



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
13.01.2010 Bulletin 2010/02

(51) Int Cl.:
F04B 19/00 (2006.01) B01L 3/00 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **09164657.0**

(22) Date de dépôt: **06.07.2009**

(84) Etats contractants désignés:
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 SE SI SK SM TR

• **Campagnolo, Raymond**
38100, Grenoble (FR)

(30) Priorité: **07.07.2008 FR 0854597**

(71) Demandeur: **Commissariat à l'Energie Atomique**
75015 Paris (FR)

(74) Mandataire: **Augarde, Eric**
Brevalex
56 Boulevard de l'Embouchure,
Bât. B
B.P. 27519
31075 Toulouse Cedex 2 (FR)

(72) Inventeurs:
• **Roux, Jean-Maxime**
38000, Grenoble (FR)

(54) **Dispositif microfluidique de déplacement contrôlé de liquide**

(57) L'invention concerne un dispositif microfluidique de déplacement contrôlé de liquide.

Le dispositif de déplacement contrôlé selon l'invention comporte un microcanal (10) rempli d'un premier liquide (F_1) et d'un fluide (F_2) formant une première interface (I_1) avec le premier liquide (F_1), ou formant une

première interface (I_1) avec le premier liquide (F_1) et une seconde interface (I_3) avec un second liquide (F_3) situé en aval dudit fluide (F_2), et des moyens de déplacement du premier liquide (F_1) par électromouillage.

Un système d'asservissement est prévu pour contrôler le déplacement du premier liquide (F_1) en fonction de la position d'une interface (I_1, I_3) du fluide (F_2).

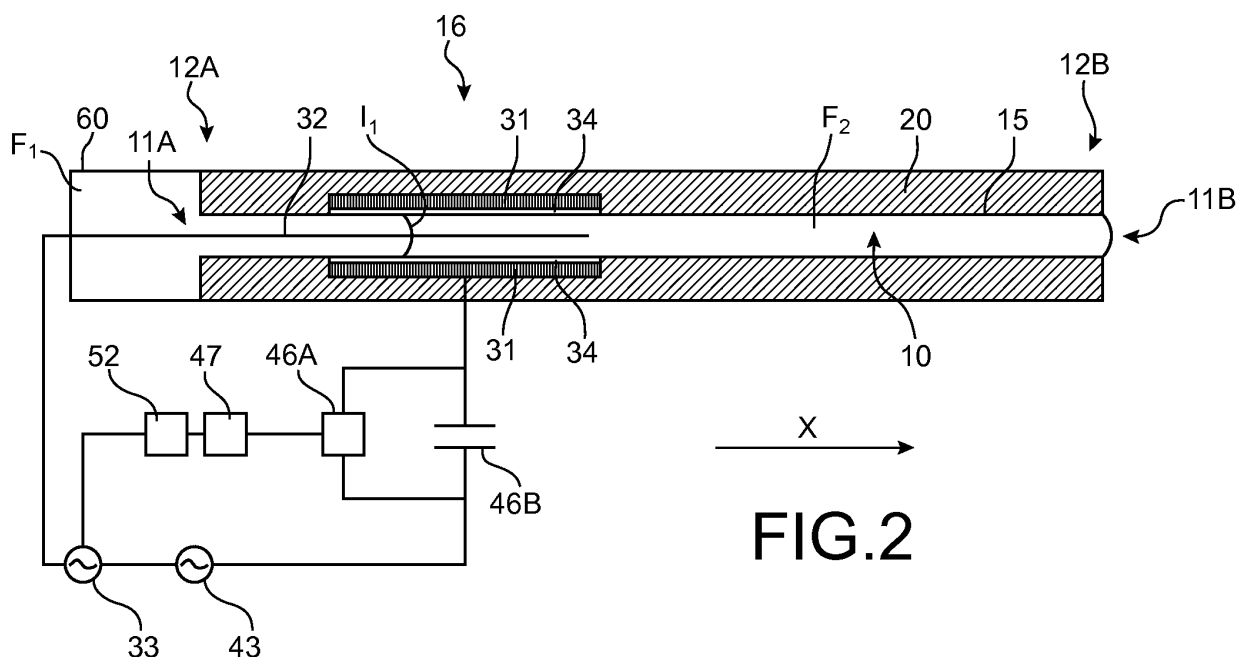


FIG.2

Description

DOMAINE TECHNIQUE

[0001] La présente invention se rapporte au domaine général de la microfluidique et concerne un dispositif de déplacement de liquide en microcanal.

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

[0002] La microfluidique est un domaine technique en pleine expansion depuis une dizaine d'années, du fait notamment de la réalisation et du développement de systèmes d'analyses chimiques ou biologiques, appelés laboratoires sur puce (*lab-on-chip*).

[0003] En effet, la microfluidique permet de manipuler efficacement de faibles volumes de liquide. Il est possible de réaliser sur un même support toutes les étapes d'analyse d'un échantillon liquide en un temps relativement court et en utilisant de petits volumes d'échantillon et de réactifs.

[0004] La manipulation de faibles volumes de liquide peut nécessiter également, selon les applications, de déplacer un gaz ou un liquide dans un microcanal.

[0005] Ainsi, le document US-A1-2006/0083473 décrit un dispositif de déplacement de liquide en microcanal, par électromouillage, ou plus précisément par électromouillage sur diélectrique.

[0006] Le fonctionnement est le suivant, en référence à la figure 1 qui représente schématiquement le dispositif selon l'art antérieur suivant une coupe longitudinale.

[0007] Le dispositif comporte un microcanal A10 formé dans un substrat (non représenté) dans lequel est situé un bouchon de liquide conducteur AF₁ entouré d'un fluide diélectrique AF₂ de manière à former une interface amont Al_{1,R} et une interface aval Al_{1,A}.

[0008] On appelle bouchon de liquide une goutte, contenue dans un canal ou un tube, qui présente une longueur sensiblement plus importante que le diamètre. Les termes amont et aval sont définis en référence à la direction X parallèle à l'axe du microcanal A10.

[0009] La ligne triple des interfaces Al_{1,R} et Al_{1,A} est contenue dans un plan sensiblement transversal au microcanal A10.

[0010] Deux électrodes d'activation A31 sont disposées chacune sur une face du microcanal A10 en regard l'une de l'autre. Une couche diélectrique A34 recouvre les électrodes A31 de manière à isoler électriquement celles-ci du liquide AF₁. L'interface aval Al_{1,A} est située au niveau des électrodes A31.

[0011] Une électrode formant contre-électrode A32 est disposée sur une face du microcanal en amont de l'interface Al_{1,A} et est en contact avec le liquide conducteur AF₁.

[0012] Les électrodes A31 et A32 sont connectées à une source de tension continue A33.

[0013] Lorsque la source de tension A33 est activée, la couche diélectrique A34 entre les électrodes A31 et le

liquide sous tension AF₁ agit comme une capacité.

[0014] Les forces électrostatiques appliquées, dites forces d'électromouillage, permettent le déplacement du liquide AF₁.

[0015] Le liquide AF₁ peut alors être déplacé suivant la direction X sur la couche diélectrique A34 par activation de la source de tension A33. Le fluide AF₂ est alors « poussé » par le liquide AF₁ dans la même direction.

[0016] Le dispositif de déplacement de liquide selon l'art antérieur présente cependant l'inconvénient de ne pas permettre le contrôle précis du déplacement du liquide en fonction de la position de l'interface Al_{1,A}.

[0017] En effet, lorsque la source de tension A33 est activée, le liquide AF₁ se déplace à vitesse constante jusqu'à recouvrir entièrement la couche diélectrique A34, sans qu'il soit possible de connaître la position instantanée de l'interface Al_{1,A}.

[0018] Le dispositif ne permet pas d'arrêter le mouvement du liquide AF₁ à un instant précis ou pour une position de l'interface Al_{1,A} déterminée, puisque la position précise de l'interface n'est pas connue.

[0019] De plus, le dispositif selon l'art antérieur ne permet pas d'augmenter ou de diminuer la vitesse de déplacement du liquide AF₁ en fonction de la position de l'interface Al_{1,A}.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

[0020] Le but de la présente invention est de remédier aux inconvénients précités et notamment de proposer un dispositif de déplacement contrôlé de liquide pour lequel le déplacement du liquide peut être commandé en fonction de la position d'une interface détectée.

[0021] Pour ce faire, l'invention a pour objet un dispositif de déplacement contrôlé de liquide comportant un substrat dans lequel est formé un microcanal, ledit dispositif comprenant :

- un premier liquide électriquement conducteur remplissant partiellement le microcanal dans le sens longitudinal du microcanal,
- un fluide diélectrique situé en aval dudit premier liquide dans le sens longitudinal du microcanal, formant une première interface avec le premier liquide, ou formant une première interface avec le premier liquide et une seconde interface avec un second liquide situé en aval dudit fluide, et
- des moyens de déplacement par électromouillage du premier liquide.

[0022] Selon l'invention, le dispositif de déplacement contrôlé comprend un dispositif de mesure capacitive, pour commander le déplacement du premier liquide en fonction de la valeur de la capacité mesurée.

[0023] Avantageusement, les moyens de déplacement par électromouillage comprennent :

- au moins une électrode de contrôle disposée sur au

moins une partie de la paroi du microcanal définissant une portion de contrôle, et recouverte d'une couche diélectrique, ladite première interface étant située dans ladite portion de contrôle,

- un moyen électriquement conducteur formant contre-électrode de contrôle, en contact avec le premier liquide, et
- un premier générateur de tension pour appliquer une différence de potentiel entre ladite électrode et ladite contre-électrode,

ledit dispositif de mesure capacitive étant connecté audit premier générateur de tension pour faire varier la valeur de la différence de potentiel appliquée en fonction de la valeur de la capacité mesurée.

[0024] Selon un premier mode de réalisation de l'invention, le dispositif de mesure capacitive est adapté à déterminer la position de la première interface et comprend :

- ladite électrode de contrôle formant électrode de détection,
- ladite contre-électrode de contrôle formant contre-électrode de détection,
- un second générateur de tension pour appliquer une différence de potentiel entre ladite électrode de détection et ladite contre-électrode de détection,
- des moyens de mesure de la capacité formée entre ladite électrode de détection et ladite contre-électrode de détection.

[0025] Selon un second mode de réalisation de l'invention, le dispositif de mesure capacitive est adapté à déterminer la position de la seconde interface et comprend :

- au moins une électrode de détection disposée sur au moins une partie de la paroi du microcanal définissant une portion de détection située en aval de ladite portion de contrôle, ladite seconde interface étant située dans ladite portion de détection,
- un moyen électriquement conducteur formant contre-électrode de détection, en contact avec le second liquide,
- un second générateur de tension pour appliquer une différence de potentiel entre ladite électrode de détection et ladite contre-électrode de détection,
- des moyens de mesure de la capacité formée entre ladite électrode de détection et ladite contre-électrode de détection.

[0026] De préférence, le dispositif de mesure capacitive comprend des moyens de calcul, connectés aux moyens de mesure, pour déterminer la position de l'interface en fonction de la valeur de la capacité mesurée.

[0027] De préférence, le dispositif de mesure capacitive comprend des moyens de commande, connectés aux moyens de calcul et au premier générateur de ten-

sion, pour commander la valeur de la différence de potentiel appliquée par celui-ci.

[0028] Selon une variante du second mode de réalisation, le second liquide étant électriquement conducteur, une couche d'un matériau diélectrique recouvre l'électrode de détection.

[0029] Selon une autre variante du second mode de réalisation, le second liquide est diélectrique, dont la valeur de la permittivité est différente de celle du fluide. Dans ce cas, il est préférable que la différence de permittivité entre ledit second liquide et ledit fluide soit sensiblement supérieure ou égale à 50%.

[0030] Avantageusement, les moyens de mesure comprennent une capacité, dite capacité de référence, connectée en série avec l'électrode de détection, et un voltmètre pour mesurer la tension aux bornes de ladite capacité de référence.

[0031] Alternativement, les moyens de mesure peuvent comprendre un analyseur d'impédance.

[0032] Dans un mode de réalisation de l'invention, ladite électrode de détection peut comprendre une pluralité d'électrodes de détection élémentaires.

[0033] Dans ce cas, ledit substrat est avantageusement porté à un potentiel déterminé par un moyen électriquement conducteur.

[0034] De préférence, ledit moyen portant le substrat à un potentiel déterminé comprend une électrode disposée sur une face externe du substrat et s'étendant sur toute la longueur de l'électrode de détection.

[0035] D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront dans la description détaillée non limitative ci-dessous.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

[0036] On décrira à présent, à titre d'exemples non limitatifs, des modes de réalisation de l'invention, en se référant aux dessins annexés, dans lesquels :

La figure 1 est une représentation schématique en coupe longitudinale d'un dispositif de déplacement de liquide selon l'art antérieur ;

La figure 2 est une représentation schématique en coupe longitudinale d'un dispositif de déplacement contrôlé de liquide selon un premier mode de réalisation de l'invention, pour lequel l'interface détectée correspond à celle soumise aux forces d'électromouillage ;

La figure 3 est une représentation schématique en coupe longitudinale d'un dispositif de déplacement contrôlé de liquide selon une alternative au premier mode de réalisation de l'invention ;

La figure 4 est une représentation schématique en coupe longitudinale d'un dispositif de déplacement contrôlé de liquide selon un second mode de réalisation de l'invention, pour lequel l'interface détectée est différente de celle soumise aux forces d'électromouillage ;

La figure 5 est une représentation schématique en coupe longitudinale d'un dispositif de déplacement contrôlé de liquide selon une alternative au second mode de réalisation de l'invention.

La figure 6 est une représentation schématique en coupe longitudinale d'un dispositif de déplacement contrôlé de liquide selon une autre alternative au second mode de réalisation de l'invention.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ D'UN MODE DE RÉALISATION PRÉFÉRÉ

[0037] Sur la figure 2 est représenté schématiquement en coupe longitudinale un dispositif microfluidique de déplacement contrôlé de liquide selon un premier mode de réalisation de l'invention.

[0038] Le dispositif comprend un microcanal 10 formé dans un substrat 20. Le microcanal 10 peut comporter une première extrémité 12A comprenant une première ouverture 11A et une seconde extrémité 12B opposée à la première extrémité 12A suivant le sens longitudinal du microcanal 10 et comprenant une seconde ouverture 11B.

[0039] Le microcanal 10 peut présenter une section transversale polygonale convexe, par exemple carrée, rectangulaire, hexagonale. On considère ici qu'une section carrée est un cas particulier de la forme rectangulaire plus générale. Il peut également présenter une section transversale circulaire.

[0040] Le terme microcanal est pris dans un sens général et comprend notamment le cas particulier du microtube dont la section est circulaire.

[0041] Dans toute la description qui va suivre, les termes hauteur et longueur désignent la taille du microcanal 10 ou d'une portion du microcanal 10 selon les directions transversale et longitudinale, respectivement. Ainsi, pour un microcanal de section rectangulaire, la hauteur correspond à la distance entre les parois inférieure et supérieure du microcanal, et pour un microcanal de section circulaire, la hauteur désigne le diamètre de celui-ci.

[0042] De plus, on notera que les verbes « recouvrir », « être situé sur » et « être disposé sur » n'impliquent pas ici nécessairement de contact direct. Ainsi, un matériau peut être disposé sur une paroi sans qu'il y ait de contact direct entre le matériau et la paroi. De même, un liquide peut recouvrir une paroi sans qu'il y ait contact direct. Dans ces deux exemples, un matériau intermédiaire peut être présent. Le contact direct est assuré lorsque le qualificatif « directement » est utilisé avec les verbes précédemment cités.

[0043] Un premier liquide F_1 remplit partiellement le microcanal 10, par exemple à partir de la première extrémité 12A.

[0044] Un réservoir 60 contenant le liquide F_1 peut être connecté au microcanal 10 par l'intermédiaire de l'ouverture 11A de l'extrémité 12A, et est destiné à alimenter le microcanal 10 en liquide piston F_1 .

[0045] Un fluide diélectrique F_2 remplit le microcanal

10 en aval du premier liquide F_1 et forme avec ce dernier une interface I_1 .

[0046] La ligne triple de l'interface I_1 est contenue dans un plan sensiblement transversal au microcanal 10.

[0047] Le liquide piston F_1 est électriquement conducteur et peut être une solution aqueuse chargée en ions, ou du mercure.

[0048] Le fluide F_2 est électriquement isolant. Il peut être un gaz, par exemple de l'air, ou un liquide comme un alcane, par exemple de l'hexadécane, ou une huile silicone. D'une façon générale, la viscosité dynamique du fluide F_2 est de préférence faible, par exemple comprise entre 5cp et 10cp environ.

[0049] Le premier liquide F_1 et le fluide F_2 sont non miscibles.

[0050] Une électrode d'activation 31 est disposée directement sur au moins une face de la paroi interne 15 du substrat 20, et s'étend dans le sens longitudinal du microcanal 10. Elle est dite enterrée parce qu'elle est isolée de tout contact par le liquide F_1 par une couche mince diélectrique 34, et s'étend sur une partie ou sur la totalité de la surface du contour du microcanal 10.

[0051] Une contre-électrode 32 est disposée dans le microcanal 10 sous forme de caténaire, c'est-à-dire un fil électriquement conducteur, par exemple en Au. Cette électrode peut être également un fil ou une électrode planaire disposée sur une face du microcanal 10 (ce dernier cas est décrit plus loin).

[0052] De préférence, la contre-électrode 32 s'étend dans le microcanal 10 en vis-à-vis de l'électrode 31. Elle peut cependant être en contact avec le liquide F_1 en amont de l'électrode 31, par exemple au niveau du réservoir 60.

[0053] Une source de tension 33, de préférence alternative, est connectée à l'électrode 31 et à la contre-électrode 32.

[0054] Lorsque la tension de polarisation est alternative, le liquide se comporte comme un conducteur lorsque la fréquence de la tension de polarisation est sensiblement inférieure à une fréquence de coupure, cette dernière, dépendant notamment de la conductivité électrique du liquide, est typiquement de l'ordre de quelques dizaines de kilohertz (Voir par exemple l'article de Mugele et Baret intitulé « Electrowetting: from basics to applications », J. Phys. Condens. Matter, 17 (2005), R705-R774). D'autre part, la fréquence est sensiblement supérieure à la fréquence permettant d'excéder le temps de réponse hydrodynamique du liquide F_1 , qui dépend des paramètres physiques de la goutte comme la tension de surface, la viscosité ou la taille de la goutte, et qui est de l'ordre de quelques centaines de Hertz. Aussi, la fréquence est, de préférence, comprise entre 100Hz et 10kHz, de préférence de l'ordre de 1kHz.

[0055] Ainsi, la réponse du liquide F_1 dépend de la valeur efficace de la tension appliquée puisque l'angle de contact dépend de la tension en U^2 , selon l'équation bien connue de l'électromouillage sur diélectrique (voir, par exemple, l'article de Berge intitulé « Electrocapillarité

et mouillage de films isolants par l'eau », C.R. Acad. Sci., 317, série 2, 1993, 157-163). La valeur efficace peut varier entre 0V et quelques centaines de volt, par exemple 200V. De préférence, elle est de l'ordre de quelques dizaines de volt.

[0056] Une couche diélectrique 34 et une couche hydrophobe (non représentée) recouvrent directement l'électrode 31. Une couche unique combinant ces deux fonctions peut convenir, par exemple une couche en parylène.

[0057] Le caractère hydrophobe de la couche signifie qu'une interface liquide/fluide placée sur cette couche présente un angle de contact supérieur à 90°.

[0058] La longueur de l'électrode 31 dans le sens longitudinal du microcanal 10 définit une portion de contrôle 16. L'interface I_1 est située dans la portion de contrôle 16.

[0059] Le microcanal présente une longueur comprise entre 100 μ m et 500mm, de préférence comprise entre 300 μ m et 100mm.

[0060] La hauteur ou le diamètre du microcanal 10 est typiquement compris entre 10 μ m et 200 μ m, et de préférence entre 20 μ m et 100 μ m.

[0061] Le réservoir peut présenter une contenance comprise entre 1 μ l et 1ml.

[0062] Le substrat 20 peut être en silicium ou en verre, ou plexiglas. Dans le cas d'un substrat conducteur ou semi-conducteur, tel que le silicium, sa surface est préalablement oxydée, par exemple par oxydation thermique, ou recouverte d'une couche mince diélectrique, tel Si₃N₄ d'une épaisseur de quelques microns.

[0063] L'électrode 31 est obtenue par dépôt d'une fine couche d'un métal choisi parmi Au, Al, ITO, Pt, Cu, Cr... ou d'un alliage Al-Si... grâce aux microtechnologies classiques de la microélectronique.

[0064] L'épaisseur de l'électrode est comprise entre 10nm et 1 μ m, de préférence 300nm. La longueur de l'électrode 30 est de quelques micromètres à quelques millimètres.

[0065] L'électrode 31 est recouverte d'une couche diélectrique 34 en Si₃N₄, SiO₂... d'épaisseur comprise entre 300nm et 3 μ m, de préférence 1 μ m. La couche diélectrique en SiO₂ peut être obtenue par oxydation thermique.

[0066] Enfin, une couche hydrophobe est déposée sur la couche diélectrique 34 et la paroi du microcanal 10. Pour cela, un dépôt de Téflon réalisé à la tournette ou de SiOC déposé par plasma peut être réalisé. Un dépôt de silane hydrophobe en phase vapeur ou liquide peut être réalisé.

[0067] La contre-électrode 32 est réalisée de façon similaire à l'électrode 31 lorsqu'elle est disposée sur une face du microcanal 10. Dans le cas où la contre-électrode prend la forme d'un fil caténaire, elle est simplement fixée lorsque les étapes décrites ci-dessus sont accomplies.

[0068] Selon le premier mode de réalisation de l'invention, un système d'asservissement est prévu pour contrôler le déplacement du liquide F₁ en fonction de la position de l'interface I_1 .

[0069] Le système d'asservissement comprend un

dispositif de mesure capacitive permettant de déterminer la position de l'interface I_1 et de commander le déplacement du liquide F₁.

[0070] Dans le premier mode de réalisation, le dispositif de mesure capacitive est connecté à l'électrode 31 et à la contre-électrode 32.

[0071] Il comprend une source de tension 43 connectée à la source de tension 33 permettant d'ajouter à la tension alternative générée par la source de tension 33 une composante alternative de fréquence et d'amplitude différentes. De préférence, la fréquence est de l'ordre de dix fois plus élevée, et l'amplitude au moins dix fois plus petite, que celles de la tension de la source de tension 33. Par exemple, si la fréquence de la source de tension 33 est de 1kHz, la fréquence de la source de tension 43 sera préférentiellement de quelques dizaines de kilohertz. L'amplitude de la tension délivrée par la source de tension 43 sera de préférence de l'ordre de quelques volts si l'amplitude de la tension délivrée par la source 33 est de quelques centaines de volts.

[0072] Dans le but de mesurer la capacité formée entre le liquide polarisé F₁ et l'électrode 31, une capacité 46B est mise en série avec l'électrode 32, pour former un diviseur capacitif.

[0073] La valeur de la capacité 46B peut être comprise entre 10pF et 500pF, et vaut de préférence 100pF.

[0074] Un voltmètre 46A mesure la tension aux bornes de la capacité 46B.

[0075] Par ailleurs, il est possible de remplacer la capacité 46B et le voltmètre 46A par un analyseur d'impédance.

[0076] La tension mesurée est transmise à des moyens de calcul 47 de la position de l'interface I_1 .

[0077] A partir de la tension mesurée, les moyens de calcul 47 calculent la valeur de la capacité formée entre le liquide polarisé F₁ et l'électrode 31 et en déduisent le taux de recouvrement de la couche diélectrique 34 par le liquide F₁. A partir du taux de recouvrement et connaissant la position de la couche diélectrique 34, les moyens de calcul 46 déterminent la position de l'interface I_1 dans le microcanal 10.

[0078] La position de l'interface I_1 est ensuite transmise à des moyens de commande 52. Ceux-ci sont connectés à la source de tension 33, et permettent de faire varier la valeur de la tension générée.

[0079] La variation de la tension générée par la source de tension 33 permet de contrôler notamment la vitesse de déplacement du liquide F₁.

[0080] Les moyens de calcul 47 et les moyens de commande 52 sont par exemple disposés sur un circuit imprimé (non représenté).

[0081] Ainsi, le système d'asservissement permet de contrôler le déplacement du liquide F₁ en fonction de la position de l'interface I_1 détectée par mesure capacitive.

[0082] Le fonctionnement du dispositif de déplacement contrôlé de liquide selon le premier mode de réalisation de l'invention est le suivant.

[0083] La source de tension 33 active l'électrode 31 et

permet le déplacement du liquide F_1 .

[0084] L'activation de la source de tension 43 permet de mesurer la capacité formée entre le liquide polarisé F_1 et l'électrode 31. Pour cela, le voltmètre 46A mesure la tension aux bornes de la capacité 46B et envoie le signal mesuré aux moyens de calcul 47.

[0085] Les moyens de calcul 47 de la position de l'interface I_1 permettent d'obtenir de la tension mesurée le taux de recouvrement par le liquide F_1 de la couche diélectrique 34 et en déduisent la position de l'interface I_1 . La position de l'interface I_1 est transmise aux moyens de commande 52.

[0086] En fonction du signal reçu, les moyens de commande 52 déterminent la valeur de la différence de potentiel à appliquer par la source de tension 33, pour faire atteindre une position donnée à l'interface I_1 .

[0087] En fonction de la différence de potentiel appliquée par la source de tension 33, une force d'électromouillage plus ou moins importante est générée au niveau de l'interface I_1 . Son amplitude permet de contrôler notamment la vitesse de déplacement du liquide F_1 .

[0088] La force d'électromouillage provoque ainsi le déplacement du liquide F_1 dans la direction X qui « pousse » dans la même direction le fluide F_2 .

[0089] La figure 3 montre une variante du premier mode de réalisation de l'invention.

[0090] Une matrice d'électrodes 31 (1), 31(2)... est disposée sur une face du microcanal 10.

[0091] La contre-électrode 32 est ici une électrode formée sur une partie de la paroi interne 15 du microcanal 10 en regard de la matrice d'électrode 31. Elle peut toutefois être un fil caténaire (figure 2) ou être directement disposée sur le substrat.

[0092] Des moyens de commutation 36 sont prévus pour activer une électrode 31(i) de la matrice d'électrodes 31. Leur fermeture établit un contact entre l'électrode 31 (i) et les sources de tension 33 et 34. Les moyens de commutation 36 sont commandés par un pilote d'activation (non représenté) commandé par les moyens de commande 52.

[0093] Lorsque l'électrode 31 (i) située à proximité de l'interface I_1 est activée, à l'aide des moyens de commutation 36, la couche diélectrique 34 entre cette électrode activée et le liquide sous tension agit comme une capacité.

[0094] Le liquide F_1 peut être déplacé de proche en proche, sur la surface hydrophobe, par activation successive des électrodes 31 (1), 31 (2)... etc.

[0095] Avantagusement, le substrat 20, dans le cas où il est légèrement conducteur, par exemple en silicium, est porté à un potentiel déterminé. Par exemple, il peut être mis à la masse.

[0096] Pour cela, une électrode (non représentée) sous forme de couche métallique peut être avantagusement formée sur la paroi externe du substrat 20 en vis-à-vis de la matrice d'électrodes 31. Elle peut s'étendre sur toute la longueur de la matrice d'électrodes 31.

[0097] Porter le substrat 20 à un potentiel déterminé

permet d'éviter les perturbations électrostatiques entre les électrodes 31 de la matrice qui peuvent bruite le signal de mesure de la capacité. La mesure de la capacité est alors plus précise, ce qui améliore la précision générale de fonctionnement du système d'asservissement.

[0098] Les figures 4 à 6 sont des représentations schématiques en coupe longitudinale d'un dispositif de déplacement contrôlé de liquide selon un second mode de réalisation de l'invention, pour lequel l'interface détectée est différente de celle soumise aux forces d'électromouillage.

[0099] Selon ce mode de réalisation de l'invention, le système d'asservissement est adapté à contrôler le déplacement du liquide F_1 en fonction de la position d'une interface I_3 .

[0100] Le microcanal 10 comprend un second liquide F_3 qui peut être électriquement conducteur ou diélectrique. Il remplit partiellement le canal dans le sens longitudinal du microcanal 10 et forme avec le fluide F_2 une interface I_3 .

[0101] Ainsi, les liquides F_1 et F_3 sont séparés l'un de l'autre par le fluide F_2 . Le fluide F_2 est non miscible avec le liquide F_3 .

[0102] La ligne triple de l'interface I_3 est contenue dans un plan sensiblement transversal au microcanal 10.

[0103] De la même manière que dans le premier mode de réalisation, le déplacement du liquide F_1 est assuré par l'activation de l'électrode 31 reliée à une source de tension 33.

[0104] Le dispositif de mesure capacitive du système d'asservissement comprend au moins une électrode de détection 41 formée sur la paroi interne 15 du microcanal 10 et s'étend suivant le sens longitudinal du microcanal 10. Elle est dite enterrée et s'étend sur une partie ou sur la totalité du périmètre du microcanal 10.

[0105] La longueur de l'électrode 41 définit une portion de détection 18. L'interface I_3 est située dans la portion de détection 18.

[0106] La contre-électrode de détection 42 est formée sur la paroi interne 15 du microcanal 10 en regard de l'électrode 41. La contre-électrode 42 peut également être directement disposée sur la surface du microcanal, ou être disposée dans le microcanal 10 sous forme d'un fil caténaire, par exemple un fil en Au.

[0107] De préférence, la contre-électrode 42 s'étend dans le microcanal 10 en vis-à-vis de l'électrode 41.

[0108] La source de tension 43 est connectée aux électrodes 41 et 42 pour appliquer une tension alternative selon les mêmes caractéristiques décrites précédemment. La valeur moyenne de la tension est nulle et la tension est faible, par exemple 10 fois inférieure à la tension générée par 33.

[0109] Les figures 4 et 5 montrent un dispositif selon l'invention pour lequel le liquide F_3 est électriquement conducteur.

[0110] En référence à la figure 4, le dispositif de mesure capacitive comprend en outre une couche diélectrique 44 qui recouvre directement l'électrode 41.

[0111] Lorsque la source de tension 43 est activée, la couche diélectrique 44 entre l'électrode 41 et le liquide sous tension F3 agit comme une capacité.

[0112] La valeur de cette capacité peut être déduite de la tension mesurée aux bornes d'une capacité de référence 46B connectée en série à l'électrode 41.

[0113] Les moyens de calcul 47 permettent de déterminer la position de l'interface I₃, à partir de la mesure de tension par le voltmètre 46A aux bornes de la capacité 46B.

[0114] Les moyens de commande 52 commandent la valeur de la tension générée par la source de tension 33 en fonction de la position de l'interface I₃.

[0115] Ainsi, le système d'asservissement permet de contrôler le déplacement du liquide F₁ en fonction de la position de l'interface I₃ déterminée par mesure capacitive.

[0116] En référence à la figure 5, l'électrode 41 peut être remplacée par une matrice d'électrodes 41. Des moyens de commutation 49 peuvent être prévus pour activer l'électrode 41 (i) au niveau de laquelle se situe l'interface I₃. Leur fermeture établit un contact entre l'électrode 41(i) correspondante et la source de tension 43. Les moyens de commutation 49 sont commandés par un pilote d'activation (non représenté).

[0117] Avantagusement, comme décrit précédemment, le substrat 20, dans le cas où il est légèrement conducteur, par exemple en silicium, est porté à un potentiel déterminé. Par exemple, il peut être mis à la masse.

[0118] Pour cela, une électrode (non représentée) sous forme de couche métallique peut être avantagusement formée sur la paroi externe du substrat 20 en vis-à-vis de la matrice d'électrodes 41. Elle peut s'étendre sur toute la longueur de la matrice d'électrodes 41.

[0119] La figure 6 montre un dispositif selon l'invention pour lequel le liquide F₃ est diélectrique et présente une permittivité différente de celle du fluide F₂.

[0120] La couche diélectrique 44 n'est alors plus nécessaire. Lorsque la source de tension 43 est activée, le fluide F₂ et le liquide F₃ forment deux capacités parallèles entre l'électrode 41 et la contre-électrode 42. La valeur de la capacité équivalente varie en fonction de la position de l'interface I₃ entre ces électrodes.

[0121] La valeur de cette capacité équivalente peut être déduite de la tension mesurée aux bornes d'une capacité de référence 46B connectée en série à l'électrode 41.

[0122] Les composants du système d'asservissement ainsi que le fonctionnement restent identiques à ce qui a été décrit précédemment.

[0123] Dans un mode de réalisation supplémentaire de l'invention non représenté, le système d'asservissement peut également être adapté à détecter à la fois la position de l'interface I₁ et celle de l'interface I₃, dans le but d'obtenir une plus grande précision sur la quantité de liquide F₃ déplacé. Cette situation convient particulièrement dans le cas où le fluide F₂ présente une com-

pressibilité qu'il importe d'évaluer en temps réel, ou lorsque les liquides F₁ et F₃ présentent une évaporation non contrôlée.

Revendications

1. Dispositif de déplacement contrôlé de liquide, comportant un substrat (20) dans lequel est formé un microcanal (10), ledit dispositif comprenant :

- un premier liquide (F₁) électriquement conducteur remplissant partiellement le microcanal (10) dans le sens longitudinal du microcanal (10),
- un fluide diélectrique (F₂) situé en aval dudit premier liquide (F₁) dans le sens longitudinal du microcanal (10), formant une première interface (I₁) avec le premier liquide (F₁), ou formant une première interface (I₁) avec le premier liquide (F₁) et une seconde interface (I₃) avec un second liquide (F₃) situé en aval dudit fluide (F₂), et
- des moyens de déplacement par électromouillage du premier liquide (F₁),

caractérisé en ce que le dispositif de déplacement contrôlé comprend un dispositif de mesure capacitive, pour commander le déplacement du premier liquide (F₁) en fonction de la valeur de la capacité mesurée.

2. Dispositif de déplacement contrôlé de liquide selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** lesdits moyens de déplacement par électromouillage comprennent :

- au moins une électrode de contrôle (31) disposée sur au moins une partie de la paroi du microcanal (10) définissant une portion de contrôle (16), et recouverte d'une couche diélectrique (34), ladite première interface (I₁) étant située dans ladite portion de contrôle (16),
- un moyen électriquement conducteur (32) formant contre-électrode de contrôle, en contact avec le premier liquide (F₁), et
- un premier générateur de tension (33) pour appliquer une différence de potentiel entre ladite électrode (31) et ladite contre-électrode (32),

ledit dispositif de mesure capacitive étant connecté audit premier générateur de tension (33) pour faire varier la valeur de la différence de potentiel appliquée en fonction de la valeur de la capacité mesurée.

3. Dispositif de déplacement contrôlé de liquide selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** le dispositif de mesure capacitive est adapté à déterminer la position de la première interface (I₁), et comprend :

- ladite électrode de contrôle (31) formant électrode de détection,
 - ladite contre-électrode de contrôle (32) formant contre-électrode de détection,
 - un second générateur de tension (43) pour appliquer une différence de potentiel entre ladite électrode de détection (31) et ladite contre-électrode de détection (32),
 - des moyens de mesure (46A, 46B) de la capacité formée entre ladite électrode de détection (31) et ladite contre-électrode de détection (32).
4. Dispositif de déplacement contrôlé de liquide selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** le dispositif de mesure capacitive est adapté à déterminer la position de la seconde interface (I_3), et comprend :
- au moins une électrode de détection (41) disposée sur au moins une partie de la paroi du microcanal (10) définissant une portion de détection (18) située en aval de ladite portion de contrôle (16), ladite seconde interface (I_1) étant située dans ladite portion de détection (18),
 - un moyen électriquement conducteur (32) formant contre-électrode de détection, en contact avec le second liquide (F_3),
 - un second générateur de tension (43) pour appliquer une différence de potentiel entre ladite électrode de détection (41) et ladite contre-électrode de détection (42),
 - des moyens de mesure (46A, 46B) de la capacité formée entre ladite électrode de détection (41) et ladite contre-électrode de détection (42).
5. Dispositif de déplacement contrôlé de liquide selon la revendication 3 ou 4, **caractérisé en ce que** le dispositif de mesure capacitive comprend des moyens de calcul (47), connectés aux moyens de mesure (46A, 46B), pour déterminer la position de l'interface (I_1 , I_3) en fonction de la valeur de la capacité mesurée.
6. Dispositif de déplacement contrôlé de liquide selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** le dispositif de mesure capacitive comprend des moyens de commande (52), connectés aux moyens de calcul (47) et au premier générateur de tension (33), pour commander la valeur de la différence de potentiel appliquée par celui-ci.
7. Dispositif de déplacement contrôlé de liquide selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, **caractérisé en ce que**, le second liquide (F_3) étant électriquement conducteur, une couche d'un matériau diélectrique (44) recouvre l'électrode de détection (41).
8. Dispositif de déplacement contrôlé de liquide selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, **caractérisé en ce que** le second liquide (F_3) est diélectrique, dont la valeur de la permittivité est différente de celle du fluide (F_2).
9. Dispositif de déplacement contrôlé de liquide selon l'une quelconque des revendications 3 à 8, **caractérisé en ce que** les moyens de mesure (46A, 46B) comprennent une capacité (46B) connectée en série avec l'électrode de détection (31, 41), et un voltmètre (46A) pour mesurer la tension aux bornes de ladite capacité (46B).
10. Dispositif de déplacement contrôlé de liquide selon l'une quelconque des revendications 3 à 8, **caractérisé en ce que** les moyens de mesure (46A, 46B) comprennent un analyseur d'impédance.
11. Dispositif de déplacement contrôlé de liquide selon l'une quelconque des revendications 3 à 10, **caractérisé en ce que** ladite électrode de détection comprend une pluralité d'électrodes de détection élémentaires (31, 41).
12. Dispositif de déplacement contrôlé de liquide selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** ledit substrat (20) est porté à un potentiel déterminé par un moyen électriquement conducteur.
13. Dispositif de déplacement contrôlé de liquide selon la revendication 12, **caractérisé en ce que** ledit moyen portant le substrat (20) à un potentiel déterminé comprend une électrode disposée sur une face externe du substrat (20) et s'étendant sur toute la longueur de l'électrode de détection (31, 41).

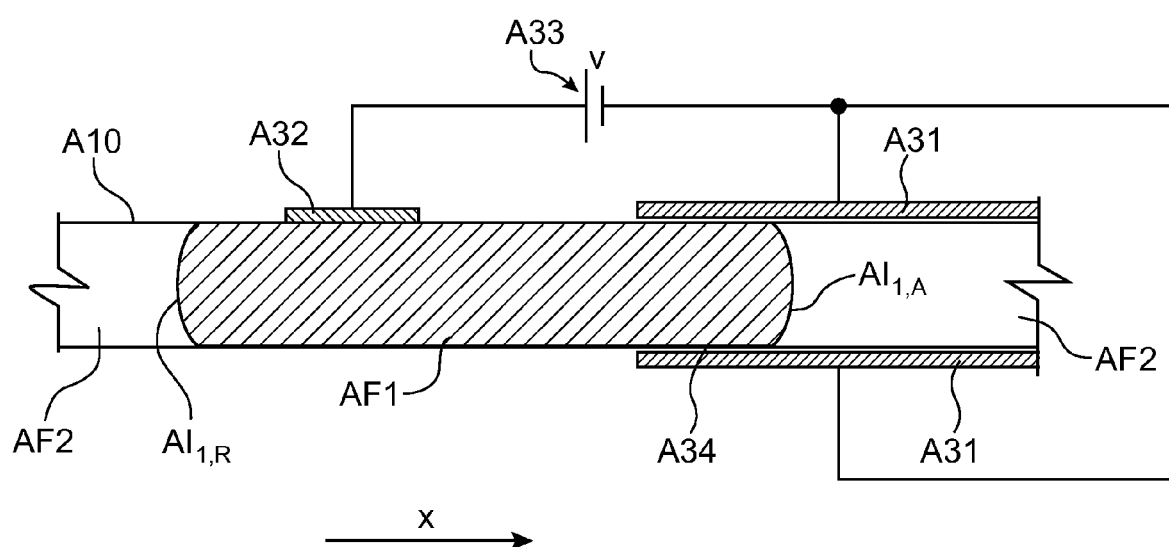
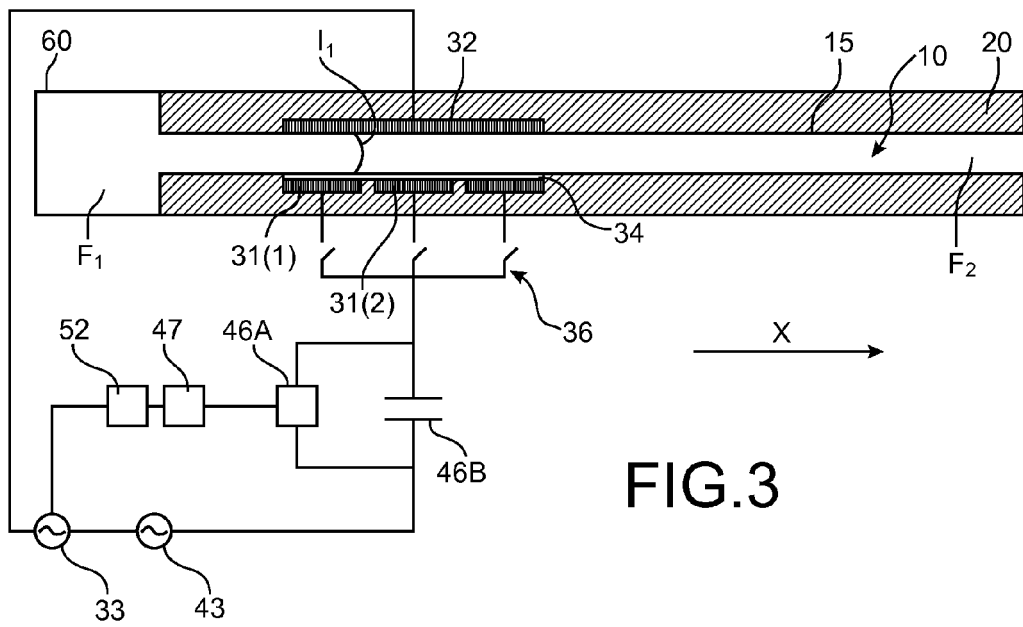
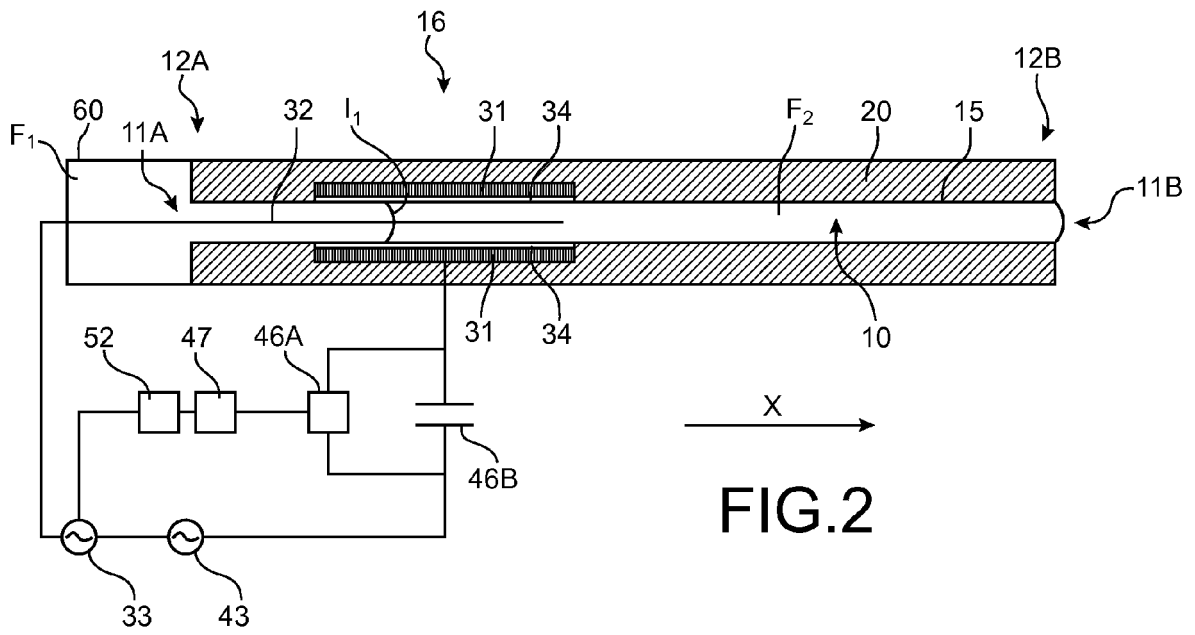


FIG.1



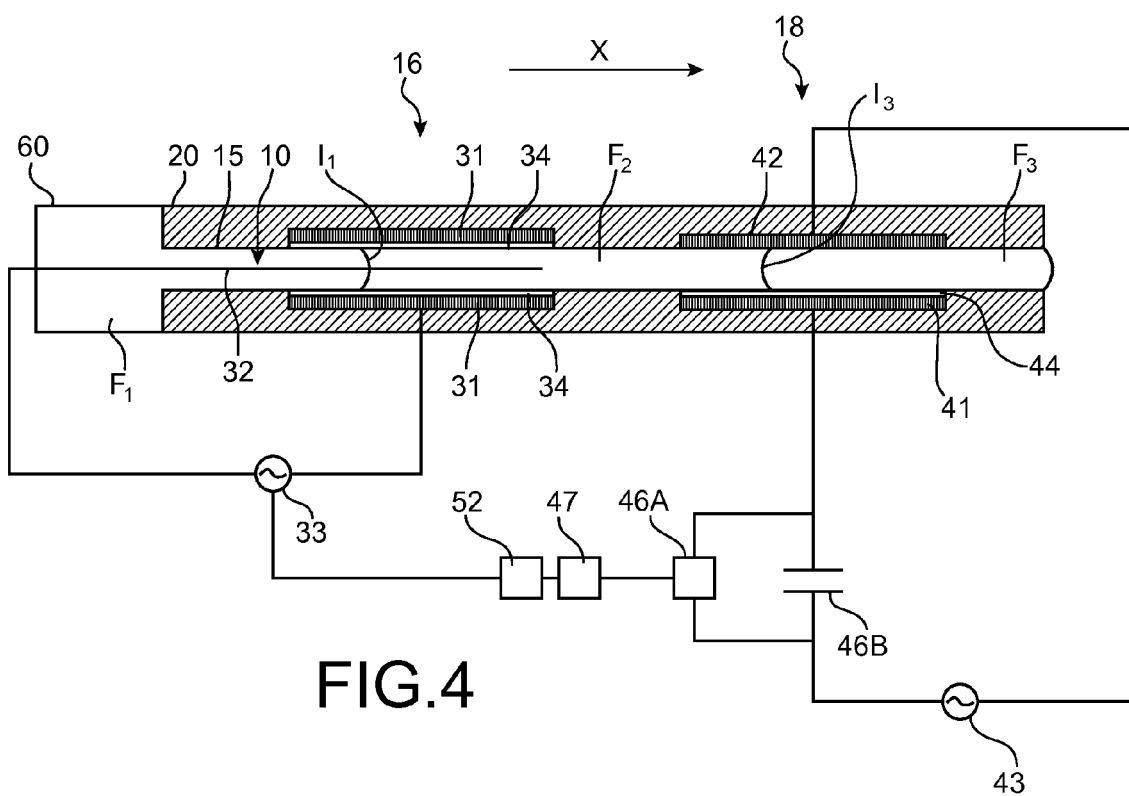


FIG. 4

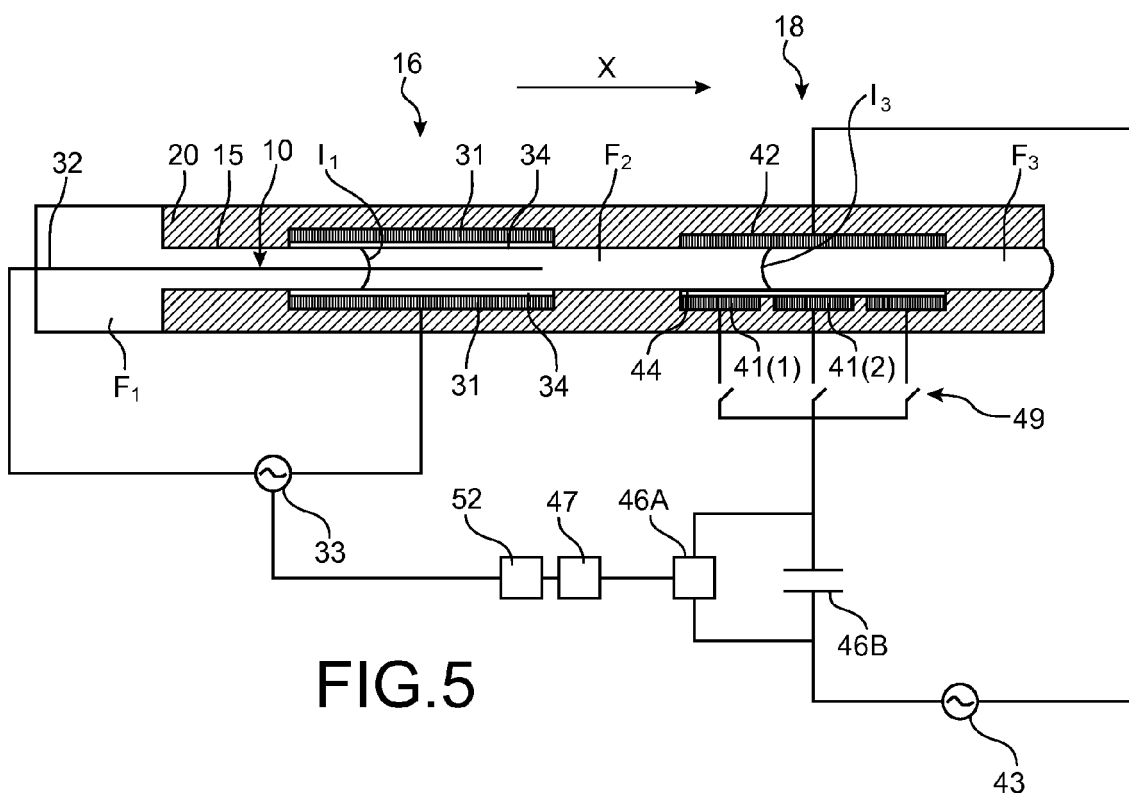
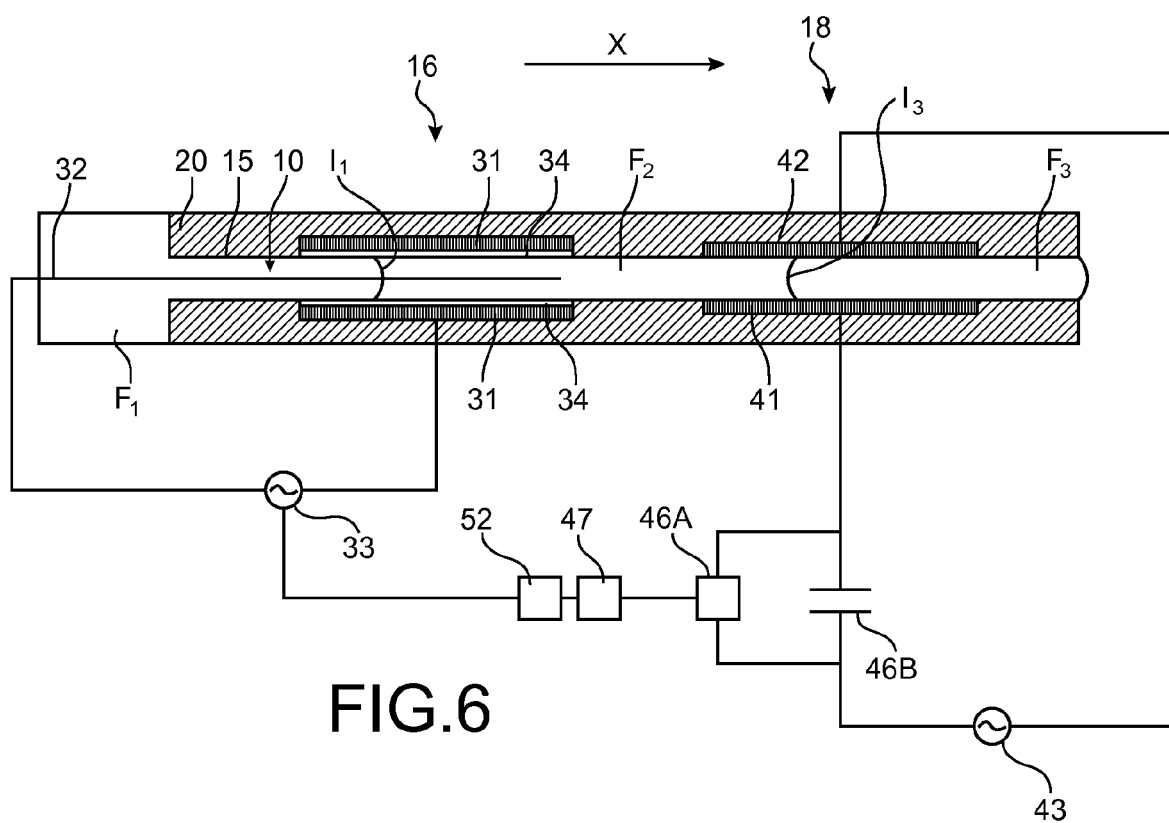


FIG. 5



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 20060083473 A1 [0005]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **Mugele ; Baret.** Electrowetting: from basics to applications. *J. Phys. Condens. Matter*, 2005, vol. 17, R705-R774 [0054]
- **Berge.** Electrocapillarité et mouillage de films isolants par l'eau. *C.R. Acad. Sci.*, 1993, vol. 317, 157-163 [0055]