



CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **715 599 B1**

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

(51) Int. Cl.: **C23C 16/458** (2006.01)
C23C 14/12 (2006.01)
C23C 16/513 (2006.01)
C23C 16/455 (2006.01)
C23C 14/50 (2006.01)
B05D 1/00 (2006.01)

(12) **FASCICULE DU BREVET**

(21) Numéro de la demande: 01434/19

(22) Date de dépôt: 12.11.2019

(43) Demande publiée: 29.05.2020

(30) Priorité: 28.11.2018 EP 18208891.4

(24) Brevet délivré: 28.02.2023

(45) Fascicule du brevet publié: 28.02.2023

(73) Titulaire(s):
Coat-X SA, Eplatures-Grise 17
2300 La Chaux-de-Fonds (CH)

(72) Inventeur(s):
Andreas Hogg, 3910 Saas Grund (CH)
Ulrich Kroll, 2035 Corcelles (CH)
Jérôme Steinhäuser, 2616 Renan (CH)

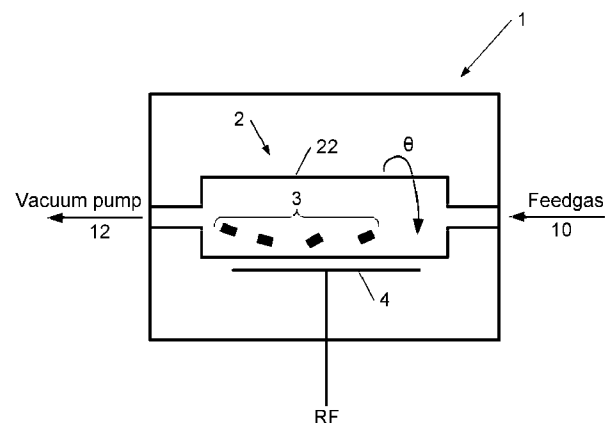
(74) Mandataire:
BOVARD SA Neuchâtel Conseils en propriété
intellectuelle, Rue des Noyers 11
2000 Neuchâtel (CH)

(54) **Réacteur de dépôt multicouche.**

(57) Dans la présente invention, un réacteur (1) est prévu pour revêtir simultanément une pluralité de substrats individuels (3) d'un revêtement multicouche comprenant au moins une couche organique et au moins une couche inorganique.

Le réacteur (1) comprend une chambre de dépôt unique dans laquelle des premiers moyens de dépôt et des seconds moyens de dépôt sont agencés pour déposer, lors du fonctionnement du réacteur (1), ladite au moins une couche organique et ladite au moins une couche inorganique respectivement.

Le réacteur (1) comprend en outre des moyens de support (2) pour les substrats individuels (3), lesdits moyens de support (2) étant configurés pour retourner chaque substrat individuel (3) pendant le dépôt desdites couches organiques et desdites couches inorganiques.



Description

Domaine de l'invention

[0001] La présente invention concerne le domaine du dépôt simultané de revêtements multicouches sur une pluralité d'objets tridimensionnels. Plus précisément, l'invention concerne un réacteur configuré pour déposer des revêtements multicouches comprenant des couches organiques et inorganiques. Le réacteur comprend des moyens de rotation/mélange/retournement qui facilitent un dépôt uniforme du revêtement multicouche sur la pluralité d'objets tridimensionnels.

Contexte de l'invention

[0002] Le dépôt de couches organiques et inorganiques est largement utilisé comme revêtement de protection pour divers composants micromécaniques et électroniques.

[0003] Une couche organique particulièrement intéressante est constituée de polymères de para-xylylène, appelés aussi parylène. Le parylène est utilisé comme revêtement en couche mince en raison de sa capacité à présenter des propriétés physiques et électriques hautement souhaitables. Comme les revêtements de parylène sont appliqués en couches minces par dépôt chimique en phase vapeur, ils permettent une très grande capacité de couverture des gradins. En outre, le processus de dépôt de parylène est plus efficace lorsqu'un nombre relativement important de substrats sont simultanément revêtus.

[0004] Cependant, les chambres de dépôt de parylène classiques sont généralement déficientes en ce sens qu'un grand nombre de substrats particulièrement petits sont placés dans les chambres de sorte qu'ils peuvent se toucher et/ou toucher des parties de pièces mécaniques du réacteur, ce qui entraîne des couches manquantes sur ces zones. Le problème est encore plus prononcé dans le cas d'autres dépôts comme les couches d'oxyde sur les objets. Dans ce cas, au moins une surface n'est, dans la plupart des cas, pas du tout revêtue et certaines surfaces peuvent n'être revêtues que partiellement. Le revêtement uniforme de toutes les surfaces d'objets de forme tridimensionnelle est un défi aussi bien pour les revêtements d'oxyde que pour les revêtements de parylène. C'est pourquoi des solutions ont été proposées pour retourner les substrats au moyen d'un tambour ou d'un bol vibrant, de manière à obtenir des revêtements uniformes sur l'ensemble des objets tridimensionnels en un seul passage par ce type de chambre de dépôt. Enfin, le concept de retournement évite de tourner les substrats et d'effectuer une étape de dépôt supplémentaire pour revêtir toutes les surfaces des objets tridimensionnels dans leur intégralité.

[0005] Un réacteur à parylène configuré pour déposer du parylène et comprenant un tambour est décrit dans le document PCT/US97/23911. Bien que le système décrit dans le document PCT/US97/23911 permette de déposer des couches uniformes de parylène sur un grand nombre de substrats, il est limité par le fait que le processus de retournement peut endommager les revêtements déposés.

[0006] L'application d'un revêtement protecteur tel que le parylène seul sur des substrats ne garantit pas que la performance de barrière du revêtement soit efficace. C'est pourquoi des revêtements supplémentaires, tels que des revêtements inorganiques, doivent être insérés.

[0007] L'application de revêtements inorganiques, également appelés couches de passivation, comme les oxydes de silicium (SiOx) sur des revêtements organiques tels que les revêtements de parylène, de manière à obtenir un revêtement multicouche, améliorerait considérablement les propriétés du revêtement. Le document WO2013/071138 décrit une méthode pour déposer une couche de passivation de SiOx sur des composants médicaux. Cependant, l'application d'un tel revêtement inorganique sur un revêtement organique nécessite un second réacteur séparé pour déposer cette couche de passivation, ce qui rend le processus coûteux et long car les substrats revêtus d'un revêtement organique tel que le parylène doivent être manipulés et transférés dans un second réacteur ; la réalisation de couches multiples impose d'appliquer une approche multichambres impliquant au moins deux réacteurs. Pendant le transfert de l'échantillon, la surface peut également être polluée et, par conséquent, l'adhérence et les propriétés de l'interface et, finalement, la qualité entre les deux revêtements peuvent être réduites. En outre, il existe un risque que les composants revêtus soient endommagés lors du transfert entre les différents réacteurs.

[0008] Le même raisonnement peut être fait dans le cas où la première couche de protection d'un composant est une couche inorganique sur laquelle une couche organique doit être réalisée.

[0009] En outre, il deviendrait très compliqué, long et coûteux de réaliser des multicouches comprenant plus d'une desdites couches organiques et inorganiques, par exemple une multicouche comprenant 3 couches différentes telles qu'une première couche organique, une deuxième couche inorganique déposée sur celle-ci, et une troisième couche organique réalisée sur ladite deuxième couche inorganique. Pour certaines applications, plusieurs piles de couches organiques/inorganiques sont nécessaires pour protéger entièrement un composant de manière intégrale et hermétique.

[0010] Dans le cas d'un grand nombre de petits composants, comme c'est le cas en horlogerie ou dans les dispositifs médicaux, le processus et la manipulation, qui comprend le retournement obligatoire des échantillons après le dépôt de la première couche, deviennent encore plus complexes et la probabilité de dommages produits par la manipulation des substrats est accrue.

[0011] Aucun des réacteurs ou méthodes disponibles ne permet de réaliser de manière rentable des revêtements multicouches comprenant une sous-couche organique et inorganique sur les surfaces d'un grand nombre de petits composants.

[0012] Il est donc nécessaire de disposer d'un réacteur de dépôt amélioré qui résout ce problème.

Résumé de l'invention

[0013] L'objet de l'invention est de fournir un réacteur amélioré qui permet de résoudre les inconvénients des réacteurs et des méthodes de l'art antérieur.

[0014] En conséquence, la présente invention concerne un réacteur permettant de revêtir simultanément une pluralité de substrats individuels d'un revêtement multicouche comprenant au moins une couche organique et au moins une couche inorganique.

[0015] Plus précisément, un réacteur est prévu pour revêtir simultanément une pluralité de substrats individuels d'un revêtement multicouche comprenant au moins une couche organique et au moins une couche inorganique.

[0016] Le réacteur de l'invention comprend une chambre de dépôt unique dans laquelle des premiers moyens de dépôt et des seconds moyens de dépôt sont agencés pour déposer, pendant le fonctionnement du réacteur, ladite au moins une couche organique et ladite au moins une couche inorganique respectivement.

[0017] Ledit réacteur comprenant en outre des moyens de support pour les substrats individuels, lesdits moyens de support étant configurés pour retourner chaque substrat individuel pendant le dépôt desdites couches organiques et desdites couches inorganiques.

[0018] Dans une réalisation, lesdits moyens de support comprennent un des éléments suivants : support vibrant, un bol vibrant d'alimentation, un moyen de mélange ou un moyen de retournement ou une combinaison de ceux-ci.

[0019] Dans une réalisation, lesdits premiers moyens de dépôt sont configurés pour effectuer, pendant le fonctionnement du réacteur, un processus de dépôt chimique en phase vapeur (CVD) et/ou de dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma (PECVD).

[0020] Dans une réalisation, lesdits seconds moyens de dépôt sont configurés pour effectuer, pendant le fonctionnement du réacteur, l'un quelconque des procédés de dépôt de couche atomique (ALD), par évaporation ou pulvérisation cathodique.

[0021] Dans une réalisation, ledit au moins un revêtement organique est une couche de parylène.

[0022] Dans une réalisation, ledit au moins un revêtement inorganique est une couche choisie dans le groupe constitué par les métaux, les oxydes métalliques, les nitrures métalliques, les carbures métalliques, les oxynitrures métalliques, les oxyborures métalliques, les semi-conducteurs, les oxydes semi-conducteurs, les nitrures semi-conducteurs, les carbures semi-conducteurs, les oxynitrures semi-conducteurs et leurs combinaisons.

[0023] Dans une réalisation, les seconds moyens de dépôt sont configurés pour réaliser un processus PECVD et comprennent au moins une électrode disposée à une distance comprise entre 0 mm, définie comme un contact direct, contact direct) et 40 cm des moyens de support.

[0024] Dans une réalisation, lesdits moyens de support comprennent un cylindre de retournement à l'intérieur duquel ladite pluralité de substrats peut être contenue.

[0025] Dans une réalisation, ledit cylindre comprend au moins une partie faite d'un matériau diélectrique non conducteur de l'électricité.

[0026] Dans une réalisation, les plasmas pour le procédé PECVD sont générés par une bobine alimentée en RF qui conduit à un plasma de type inductif.

[0027] Dans une réalisation, une électrode de masse électrique est agencée à l'intérieur dudit cylindre, ledit cylindre étant constitué au moins partiellement d'un matériau électriquement conducteur qui est ladite électrode.

[0028] Dans une réalisation, une électrode électriquement conductrice est disposée à l'intérieur dudit cylindre, ledit cylindre étant constitué au moins partiellement d'un matériau électriquement conducteur qui est ladite électrode de masse électrique.

[0029] Dans une réalisation, lesdits moyens de support sont disposés dans une chambre comprenant un premier réseau d'électrodes mises à la terre et un second réseau d'électrodes alimentées électriquement, ledit premier réseau et ledit deuxième réseau d'électrodes étant agencés dans une configuration cylindrique et dans laquelle les différentes électrodes sont agencées sensiblement parallèlement.

[0030] Dans une réalisation, lesdits premier et deuxième réseaux d'électrodes sont agencés sur un tambour fait d'un matériau diélectrique non conducteur, de préférence du quartz, ou du verre.

[0031] Dans une réalisation, lesdits moyens de support comprennent une électrode en forme d'étoile à l'intérieur dudit moyen de retournement.

[0032] Dans une réalisation, ledit moyen de retournement comprend au moins un ensemble de gradins.

[0033] Dans une réalisation, au moins une bobine électrique disposée à l'intérieur et/ou à l'extérieur desdits moyens de support.

[0034] Dans une réalisation, lesdits moyens de support comprennent au moins un bol vibrant d'alimentation.

[0035] Dans une réalisation, le réacteur comprend au moins une bobine électrique agencée à l'intérieur et/ou à l'extérieur desdits moyens de support, ladite bobine électrique étant alimentée en radio-fréquences (RF) pour générer un plasma à l'intérieur dudit cylindre .

Brève description des dessins

[0036] Des détails supplémentaires sur l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante en référence aux chiffres annexés :

- La Figure 1 illustre une section transversale d'un réacteur de l'invention ;
- La Figure 2 montre une coupe transversale d'un tambour de forme cylindrique ;
- La Figure 3 montre une coupe transversale latérale d'un tambour cylindrique comprenant une masse électrique centrale ;
- La Figure 4 montre une coupe transversale latérale d'un tambour cylindrique dont la surface est reliée à une masse électrique ;
- La Figure 5 montre une section transversale latérale d'un tambour cylindrique agencé à proximité d'une électrode extérieure et comprenant une masse électrique intérieure ;
- La Figure 6 montre une coupe transversale latérale d'un tambour cylindrique agencé à proximité d'une électrode extérieure reliée à une masse électrique et comprenant un conducteur électrique intérieur ;
- La Figure 7 montre une coupe transversale latérale d'un tambour comprenant un agencement de tambours en forme de gradins ;
- La Figure 8 montre une vue latérale d'une partie d'une chambre comprenant un premier et un second réseau d'électrodes qui sont agencées dans une configuration sensiblement cylindrique et dans laquelle les différentes électrodes sont agencées sensiblement parallèlement ;
- La Figure 9 montre une vue dans la direction de l'axe de rotation d'une partie d'une chambre comprenant un premier et un second réseau d'électrodes qui sont agencées sensiblement parallèlement ;
- La Figure 10 montre une vue latérale d'un agencement de support comprenant des moyens d'oscillation et un agencement d'électrodes RF ;
- La Figure 11 montre une vue latérale d'un agencement de support comprenant des moyens de vibration ;
- La Figure 12 montre une vue de dessus d'un agencement de support en forme d'étoile ;
- La Figure 13 montre une vue de dessus d'un agencement de support comprenant une pluralité de structures cylindriques encastrées qui sont configurées pour effectuer, au cours du même processus de dépôt, le dépôt de différents types d'échantillons ;
- Les Figures 14 a-c illustrent des piles de revêtements exemplaires telles que réalisées avec le réacteur de l'invention.

Description de l'invention

[0037] La présente invention sera décrite par rapport à des réalisations particulières et en référence à certains dessins, mais l'invention ne s'y limite pas. Les dessins décrits sont uniquement schématiques et non limitatifs. Dans les dessins, la taille de certains éléments peut être exagérée et ne pas être dessinée à l'échelle à des fins d'illustration. Les dimensions et les dimensions relatives ne correspondent pas à des réductions réelles de la pratique de l'invention.

[0038] Il est à noter que le terme „comprenant“ dans la description et les revendications ne doit pas être interprété comme étant limité aux moyens énumérés ci-après, c'est-à-dire qu'il n'exclut pas d'autres éléments.

[0039] La référence à „une réalisation“ dans l'ensemble du mémoire descriptif signifie qu'une caractéristique particulière, une structure ou un caractère décrit en relation avec la réalisation est inclus dans au moins une réalisation de l'invention. Ainsi, les expressions „dans une réalisation“ ou „dans une variante“, qui apparaissent à divers endroits de la description, ne se réfèrent pas nécessairement toutes à la même réalisation, mais à plusieurs. En outre, les particularités, structures ou caractéristiques peuvent être combinées de toute manière appropriée, comme cela apparaîtrait à l'homme du métier à partir de cette divulgation, en une ou plusieurs réalisation(s). De même, diverses caractéristiques de l'invention sont parfois regroupées en une seule réalisation, figure ou description, afin de rendre la divulgation plus lisible et d'améliorer la compréhension d'un ou plusieurs des divers aspects inventifs. En outre, si certaines réalisations décrites ci-après comprennent certaines caractéristiques incluses dans d'autres réalisations, mais pas d'autres, des combinaisons de caractéristiques de différentes réalisations sont censées entrer dans le champ de l'invention, et de réalisations différentes. Par exemple, toutes les réalisations revendiquées peuvent être utilisées dans n'importe quelle combinaison. Il est également entendu que l'invention peut être mise en pratique sans certains des nombreux détails spécifiques énoncés. Dans d'autres cas, toutes les structures ne sont pas présentées en détail afin de ne pas obscurcir la compréhension de la description et/ou des figures. Le terme „retournement“ est également défini ici au sens large comme un repositionnement d'un objet

dans l'espace par rapport à la paroi d'un réacteur ou par rapport à la direction de la gravité et comprend tout mouvement d'un objet qui donne une nouvelle position dans l'espace et inclut également les mouvements de rotation, le déplacement latéral de la position, les vibrations, les oscillations par „bol vibrant“ ou les mouvements vers le haut ou vers le bas ou latéraux ou une combinaison de ceux-ci. Dans certains cas, le mouvement de retournement peut produire une déformation temporelle de l'objet retourné, comme cela peut se produire dans le cas de membranes fines. Dans le présent document, les termes „vers le haut“ et „vers le bas“ se rapportent à la direction de la gravitation. Par exemple, un objet qui se retourne vers le bas est défini au sens large comme un objet sur lequel est soumise au moins une composante de mouvement dans la direction de la gravitation locale. L'expression „direction latérale“ est définie comme une direction perpendiculaire à la direction de la gravité. Dans les figures, le retournement est réalisé par un mouvement qui est illustré par une flèche et un symbole de rotation θ , ce qui n'est qu'illustratif car le retournement peut être réalisé par un mouvement différent tel qu'un mouvement linéaire ou vibratoire ou toute combinaison de mouvements.

[0040] Il est entendu que dans toutes les réalisations de l'invention, le système de retournement ou tout composant du réacteur peut avoir une orientation quelconque par rapport à la direction de la gravité.

[0041] La présente invention comprend, en outre, les réalisations suivantes.

[0042] La Fig. 1 illustre une réalisation du réacteur 1 de l'invention. Le réacteur 1 est configuré pour revêtir simultanément une pluralité de substrats individuels 3 avec un revêtement multicouche 30 comprenant au moins une couche organique 32 et au moins une couche inorganique 34.

[0043] Le réacteur 1 de l'invention comprend une chambre de dépôt unique dans laquelle des premiers moyens de dépôt et des seconds moyens de dépôt sont agencés pour déposer, lors du fonctionnement du réacteur 1, ladite au moins une couche organique 32 et ladite au moins une couche inorganique 34. Comme expliqué plus en détail, au moins une couche organique 32 et au moins une couche inorganique 34 peuvent être déposées dans n'importe quel ordre. De plus, comme expliqué plus loin, chacune de ces couches organiques 32 et/ou couches inorganiques 34 peut être un empilement de couches différentes.

[0044] Le réacteur 1 comprend en outre des moyens de support 2 pour les substrats individuels 3, lesdits moyens de support 2 sont configurés pour faire en sorte que, pendant le fonctionnement du réacteur, chaque substrat individuel 3 se retourne pendant le dépôt desdites couches organiques 32 et desdites couches inorganiques 34.

[0045] Dans un agencement préféré illustré à la Fig. 1, des moyens d'injection de gaz d'alimentation sont prévus sur un côté du réacteur. Les moyens d'injection de gaz d'alimentation comprennent les gaz d'alimentation pour un dépôt CVD et les gaz d'alimentation pour un dépôt PECVD. Des variantes du réacteur d'un côté comprennent des moyens de raccordement au vide de sorte que la chambre du réacteur peut être raccordée à une pompe à vide. Ces moyens de raccordement au vide peuvent comprendre au moins une ouverture reliée à des tuyaux de vide appropriés. Le raccordement d'un réacteur à une chambre à une pompe à vide est bien connu de la personne qualifiée et n'est pas décrit plus en détail ici.

[0046] Dans toutes les réalisations, les gaz d'alimentation peuvent être fournis à la chambre à plasma de différentes manières et selon le processus, par différents systèmes, de préférence par l'intermédiaire de ces moyens de support.

[0047] Dans une réalisation, lesdits premiers moyens de dépôt sont configurés pour effectuer, pendant le fonctionnement du réacteur 1, un processus de dépôt CVD.

[0048] Dans une autre réalisation, lesdits seconds moyens de dépôt 2 sont configurés pour effectuer, pendant le fonctionnement du réacteur 1, l'un quelconque des procédés suivants : PECVD, ALD, dépôt par pulvérisation cathodique, évaporation ou CVD.

[0049] Dans certaines réalisations, au moins un revêtement inorganique 34 est une couche choisie parmi, mais sans s'y limiter, le groupe constitué par les métaux, les oxydes métalliques, les nitrures métalliques, les carbures métalliques, les oxynitrures métalliques, les oxyborures métalliques, les semi-métaux (c'est-à-dire les semi-conducteurs), les oxydes semi-métalliques, les nitrures semi-métalliques, les carbures semi-métalliques, les oxynitrures semi-métalliques et des combinaisons de ceux-ci.

[0050] Le réacteur peut également être configuré pour réaliser plusieurs et/ou différentes séquences de dépôts PECVD et CVD. Par exemple, le réacteur 1 peut être utilisé pour réaliser un nombre N de couches PECVD et un nombre M de couches CVD, les nombres N et M étant de préférence compris entre 3 et 10. Les couches déposées peuvent être des couches alternées de couches PECVD et CVD, comme l'illustrent les Figs 14a-c.

[0051] Une pile exemplaire comprenant 3 couches alternées comprend :

- une première couche CVD constituée de parylène ;
- une deuxième couche PECVD constituée de SiOx ;
- une troisième couche CVD constituée d'une autre couche de parylène ou de tout autre type de couche organique.

[0052] Dans une réalisation préférée ledit au moins un revêtement organique 32 est une couche de parylène.

[0053] Dans des réalisations, ledit au moins un revêtement inorganique 34 est une couche choisie dans le groupe constitué par les métaux, les oxydes métalliques, les nitrures métalliques, les carbures métalliques, les oxynitrures métalliques,

les oxyborures métalliques, les semi-métaux définis comme semi-conducteurs, les oxydes semi-métalliques, les nitrures semi-métalliques, les semi-carbures métalliques, les oxynitrures semi-métalliques, et les combinaisons de ceux-ci.

[0054] Dans des réalisations, les seconds moyens de dépôt sont configurés pour effectuer un procédé PECVD qui nécessite, comme illustré par exemple à la Fig.2, au moins une électrode 4 agencée à une distance d , de préférence entre environ 0 mm et environ 40 cm, plus préférentiellement entre 0 mm et 30 mm des moyens de support 2. De préférence, un dispositif de retournement tel qu'illustré à la Fig. 2 comprend des moyens, non illustrés sur la figure, pour que les échantillons soient transférés d'un côté de la structure à l'autre, comme les deux côtés d'une surface cylindrique. Cela peut être réalisé par exemple en impliquant une vis d'Archimède ou similaire.

[0055] Dans certaines variantes, l'électrode 4 est disposée à une distance d comprise entre environ 0,3 cm et environ 10 cm des moyens de support 2.

[0056] Cette électrode est de préférence une électrode 4 configurée pour recevoir un signal RF. Dans une variante, l'électrode 4 peut être remplacée ou combinée par une bobine qui est alimentée par un signal RF conduisant à un couplage inductif pour la génération du plasma.

[0057] Il est à noter que, pour obtenir des couches serrées de SiOx, les substrats à revêtir doivent être placés près d'une électrode RF 4 ayant une auto-polarisation d'au moins 50 volts, de préférence d'au moins 100 V. Les inventeurs ont identifié que cette polarisation génère et fournit le bombardement ionique nécessaire des couches de croissance sur les substrats. Dans certaines variantes, comme nous le verrons plus en détail, les substrats conducteurs d'électricité peuvent être en contact direct avec une électrode RF. Dans ces variantes, les substrats agissent comme une électrode et peuvent être polarisés négativement, ce qui assure le bombardement nécessaire des ions.

[0058] La radiofréquence (RF) appliquée a une fréquence préférée de 13,56 MHz. La fréquence du signal RF est de préférence supérieure à 1 MHz. La tension crête à crête V_{pp} appliquée est de préférence comprise entre 350 et 450 V, plus préférentiellement sensiblement 400 V, ce qui conduit à une tension de polarisation généralement supérieure à 150-200 V.

[0059] Dans certaines réalisations, lesdits moyens de support 2 comprennent au moins un dispositif de retournement tel qu'un cylindre 22, à l'intérieur duquel ladite pluralité de substrats 3 peut être contenue.

[0060] À titre d'exemple, la Fig. 1 illustre une réalisation dans laquelle ladite électrode 4 est une électrode de forme allongée qui est disposée sensiblement parallèlement à la paroi d'un support de forme cylindrique définissant un axe de rotation virtuel 22a. La rotation du cylindre assure, pendant le processus de dépôt, que les substrats 3 sont retournés de manière à obtenir un revêtement sur toutes les faces des substrats. Le cylindre 22 peut contenir une structure mécanique comme une vis d'Archimède pour le mélange des échantillons. Dans une variante préférée, lorsqu'un premier revêtement a été appliqué sur toutes les faces des substrats, les étapes du deuxième processus de dépôt de revêtement sont exécutées tandis que les substrats 3 sont à nouveau retournés. Dans certaines variantes, un cylindre de retournement 22 peut être tourné dans un sens opposé pour le deuxième processus de dépôt de revêtement. Dans certaines variantes, le cylindre 22 peut subir différentes fréquences de rotation pendant les processus de dépôt et le cylindre peut également être mis en vibration dans n'importe quelle direction. Dans certaines variantes, ladite électrode 4 peut avoir la forme d'une lame plate ou peut être une lame courbée dont la courbure, définie dans un plan perpendiculaire audit axe de rotation 22a, est la même que la courbure dudit support cylindrique 22. Dans certaines variantes, la courbure de ladite lame courbe 4 peut être une fraction de la courbure dudit support cylindrique, ladite fraction étant comprise entre 0,1 et 1, sans compter 1. Dans certaines variantes, la courbure de ladite lame courbe 4 est plus petite que la courbure dudit support cylindrique.

[0061] Dans des réalisations exemplaires, le support cylindrique de la réalisation de la Fig. 1 peut avoir les dimensions suivantes :

- longueur du cylindre 22 : entre 10 cm et 200 cm, de préférence entre 20 cm et 100 cm ;
- diamètre D : entre 50 mm et 800 mm, de préférence entre 80 mm et 350 mm.

[0062] Dans une réalisation, ledit cylindre 22 peut être un tube hexagonal ou de toute autre forme et peut comprendre au moins une partie en verre. Dans une variante, ce support cylindrique est constitué au moins partiellement d'un matériau céramique, par exemple du verre, et a une paroi dont l'épaisseur est comprise entre 1 mm et 10 mm, de préférence entre 2 mm et 4 mm. Cette épaisseur ne doit pas nécessairement être homogène.

[0063] Il est entendu que dans les réalisations, lesdits moyens de support peuvent avoir n'importe quelle forme, de préférence une forme ayant au moins un axe de symétrie. Dans certaines variantes, ces moyens de support peuvent avoir plus de 2 axes de rotation qui peuvent avoir n'importe quelle orientation par rapport à la direction de la gravité.

[0064] Dans certaines variantes, non illustrées dans les figures, le retournement des échantillons 3 peut être réalisé par au moins deux moyens de support encastrés, tels qu'un premier cylindre configuré à l'intérieur d'un second cylindre plus grand, lesdits premier et second cylindres comprenant des moyens permettant aux échantillons de transiter entre lesdits premier et second cylindres.

[0065] Dans une réalisation avantageuse, au moins une bobine conductrice d'électricité peut être disposée à l'intérieur ou à l'extérieur desdits moyens de support 2. La mise en place d'une telle bobine électrique peut être utile dans le cas où un plasma uniforme doit être obtenu à l'intérieur de la chambre de retournement. Par exemple, dans la disposition illustrée à la Fig.1, l'électrode RF peut être remplacée par une bobine qui est enroulée autour du cylindre de retournement 22. Dans

certaines variantes, une partie desdits moyens de support peut comprendre une première bobine agencée extérieurement à proximité de sa surface extérieure et une seconde partie desdits moyens de support peut comprendre une seconde bobine agencée à l'intérieur et à proximité de la surface intérieure desdits moyens de support.

[0066] Dans une variante avantageuse, illustrée à la Fig. 3, une électrode de masse électrique 23 est agencée à l'intérieur desdits moyens de support 2 qui est de préférence un cylindre 24, étant au moins partiellement constituée d'un matériau électriquement conducteur étant ladite électrode 4. Il est entendu que ce qui importe est la différence de tension entre ladite électrode centrale 23 et la surface extérieure dudit cylindre 24, ce qui signifie que l'électrode centrale 23 peut avoir un potentiel électrique différent de zéro. Dans une variante illustrée à la Fig.4, l'électrode centrale 26 a un potentiel électrique plus élevé que le potentiel électrique de la surface extérieure et/ou intérieure des moyens de support 2.

[0067] Dans les réalisations avantageuses, illustrées à la Fig. 5 et électriquement inversées à la Fig. 6, une électrode de forme courbe est agencée à l'extérieur d'un dispositif de retournement de forme cylindrique 2. Dans ces réalisations, le cylindre 34, 38 est de préférence constitué au moins partiellement d'un matériau diélectrique non conducteur. La distance moyenne e de l'électrode 4 suit les mêmes règles que celles décrites dans la réalisation de la Fig. 2.

[0068] Dans une réalisation avantageuse illustrée à la Fig. 7, lesdits moyens de support 2 comprennent un dispositif de retournement en forme de gradin 44 comprenant au moins un ensemble de gradins pouvant être en forme d'escalier.

[0069] Dans une réalisation, le réacteur 1 comprend un agencement d'électrodes 44 comprenant un premier ensemble de gradins 40 qui est agencé sensiblement parallèlement à un deuxième agencement de retournement 44 en forme de gradins.

[0070] Dans certaines variantes, cet agencement en gradins peut être configurée en une structure de forme hélicoïdale ou toute autre structure non linéaire. Dans certaines variantes, un ensemble de gradins serait suffisant et un second ensemble de gradins pourrait ne pas être nécessaire.

[0071] Il est entendu que tous les gradins d'un agencement de retournement en forme de gradins 44 ne doivent pas être identiques. Au moins un des gradins peut avoir une surface courbe.

[0072] Dans la réalisation de la Fig. 7, l'agencement de retournement 2 peut comprendre des déflecteurs internes 48 qui peuvent avoir n'importe quelle forme et en n'importe quel nombre et qui servent à améliorer l'efficacité du processus de retournement. Dans certaines variantes, lesdits déflecteurs et/ou gradins 40 peuvent être vibrants/oscillants et comprendre des actionneurs qui peuvent être des micro-actionneurs et/ou des actionneurs électromagnétiques ou des actionneurs piézo-électriques.

[0073] Dans une réalisation avantageuse, lesdits moyens de support 2 sont agencés dans une chambre comprenant un premier réseau 50 d'électrodes 52 et un second réseau 60 d'électrodes 62, chaque électrode 52 dudit premier réseau 50 étant sensiblement parallèle et faisant face à l'une des électrodes 62 dudit second réseau 60.

[0074] Dans une réalisation illustrée à la Fig. 8, ledit premier réseau de 50 et ledit second réseau de 60 électrodes 52, 62 sont agencés sur des surfaces cylindriques virtuelles.

[0075] La Fig.8 illustre une variante dans laquelle un premier réseau 50 d'électrodes est à un faible potentiel, par exemple connecté à une masse électrique. Dans une variante, le deuxième agencement des électrodes 60 peut être au faible potentiel électrique. Dans certaines variantes, d'autres électrodes entrelacées peuvent être configurées à l'intérieur d'un tambour 2.

[0076] Dans les variantes illustrées à la Fig.9, une pluralité d'électrodes peut être configurée sur la surface intérieure et/ou dans la paroi d'un tambour cylindrique.

[0077] Les Fig. 10 et Fig. 11 illustrent des configurations exemplaires dans lesquelles lesdits moyens de support 2 peuvent être tournés, secoués et mis en vibration/oscillation. Dans la Fig.10, le récipient 2b est configuré de manière à éviter d'éjecter des échantillons en cours de fonctionnement. Dans certaines variantes, un bol vibrant d'alimentation, également défini ici comme bol, configuré pour subir des translations verticales V qui peuvent être des vibrations et/ou des chocs, peut être agencé sur lesdits moyens de support. Par exemple, un bol vibrant peut être placé sur la plate-forme 70 dans la réalisation illustrée à la Fig.11.

[0078] Dans les réalisations où le support est ou comprend un bol vibrant d'alimentation, le bol est alimenté par RF et génère le plasma. L'intérieur dudit bol peut être structuré par des escaliers en spirale et/ou des chicanes. Les chicanes peuvent être utilisées pour faire tourner les échantillons ou pour les aligner. Le bol est de préférence un système de vibration/oscillation qui déplace les échantillons dans les escaliers en spirale de bas en haut. En haut, les échantillons tombent sur le fond, ce qui permet la rotation des échantillons. Différents escaliers en spirale peuvent être intégrés dans le bol. Les dimensions du bol et des escaliers dépendent de la taille et du poids des échantillons.

[0079] Les bols vibrants sont bien connus des personnes qualifiées et ne sont pas décrits plus en détail ici. Il est fait référence ici aux documents et au site web suivants qui sont tous intégrés dans leur intégralité :

- documents : US4181216A et US 4362455 A
- site web : <http://www.vibrationsfoerdertechnik.de/>.

[0080] Dans les variantes illustrées aux Fig.10 et Fig. 11, un racleur et/ou une râpe 2b ou 72 peuvent être placés sur le dessus du support 70 qui mélange les substrats. Ce racleur peut être statique ou rotatif.

[0081] Dans certaines variantes, le tambour est constitué d'un support 70 sur lequel est agencé un récipient 72. Dans certaines variantes, une rotation supplémentaire peut être ajoutée au support 70. Ledit support et/ou récipient peut avoir n'importe quelle forme ou n'importe quelle dimension. Ce support peut comporter une structure mécanique qui permet une distribution homogène et un(e) déplacement/rotation constant(e) des échantillons.

[0082] Dans une réalisation illustrée à la Fig.12, lesdits moyens de support 2 comprennent au moins une électrode façonnée 49 qui comprend une surface 49a qui est façonnée de manière à pouvoir retenir un échantillon pendant un intervalle de temps prédéfini. L'électrode façonnée 49 peut avoir une surface rugueuse ou une surface qui comprend des vallées et des pics comme la surface en forme d'étoile illustrée à la Fig. 12. L'électrode façonnée peut également être façonnée de telle sorte que sa surface présente une section transversale façonnée de forme sinusoïdale, ladite section transversale étant définie perpendiculairement à l'axe longitudinal de l'électrode façonnée 49. Dans une variante, ladite électrode façonnée peut être agencée de manière à tourner avec une vitesse de rotation différente de, voire opposée, à la vitesse de rotation de la surface externe du dispositif de retournement, comme l'illustrent les angles θ_1 et θ_2 de la Fig.12.

[0083] Dans une autre réalisation, illustrée à la Fig.13, une pluralité de structures cylindriques encastrées (étages) sont agencées de manière à effectuer, au cours du même processus de dépôt, le dépôt de différents types d'échantillons. À chaque étage, des échantillons peuvent être ajoutés. Ces étages peuvent également comporter une structure mécanique qui permet une distribution homogène et un(e) déplacement/rotation constant(e) des échantillons et peut également permettre le déplacement des échantillons d'un étage à l'autre. Il est entendu que, dans le cas de structures de retournement encastrées, telles que des cylindres encastrés, différents gaz d'alimentation peuvent être introduits dans les différentes chambres qui sont définies par les structures encastrées.

[0084] Dans une autre réalisation, le plasma du cylindre est généré par une bobine alimentée en RF qui entoure le cylindre. Ici, en général, la bobine remplace l'électrode 4. Cependant, la configuration présentée n'est pas limitée à une substitution et la bobine et l'électrode peuvent être appliquées en parallèle. En général, toutes les électrodes des autres figures peuvent être remplacées ou combinées par une bobine.

[0085] Dans une autre réalisation, le plasma peut être généré par une pluralité de tiges rotatives alimentées par RF. Les échantillons sont placés sur les tiges qui tournent. Cette rotation imposera également une rotation des échantillons. Les tiges peuvent contenir des rainures qui maintiennent les échantillons en place pendant la rotation. Les tiges peuvent contenir des spirales qui déplacent les échantillons. Il est entendu qu'une grande variété de configurations utilisant des tiges ou des cylindres rotatifs peuvent être utilisées. Par exemple, au moins deux tiges ou cylindres rotatifs qui ne sont pas parallèles peuvent être agencés(ées).

[0086] Il est entendu qu'il n'y a aucune limitation dans les formes ou configurations possibles des moyens de support 2 qui permettent d'assurer un(e) retournement/mélange/rotation des échantillons pendant le processus de revêtement. Pour les moyens de support, toute forme peut être considérée, ainsi que tout matériau ou tout fini de surface. Par exemple, les moyens de support 2 peuvent comprendre des parties de surface revêtues et/ou des surfaces rugueuses et/ou des parties structurées. Il est également entendu que les moyens de support peuvent comprendre des parties qui sont faites de différents matériaux. Par exemple, un support de forme cylindrique 2 peut comprendre une pluralité de parties cylindriques comprenant au moins une partie métallique et une partie diélectrique, comme une partie céramique.

[0087] Dans certaines variantes, lesdits moyens de support 2 peuvent comprendre des actionneurs adressables. Par exemple, un tambour de forme cylindrique peut comprendre une pluralité d'actionneurs piézo ou mems configurés sur sa surface interne de sorte que le mouvement d'actionnement peut être combiné avec le mouvement externe qui actionne le support ou le tambour de manière à améliorer l'efficacité du retournement/du mélange/de la rotation, par exemple en réduisant la probabilité d'adhérence de petits échantillons à des parties du tambour pendant le processus de revêtement.

[0088] Il est généralement entendu que les différentes réalisations de l'invention peuvent être combinées. Par exemple, dans certaines variantes, une électrode en forme d'étoile peut être fournie dans une chambre qui comprend également une électrode en forme d'escalier.

Résultats expérimentaux

[0089] Les Figs 14 a-c illustrent des empilements exemplaires comprenant au moins une couche organique 32 et une couche inorganique 34 réalisés sur différents types de substrats. Les Figs 14a-c ne montrent que des coupes transversales d'échantillons revêtus. Le nombre de piles composées de couches organiques et inorganiques n'est pas limité.

Revendications

1. Réacteur (1) pour revêtir simultanément une pluralité de substrats individuels (3) d'un revêtement multicouche (30) comprenant au moins une couche organique (32) et au moins une couche inorganique (34), dans lequel

ledit réacteur (1) comprend une chambre de dépôt unique dans laquelle des premiers moyens de dépôt et des seconds moyens de dépôt sont agencés pour déposer, lors du fonctionnement du réacteur (1), ladite au moins une couche organique (32) et ladite au moins une couche inorganique (34) respectivement, ledit réacteur (1) comprenant en outre des moyens de support (2) pour les substrats individuels (3), lesdits moyens de support (2) étant configurés pour retourner chaque substrat individuel (3) pendant le dépôt desdites couches organiques (32) et inorganiques (34).

2. Réacteur (1) selon la revendication 1, dans lequel lesdits moyens de support (2) comprennent l'un des éléments suivants : un support vibrant, un moyen de mélange ou un moyen de retournement ou une combinaison de ceux-ci.
3. Réacteur (1) selon la revendication 1 ou 2, dans lequel lesdits premiers moyens de dépôt sont configurés pour effectuer, pendant le fonctionnement du réacteur (1), un processus de dépôt CVD et/ou PECVD.
4. Réacteur (1) selon la revendication 1 ou 2, dans lequel lesdits seconds moyens de dépôt sont configurés pour effectuer, pendant le fonctionnement du réacteur (1), l'un des procédés de dépôt suivants: PECVD, ALD, CVD, par évaporation ou par pulvérisation.
5. Réacteur (1) selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel ledit au moins un revêtement organique (32) est une couche de parylène.
6. Réacteur (1) selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel ledit au moins un revêtement inorganique (34) est une couche choisie dans le groupe constitué par les métaux, les oxydes métalliques, les nitrures métalliques, les carbures métalliques, les oxynitrures métalliques, les oxyborures métalliques, les semi-conducteurs, les oxydes semi-conducteurs, les nitrures semi-conducteurs, les carbures semi-conducteurs, les oxynitrures semi-conducteurs, et des combinaisons de ceux-ci.
7. Réacteur (1) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les seconds moyens de dépôt sont configurés pour réaliser un procédé PECVD et comprennent au moins une électrode (4) agencée à une distance comprise entre 0 mm et 40 cm des moyens de support (2).
8. Réacteur (1) selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel lesdits moyens de support (2) comprennent un cylindre de retournement (22, 24, 28, 34, 38, 76) à l'intérieur duquel ladite pluralité de substrats (3) peut être contenue.
9. Réacteur (1) selon la revendication 8, dans lequel ledit cylindre (22) comprend au moins une partie faite d'un matériau diélectrique non conducteur de l'électricité.
10. Réacteur (1) selon la revendication 8 ou 9, dans lequel une électrode de masse électrique (23) est agencée à l'intérieur dudit cylindre (22), ledit cylindre (22) étant réalisé au moins partiellement en un matériau électriquement conducteur qui est ladite électrode (4).
11. Réacteur (1) selon la revendication 8 ou 9, dans lequel une électrode électriquement conductrice (26) est agencée à l'intérieur dudit cylindre (22), réalisé au moins partiellement en un matériau électriquement conducteur, ledit cylindre (22) étant configuré comme une électrode de masse électrique.
12. Réacteur (1) selon l'une des revendications 1 à 11, dans lequel lesdits moyens de support (2) sont agencés dans une chambre comprenant un premier réseau (50) d'électrodes (52) mises à la terre et un second réseau (60) d'électrodes (62) alimentées électriquement, ledit premier réseau (50) et ledit deuxième réseau (60) d'électrodes (52, 62) étant agencés dans une configuration cylindrique et dans laquelle les différentes électrodes (52, 62) sont agencées sensiblement parallèlement.
13. Réacteur (1) selon la revendication 12, dans lequel ledit premier (50) et ledit second (60) réseau d'électrodes (52, 62) sont agencés sur la surface intérieure ou dans la paroi d'un tambour fait d'un matériau diélectrique non conducteur, de préférence du quartz, ou du verre.
14. Réacteur (1) selon l'une des revendications 2 à 13, dans lequel lesdits moyens de support (2) comprennent une électrode en forme d'étoile à l'intérieur dudit moyen de retournement.
15. Réacteur (1) selon l'une des revendications 2 à 14, dans lequel ledit moyen de retournement comprend au moins un ensemble de gradins.
16. Réacteur (1) selon l'une des revendications 1 à 15, dans lequel lesdits moyens de support (2) comprennent au moins un bol vibrant d'alimentation.
17. Réacteur (1) selon l'une des revendications 8 à 16, comprenant au moins une bobine électrique agencée à l'intérieur et/ou à l'extérieur desdits moyens de support (2), ladite bobine électrique étant alimentée en radio-fréquences (RF) pour générer un plasma à l'intérieur dudit cylindre (22).

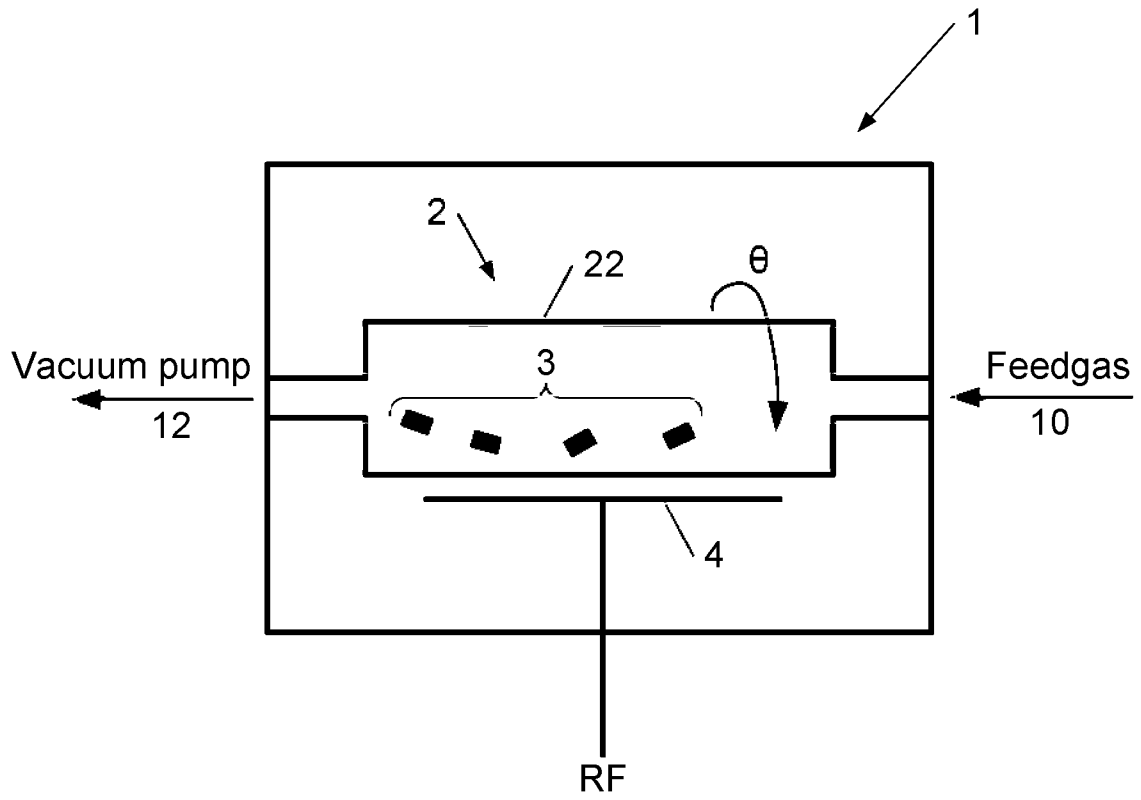


Fig. 1

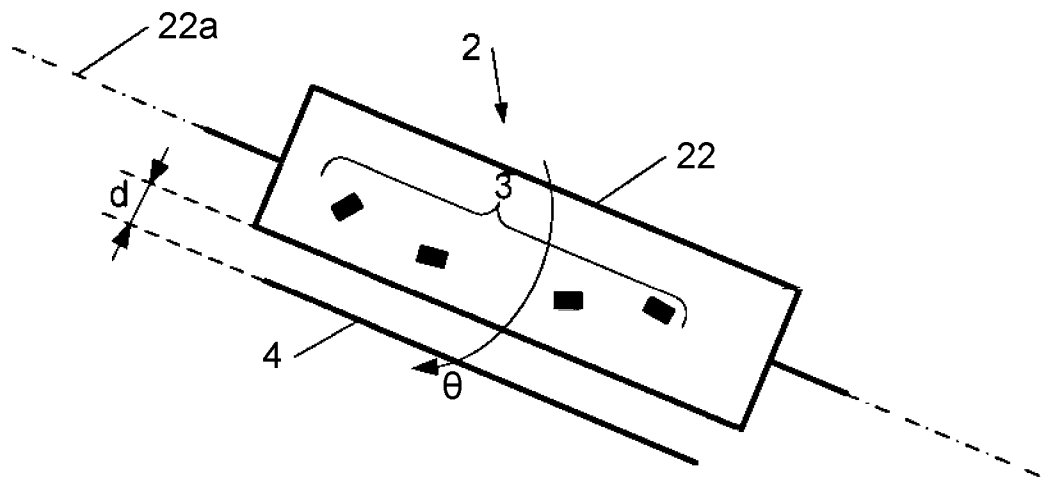


Fig. 2

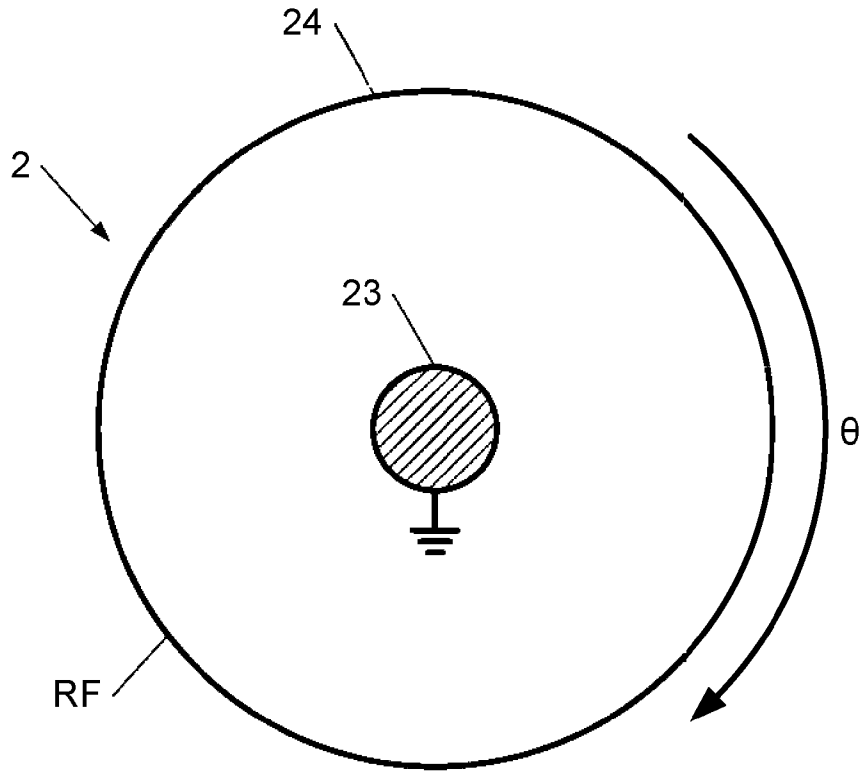


Fig. 3

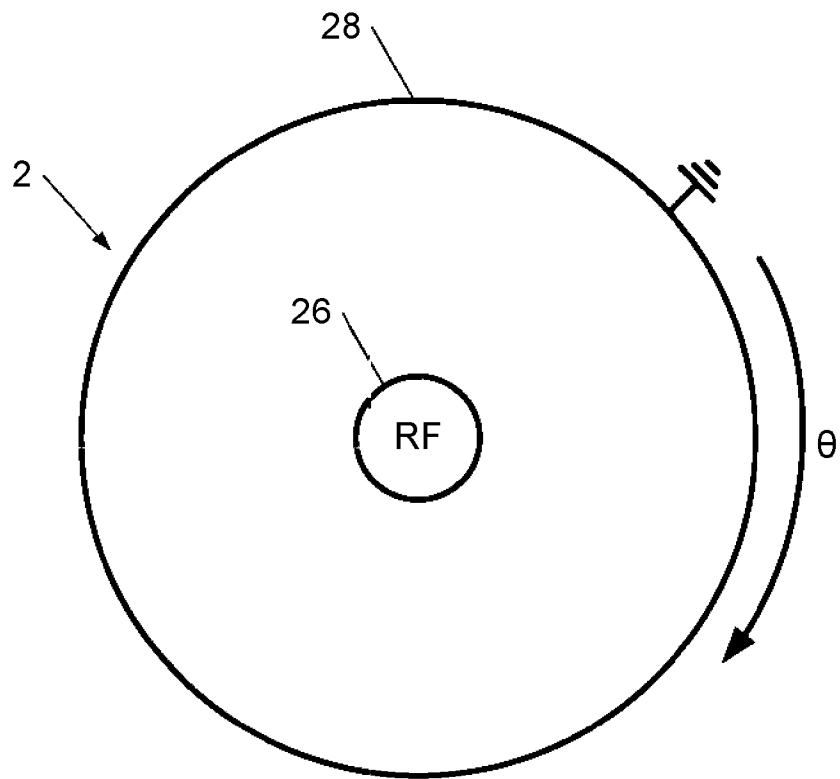


Fig. 4

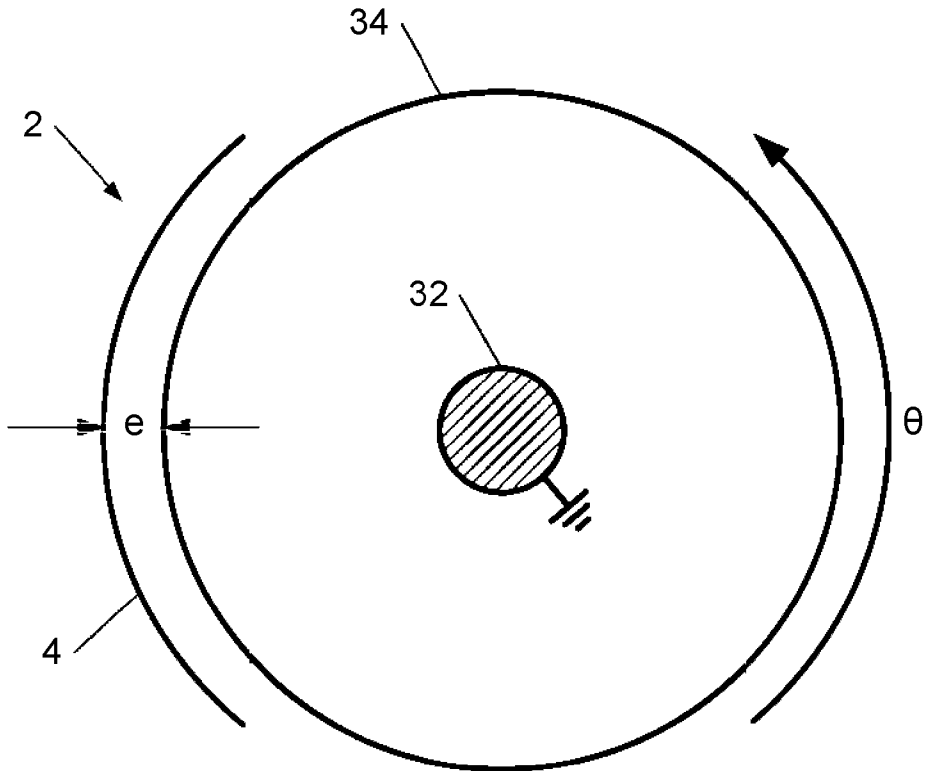


Fig. 5

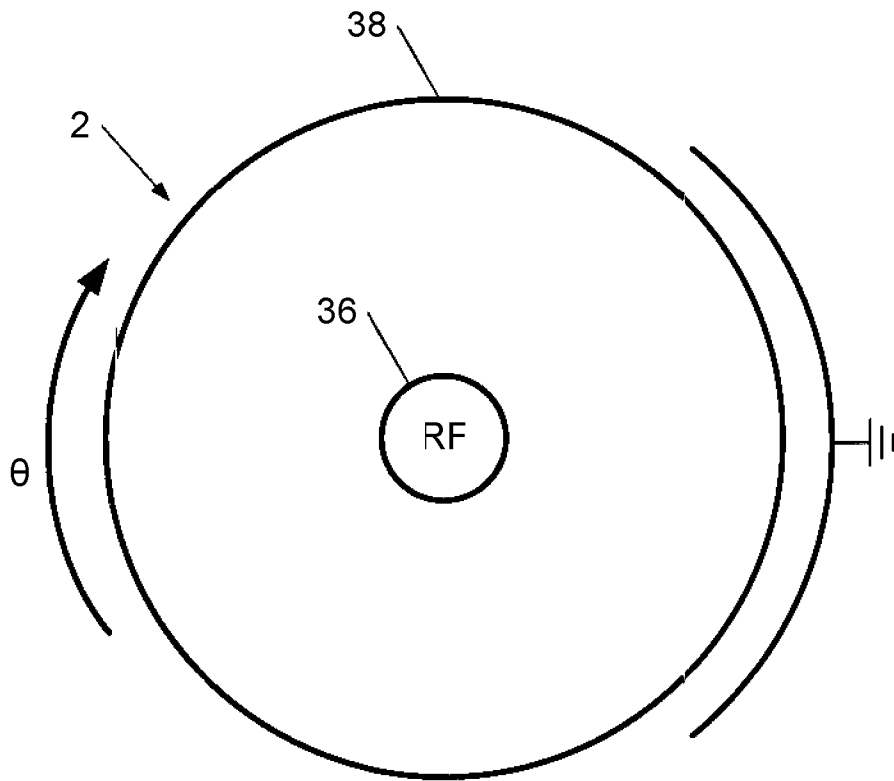


Fig. 6

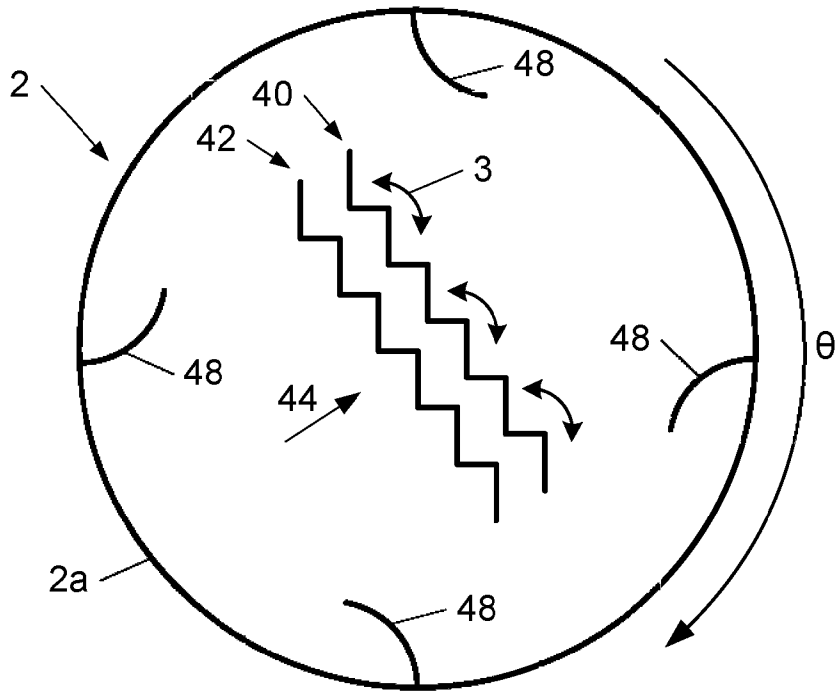


Fig. 7

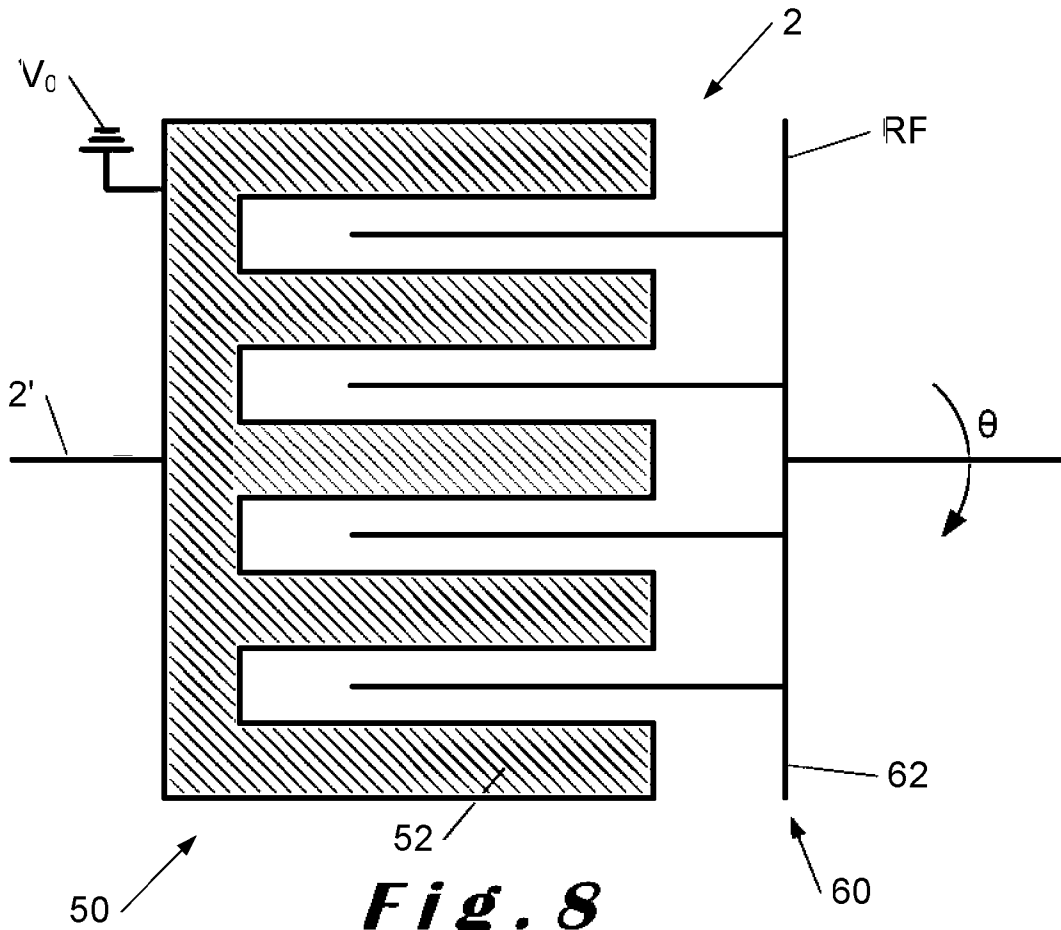
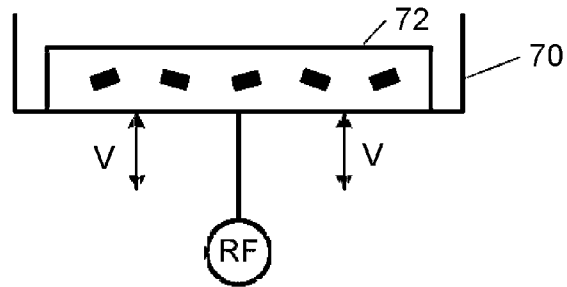
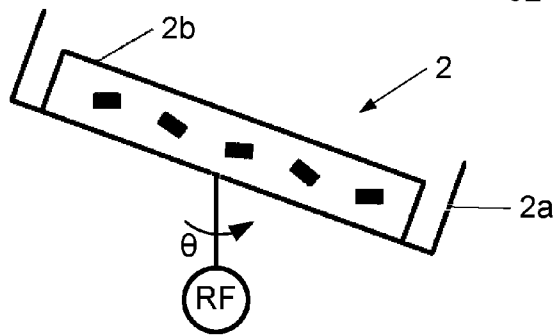
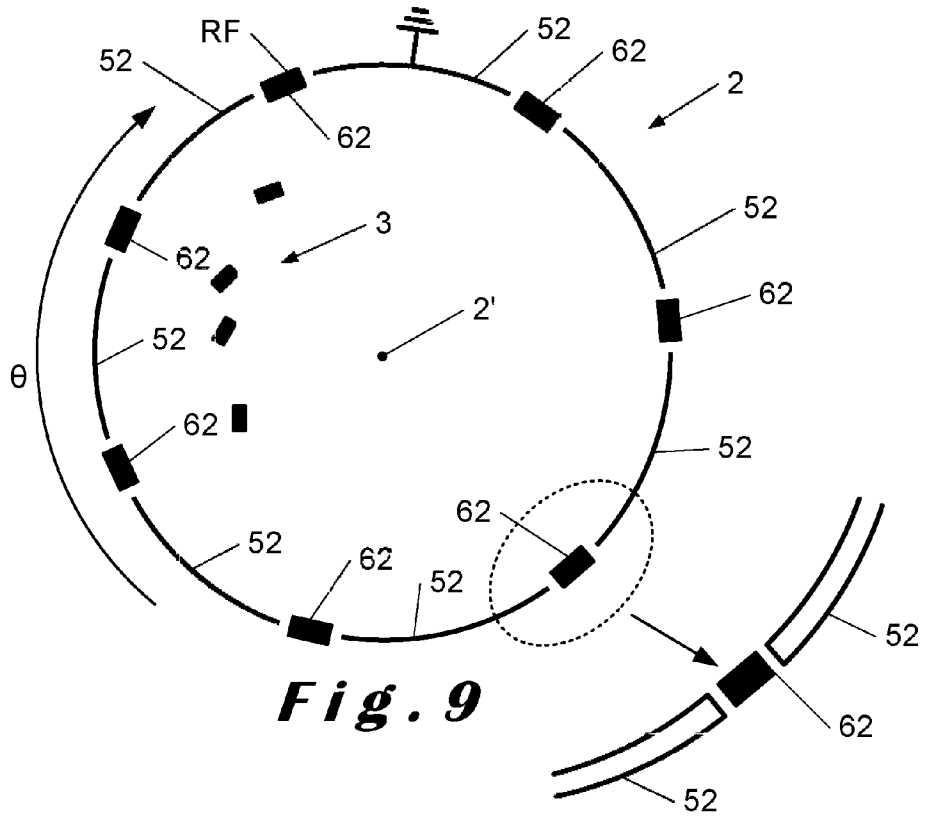


Fig. 8



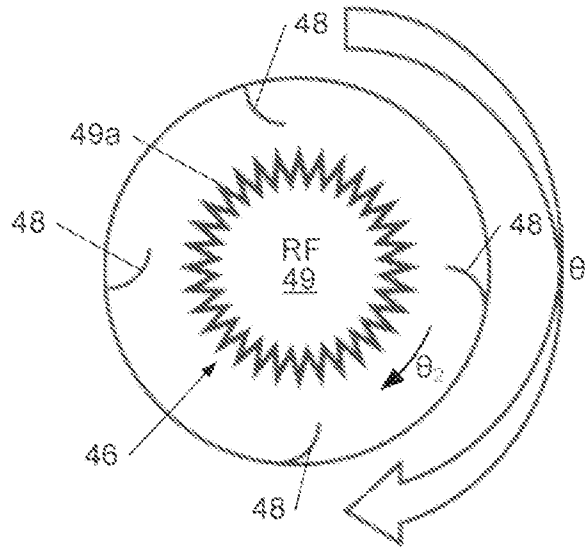


Fig. 12

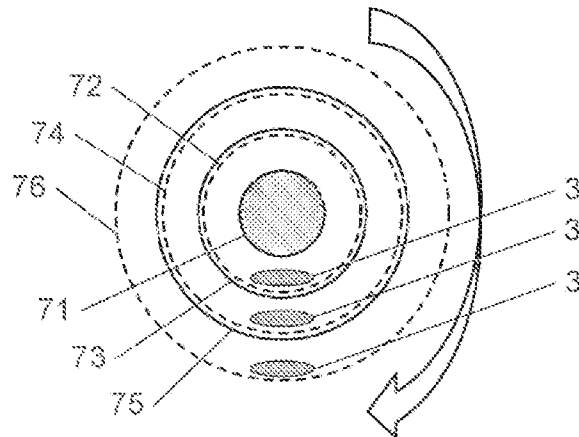


Fig. 13

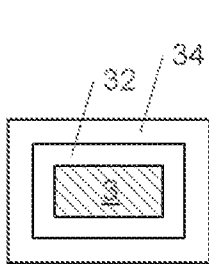


Fig. 14a

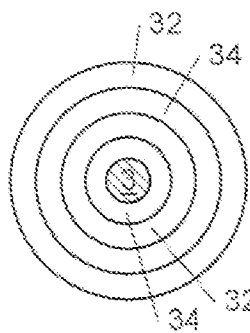


Fig. 14b

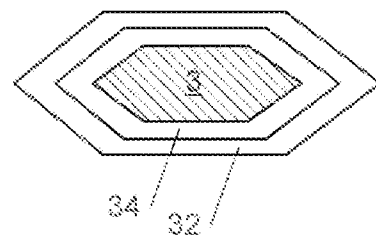


Fig. 14c