

(19)



(11)

EP 3 367 417 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
29.08.2018 Bulletin 2018/35

(51) Int Cl.:
H01J 27/02 (2006.01)
H01J 49/14 (2006.01)
H01J 27/20 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **18157862.6**

(22) Date de dépôt: **21.02.2018**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA ME
Etats de validation désignés:
MA MD TN

- **VIDELIER, Hadley**
38100 GRENOBLE (FR)
- **PROGENT, Frédéric**
75005 PARIS (FR)
- **DURAFFOURG, Laurent**
38500 VOIRON (FR)
- **VIGNE, Sébastien**
92130 ISSY LES MOULINEAUX (FR)
- **MAHIEU, Romain**
50000 SAINT-LO (FR)

(30) Priorité: **27.02.2017 FR 1751540**

(71) Demandeur: **Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives**
75015 Paris (FR)

(74) Mandataire: **Decobert, Jean-Pascal**
Cabinet Hautier
Office Méditerranéen de Brevets d'Invention
20, rue de la Liberté
06000 Nice (FR)

(72) Inventeurs:
• **ALAVA, Thomas**
38000 GRENOBLE (FR)

(54) DISPOSITIF MEMS DE GÉNÉRATION D'UN FAISCEAU D'IONS

(57) La présente invention concerne un générateur (0) d'un faisceau d'ions, comportant :
- une chambre d'ionisation (10) dotée d'une entrée (1) d'un fluide à ioniser,
- une source (S) de particules ionisantes configurées pour impacter le fluide dans une zone d'impact (9) de la chambre d'ionisation (10) de sorte à générer des ions,
- un extracteur d'ions générés en direction d'une zone de sortie du générateur, caractérisé en ce que l'extracteur comprend au moins deux électrodes (5a,5b,5c) configurées pour générer un gradient de tension dans la zone d'impact, (9) le gradient de tension tendant à diriger les ions générés vers la zone de sortie du générateur.

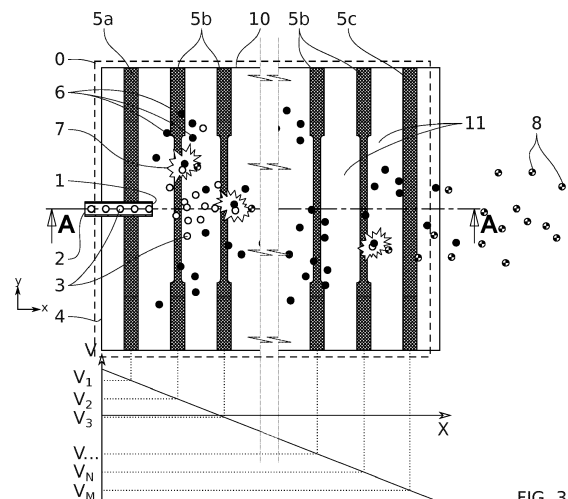


FIG. 3

EP 3 367 417 A1

Description

DOMAINE DE L'INVENTION

[0001] La présente invention concerne en général les dispositifs de génération de faisceaux d'ions. Une application non limitative est la spectrométrie de masse conventionnelle, employant un générateur de faisceau en tant que première partie fonctionnelle, pour réaliser un faisceau d'ions à analyser. D'autres applications sont cependant ciblées, notamment dans le domaine de la spectroscopie de masse à ionisation secondaire.

[0002] Du point de vue de la fabrication, l'invention peut permettre l'emploi des techniques de la microélectronique de sorte à implémenter le générateur de faisceau (et éventuellement d'autres composants) dans un dispositif micro ou nano électromécanique (correspondant au vocable MEMS ou NEMS).

ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE

[0003] Les spectromètres de masse sont des instruments scientifiques puissants autorisant des analyses chimiques et biologiques de sorte à déterminer des compositions. Habituellement, ces appareils sont relativement massifs et typiquement destinés à des utilisations en laboratoire. Des efforts de compacité et de portabilité sont cependant menés à bien sans pour autant donner entière satisfaction.

[0004] La publication brevet US2009/0090862 A1 présente dans ce contexte un spectromètre de masse cherchant à limiter l'encombrement de ce dispositif. La figure 1 de cette antériorité est reprise en figure 1 des planches de dessins. Y est présentée une enceinte dans laquelle un fluide à analyser peut être introduit par un tube capillaire débouchant, à l'intérieur de l'enceinte, dans un générateur d'ions G visible du côté gauche de la figure. Ce dernier forme une chambre à l'intérieur de laquelle des électrons, en l'espèce produits par un filament F fortement chauffé, sont bombardés de sorte à impacter, dans une certaine proportion, les molécules du fluide à analyser. Au gré des impacts, des ions sont donc produits. Les étapes suivantes du procédé de spectrométrie tirent profit de la charge électrique de ces ions. D'abord, en sortie du générateur d'ions G, ces derniers subissent une attraction électromagnétique par un extracteur E comportant une pluralité de lentilles électromagnétiques. Passant au travers des lentilles, les ions sont progressivement orientés et accélérés.

[0005] Un dispositif électromagnétique de discrimination est ensuite configuré pour influencer différemment selon leur masse les ions jusqu'à un détecteur D en fin de chaîne de l'analyse de spectrométrie de masse, du côté droit de la figure 1. Le dispositif électromagnétique de discrimination, conjugué au détecteur D, peut par exemple évaluer des type d'ions suivant leur temps de vol jusqu'au détecteur ou suivant leur zone d'impact sur ce détecteur.

[0006] Néanmoins, un tel dispositif ne permet pas une extraction optimale des ions.

[0007] C'est donc un objet de l'invention que de pallier au moins en partie les inconvénients des techniques actuelles.

RESUME DE L'INVENTION

[0008] Un aspect non limitatif de l'invention est relatif à un générateur d'un faisceau d'ions, comportant :

- une chambre d'ionisation dotée d'une entrée d'un fluide à ioniser,
- une source de particules ionisantes configurées pour impacter le fluide dans une zone d'impact de la chambre d'ionisation de sorte à générer des ions,
- un extracteur d'ions générés en direction d'une zone de sortie du générateur.

[0009] Avantageusement, il comprend au moins deux électrodes configurées pour générer un gradient de tension dans la zone d'impact, le gradient de tension tendant à diriger les ions générés vers la zone de sortie du générateur.

[0010] Selon un mode de réalisation préféré, l'extracteur comprend une première électrode dite électrode d'entrée bordant latéralement la zone d'impact, et au moins une deuxième électrode dite électrode intermédiaire située dans ladite zone d'impact.

[0011] Ainsi, l'extraction des ions est produite suivant un chemin aussi court que possible dès leur génération. La direction souhaitée pour la sortie des ions est appliquée dès la phase d'ionisation, au contraire de l'état de la technique, dans lequel les ions sont d'abord dirigés de manière assez aléatoire selon l'impact de la particule ionisante, puis réorientés par l'extracteur, en dehors de la chambre d'ionisation. Il s'ensuit que le taux de récupération d'ions en sortie du générateur est amélioré.

[0012] Un autre aspect séparable de la présente invention concerne un spectromètre de masse équipé d'un tel générateur. Un procédé de fabrication est aussi visé.

BREVE INTRODUCTION DES FIGURES

[0013] D'autres caractéristiques, buts et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui suit, en regard des dessins annexés, donnés à titre d'exemples, non limitatifs, et sur lesquels :

- la FIGURE 1 montre une vue schématique d'un spectromètre de masse selon l'état de la technique ;
- la FIGURE 2 schématise un exemple d'implantation d'un générateur d'ions dans un dispositif plus complexe;
- la FIGURE 3 montre une vue de dessus d'un mode de réalisation d'un générateur d'ions selon l'invention et un exemple de gradient de tension dans ce générateur;

- la FIGURE 4 est une vue de profil de la figure 3;
- la FIGURE 5 illustre une possibilité de formation des électrodes;
- les FIGURES 6, 7 et 8 présentent d'autres options pour les électrodes;
- les FIGURES 9a à 9m montrent des étapes successives de fabrication d'un dispositif selon l'invention à base de techniques microélectroniques.

[0014] Les dessins sont donnés à titre d'exemples et ne sont pas limitatifs de l'invention. Ils constituent des représentations schématiques de principe destinées à faciliter la compréhension de l'invention et ne sont pas nécessairement à l'échelle des applications pratiques.

DESCRIPTION DETAILLEE

[0015] Avant d'entamer une revue détaillée de modes de réalisation de l'invention, sont énoncées ci-après des caractéristiques optionnelles qui peuvent éventuellement être utilisées suivant toute association ou alternativement :

- l'extracteur comprend au moins une électrode 5a,5b située dans la zone d'impact 9 ;
- l'extracteur comprend une pluralité d'électrodes 5a,5b situées dans la zone d'impact 9 ;
- la source de particules ionisantes est configurée pour bombarder des particules ionisantes dans la chambre d'ionisation 10 entre au moins deux électrodes 5a,5b ;
- toutes les électrodes 5a,5b de l'extracteur sont situées dans la zone d'impact 9 ;
- la source de particules ionisantes est configurée pour générer un flux de particules ionisantes de direction transverse, et de préférence perpendiculaire, à une direction d'extraction des ions générés ;
- l'extracteur comprend une électrode d'entrée 5a pleine comprenant au moins un passage formant l'entrée de la chambre d'ionisation 10 ;
- au moins un passage de l'électrode d'entrée 5a est traversé par un tube 2 d'injection du fluide dans la chambre d'ionisation 10 ;
- l'extracteur comprend une électrode de sortie 5c comprenant un passage 55 formant la zone de sortie ;
- la dimension de l'électrode de sortie 5c suivant une direction d'extraction des ions générés est supérieure à celle d'au moins une autre électrode de la pluralité d'électrodes 5a,5b,5c ;
- au moins une électrode 5a,5b,5c comprend une première portion 52, une deuxième portion 53 et deux piliers 51 joignant la première portion 52 et la deuxième portion 53 ;
- au moins un des deux piliers 51 est électriquement conducteur ;
- au moins l'une parmi la première portion 52 et la deuxième portion 53 est au moins partiellement

conductrice ;

- au moins l'une parmi la première portion 52 et la deuxième portion 53 relie les deux piliers et avantageusement ladite portion est conductrice entre les deux piliers 51 ;
- un premier substrat 31 et un deuxième substrat 21 sont assemblés par une de leurs faces respectives ;
- la première portion 52 est portée par le premier substrat 31 et la deuxième portion 53 est portée par le deuxième substrat 21 ;
- au moins l'un parmi le premier substrat 31 et le deuxième substrat 21 est à base d'un matériau semi-conducteur.

15 Eventuellement, les options suivantes sont aussi possibles :

- l'une au moins parmi la première portion et la deuxième portion consiste en un revêtement d'une face distale d'au moins un des deux piliers.
- au moins l'une parmi la première portion 52 et la deuxième portion 53 s'étend entre les deux piliers 51 ;
- au moins un des deux piliers 51 présente une section circulaire ou carrée ou rectangulaire.
- au moins un des deux piliers 51 est formé d'un élément de matière formant aussi au moins partiellement l'une parmi la première portion 52 et la deuxième portion 53.
- la au moins l'une parmi la première portion 52 et la deuxième portion 53 qui s'étend entre les deux piliers 51 comprend, pour chaque pilier, une partie de raccordement au pilier et, entre les deux parties de raccordement, une partie intermédiaire, la partie intermédiaire étant de section inférieure à celle des parties de raccordement.

[0016] Il est précisé que, dans le cadre de la présente invention, le terme « sur » ou « au-dessus » ne signifie pas obligatoirement « au contact de ». Ainsi, par exemple, le dépôt d'une couche sur une autre couche, ne signifie pas obligatoirement que les deux couches sont directement au contact l'une de l'autre mais cela signifie que l'une des couches recouvre au moins partiellement l'autre en étant soit directement à son contact, soit en étant séparée d'elle par un film, encore une autre couche ou un autre élément. Une couche peut par ailleurs être composée de plusieurs sous-couches d'un même matériau ou de matériaux différents.

[0017] On entend par position intermédiaire une position strictement comprise entre une première position et une deuxième position.

[0018] En particulier dans ce qui suit, les première et deuxième positions correspondent respectivement à une première extrémité et à une deuxième extrémité de l'extracteur, de préférence dans le plan XY et selon la direction X du repère orthonormé attaché aux figures.

[0019] Il est précisé que dans le cadre de la présente

invention, l'épaisseur d'une couche ou d'un substrat se mesure selon une direction perpendiculaire à la surface selon laquelle cette couche ou ce substrat présente son extension maximale. L'épaisseur est prise en particulier selon la direction Z du repère orthonormé attaché aux figures.

[0020] Certaines parties du dispositif de l'invention peuvent avoir une fonction électrique. Certaines sont employées pour des propriétés de conduction électrique et on entend par électrode ou équivalent, des éléments formés d'au moins un matériau ayant une conductivité suffisante, dans l'application, pour réaliser la fonction souhaitée.

[0021] Le générateur d'ions 0 peut être implémenté dans un dispositif plus général, notamment un spectromètre de masse. C'est ce qu'illustre très schématiquement la figure 2 avec une enceinte définissant le volume du spectromètre de masse 60, ce dernier incorporant un générateur 0. Dans cette illustration, le générateur 0 est en interaction, en amont, avec une partie de génération d'un échantillon fluide contenant des molécules ou atomes à analyser et, en aval, avec un dispositif d'analyse, comprenant par exemple des moyens d'application d'un champ électromagnétique destiné à accélérer et/ou dévier des ions en direction d'un détecteur. On peut mettre en oeuvre des détections par discrimination du temps de vol ou du lieu d'impact sur la partie sensible du détecteur. Grâce à l'invention, les opérations d'ionisation et d'extraction des ions sont produites de manière optimisée.

[0022] Un exemple de générateur d'ions 0 permettant d'obtenir le résultat de l'invention est illustré en vue de dessus (correspondant à un plan XY dans le repère indiqué) à la figure 3. La direction X correspond à la direction d'extraction des ions alors que la direction Y correspond à la largeur du générateur. La figure 3 montre une entrée 1 de fluide (typiquement à l'état gazeux), par exemple au travers d'un tube capillaire 2 de sorte à amener des molécules et/ou des atomes 3 du fluide à analyser à l'intérieur du générateur. Les illustrations représentent un seul tube capillaire 2 mais leur nombre n'est pas limité et plusieurs tubes, notamment parallèles, peuvent être implémentés pour admettre soit une plus grande quantité de fluide, soit une même quantité de fluide avec un débit moindre, dans la chambre d'ionisation 10 définie au niveau du générateur d'ions.

[0023] De manière conventionnelle, l'ionisation consiste à charger électriquement des molécules et/ou atomes présents dans le fluide à analyser, la charge électrique permettant alors d'influencer les ions générés grâce à des champs électriques pour opérer par exemple une accélération et/ou des opérations de détection. L'étape d'ionisation est représentée schématiquement à la figure 3 par des impacts 7 au niveau desquels une molécule ou atome 3 rencontre une particule électriquement chargée 6, par exemple un électron. À cet effet, le générateur comporte une source S de particules ionisantes configurée pour bombarder une zone d'impact 9 du générateur, la zone d'impact 9 correspondant à une por-

tion de l'espace intérieur au générateur au niveau de laquelle les molécules et/ou atomes introduits sont susceptibles d'interférer avec les particules bombardées par la source S.

[0024] La figure 4 montre en traits pointillés un exemple d'extrémité d'un faisceau de particules ionisantes suivant une direction correspondant à la coupe A-A de la figure 3 et au plan XZ du repère précité. Un tel faisceau peut être produit par une source S sous forme d'un canon à électrons, notamment du type filament chauffé formant une première électrode de la source S et générant des électrons libres, ces derniers étant ensuite dirigés, de préférence avec une forte énergie cinétique, vers une deuxième électrode formant l'anode du dispositif électromagnétique de la source. Bien que cela ne soit pas limitatif, ladite deuxième électrode peut être formée par tout ou partie d'une portion de base 4 du générateur. Par exemple, le générateur peut être au moins en partie formé à partir d'un premier substrat dont la face supérieure forme la base 4, cette dernière pouvant être au moins partiellement électriquement conductrice et placé un potentiel adéquat et configuré pour former l'attraction des électrons libres, de sorte à produire le bombardement de ces électrons dans la zone d'impact 9 interférant avec le chemin de circulation de l'échantillon fluide à analyser. Une partie au moins des électrodes qui seront décrites ultérieurement peut aussi servir à constituer l'anode de la source de particules.

[0025] D'une manière générale, il est préférable que la direction moyenne des particules chargées lors du bombardement soit transversale, et de préférence perpendiculaire, à une direction moyenne de cheminement des molécules est ou des atomes dans le générateur, en particulier suivant la direction d'extraction ici représentée par l'axe X. De préférence, la direction moyenne de bombardement est aussi perpendiculaire à la base 4 du générateur (typiquement une face d'un substrat participant au générateur), alors que l'extraction des ions 8 s'opère dans le plan de la base 4.

[0026] Les particules ionisantes 6 peuvent aussi être des photons ou encore des ions.

[0027] Grâce à ce principe d'ionisation par impact, des ions 8 sont générés. On notera que ces étapes sont avantageusement produites dans une enceinte dans laquelle une dépression est appliquée de sorte à favoriser l'évolution des ions 8, et aussi de l'échantillon fluide, vers une direction en aval du générateur.

[0028] De manière caractéristique, au sein même de la zone d'impact 9 au niveau de laquelle se produit l'ionisation, on applique en outre un gradient de tension configurée pour influencer immédiatement les ions générés de sorte à ce qu'il se dirige vers une zone de sortie du générateur. Dans le cas de la figure 3, la zone de sortie correspond à l'extrémité droite de l'illustration. Typiquement, toujours dans cet exemple, le gradient de tension en question va tendre à diriger les ions 8 suivant la direction X.

[0029] Pour y parvenir, on utilise une pluralité d'élec-

trodes 5a,b,c configurée pour générer le gradient de tension, avantageusement linéaire. De préférence, le gradient de tension est strictement orienté suivant l'axe X. Le générateur peut comprendre un circuit programmable à plusieurs sorties de commande apte chacune à fixer le potentiel d'une électrode.

[0030] Alors qu'on aurait pu penser que la présence d'électrodes était incompatible avec la phase d'ionisation, les électrodes étant susceptibles de constituer des obstacles au bombardement des particules chargées, la présente invention offre une solution dans cette voie inattendue, y compris, dans un mode de réalisation préférée, en plaçant des électrodes en tout ou partie dans la zone d'impact 9.

[0031] C'est le cas dans l'exemple donné aux figures 3 et 4 pour lesquelles la pluralité d'électrodes comprend d'abord une électrode d'entrée 5a. Cette dernière est au moins en partie électriquement conductrice et configurée pour recevoir l'application d'un potentiel électrique prédéterminé V1. De préférence, cette électrode est en outre pleine hormis dans la ou les zones par lesquelles s'opère l'introduction de l'échantillon fluide. Typiquement, l'électrode d'entrée 5a peut-être sous la forme d'un barreau plein simplement traversé par un ou plusieurs tubes capillaires 2. Avantageusement, l'électrode d'entrée 5a borde le générateur par l'un de ses côtés en définissant une bordure latérale de la zone d'impact 9. Cette électrode d'entrée 5a constitue de préférence une première extrémité de l'extracteur selon X.

[0032] La pluralité d'électrodes comprend en outre avantageusement au moins une autre électrode qui peut notamment être une électrode intermédiaire 5b.

[0033] Avantageusement, l'espace entre les électrodes 5a, 5b et 5c est constant.

[0034] Dans le cas représenté, une électrode intermédiaire 5b suit l'électrode d'entrée 5a suivant la direction X et peut lui être parallèle. Suivant la configuration illustrée, les électrodes 5b présentent un passage 55, visible plus précisément en figure 5, permettant l'extraction des ions 8 à leur niveau.

[0035] La pluralité d'électrodes comprend également de préférence une électrode de sortie 5c. Le passage 55 de cette dernière correspond à la zone de sortie des ions 8.

[0036] Cette électrode de sortie 5c constitue de préférence une deuxième extrémité de l'extracteur selon X. De préférence, la surface de l'électrode 5c est plus importante que celle des électrodes intermédiaires 5b.

[0037] Les électrodes intermédiaires 5b sont avantageusement situées entre les première et deuxième extrémités de l'extracteur. Elles sont de préférence réparties dans une portion d'espace comprise entre l'électrode d'entrée 5a et l'électrode de sortie 5c. Cette portion d'espace est de préférence strictement comprise selon X entre les électrodes d'entrée 5a et de sortie 5c.

[0038] La répartition des électrodes intermédiaires 5b peut être périodique. Dans ce cas, le potentiel électrostatique affecté à chaque électrode peut être accordé de

sorte à accélérer ou décélérer les ions selon X.

[0039] La répartition des électrodes intermédiaires 5b peut être telle que le pas entre chaque électrode 5b soit variable selon X. En particulier, ce pas peut diminuer régulièrement ou augmenter régulièrement selon X. Dans ce cas, le potentiel électrostatique affecté à chaque électrode peut être constant de sorte à accélérer ou décélérer les ions selon X, en fonction de la répartition choisie.

[0040] La figure 3, dans sa partie inférieure, présente par ailleurs un diagramme d'évolution des potentiels (de V1 à Vm) des électrodes 5a,b,c le long de l'axe X. Ce diagramme révèle le gradient de tension produit par l'application de potentiels différents au niveau des électrodes, avec, de préférence, une décroissance, avantageusement régulière, du potentiel en direction de la sortie du générateur.

[0041] Entre les électrodes, lorsque ces dernières présentent un passage 55 au contour fermé, des espaces 11 sont préservés de sorte à permettre le bombardement des particules chargées. Avantageusement, au moins 70% de la zone d'impact reste exposée au faisceau de particules 6. Suivant une possibilité, la chambre a une surface comprise entre 10 et 50 mm² et par exemple de 23mm², et la surface des grilles peut faire entre 2 et 12 mm² et par exemple fait 5.6mm². Avec les valeurs de 23 mm² et de 5.6 mm² exposées ci-dessus, on obtient une transparence de 75%. On verra que dans d'autres modes de réalisation, les électrodes ont un contour ouvert, l'ouverture de ce contour étant avantageusement configurée pour autoriser l'admission des particules chargées 6 dans la zone d'impact 9.

[0042] Les figures 5 à 8 donnent des exemples de réalisation non limitatifs de la forme des électrodes 5a,b,c.

[0043] Ainsi, la figure 5 est une vue en perspective montrant l'enchaînement des électrodes suivant la direction X. L'électrode d'entrée 5a peut être formée d'un barreau intégralement conducteur ou encore peut présenter une portion seulement de sa surface revêtue d'une ou plusieurs couches conductrices.

[0044] Les électrodes intermédiaires 5b ainsi que l'électrode de sortie 5c sont dans cet exemple pourvues d'une première portion 52, au niveau de la surface de base 4 du générateur, et d'une deuxième portion 53 placée en surélévation relativement à la première portion 52 de sorte à ménager le passage 55. La première portion 52 peut notamment être formée à partir d'une couche conductrice rapportée sur le substrat portant la surface de base 4. La deuxième portion 53 peut être une poutre d'un matériau conducteur ou encore un revêtement électriquement conducteur à la surface d'une telle poutre. Toujours en référence à la figure 5, les première et deuxième portions 52, 53 peuvent être jointes à leurs extrémités par des piliers 51. Suivant une première possibilité, les piliers ne sont pas électriquement conducteurs et assurent uniquement une fonction mécanique de jonction. Dans ce cas, il faut prévoir un raccordement électrique entre la première portion 52 et la deuxième

portion 53 pour la mise au potentiel prédéterminé. Suivant une autre possibilité, les piliers 51 sont électriquement conducteurs ce qui signifie qu'ils sont configurés pour réaliser une continuité électrique entre les portions 52, 53. Ils forment la bordure latérale du passage 55 de l'électrode considérée.

[0045] D'une manière générale, chaque électrode peut être reliée à un circuit de mise à un potentiel prédéterminé (et différent pour chaque électrode) par l'intermédiaire d'un raccordement électrique 54 qui peut comprendre une piste électriquement conductrice à la surface de la base 4.

[0046] Comme indiqué précédemment, la dimension de l'électrode de sortie 5c de l'axe X peut être plus importante que la dimension correspondante pour les électrodes 5b. Par exemple, cette dimension peut être de 1,5 à 3 fois supérieure. Cela permet de disposer d'une plus large surface d'application d'un potentiel de sorte à favoriser l'évolution des ions 8 vers la zone de sortie pour les extraire du générateur.

[0047] Par contre, dans le cas d'électrodes aux contours fermés particulièrement, il peut être intéressant que les électrodes intermédiaires 5b soient moins larges suivant la direction x. La figure 6 présente une possibilité s'intégrant dans ce contexte avec une deuxième portion 53, des électrodes intermédiaires 5b présentant une partie intermédiaire de section moindre que les parties d'extrémité 56. De cette façon, le bombardement des particules ionisantes 6 n'est gêné que sur une faible surface d'électrodes alors que les parties d'extrémité 56 présentent une résistance mécanique supérieure pour ces dernières électrodes.

[0048] Dans le mode de réalisation de la figure 7, les électrodes n'ont pas un contour fermé. Dans cet exemple, elles ont un contour en U. La première portion 52 peut dans ce cas être similaire au cas précédent. Par contre, la deuxième portion 53 de l'électrode est alors portée par un pilier 51 sans qu'il y ait de jonction entre les deux piliers 51. Par exemple, une première partie de la portion 53 est un revêtement conducteur à l'extrémité supérieure d'un pilier 51, la configuration étant similaire pour l'autre pilier 51. Ou encore, le pilier 51 est en matériau électriquement conducteur et forme en lui-même une partie de la deuxième portion 53 de l'électrode. Dans le cas de la figure 7, les piliers 51 ont une forme cylindrique.

[0049] Une disposition assez similaire est schématisée en figure 8 mais avec une forme différente de piliers 11, en l'espèce de section carrée (mais la section peut également être rectangulaire ou polygonale).

[0050] Le nombre d'électrodes n'est pas limité ; on peut par exemple former entre deux et sept électrodes.

[0051] Dans le cas où toutes, ou certaines, des électrodes servent de contre électrodes à une électrode de source (un filament par exemple), il est souhaitable que leur potentiel soit adapté (suivant que les particules ionisantes ont une charge positive ou négative). S'il s'agit d'électrons, leur potentiel sera supérieur à celui de l'élec-

trode de source.

[0052] Les indications données ci-dessus pour la forme des électrodes 5a, 5b, 5c ne sont bien évidemment pas limitatives. En outre, elles peuvent ne concerner qu'une partie seulement des électrodes, voire une seule. De même, il est possible de combiner dans un même générateur plusieurs formes et conceptions d'électrodes. Par exemple, il est possible de former des électrodes intermédiaires 5b avec un contour ouvert, notamment comme aux figures 7 et 8, tout en formant une électrode de sortie 5c avec un contour fermé comme en figure 5.

[0053] On notera par ailleurs que la présente invention n'exclut pas que certaines électrodes ne soient pas intégrées, au moins en partie, dans la zone d'impact. Notamment, l'extraction des ions peut se poursuivre avec des électrodes situées plus en aval de cette dernière zone.

[0054] Il est par ailleurs avantageux que la totalité du faisceau de particules chargées 6 impacte une zone du générateur dans laquelle les constituants de l'échantillon à ioniser sont introduits. Il est souhaitable que la zone d'impact 9 ne soit pas plus grande que la zone définie par les passages des électrodes et elle peut être centrée sur la portion de plan définie par ces passages 55, au moins suivant l'une des dimensions X et Y.

[0055] On donne ci-après, en référence aux figures 9a à 9m, un exemple de fabrication d'un générateur selon l'invention en utilisant des techniques issues de la micro-électronique, notamment pour une application à des systèmes micro-électro-mécaniques, connus sous l'acronyme MEMS, ce qui inclut ici les dispositifs à l'échelle nanométrique appelés NEMS.

[0056] Dans le procédé de fabrication ici proposé par l'invention pour un mode de réalisation, la figure 9a a pour base un substrat, ici appelé deuxième substrat 21 car il est ensuite rapporté sur un autre. Il peut s'agir d'une plaque de silicium ou d'un autre matériau semi-conducteur. Sur une première face du substrat 21, une couche de préparation 22 est par exemple déposée. Cette couche est avantageusement une couche d'oxyde. Elle sert de protection durant au moins certaines étapes du procédé qui suit.

[0057] En figure 9b, des marques de repérage 23 sont formées sur la face opposée à la couche 22 ; une telle étape, bien qu'optionnelle, permettra ultérieurement de repérer le bon alignement entre le substrat 21 et un autre substrat 31 qui sera joint. La fabrication de ces marques 23 peut être opérée par une étape de gravure utilisant notamment la définition de motif par photolithographie.

[0058] La figure 9c présente ensuite la constitution d'une couche d'oxyde de matériau semi-conducteur 24 (typiquement du dioxyde de silicium) au-dessus de la couche 22 de sorte à constituer un masque dur pour définir des zones d'implantation d'ions (phosphore ou d'autres ions permettant d'améliorer la conductivité électrique de cette zone), et avantageusement pour servir ultérieurement de portion de reprise de contact électrique.

[0059] La figure 9d illustre la formation d'une cavité 26 au niveau de la face opposée du substrat 21 de sorte à former un renforcement le quel, on le verra ultérieurement, pourra participer au passage 55 d'une électrode. Une telle cavité 26 est avantageusement formée par une gravure, de préférence anisotrope, du type RIE (pour Reactive Ion Etching). Par exemple, la profondeur de gravure peut être comprise entre 1 et 10 μm , et typiquement de l'ordre de 1 à 2 μm . On peut éventuellement réaliser une implantation d'ions, par exemple phosphore, à ce niveau de sorte à former une couche à conductivité électrique accrue relativement au matériau du substrat 21 d'origine, au niveau d'une zone d'implantation 27 qui sera une zone de raccordement électrique entre deux parties de l'électrode. La cavité 26 correspondante présente une dimension prédéterminée en profondeur ici appelée dr. Cette cavité peut avoir une profondeur de l'ordre de 1 à 10 μm .

[0060] Suivant une possibilité, on réalise des contacts électriques sous forme de plots 28 sur la partie exposée de la zone d'implantation 27. Le résultat obtenu est illustré à la figure 9e. Avantageusement, on forme deux plots 28 délimitant le passage 55 à former. Cette étape peut être réalisée par le dépôt d'une couche métallique sur une épaisseur prédéterminée d1, suivie d'une mise en forme pour ne préserver le matériau métallique qu'aux endroits constitutifs des plots 28. On pourra là encore utiliser des techniques de gravure traditionnelle mettant en oeuvre une définition de motif par photolithographie, ces étapes n'étant pas ici plus détaillées.

[0061] On dispose ainsi d'une partie d'électrode de nature électriquement conductrice (pour le moins du fait de la semi-conductivité du substrat 21 et avantageusement du renforcement de la conductivité par les dispositions supplémentaires prises au niveau des zones d'implantation 25, 27 et des plots 28) et d'une partie de passage, au niveau de la cavité 26 pour extraire les ions 8. Il est cependant avantageux de disposer d'un passage 55 aussi grand que possible. À cet effet, on peut opérer la formation d'une cavité supplémentaire au-delà de la cavité 26, par une zone surgravée 29 présentée en figure 9f. Pour cette étape, on peut par exemple fabriquer un masque dur (de préférence à base d'oxyde du matériau semi-conducteur du substrat 21) et définir des ouvertures dans le masque dur par l'intermédiaire d'une couche de résine photosensible par photolithographie. Les ouvertures dans le masque dur permettent l'étape de surgravure, de préférence en mettant en oeuvre la technique DRIE (de l'anglais « Deep Reactive Ion Etching »), de sorte à former une gravure profonde qui peut éventuellement aller jusqu'à ouvrir également l'épaisseur du substrat 21. Ainsi, cette gravure profonde peut couvrir plusieurs dizaines voire plusieurs centaines de microns. Avantageusement, pour la réalisation d'une électrode au contour fermé, on préserve de préférence une épaisseur résiduelle dans le substrat 21, de préférence d'au moins 10 μm . On notera que la figure 9f présente la formation de cavités latérales, outre la zone surgravée 29 dans la con-

tinuité de la cavité 26. En effet, le procédé de l'invention peut être mis en oeuvre pour réaliser simultanément une pluralité d'organes d'un même dispositif incluant le générateur de l'invention. Les motifs latéraux formés en creux dans l'exemple de la figure 9f peuvent s'inscrire dans ce cas.

[0062] La figure 9g présente d'autres étapes de fabrication, ces étapes partant d'un substrat 31, ici appelé premier substrat. La fabrication du générateur à partir de l'empilement de deux substrats 21, 31 permet notamment de disposer d'une épaisseur importante au niveau des électrodes, en particulier pour que leurs passages 55 soient hauts, suivant la direction Z.

[0063] Avantageusement, le matériau de base du substrat 31 n'est pas conducteur d'électricité. Il peut s'agir de verre de borosilicate ou de silice fondue. Sur l'une des faces du substrat 31, on réalise le dépôt d'une couche électriquement conductrice, de préférence de nature métallique. À cet effet, le procédé peut comprendre une étape préliminaire mise en évidence à la figure 9h avec le dépôt d'une couche d'accroché 32 améliorant la coopération ultérieure entre la couche électriquement conductrice et le substrat 31. Cette couche électriquement conductrice 33 est visible à l'étape de la figure 9i au-dessus de la couche 32, avec une épaisseur prédéterminée d2 entre le haut de la couche 33 et la face du substrat 31.

[0064] Une partie de cette couche va servir à réaliser l'une des portions de l'électrode, en complément de la portion précédemment formée sur la base du deuxième substrat 21. Pour définir la partie de la couche 33 (et de la couche 32 si présente), cette dernière est mise en forme, par exemple par une technique de photolithographie et de gravure de sorte à définir des motifs tels qu'apparaissant figure 9j au niveau de laquelle uniquement certaines portions de la surface du premier substrat 31 sont recouvertes de la couche métallique 33 résiduelle alors que des passages 34 sont par ailleurs formés au travers de cette couche 33.

[0065] La figure 9k présente alors une étape d'assemblage des ensembles formés respectivement sur la base du premier substrat 31 et du deuxième substrat 21. Les marquages éventuellement réalisés précédemment peuvent servir à aligner au mieux les deux substrats pour cette étape. On peut utiliser différentes techniques d'assemblage de substrat. Par exemple, aux endroits où le matériau du deuxième substrat (par exemple du silicium) est au contact du matériau du premier substrat (par exemple du verre), un collage anodique peut être utilisé. On applique une pression mécanique ainsi qu'un courant électrique important pour réaliser cette étape. D'autre part, dans les zones de contact entre les plots 28 et la couche 33, il est possible d'avoir recours à un collage eutectique ou par thermocompression.

[0066] Dans le cas d'un collage eutectique, il est préférable d'employer pour les plots 28 un alliage qui présente un point de fusion relativement bas (par exemple inférieure à 300°C, ce qui est convenable pour les allia-

ges suivants pour le moins : SiAu et AlGe). Dans le cas d'une thermocompression, on utilisera préférentiellement des métaux tels que l'aluminium ou un alliage tel que l'AlSi. On notera que si la thermocompression est employée, les mêmes conditions d'application de pression peuvent être mises en oeuvre à la fois pour cette partie de collage et pour le collage anodique du silicium sur le verre. Dans le cas d'un collage eutectique, il conviendra d'opérer un échauffement des parties métalliques destinées à la soudure, de sorte à atteindre leur point de fusion avant la mise en contact des 2 substrats.

[0067] En référence aux dimensions en profondeur d1, d2 et dr précédemment décrites, on vérifiera que $d1+d2 \geq dr$ pour assurer la mise en contact et la continuité électrique entre les 2 substrats. Par ailleurs, on peut définir la valeur suivante : $((d1+d2) - dr)/dr$ en tant que taux de compression. La gestion de cette valeur permet de régler au mieux la contrainte appliquée en compression lors de l'assemblage des deux substrats. On peut par exemple utiliser une valeur comprise entre 0.02 et 0.07 pour ce taux de sorte à trouver un bon compromis entre un assemblage convenable et l'absence de risque de rupture.

[0068] On dispose, ainsi que représenté en figure 9k, d'une mise en vis-à-vis de deux portions électriquement conductrices, 52 et 53 définissant un espace intermédiaire formant le passage 55 et joint par l'intermédiaire de piliers 51 bordant latéralement l'électrode ainsi constituée. Dans cet exemple, c'est la couche 33 qui forme au moins pour partie la première portion 52 de l'électrode et la zone en vis-à-vis du matériau du deuxième substrat 21 qui forme la deuxième portion 53 de l'électrode. Dans une configuration où le matériau du deuxième substrat 21 n'est pas électriquement conducteur, on pourra par exemple recouvrir au moins l'une des faces du deuxième substrat 21 par une couche électriquement conductrice que l'on raccordera électriquement au reste de l'électrode.

[0069] La figure 9l montre une étape supplémentaire éventuelle lors de laquelle des reprises de contact 35 sont formées dans la continuité de tout ou partie des zones d'implantation 25 de la face extérieure du deuxième substrat 21. C'est éventuellement par ces reprises de contact 35 que l'électrode peut être mise au potentiel adéquat.

[0070] La figure 9m montre enfin une possibilité d'ouvertures traversant le deuxième substrat 21 de sorte à isoler latéralement l'électrode précédemment formée. Globalement, la chambre d'ionisation 10 définie par la succession d'électrodes la zone d'impact 9 des particules chargées 6, a une largeur, suivant la dimension Y, correspondant à celle des électrodes.

Revendications

1. Générateur (0) d'un faisceau d'ions, comportant :

- une chambre d'ionisation (10) dotée d'une entrée (1) d'un fluide à ioniser,
- une source (S) de particules ionisantes configurées pour impacter le fluide dans une zone d'impact (9) de la chambre d'ionisation (10) de sorte à générer des ions,
- un extracteur d'ions générés en direction d'une zone de sortie du générateur,

caractérisé en ce que l'extracteur comprend au moins deux électrodes (5a,5b,5c), dont une première électrode (5a) dite électrode d'entrée bordant latéralement la zone d'impact (9), et au moins une deuxième électrode (5b) dite électrode intermédiaire située dans ladite zone d'impact (9), lesdites au moins deux électrodes étant configurées pour générer un gradient de tension dans la zone d'impact (9), ce gradient de tension tendant à diriger les ions générés vers la zone de sortie du générateur.

2. Générateur (0) selon la revendication précédente, dans lequel l'extracteur comprend une pluralité d'électrodes (5a,5b,5c) situées dans la zone d'impact (9).
3. Générateur (0) selon la revendication précédente, dans lequel la source (S) de particules ionisantes est configurée pour bombarder des particules ionisantes dans la chambre d'ionisation (10) entre au moins deux électrodes (5a,5b,5c).
4. Générateur (0) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la source (S) de particules ionisantes est configurée pour générer un flux de particules ionisantes de direction transverse, et de préférence perpendiculaire, à une direction d'extraction des ions générés.
5. Générateur (0) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'extracteur comprend une électrode d'entrée (5a) pleine comprenant au moins un passage formant l'entrée de la chambre d'ionisation (10).
6. Générateur (0) selon la revendication précédente, dans lequel le au moins un passage est traversé par un tube (2) d'injection du fluide dans la chambre d'ionisation (10).
7. Générateur (0) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'extracteur comprend une électrode de sortie (5c) comprenant un passage 55 formant la zone de sortie.
8. Générateur (0) selon la revendication précédente et la revendication 2 en combinaison, dans lequel la dimension de l'électrode de sortie (5c) suivant une direction d'extraction des ions générés est supérieure

re à celle d'au moins une autre électrode de la pluralité d'électrodes (5a,5b,5c).

9. Générateur (0) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel au moins une électrode (5a,5b,5c) comprend une première portion (52), une deuxième portion (53) et deux piliers (51) joignant la première portion (52) et la deuxième portion (53). 5
10. Générateur (0) selon la revendication précédente, dans lequel au moins un des deux piliers (51) est électriquement conducteur. 10
11. Générateur (0) selon l'une des deux revendications précédentes, dans lequel au moins l'une parmi la première portion (52) et la deuxième portion (53) relie les deux piliers et avantageusement dans lequel ladite portion est conductrice entre les deux piliers (51). 15
12. Générateur (0) selon l'une des revendications précédentes, comprenant un premier substrat (31) et un deuxième substrat (21) assemblés par une de leurs faces respectives. 20
13. Générateur (0) selon la revendication précédente en combinaison avec l'une des revendications 9 à 11, dans lequel la première portion (52) est portée par le premier substrat (31) et la deuxième portion (53) est portée par le deuxième substrat (21). 25
14. Générateur (0) selon l'une des deux revendications précédentes, dans lequel au moins l'un parmi le premier substrat (31) et le deuxième substrat (21) est à base d'un matériau semi-conducteur. 30
15. Spectromètre de masse comprenant un générateur d'ions selon l'une des revendications précédentes. 35

40

45

50

55

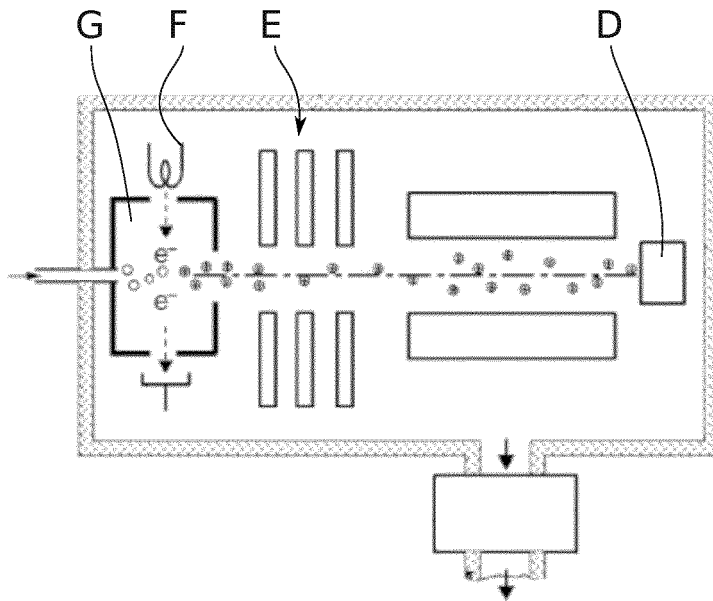


FIG. 1

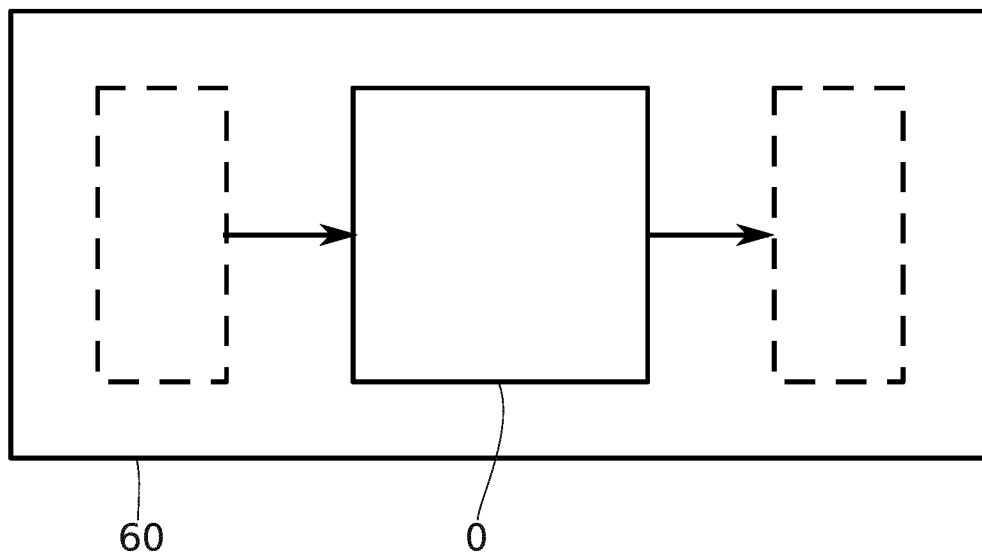


FIG. 2

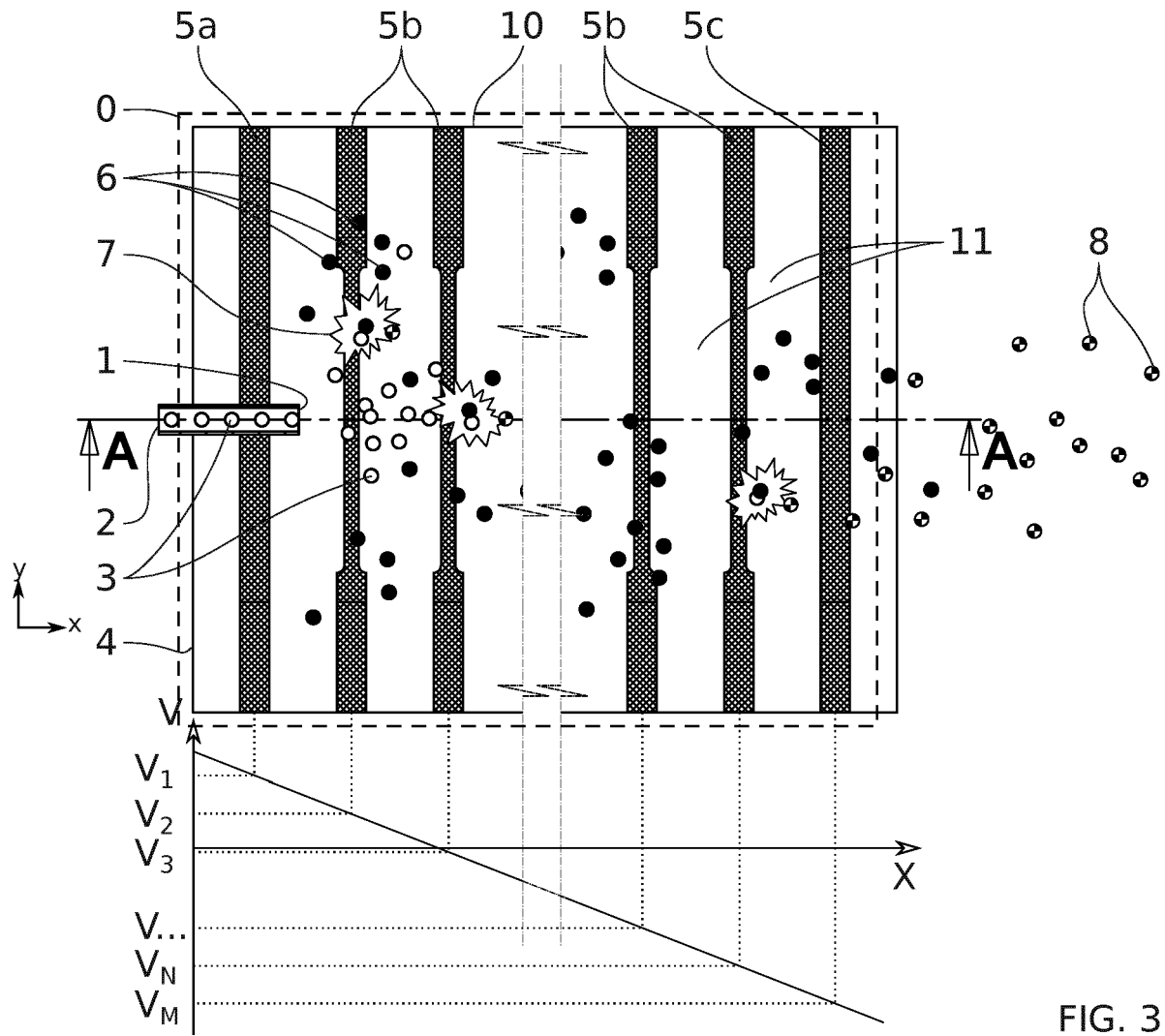


FIG. 3

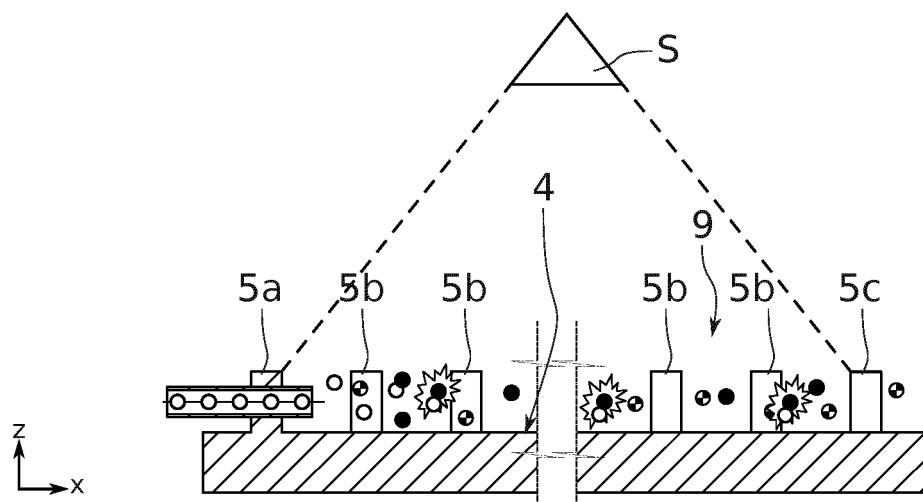


FIG. 4

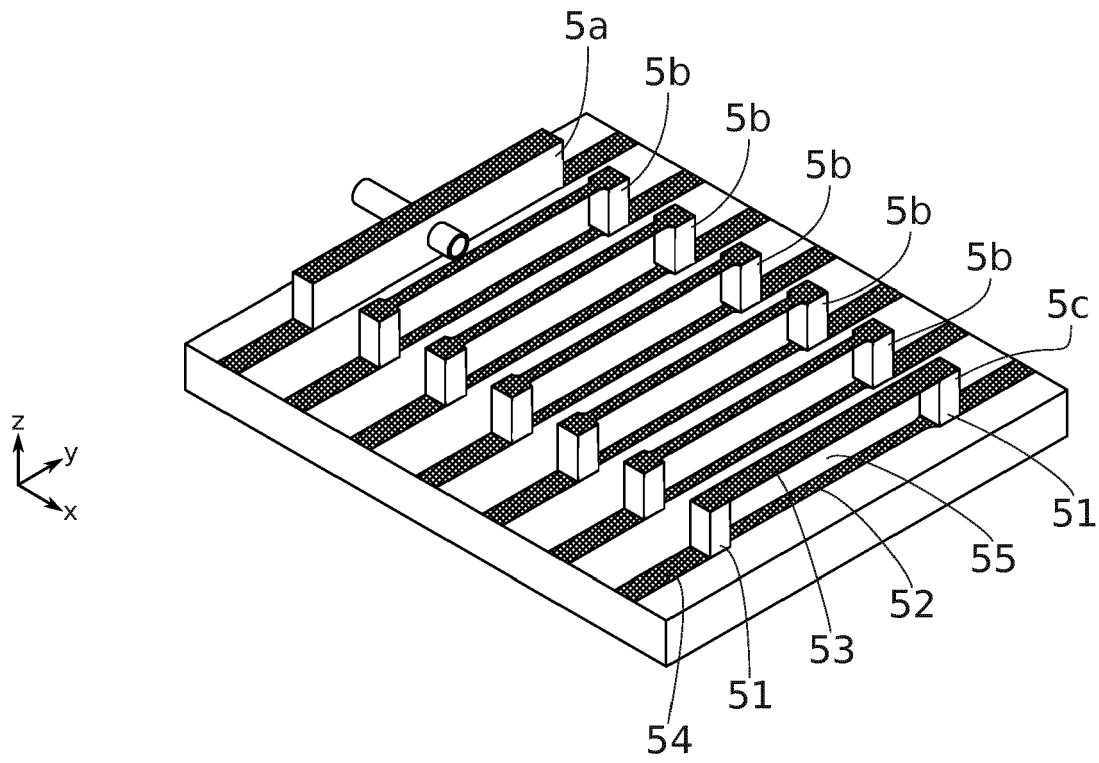


FIG. 5

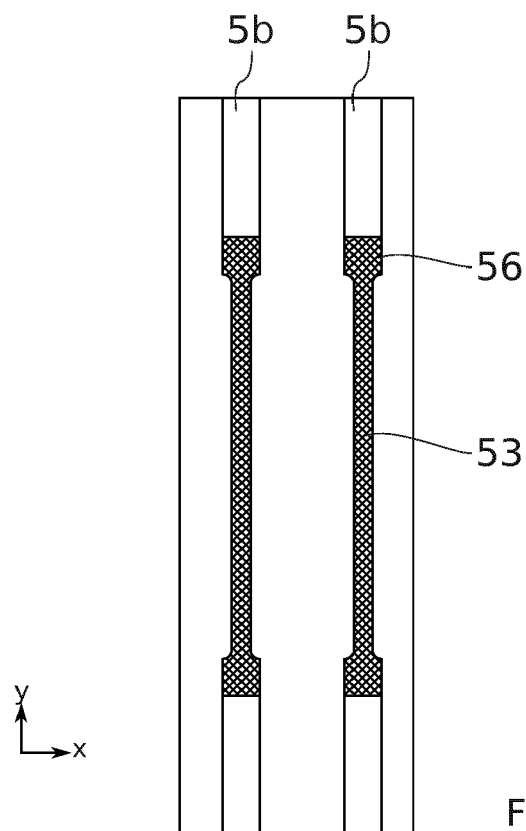
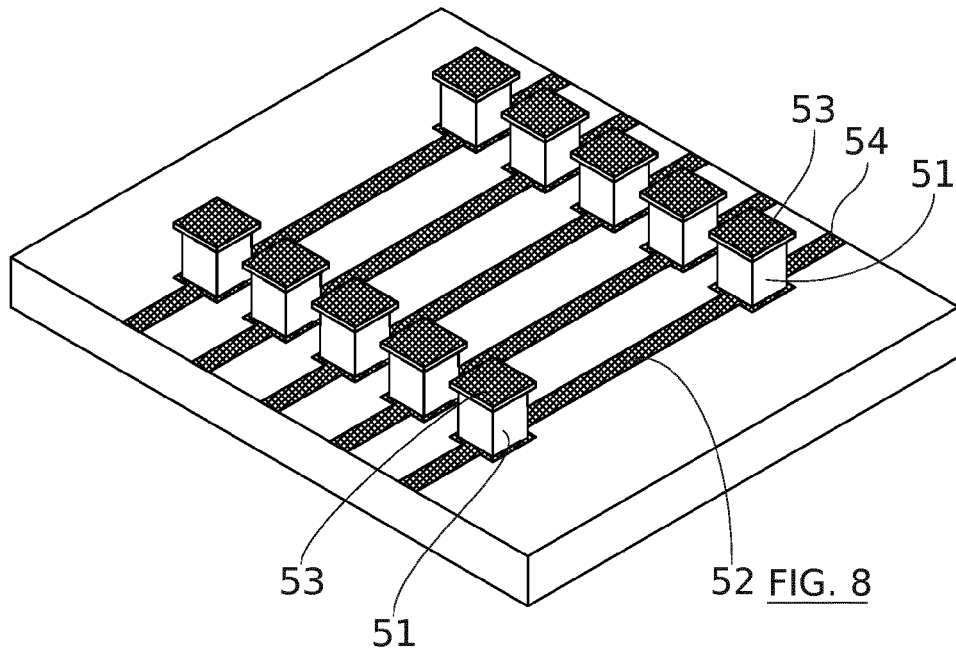
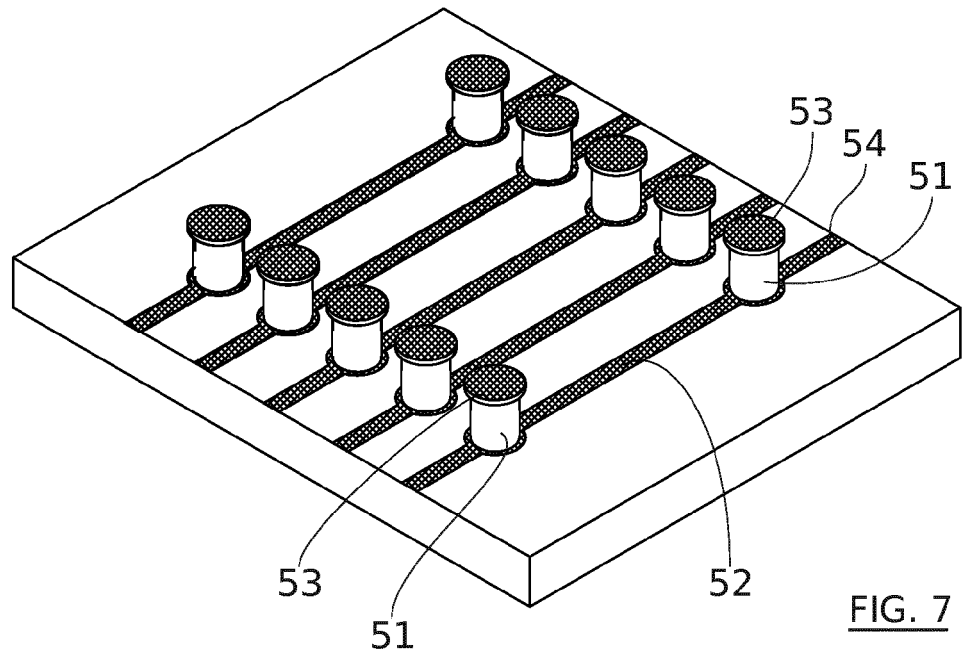


FIG. 6



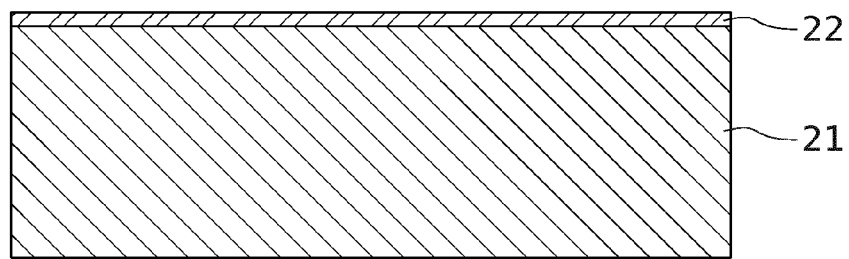


FIG. 9a

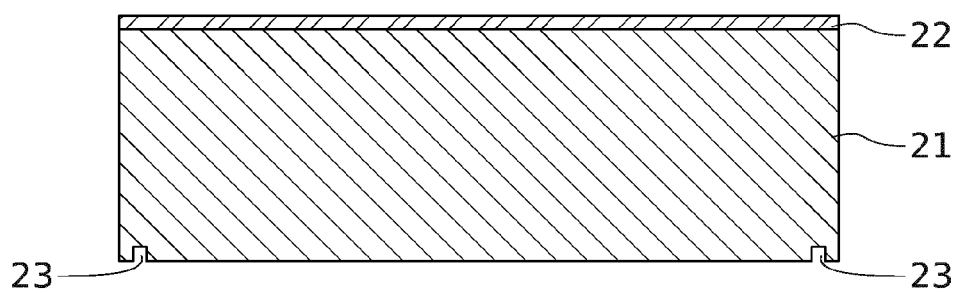


FIG. 9b

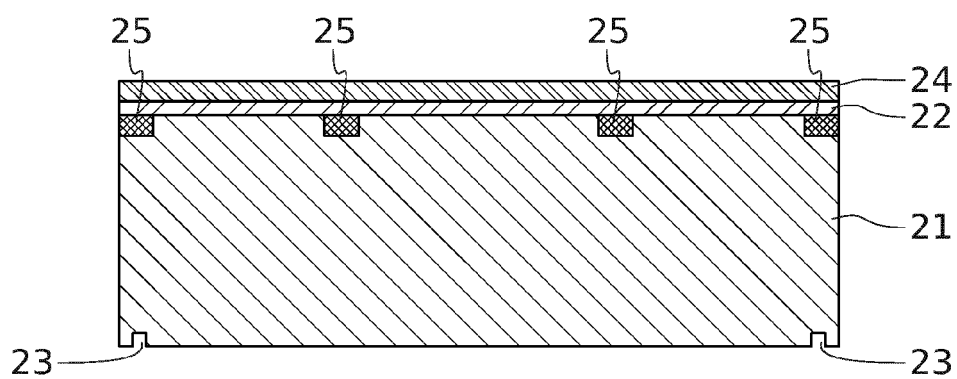


FIG. 9c

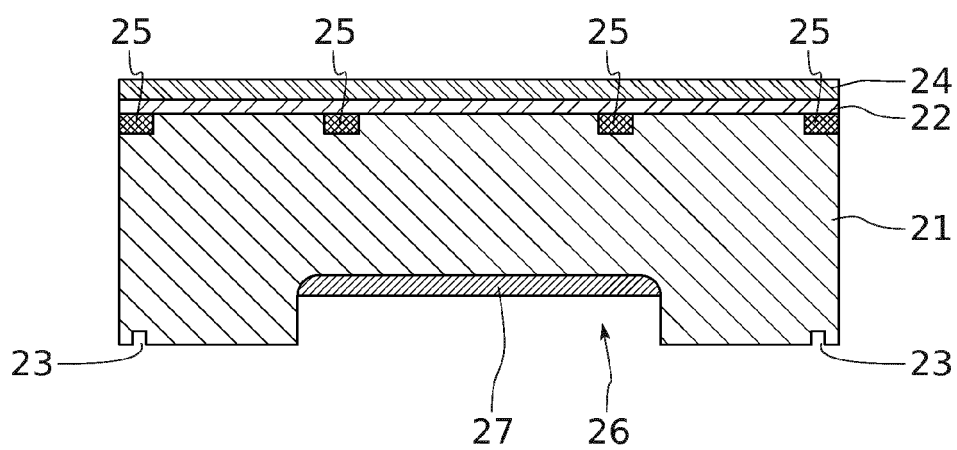


FIG. 9d

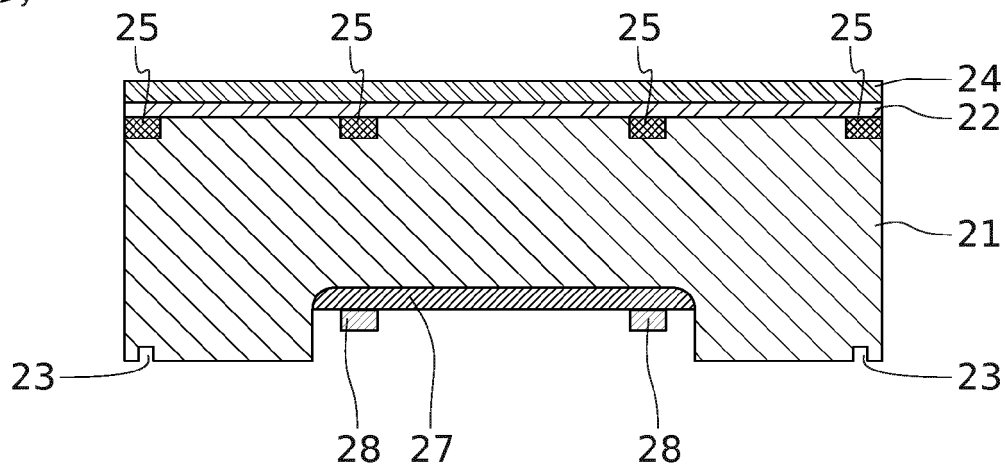


FIG. 9e

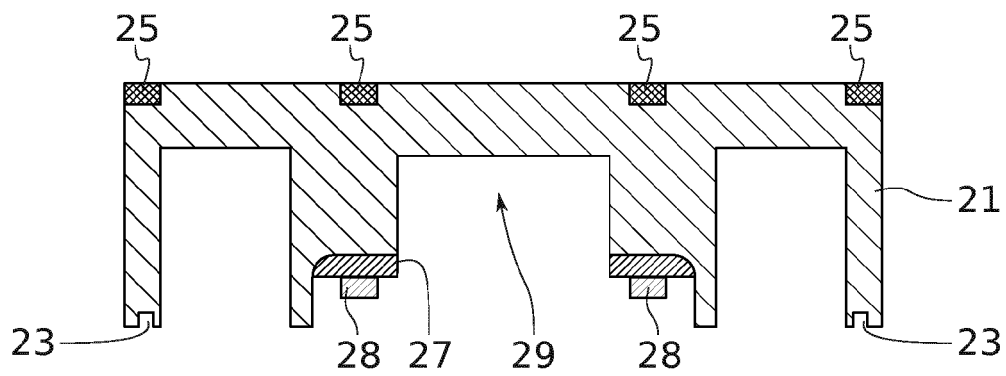


FIG. 9f

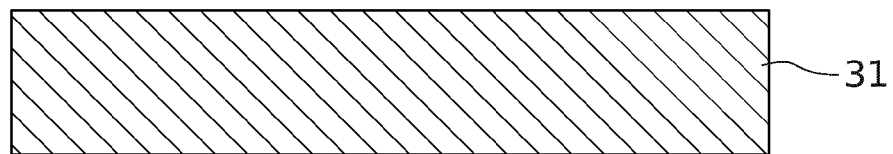


FIG. 9g

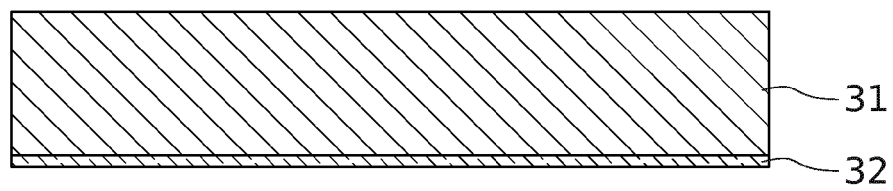


FIG. 9h

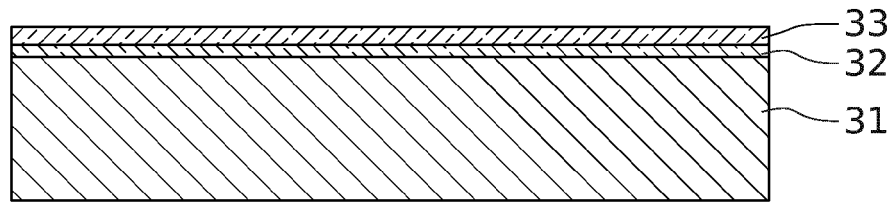


FIG. 9i

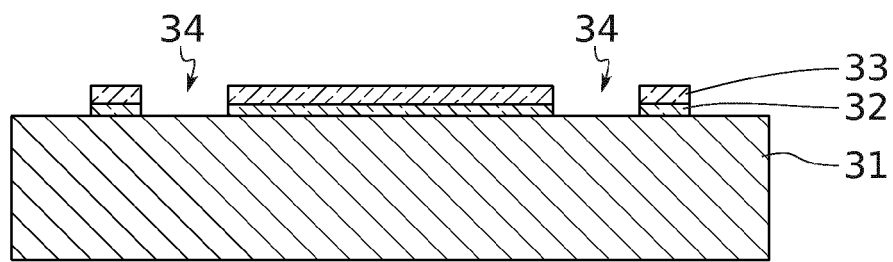


FIG. 9j

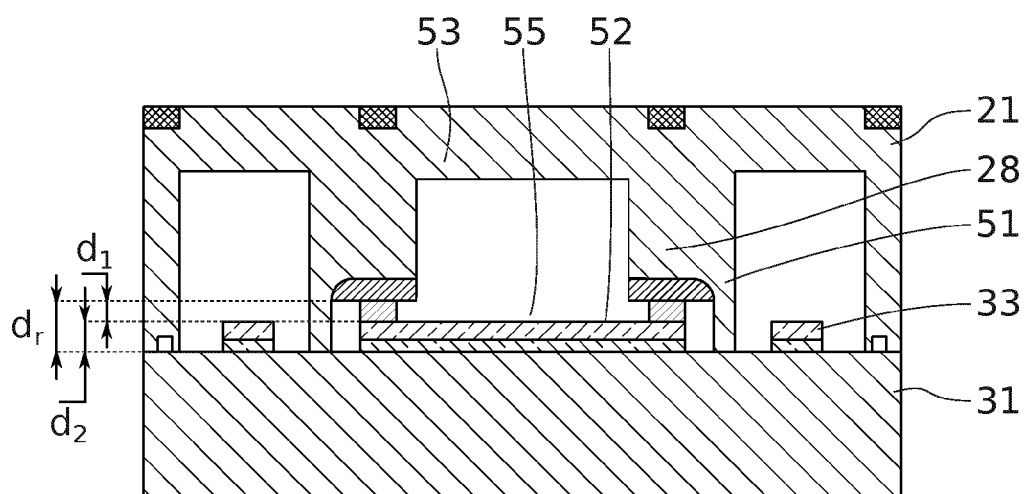


FIG. 9k

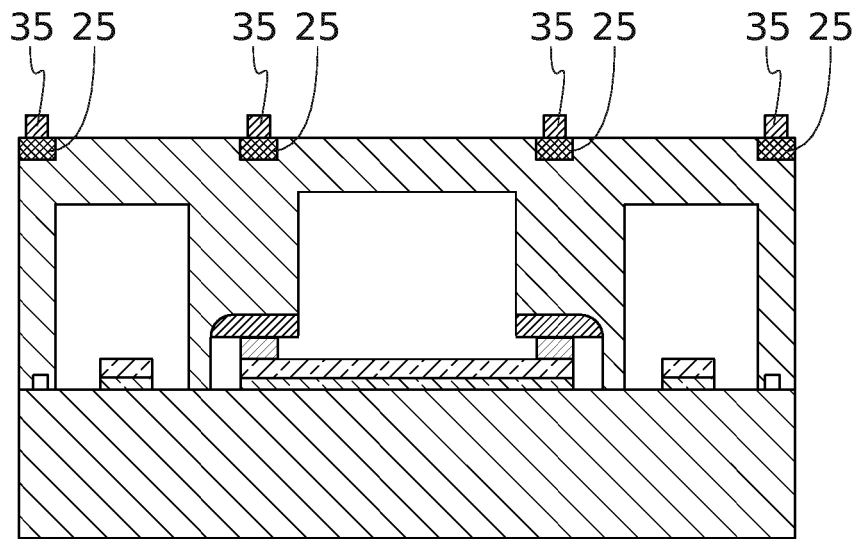


FIG. 9l

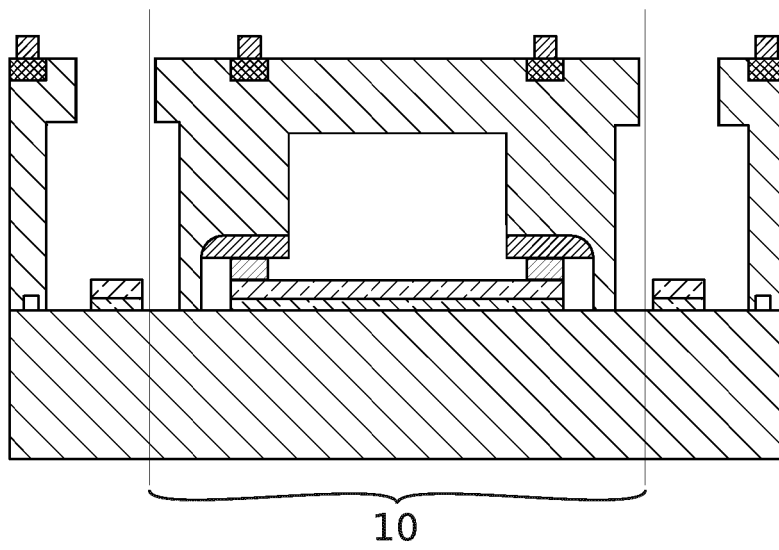


FIG. 9m



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 18 15 7862

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	CHARLES-MARIE TASSETTI ET AL: "A MEMS electron impact ion source integrated in a microtime-of-flight mass spectrometer", SENSORS AND ACTUATORS B: CHEMICAL: INTERNATIONAL JOURNAL DEVOTED TO RESEARCH AND DEVELOPMENT OF PHYSICAL AND CHEMICAL TRANSDUCERS, vol. 189, 18 mars 2013 (2013-03-18), pages 173-178, XP055416025, NL ISSN: 0925-4005, DOI: 10.1016/j.snb.2013.02.087 * abrégé * * figures 1, 3-6 * * page 175, colonne de gauche, lignes 13-44 *	1-15	INV. H01J27/02 H01J27/20 H01J49/14
A	EP 1 826 809 A1 (FEI CO [US]) 29 août 2007 (2007-08-29) * abrégé * * figure 3 * * colonne 11, ligne 38 - colonne 12, ligne 26 *	1-15	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) H01J
A	US 2009/090862 A1 (KAWANA SHUICHI [JP] ET AL) 9 avril 2009 (2009-04-09) * figure 1 *	1-15	

		-/--	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 11 juillet 2018	Examineur Dietsche, Rainer
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 18 15 7862

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	TODD T. KING ET AL: "Simulation of a miniature, low-power time-of-flight mass spectrometer for in situ analysis of planetary atmospheres", PROCEEDINGS OF SPIE, vol. 6959, 30 avril 2008 (2008-04-30), page 69590E, XP055008941, ISSN: 0277-786X, DOI: 10.1117/12.780113 * abrégé * * figure 5 * * 5.1 Ion Source Model * -----	1-15	
T	RICHARD R A SYMS ET AL: "MEMS mass spectrometers: the next wave of miniaturization", JOURNAL OF MICROMECHANICS & MICROENGINEERING, INSTITUTE OF PHYSICS PUBLISHING, BRISTOL, GB, vol. 26, no. 2, 8 janvier 2016 (2016-01-08), page 23001, XP020297338, ISSN: 0960-1317, DOI: 10.1088/0960-1317/26/2/023001 [extrait le 2016-01-08] * figures 2b, 8b, 16 * * 3.2 MEMS ion sources * * 4.5 MEMS time-of-flight analysers * * 6.2 Mass spectrometer-on-a-chip * -----		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
3 Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 11 juillet 2018	Examineur Dietsche, Rainer
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 18 15 7862

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

11-07-2018

	Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
10	EP 1826809	A1	29-08-2007	CN 101026080 A	29-08-2007
				EP 1826809 A1	29-08-2007
				EP 1830383 A2	05-09-2007
15				JP 5478808 B2	23-04-2014
				JP 2007227381 A	06-09-2007
				US 2007262263 A1	15-11-2007

	US 2009090862	A1	09-04-2009	EP 1995764 A1	26-11-2008
20				JP 4793440 B2	12-10-2011
				JP WO2007102224 A1	23-07-2009
				US 2009090862 A1	09-04-2009
				WO 2007102224 A1	13-09-2007

25					
30					
35					
40					
45					
50					
55					

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- US 20090090862 A1 [0004]