



(51) Classification internationale des brevets :

B22F 3/105 (2006.01) *B29C 64/153* (2017.01)
C09C 3/04 (2006.01) *B29C 64/282* (2017.01)
H05H 1/00 (2006.01) *B29C 64/295* (2017.01)
H05H 1/02 (2006.01) *H05H 1/46* (2006.01)
B33Y 10/00 (2015.01) *H05H 1/50* (2006.01)
B33Y 30/00 (2015.01) *B33Y 40/00* (2015.01)

(71) **Déposants :** **ADDUP** [FR/FR] ; 5 Rue Bleue Zone Industrielle de Ladoux, 63118 CEBAZAT (FR). **CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS)** [FR/FR] ; 3, rue Michel Ange, 75016 PARIS (FR). **UNIVERSITE PARIS-SUD** [FR/FR] ; 15, rue Georges Clémenceau, 91400 ORSAY (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2019/050809

(22) Date de dépôt international :

05 avril 2019 (05.04.2019)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

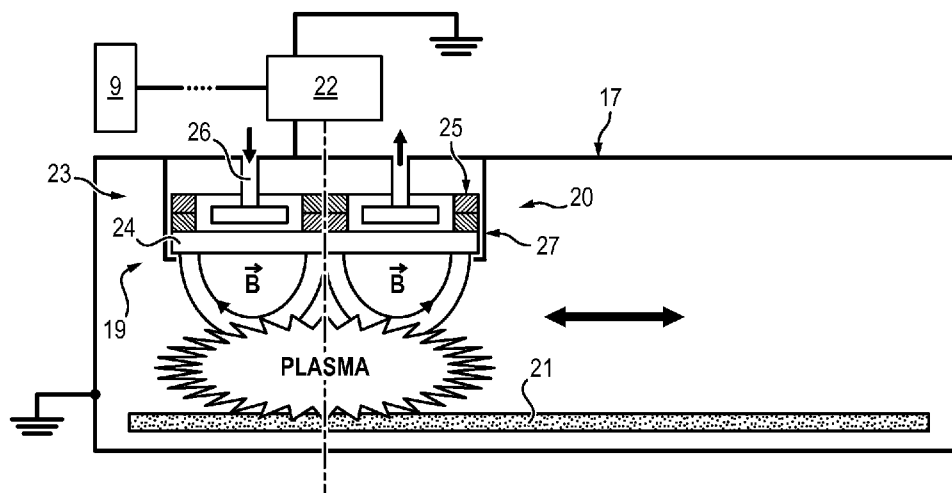
1853031 06 avril 2018 (06.04.2018) FR

(72) **Inventeurs :** **WALRAND, Gilles** ; c/o AddUp 5 rue bleue Zone Industrielle de Ladoux, 63118 CEBAZAT (FR). **MI-NEA, Tiberiu** ; 6 rue Charles Marie Widor, 75016 PARIS (FR). **BALLAGE, Charles** ; 1 T, Avenue Alfred de Vigny, 91440 BURES SUR YVETTE (FR). **LUNDIN, Daniel** ; 3 rue R Cavalier de la Salle, 91300 MASSY (FR). **PETTY, Thomas** ; 12 rue Georges Lafenestre, 92340 BOURG LA REINE (FR).

(54) **Title:** MAGNETIC CONFINEMENT HEATING DEVICE FOR SELECTIVE ADDITIVE MANUFACTURING APPARATUS

(54) **Titre :** DISPOSITIF DE CHAUFFAGE A CONFINEMENT MAGNÉTIQUE POUR APPAREIL DE FABRICATION ADDITIVE SÉLECTIVE

FIG. 3



(57) **Abstract:** The invention relates to a device for heating a powder bed in an additive manufacturing apparatus, characterized in that it includes: - a plasma generation device (20), said device being designed to be arranged and moved above the powder bed, at a distance from the powder bed that makes it possible to generate plasma thereon, - a unit for supplying electric power (22) to said plasma generation device, - a control unit (9) for controlling the supply of power to and movement of the plasma generation device, and in that the plasma generation device (20) includes an assembly for magnetically confining the plasma.

(57) **Abrégé :** L'invention concerne un dispositif de chauffage d'un lit de poudre dans un appareil de fabrication additive, caractérisé en ce qu'il comporte : - un dispositif de génération de plasma (20), ledit dispositif étant adapté pour être disposé et déplacé au-dessus du lit de poudre, à une distance du lit de poudre permettant la génération du plasma sur celui-ci, - une unité pour l'alimentation électrique



(74) **Mandataire : REGIMBEAU** ; 20, rue de Chazelles, 75847
PARIS CEDEX 17 (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, 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), eurasién (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))

(22) dudit dispositif de génération de plasma, - une unité de contrôle (9) pour commander l'alimentation et le déplacement du dispositif de génération de plasma, et en ce que le dispositif de génération de plasma (20) comporte un ensemble de confinement magnétique du plasma.

DISPOSITIF DE CHAUFFAGE A CONFINEMENT MAGNETIQUE
POUR APPAREIL DE FABRICATION ADDITIVE SELECTIVE

DOMAINE TECHNIQUE GÉNÉRAL ET ART ANTÉRIEUR

La présente invention concerne le domaine général de la fabrication
5 additive sélective.

Plus particulièrement, elle concerne les traitements de chauffage, et notamment de préchauffe, éventuellement de post-traitement *in situ* par chauffage que l'on met en œuvre sur les lits de poudre avant la fusion sélective.

10 La fabrication additive sélective consiste à réaliser des objets tridimensionnels par consolidation de zones sélectionnées sur des strates successives de matériau pulvérulent (poudre métallique, poudre de céramique, etc...). Les zones consolidées correspondent à des sections successives de l'objet tridimensionnel. La consolidation se fait par exemple
15 couche par couche, par une fusion sélective totale ou partielle réalisée avec une source de puissance (faisceau laser de forte puissance, faisceau d'électrons, etc.).

Classiquement, pour éviter les projections dues à la répulsion électrostatique de particules de poudre adjacentes qui se chargent sous
20 l'effet du faisceau de la source de puissance, le lit de poudre est préalablement consolidé par une préchauffe. Cette préchauffe assure une montée en température du lit de poudre à des températures qui peuvent être assez conséquentes (environ 750 °C pour les alliages de Titane).

Elle a toutefois un fort coût énergétique.

25 Elle représente en outre une perte en temps de cycle importante.

Afin d'optimiser les performances des sources de puissance utilisées, il est connu de travailler en enceinte hermétique dans laquelle est réalisé un vide partiel, notamment afin de réduire les transferts d'énergie entre le signal émis par la source de puissance et l'atmosphère environnante de
30 manière à améliorer les transferts d'énergie entre la source de puissance et le lit de poudre.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE L'INVENTION

Un but général de l'invention est de pallier les inconvénients des configurations proposées jusqu'à présent.

5 Notamment, un but de l'invention est de proposer une solution qui permette une chauffe sans chargement et soulèvement de poudre.

Un autre but est de proposer une solution de chauffage (réalisée avant ou après une étape de fusion sélective) fonctionnant à très basse pression, de manière à optimiser les performances du dispositif de fusion
10 des poudres.

Un autre but encore est de proposer une solution qui permette de réduire les coûts et les temps de préchauffe ou de post-traitement par chauffage dans les cycles de fabrication.

Un autre but de l'invention est de proposer une solution simple de
15 construction.

Un autre but également est de proposer une solution de chauffage efficace, sur une large gamme de pressions, tout en restant à basse pression ($< 0,1$ mbar).

Ainsi, selon un premier aspect, l'invention propose un dispositif de
20 chauffage d'un lit de poudre dans un appareil de fabrication additive, caractérisé en ce qu'il comporte :

- un dispositif de génération de plasma, ledit dispositif étant adapté pour être disposé et déplacé au-dessus du lit de poudre, à une distance du lit de poudre permettant la génération du plasma sur celui-ci,
 - 25 - une unité pour l'alimentation électrique dudit dispositif de génération de plasma,
 - une unité de contrôle pour commander l'alimentation et le déplacement du dispositif de génération de plasma,
- et en ce que le dispositif de génération de plasma comporte un ensemble
30 de confinement magnétique du plasma.

De cette manière, le plasma est confiné et localisé dans une zone restreinte, optimisant le préchauffage du lit de poudre.

Le rendement énergétique du cycle de chauffage est donc amélioré, diminuant de ce fait la durée et le coût d'un cycle de préchauffage ou de chauffage.

Un tel dispositif peut être avantageusement complété par les caractéristiques suivantes, prises seules ou en combinaison :

- l'ensemble de confinement de plasma comporte un dispositif de type magnétron adapté pour confiner des particules chargées ;
- le dispositif magnétron comporte un arrangement d'aimants configuré pour confiner des électrons suivant un motif linéique ;
- le dispositif de type magnétron comporte une fente formant source d'ions, la fente étant ménagée à travers l'électrode et débouchant en regard du lit de poudre ;
- un gaz est injecté dans la fente ;
- le dispositif de génération de plasma est adapté pour être déplacé avec une composante principale de déplacement perpendiculaire à la direction selon laquelle il s'étend ;
- l'unité pour l'alimentation électrique dudit dispositif de génération de plasma comprend une source de haute tension continue et/ou radiofréquence et/ou impulsionnelle.

Selon un deuxième aspect, l'invention propose un appareil pour fabriquer un objet tridimensionnel par fabrication additive sélective comportant dans une enceinte :

- un support pour le dépôt des couches successives de poudre de fabrication additive,

- un arrangement de distribution adapté pour appliquer une couche de poudre sur ledit support ou sur une couche précédemment
5 consolidée,

- au moins une source de puissance adaptée à la consolidation sélective d'une couche de poudre appliquée par l'arrangement de distribution,

l'appareil comportant un dispositif de chauffage conforme à la
10 présente invention, le dispositif de génération de plasma du dispositif de chauffage étant adapté pour être disposé et déplacé au-dessus du lit de poudre, à une distance du lit de poudre permettant la génération du plasma sur celui-ci, le dispositif de génération de plasma comportant en outre un ensemble de confinement magnétique de plasma.

15

Cet appareil peut comporter un arrangement de distribution comportant une raclette ou un rouleau de mise en couche, le dispositif de génération de plasma s'étendant à proximité de ladite raclette ou rouleau et étant mobile avec celui-ci, ou placé sur un dispositif mobile indépendant
20 tel un bras robot par exemple.

Selon un troisième aspect, l'invention propose une fabrication d'un objet tridimensionnel par fabrication additive sélective, ladite méthode comportant les étapes :

25 - Dépôt d'une couche de poudre sur un support ou une couche précédemment solidifiée,
- Consolidation de la zone préalablement préchauffée, la consolidation étant réalisée au moyen d'une source de puissance,

30 la méthode comportant en outre une étape de chauffage d'au moins une zone localisée de la couche de poudre au moyen d'un dispositif de chauffage conforme à la présente invention, le chauffage du lit de poudre étant réalisé par un plasma confiné.

Une telle méthode peut être avantageusement complétée par les caractéristiques suivantes, prises seules ou en combinaison :

- 5 - au cours de l'étape de chauffage, le dispositif de génération de plasma confine les particules chargées dans une localisation précise, de manière à maîtriser la formation des décharges électriques lors de l'alimentation de l'électrode, générant un plasma confiné de manière à maximiser le transfert thermique entre le plasma et le lit de poudre ;
- 10 - au cours de l'étape de chauffage, un gaz est injecté dans le dispositif de génération de plasma pour y être ionisé, le champ magnétique induisant une projection du gaz ionisé de manière à générer un jet de plasma confiné, orienté vers la poudre ;
- 15 - au moins une étape de chauffage est réalisée avant et/ou après l'étape de consolidation.

PRÉSENTATION DES FIGURES

20 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront encore de la description qui suit, laquelle est purement illustrative et non limitative, et doit être lue en regard des figures annexées sur lesquelles :

- 25 - la figure 1 est une représentation schématique d'un appareil de fabrication additive comportant un dispositif de chauffage conforme à un mode de réalisation possible de l'invention ;
- la figure 2 est un schéma de principe d'un dispositif de génération de plasma chauffant un lit de poudre conforme à l'invention ;
- la figure 3 est une vue schématique en coupe d'un dispositif de génération de plasma à magnétron conforme à l'invention ;
- 30 - la figure 4 est un schéma de la structure d'un arrangement d'aimants d'un dispositif à magnétron conforme à l'invention ;

- la figure 5 est un schéma de principe en 3D, en vue de dessous, mettant en lumière le fonctionnement d'un dispositif à cathode magnétron conforme à l'invention ;

5 - la figure 6 est une vue schématique en coupe représentant un mode de réalisation d'un dispositif à cathode magnétron conforme à l'invention équipé en variante d'une électrode (cathode) rotative ;

10 - la figure 7 est une représentation en 3D, en vue de dessous, d'un deuxième mode de réalisation d'un dispositif de génération de plasma à confinement magnétique générant un faisceau d'ions conforme à l'invention (connu aussi comme magnétron inversé) ;

 - la figure 8 est une représentation schématique d'un lit de poudre chauffé au moyen d'un dispositif de chauffage selon l'invention.

DESCRIPTION D'UN OU PLUSIEURS MODES DE MISE EN ŒUVRE ET 15 **DE RÉALISATION**

Généralités

L'appareil 1 de fabrication additive sélective de la figure 1 comprend :

20 - un support tel qu'un plateau horizontal 3 sur lequel sont déposées successivement les différentes couches de poudre de fabrication additive (poudre métallique, poudre de céramique, etc.) permettant de fabriquer un objet tridimensionnel (objet 2 en forme de sapin sur la figure),

25 - un réservoir de poudre 7 situé au-dessus du plateau 3,
 - un arrangement 4 pour la distribution de ladite poudre métallique sur le plateau, cet arrangement 4 comportant par exemple une raclette 5 ou un rouleau de mise en couche pour étaler les différentes couches successives de poudre (déplacement selon la double flèche A),

 - un ensemble 8 de sources d'énergie pour la fusion (totale ou partielle) des couches fines étalées,

30 - une unité de contrôle 9 qui assure le pilotage des différents composants de l'appareil 1 en fonction d'informations pré-mémorisées (mémoire M),

- un mécanisme 10 pour permettre de descendre le support du plateau 3 au fur et à mesure du dépôt des couches (déplacement selon la double flèche B).

Dans l'exemple décrit en référence à la figure 1, l'ensemble 8
5 comprend deux sources de consolidation :

- un canon à faisceau d'électrons 11 et
- une source 12 de type laser.

En variante, l'ensemble 8 peut ne comprendre qu'une source, par exemple une source d'énergie localisée sous vide ou à très basse pression
10 (< 0.1 mbar) : canon à électrons, source laser, etc...

Toujours en variante, l'ensemble 8 peut aussi comprendre plusieurs sources du même type, comme par exemple plusieurs canons à électrons et/ou sources laser, ou des moyens permettant d'obtenir plusieurs faisceaux à partir d'une même source.

15 Dans l'exemple décrit en référence à la figure 1, au moins un miroir galvanométrique 14 permet d'orienter et de déplacer le faisceau laser issu de la source 12 par rapport à l'objet 2 en fonction des informations envoyées par l'unité de contrôle 9.

Tout autre système de déviation peut bien entendu être envisagé.

20 Dans un autre exemple non illustré, l'ensemble 8 comprend plusieurs sources 12 de type laser et le déplacement des différents faisceaux laser est obtenu en déplaçant les différentes sources 12 de type laser au-dessus de la couche de poudre à fusionner. Des bobines 15 et 16 de déflexion et de focalisation permettent de défléchir et de focaliser localement le faisceau
25 d'électrons sur les zones de couches à fritter ou fusionner.

Un bouclier thermique T peut être interposé entre la ou les sources de l'ensemble 8.

Les composants de l'appareil 1 sont agencés à l'intérieur d'une enceinte étanche 17 reliée à au moins une pompe à vide 18 qui maintient
30 un vide secondaire à l'intérieur de ladite enceinte 17 (typiquement environ 10^{-2} / 10^{-3} mbar, voire 10^{-4} / 10^{-6} mbar).

L'appareil comprend en outre un dispositif de chauffage 19 disposé au-dessus du lit de poudre et apte à se déplacer linéairement par rapport à celui-ci.

5 Ce dispositif de chauffage 19 peut être disposé derrière la raclette 5 ou le rouleau de mise en couche sur un même chariot coulissant. Il peut également être monté sur un chariot indépendant ou sur un bras robot. Dans ce dernier cas (non illustré) le motif décrit par le piège magnétique de la cathode magnétron peut être de toute autre forme que linéaire, permettant par exemple un chauffage localisé.

10 Le déplacement dudit dispositif de chauffage 19, son alimentation et son temps de résidence devant le lit de poudre que l'on souhaite chauffer ou préchauffer sont également contrôlés par l'unité 9.

Chauffage par décharge linéaire confinée magnétiquement

15 Dans l'exemple illustré sur la figure 2, le dispositif de chauffage 19 comporte un dispositif de génération de plasma 20 que l'on déplace au-dessus du lit de poudre métallique (surface 21 massive ou granulaire, constituée de micro- ou nano-poudre).

Ce dispositif de génération de plasma 20 est alimenté par une source d'excitation électrique 22 commandée par l'unité de contrôle 9.

La source 22 permet l'application d'une haute tension ($> 0,2$ kV) entre le dispositif de génération de plasma 20 et la surface 21 du lit de poudre.

L'alimentation ainsi réalisée par la source 22 peut être en courant continu, en basse fréquence, en radio fréquence (RF), ou impulsionnelle.

25 Le dispositif de génération de plasma 20 génère, sous l'effet de ladite source 22, des décharges électriques entre le dispositif de génération de plasma 20 et la surface 21 et crée un plasma, qui assure le chauffage de la surface 21.

Le dispositif de génération de plasma 20 s'étend de manière sensiblement parallèle à la surface 21. Il est déplacé parallèlement à ladite surface 21, perpendiculairement à la direction selon laquelle elle s'étend.

Une telle configuration permet un chauffage homogène sur une surface du lit de poudre correspondant à la longueur du dispositif de génération de plasma 20 et à sa distance de déplacement.

La surface 21 du lit de poudre est par exemple reliée à la masse.

5 Le chauffage peut être réalisé avant l'étape de consolidation, constituant donc une étape de préchauffage, de manière à éviter les projections de poudres.

Optionnellement, une étape de chauffage peut être réalisée après l'étape de consolidation, constituant donc une étape de post-chauffage, de
10 manière à effectuer un recuit du matériau ou limiter l'effet de trempe par l'atmosphère de travail, ou encore maîtriser l'évolution de la température au refroidissement de manière à obtenir une structure cristalline particulière.

15 Dispositif à magnétron linéaire

Afin de générer un plasma à basse pression ($< 0,1$ mbar) et de manière afin d'améliorer les performances du dispositif de génération de plasma 20, ce dispositif comporte un système de confinement magnétique du plasma.

20 On a représenté sur la figure 3 un ensemble de confinement de plasma comportant un dispositif 23 magnétron de génération de plasma linéique.

Il comporte une électrode 24, de préférence polarisée négativement (et jouant, dans ce cas, le rôle de cathode).

25 Un arrangement d'aimants 25, disposé en regard d'une première face de l'électrode 24, génère un piège magnétique qui permet le confinement des électrons en regard de l'autre face de l'électrode 24.

Les aimants peuvent être permanents ou des électroaimants, ou encore une combinaison des deux.

30 Suivant les besoins, l'électrode 24 peut être alimentée (source 22) en courant continu (DC - direct current, en anglais), en Radio Fréquence (RF) ou en mode impulsionnel haute puissance (HiPIMS - High Power Impulse

Magnetron Sputtering, en anglais), mais généralement recevant une tension négative.

En fonction de son mode d'alimentation, le matériau constitutif de l'électrode 24 peut être un conducteur électrique, un isolant ou un semi-conducteur.

Dans le cas d'une électrode 24 réalisée en matériau conducteur électrique, tous les modes d'alimentation électrique conviennent.

Dans le cas d'une électrode 24 réalisée en matériau non-conducteur, seulement les modes RF ou impulsionnels conviennent.

Une circulation 26 d'un fluide de refroidissement (par exemple de l'eau, du glycol, etc.) est prévue dans l'électrode 24, alimenté par un système externe.

Le fluide frigorigène peut par exemple être injecté par des orifices ménagés dans une des parois du chariot 27, et peut être par exemple être mis en circulation entre les rangées d'aimants de l'arrangement d'aimants 25, le fluide étant ainsi également en contact avec l'électrode 24 et refroidissant celle-ci.

Le fluide frigorigène peut ensuite être extrait par un second orifice ménagé dans le chariot 27.

Un tel dispositif magnétron 23 est monté à l'intérieur de l'enceinte 17 sur un chariot 27 disposé au-dessus du lit de poudre et apte à se déplacer linéairement par rapport à celui-ci (double flèche sur la figure).

Ce chariot 27 est par exemple celui du rouleau de mise en couche, le dispositif magnétron 23 étant disposé derrière ledit rouleau (par rapport au sens d'avancement de celui-ci).

En référence à la figure 4, un exemple d'arrangement d'aimants 25 comporte deux rangées d'aimants disposés de manière à former une piste 28 linéique. Les aimants de polarités inverses sont ainsi disposés de part et d'autre de la piste 28.

Dans l'exemple illustré, la piste magnétique 28 est fermée.

En référence à la figure 5, l'arrangement d'aimants 25 est couvert par l'électrode 24.

Le champ magnétique généré par les aimants piège les électrons autour des lignes de champ magnétique, du côté de l'électrode 24 faisant face au lit de poudre, et augmente ainsi l'ionisation du gaz le long d'un motif 29 linéique situé le long de la piste 28, tel qu'illustré sur la figure 5.

5 Cette configuration magnétique concentre les électrons et le long du motif 29, formant un plasma le long dudit motif 29.

Afin d'augmenter encore l'efficacité du piège, il est généralement réalisé un arrangement alterné (nord extérieur et sud au centre, ou le contraire) pour réaliser une piste magnétique 28 fermée telle qu'illustrée en
10 figure 4.

Fonctionnement du dispositif à décharge magnétron

L'arrangement d'aimants 25 est donc configuré pour générer un champ magnétique qui va concentrer les électrons dans une zone
15 déterminée. Dans l'exemple décrit, il s'agit d'un motif 29 linéique, mais les aimants pourraient être disposés de manière à former tout autre modèle géométrique, comme un cercle ou une courbe.

Lorsque l'électrode 24 est alimentée, une décharge électrique se produit entre le lit de poudre et l'électrode 24, générant ainsi un plasma.

20 La concentration des électrons dans une zone déterminée permet de favoriser d'ionisation locale du gaz dans la zone, et la présence d'un piège magnétique permet de confiner le plasma dans une zone précise, même à très basse pression.

Un tel dispositif est adapté à des fonctionnements basse pression, typiquement autour de 1 Pa (10^{-2} mbar), comme plus largement sur une
25 gamme de pressions allant du microbar (0,1 Pa) au millibar (100 Pa).

Cet ordre de grandeur de pression (aux alentours du Pascal) permet d'améliorer les performances des sources de puissance réalisant la fusion des poudres.

30 Plus précisément, dans le cas de figure où la source de puissance 12 comporte un générateur de faisceau d'électrons, une pression de fonctionnement basse implique une plus faible densité de l'atmosphère

environnante et donc moins de chocs entre les électrons émis par la source 12 et le gaz environnant.

La présence d'un champ magnétique permet de concentrer les électrons dans une zone et donc de favoriser la formation d'un plasma
5 malgré la faible densité de l'atmosphère environnante.

La largeur de la zone chauffée est alors réduite, ce qui améliore la précision du chauffage.

Dans le cas où la source de puissance 12 comporte un laser, la diminution de la pression de fonctionnement limite le taux d'oxygène
10 environnant, ce qui limite la formation d'oxydes et de fumées.

Le matériau fondu est donc moins pollué par les fumées et oxydes.

Le phénomène de dénudation, qui consiste en un épuisement des poudres métalliques dans la zone environnant la piste solidifiée en raison du soufflage de ces poudres par un flux de vapeur métallique généré par la
15 fusion des poudres lors du chauffage par laser, est également fortement limité en réduisant la pression environnante.

Les vapeurs métalliques produites lors de la fusion des poudres sont alors moins denses et le flux de circulation de ces vapeurs ne souffle pas les poudres.

20 Le champ magnétique B est configuré pour piéger uniquement les électrons, sans altérer le comportement des ions.

Notamment, la valeur du champ magnétique (typiquement quelques 100 Gauss = 0,01 Tesla) configurée en fonction de la différence de masse entre les électrons et les ions permet d'obtenir ce comportement.

25 En effet, le rapport de masse entre les électrons et les ions engendre un rapport similaire entre leurs rayons de giration magnétique respectifs (rayons de Larmor).

Le plasma ainsi créé est confiné entre l'électrode 24 et la surface libre 21 du lit de poudre.

30 En plaçant tel dispositif 23 magnétron avec la partie homogène (plasma ou faisceau d'ions) vers le lit de poudre, il est possible de transférer de manière efficace de l'énergie des espèces du plasma à la poudre et ainsi de réaliser son chauffage.

L'énergie est transmise à la poudre par plusieurs biais coexistant simultanément dans un plasma. Il s'agit des espèces chargées, électrons et ions, mais également des espèces neutres énergétiques, notamment les atomes neutres pulvérisés de l'électrode (cathode), les états excités non-radiatifs (métastables), et les photons. Comme la surface (poudre) reçoit les deux espèces chargées, les effets de charge (répulsion Coulombienne) sont réduits, voire supprimées.

De plus, tous les photons visibles, infra-rouges et ultraviolets chauffent la matière lorsqu'ils sont absorbés.

Plus le plasma est dense, plus l'énergie transmise à la surface est importante.

La quantité d'énergie, dans le cas des ions mais plus généralement pour tout type de plasma, peut être facilement ajustée par la tension d'accélération ionique ou respectivement la puissance injectée dans le plasma. Un meilleur contrôle peut être réalisé par le fonctionnement impulsif du plasma, alternant des phases de chauffage (plasma actif – ON, en anglais) et des phases de détente thermique (plasma OFF). La modification de la période ON/OFF, connue également comme le rapport cyclique, permet aisément l'ajustement de la température.

Dispositif à électrode tournante

La formation d'un plasma entre l'électrode et le lit de poudre provoque, en cas d'une activation prolongée, un échauffement important de l'électrode.

Dans certains modes de réalisation, l'électrode 24 est un rouleau cylindrique creux à l'intérieur duquel est disposé l'arrangement 25 d'aimants, tel qu'illustré sur la figure 6.

L'arrangement d'aimants 25 est monté fixe par rapport au dispositif magnétron 23, l'électrode 24 étant montée à rotation selon l'axe le long duquel il s'étend.

Ainsi, la position et l'orientation du champ magnétique par rapport au dispositif à magnétron 23 ne change pas au cours du fonctionnement, permettant de contrôler la zone de formation du plasma.

Au cours du fonctionnement du dispositif à magnétron 23, l'électrode 24 est entraînée en rotation. De cette manière, la partie de l'électrode 24 qui est exposée au plasma change régulièrement, limitant la chauffe d'une zone en particulier, le plasma étant toujours confiné au niveau du piège magnétique généré par l'arrangement d'aimants 25 qui a une orientation fixe par rapport au dispositif à magnétron 23, notamment vers la surface 21 du lit de poudre, comme illustré sur la figure 6.

Dispositif à source d'ions linéique

Des variantes de cathodes magnétron permettent également l'obtention d'un plasma linéique et homogène.

Dans le cas du mode de réalisation de la figure 3, l'électrode 24 est une électrode plane.

Dans une variante illustrée figure 7, le dispositif magnétron peut comporter une électrode 24 dans laquelle une fente 30 est ménagée.

La fente 30 est ménagée en regard de la piste 28, la piste 28 étant formée par une cavité s'étendant entre les rangées de l'arrangement d'aimants 25.

Un orifice d'injection 31 est ménagé dans une paroi du chariot 27, au fond de la cavité formée par la piste 28 et la fente 30.

Un gaz est injecté dans la cavité par l'orifice d'injection 31. Lors de l'excitation de la cathode 24, le gaz est alors fortement ionisé par les électrons efficacement piégés par le champ magnétique B généré par l'arrangement d'aimants 25.

Optionnellement, le gaz injecté par l'orifice d'injection 31 est le gaz composant l'atmosphère de travail, permettant de simplifier l'appareil.

La cavité formée par la piste 28 et la fente 30 forme donc une source d'ions.

La barrière magnétique générée par l'arrangement d'aimants 25 augmente la résistance électrique du plasma, générant ainsi une différence de potentiel dans le plasma par effet Hall.

Un mouvement de charges généré par le champ magnétique B et un champ électrique généré par l'excitation de la cathode 24 provoque une

circulation des électrons le long de la piste 28, en regard de la fente 30, conduisant à l'homogénéisation du plasma.

Les ions, non magnétisés, sont projetés par le champ électrique à travers la fente 30.

5 Certains électrons, plus légers, suivent les ions. Ainsi, un flux confiné de plasma est généré et projeté par la fente 30. La fente 30 est idéalement située en regard du lit de poudre, de manière à projeter le jet de plasma sur la surface 21 à chauffer.

Dans une variante, le dispositif de génération de plasma 20 est de
10 toute autre forme que linéique et il est adapté pour être déplacé avec un robot.

En plaçant le dispositif de génération de plasma 20 devant la surface 21 de poudre, il est possible d'entretenir un plasma de haute densité,
15 homogène et confiné entre ledit dispositif 20 et le lit de poudre, malgré la basse pression de travail.

En déplaçant ce dispositif de génération de plasma 20 il est possible de balayer la surface 21 du lit de poudre. En gardant le plasma allumé et en effectuant un balayage complet de la surface 21 du lit de poudre,
20 chauffant ainsi superficiellement le lit de poudre.

Optionnellement, en fonction de la durée d'allumage du plasma (temps t_1 , t_2 ou t_3) et de la position du dispositif de génération de plasma 20 au-dessus du lit de poudre, seulement certaines zones peuvent être chauffées, sur toute la largeur du lit de poudre, tel qu'illustré en figure 8.

25 En limitant la durée d'allumage du plasma, on peut optimiser la consommation d'énergie tout en réalisant le chauffage voulu.

On transfère ainsi de manière efficace de l'énergie à la poudre, ce qui permet de réaliser son chauffage.

REVENDICATIONS

1. Dispositif de chauffage d'un lit de poudre dans un appareil de fabrication additive,
5 caractérisé en ce qu'il comporte :
 - un dispositif de génération de plasma (20), ledit dispositif étant adapté pour être disposé et déplacé au-dessus du lit de poudre, à une distance du lit de poudre permettant la génération du plasma sur celui-ci,
 - 10 - une unité pour l'alimentation électrique (22) dudit dispositif de génération de plasma,
 - une unité de contrôle (9) pour commander l'alimentation et le déplacement du dispositif de génération de plasma,
 - et en ce que le dispositif de génération de plasma (20) comporte un ensemble de confinement magnétique du plasma.
 - 15
2. Dispositif de chauffage selon la revendication 1, dans lequel l'ensemble de confinement de plasma comporte un dispositif de type magnétron (23) adapté pour confiner des particules chargées.
20
3. Dispositif de chauffage selon la revendication 2, dans lequel le dispositif magnétron (23) comporte un arrangement d'aimants (25) configuré pour confiner des électrons suivant un motif (29) linéique.
- 25 4. Dispositif de chauffage selon la revendication 3, dans lequel le dispositif de type magnétron (23) comporte une fente (30) formant source d'ions, la fente (30) étant ménagée à travers l'électrode (24) et débouchant en regard du lit de poudre.
- 30 5. Dispositif de chauffage selon la revendication 4, dans lequel un gaz est injecté dans la fente (30).

6. Dispositif de chauffage selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le dispositif de génération de plasma (20) est adapté pour être déplacé avec une composante principale de déplacement perpendiculaire à la direction selon laquelle il s'étend.

5

7. Dispositif de chauffage selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'unité (22) pour l'alimentation électrique dudit dispositif de génération de plasma (20) comprend une source de haute tension continue et/ou radiofréquence et/ou impulsionnelle.

10

8. Appareil pour fabriquer un objet tridimensionnel par fabrication additive sélective comportant dans une enceinte :

- un support (3) pour le dépôt des couches successives de poudre de fabrication additive,

15

- un arrangement de distribution (4) adapté pour appliquer une couche de poudre sur ledit support (3) ou sur une couche précédemment consolidée,

- au moins une source de puissance (8) adaptée à la consolidation sélective d'une couche de poudre appliquée par l'arrangement de distribution (4),

20

caractérisé en ce qu'il comporte un dispositif de chauffage (19) selon l'une des revendications précédentes, le dispositif de génération de plasma (20) du dispositif de chauffage (19) étant adapté pour être disposé et déplacé au-dessus du lit de poudre, à une distance du lit de poudre permettant la génération du plasma sur celui-ci, le

25

dispositif de génération de plasma (20) comportant en outre un ensemble de confinement magnétique du plasma.

9. Appareil selon la revendication 8, dans lequel l'arrangement de distribution (4) comporte une raclette (5) ou un rouleau de mise en couche, le dispositif de génération de plasma (20) s'étendant à proximité de ladite raclette (5) ou rouleau et étant mobile avec celui-ci ou se déplaçant de manière indépendante.

30

10. Méthode de fabrication d'un objet tridimensionnel par fabrication additive sélective, ladite méthode comportant les étapes :

- 5 • Dépôt d'une couche de poudre sur un support (3) ou une couche précédemment solidifiée,
- Consolidation d'au moins une zone de la couche précédemment déposée, la consolidation étant réalisée au moyen d'une source de puissance (8),

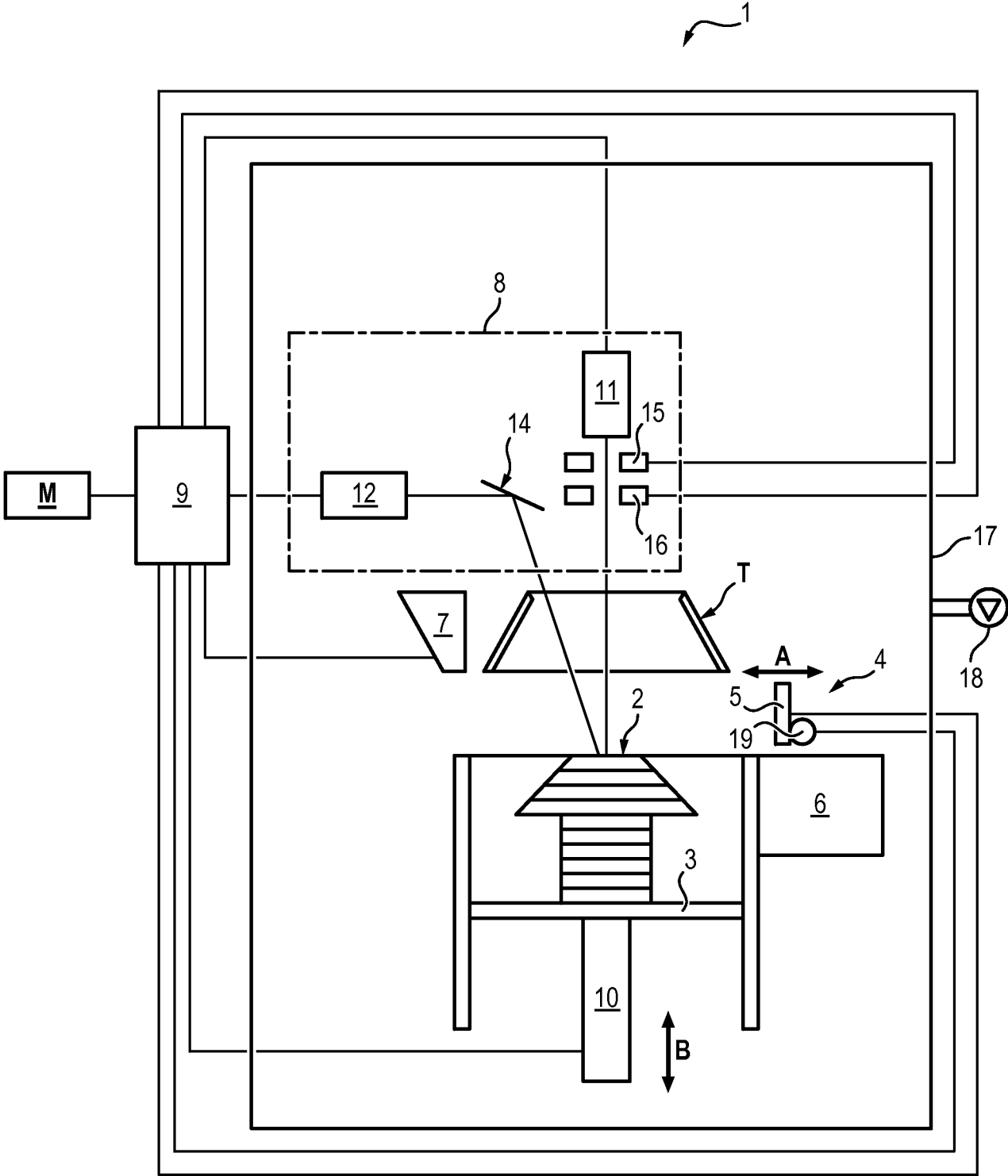
10 la méthode étant caractérisée en ce qu'elle comporte en outre une opération de chauffage d'au moins une zone localisée de la couche de poudre au moyen d'un dispositif de chauffage (19) selon l'une des revendications 1 à 7, le chauffage du lit de poudre étant réalisé par un plasma confiné.

15 11. Méthode selon la revendication 10, dans laquelle au cours de l'étape de chauffage, le dispositif de génération de plasma (20) confine les particules chargées dans une localisation précise, de manière à maîtriser la formation des décharges électriques lors de l'alimentation de l'électrode (24), générant un plasma confiné de manière à
20 maximiser le transfert thermique entre le plasma et le lit de poudre.

 12. Méthode selon l'une des revendications 10 et 11, dans laquelle au cours de l'étape de chauffage, un gaz est injecté dans le dispositif de génération de plasma (20) pour y être ionisé, le champ magnétique
25 induisant une projection du gaz ionisé de manière à générer un jet de plasma confiné, orienté vers la poudre.

 13. Méthode selon l'une des revendications 10 à 12, dans lequel au moins une étape de chauffage est réalisée avant et/ou après l'étape
30 de consolidation.

FIG. 1



2/5

FIG. 2

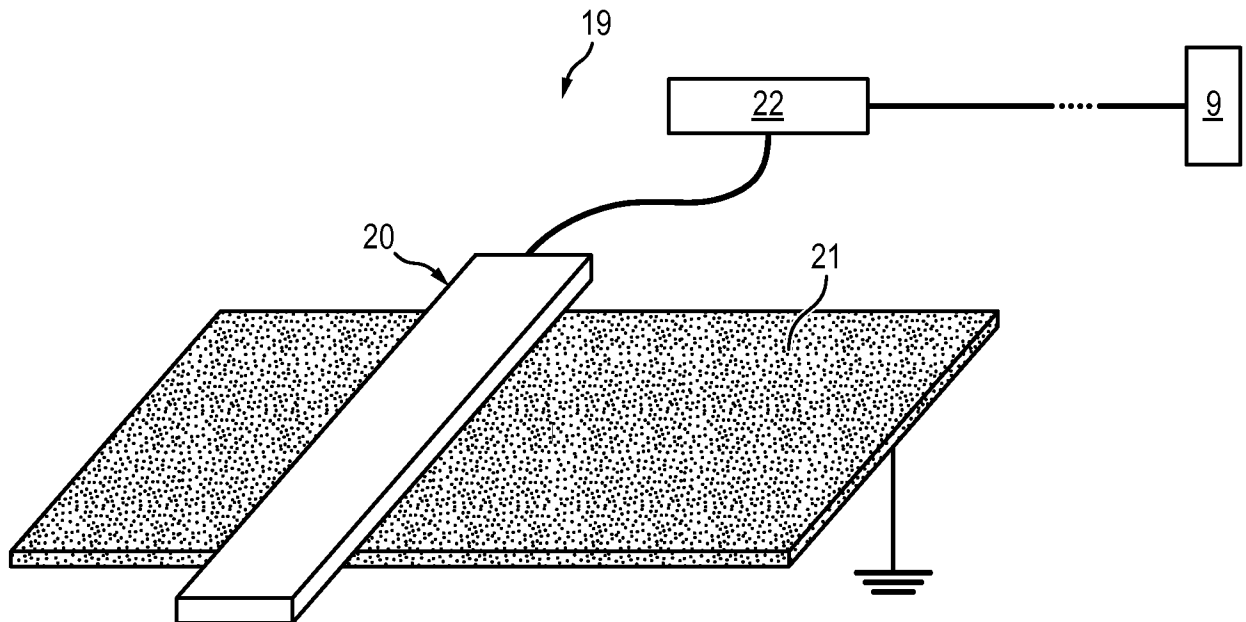


FIG. 3

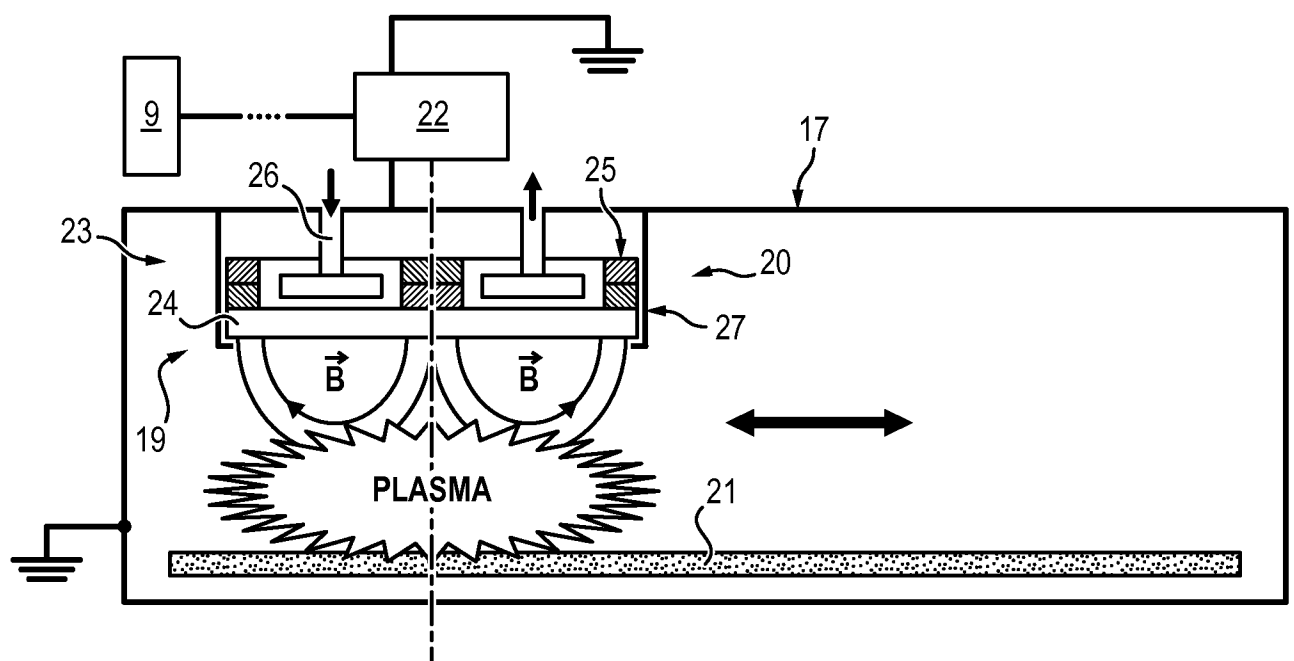


FIG. 4

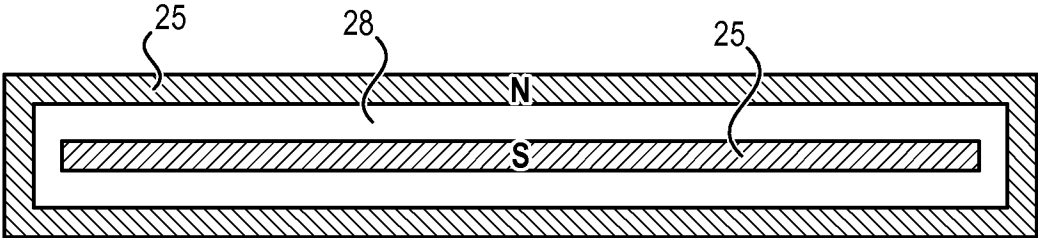


FIG. 5

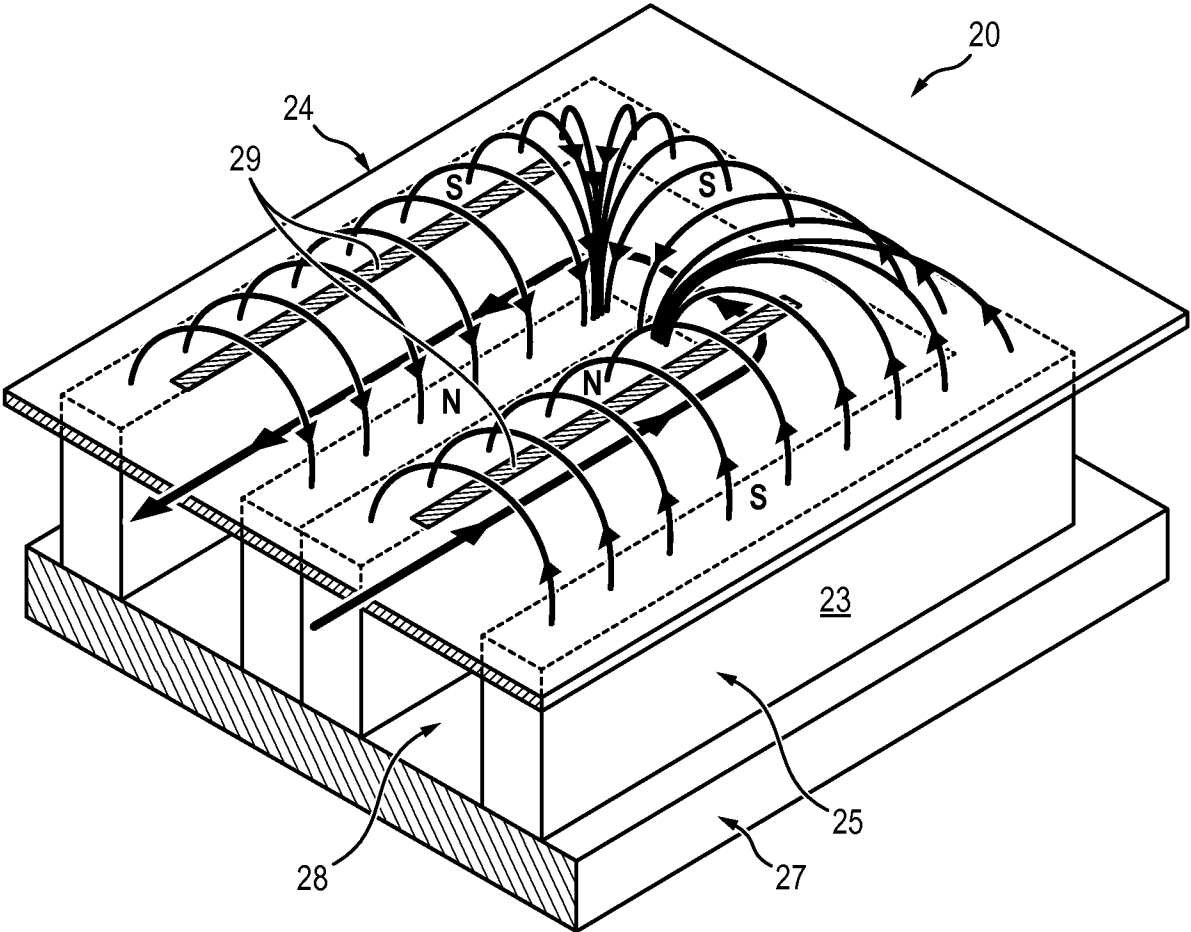
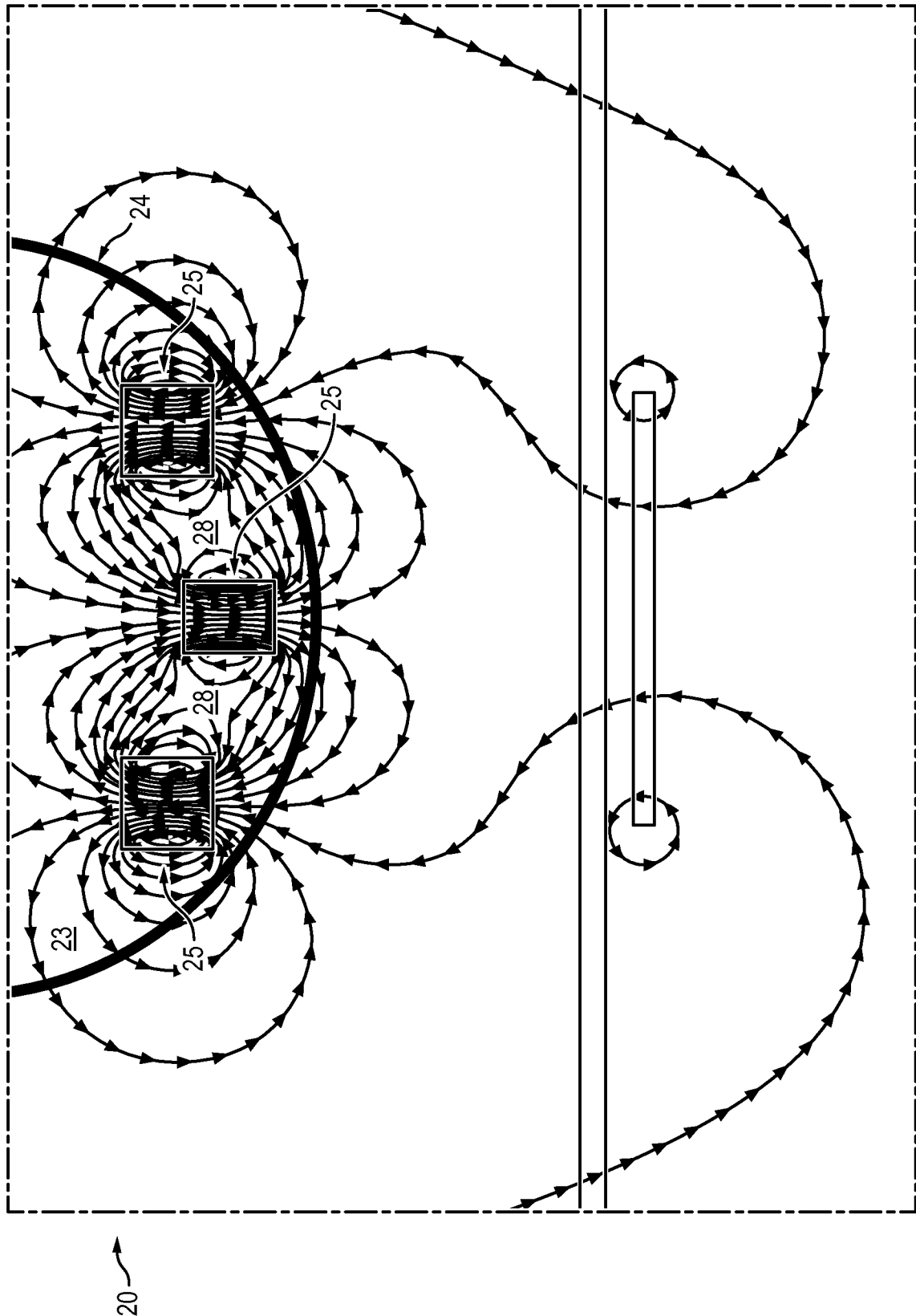


FIG. 6



5/5

FIG. 7

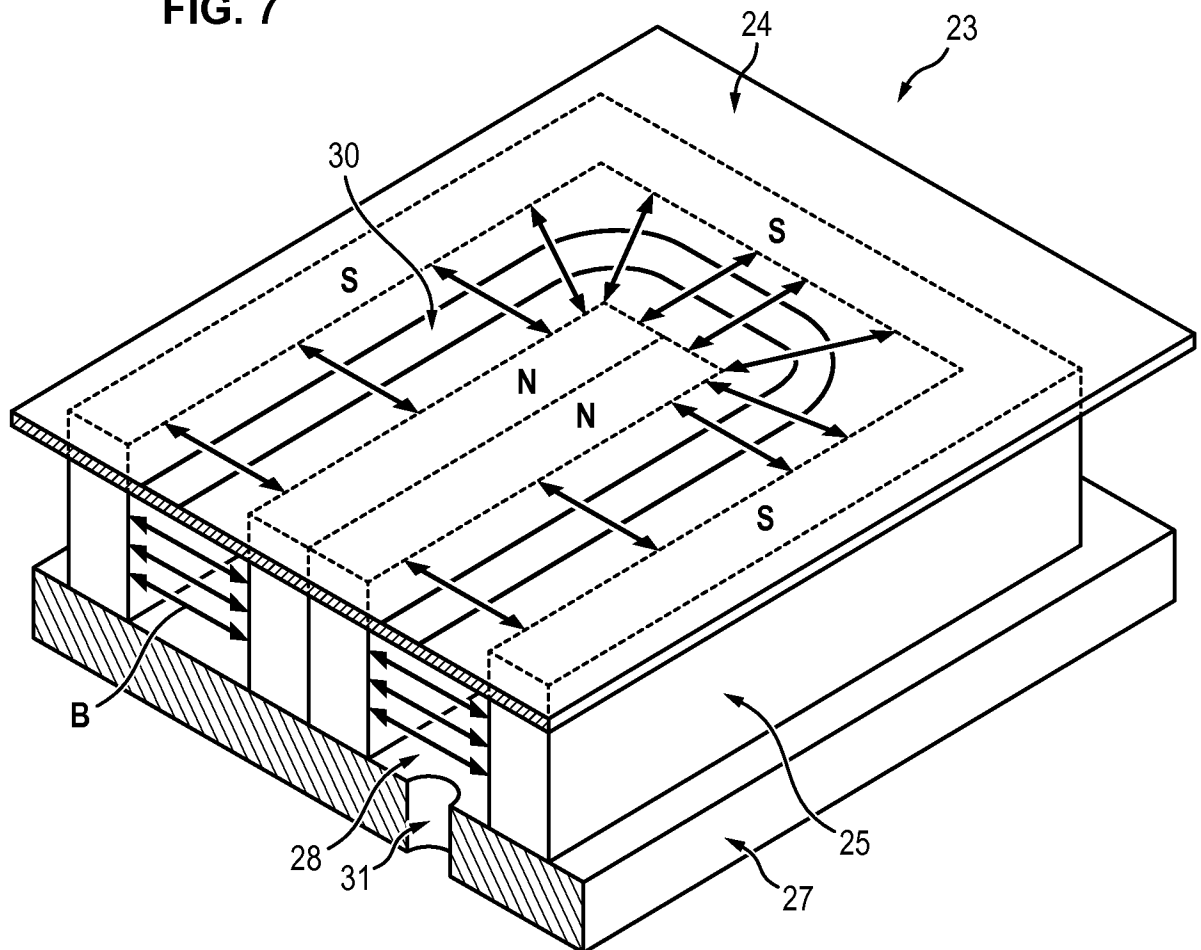
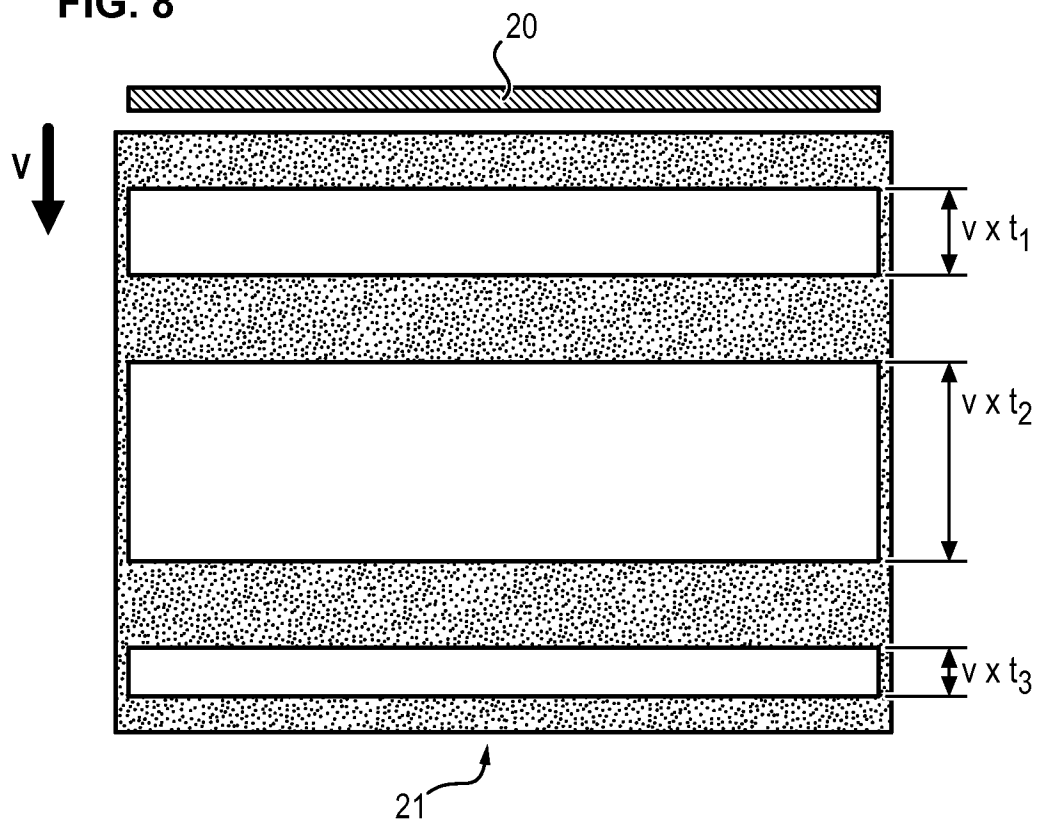


FIG. 8



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/FR2019/050809

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B22F 3/105(2006.01)i; **C09C 3/04**(2006.01)i; **H05H 1/00**(2006.01)i; **H05H 1/02**(2006.01)i; **B33Y 10/00**(2015.01)i; **B33Y 30/00**(2015.01)i; **B29C 64/153**(2017.01)i; **B29C 64/282**(2017.01)i; **B29C 64/295**(2017.01)i; **H05H 1/46**(2006.01)i; **H05H 1/50**(2006.01)i; **B33Y 40/00**(2015.01)i

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)

B22F; H05H; C09C; B33Y; B23K; B29C; H01J

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2016368077 A1 (SWAMINATHAN BHARATH [US] ET AL) 22 December 2016 (2016-12-22)	1,2,6,7,10-13
Y	paragraphs [0019], [0030], [0036], [0038], [0043]; figures 1,2 paragraphs [0049] - [0050], [0055] - [0056]; claims 1-7; figures 1,2,4 paragraphs [0024] - [0026], [0057] paragraphs [0005], [0010], [0041], [0062]	2-6,8,12
X	US 2016379851 A1 (SWAMINATHAN BHARATH [US] ET AL) 29 December 2016 (2016-12-29)	1,7,8,10,11,13
Y	paragraphs [0010], [0024] - [0027], [0033], [0041], [0052], [0057], [0062]; figure 1	2-6,8,9,12
Y	CN 206794756 U (TIANJIN INSTITUTE ADVANCED EQUIPMENT TSINGHUA UNIV; TIANJIN QINGYAN ZH) 26 December 2017 (2017-12-26) claims 1,7; figures 1-2	8,9



Further documents are listed in the continuation of Box C.



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

03 June 2019

Date of mailing of the international search report

19 June 2019

Name and mailing address of the ISA/EP

**European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands**

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Aliouane, Nadir

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/FR2019/050809

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 6351075 B1 (BARANKOVA HANA [SE] ET AL) 26 February 2002 (2002-02-26) abstract; figure 1 column 1, lines 5-9 column 2, line 37 - column 3, line 45; claims 1,2,5,7,8,13 column 6, line 46 - column 7, line 31	3-5
A	WO 2011018544 A2 (CONSEJO SUPERIOR INVESTIGACION [ES]; BRIONES FERNANDEZ-POLA FERNANDO []) 17 February 2011 (2011-02-17) abstract; figures 1,8	3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/FR2019/050809

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2016368077	A1	22 December 2016	CN	107848206	A	27 March 2018
				EP	3310559	A1	25 April 2018
				JP	2018528872	A	04 October 2018
				KR	20180061135	A	07 June 2018
				US	2016368077	A1	22 December 2016
				WO	2016205729	A1	22 December 2016
US	2016379851	A1	29 December 2016	US	2016379851	A1	29 December 2016
				WO	2017004050	A1	05 January 2017
CN	206794756	U	26 December 2017	NONE			
US	6351075	B1	26 February 2002	AU	1182099	A	15 June 1999
				CZ	20001853	A3	16 August 2000
				DE	69828904	T2	12 January 2006
				EP	1033068	A1	06 September 2000
				JP	4491132	B2	30 June 2010
				JP	2001524743	A	04 December 2001
				US	6351075	B1	26 February 2002
				WO	9927758	A1	03 June 1999
WO	2011018544	A2	17 February 2011	ES	2353102	A1	25 February 2011
				WO	2011018544	A2	17 February 2011

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2019/050809

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. B22F3/105 C09C3/04 H05H1/00 H05H1/02 B33Y10/00 B33Y30/00 B29C64/153 B29C64/282 B29C64/295 H05H1/46 H05H1/50 B33Y40/00		
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) B22F H05H C09C B33Y B23K B29C H01J		
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		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X Y	US 2016/368077 A1 (SWAMINATHAN BHARATH [US] ET AL) 22 décembre 2016 (2016-12-22) alinéas [0019], [0030], [0036], [0038], [0043]; figures 1,2 alinéas [0049] - [0050], [0055] - [0056]; revendications 1-7; figures 1,2,4 alinéas [0024] - [0026], [0057] alinéas [0005], [0010], [0041], [0062]	1,2,6,7, 10-13 2-6,8,12
X Y	US 2016/379851 A1 (SWAMINATHAN BHARATH [US] ET AL) 29 décembre 2016 (2016-12-29) alinéas [0010], [0024] - [0027], [0033], [0041], [0052], [0057], [0062]; figure 1	1,7,8, 10,11,13 2-6,8,9, 12
----- -/--		
☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 3 juin 2019		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 19/06/2019
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Aliouane, Nadir

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	CN 206 794 756 U (TIANJIN INSTITUTE ADVANCED EQUIPMENT TSINGHUA UNIV; TIANJIN QINGYAN ZH) 26 décembre 2017 (2017-12-26) revendications 1,7; figures 1-2 -----	8,9
Y	US 6 351 075 B1 (BARANKOVA HANA [SE] ET AL) 26 février 2002 (2002-02-26) abrégé; figure 1 colonne 1, lignes 5-9 colonne 2, ligne 37 - colonne 3, ligne 45; revendications 1,2,5,7,8,13 colonne 6, ligne 46 - colonne 7, ligne 31 -----	3-5
A	WO 2011/018544 A2 (CONSEJO SUPERIOR INVESTIGACION [ES]; BRIONES FERNANDEZ-POLA FERNANDO []) 17 février 2011 (2011-02-17) abrégé; figures 1,8 -----	3

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2019/050809

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2016368077 A1	22-12-2016	CN 107848206 A EP 3310559 A1 JP 2018528872 A KR 20180061135 A US 2016368077 A1 WO 2016205729 A1	27-03-2018 25-04-2018 04-10-2018 07-06-2018 22-12-2016 22-12-2016
US 2016379851 A1	29-12-2016	US 2016379851 A1 WO 2017004050 A1	29-12-2016 05-01-2017
CN 206794756 U	26-12-2017	AUCUN	
US 6351075 B1	26-02-2002	AU 1182099 A CZ 20001853 A3 DE 69828904 T2 EP 1033068 A1 JP 4491132 B2 JP 2001524743 A US 6351075 B1 WO 9927758 A1	15-06-1999 16-08-2000 12-01-2006 06-09-2000 30-06-2010 04-12-2001 26-02-2002 03-06-1999
WO 2011018544 A2	17-02-2011	ES 2353102 A1 WO 2011018544 A2	25-02-2011 17-02-2011