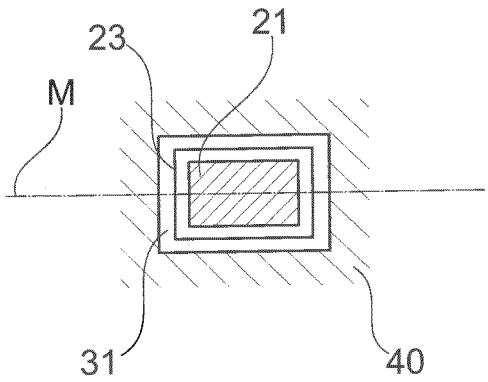


Fig. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/071704

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H05H13/02 H05H7/18 H05H7/02
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H05H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	W. J.G.M KLEEVEN ET AL: "The IBA Superconducting Synchrocyclotron Project S2C2", CYCLOTRONS2013, 1 March 2014 (2014-03-01), XP055380634, page 1 - page 18 -----	1-10
A	WO 2014/177748 A1 (CT DE INVESTIGACIONES ENERGÉTICAS MEDIOAMBIENTALES Y TECNOLÓGICAS CIEM) 6 November 2014 (2014-11-06) page 3, line 17 - page 12, line 27 figures 1-5 ----- -/--	1-10

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
23 October 2017	30/10/2017

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Clemente, Gianluigi

1

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/071704

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2007/130164 A2 (MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY [US]; ANTAYA TIMOTHY A [US]) 15 November 2007 (2007-11-15) figures 1,5-8 page 6, line 16 - page 27, line 15 -----	1-10
A	US 4 345 210 A (TRAN DUC T) 17 August 1982 (1982-08-17) figure 4 column 2, line 54 - column 3, line 46 -----	1-10

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2017/071704

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2014177748 A1	06-11-2014	ES 2436010 A1	26-12-2013
		WO 2014177748 A1	06-11-2014
WO 2007130164 A2	15-11-2007	AT 460071 T	15-03-2010
		EP 1977631 A1	08-10-2008
		EP 1977632 A2	08-10-2008
		EP 2190269 A2	26-05-2010
		JP 5481070 B2	23-04-2014
		JP 2009524200 A	25-06-2009
		JP 2009524201 A	25-06-2009
		US 2007171015 A1	26-07-2007
		US 2009206967 A1	20-08-2009
		US 2010148895 A1	17-06-2010
		US 2011193666 A1	11-08-2011
		US 2012142538 A1	07-06-2012
		WO 2007084701 A1	26-07-2007
		WO 2007130164 A2	15-11-2007
US 4345210 A	17-08-1982	CA 1139819 A	18-01-1983
		FR 2458201 A1	26-12-1980
		JP S55163800 A	20-12-1980
		NO 801633 A	01-12-1980
		US 4345210 A	17-08-1982

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2017/071704

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. H05H13/02 H05H7/18 H05H7/02
ADD.

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

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
H05H

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

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)
EPO-Internal, WPI Data, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	W. J.G.M KLEEVEN ET AL: "The IBA Superconducting Synchrocyclotron Project S2C2", CYCLOTRONS2013, 1 mars 2014 (2014-03-01), XP055380634, page 1 - page 18	1-10

A	WO 2014/177748 A1 (CT DE INVESTIGACIONES ENERGÉTICAS MEDIOAMBIENTALES Y TECNOLÓGICAS CIEM) 6 novembre 2014 (2014-11-06) page 3, ligne 17 - page 12, ligne 27 figures 1-5	1-10

	-/--	

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

[X] Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
23 octobre 2017	30/10/2017

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Clemente, Gianluigi

1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2017/071704

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	WO 2007/130164 A2 (MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY [US]; ANTAYA TIMOTHY A [US]) 15 novembre 2007 (2007-11-15) figures 1,5-8 page 6, ligne 16 - page 27, ligne 15	1-10
A	US 4 345 210 A (TRAN DUC T) 17 août 1982 (1982-08-17) figure 4 colonne 2, ligne 54 - colonne 3, ligne 46	1-10

1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°
PCT/EP2017/071704

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2014177748 A1	06-11-2014	ES 2436010 A1	26-12-2013
		WO 2014177748 A1	06-11-2014
WO 2007130164 A2	15-11-2007	AT 460071 T	15-03-2010
		EP 1977631 A1	08-10-2008
		EP 1977632 A2	08-10-2008
		EP 2190269 A2	26-05-2010
		JP 5481070 B2	23-04-2014
		JP 2009524200 A	25-06-2009
		JP 2009524201 A	25-06-2009
		US 2007171015 A1	26-07-2007
		US 2009206967 A1	20-08-2009
		US 2010148895 A1	17-06-2010
		US 2011193666 A1	11-08-2011
		US 2012142538 A1	07-06-2012
		WO 2007084701 A1	26-07-2007
		WO 2007130164 A2	15-11-2007
US 4345210 A	17-08-1982	CA 1139819 A	18-01-1983
		FR 2458201 A1	26-12-1980
		JP S55163800 A	20-12-1980
		NO 801633 A	01-12-1980
		US 4345210 A	17-08-1982