

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

①1 N° de publication :

3 094 843

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national :

19 03507

⑤1 Int Cl⁸ : **H 01 M 8/04** (2019.01), H 01 M 8/040, H 01 M 8/247

①2

BREVET D'INVENTION

B1

⑤4 Ensemble d'un empilement à oxydes solides de type SOEC/SOFC et d'un système de serrage intégrant un système de distribution de gaz.

②2 Date de dépôt : 02.04.19.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public
de la demande : 09.10.20 Bulletin 20/41.

④5 Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 30.04.21 Bulletin 21/17.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : *COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES
Etablissement public — FR.*

⑦2 Inventeur(s) : PLANQUE Michel et ROUX Guilhem.

⑦3 Titulaire(s) : *COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES
Etablissement public.*

⑦4 Mandataire(s) : BREVALEX.

FR 3 094 843 - B1



Description

Titre de l'invention : Ensemble d'un empilement à oxydes solides de type SOEC/SOFC et d'un système de serrage intégrant un système de distribution de gaz

Domaine technique

- [0001] La présente invention se rapporte au domaine général de l'électrolyse de l'eau à haute température (EHT), en particulier l'électrolyse de la vapeur d'eau à haute température (EVHT), respectivement désignées par les appellations anglaises « High Temperature Electrolysis » (HTE) et « High Temperature Steam Electrolysis » (HTSE), de l'électrolyse du dioxyde de carbone (CO_2), voire encore de la co-électrolyse de l'eau à haute température (EHT) avec le dioxyde de carbone (CO_2).
- [0002] Plus précisément, l'invention se rapporte au domaine des électrolyseurs à oxydes solides à haute température, désignés habituellement par l'acronyme SOEC (pour « Solide Oxide Electrolyzer Cell » en anglais).
- [0003] Elle concerne également le domaine des piles à combustible à oxydes solides à haute température, désignées habituellement par l'acronyme SOFC (pour « Solid Oxide Fuel Cells » en anglais).
- [0004] Ainsi, de façon plus générale, l'invention se réfère au domaine des empilements à oxydes solides de type SOEC/SOFC fonctionnant à haute température.
- [0005] Plus précisément, l'invention concerne un ensemble comprenant un empilement à oxydes solides de type SOEC/SOFC et un système de serrage de l'empilement avec un système de distribution de gaz.

Technique antérieure

- [0006] Dans le cadre d'un électrolyseur à oxydes solides à haute température de type SOEC, il s'agit de transformer par le biais d'un courant électrique, au sein d'un même dispositif électrochimique, la vapeur d'eau (H_2O) en dihydrogène (H_2) et en dioxygène (O_2), et/ou encore de transformer le dioxyde de carbone (CO_2) en monoxyde de carbone (CO) et en dioxygène (O_2). Dans le cadre d'une pile à combustible à oxydes solides à haute température de type SOFC, le fonctionnement est inverse pour produire un courant électrique et de la chaleur en étant alimentée en dihydrogène (H_2) et en dioxygène (O_2), typiquement en air et en gaz naturel, à savoir par du méthane (CH_4). Par souci de simplicité, la description suivante privilégie le fonctionnement d'un électrolyseur à oxydes solides à haute température de type SOEC réalisant l'électrolyse de l'eau. Toutefois, ce fonctionnement est applicable à l'électrolyse du dioxyde de carbone (CO_2), voire encore de la co-électrolyse de l'eau à haute température (EHT) avec le dioxyde de carbone (CO_2). De plus, ce fonctionnement est transposable au cas

d'une pile à combustible à oxydes solides à haute température de type SOFC.

[0007] Pour réaliser l'électrolyse de l'eau, il est avantageux de la réaliser à haute température, typiquement entre 600 et 1000°C, parce qu'il est plus avantageux d'électrolyser de la vapeur d'eau que de l'eau liquide et parce qu'une partie de l'énergie nécessaire à la réaction peut être apportée par de la chaleur, moins chère que l'électricité.

[0008] Pour mettre en œuvre l'électrolyse de l'eau à haute température (EHT), un électrolyseur à oxydes solides à haute température de type SOEC est constitué d'un empilement de motifs élémentaires comportant chacun une cellule d'électrolyse à oxyde solide, ou encore cellule électrochimique, constituée de trois couches anode/électrolyte/cathode superposées l'une sur l'autre, et de plaques d'interconnexion en alliages métalliques, aussi appelées plaques bipolaires ou interconnecteurs. Chaque cellule électrochimique est enserrée entre deux plaques d'interconnexion. Un électrolyseur à oxydes solides à haute température de type SOEC est alors un empilement alterné de cellules électrochimiques et d'interconnecteurs. Une pile à combustible à oxydes solides à haute température de type SOFC est constituée du même type d'empilement de motifs élémentaires. Cette technologie à haute température étant réversible, le même empilement peut fonctionner en mode électrolyse et produire de l'hydrogène et de l'oxygène à partir d'eau et d'électricité, ou en mode pile à combustible et produire de l'électricité à partir d'hydrogène et d'oxygène.

[0009] Chaque cellule électrochimique correspond à un assemblage électrolyte/électrodes, qui est typiquement un assemblage multicouche en céramique dont l'électrolyte est formé par une couche centrale conductrice d'ions, cette couche étant solide, dense et étanche, et enserrée entre les deux couches poreuses formant les électrodes. Il est à noter que des couches supplémentaires peuvent exister, mais qui ne servent qu'à améliorer l'une ou plusieurs des couches déjà décrites.

[0010] Les dispositifs d'interconnexion, électrique et fluidique, sont des conducteurs électroniques qui assurent, d'un point de vue électrique, la connexion de chaque cellule électrochimique de motif élémentaire dans l'empilement de motifs élémentaires, garantissant le contact électrique entre une face et la cathode d'une cellule et entre l'autre face et l'anode de la cellule suivante, et d'un point de vue fluidique, combinant ainsi la production de chacune des cellules. Les interconnecteurs assurent ainsi les fonctions d'amenée et de collecte de courant électrique et délimitent des compartiments de circulation des gaz, pour la distribution et/ou la collecte.

[0011] Plus précisément, les interconnecteurs ont pour fonction principale d'assurer le passage du courant électrique mais aussi la circulation des gaz au voisinage de chaque cellule (à savoir : vapeur d'eau injectée, hydrogène et oxygène extraits pour l'électrolyse EHT ; air et combustible dont l'hydrogène injecté et eau extraite pour une

pile SOFC), et de séparer les compartiments anodiques et cathodiques de deux cellules adjacentes, qui sont les compartiments de circulation des gaz du côté respectivement des anodes et des cathodes des cellules.

- [0012] En particulier, pour un électrolyseur à oxydes solides à haute température de type SOEC, le compartiment cathodique comporte la vapeur d'eau et l'hydrogène, produit de la réaction électrochimique, tandis que le compartiment anodique comporte un gaz drainant, si présent, et de l'oxygène, autre produit de la réaction électrochimique. Pour une pile à combustible à oxydes solides à haute température de type SOFC, le compartiment anodique comporte le carburant, tandis que le compartiment cathodique comporte le comburant.
- [0013] Pour réaliser l'électrolyse de la vapeur d'eau à haute température (EHT), on injecte de la vapeur d'eau (H_2O) dans le compartiment cathodique. Sous l'effet du courant électrique appliqué à la cellule, la dissociation des molécules d'eau sous forme de vapeur est réalisée à l'interface entre l'électrode à hydrogène (cathode) et l'électrolyte : cette dissociation produit du gaz dihydrogène (H_2) et des ions oxygène (O^{2-}). Le dihydrogène (H_2) est collecté et évacué en sortie de compartiment à hydrogène. Les ions oxygène (O^{2-}) migrent à travers l'électrolyte et se recombinent en dioxygène (O_2) à l'interface entre l'électrolyte et l'électrode à oxygène (anode). Un gaz drainant, tel que de l'air, peut circuler au niveau de l'anode et ainsi collecter l'oxygène généré sous forme gazeuse à l'anode.
- [0014] Pour assurer le fonctionnement d'une pile à combustible à oxydes solides (SOFC), on injecte de l'air (oxygène) dans le compartiment cathodique de la pile et de l'hydrogène dans le compartiment anodique. L'oxygène de l'air va se dissocier en ions O^{2-} . Ces ions vont migrer dans l'électrolyte de la cathode vers l'anode pour oxyder l'hydrogène et former de l'eau avec une production simultanée d'électricité. En pile SOFC, tout comme en électrolyse SOEC, la vapeur d'eau se trouve dans le compartiment de dihydrogène (H_2). Seule la polarité est inversée.
- [0015] A titre d'illustration, la figure 1 représente une vue schématique montrant le principe de fonctionnement d'un électrolyseur à oxydes solides à haute température de type SOEC. La fonction d'un tel électrolyseur est de transformer la vapeur d'eau en hydrogène et en oxygène selon la réaction électrochimique suivante :
- [0016] $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$.
- [0017] Cette réaction est réalisée par voie électrochimique dans les cellules de l'électrolyseur. Comme schématisée sur la figure 1, chaque cellule d'électrolyse élémentaire 1 est formée d'une cathode 2 et d'une anode 4, placées de part et d'autre d'un électrolyte solide 3. Les deux électrodes (cathode et anode) 2 et 4 sont des conducteurs électroniques et/ou ioniques, en matériau poreux, et l'électrolyte 3 est étanche au gaz, isolant électronique et conducteur ionique. L'électrolyte 3 peut être en particulier un

conducteur anionique, plus précisément un conducteur anionique des ions O^{2-} et l'électrolyseur est alors dénommé électrolyseur anionique, par opposition aux électrolytes protoniques (H^+).

- [0018] Les réactions électrochimiques se font à l'interface entre chacun des conducteurs électroniques et le conducteur ionique.
- [0019] A la cathode 2, la demi-réaction est la suivante :
- [0020] $2 H_2O + 4 e^- \rightarrow 2 H_2 + 2 O^{2-}$.
- [0021] A l'anode 4, la demi-réaction est la suivante:
- [0022] $2 O^{2-} \rightarrow O_2 + 4 e^-$.
- [0023] L'électrolyte 3, intercalé entre les deux électrodes 2 et 4, est le lieu de migration des ions O^{2-} sous l'effet du champ électrique créé par la différence de potentiel imposée entre l'anode 4 et la cathode 2.
- [0024] Comme illustré entre parenthèses sur la figure 1, la vapeur d'eau en entrée de cathode peut être accompagnée d'hydrogène H_2 et l'hydrogène produit et récupéré en sortie peut être accompagné de vapeur d'eau. De même, comme illustré en pointillés, un gaz drainant, tel que l'air, peut en outre être injecté en entrée pour évacuer l'oxygène produit. L'injection d'un gaz drainant a pour fonction supplémentaire de jouer le rôle de régulateur thermique.
- [0025] Un électrolyseur, ou réacteur d'électrolyse, élémentaire est constitué d'une cellule élémentaire telle que décrite ci-dessus, avec une cathode 2, un électrolyte 3, et une anode 4, et de deux interconnecteurs qui assurent les fonctions de distribution électrique, hydraulique et thermique.
- [0026] Pour augmenter les débits d'hydrogène et d'oxygène produits, il est connu d'empiler plusieurs cellules d'électrolyse élémentaires les unes sur les autres en les séparant par des interconnecteurs. L'ensemble est positionné entre deux plaques d'interconnexion d'extrémité qui supportent les alimentations électriques et des alimentations en gaz de l'électrolyseur (réacteur d'électrolyse).
- [0027] Un électrolyseur à oxydes solides à haute température de type SOEC comprend ainsi au moins une, généralement une pluralité de cellules d'électrolyse empilées les unes sur les autres, chaque cellule élémentaire étant formée d'un électrolyte, d'une cathode et d'une anode, l'électrolyte étant intercalé entre l'anode et la cathode.
- [0028] Comme indiqué précédemment, les dispositifs d'interconnexion fluide et électrique qui sont en contact électrique avec une ou des électrodes assurent en général les fonctions d'amenée et de collecte de courant électrique et délimitent un ou des compartiments de circulation des gaz.
- [0029] Ainsi, le compartiment dit cathodique a pour fonction la distribution du courant électrique et de la vapeur d'eau ainsi que la récupération de l'hydrogène à la cathode en contact.

- [0030] Le compartiment dit anodique a pour fonction la distribution du courant électrique ainsi que la récupération de l'oxygène produit à l'anode en contact, éventuellement à l'aide d'un gaz drainant.
- [0031] La figure 2 représente une vue éclatée de motifs élémentaires d'un électrolyseur à oxydes solides à haute température de type SOEC selon l'art antérieur. Cet électrolyseur comporte une pluralité de cellules d'électrolyse élémentaires C1, C2, de type à oxydes solides (SOEC), empilées alternativement avec des interconnecteurs 5. Chaque cellule C1, C2 est constituée d'une cathode 2.1, 2.2 et d'une anode (seule l'anode 4.2 de la cellule C2 est représentée), entre lesquelles est disposé un électrolyte (seul l'électrolyte 3.2 de la cellule C2 est représenté).
- [0032] L'interconnecteur 5 est un composant en alliage métallique qui assure la séparation entre les compartiments cathodique 50 et anodique 51, définis par les volumes compris entre l'interconnecteur 5 et la cathode adjacente 2.1 et entre l'interconnecteur 5 et l'anode adjacente 4.2 respectivement. Il assure également la distribution des gaz aux cellules. L'injection de vapeur d'eau dans chaque motif élémentaire se fait dans le compartiment cathodique 50. La collecte de l'hydrogène produit et de la vapeur d'eau résiduelle à la cathode 2.1, 2.2 est effectuée dans le compartiment cathodique 50 en aval de la cellule C1, C2 après dissociation de la vapeur d'eau par celle-ci. La collecte de l'oxygène produit à l'anode 4.2 est effectuée dans le compartiment anodique 51 en aval de la cellule C1, C2 après dissociation de la vapeur d'eau par celle-ci. L'interconnecteur 5 assure le passage du courant entre les cellules C1 et C2 par contact direct avec les électrodes adjacentes, c'est-à-dire entre l'anode 4.2 et la cathode 2.1.
- [0033] Les conditions de fonctionnement d'un électrolyseur à oxydes solides à haute température (SOEC) étant très proches de celles d'une pile à combustible à oxydes solides (SOFC), les mêmes contraintes technologiques se retrouvent.
- [0034] Ainsi, le bon fonctionnement de tels empilements à oxydes solides de type SOEC/SOFC fonctionnant à haute température requiert principalement de satisfaire aux points énoncés ci-après.
- [0035] Tout d'abord, il est nécessaire d'avoir une isolation électrique entre deux interconnecteurs successifs sous peine de court-circuiter la cellule électrochimique, mais aussi un bon contact électrique et une surface de contact suffisante entre une cellule et un interconnecteur. La plus faible résistance ohmique possible est recherchée entre cellules et interconnecteurs.
- [0036] Par ailleurs, il faut disposer d'une étanchéité entre les compartiments anodiques et cathodiques sous peine d'avoir une recombinaison des gaz produits entraînant une baisse de rendement et surtout l'apparition de points chauds endommageant l'empilement.
- [0037] Enfin, il est indispensable d'avoir une bonne distribution des gaz à la fois en entrée et

en récupération des produits sous peine de perte de rendement, d'inhomogénéité de pression et de température au sein des différents motifs élémentaires, voire de dégradations rédhibitoires des cellules électrochimiques.

- [0038] Les gaz entrants et sortants dans un empilement d'électrolyse à haute température (SOEC) ou de pile à combustible (SOFC) fonctionnant à haute température peuvent être gérés par le biais de dispositifs appropriés d'un four tel que celui illustré en référence à la figure 3.
- [0039] Le four 10 comporte ainsi des parties froides PF et des parties chaudes PC, ces dernières comprenant la sole de four 11, un tube en boucle 12 pour gérer les entrées et sorties de gaz et l'empilement 20, encore appelé « stack », d'électrolyse à haute température (SOEC) ou de pile à combustible (SOFC).
- [0040] Les couplages des dispositifs d'amenée et de sortie des gaz se font le plus souvent au niveau des parties froides PF, en particulier par des raccords de serrage mécanique double bague, des raccords à étanchéité de surface par joint métallique VCR®, des liaisons soudées ou encore des traversées étanches de cloisons.
- [0041] De façon classique, il existe deux techniques principales pour réaliser la surchauffe des gaz d'entrée dans un empilement d'électrolyse à haute température (SOEC) ou de pile à combustible (SOFC). Ces techniques mettent en œuvre des dispositifs de surchauffe extérieurs à l'empilement de type SOEC/SOFC.
- [0042] Tout d'abord, comme représenté schématiquement par le tube en boucle 12 sur la figure 3, il est possible d'utiliser des longueurs de tube enroulées au droit des résistances chauffantes d'un four 10 dans la partie chaude PC. Les gaz auront été préalablement portés à une température d'environ 500°C en sortie d'échangeurs si cela est prévu par le système. Alors, ce ou ces tubes de surchauffe 12 des gaz permettent de gagner environ 300°C de plus en utilisant le rayonnement thermique des résistances du four 10 et du stack 20, avant d'être introduits dans le stack 20.
- [0043] Par ailleurs, il est également connu de faire passer les gaz par des chauffeurs électriques 30 tels que celui représenté sur la figure 4. Un tel chauffeur électrique 30 s'apparente à un ensemble massif comprenant une masse inertielle 31 en acier, une résistance chauffante 32 et un tube de conduite des gaz 33 enroulé sur la masse inertielle 31. Sur la figure 4 sont également représentés les gaz entrants GE et les gaz sortants GS. Ces chauffeurs électriques 30 sont chargés de porter les gaz entrants GE de 20°C à une température d'environ 800°C avant l'introduction des gaz sortants GS dans le stack 20.
- [0044] Le bon fonctionnement du système dans les deux cas nécessite une température très précise en entrée de l'empilement ou stack 20 afin de garantir le bon fonctionnement de l'ensemble.
- [0045] La première technique qui, après passage des gaz dans les échangeurs, récupère le

rayonnement des résistances du four pour monter les gaz à la bonne température en entrée de stack oblige donc à faire des enroulements d'une longueur d'environ 3 m (exemple donné pour un stack de 25 cellules de 10 cm x 10 cm de surface active), ce qui entraîne l'inconvénient de rajouter de la complexité dans les cintrages pour faire en sorte que les tubes arrivent aux bons endroits dans un espace confiné, et ce qui augmente de façon importante la taille du four. La mise en œuvre est donc compliquée car il faut être précis et car les tubes, typiquement de diamètre 10/12 en inox 316L ou Inconel 600, sont très rigides. Par ailleurs, le fait de faire des boucles de surchauffe de gaz prend beaucoup de place, et interfère inmanquablement avec les amenées de courant, les passages de thermocouples, et les tubes de sortie de l'électrolyseur, ce qui amène souvent à raccourcir ces lignes du fait du manque de place dans le four, le tout augmentant la taille du four et donc le volume de gaz à chauffer. De plus, il faut refaire le même travail de cintrage à chaque nouveau stack, car le démontage du raccordement de ces boucles est destructif.

- [0046] En règle générale, pour obtenir la bonne température en entrée de stack 20, et pour un diamètre intérieur de tube 12 d'environ 10 mm, il faut une longueur développée d'environ 3 m par lignes de gaz en entrée, typiquement H₂O et N₂O₂, avec un débit compris entre 5 et 15 Nm³/s. Cette longueur d'environ 3 m, qui permet d'atteindre en sortie la température de régulation du four, fonctionne aussi bien en mode d'empilement d'électrolyse à haute température (SOEC) ou de pile à combustible (SOFC), et garantit la bonne température en entrée de stack.
- [0047] En outre, il est nécessaire de faire un traitement coûteux et long de ces lignes de gaz par dépôt d'alumine afin d'éviter les pollutions dues aux phénomènes d'oxydation lorsque de l'inox 316L est utilisé. Les particules entraînées par le flux gazeux (chrome, vanadium, ...) peuvent venir se fixer sur cette cellule, et ainsi diminuer les performances de l'empilement à oxydes solides de type SOEC/SOFC.
- [0048] Par ailleurs, la deuxième technique nécessite un surchauffeur 30 par entrées de gaz. Or, ce sont des ensembles massifs qui prennent beaucoup de place alors que l'on tend de plus en plus à aller vers des systèmes compacts. Il y a donc autant de surchauffeurs électriques que d'entrées de gaz, ce qui, dans le cadre de l'intégration des éléments périphériques dans un four, pose de sérieux problèmes. Il y a donc une nécessité de placer la sortie de gaz de ce chauffeur électrique 30 au plus proche des entrées du stack afin d'éviter un traçage de la ligne par bras chauffant.
- [0049] On connaît de la demande de brevet français FR 3 045 215 A1 un exemple de système de serrage autonome d'un empilement de type SOEC/SOFC pour le rendre « Plug & Play » (PnP) (système auto-serrant).
- [0050] Il existe encore un besoin pour améliorer ce type de système de serrage d'un empilement d'électrolyse à haute température (SOEC) ou de pile à combustible (SOFC),

notamment pour la conception d'un passage de distribution étanche de gaz.

Exposé de l'invention

- [0051] L'invention a pour but de remédier au moins partiellement aux besoins mentionnés précédemment et aux inconvénients relatifs aux réalisations de l'art antérieur.
- [0052] Elle vise notamment la réalisation d'une conception d'un ensemble intégré empilement (ou stack)/système de distribution de gaz, comprenant notamment la surchauffe de gaz, pour un empilement d'électrolyse à haute température (SOEC) ou de pile à combustible (SOFC), en limitant, voire en supprimant, le besoin en pièces extérieures. Ce système doit donc pouvoir être intégré à l'empilement présentant un caractère de type « Plug & Play » (PnP) (système auto-serrant), comme décrit dans la demande de brevet français FR 3 045 215 A1.
- [0053] L'invention a ainsi pour objet, selon l'un de ses aspects, un ensemble, comportant :
- un empilement à oxydes solides de type SOEC/SOFC fonctionnant à haute température, comportant :
 - une pluralité de cellules électrochimiques formées chacune d'une cathode, d'une anode et d'un électrolyte intercalé entre la cathode et l'anode, et une pluralité d'interconnecteurs intermédiaires agencés chacun entre deux cellules électrochimiques adjacentes,
 - un système de serrage de l'empilement à oxydes solides de type SOEC/SOFC, comportant une plaque de serrage supérieure et une plaque de serrage inférieure, entre lesquelles l'empilement à oxydes solides de type SOEC/SOFC est enserré, chaque plaque de serrage comportant au moins deux orifices de serrage, le système de serrage comportant en outre :
 - au moins deux tiges de serrage destinées à s'étendre chacune au travers d'un orifice de serrage de la plaque de serrage supérieure et au travers d'un orifice de serrage correspondant de la plaque de serrage inférieure pour permettre l'assemblage entre elles des plaques de serrage supérieure et inférieure,
 - des moyens de serrage au niveau de chaque orifice de serrage des plaques de serrage supérieure et inférieure destinés à coopérer avec lesdites au moins deux tiges de serrage pour permettre l'assemblage entre elles des plaques de serrage supérieure et inférieure,
- [0054] caractérisé en ce qu'il comporte un système de distribution de gaz formé au moins en partie à l'intérieur d'au moins l'une des plaques de serrage supérieure et inférieure et à l'intérieur d'au moins deux tiges de serrage creuses en communication fluïdique avec ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure et inférieure pour la circulation d'au moins un gaz surchauffé ou destiné à être surchauffé.
- [0055] Grâce à l'invention, il peut être possible de s'affranchir des enroulements tubulaires

compliqués à mettre en œuvre, tels que décrits précédemment en lien avec la première technique de surchauffe des gaz. On obtient donc un gain significatif en termes d'encombrement. L'invention peut permettre l'intégration du principe de surchauffe dans le système de serrage sans rajout de pièce extérieure, ce qui permet de limiter la taille du four.

- [0056] L'ensemble selon l'invention peut en outre comporter l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes prises isolément ou suivant toutes combinaisons techniques possibles.
- [0057] L'embase de chacune desdites au moins deux tiges de serrage, correspondant à la portion de tige de serrage située dans ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure et inférieure, peut comporter un ou plusieurs conduits primaires de distribution de gaz communiquant avec un ou plusieurs conduits secondaires de distribution de gaz formé(s) dans ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure et inférieure.
- [0058] De plus, le ou les conduits secondaires peuvent communiquer fluidiquement avec l'empilement à oxydes solides de type SOEC/SOFC, notamment par le biais d'un ou plusieurs conduits tertiaires formé(s) dans au moins l'une des plaques terminales inférieure et supérieure, entre lesquelles la pluralité de cellules électrochimiques et la pluralité d'interconnecteurs intermédiaires sont enserrées.
- [0059] L'embase de chacune desdites au moins deux tiges de serrage peut comporter un premier conduit primaire s'étendant longitudinalement à l'intérieur de la tige de serrage, selon la direction d'étendue de la tige de serrage, et un deuxième conduit primaire s'étendant perpendiculairement au premier conduit primaire, selon la direction d'étendue de ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure et inférieure.
- [0060] Par ailleurs, ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure et inférieure peut comporter un premier conduit secondaire s'étendant dans le prolongement du deuxième conduit primaire, selon la direction d'étendue de ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure et inférieure, et un deuxième conduit secondaire s'étendant perpendiculairement au premier conduit secondaire, selon la direction d'étendue de la tige de serrage.
- [0061] Ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure et inférieure peut comporter un troisième conduit secondaire et l'embase de chacune desdites au moins deux tiges de serrage peut comporter un troisième conduit primaire, communiquant fluidiquement entre eux et s'étendant perpendiculairement à la direction d'étendue de la tige de serrage à l'opposé du deuxième conduit primaire et du premier conduit secondaire par rapport au premier conduit primaire, le troisième conduit secondaire débouchant sur une face externe de ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure et in-

férieure.

- [0062] Un élément de bouchage formant un élément de détrompage peut être inséré au moins dans le troisième conduit secondaire.
- [0063] En outre, chacune desdites au moins deux tiges de serrage peut être soudée aux faces supérieure et inférieure de ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure et inférieure.
- [0064] En variante, chacune desdites au moins deux tiges de serrage peut être assemblée de manière démontable à ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure et inférieure, chacune desdites au moins deux tiges de serrage comportant notamment une rainure sur sa surface externe destinée à coopérer par rotation avec un élément de bouchage présent dans ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure et inférieure.
- [0065] Par ailleurs, ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure et inférieure peut comporter au moins un conduit de circulation de gaz permettant la surchauffe de gaz par le biais de la chaleur produite par l'empilement à oxydes solides de type SOEC/SOFC, ledit au moins un conduit de circulation de gaz comportant au moins un canal d'échange thermique s'étendant dans le volume de ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure et inférieure.
- [0066] Ledit au moins un canal d'échange thermique peut comporter deux sous-canaux d'échange thermique formés dans deux sections volumiques de ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure et inférieure à l'aplomb l'une de l'autre selon une direction perpendiculaire à la face principale de ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure et inférieure.
- [0067] Un trou de passage peut être formé entre les deux sections volumiques rendant communiquant les deux sous-canaux d'échange thermique.
- [0068] L'ensemble peut comporter une plaque terminale supérieure et une plaque terminale inférieure, entre lesquelles la pluralité de cellules électrochimiques et la pluralité d'interconnecteurs intermédiaires sont enserrées.
- [0069] De plus, ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure et inférieure peut avantageusement être fabriquée par une technique de fabrication additive, étant notamment réalisée en acier austénitique réfractaire, en particulier de type AISI 310.
- [0070] Par ailleurs, ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure et inférieure peut présenter une épaisseur comprise entre 20 et 30 mm, notamment de l'ordre de 25 mm.
- [0071] De façon avantageuse, les extrémités des tiges de serrage sont filetées. Il peut donc être possible d'y fixer des raccords démontables et étanches munis d'un filetage.
- [0072] Le raccord démontable et étanche peut notamment être formé par un système de couplage étanche à haute température, comportant :
- une embase creuse au moins partiellement filetée sur sa surface extérieure dite

embase filetée, destinée à être fixée sur un premier conduit fluïdique ou une tige de serrage creuse, l'embase filetée comportant un orifice de mise en communication fluïdique avec le premier conduit fluïdique ou la tige de serrage,

- une embase creuse de surface extérieure au moins partiellement lisse dite embase lisse, destinée à être fixée sur un deuxième conduit fluïdique ou une tige de serrage creuse, l'embase lisse comportant un orifice de mise en communication fluïdique avec le deuxième conduit fluïdique ou la tige de serrage creuse, l'embase lisse et l'embase filetée comportant chacune un orifice pour leur mise en communication fluïdique entre elles,

- un écrou fileté, apte à coopérer avec l'embase filetée pour former un système vis/écrou et apte à coulisser par rapport à l'embase lisse, l'écrou fileté comprenant, sur sa surface intérieure, une première portion filetée coopérant avec le filetage de l'embase filetée et une deuxième portion lisse en contact coulissant sur la surface extérieure lisse de l'embase lisse.

[0073] Un tel raccord démontable et étanche est en particulier tel que décrit dans la demande de brevet français FR 3 061 495 A1.

Brève description des dessins

[0074] L'invention pourra être mieux comprise à la lecture de la description détaillée qui va suivre, d'exemples de mise en œuvre non limitatifs de celle-ci, ainsi qu'à l'examen des figures, schématiques et partielles, du dessin annexé, sur lequel :

[0075] [fig.1]

est une vue schématique montrant le principe de fonctionnement d'un électrolyseur à oxydes solides à haute température (SOEC),

[0076] [fig.2]

est une vue schématique éclatée d'une partie d'un électrolyseur à oxydes solides à haute température (SOEC) comprenant des interconnecteurs selon l'art antérieur,

[0077] [fig.3]

illustre le principe de l'architecture d'un four sur lequel un empilement d'électrolyse à haute température (SOEC) ou de pile à combustible (SOFC) fonctionnant à haute température est placé,

[0078] [fig.4]

illustre le principe d'un chauffeur électrique de gaz selon l'art antérieur,

[0079] [fig.5]

représente, en perspective, un exemple d'un ensemble conforme à l'invention comprenant un empilement à oxydes solides de type SOEC/SOFC et un système de serrage de l'empilement, pouvant comporter un ou plusieurs systèmes de distribution de gaz conformes à l'invention,

[0080] [fig.6]

représente, selon une vue en coupe longitudinale et en perspective, un exemple de réalisation d'un système de distribution de gaz pour un ensemble conforme à l'invention comprenant un empilement à oxydes solides de type SOEC/SOFC et un système de serrage de l'empilement du type de celui de [Fig. 5],

[0081] [fig.7]

représente, selon une vue en coupe longitudinale de détails, une partie de l'ensemble de [Fig. 6],

[0082] [fig.8]

est une vue semblable à celle de [Fig. 7] illustrant une variante de réalisation du système de distribution de gaz,

[0083] [fig.9]

est une représentation schématique d'un exemple de plaque de serrage selon un plan de coupe parallèle à ses faces principales révélant un canal d'échange thermique en forme de spirale,

[0084] [fig.10]

est une représentation selon une coupe brisée à plans sécants AA et en perspective de la plaque de serrage de [Fig. 9],

[0085] [fig.11]

est une représentation selon une coupe brisée à plans sécants AA et en perspective de la plaque de serrage de [Fig. 9], et représente notamment un canal d'entrée cathodique et un canal de sortie cathodique formés dans le volume d'une plaque de serrage et à l'aplomb l'un de l'autre,

[0086] [fig.12]

est une représentation schématique d'une autre plaque de serrage, représentée par une de ses faces principales,

[0087] [fig.13]

est une représentation schématique de la plaque de serrage de [Fig. 12], représentée notamment selon un plan de coupe parallèle aux faces principales de la plaque et révélant le ou les canaux d'échange thermique,

[0088] [fig.14]

est une représentation selon une coupe brisée à plans sécants BB et en perspective de la plaque de serrage de [Fig. 13],

[0089] [fig.15]

est une vue en coupe partielle selon un plan de coupe parallèle aux faces principales de la plaque de serrage révélant le premier canal,

[0090] [fig.16]

est une vue en coupe partielle selon un plan de coupe parallèle aux faces principales

de la plaque de serrage révélant le second canal,

[0091] [fig.17]

est une vue en coupe partielle selon un plan de coupe parallèle aux faces principales de la plaque de serrage révélant le premier canal et le trou de passage d'une chambre à l'autre,

[0092] [fig.18]

illustre, selon une vue en coupe et en perspective partielle, un système de distribution de gaz intégré dans les tiges de serrage et la plaque de serrage inférieure d'un ensemble conforme à l'invention, la plaque de serrage étant du type de [Fig. 13],

[0093] [fig.19]

illustre de façon isolée, selon une vue en perspective partielle, une tige de serrage,

[0094] [fig.20]

illustre, selon une vue en perspective partielle, un exemple de système comprenant une pluralité d'ensembles conformes à l'invention montés en série par le biais de raccords rapides, et

[0095] [fig.21]

illustre, partiellement et en coupe, le couplage avec une rampe d'alimentation du système de [Fig. 20].

[0096] Dans l'ensemble de ces figures, des références identiques peuvent désigner des éléments identiques ou analogues.

[0097] De plus, les différentes parties représentées sur les figures ne le sont pas nécessairement selon une échelle uniforme, pour rendre les figures plus lisibles.

[0098] **EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS**

[0099] Les figures 1 à 4 ont déjà été décrites précédemment dans la partie relative à l'état de la technique antérieure et au contexte technique de l'invention. Il est précisé que, pour les figures 1 et 2, les symboles et les flèches d'alimentation de vapeur d'eau H_2O , de distribution et de récupération de dihydrogène H_2 , d'oxygène O_2 , d'air et du courant électrique, sont montrés à des fins de clarté et de précision, pour illustrer le fonctionnement des dispositifs représentés.

[0100] En outre, il faut noter que tous les constituants (anode/électrolyte/cathode) d'une cellule électrochimique donnée sont préférentiellement des céramiques. La température de fonctionnement d'un empilement de type SOEC/SOFC haute température est par ailleurs typiquement comprise entre 600 et 1000°C.

[0101] De plus, les termes éventuels « supérieur » et « inférieur » sont à comprendre ici selon le sens d'orientation normal d'un empilement de type SOEC/SOFC lorsque dans sa configuration d'utilisation.

[0102] En référence à la figure 5, on a illustré un exemple d'ensemble 80 comprenant un empilement 20 à oxydes solides de type SOEC/SOFC et un système de serrage 60, cet

ensemble 80 pouvant comprendre l'un ou plusieurs des systèmes de distribution de gaz 40 décrits par la suite en référence aux figures 6 à 19.

- [0103] De façon avantageuse, l'ensemble 80 selon l'invention présente une structure semblable à celle de l'ensemble décrit dans la demande de brevet français FR 3 045 215 A1, hormis la présence ici d'un système de distribution de gaz 40, c'est-à-dire que l'empilement 20 présente un caractère de type « Plug & Play » (PnP).
- [0104] Aussi, de façon commune aux différents modes de réalisation de l'invention décrits par la suite, et comme visible sur la figure 5, l'ensemble 80 comporte un empilement 20 à oxydes solides de type SOEC/SOFC fonctionnant à haute température.
- [0105] Cet empilement 20 comporte une pluralité de cellules électrochimiques 41 formées chacune d'une cathode, d'une anode et d'un électrolyte intercalé entre la cathode et l'anode, et une pluralité d'interconnecteurs intermédiaires 42 agencés chacun entre deux cellules électrochimiques 41 adjacentes. Cet ensemble de cellules électrochimiques 41 et d'interconnecteurs intermédiaires 42 peut également être désigné par « stack ».
- [0106] De plus, l'empilement 20 comporte une plaque terminale supérieure 43 et une plaque terminale inférieure 44, respectivement également dénommées plaque terminale de stack supérieure 43 et plaque terminale de stack inférieure 44, entre lesquelles la pluralité de cellules électrochimiques 41 et la pluralité d'interconnecteurs intermédiaires 42 sont enserrées, soit entre lesquelles se trouve le stack.
- [0107] Par ailleurs, l'ensemble 80 comporte aussi un système de serrage 60 de l'empilement 20 à oxydes solides de type SOEC/SOFC, comportant une plaque de serrage supérieure 45 et une plaque de serrage inférieure 46, entre lesquelles l'empilement 20 à oxydes solides de type SOEC/SOFC est enserré.
- [0108] Chaque plaque de serrage 45, 46 du système de serrage 60 comporte quatre orifices de serrage 54.
- [0109] De plus, le système de serrage 60 comporte en outre quatre tiges de serrage 55, ou tirants, s'étendant au travers d'un orifice de serrage 54 de la plaque de serrage supérieure 45 et au travers d'un orifice de serrage 54 correspondant de la plaque de serrage inférieure 46 pour permettre l'assemblage entre elles des plaques de serrage supérieure 45 et inférieure 46.
- [0110] Le système de serrage 60 comporte de plus des moyens de serrage 56, 57, 58 au niveau de chaque orifice de serrage 54 des plaques de serrage supérieure 45 et inférieure 46 coopérant avec les tiges de serrage 55 pour permettre l'assemblage entre elles des plaques de serrage supérieure 45 et inférieure 46.
- [0111] Plus précisément, les moyens de serrage comportent, au niveau de chaque orifice de serrage 54 de la plaque de serrage supérieure 45, un premier écrou de serrage 56 coopérant avec la tige de serrage 55 correspondante insérée au travers de l'orifice de

serrage 54. De plus, les moyens de serrage comportent, au niveau de chaque orifice de serrage 54 de la plaque de serrage inférieure 46, un deuxième écrou de serrage 57 associé à une rondelle de serrage 58, ceux-ci coopérant avec la tige de serrage 55 correspondante insérée au travers de l'orifice de serrage 54. La rondelle de serrage 58 est située entre le deuxième écrou de serrage 57 et la plaque de serrage inférieure 46.

- [0112] Conformément à l'invention, l'ensemble 80 comporte au moins un système de distribution de gaz 40, par exemple tels que ceux décrits en référence aux figures 6 à 19 mais non visible sur la figure 5, formé au moins en partie à l'intérieur d'au moins l'une des plaques de serrage supérieure 45 et inférieure 46 et à l'intérieur d'au moins deux tiges de serrage 55 creuses en communication fluïdique avec ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure 45 et inférieure 46 pour la circulation d'au moins un gaz surchauffé ou destiné à être surchauffé.
- [0113] Dans les exemples qui vont être décrits, et de façon nullement limitative, le système de distribution de gaz 40 est formé à l'intérieur de la plaque de serrage inférieure 46 et dans les quatre tiges de serrage 55 par le biais d'une communication fluïdique à l'intersection entre la plaque de serrage inférieure 46 et chaque tige de serrage 55.
- [0114] De façon générale, l'invention vise à permettre la réalisation d'un passage étanche pour la circulation d'un gaz entre une tige de serrage 55 et une plaque de serrage, ici la plaque de serrage inférieure 46, puis le cas échéant son surchauffage dans celle-ci, avant son introduction dans l'empilement 20 à oxydes solides de type SOEC/SOFC. Le même principe peut être appliqué dans l'autre sens pour la sortie de gaz si besoin.
- [0115] Dans le cas d'un fonctionnement de l'empilement 20 en tant qu'électrolyseur (SOEC) par exemple, il existe au niveau de l'empilement 20 deux entrées de gaz, pour la vapeur d'eau (H_2O) et l'azote, et il existe deux sorties de récupération de gaz, pour le dioxygène (O_2) et le dihydrogène (H_2). Les systèmes de distribution de gaz 40 décrits par la suite peuvent donc être utilisés pour ces types de gaz.
- [0116] On va maintenant décrire en référence aux figures 6 à 19 des exemples de réalisation de systèmes de distribution de gaz 40 conformes à l'invention.
- [0117] Ces systèmes de distribution de gaz 40 peuvent permettre la distribution d'un gaz déjà surchauffé ou bien alors peuvent eux-mêmes permettre la surchauffe du gaz.
- [0118] En effet, soit les gaz arrivent par les tiges de serrage 55 et ils sont déjà surchauffés par un moyen quelconque, par exemple tel que décrit précédemment, avant leur entrée dans l'électrolyseur 20. Soit les gaz arrivent par les tiges de serrage 55 et ils sont ensuite surchauffés par la plaque de serrage inférieure 46, avant leur entrée dans l'électrolyseur 20, l'avantage étant de pouvoir profiter d'une exothermie du stack au plus près de celui-ci afin de ne pas consommer d'énergie pour la préchauffe.
- [0119] Ces deux cas peuvent être distingués et sont traités successivement dans ce qui suit.
- [0120] Cas d'un gaz déjà surchauffé

- [0121] Dans ce cas, comme visible sur les figures 6 à 8, l'embase 100 de chaque tige de serrage 55, correspondant à la portion de tige de serrage 55 située dans la plaque de serrage inférieure 46, comporte un ou plusieurs conduits primaires 101a, 101b de distribution de gaz communiquant avec un ou plusieurs conduits secondaires 102a, 102b de distribution de gaz formé(s) dans la plaque de serrage inférieure 46.
- [0122] Le ou les conduits secondaires 102, 102b de la plaque de serrage inférieure 46 communiquent fluidiquement avec l'empilement 20. En particulier, la plaque terminale inférieure 44 de l'empilement 20 comporte un ou plusieurs conduits tertiaires 103a permettant de distribuer le gaz entre l'empilement 20 et la plaque de serrage inférieure 46.
- [0123] Il est à noter que, sur la figure 6, le système de serrage 60 comporte une pièce d'isolation thermique 120, notamment en céramique, disposée autour de l'extrémité supérieure des tiges de serrage 55. Cette pièce d'isolation thermique 120 est positionnée au contact de la plaque de serrage 45.
- [0124] Dans les exemples des figures 6 à 8, l'embase 100 de chaque tige de serrage 55 comporte un premier conduit primaire 101a s'étendant longitudinalement à l'intérieur de la tige de serrage 55, selon la direction d'étendue de la tige de serrage 55, et un deuxième conduit primaire 101b s'étendant perpendiculairement au premier conduit primaire 101a, selon la direction d'étendue de la plaque de serrage inférieure 46.
- [0125] Les gaz entrants GE, symbolisés par des flèches sur la figure 7, pénètrent dans le premier conduit primaire 101a puis circulent dans le deuxième conduit primaire 101b pour ensuite pénétrer à l'intérieur de la plaque de serrage inférieure 46.
- [0126] La plaque de serrage 46 comporte en outre un premier conduit secondaire 102a s'étendant dans le prolongement du deuxième conduit primaire 101b, selon la direction d'étendue de la plaque de serrage inférieure 46, et un deuxième conduit secondaire 102b s'étendant perpendiculairement au premier conduit secondaire 102a, selon la direction d'étendue de la tige de serrage 55.
- [0127] Enfin, le deuxième conduit secondaire 102b de la plaque de serrage inférieure 46 communique fluidiquement avec un conduit tertiaire 103a de la plaque terminale inférieure 44 s'étendant dans le prolongement du deuxième conduit secondaire 102b, selon la direction d'étendue de la tige de serrage 55, pour alimenter en gaz entrants GE le stack 20.
- [0128] Par ailleurs, sur les exemples des figures 6 à 8, la plaque de serrage inférieure 46 comporte un troisième conduit secondaire 102c et l'embase 100 de la tige de serrage 55 comporte un troisième conduit primaire 101c, communiquant fluidiquement entre eux et s'étendant perpendiculairement à la direction d'étendue de la tige de serrage 55 à l'opposé du deuxième conduit primaire 101b et du premier conduit secondaire 102a par rapport au premier conduit primaire 101a, le troisième conduit secondaire 102c dé-

bouchant sur une face externe de la plaque de serrage inférieure 46. Alors, de manière avantageuse, un élément de bouchage 104 formant un élément de détrompage est inséré au moins dans le troisième conduit secondaire 102c et éventuellement dans le troisième conduit primaire 101c.

- [0129] Les éléments décrits précédemment s'appliquent aussi bien à l'exemple de réalisation des figures 6 et 7 qu'à l'exemple de réalisation de la figure 8. Toutefois, il va maintenant être expliqué la différence entre l'exemple des figures 6 et 7 et l'exemple de la figure 8.
- [0130] Selon l'exemple des figures 6 et 7, les conduits primaires 101a, 101b, 101c et secondaire 102a, 102b, et 102c sont formés par usinage, notamment par perçage, de la plaque de serrage inférieure 46 et des tiges de serrage 55.
- [0131] Ainsi, par exemple, une partie du trou de passage du forêt est obstrué par le biais de l'élément de bouchage 104, servant aussi de détrompeur pour l'alignement de l'axe de perçage.
- [0132] Cet élément de bouchage 104 est positionné après introduction de la tige de serrage 55 dans la plaque de serrage inférieure 46. Il peut être rapporté soudé dans le troisième conduit secondaire 102c par exemple par un procédé de soudage à l'arc avec une électrode non fusible de type TIG (pour « Tungsten Inert Gas » en anglais) ou tout autre procédé de soudage.
- [0133] Par ailleurs, chaque tige de serrage 55 est ensuite soudée aux deux faces supérieure et inférieure de la plaque de serrage inférieure 46 (points de soudure représentés par les références 105 sur la figure 7), par exemple par un procédé de soudage de type TIG ou tout autre procédé de soudage, de manière à obtenir une parfaite isolation de l'ensemble.
- [0134] Chaque tige de serrage 55 est intimement liée par soudure à la plaque de serrage inférieure 46 pour garantir l'étanchéité. La plaque de serrage inférieure 46 est par exemple en alliage 310s et les tiges de serrage 55 en Inconel 600®. Une soudure de type TIG entre ces matériaux permet d'obtenir une soudure étanche avec des cycles dans des fours à des températures de l'ordre de 800°C.
- [0135] Par ailleurs, selon l'exemple de la figure 8, les conduits primaires 101a, 101b et secondaire 102a, 102b et 102c sont également formés par usinage, mais l'assemblage entre les tiges de serrage 55 et la plaque de serrage inférieure 46 est démontable.
- [0136] Dans cet exemple, il n'y a plus de troisième conduit primaire 101c.
- [0137] La tige de serrage 55 comporte une rainure 106 sur sa surface externe, au niveau de l'embase 100, destinée à coopérer, par rotation de la tige de serrage 55, avec une extrémité 104a de l'élément de bouchage 104 pour le maintien en position de la tige de serrage 55. Des joints d'étanchéité haute température supérieur 106a et inférieure 106b sont prévus de part et d'autre de la plaque de serrage inférieure 46 pour garantir

l'étanchéité et un écrou de blocage 107 est prévu sur la tige de serrage 55 au contact du joint d'étanchéité haute température inférieure 106b.

[0138] Ainsi, pour la mise en place, on rapporte soudé l'élément de bouchage 104 dans le troisième conduit secondaire 102c de la plaque de serrage 46. On glisse le joint d'étanchéité haute température supérieur 106a sur l'embase de la tige de serrage 55. L'ensemble est alors introduit dans le trou de passage de la plaque de serrage inférieure 46 en faisant pivoter l'ensemble pour que la rainure 106 de la tige de serrage 55 coulisse sur l'extrémité 104a de l'élément de bouchage 104. Un autre système de positionnement pourrait toutefois être prévu. Ensuite, le joint d'étanchéité haute température inférieur 106b est positionné ainsi que l'écrou de blocage 106 sur le filetage de la tige de serrage 55. L'ensemble est serré au couple, soit environ 20 N/m, afin de garantir l'étanchéité de l'ensemble.

[0139] Cas d'un gaz destiné à être surchauffé par la plaque de serrage

[0140] Dans ce cas, on suppose que les gaz entrants GE par le biais des tiges de serrage 55 et circulant dans la plaque de serrage inférieure 46 ne sont pas déjà surchauffés. La plaque de serrage inférieure 46 va donc être utilisée pour permettre la surchauffe des gaz.

[0141] La conception des tiges de serrage 55 et de la plaque de serrage inférieure 46 peut être analogue à celle décrite précédemment quant à la distribution de gaz. Autrement dit, les tiges de serrage 55 et la plaque de serrage inférieure 46 peuvent être usinées pour former les conduits de distribution de gaz, puis être soudées entre elles ou assemblées entre elles de façon démontable. Toutefois, à la différence des réalisations des figures 6 à 8 décrites précédemment, il va maintenant être expliqué les moyens présents dans la plaque de serrage inférieure 46 pour la surchauffe de gaz. De ce fait, les conduits de distribution de gaz présents dans la plaque de serrage inférieure 46 ne débouchent pas directement dans l'empilement 20 par le biais de la plaque terminale inférieure 44 mais permettent d'alimenter des moyens de surchauffe présents dans la plaque de serrage inférieure 46.

[0142] En effet, dans le cas où une surchauffe des gaz est nécessaire, un couplage des tiges de serrage 55 et de la plaque de serrage inférieure 46 est avantageusement réalisé pour permettre l'obtention d'un système de distribution de gaz 40 intégré. Le surchauffage est réalisé au sein de la plaque de serrage inférieure 46, la chaleur produite par l'empilement 20 permettant par conduction de surchauffer le gaz circulant dans la plaque 46.

[0143] Aussi, dans les exemples de réalisation des figures 9 à 19, la plaque de serrage inférieure 46 comporte au moins un conduit de circulation 350 de gaz permettant la surchauffe de gaz par le biais de la chaleur produite par l'empilement 20.

[0144] Ce conduit de circulation 350 comporte au moins un canal, dit canal d'échange

thermique 400, qui s'étend dans le volume de la plaque de serrage inférieure 46 selon un plan essentiellement parallèle aux faces principales de cette plaque 46 de sorte qu'en fonctionnement, la chaleur produite par l'empilement 20 permette un échauffement du gaz circulant dans ce canal d'échange thermique 400.

- [0145] Il est entendu qu'un canal d'échange thermique 400 dans le volume de la plaque de serrage inférieure 46 est nécessairement à distance des faces principales de la plaque 46. Aussi, le canal d'échange thermique 400 est enterré dans le volume de la plaque de serrage inférieure 46.
- [0146] Avantagement, ce canal d'échange thermique 400 permet la surchauffe de gaz sans nécessiter de pièces ou d'éléments supplémentaires. Il en résulte un dispositif plus simple à mettre en œuvre, et ne nécessitant que peu ou pas d'ajustements supplémentaires. Il est ainsi possible d'obtenir un dispositif plus compact que les dispositifs pourvus de systèmes de surchauffe extérieurs connus de l'art antérieur.
- [0147] Afin de maximiser les échanges thermiques, le canal d'échange thermique 400 peut comporter des circonvolutions, notamment une spirale ou un serpent.
- [0148] A titre d'exemple, la figure 9 représente une vue en coupe selon un plan de coupe parallèle aux faces principales de la plaque de serrage inférieure 46. Ici, le canal d'échange thermique 400 est en forme de spirale, ce qui permet d'augmenter le temps d'échange thermique du gaz circulant à l'intérieur avec l'empilement 20.
- [0149] Ce canal d'échange thermique 400 est, bien que non représenté sur cette figure 9, en communication fluidique avec au moins une tige de serrage 55 et notamment les conduits primaires 101a, 101b formés dans l'embase 100 de la tige de serrage 55.
- [0150] La figure 13 représente par ailleurs une vue en coupe de la plaque de serrage inférieure 46 illustrée en figure 12 selon un plan de coupe parallèle aux faces principales de la plaque 46. Ainsi, quatre canaux d'échange thermique 400EA, 400EC, 400SA et 400SC en forme de serpent sont prévus.
- [0151] Chaque quart de plaque 46 peut servir à la circulation d'un gaz prédéterminé. Chaque canal d'échange thermique peut être sous forme de canal sur deux niveaux comme décrit ensuite en référence à la figure 10. Comme il a été indiqué précédemment, quatre type de gaz peuvent circuler au contact de l'empilement 20 et chaque quart de plaque 46 peut donc être consacré à un des quatre types de gaz.
- [0152] Dans tous les exemples décrits, le canal d'échange thermique 400 peut présenter une épaisseur comprise entre 1 m et 4 m. De plus, le canal 400 peut présenter un profil hexagonal, avec notamment un diamètre de l'ordre de 11 m.
- [0153] De manière avantageuse, le canal d'échange thermique 400 peut être à deux niveaux et peut comporter deux sous-canaux d'échange thermique, appelés respectivement premier sous-canal 400a et second sous-canal 400b, comme visibles sur la figure 10 et également les figures 15 à 17.

- [0154] Le premier sous-canal 400a et le second sous-canal 400b sont formés dans deux sections volumiques distinctes appelées, respectivement, première section 410a et seconde section 410b, de la plaque de serrage inférieure 46.
- [0155] La première section 410a et la deuxième section 410b sont avantageusement à l'aplomb l'une de l'autre selon une direction perpendiculaire à la face principale de la plaque de serrage 46. De plus, les deux sections volumiques présentent sensiblement la même forme.
- [0156] Le premier sous-canal 400a et le second sous-canal 400b sont en communication fluïdique par le biais d'un trou de passage 420 reliant les première et seconde sections. En particulier, le premier sous-canal 400a et le second sous-canal 400b sont agencés de sorte qu'un gaz circulant dans le conduit de circulation 350, depuis les gaz entrants GE vers les gaz sortants GS, s'écoule successivement dans le premier sous-canal 400a, dans le trou de passage 420 et dans le second sous-canal 400b.
- [0157] A titre d'exemple, la figure 10 représente une section de la plaque de serrage 46 illustrée à la figure 9 d'une part en coupe brisée à plans sécants AA et d'autre part selon un plan de coupe transversal. La figure 10 représente notamment le premier sous-canal 400a et le second sous-canal 400b dans leur section volumique respective. Le trou de passage 420, repéré sur l'une et l'autre des figures 9 et 10, relie le premier sous-canal 400a et le second sous-canal 400b à proximité du centre du motif en spirale dessiné par lesdits sous-canaux 400a et 400b.
- [0158] Le trou de passage 420 permet de doubler la longueur du canal d'échange thermique 400. L'entrée de gaz GE est disposée sur une face principale de la plaque de serrage 46, tandis que la sortie de gaz GS est disposée sur l'autre face principale de la plaque de serrage 46. Ainsi, un gaz injecté au niveau de l'entrée GE, s'écoule dans l'ordre dans le premier sous-canal 400a, le trou de passage 420 et le second sous-canal 400b. En sortie GS, le gaz peut être acheminé, par le biais d'un tube de distribution anodique ou un tube de distribution cathodique (non représentés sur les figures), dans les compartiments anodiques 51 ou les compartiments cathodiques 50 (voir figure 2).
- [0159] Toujours à titre d'exemple, les figures 15 et 16 représentent, respectivement, selon des plans de coupe parallèles aux faces principales de la plaque de serrage inférieure 46, le premier sous-canal 400a et le second sous-canal 400b. La figure 15 et la figure 16 représentent en particulier le premier sous-canal 400a et le second sous-canal 400b dans leur section volumique respective.
- [0160] Le trou de passage 420, repéré sur les figures 15 à 17, relie le premier sous-canal 400a et le second sous-canal 400b. L'entrée de gaz GE est disposée sur une face principale de la plaque de serrage inférieure 46, tandis que la sortie de gaz GS est disposée sur l'autre face principale de la plaque de serrage inférieure 46. Ainsi, un gaz injecté au niveau de l'entrée GE, s'écoule dans l'ordre dans le premier sous-canal

400a, le trou de passage 420 et le second sous-canal 400b. En sortie GS, le gaz peut être acheminé, par le biais d'un tube de distribution anodique ou un tube de distribution cathodique (non représentés sur les figures), respectivement, dans les compartiments anodiques 51 ou les compartiments cathodiques 50.

- [0161] Avantageusement, le conduit de circulation de gaz 350 peut comporter un premier conduit d'entrée de gaz et un premier conduit de sortie de gaz destinés, respectivement, à alimenter en gaz et à évacuer des gaz d'un type, dit premier type, d'électrode choisi parmi les anodes et les cathodes.
- [0162] Par exemple, comme visible sur la figure 11, le conduit de circulation de gaz 350 comporte un conduit d'entrée cathodique 350EC (premier conduit d'entrée de gaz) et un conduit de sortie cathodique 350SC (premier conduit de sortie de gaz), destinés, respectivement, à alimenter en gaz les cathodes de l'empilement 20 à oxydes solides, et à évacuer des gaz desdites cathodes.
- [0163] Le conduit d'entrée cathodique 350EC et le conduit de sortie cathodique 350SC comprennent chacun un canal d'échange thermique dit, respectivement, canal d'entrée cathodique 400EC et canal de sortie cathodique 400SC, comme visible sur la figure 13. De manière avantageuse, le canal d'entrée cathodique 400EC et le canal de sortie cathodique 400SC sont formés dans la même plaque de serrage 46, et en particulier à l'aplomb l'un de l'autre selon une direction perpendiculaire à la face principale de la plaque de serrage 46, visible sur la figure 11. Selon cette configuration, les gaz sortants permettent aussi de chauffer les gaz entrants.
- [0164] De manière complémentaire, le conduit de circulation de gaz 350 peut également comprendre un second conduit d'entrée de gaz et un second conduit de sortie de gaz destinés, respectivement, à alimenter en gaz et à évacuer des gaz d'un autre type, dit second type, d'électrode, différent du premier type, choisi parmi les anodes et les cathodes.
- [0165] Par exemple, le conduit de circulation de gaz 350 comprend un conduit d'entrée anodique 350EA (second conduit d'entrée de gaz) et un conduit de sortie anodique 350SA (un second conduit de sortie de gaz), destinés, respectivement, à alimenter en gaz les anodes de l'empilement 20 à oxydes solides, et à évacuer des gaz desdites anodes.
- [0166] Le conduit d'entrée anodique 350EA et le conduit de sortie anodique 350SA comprennent chacun un canal d'échange thermique dit, respectivement, canal d'entrée anodique 400EA et canal de sortie anodique 400SA, comme visible sur la figure 13.
- [0167] De manière particulièrement avantageuse, le canal d'entrée anodique 400EA et le canal de sortie anodique 400SA sont formés dans la même plaque de serrage 46, et en particulier à l'aplomb l'un de l'autre selon une direction perpendiculaire à la face principale de la plaque de serrage 46.

- [0168] Selon une autre alternative, le canal d'entrée cathodique 400EC et le canal de sortie anodique 400SA sont formés dans la même plaque de serrage 46, et en particulier à l'aplomb l'un de l'autre selon une direction perpendiculaire à la face principale de la plaque de serrage 46. Toujours selon cette alternative, le canal d'entrée anodique 400EA et le canal de sortie cathodique 400SC sont formés dans la même plaque de serrage 46, et en particulier à l'aplomb l'un de l'autre selon une direction perpendiculaire à la face principale de la plaque de serrage 46.
- [0169] La vue en coupe de la plaque de serrage représentée sur la figure 13 révèle la présence des quatre canaux d'échanges thermiques 400EA, 400SA, 400EC, et 400SC. La figure 13 représente notamment le canal d'entrée anodique 400EA, le canal de sortie anodique 400SA, le canal d'entrée cathodique 400EC et le canal de sortie cathodique 400SC. Chacun de ses quatre canaux peut comprendre un premier sous-canal et un second sous-canal formés, respectivement, dans une première section et une seconde section, et communiquant via un trou de passage.
- [0170] Avantageusement, la plaque de serrage inférieure 46, pourvue d'au moins un canal de circulation de gaz 350, peut être fabriquée par une technique de fabrication additive, et notamment par impression 3D. L'impression 3D comprend en particulier des séquences de dépôt de matière, de fusion de cette dernière par apport de chaleur (par exemple avec un laser, à l'aide d'une résistance chauffante, un faisceau d'électrons, ou encore un chauffage UV), et enfin de solidification de la matière en fusion par refroidissement. La formation de la plaque de serrage 46 par impression 3D est donc exécutée couche par couche. À l'issue de cette phase d'impression, une étape de séchage est généralement exécutée. La plaque de serrage 46 peut alors subir un traitement thermique destiné à améliorer sa dureté ou tenue mécanique.
- [0171] En conséquence, afin d'assurer la surchauffe des gaz, l'invention met donc en œuvre un couplage démontable ou soudé entre des tiges de serrage 55 creuses, à l'intérieur desquels circulent les gaz à surchauffer, et une plaque de serrage 46, avantageusement réalisée par fabrication additive, en communication fluïdique avec les tiges de serrage 55 et dans laquelle figure des moyens de surchauffe des gaz sous la forme d'un canal de circulation de gaz 350. La figure 18 représente ainsi un tel exemple de système de distribution de gaz 40 comprenant des tiges de serrage 55 creuses couplées à la plaque de serrage inférieure 46 pourvue de canaux de circulation 350 du même type que ceux décrits en référence à la figure 13.
- [0172] De façon avantageuse, l'invention peut permettre de déporter la zone de couplage, c'est-à-dire l'endroit où l'on va se raccorder pour l'alimentation et la récupération des gaz. La figure 19 illustre, en perspective et de manière isolée, une tige de serrage 55. Ainsi, en partie froide, en allongeant la portée P, on déporte la zone de couplage ZC, ce qui simplifie le raccordement aux alimentations de gaz. Aussi, l'intérêt de déporter

cette zone loin de la source de chaleur, donc en partie froide, est d'obtenir une liaison étanche par des raccords que l'on trouve dans le commerce tels que des raccords VCR® ou des raccords de serrage mécanique double bague.

[0173] La figure 20 illustre par ailleurs, en perspective, la possibilité d'obtenir un système 500 comprenant une pluralité d'ensembles 80 tels que décrits précédemment montés en série par le biais de raccords rapides tels que ceux décrits dans la demande de brevet français FR 3 061 495 A1. La figure 21 représente, en coupe et partiellement, un détail de conception du système 500 de la figure 20 avec le raccordement à une rampe d'alimentation en gaz 501.

[0174] Avantageusement, un tel système 500 est facilité car les tiges de serrage 55 rapportées par soudure (les soudures sont représentées par la référence 105 sur la figure 21) ou démontables possèdent un référentiel Re identique et la même longueur. De ce fait, l'intervalle entre les écrous mâles 502 (voir la demande de brevet français FR 3 061 495 A1) soudés sur la rampe d'alimentation 501 et l'intervalle des embases de liaison 503 sera identique. Sur la figure 21, la référence 504 désigne les écrous femelles. Il n'y a pas d'écarts dimensionnels pouvant nuire à un appui plan sur plan du joint, à l'intérieur du raccord rapide. De plus, il n'y a pas besoin de pièces en céramique pour séparer et supporter les ensembles 80 entre eux, qui peuvent être remplacés par des isolants. En outre, la barre d'alimentation et de récupération des gaz peut être sortie en partie froide du four, afin d'éviter des raccords rapides haute température. Des raccords usuels tels que double bague ou VCR® peuvent alors être utilisés.

[0175] Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux exemples de réalisation qui viennent d'être décrits. Diverses modifications peuvent y être apportées par l'homme du métier.

Revendications

[Revendication 1]

Ensemble (80), comportant :

- un empilement (20) à oxydes solides de type SOEC/SOFC fonctionnant à haute température, comportant :

- une pluralité de cellules électrochimiques (41) formées chacune d'une cathode, d'une anode et d'un électrolyte intercalé entre la cathode et l'anode, et une pluralité d'interconnecteurs intermédiaires (42) agencés chacun entre deux cellules électrochimiques (41) adjacentes,

- un système de serrage (60) de l'empilement (20) à oxydes solides de type SOEC/SOFC, comportant une plaque de serrage supérieure (45) et une plaque de serrage inférieure (46), entre lesquelles l'empilement (20) à oxydes solides de type SOEC/SOFC est enserré, chaque plaque de serrage (45, 46) comportant au moins deux orifices de serrage (54), le système de serrage (60) comportant en outre :

- au moins deux tiges de serrage (55) destinées à s'étendre chacune au travers d'un orifice de serrage (54) de la plaque de serrage supérieure (45) et au travers d'un orifice de serrage (54) correspondant de la plaque de serrage inférieure (46) pour permettre l'assemblage entre elles des plaques de serrage supérieure (45) et inférieure (46),

- des moyens de serrage (56, 57, 58) au niveau de chaque orifice de serrage (54) des plaques de serrage supérieure (45) et inférieure (46) destinés à coopérer avec lesdites au moins deux tiges de serrage (55) pour permettre l'assemblage entre elles des plaques de serrage supérieure (45) et inférieure (46),

caractérisé en ce qu'il comporte un système de distribution de gaz (40) formé au moins en partie à l'intérieur d'au moins l'une des plaques de serrage supérieure (45) et inférieure (46) et à l'intérieur d'au moins deux tiges de serrage (55) creuses en communication fluidique avec ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure (45) et inférieure (46) pour la circulation d'au moins un gaz surchauffé ou destiné à être surchauffé.

[Revendication 2]

Ensemble selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'embase (100) de chacune desdites au moins deux tiges de serrage (55), correspondant à la portion de tige de serrage (55) située dans ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure (45) et inférieure (46), comporte un ou plusieurs conduits primaires (101a, 101b) de distribution de gaz communiquant avec un ou plusieurs conduits secondaires (102a, 102b) de

- distribution de gaz formé(s) dans ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure (45) et inférieure (46).
- [Revendication 3] Ensemble selon la revendication 2, caractérisé en ce que le ou les conduits secondaires (102a, 102b) communiquent fluidiquement avec l'empilement (20) à oxydes solides de type SOEC/SOFC.
- [Revendication 4] Ensemble selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que l'embase (100) de chacune desdites au moins deux tiges de serrage (55) comporte un premier conduit primaire (101a) s'étendant longitudinalement à l'intérieur de la tige de serrage (55), selon la direction d'étendue de la tige de serrage (55), et un deuxième conduit primaire (101b) s'étendant perpendiculairement au premier conduit primaire (101a), selon la direction d'étendue de ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure (45) et inférieure (46).
- [Revendication 5] Ensemble selon la revendication 4, caractérisé en ce que ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure (45) et inférieure (46) comporte un premier conduit secondaire (102a) s'étendant dans le prolongement du deuxième conduit primaire (101b), selon la direction d'étendue de ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure (45) et inférieure (46), et un deuxième conduit secondaire (102b) s'étendant perpendiculairement au premier conduit secondaire (102a), selon la direction d'étendue de la tige de serrage (55).
- [Revendication 6] Ensemble selon l'une quelconque des revendications 3 à 5, caractérisé en ce que ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure (45) et inférieure (46) comporte un troisième conduit secondaire (102c) et l'embase (100) de chacune desdites au moins deux tiges de serrage (55) comporte un troisième conduit primaire (101c), communiquant fluidiquement entre eux et s'étendant perpendiculairement à la direction d'étendue de la tige de serrage (55) à l'opposé du deuxième conduit primaire (101b) et du premier conduit secondaire (102a) par rapport au premier conduit primaire (101a), le troisième conduit secondaire (102c) débouchant sur une face externe de ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure (45) et inférieure (46).
- [Revendication 7] Ensemble selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'un élément de bouchage (104) formant un élément de détrompage est inséré au moins dans le troisième conduit secondaire (102c).
- [Revendication 8] Ensemble selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que chacune desdites au moins deux tiges de serrage (55) est soudée aux faces supérieure et inférieure de ladite au moins l'une des

- plaques de serrage supérieure (45) et inférieure (46).
- [Revendication 9] Ensemble selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que chacune desdites au moins deux tiges de serrage (55) est assemblée de manière démontable à ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure (45) et inférieure (46), chacune desdites au moins deux tiges de serrage (55) comportant notamment une rainure (106) sur sa surface externe destinée à coopérer par rotation avec un élément de bouchage (104) présent dans ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure (45) et inférieure (46).
- [Revendication 10] Ensemble selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure (45) et inférieure (46) comporte au moins un conduit de circulation de gaz (350) permettant la surchauffe de gaz par le biais de la chaleur produite par l'empilement (20) à oxydes solides de type SOEC/SOFC, ledit au moins un conduit de circulation de gaz (350) comportant au moins un canal d'échange thermique (400) s'étendant dans le volume de ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure (45) et inférieure (46).
- [Revendication 11] Ensemble selon la revendication 10, caractérisé en ce que ledit au moins un canal d'échange thermique (400) comporte deux sous-canaux d'échange thermique (400a, 400b) formés dans deux sections volumiques (410a, 410b) de ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure (45) et inférieure (46) à l'aplomb l'une de l'autre selon une direction perpendiculaire à la face principale de ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure (45) et inférieure (46).
- [Revendication 12] Ensemble selon la revendication 11, caractérisé en ce qu'un trou de passage (420) est formé entre les deux sections volumiques (410a, 410b) rendant communiquant les deux sous-canaux d'échange thermique (400a, 400b).
- [Revendication 13] Ensemble selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte une plaque terminale supérieure (43) et une plaque terminale inférieure (44), entre lesquelles la pluralité de cellules électrochimiques (41) et la pluralité d'interconnecteurs intermédiaires (42) sont enserrées.
- [Revendication 14] Ensemble selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure (45) et inférieure (46) est fabriquée par une technique de fabrication additive, étant notamment réalisée en acier austénitique ré-

fractaire.

[Revendication 15] Ensemble selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite au moins l'une des plaques de serrage supérieure (45) et inférieure (46) présente une épaisseur comprise entre 20 et 30 mm, notamment de l'ordre de 25 mm.

[Fig. 1]

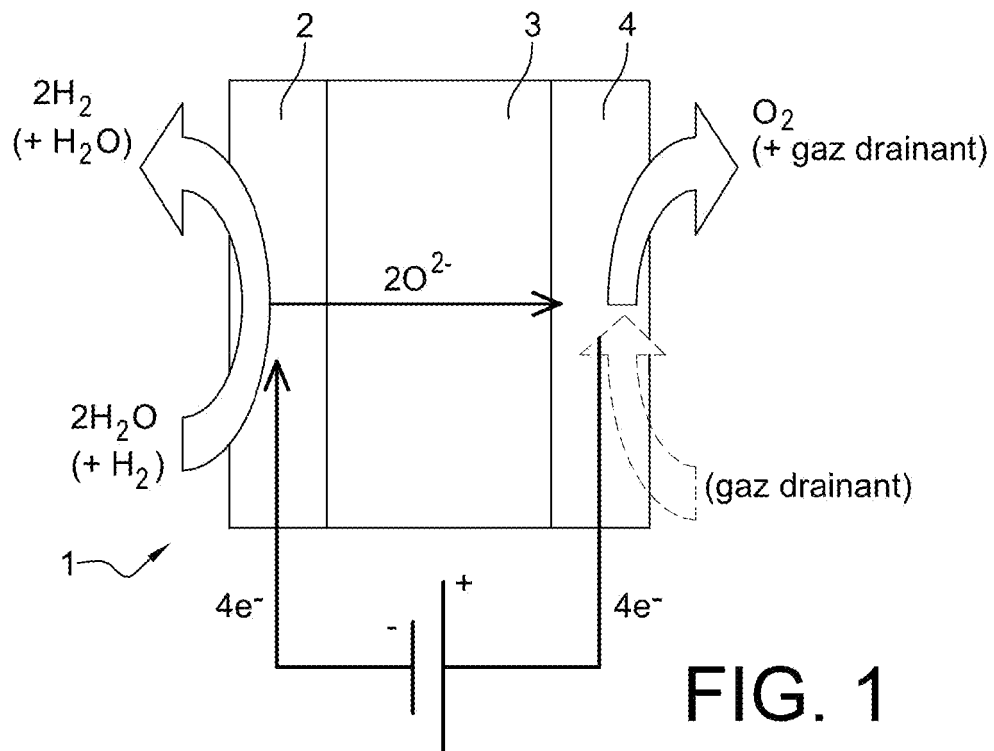


FIG. 1

[Fig. 2]

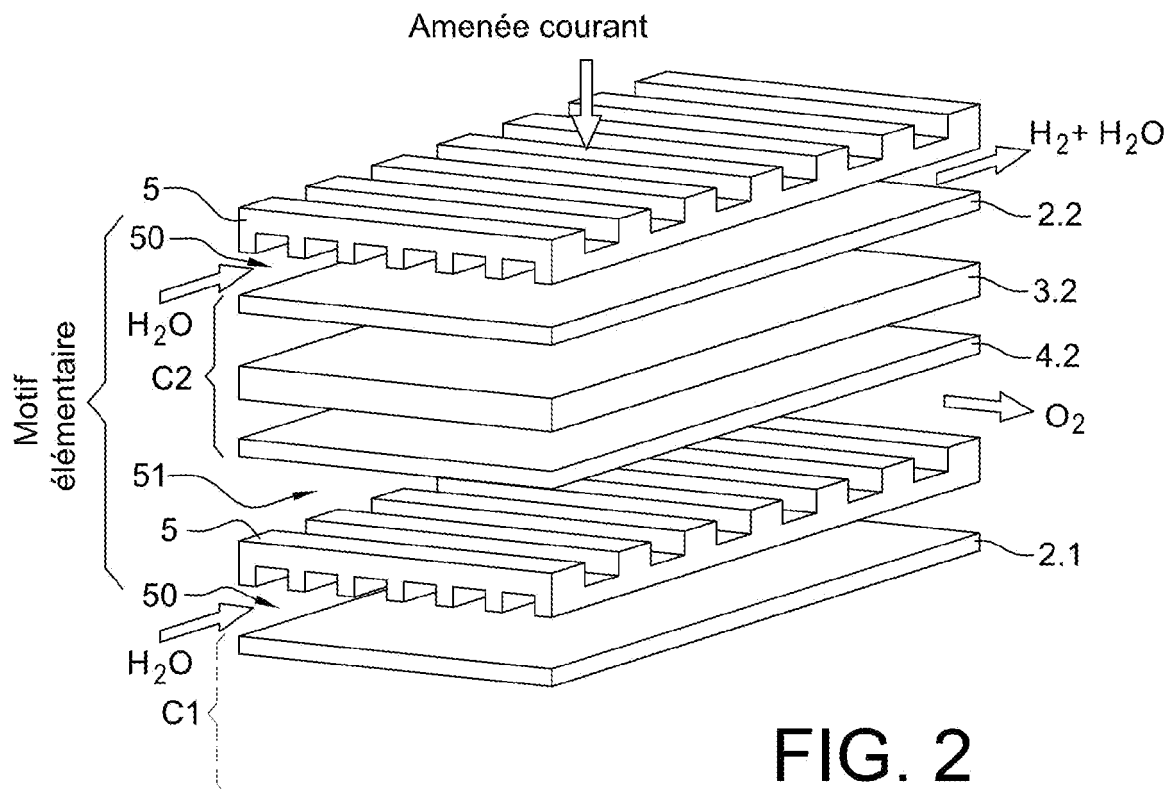
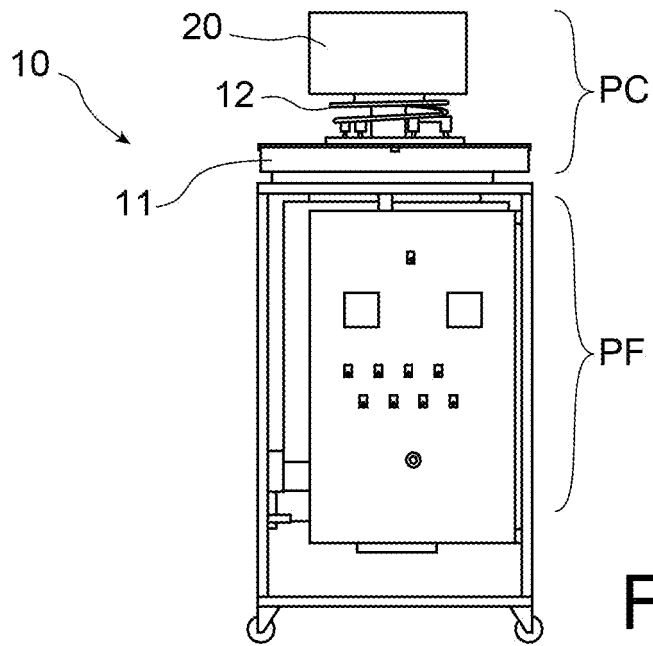
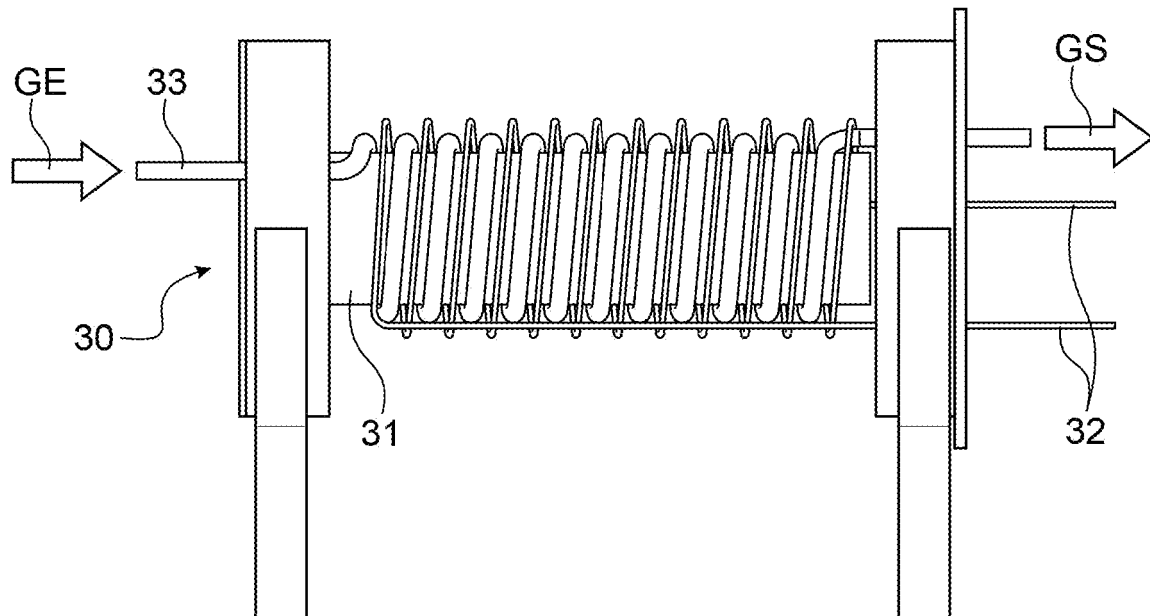


FIG. 2

[Fig. 3]



[Fig. 4]



[Fig. 5]

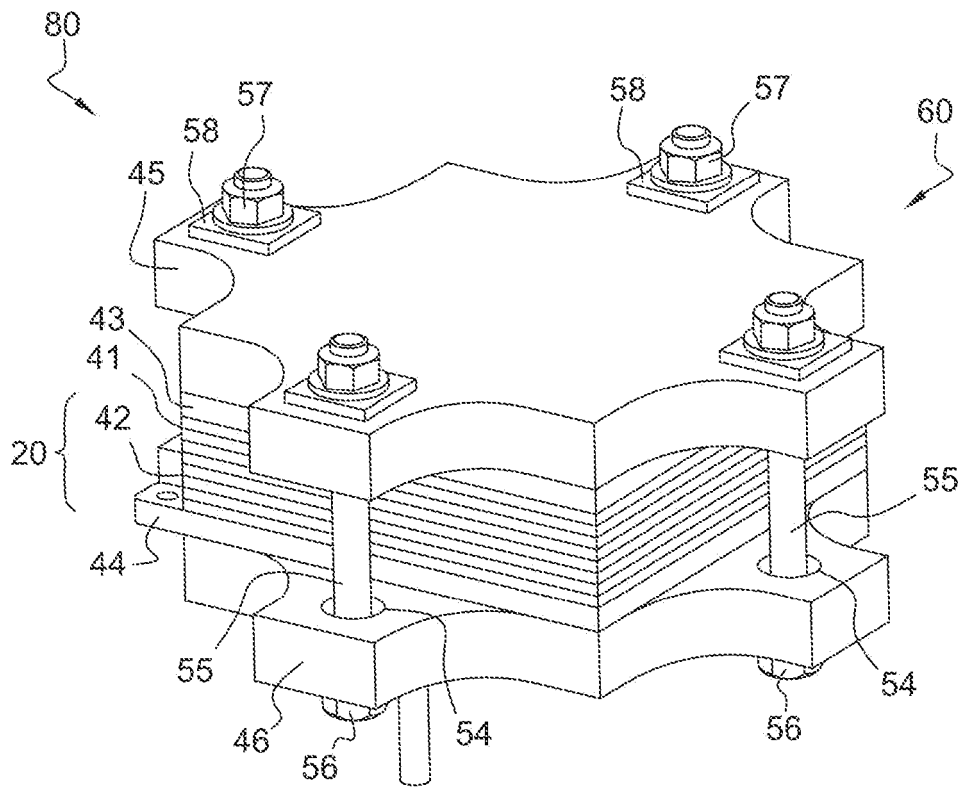


FIG. 5

[Fig. 6]

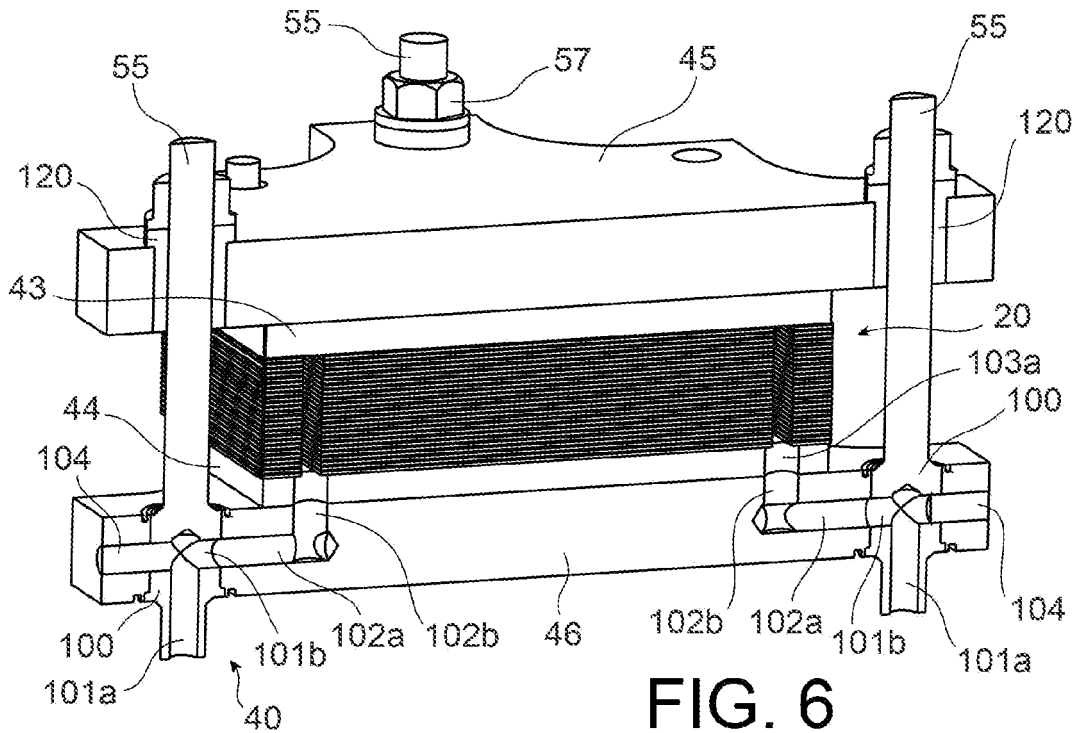


FIG. 6

[Fig. 7]

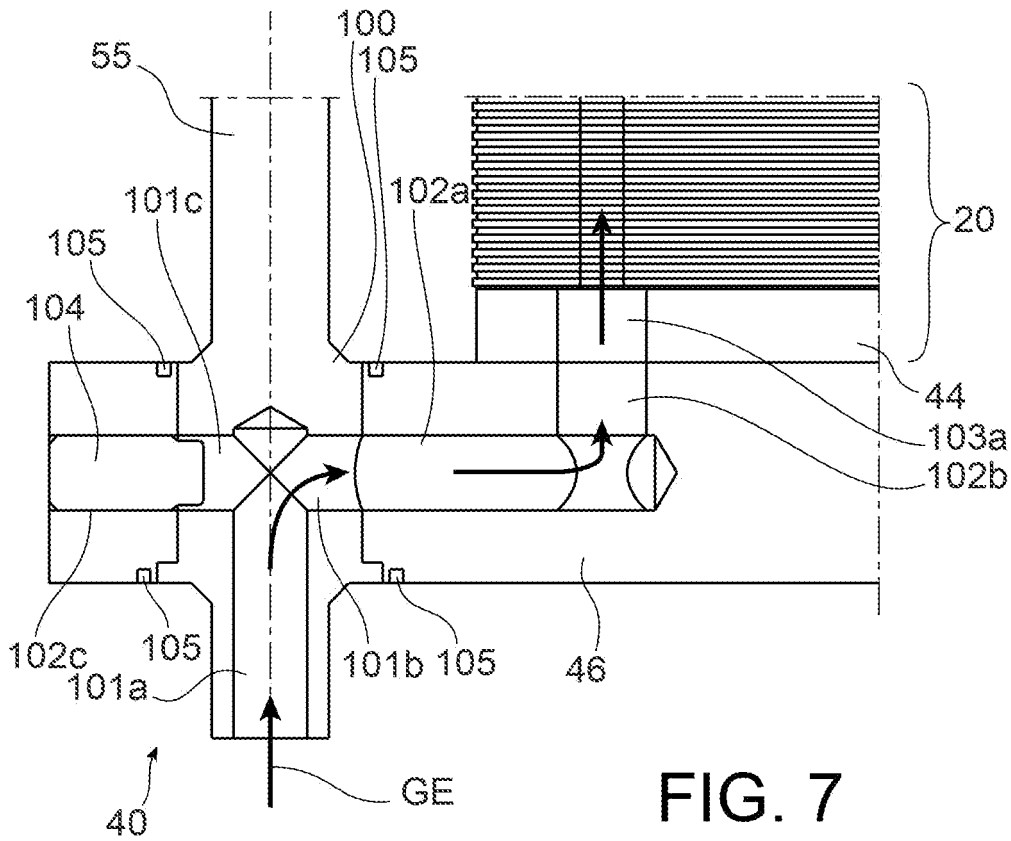


FIG. 7

[Fig. 8]

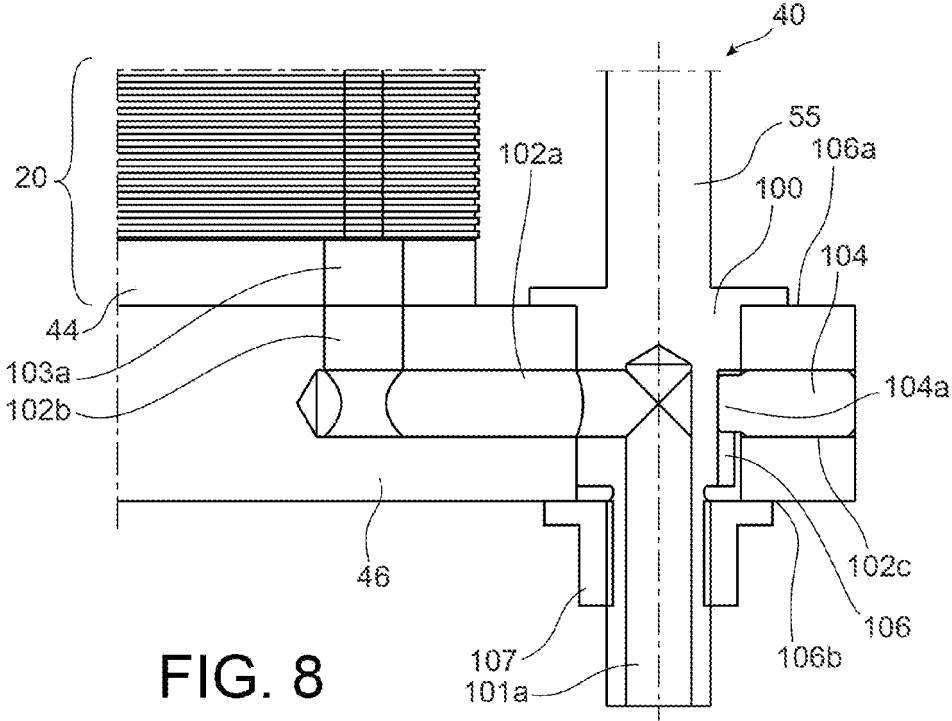


FIG. 8

[Fig. 9]

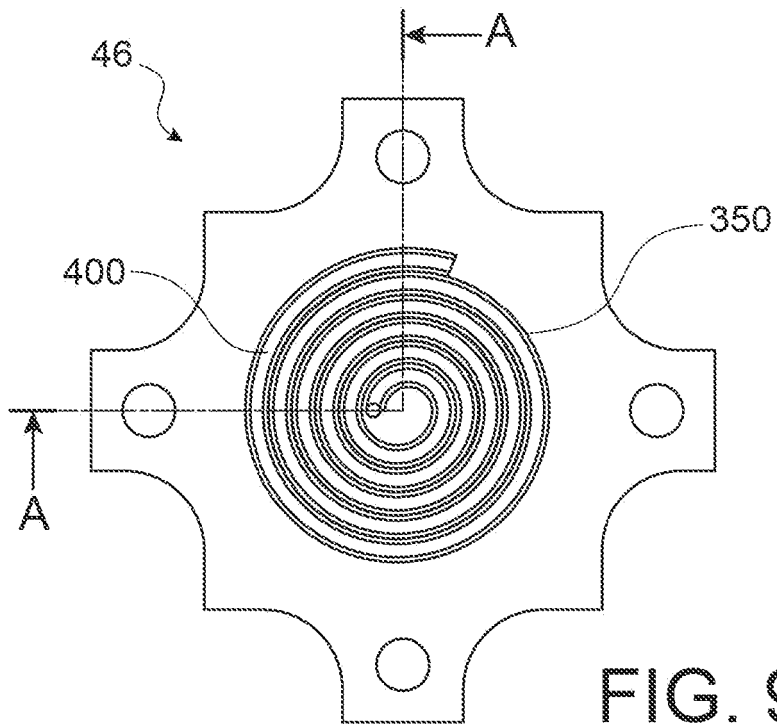


FIG. 9

[Fig. 10]

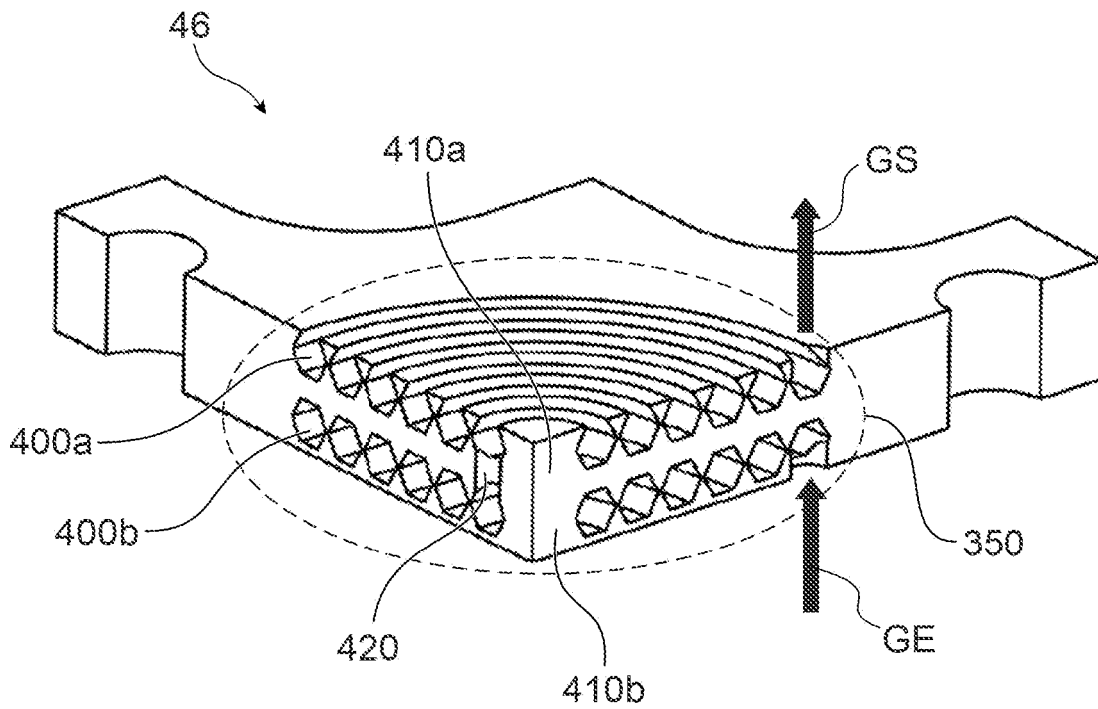


FIG. 10

[Fig. 11]

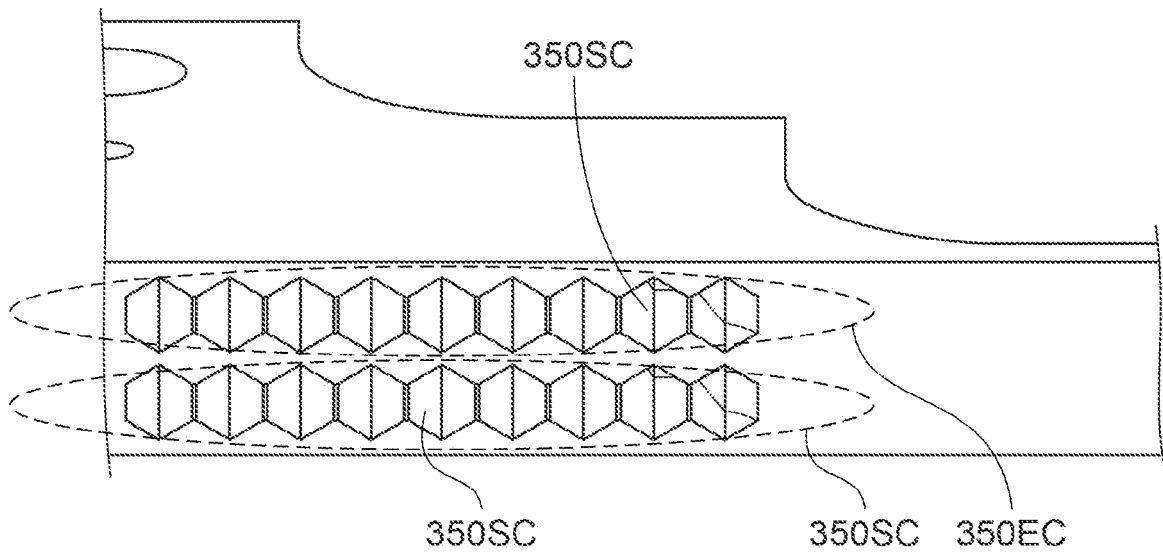


FIG. 11

[Fig. 12]

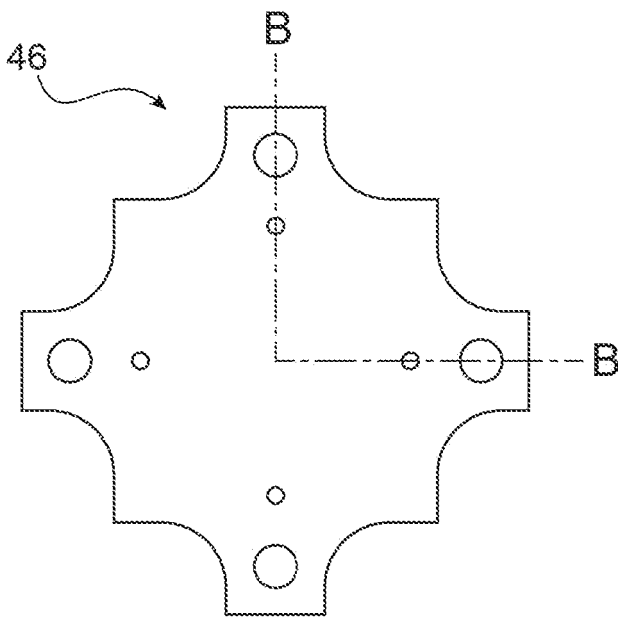


FIG. 12

[Fig. 13]

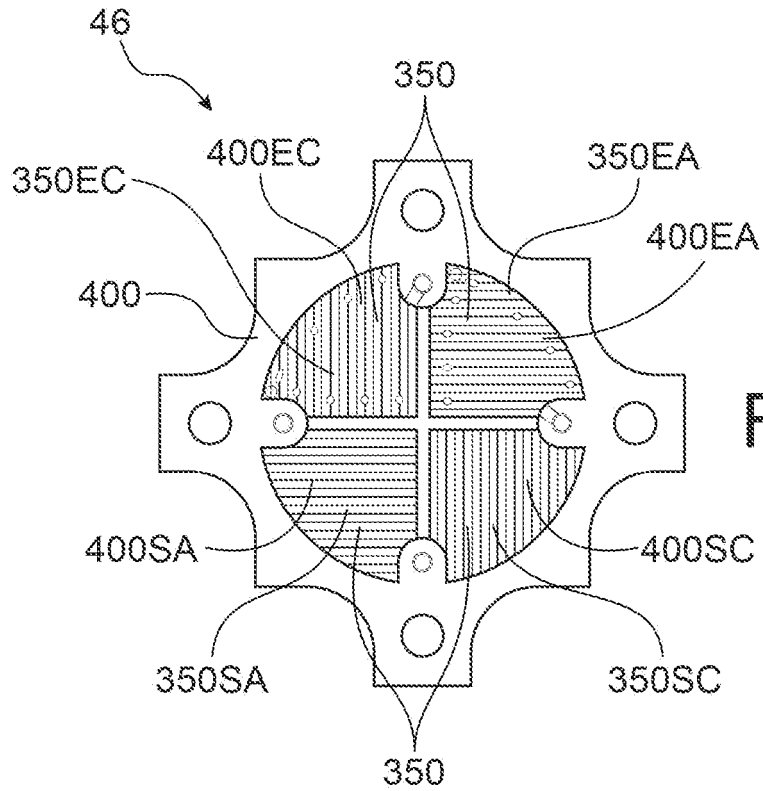


FIG. 13

[Fig. 14]

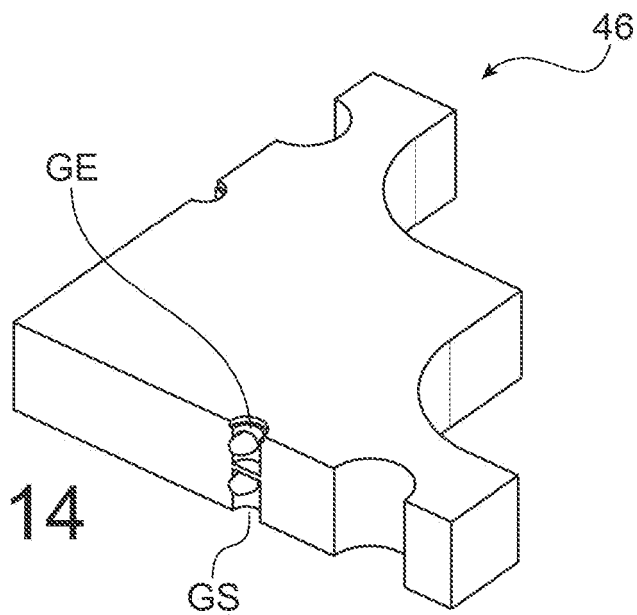


FIG. 14

[Fig. 15]

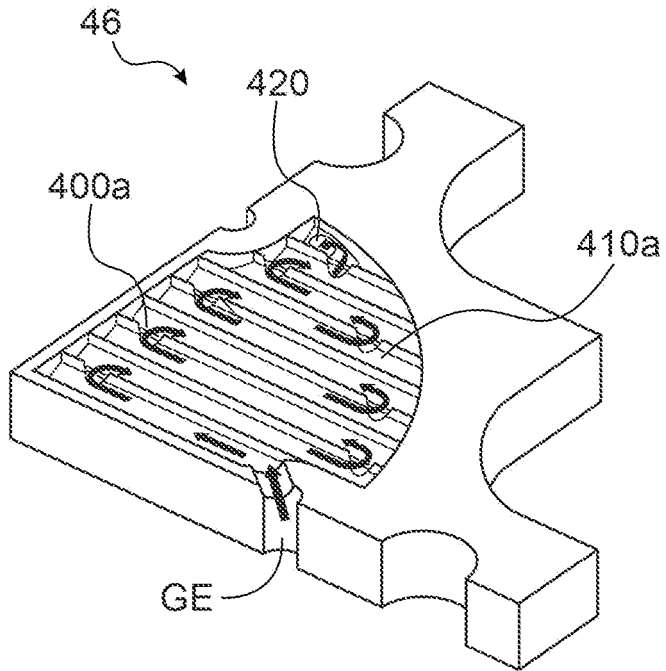


FIG. 15

[Fig. 16]

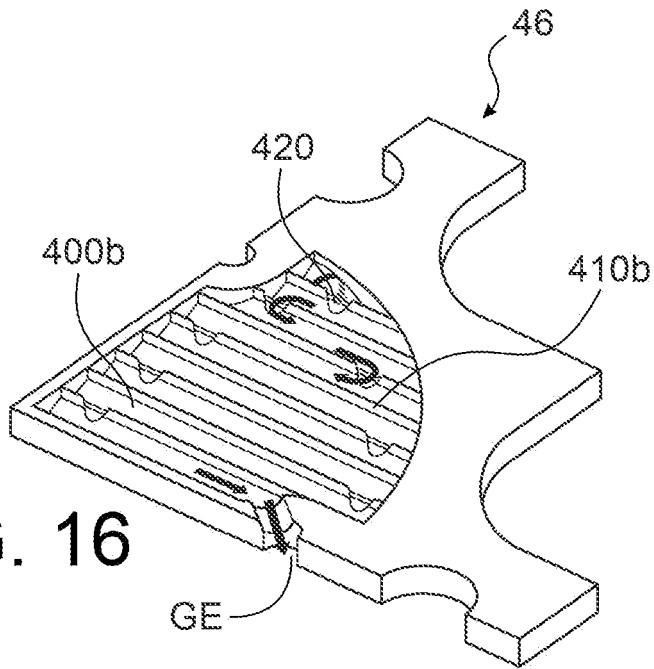


FIG. 16

[Fig. 17]

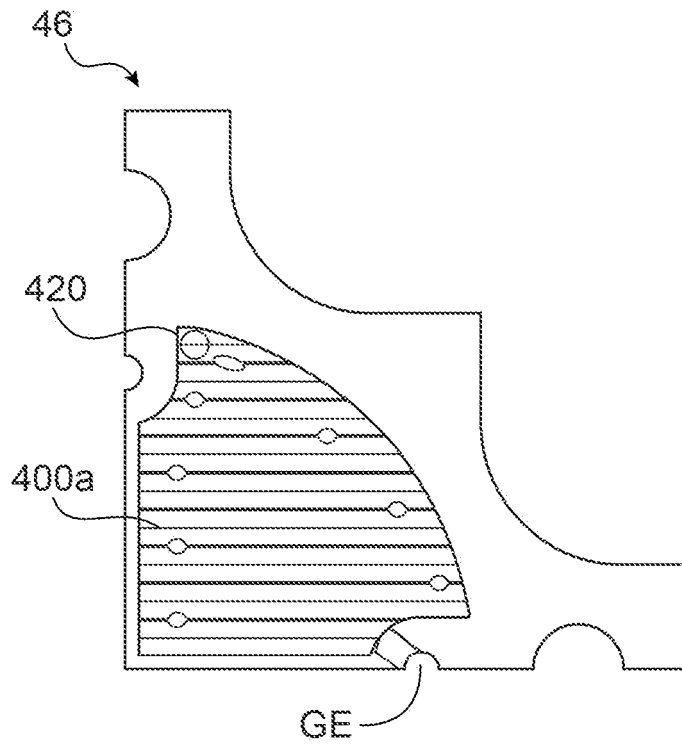


FIG. 17

[Fig. 18]

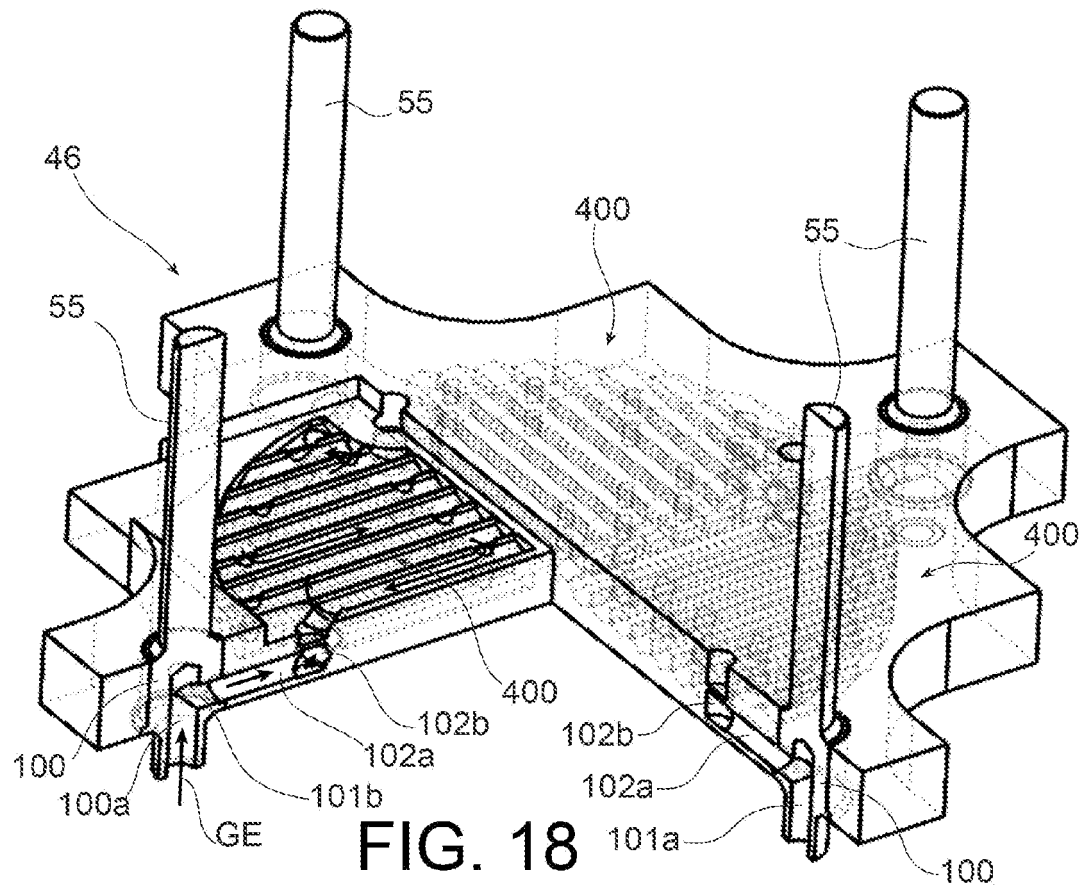


FIG. 18

[Fig. 19]

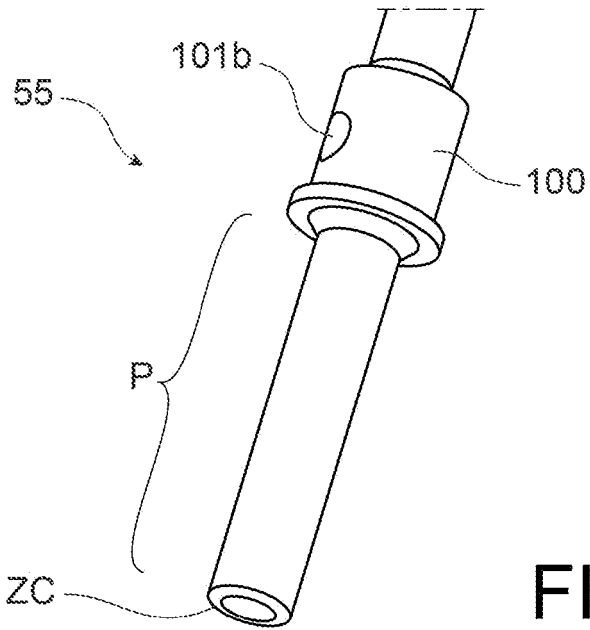


FIG. 19

[Fig. 20]

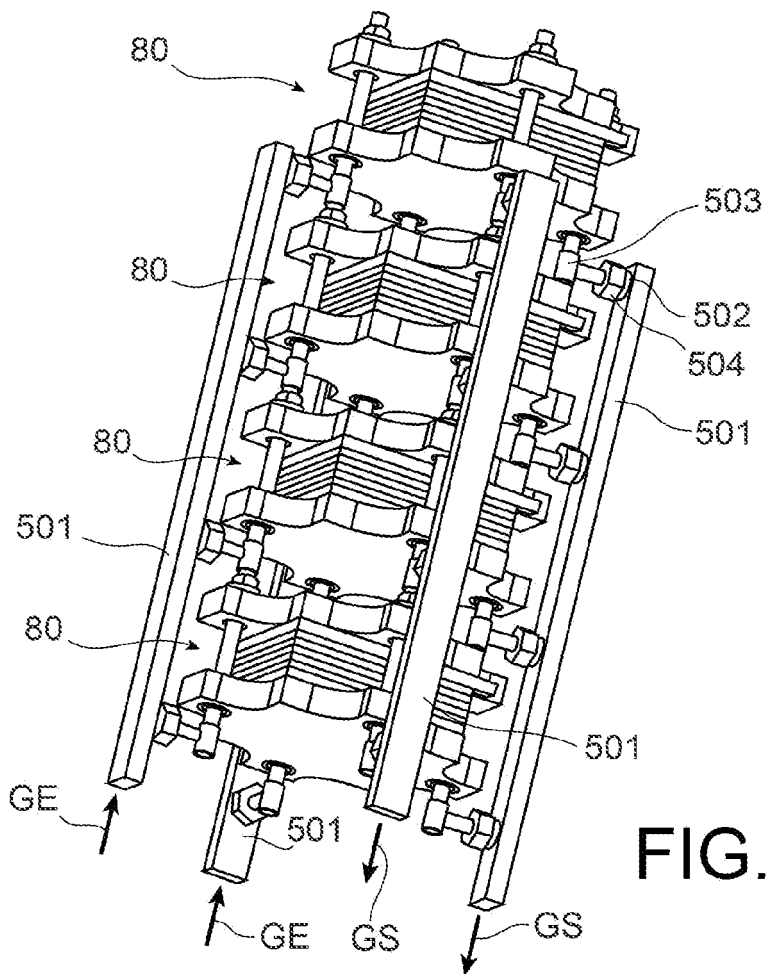
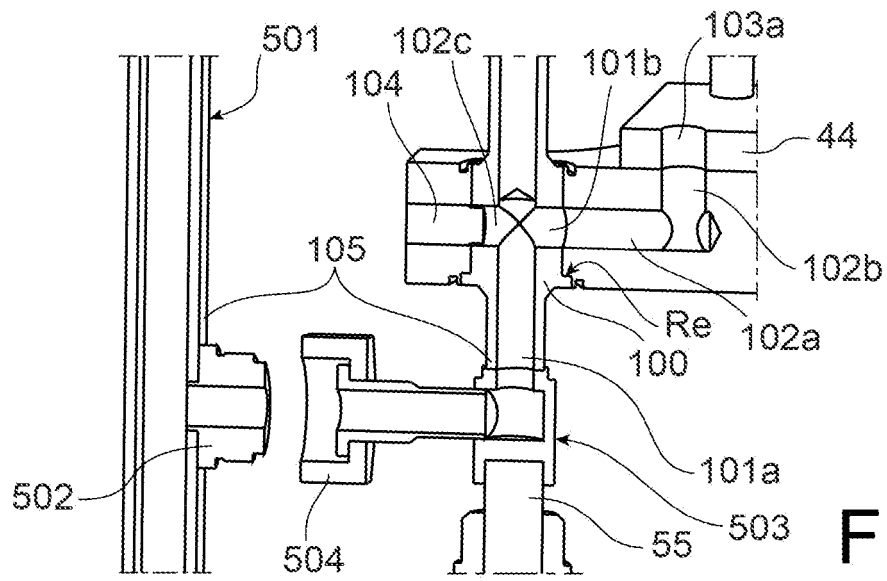


FIG. 20

[Fig. 21]

**FIG. 21**

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

NEANT

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

US 2015/380744 A1 (KOMATSU DAISUKE [JP] ET AL) 31 décembre 2015 (2015-12-31)

US 2016/336605 A1 (TANIMURA RYOJI [JP] ET AL) 17 novembre 2016 (2016-11-17)

EP 3 279 988 A1 (NGK SPARK PLUG CO [JP]) 7 février 2018 (2018-02-07)

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

NEANT