

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

(11) N° de publication : **3 075 673**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)
(21) N° d'enregistrement national : **17 63214**

(51) Int Cl⁸ : **B 22 F 3/105** (2018.01), B 29 C 64/268, B 33 Y 30/
00, H 01 J 1/20, H 01 J 37/06

(12)

BREVET D'INVENTION

B1

(54) APPAREIL DE FABRICATION ADDITIVE SELECTIVE A SOURCE D'ELECTRONS A
CATHODE A CHAUFFAGE INDIRECT.

(22) Date de dépôt : 26.12.17.

(30) Priorité :

(60) Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

(71) Demandeur(s) : *ADDUP Société par actions
simplifiée —FR et LEPTONS-TECHNOLOGIES
Société par actions simplifiée — FR.*

(43) Date de mise à la disposition du public
de la demande : 28.06.19 Bulletin 19/26.

(45) Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 20.12.19 Bulletin 19/51.

(72) Inventeur(s) : WALRAND GILLES, DURAND
GILBERT et ROBIN BRUNO.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

(73) Titulaire(s) : ADDUP Société par actions simplifiée,
LEPTONS-TECHNOLOGIES Société par actions
simplifiée.

(74) Mandataire(s) : REGIMBEAU.

FR 3 075 673 - B1



APPAREIL DE FABRICATION ADDITIVE SELECTIVE A SOURCE
D'ELECTRONS A CATHODE A CHAUFFAGE INDIRECT

DOMAINE TECHNIQUE GÉNÉRAL ET ART ANTÉRIEUR

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

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
10 successives de l'objet tridimensionnel. La consolidation se fait par exemple couche par couche, par une fusion sélective totale ou partielle réalisée avec une source de puissance.

Classiquement, on utilise comme source pour réaliser la fusion des couches de poudre des sources laser de forte puissance ou des sources de
15 faisceau d'électrons.

Les sources de faisceau d'électrons ont l'avantage de permettre théoriquement des vitesses de fabrication élevées.

On constate toutefois dans la pratique que les sources de faisceau d'électrons utilisées à ce jour en fabrication additive ont un coût de
20 maintenance important. Elles sont en effet remplacées régulièrement pour éviter une défaillance de leur cathode au milieu de la fabrication d'une pièce. L'impact de la rupture d'une cathode en pleine fabrication est en effet, dans le cas de l'impression additive, particulièrement important puisque les temps de fabrication peuvent être sur plusieurs jours et qu'une défaillance
25 de cathode obligerait à reprendre complètement la fabrication de la pièce.

A ce jour, les sources d'électrons utilisées dans les dispositifs de fabrication additive sélective sont de type à chauffage direct : la cathode - par exemple un fil de tungstène - y est alimentée et parcourue par un courant important qui génère son chauffage et assure l'éjection des
30 électrons.

On utilise toutefois dans d'autres domaines technologiques que celui de la fabrication additive, par exemple dans le domaine de la soudure, des sources d'électrons qui sont à cathode à chauffage indirect.

Ces autres domaines technologiques ne présentent toutefois pas les
5 mêmes problématiques que celles rencontrées en fabrication additive dans la mesure où l'utilisation des sources d'électrons se fait sur de courtes durées (le temps de la soudure) : la défaillance d'une source d'électrons n'a donc pas les mêmes implications que dans le cas de la fabrication de pièces par techniques additives. De plus, dans le cadre de la soudure, la défaillance
10 de la source d'électrons n'impacte que la soudure en cours de réalisation. Cette soudure pourra généralement être reprise en usinage ultérieurement sans détériorer toute la pièce alors qu'en fabrication additive, l'arrêt de la production en cours de fabrication conduit généralement au rebus de la pièce complète. La fabrication additive ne pouvant être reprise sans
15 impacter la qualité finale de la pièce si le procédé s'est interrompu un temps trop long (refroidissement de la pièce).

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE L'INVENTION

Un but général de l'invention est de résoudre les problématiques de maintenance posées par les sources d'électrons utilisées à ce jour dans les
20 techniques de fabrication additive.

Notamment, un but de l'invention est de proposer une solution permettant d'améliorer la durée de vie des sources d'électrons utilisées dans les appareils de fabrication additive.

Les coûts de maintenance sont ainsi diminués.

25 Un autre but encore de l'invention est de proposer un appareil de fabrication additive dont la source d'électrons est facile à réguler et stable dans le temps avec des qualités optiques importantes.

Un autre but également de l'invention est de proposer un appareil de fabrication additive à source d'électrons permettant de détecter longtemps
30 à l'avance les éventuelles futures défaillances de ladite source.

A cet effet notamment, l'invention propose un appareil pour fabriquer un objet tridimensionnel par fabrication additive sélective comportant dans une enceinte :

- 5 - 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 consolidée,
- 10 - au moins une source de faisceau d'électrons adaptée pour assurer la consolidation sélective d'une couche de poudre appliquée par l'arrangement de distribution,
- une électronique pour la commande et l'alimentation de ladite source, Ladite source est une source de faisceau d'électrons à cathode à chauffage indirect, ladite source comportant un filament de chauffage situé
- 15 derrière la cathode de ladite source par rapport au sens d'éjection et d'accélération des électrons par ladite cathode.

Un tel appareil est avantageusement complété par les différentes caractéristiques suivantes prises seules ou en combinaison :

- 20 - la cathode est par exemple en LaB6 ou en un matériau à base de celui-ci ;
- l'électronique pour la commande et l'alimentation de la source comporte :
 - une source de puissance pour la commande du filament,
 - une source de puissance pour l'accélération jusqu'à l'arrière
 - 25 de la cathode des électrons extraits du filament ;
- la source de puissance pour l'accélération des électrons extraits du filament est commandée en courant ;
- le courant de commande de la source d'accélération est de l'ordre de 50 mA ;
- 30 - l'électronique pour la commande et l'alimentation de la source d'électrons comporte une unité de détection qui compare la tension de régulation à une valeur seuil et déclenche l'émission d'un signal de prévention lorsque ladite tension devient supérieure audit seuil ;

- l'unité de détection calcule une valeur de tension de régulation moyennée sur une fenêtre glissante temporelle et met en œuvre la comparaison avec la valeur seuil sur ladite valeur de tension de régulation moyennée ;
- 5 - l'électronique pour la commande et l'alimentation de la source d'électrons comporte une boucle de contrôle qui commande le courant d'alimentation aux bornes du filament en fonction de la tension de régulation de la source d'accélération des électrons du filament.

10 **PRÉSENTATION DES FIGURES**

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 :

- la figure 1 est une représentation schématique d'un appareil de fabrication additive comportant un dispositif de préchauffe conforme à un mode de réalisation possible de l'invention ;
- 15 - la figure 2 illustre schématiquement la structure d'une source d'électrons à chauffage indirect ;
- la figure 3 illustre une électronique de commande d'une telle source.

20

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

Généralités sur l'appareil de fabrication additive sélective

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

- 25 - 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),
- 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),

5 - un ensemble 8 comportant au moins une source 11 de faisceau d'électrons pour la fusion (totale ou partielle) des couches fines étalées,

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

10 - 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 comporte également une source 12 de type laser.

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 Des bobines 15 et 16 de déflexion et de focalisation permettent de défléchir et de focaliser localement le faisceau d'électrons sur les zones de couches à fritter ou fusionner.

Un bouclier thermique T peut être interposé entre d'une part le plateau 3 et la pièce réalisée sur celui-ci et d'autre part la source d'électrons

25 11.

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 un vide secondaire à l'intérieur de ladite enceinte 17 (typiquement environ 10^{-2} / 10^{-3} mbar, voire 10^{-4} / 10^{-6} mbar).

30

Source d'électrons à cathode à chauffage indirect

La source d'électrons 11 est une source d'électrons à cathode à chauffage indirect (figure 2).

Elle comporte :

- 5 - une cathode 21,
- un filament 22,
- une anode 23,
- ainsi qu'un wehnelt 25.

La cathode 21 est chauffée par le filament 22, lequel est situé derrière
10 ladite cathode 21 par rapport au sens d'éjection et d'accélération des électrons.

Ainsi, la cathode 21 n'est traversée que par un courant résiduel et assure uniquement la fonction d'éjection des électrons du fait de son chauffage indirect.

15 Sa durée de vie est augmentée et le courant d'émission des électrons est plus stable.

La cathode 21 est par exemple en LaB6, matériau qui présente une ré-émissivité importante.

La forme de ladite cathode 21 peut être diverse.

20 Cette cathode 21 est par exemple d'un diamètre de 3 mm pour un diamètre de focalisation autour de 100 μ m et un courant d'éjection de 100 mA.

Le filament 22 est par exemple un filament de tungstène isolé par un revêtement réfractaire.

25 Ledit filament 22 est quant à lui par exemple alimenté sous une puissance de 240 W.

La durée de vie de la source est fortement prolongée dans la mesure où le filament 22, situé derrière la cathode 21, n'est pas perturbé par les fumées ou vapeurs (schématisées par les flèches 24 sur la figure 2) liées à
30 la fusion des couches de poudre.

Typiquement, une telle source d'électrons à cathode à chauffage indirect permet une durée de vie de 1500 heures.

Electronique de commande et d'alimentation

Comme l'illustre la figure 3, le filament 22 est commandé par une première source de puissance 26.

Une deuxième source de puissance 31 entre le filament 22 et la
5 cathode 21 assure l'accélération des électrons extraits du filament 22.

Ces électrons viennent heurter l'arrière de la cathode 21 et provoquer le chauffage. Ce chauffage permet de régler facilement le faisceau d'électrons, tout en lui conférant une forte stabilité.

Une source 27 assure la polarisation du wehnelt 25 et la commande
10 rapide de la source d'électrons.

Une source de puissance 30 assure en outre l'accélération des électrons entre la cathode 21 et l'anode 23.

Typiquement :

- la source de puissance 26 délivre une tension de 20 Volts aux bornes
15 du filament 22, pour un courant parcourant le filament de 12 A ;
- la source 31 assure quant à elle l'accélération des électrons entre le filament 22 et la cathode 21 sous une tension maximale de 3000 Volts pour une intensité de courant d'électrons maximale de 50 mA ;
- la source 27 assure une polarisation du wehnelt sous 3800 Volts, pour
20 un courant de 1 mA ;
- la source 30 assure quant à elle l'accélération des électrons sous une tension de l'ordre de 60 kV correspondant à un courant d'électrons de l'ordre de 100 mA.

La régulation de la source 31 se fait en intensité de courant (I sur la
25 figure 3 : pour un courant maximal de 50 mA d'intensité, la tension de régulation V est typiquement de l'ordre de 1700 à 2000 V.

On notera qu'un changement de cette valeur de tension de régulation V signifie qu'un changement de l'ensemble cathode 21 / filament 22 doit être programmé.

30 Egalement, une variation rapide de cette tension de régulation V peut s'interpréter comme mettant en évidence la présence de vapeurs de poudre au voisinage de la cathode 21.

L'électronique de commande et d'alimentation de l'appareil utilise ces propriétés dans le cadre d'un traitement de la maintenance prédictive de la source 11.

Elle comporte notamment à cet effet une unité 28 qui reçoit en entrée
5 la tension V de régulation de la source 31 et analyse dans le temps cette tension pour anticiper une défaillance de la source 11.

En particulier, ladite unité 28 détermine la valeur moyenne de cette tension V de régulation sur une fenêtre temporelle glissante donnée et compare cette valeur moyenne à une valeur seuil.

10 Lorsque cette valeur moyenne est supérieure à ladite valeur seuil, l'unité 28 émet, par exemple à destination de l'unité de contrôle 9, un signal d'alerte pris en compte par ladite unité 9 pour la programmation du prochain changement sur ladite source 11. Ce signal déclenche également par exemple un affichage spécifique (message, logo d'alerte, etc.) sur l'un des
15 écrans de contrôle de l'appareil. Un message d'alerte peut également être transmis à un opérateur ou à une unité de contrôle à distance.

En outre, l'appareil comporte avantageusement une boucle de contrôle par laquelle le courant de la source de puissance 26 alimentant le filament 22 est commandé, en fonction de la tension de régulation
20 nécessaire pour maintenir l'intensité de courant de la source de puissance 31, afin de maintenir un chauffage de la cathode 21 constant, même lorsque la cathode 21 commence à se dégrader. Cette boucle comporte une unité de commande 29 recevant en entrée la tension V et commandant en sortie l'intensité de l'alimentation 26.

25 Une telle boucle de contrôle augmente encore le temps de vie de la source 11 et prolonge la stabilité de son fonctionnement.

Une calibration peut être prévue pour déterminer la valeur seuil à laquelle la tension V est comparée par l'unité 28, ainsi que le temps de fonctionnement restant une fois qu'il a été détecté que le fonctionnement
30 de la source 11 se dégradait.

REVENDEICATIONS

1. Appareil pour fabriquer un objet tridimensionnel par fabrication additive sélective comportant dans une enceinte :
 - 5 - un support (3) pour le dépôt des couches successives de poudre de fabrication additive,
 - un arrangement de distribution (4) adapté pour appliquer une couche de poudre sur ledit support (3) ou sur une couche précédemment consolidée,
 - 10 - au moins une source (11) de faisceau d'électrons adaptée pour assurer la consolidation sélective d'une couche de poudre appliquée par l'arrangement de distribution (4),
 - une électronique pour la commande et l'alimentation de ladite source,
 - 15 caractérisé en ce que ladite source (11) est une source de faisceau d'électrons à cathode à chauffage indirect, ladite source (11) comportant un filament (22) de chauffage situé derrière la cathode (21) de ladite source par rapport au sens d'éjection et d'accélération des électrons par ladite cathode (21).
 - 20
2. Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce que la cathode (21) est en LaB6 ou en un matériau à base de celui-ci.
3. Appareil selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en
 - 25 ce que l'électronique pour la commande et l'alimentation de la source comporte :
 - une source de puissance (26) pour la commande du filament (22),
 - une source de puissance (31) pour l'accélération jusqu'à
 - 30 l'arrière de la cathode (21) des électrons extraits du filament (22).

4. Appareil selon la revendication 3, caractérisé en ce que la source de puissance (31) pour l'accélération des électrons extraits du filament (22) est commandée en courant.
- 5 5. Appareil selon la revendication 4, caractérisé en ce que le courant de commande de la source d'accélération est de l'ordre de 50 mA.
6. Appareil selon la revendication 4 ou la revendication 5, caractérisé en ce que l'électronique pour la commande et l'alimentation de la source d'électrons comporte une unité de détection (28) qui compare la tension de régulation à une valeur seuil et déclenche l'émission d'un signal de prévention lorsque ladite tension devient supérieure audit seuil.
- 10 6. Appareil selon la revendication 4 ou la revendication 5, caractérisé en ce que l'électronique pour la commande et l'alimentation de la source d'électrons comporte une unité de détection (28) qui compare la tension de régulation à une valeur seuil et déclenche l'émission d'un signal de prévention lorsque ladite tension devient supérieure audit seuil.
- 15 7. Appareil selon la revendication 6, caractérisé en ce que l'unité de détection (28) calcule une valeur de tension de régulation moyennée sur une fenêtre glissante temporelle et met en œuvre la comparaison avec la valeur seuil sur ladite valeur de tension de régulation moyennée.
- 20 7. Appareil selon la revendication 6, caractérisé en ce que l'unité de détection (28) calcule une valeur de tension de régulation moyennée sur une fenêtre glissante temporelle et met en œuvre la comparaison avec la valeur seuil sur ladite valeur de tension de régulation moyennée.
8. Appareil selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'électronique pour la commande et l'alimentation de la source d'électrons comporte une boucle de contrôle (29) qui commande le courant d'alimentation aux bornes du filament (22) en fonction de la tension de régulation de la source d'accélération des électrons du filament (22).
- 25 8. Appareil selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'électronique pour la commande et l'alimentation de la source d'électrons comporte une boucle de contrôle (29) qui commande le courant d'alimentation aux bornes du filament (22) en fonction de la tension de régulation de la source d'accélération des électrons du filament (22).

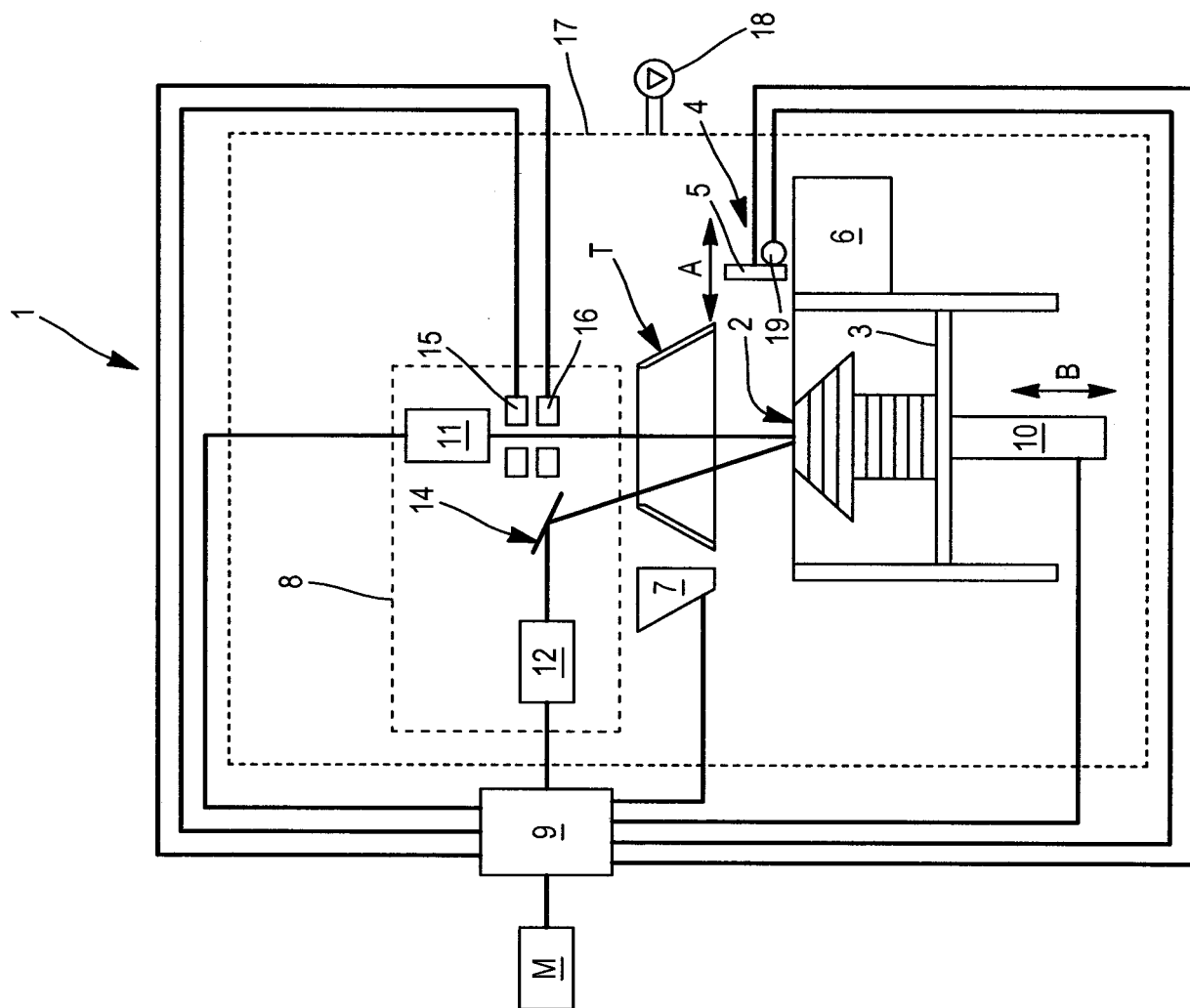


FIG. 1

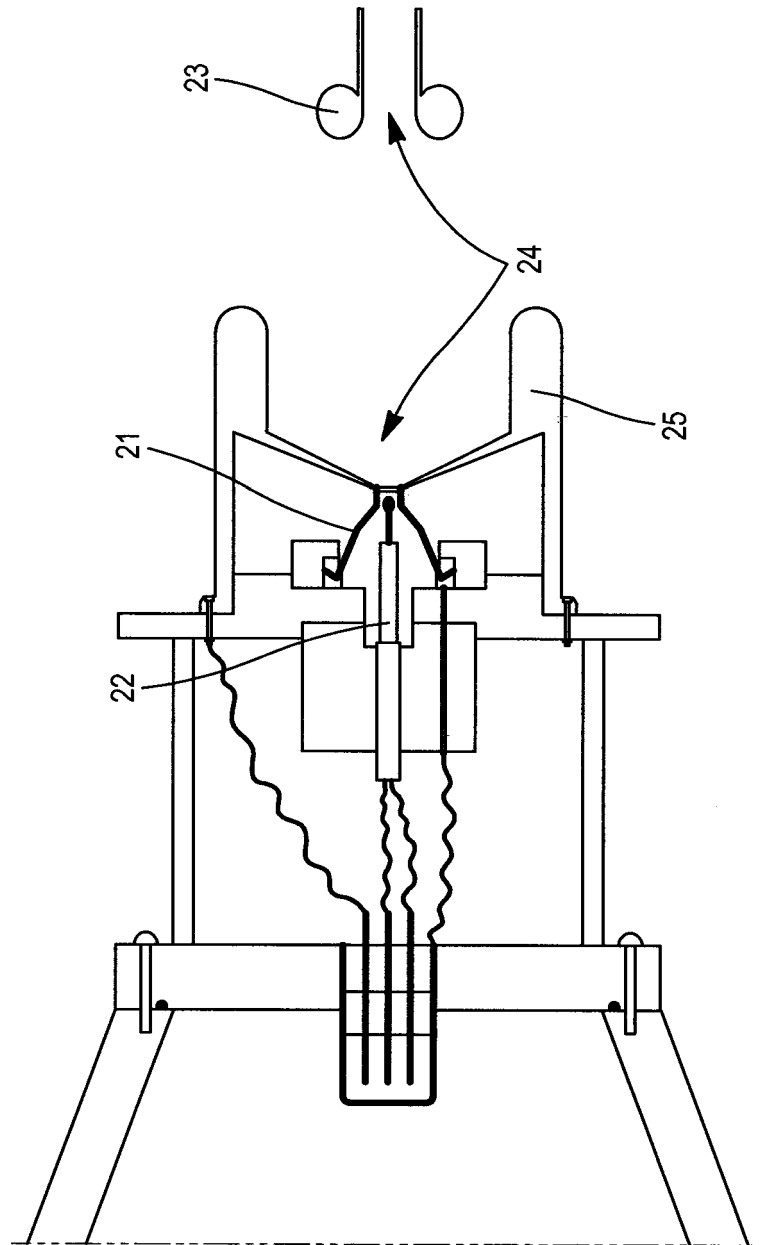


FIG. 2

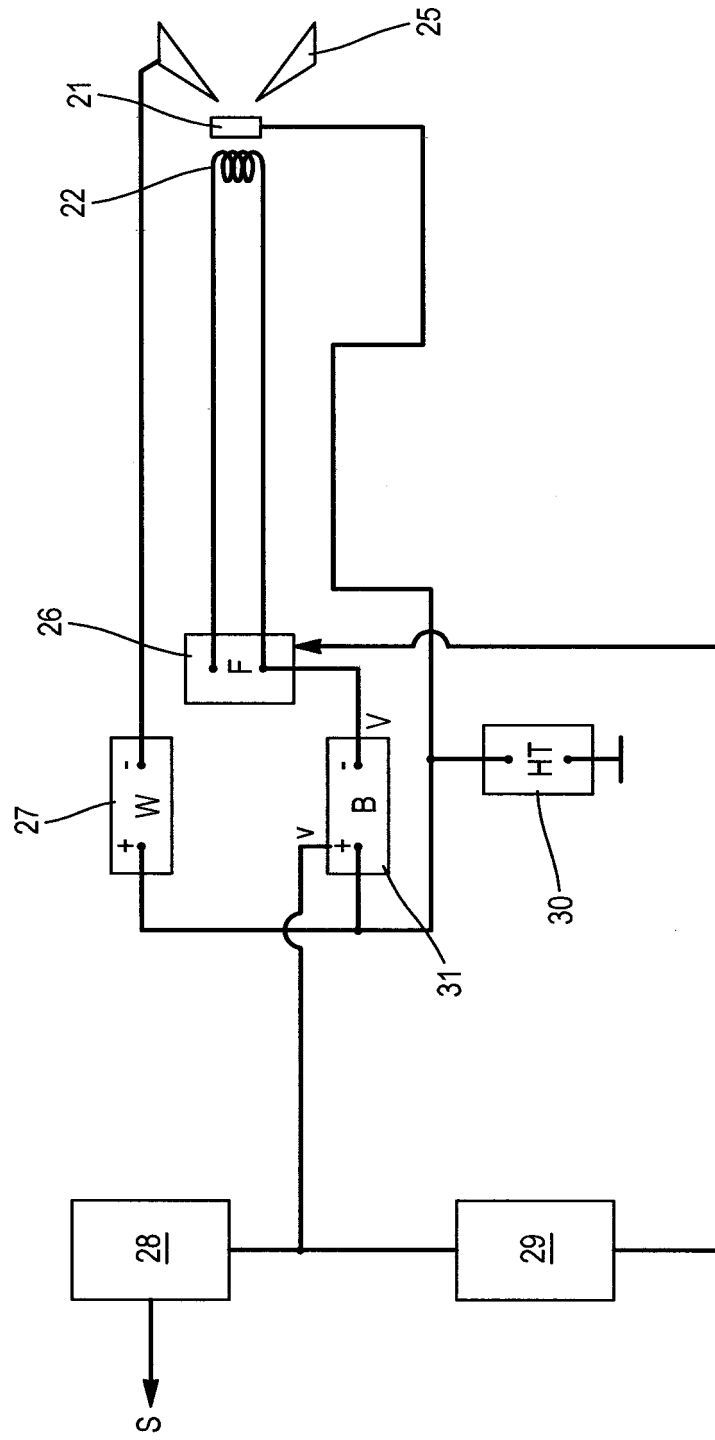


FIG. 3

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☒ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☒ Le demandeur a maintenu les revendications.

☐ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

EP 2 911 181 A1 (JEOL LTD [JP])
26 août 2015 (2015-08-26)

US 2017/136541 A1 (FAGER MATTIAS [SE])
18 mai 2017 (2017-05-18)

JP S55 19782 A (TOKYO SHIBAURA ELECTRIC
CO) 12 février 1980 (1980-02-12)

JP H01 204338 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD)
16 août 1989 (1989-08-16)

US 2014/348692 A1 (BESSAC CHRISTOPHE [FR]
ET AL) 27 novembre 2014 (2014-11-27)

JP 2005 024343 A (IWASAKI ELECTRIC CO LTD)
27 janvier 2005 (2005-01-27)

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

NEANT

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT