



(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: **09164655.4**

(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

- **Fuchs, Olivier**
38000, Grenoble (FR)
- **Campagnolo, Raymond**
38100, Grenoble (FR)
- **Roux, Jean-Maxime**
38000, Grenoble (FR)

(30) Priorité: **07.07.2008 FR 0854596**

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

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

(72) Inventeurs:
• **Fouillet, Yves**
38240, Voreppe (FR)

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

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

Le dispositif de déplacement selon l'invention comporte un microcanal (10) muni d'une ouverture (11B) sur l'environnement, le microcanal (10) étant rempli d'un pre-

mier liquide (F_1) et d'un second liquide (F_3), les deux liquides étant séparés par un fluide séparateur (F_2). L'injection du second liquide (F_3) au travers de l'ouverture (11B) est obtenue par déplacement du premier liquide (F_1) par électromouillage.

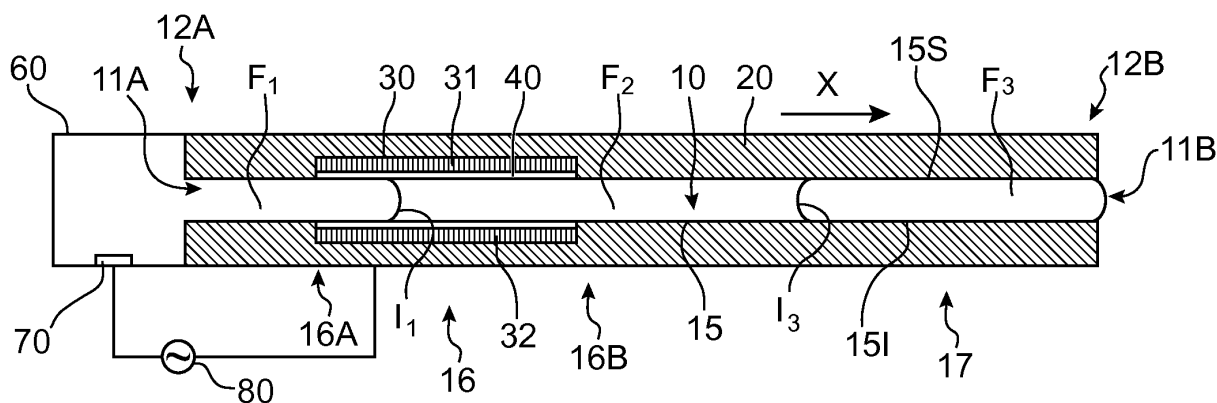


FIG.4A

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.

[0002] L'invention s'applique notamment à l'injection de liquide hors du dispositif prévu à cet effet, en vue d'effectuer des analyses biochimiques, chimiques ou biologiques, ou à fins thérapeutiques.

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

[0003] La microfluidique est un domaine de recherche 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*).

[0004] En effet, la microfluidique permet de manipuler efficacement de faibles volumes de liquide. Il est alors 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.

[0005] Selon les applications, la manipulation de faibles volumes de liquide nécessite parfois de réaliser une injection d'un volume de liquide défini dans une zone déterminée.

[0006] Par exemple dans le domaine médical, une application peut nécessiter d'injecter un volume de liquide défini dans le corps d'un patient dans un but de traitement ou en vue d'établir un diagnostic. Le liquide peut être alors un médicament, un traceur radioactif, ou toute autre substance appropriée.

[0007] Pour cela, un dispositif de déplacement de liquide permettant l'injection de celui-ci dans un milieu extérieur au dispositif est nécessaire. Il est primordial que le dispositif de déplacement ne présente aucun risque, en termes de sécurité, pour le corps ou la zone destinée à recevoir le liquide à injecter. De plus, il est essentiel de maîtriser à la fois la quantité de liquide injectée et le débit d'injection.

[0008] Le document US-A1-2003/006140 décrit un dispositif de pulvérisation de liquide sous forme de gouttelettes par pompage diélectrique variable, dont le principe de fonctionnement repose sur le phénomène de diélectrophorèse.

[0009] Le fonctionnement est le suivant, en référence à la figure 1 qui représente schématiquement le dispositif selon l'art antérieur suivant une coupe longitudinale.

[0010] Un microcanal A10 comprend une paroi interne dont les faces inférieure et supérieure comportant chacune une électrode plane A31, A32 s'étendant suivant l'axe longitudinal du microcanal et disposée en regard l'une de l'autre.

[0011] Un bouchon de liquide isolant AF₁ est situé entre ces électrodes, entouré en amont et en aval suivant

l'axe longitudinal par un fluide environnant isolant AF₂. On appelle bouchon de liquide une goutte de grande longueur contenue dans un canal ou un tube. Les termes amont et aval sont définis en référence à la direction X parallèle à l'axe du microcanal A10.

[0012] Le bouchon de liquide AF₁ présente une permittivité de valeur supérieure à celle du fluide environnant AF₂.

[0013] Un champ électrique est généré entre les deux électrodes A31 et A32, qui présente un gradient suivant l'axe longitudinal du microcanal. Pour cela, une différence de potentiel est appliquée aux extrémités de l'électrode A31 alors que le potentiel de l'électrode A32 est fixe.

[0014] Le déplacement du bouchon de liquide AF₁ suivant l'axe longitudinal du microcanal A10 est alors obtenu par diélectrophorèse. Plus précisément, le déplacement résulte de l'apparition d'une force dite diélectrophorétique résultant de la différence de permittivité entre le bouchon de liquide AF₁ et le fluide environnant AF₂, et du gradient de champ électrique qui résulte des tensions appliquées. La force diélectrophorétique tend à attirer le liquide de permittivité élevée, ici le liquide AF₁, vers les zones de haute intensité du champ électrique.

[0015] La variation des tensions appliquées permet de contrôler le déplacement du bouchon de liquide AF₁, et par conséquence du fluide environnant AF₂, suivant l'axe longitudinal du canal A10.

[0016] Le microcanal A10 présente en outre en une extrémité A12B une ouverture A11B permettant l'éjection par pulvérisation d'un liquide AF₃. Le liquide à pulvériser AF₃ est placé entre le fluide AF₂ et l'ouverture A11B.

[0017] Ainsi, le déplacement du bouchon de liquide AF₁ en direction de l'extrémité A12B du microcanal A10 entraîne un déplacement du liquide AF₃ suivant la même direction et la pulvérisation de celui-ci sous forme de gouttelettes au travers de l'ouverture A11B.

[0018] Le dispositif d'éjection de liquide selon l'art antérieur présente cependant un certain nombre d'inconvénients.

[0019] Le pompage diélectrique par diélectrophorèse nécessite d'utiliser des tensions électriques élevées, ce qui peut être limitant selon les applications du dispositif d'éjection. Ainsi, pour une application médicale dans laquelle le dispositif est utilisé à proximité d'une surface à traiter sensible aux champs électriques, comme le corps d'un patient, le dispositif selon l'art antérieur présente à l'évidence un problème de sécurité.

[0020] De plus, la force diélectrophorétique dépend de la hauteur d du diélectrique en (d^{-1}), soit ici la hauteur du bouchon de liquide isolant AF₁ entre les électrodes A31 et A32. Dans le cas de l'utilisation d'un microcanal de grande hauteur, comme par exemple quelques centaines de micromètres, il est nécessaire d'augmenter sensiblement l'intensité du champ électrique appliqué pour obtenir une force d'intensité suffisante, ce qui, d'une part accroît les risques pour la surface à traiter, et d'autre part complexifie l'électronique de commande et nécessite des batteries encombrantes.

[0021] De plus, la consommation électrique est importante pour produire un champ électrique de forte intensité.

[0022] Par ailleurs, le principe de fonctionnement de la pompe diélectrique rend le dispositif selon l'art antérieur limité à l'utilisation de deux liquides AF_1 et AF_2 diélectriques et exclut tout liquide électriquement conducteur.

[0023] Enfin, l'agencement des électrodes A31 et A32 forme l'entrefer d'un condensateur plan. Le dispositif est alors limité à un microcanal de section transversale rectangulaire. Une section transversale carrée ferait apparaître des effets de bord du champ électrique qui pénaliseraient la force diélectrophorétique et donc le fonctionnement du dispositif selon l'art antérieur. De plus, la disposition des électrodes A31 et A32 dans un microtube, c'est-à-dire un microcanal à section transversale circulaire, n'est pas réalisable de manière simple.

[0024] Une solution pour éviter ces inconvénients pourrait être l'utilisation d'un piston mécanique disposé à l'intérieur du microcanal et exerçant une force de pression sur le liquide à pulvériser. Cependant, il existe des risques non négligeables de défauts d'étanchéité entre le piston et les parois du microcanal qui peuvent rendre inopérant le dispositif de déplacement de liquide.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

[0025] Le but de la présente invention est de remédier au moins en partie aux inconvénients précités et de proposer notamment un dispositif de déplacement de liquide dont le déplacement est obtenu par la génération d'un champ électrique de faible intensité.

[0026] Pour ce faire, l'invention a pour objet un dispositif de déplacement de liquide, comprenant au moins un substrat comprenant un microcanal, ledit microcanal comportant une première extrémité et une seconde extrémité, sensiblement opposées l'une de l'autre suivant le sens longitudinal du microcanal, une ouverture sur le milieu environnant étant située sensiblement au niveau de ladite seconde extrémité.

[0027] Ledit dispositif comprend :

- un premier liquide remplissant partiellement le microcanal dans le sens longitudinal du microcanal,
- un fluide situé en aval dudit premier liquide en direction de la seconde extrémité et formant avec le premier liquide une première interface, ladite première interface étant située dans une portion de contrôle du microcanal, et
- un second liquide situé en aval dudit fluide en direction de la seconde extrémité et formant avec le fluide une seconde interface.

[0028] Selon l'invention, le dispositif comporte des moyens de déplacement du premier liquide par électromouillage, le premier liquide étant électriquement conducteur et le fluide électriquement isolant, le déplace-

ment du premier liquide induisant le déplacement du second liquide, via le fluide, au travers de ladite ouverture.

[0029] Lesdits moyens de déplacement du premier liquide par électromouillage peuvent comprendre :

- au moins un premier moyen électriquement conducteur,
- une couche d'un matériau diélectrique recouvrant directement le premier moyen conducteur, ladite couche diélectrique étant au moins partiellement mouillée par ledit premier liquide,
- au moins un second moyen électriquement conducteur formant contre-électrode, en contact avec le premier liquide, et
- un premier générateur de tension pour appliquer une différence de potentiel entre lesdits premier et second moyens conducteurs.

[0030] Selon un mode de réalisation de l'invention, le substrat comportant la portion de contrôle étant électriquement conducteur, le premier moyen électriquement conducteur comprend le substrat conducteur.

[0031] De préférence, le microcanal comprend une portion d'injection s'étendant sensiblement à partir de l'ouverture en direction de la portion de contrôle, ladite seconde interface étant située dans la portion d'injection. Dans ce cas, un empilement d'une première couche d'un matériau diélectrique, d'un moyen électriquement conducteur pouvant être porté à un potentiel déterminé, et d'une seconde couche d'un matériau diélectrique est disposé sur la paroi interne de la portion d'injection de manière à isoler électriquement le second liquide du substrat conducteur. Chaque élément dudit empilement présente une longueur sensiblement égale dans le sens longitudinal de la portion d'injection.

[0032] Selon un mode de réalisation de l'invention, ledit premier moyen électriquement conducteur comprend au moins une électrode disposée sur au moins une partie de la paroi dans le sens longitudinal du microcanal et située dans la portion de contrôle.

[0033] Avantageusement, ledit premier moyen électriquement conducteur comprend une électrode s'étendant sur toute la longueur de la portion de contrôle.

[0034] De préférence, le dispositif de déplacement de liquide comprend un réservoir communiquant avec le microcanal par une ouverture située au niveau de la première extrémité et contenant ledit premier liquide conducteur.

[0035] Ledit premier moyen électriquement conducteur peut comprendre une matrice d'électrodes s'étendant sur toute la longueur de la portion de contrôle.

[0036] Avantageusement, le premier liquide forme un bouchon de liquide entouré de fluide de manière à former une interface arrière et une interface avant, les deux interfaces étant situées dans la portion de contrôle.

[0037] Avantageusement, le déplacement de la première interface en direction de la première extrémité du microcanal provoque une aspiration du second liquide

au travers de l'ouverture en direction de la première extrémité.

[0038] Ladite électrode peut comprendre deux parties parallèles l'une avec l'autre.

[0039] De préférence, ladite électrode s'étend sur tout le périmètre de la portion de contrôle. Ainsi, ladite électrode ne comprend qu'une partie dont la surface circonférentielle est sensiblement continue.

[0040] Avantageusement, ladite couche de matériau diélectrique est recouverte directement d'une couche de matériau hydrophobe.

[0041] Le microcanal peut présenter une section transversale polygonale convexe.

[0042] Alternativement, le microcanal peut présenter une section transversale sensiblement circulaire.

[0043] Selon un mode de réalisation de l'invention, le microcanal présente une pluralité de portions de contrôle disposées en série, chaque portion de contrôle étant partiellement remplie du premier liquide et de fluide.

[0044] Selon un autre mode de réalisation de l'invention, le microcanal présente une pluralité de portions de contrôle disposées en parallèle, chaque portion de contrôle étant partiellement remplie du premier liquide et de fluide.

[0045] L'axe longitudinal des portions de contrôle peut être sensiblement perpendiculaire à l'axe longitudinal de la portion d'injection.

[0046] Selon un mode de réalisation de l'invention, la hauteur de la portion d'injection est sensiblement plus grande que la hauteur de la portion de contrôle.

[0047] Avantageusement, la hauteur de la portion d'injection est comprise entre sensiblement 10 et 50 fois la hauteur de la portion de contrôle.

[0048] Une portion de raccord peut relier la portion de contrôle à la portion d'injection, la portion de raccord n'étant remplie que de fluide.

[0049] Selon un mode de réalisation de l'invention, le microcanal comprend une portion d'injection s'étendant sensiblement à partir de l'ouverture en direction de la portion de contrôle, ladite seconde interface étant située dans la portion d'injection. Un système de remplissage en second liquide est alors relié au microcanal au niveau de la portion d'injection, et comprend un réservoir rempli de second liquide communiquant avec la portion d'injection par l'intermédiaire d'une vanne.

[0050] Celle-ci peut être une vanne trois voies.

[0051] Ladite vanne peut être disposée de manière à partager la portion d'injection en une partie de stockage communiquant avec la portion de contrôle et dans laquelle est située la seconde interface, et une partie d'injection communiquant avec l'ouverture de la seconde extrémité, et peut être adaptée pour occuper alternativement deux états :

- un premier état dit de remplissage, dans lequel le réservoir communique avec la partie de stockage,
- un second état dit d'injection, dans lequel l'écoulement de second liquide provenant du réservoir est

bloqué, la partie de stockage communiquant avec la partie d'injection.

[0052] Selon une variante, deux microcanaux sont disposés en parallèle et reliés entre eux de manière à avoir en commun la seconde extrémité munie de l'ouverture, chaque microcanal comportant une portion d'injection s'étendant sensiblement à partir de l'ouverture en direction de la portion de contrôle respective, ladite seconde interface étant située dans la portion d'injection. Un système de remplissage en second liquide est relié aux microcanaux de manière à partager chaque portion d'injection en :

- une partie de stockage propre à chaque microcanal, communiquant avec chaque portion de contrôle, dans laquelle est située la seconde interface, et
- une partie d'injection commune aux deux microcanaux communiquant avec l'ouverture de la seconde extrémité,

[0053] ledit système de remplissage comprenant un réservoir rempli de second liquide communiquant avec les microcanaux par l'intermédiaire d'une vanne.

[0054] Ladite vanne peut être une vanne quatre voies.

[0055] Elle peut être adaptée pour occuper alternativement deux états:

- un premier état, dans lequel le réservoir communique avec la partie de stockage d'un premier microcanal alors que la partie de stockage du second microcanal communique avec la partie d'injection,
- un second état, dans lequel le réservoir communique avec la partie de stockage du second microcanal alors que la partie de stockage du premier microcanal communique avec la partie d'injection.

[0056] Le débit de second liquide au travers de l'ouverture peut être constant.

[0057] Avantageusement, le dispositif de déplacement de liquide comprend un système d'asservissement du déplacement du premier liquide en fonction de la position de la première interface ou de la seconde interface du fluide située dans le microcanal, ledit système d'asservissement du déplacement du premier liquide comprenant un dispositif de mesure capacitive pour commander le déplacement du premier liquide en fonction de la valeur de la capacité mesurée.

[0058] Selon un mode de réalisation, le dispositif de mesure capacitive est adapté pour 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 dé-

tection 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.

[0059] Selon une variante, le dispositif de mesure capacitive est adapté pour 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.

[0060] Le dispositif de mesure capacitive peut comprendre 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.

[0061] Le dispositif de mesure capacitive peut comprendre des moyens de commande, connectés aux moyens de calcul et au premier générateur de tension, pour commander la valeur de la différence de potentiel appliquée par celui-ci.

[0062] Selon un mode de réalisation, le second liquide étant électriquement conducteur, une couche d'un matériau diélectrique recouvre le moyen de détection.

[0063] Selon une variante, le second liquide est diélectrique, dont la valeur de la permittivité est différente de celle du fluide.

[0064] De préférence, les moyens de mesure comprennent une capacité connectée en série avec le moyen de détection, et un voltmètre pour mesurer la tension aux bornes de ladite capacité.

[0065] Alternativement, les moyens de mesure comprennent un analyseur d'impédance.

[0066] Ledit moyen de détection peut comprendre une pluralité d'électrodes de détection élémentaires.

[0067] Dans ce cas, ledit substrat peut être porté à un potentiel déterminé par un moyen électriquement conducteur. Celui-ci comprend avantageusement une électrode disposée sur une face externe du substrat et s'étendant sur toute la longueur du moyen de détection.

[0068] D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront dans la description détaillée non limitative ci-dessous.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

[0069] 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, déjà décrite, est une représentation schématique en coupe longitudinale d'un dispositif de pulvérisation de liquide selon l'art antérieur ;

Les figures 2A à 2C représentent le principe de fonctionnement de déplacement de gouttes par électromouillage ;

La figure 3 représente le principe de fonctionnement de déplacement de liquide par électromouillage, dans une configuration fermée de dispositif de déplacement de liquide ;

Les figures 4A et 4B sont des représentations schématiques en coupe longitudinale d'un dispositif de déplacement de liquide selon le premier mode de réalisation préféré de l'invention, pour deux étapes du fonctionnement ;

La figure 5 est une représentation schématique en coupe longitudinale d'un dispositif de déplacement de liquide selon une variante du premier mode de réalisation préféré de l'invention, dans laquelle une matrice d'électrodes de contrôle est prévue ;

La figure 6 est une représentation schématique en coupe longitudinale d'un dispositif de déplacement de liquide selon le second mode de réalisation préféré de l'invention ;

La figure 7 est une représentation schématique en coupe longitudinale d'un dispositif de déplacement de liquide selon un troisième mode de réalisation de l'invention, dans lequel une pluralité de portions de contrôle disposées en série est prévue ;

La figure 8 est une représentation schématique en coupe longitudinale d'un dispositif de déplacement de liquide selon un quatrième mode de réalisation de l'invention, dans lequel une pluralité de portions de contrôle disposées en parallèle est prévue ;

La figure 9 est une représentation schématique en coupe longitudinale d'une partie du microcanal du dispositif de déplacement de liquide selon un cinquième mode de réalisation de l'invention, permettant de diminuer les effets de l'hystérésis de l'angle de contact ;

Les figures 10A et 10B sont des représentations schématiques en coupe longitudinale d'un dispositif de déplacement de liquide selon un sixième mode de réalisation de l'invention, pour deux étapes du fonctionnement ;

Les figures 11A et 11B sont des représentations schématiques en coupe longitudinale d'un dispositif de déplacement de liquide selon une variante du sixième mode de réalisation de l'invention, pour deux étapes du fonctionnement ;

Les figures 12A, 12B, 13A et 13B sont des représentations schématiques en coupe longitudinale

d'un dispositif de déplacement de liquide selon un septième mode de réalisation de l'invention, muni d'un système d'asservissement du déplacement du liquide piston. Les figures 13A et 13B montrent des variantes du septième mode de réalisation représenté dans les figures 12A et 12B.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ D'UN MODE DE RÉALISATION PRÉFÉRÉ

[0070] Un dispositif selon l'invention met en oeuvre un dispositif de déplacement de liquide, par électromouillage, ou plus précisément par électromouillage sur diélectrique.

[0071] Le principe de l'électromouillage sur diélectrique mis en oeuvre dans le cadre de l'invention peut être illustré à l'aide des figures 2A - 2C, dans le cadre d'un dispositif de type ouvert.

[0072] Une goutte d'un liquide électriquement conducteur F_1 repose sur un réseau d'électrodes 30, dont elle est isolée par une couche diélectrique 40 et une couche hydrophobe 50 (figure 2A). On a donc un empilement hydrophobe et isolant.

[0073] Le caractère hydrophobe de cette couche signifie que la goutte a un angle de contact, sur cette couche, supérieur à 90° .

[0074] Elle est entourée d'un fluide diélectrique F_2 , et forme avec ce fluide une interface I_1 .

[0075] Les électrodes 30 sont elles-mêmes formées en surface d'un substrat 20.

[0076] Une contre-électrode 70, ici sous forme d'un fil caténaire, permet de maintenir un contact électrique avec la goutte F_1 . Cette contre-électrode peut également être un fil enterré ou une électrode planaire dans le capot d'un système confiné.

[0077] Les électrodes 30 et la contre-électrode 70 sont connectées à une source de tension 80 permettant d'appliquer une tension U entre les électrodes.

[0078] Lorsque l'électrode 30(1) située à proximité de la goutte F_1 est activée, à l'aide de moyens 81 de commutation dont la fermeture établit un contact entre cette électrode et la source de tension 80 via un conducteur commun 82, l'ensemble goutte sous tension F_1 , couche diélectrique 40 et électrode activée 30(1) agit comme une capacité.

[0079] Comme le décrit l'article de Berge intitulé « Electrocapillarité et mouillage de films isolants par l'eau », C.R. Acad. Sci., 317, série 2, 1993, 157-163, l'angle de contact de l'interface de la goutte F_1 en regard de l'électrode activée 30(1) diminue alors suivant la relation :

$$\cos\theta_1^{(U)} = \cos\theta_1^{(0)} + \frac{1}{2} \frac{\epsilon_r}{e\sigma} U^2$$

où e est l'épaisseur de la couche diélectrique 40, ϵ_r la

permittivité de cette couche et σ la tension de surface de l'interface de la goutte.

[0080] 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.

[0081] La réponse de la goutte F_1 dépend alors de la valeur efficace de la tension, puisque l'angle de contact dépend de la tension en U^2 .

[0082] Selon l'article de Bavière et al. intitulé « Dynamics of droplet transport induced by electrowetting actuation », Microfluid Nanofluid, 4, 2008, 287-294, il apparaît une pression électrostatique agissant sur l'interface I_1 , à proximité de la ligne de contact. Si cette pression électrostatique est appliquée de manière asymétrique, la goutte F_1 peut alors être déplacée. Dans la figure 2A, l'activation de l'électrode 30(1) met la goutte en mouvement suivant la direction X .

[0083] La goutte peut ainsi être éventuellement déplacée de proche en proche (figures 2B et 2C), sur la surface hydrophobe 50, par activation successive des électrodes 30(1), 30(2), etc., le long de la caténaire 70.

[0084] Il est donc possible de déplacer des liquides, mais aussi de les mélanger (en faisant s'approcher des gouttes de liquides différents), et de réaliser des protocoles complexes.

[0085] La figure 3 illustre le phénomène de déplacement d'un liquide par électromouillage dans un dispositif de type fermé ou confiné comportant un microcanal.

[0086] Sur cette figure, les références numériques identiques à celles des figures 2A - 2C désignent les mêmes éléments.

[0087] Le microcanal 10 est partiellement rempli du liquide conducteur F_1 formant une interface I_1 avec le fluide diélectrique F_2 .

[0088] Dans cet exemple, la matrice d'électrodes 30 est remplacée par une électrode 30 unique.

[0089] Lorsque l'électrode 30 n'est pas activée, l'interface I_1 est statique, le liquide F_1 et le fluide F_2 sont au repos.

[0090] Lorsque l'électrode 30 est activée, la pression d'origine électrostatique apparaît et agit sur l'interface I_1 , ce qui met le liquide F_1 en mouvement suivant la direction X .

[0091] Le liquide F_1 peut ainsi être déplacé sur la surface hydrophobe 50 par activation de l'électrode 30. Le fluide F_2 est alors « poussé » par le liquide F_1 .

[0092] Des exemples de dispositifs mettant en oeuvre ce principe sont décrits dans l'article de Pollack et al. intitulé « Electro-wetting-based actuation of droplets for integrated microfluidics », Lab Chip, 2002, 2, 96-101.

[0093] Un premier mode de réalisation préféré de l'invention est représenté sur les figures 4A et 4B qui montrent, en coupe longitudinale, un dispositif microfluidique de déplacement de liquide.

[0094] Sur cette figure, les références numériques identiques à celles de la figure 3 désignent les mêmes éléments.

[0095] En référence à la figure 4A, le microcanal 10 comporte 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.

[0096] 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.

[0097] Le terme microcanal est pris dans un sens général et comprend notamment le cas particulier du microtube dont la section est circulaire.

[0098] 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.

[0099] De plus, on notera que les verbes « recouvrir », « être situé sur » et « être disposé sur » peuvent ne pas impliquer 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.

[0100] Une électrode de contrôle 30 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. L'électrode 30 s'étend sur une partie ou sur la totalité du périmètre du microcanal 10.

[0101] La couche isolante 40 et la couche hydrophobe (non représentée) qui recouvrent l'électrode 30 peuvent être une couche unique combinant ces deux fonctions, par exemple une couche en parylène.

[0102] Dans l'exemple représenté, la contre-électrode 70 est introduite dans le liquide F_1 au niveau du réservoir 60, sous forme d'un ou plusieurs points de contact électrique avec le liquide conducteur F_1 . Elle peut également

être une caténaire se présentant sous la forme d'un fil électriquement conducteur, par exemple en Au (représenté sur la figure 5).

[0103] La source de tension 80, de préférence de tension alternative, est connectée à l'électrode 30 et à la contre-électrode 70. La fréquence est, de préférence, comprise entre 100Hz et 10kHz, de préférence de l'ordre de 1kHz.

[0104] 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 la relation donnée précédemment. 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.

[0105] La longueur de l'électrode 30 dans le sens longitudinal du microcanal 10 définit une portion de contrôle 16.

[0106] La portion de contrôle 16 comprend une première extrémité 16A en direction de la première extrémité 12A du microcanal 10 et une seconde extrémité 16B en direction de la seconde extrémité 12B suivant le sens longitudinal du microcanal 10.

[0107] On appelle portion d'injection 17 la portion du microcanal 10 s'étendant de la seconde extrémité 12B du microcanal 10 en direction de la portion de contrôle 16.

[0108] Un réservoir 60 pouvant contenir 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 .

[0109] L'interface I_1 est située dans la portion de contrôle 16. La ligne triple de l'interface I_1 est contenue dans un plan sensiblement transversal au microcanal 10.

[0110] Le microcanal 10 comprend également un second liquide F_3 , appelé liquide d'intérêt, qui remplit partiellement le canal à partir sensiblement de la seconde extrémité 12B. Le second liquide F_3 est en contact avec le fluide F_2 . L'interface entre ces deux fluides forme une interface I_3 .

[0111] L'interface I_3 est en contact avec la paroi interne 15 du microcanal 10. La ligne de raccord entre l'interface I_3 et la paroi 15 définit une ligne triple et un angle de contact θ_3 peut être mesuré dans le liquide F_3 . La ligne triple de l'interface I_3 est contenue dans un plan sensiblement transversal du microcanal 10.

[0112] L'interface I_3 est située dans la portion d'injection 17, donc en-dehors de la portion de contrôle 16.

[0113] Le liquide piston F_1 est électriquement conducteur et peut être une solution aqueuse chargée en ions, par exemple en Cl^- , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , autres. Le liquide piston F_1 peut également être du mercure, du Gallium, du Gallium eutectique, ou des liquides ioniques du type bmim PF6, bmim BF4 ou tmba NTf2.

[0114] Le liquide d'intérêt F_3 peut être un liquide adapté à une application chimique, biologique ou médicale. Dans ce dernier cas, le liquide F_3 peut être notamment un liquide médicamenteux ou un liquide contenant des agents actifs, des molécules ou un traceur radioactif.

[0115] 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 de l'undécane, ou une huile silicone ou minérale, ou des solvants fluorés, par exemple le FC-40® ou le FC-70®. Dans le cas de l'huile silicone, la viscosité dynamique est de préférence sensiblement inférieure à 10cp environ. De préférence, le fluide F_2 est biologiquement compatible avec le liquide F_3 .

[0116] Le fluide F_2 est non miscible avec le liquide piston F_1 et avec le liquide d'intérêt F_3 .

[0117] Le microcanal présente une longueur comprise entre 100 μ m et 500mm, de préférence comprise entre 500 μ m et 100mm.

[0118] La hauteur ou le diamètre du microcanal 10 est typiquement compris entre quelques nanomètres et 200 μ m, et de préférence entre 1 μ m et 100 μ m.

[0119] Le réservoir peut présenter une contenance comprise entre quelques nanolitres et 1ml.

[0120] Le substrat 20 peut être en silicium ou en verre, polycarbonate, polymère, céramique. Dans le cas d'un substrat en silicium, il est préférable de prévoir une couche isolante en surface, cette couche isolante peut être déposée ou résulter d'une oxydation thermique. L'électrode 30 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, par exemple par photolithographie.

[0121] 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.

[0122] L'électrode 30 est recouverte d'une couche diélectrique en Si_3N_4 , SiO_2 ... d'épaisseur comprise entre 100nm et 3 μ m, de préférence entre 300 nm et 1 μ m. La couche diélectrique en SiO_2 peut être obtenue par oxydation thermique.

[0123] Enfin, une couche hydrophobe peut être déposée sur le substrat. Pour cela, un dépôt de Téflon par trempage ou par spray ou de SiOC déposé par plasma peut être réalisé. Un dépôt de silane hydrophobe en phase vapeur ou liquide peut être réalisé. Son épaisseur sera comprise entre 100nm et 3 μ m, de préférence entre 300 nm et 1 μ m.

[0124] Le principe de fonctionnement est le suivant, en référence aux figures 4A et 4B.

[0125] Comme le montre la figure 4A, l'interface I_1 est située dans la portion de contrôle 16. Initialement, elle est de préférence située à proximité de la première extrémité 16A de cette portion.

[0126] L'activation de l'électrode 30 par la source de tension 80 provoque le déplacement du liquide F_1 en direction de la deuxième extrémité 16B de la portion de contrôle 16.

[0127] En conséquence, le liquide F_1 « pousse » le fluide F_2 dans la même direction, c'est-à-dire en direction de la seconde extrémité 12B du microcanal 10, et dans le même temps, « pousse » le liquide d'intérêt F_3 .

[0128] A partir du moment où le liquide F_3 atteint la seconde ouverture 11B, une quantité de liquide F_3 est injectée en-dehors du dispositif de déplacement correspondant à la quantité de liquide F_3 déplacée.

[0129] Lorsque l'interface I_1 atteint la seconde extrémité 16B de la portion de contrôle 16, le liquide F_1 recouvre sensiblement l'électrode 30 dans sa totalité. La ligne triple n'est alors plus soumise à la force d'électromouillage. L'angle de contact θ_1 augmente jusqu'à sa valeur correspondant à l'absence de champ électrique imposé et le liquide F_1 s'immobilise.

[0130] En conséquence, le liquide F_1 ne provoque plus le déplacement du fluide F_2 qui s'immobilise, ainsi que le liquide d'intérêt F_3 qui n'est alors plus injecté.

[0131] Le dispositif selon l'invention présente un certain nombre d'avantages.

[0132] Le fluide séparateur F_2 permet en outre d'éviter un mélange entre le liquide piston F_1 et le liquide d'intérêt F_3 , ce qui pourrait dénaturer les propriétés physiques, chimiques ou biologiques du liquide d'intérêt F_3 .

[0133] Le fluide séparateur diélectrique F_2 permet l'utilisation de tout type de liquide d'intérêt F_3 , quelles que soient la composition chimique et la conductivité électrique de ce dernier.

[0134] Par ailleurs, l'électrode 30 de contrôle peut n'occuper qu'une partie du périmètre de la portion de contrôle 16.

[0135] Ainsi, dans le cas d'un microcanal 10 de section par exemple rectangulaire, l'électrode 30 peut comprendre une partie supérieure 31 (figure 4A) disposée directement sur une paroi supérieure 15S du microcanal 10, et une partie inférieure 32 disposée directement sur une paroi inférieure 15I du microcanal 10, les deux parties 31 et 32 étant parallèles entre elles. Cette disposition est particulièrement adaptée pour une section rectangulaire puisque les parois latérales ont une surface sensiblement inférieure à celle des parois supérieure et inférieure 15S et 15I. Les effets de bord du champ électrique sont ainsi minimisés.

[0136] Néanmoins, l'électrode 30 peut également être disposée sur la totalité du périmètre de la portion de contrôle 16. L'électrode 30 est alors disposée sur l'ensemble des parois supérieure 15S, inférieure 15I et latérales, ou dans le cas d'une section circulaire, sur toute la périphérie de la portion de contrôle 16.

[0137] Cette disposition présente l'avantage d'appliquer la force d'électromouillage sur l'ensemble de la ligne triple de l'interface I_1 . La courbure de l'interface I_1 est alors uniformément modifiée, ce qui rend la pression capillaire à l'interface entre les deux fluides F_1 et F_2 uniforme.

[0138] En effet, la ligne triple de l'interface I_1 reste sensiblement contenue dans un plan transversal de la portion de contrôle 16.

[0139] Le déplacement de l'interface I_1 est alors plus efficace, ce qui permet d'obtenir un contrôle du débit d'injection et du volume injecté du liquide F_3 plus précis.

[0140] Si la force d'électromouillage n'était pas unifor-

me le long de la ligne triple, le plan contenant la ligne triple de l'interface I_1 ne serait plus sensiblement transversal à la portion de contrôle 16. Le liquide F_1 pourrait se déplacer par exemple en direction de la seconde extrémité 12B du canal 10 et le fluide F_2 se déplacer dans la direction opposée, ce qui est à éviter.

[0141] Selon une variante du premier mode de réalisation de l'invention représentée dans la figure 5, une matrice d'électrodes 30 indépendantes est disposée directement sur au moins une face du substrat 20, comme ce qui a été décrit précédemment en référence aux figures 2A à 2C.

[0142] Comme précédemment, on définit une portion de contrôle 16 du microcanal 10 comme étant la portion s'étendant dans le sens longitudinal du microcanal 10 et qui comprend la matrice d'électrodes 30.

[0143] L'espacement entre électrodes 30 voisines peut être compris sensiblement entre quelques micromètres et quelques dizaines de micromètres.

[0144] Dans cette variante et conformément au mode de réalisation des figures 2A à 2C, il est avantageux que le liquide F_1 se présente sous forme d'un bouchon de liquide entièrement placé dans la portion de contrôle 16. Le liquide peut ainsi être déplacé de proche en proche, sur la couche hydrophobe 50 de la portion de contrôle 16, par activation successive des électrodes 30 (1), 30 (2) ... de la matrice d'électrodes.

[0145] Un avantage de ce mode de réalisation est de pouvoir contrôler le déplacement de la goutte de liquide F_1 suivant les deux directions X et -X, selon l'activation des électrodes 30.

[0146] Il est ainsi possible de réaliser non seulement l'injection du liquide F_3 hors du dispositif, mais également l'aspiration du liquide F_3 , c'est-à-dire le déplacement du liquide F_3 en direction de la portion de contrôle 16.

[0147] L'aspiration du liquide F_3 peut permettre le remplissage du microcanal 10 en liquide F_3 , par exemple à partir d'un réservoir de liquide F_3 , en vue d'une utilisation ultérieure du dispositif selon l'invention.

[0148] Il est également possible d'aspirer un autre liquide que le liquide F_3 , après injection de celui-ci. Par exemple, on peut prélever in vivo un échantillon de liquide, après injection du liquide F_3 , dans le but de l'analyser ultérieurement.

[0149] Un second mode de réalisation préféré va maintenant être décrit en détail en référence à la figure 6, qui montre une représentation schématique en coupe longitudinale du dispositif de déplacement, dans lequel l'électrode de contrôle 30 est remplacée par le substrat 20 avantageusement polarisé.

[0150] Pour cela, le substrat 20 est électriquement conducteur. Il peut être réalisé en silicium dopé afin d'augmenter sa conductivité électrique. Le dopage peut correspondre à 5.10^{18} atomes/cm² en n ou en p.

[0151] Une électrode 33, connectée à la source de tension 80, est disposée de manière à appliquer au substrat 20 et à la contre-électrode 70 la différence de potentiel déterminée.

[0152] Une couche diélectrique 40 est directement disposée sur une partie de la paroi interne 15 du microcanal 10 de manière à isoler électriquement le liquide piston F_1 du substrat polarisé 20. La couche diélectrique 40 peut être directement disposée sur la paroi interne 15 à partir du réservoir 60 jusqu'à la seconde extrémité 16B de la portion de contrôle 16, et sur tout le périmètre.

[0153] Une couche hydrophobe (non représentée) peut être directement disposée sur la couche diélectrique 40.

[0154] Ainsi, le substrat polarisé 20, la couche diélectrique 40 et le liquide piston polarisé F_1 forment un condensateur. Dans la mesure où le liquide piston F_1 recouvre directement partiellement la couche diélectrique 40 dans la portion de contrôle 16, une force d'électromouillage appliquée à la ligne triple de l'interface I_1 peut être générée.

[0155] De plus, dans le but d'isoler électriquement le liquide d'intérêt F_3 du substrat polarisé 20, un empilement 34 d'une première couche diélectrique 40, d'une électrode 17E, puis d'une seconde couche diélectrique 40, chacune présentant une longueur dans le sens longitudinal sensiblement égale, est disposé directement sur la paroi interne 15 de la portion d'injection 17.

[0156] L'électrode 17E peut être mise à la masse, de manière à ne pas induire d'effets d'électromouillage au niveau de la ligne triple de l'interface I_3 .

[0157] Un troisième mode de réalisation de l'invention va maintenant être décrit en détail en référence à la figure 7, qui montre une représentation schématique en coupe longitudinale du dispositif de déplacement, qui comporte une pluralité de portions de contrôle disposées en série.

[0158] Le troisième mode de réalisation est un perfectionnement du premier mode de réalisation préféré et comporte sensiblement les mêmes composants que dans le premier mode.

[0159] Comme le montre la figure 7, deux portions de contrôles 16(1), 16(2) sont disposées en série. Cependant, il est possible de disposer un nombre n de portions de contrôle 16 sans être limité à 2 portions.

[0160] Dans le cas général où n portions de contrôle sont prévues, chaque portion de contrôle 16(i), où $i \in [1, n]$, présente une première extrémité 16A(i) et une seconde extrémité 16B(i). Les portions de contrôle 16(i) sont agencées en série le long du microcanal 10 de manière à ce qu'une seconde extrémité 16B(i) soit située à proximité de la première extrémité 16A(i+1) de la portion de contrôle 16(i+1) située en aval de la portion de contrôle 16(i).

[0161] Chaque portion de contrôle 16(i) est partiellement remplie de liquide conducteur piston $F_1(i)$, chaque interface $I_2(i)$ étant initialement située entre une extrémité 16B(i-1) et 16A(i). Un fluide séparateur $F_2(i)$ remplit le canal 10 entre l'interface $I_1(i)$ et $I_2(i+1)$.

[0162] Le liquide piston $F_1(i)$ est en contact avec le fluide séparateur $F_2(i)$ et forme une interface $I_1(i)$ selon les mêmes caractéristiques que dans le premier mode de réalisation. On comprend que le liquide piston $F_1(i)$

remplit à la fois une partie de la portion de contrôle 16(i) et une partie du canal située entre les portions de contrôle 16(i-1) et 16(i).

[0163] La portion de contrôle 16(1) est située à proximité de la première extrémité 12A du microcanal 10, qui communique avec un réservoir 60.

[0164] La portion de contrôle 16(n) est située à proximité de la seconde extrémité 12B du microcanal 10. Le fluide séparateur $F_2(n)$ est en contact également avec un liquide d'intérêt F_3 qui remplit partiellement le microcanal 10 à partir de la seconde extrémité 12B du microcanal et en direction de la seconde extrémité 16B(n) de la portion de contrôle 16(n).

[0165] Les portions de contrôle 16(i) sont espacées les unes des autres par une distance comprise entre quelques micromètres à quelques millimètres.

[0166] De préférence, cette distance est définie de sorte que le volume compris entre les portions de contrôle 16(i) est sensiblement égal au volume défini par chaque portion de contrôle 16(i), afin que le liquide piston $F_1(i)$ puisse remplir sensiblement totalement la portion de contrôle $F_1(i)$.

[0167] Chaque portion de contrôle 16(i) comprend une électrode 30(i) de contrôle ou une matrice d'électrodes 30(i) de contrôle, comme décrit dans le premier mode de réalisation.

[0168] Le dispositif comprend une contre-électrode 70, destinée à porter les liquides conducteurs $F_1(i)$ à un potentiel déterminé. La contre-électrode 70 est un fil cathodique, par exemple en Au. Elle peut être un fil enterré ou une pluralité d'électrodes planaires disposées en regard des électrodes 30(i).

[0169] Les électrodes de contrôle 30(i) et la contre-électrode 70 sont connectées à une source de tension 80.

[0170] Les électrodes 30(i) sont avantageusement activées simultanément.

[0171] Le troisième mode de réalisation de l'invention présente l'avantage d'augmenter la pression d'injection du liquide F_3 .

[0172] En effet, les forces d'électromouillage appliquées aux interfaces $I_1(i)$ s'additionnent, ce qui permet d'obtenir une pression d'injection du liquide d'intérêt F_3 plus importante. Dans le cas de portions de contrôle 16(i) identiques en taille et géométrie, la pression d'injection obtenue est sensiblement égale au nombre n d'interfaces $I_1(i)$ multiplié par la pression obtenue avec une seule portion de contrôle 16(i).

[0173] Plusieurs dispositifs obtenus selon les modes de réalisation 1 à 3 peuvent être associés selon une structure matricielle, chaque dispositif pouvant être utilisé de façon indépendante, en parallèle. Selon une autre association, plusieurs dispositifs obtenus selon ces mêmes modes de réalisation peuvent être associés selon une structure matricielle limitée aux portions de contrôle. Dans ce cas, la matrice de portions de contrôle peut déboucher sur une unique portion d'injection, ou sur au moins une portion d'injection, des réservoirs pouvant être communs à plusieurs ou à la totalité des portions de con-

trôle. Ce type d'associations peut être obtenu en réalisant un réseau de canaux 10 et de réservoirs 60 dans le plan et/ou l'épaisseur du substrat. Ces dispositifs peuvent être réalisés sur des substrats différents, puis empilés.

[0174] Un quatrième mode de réalisation de l'invention va maintenant être décrit en détail en référence à la figure 8.

[0175] La figure 8 est une représentation schématique en coupe longitudinale d'un dispositif de déplacement de liquide, présentant une pluralité de portions de contrôle 16 en parallèle.

[0176] Un repère orthogonal direct (X,Y) est représenté dans la figure 9, où la direction X est parallèle à l'axe longitudinal des portions de contrôle 16.

[0177] Plusieurs substrats 21, 22, 23 sont agencés de manière à former un microcanal 10.

[0178] Un premier substrat 21 s'étend suivant la direction Y et présente une épaisseur suivant X. L'épaisseur du substrat 21 est de l'ordre de quelques centaines de microns, par exemple 500 μ m, 700 μ m ou 1000 μ m.

[0179] Le premier substrat 21 est usiné de manière à obtenir des canaux traversant suivant l'épaisseur du substrat 21 définissant ainsi des portions de contrôle 16(i). Les portions de contrôle 16(i) peuvent être disposées en nid d'abeille et présenter un diamètre de l'ordre de quelques dizaines de microns. De préférence, chaque portion de contrôle 16(i) présente une section transversale circulaire, hexagonale ou ayant une forme du même type.

[0180] Un canal traversant 17B de grand diamètre est également réalisé et disposé à proximité d'un bord du substrat 21. Le canal 17B est destiné à former une partie d'injection 17B de la portion d'injection 17 du microcanal 10.

[0181] Une couche diélectrique 40 est disposée sur la paroi du substrat 21, plus précisément sur la paroi interne 15 des portions de contrôle 16(i). La paroi interne 15 du canal 17B peut également être recouverte de la couche diélectrique 40.

[0182] Une couche hydrophobe est disposée sur la paroi du substrat 21.

[0183] Les canaux 16(i) et 17B peuvent être obtenus par gravure plasma du type RIE du substrat 21. Le substrat 21 est par exemple en silicium. Le diamètre des portions de contrôle 16(i) est compris entre 1 μ m et 100 μ m, de préférence sensiblement 30 μ m. Le diamètre du canal 17B peut être de l'ordre de quelques centaines de microns.

[0184] La couche diélectrique peut être de la SiO_2 obtenue par oxydation thermique.

[0185] La couche hydrophobe peut être une couche de SiOC déposé par plasma. Un dépôt de silane hydrophobe en phase vapeur ou liquide peut être utilisé. De préférence, la face inférieure 21I du substrat 21 est protégée du dépôt de la couche hydrophobe de manière à garder une propriété hydrophile.

[0186] Un deuxième substrat 22 est disposé de manière à être en contact avec la paroi inférieure 21I du

substrat 21. Il comporte une première ouverture 2201 qui communique avec les portions de contrôle 16(i) et une seconde ouverture 2202 qui communique avec le canal 17B.

[0187] Le deuxième substrat 22 peut être une carte fluide du type circuit imprimé, par exemple en FR4, ou en céramique, en silicium, en verre, ou en polymère comme du polycarbonate.

[0188] Une membrane souple 25 est disposée au niveau de la face inférieure 22I du substrat 22 de manière à fermer la première ouverture 2201 en son extrémité inférieure 22I. La membrane définit ainsi avec les substrats 21 et 22 un réservoir 60 pouvant contenir le liquide F_1 .

[0189] La membrane souple peut être un film mince d'élastomère ou un soufflet, collé à la face inférieure du substrat 22.

[0190] Un troisième substrat 23 est disposé sur la face supérieure 21S du substrat 21. Le substrat 23 comporte une ou plusieurs échancrures de manière à former, en coopération avec le substrat 21, une ou plusieurs cavités du microcanal 10. Plus précisément, une première échancrure 23E1 du substrat 23 est disposée sensiblement en regard des portions de contrôle 16(i) de manière à former une portion de raccord 18 du microcanal 10. Une deuxième échancrure 23E2 est disposée sensiblement en regard du canal 17B de manière à former une partie de stockage 17A.

[0191] La partie de stockage 17A communique avec la partie d'injection 17B, de manière à former ensemble la portion d'injection 17 du microcanal 10.

[0192] Les échancrures 23E1 et 23E2 présentent une hauteur suivant Y comprise entre $100\mu\text{m}$ et quelques millimètres, de préférence 1mm. L'échancrure 23E1 peut présenter une hauteur plus faible que l'échancrure 23E2, pour limiter le volume de fluide F_2 nécessaire.

[0193] La portion de raccord 18 et la partie de stockage 17A peuvent communiquer entre elles par l'intermédiaire d'un conduit de communication 18C de hauteur comprise entre quelques dizaines de microns et quelques centaines de microns, de préférence $100\mu\text{m}$.

[0194] Le troisième substrat 23 peut être en silicium ou en verre. Il peut être assemblé au premier substrat 21 par sérigraphie de colle. Un scellement direct peut également être réalisé, par soudure anodique ou collage moléculaire.

[0195] Enfin, un tube 24 comprenant un microcanal peut être agencé de manière à communiquer avec le canal 17B du substrat 21. Le microcanal du tube 24 a pour but de prolonger le canal 17B pour faciliter l'injection du liquide dans une zone à traiter. Le composant 24 peut également être un cathéter, une aiguille comprenant un microcanal, ou un raccord entre le canal 17B et une aiguille ou un cathéter.

[0196] Les liquides F_1 , F_3 et le fluide F_2 remplissent le microcanal 10 de la manière suivante.

[0197] Le liquide piston F_1 remplit partiellement les portions de contrôle 16(i) suivant la direction X.

[0198] Le fluide F_2 remplit la portion de raccord 18 et le conduit de communication 18C. Il remplit également partiellement les portions de contrôle 16(i) de manière à former une interface $I_1(i)$ dans chaque portion de contrôle 16(i) avec le liquide piston F_1 . Il remplit également partiellement la partie de stockage 17A de la portion d'injection 17.

[0199] Le liquide d'intérêt F_3 remplit partiellement la partie de stockage 17A de la portion d'injection 17 de manière à former une interface I_3 avec le fluide F_2 . Le liquide d'intérêt F_3 remplit également la partie d'injection 17B, et au moins partiellement le microcanal du tube 24.

[0200] Comme décrit précédemment, la force d'électromouillage peut être générée, soit à partir de l'activation d'électrodes 30 disposées au niveau des portions de contrôle 16(i), soit à partir de l'activation du substrat polarisé 21.

[0201] Une électrode 70 formant contre-électrode est disposée, par exemple, dans le réservoir 60 pour porter le liquide piston F_1 conducteur à un potentiel V_0 .

[0202] Dans le premier cas, chaque portion de contrôle 16(i) a la paroi interne 15 recouverte d'une couche métallique formant électrode 30. Une couche diélectrique 40 est déposée sur l'électrode 30.

[0203] Les électrodes 30(i) et la contre-électrode 70 sont connectées à une source de tension 80.

[0204] Les électrodes 30(i) peuvent être reliées à la source de tension 80 par l'intermédiaire d'une ligne enterrée (non représentée) à la surface du substrat 21 et d'une électrode 33 connectée à la ligne enterrée et à la source de tension.

[0205] Dans le second cas, le premier substrat 21 est électriquement conducteur. Il peut être réalisé en silicium dopé de manière à augmenter la conductivité électrique. Une électrode 33 est disposée en contact avec le substrat 21 pour le porter à un potentiel déterminé V_1 .

[0206] La couche diélectrique 40 est disposée de manière à isoler électriquement le liquide F_1 du substrat 21 polarisé.

[0207] Le substrat 21 et la contre-électrode 70 sont connectés à une source de tension 80.

[0208] Le principe de fonctionnement du dispositif de déplacement selon le quatrième mode de réalisation est identique à celui du premier ou second mode de réalisation préféré, et n'est donc pas repris ici.

[0209] Le dispositif présente alors l'avantage de pouvoir stocker une grande quantité de liquide F_3 . En effet, la hauteur de la partie de stockage 17A peut être augmentée sensiblement. Ainsi, la somme des volumes de liquide F_1 déplacés dans les portions de contrôle 16(i) égale sensiblement le volume de liquide F_3 déplacé. Pour une même course de contrôle des interfaces $I_1(i)$ que dans le cas d'une portion unique de contrôle 16 (figure 4A), une plus grande quantité de liquide F_3 est déplacée et injectée hors du dispositif selon l'invention.

[0210] De plus, le dispositif de déplacement de liquide est particulièrement compact et peut être intégré facilement dans les laboratoires sur puce.

[0211] Il permet également d'obtenir un débit plus important par la mise en parallèle d'un grand nombre de portions de contrôle.

[0212] Un cinquième mode de réalisation de l'invention va maintenant être décrit en détail en référence à la figure 9. La figure 9 est une représentation schématique en coupe longitudinale d'une partie du dispositif microfluidique de déplacement de liquide, adaptée pour minimiser l'influence de l'hystérésis de l'angle de contact.

[0213] L'hystérésis de l'angle de contact résulte des défauts de surface, comme par exemple des inhomogénéités chimiques ou de rugosité de la surface. L'angle de contact d'une goutte posée sur une surface n'est alors pas unique mais compris entre deux valeurs limites appelées angle d'avancée et angle de recul. Ainsi, une ligne triple ne va avancer (resp. reculer) qu'à partir du moment où l'angle de contact atteint l'angle d'avancée (resp. de recul).

[0214] La figure 9 montre une partie du microcanal 10. L'interface I_3 , située dans la portion d'injection, est au repos (trait pointillé) et forme à la paroi un angle de contact θ_3 compris entre l'angle de recul $\theta_{3,R}$ et l'angle d'avancée $\theta_{3,A}$. Lorsque le fluide F_2 , sous la pression du liquide piston F_1 , exerce une pression sur le liquide d'intérêt F_3 , l'interface I_3 va progressivement se déformer sans que la ligne triple ne recule, tant que l'angle de contact θ_3 reste différent de l'angle de recul $\theta_{3,R}$. Lorsque θ_3 est égal à $\theta_{3,R}$, la ligne triple recule en direction de la seconde extrémité 12B du microcanal 10.

[0215] Ce comportement physique de l'interface I_3 , dû à l'hystérésis de l'angle de contact, présente plusieurs inconvénients.

[0216] D'une part, l'existence de l'angle de recul $\theta_{3,R}$ introduit une sorte de barrière de pression à franchir pour déplacer la ligne triple de l'interface I_3 puis le liquide F_3 . Si la force de pression exercée par le liquide F_1 sur le liquide F_3 par l'intermédiaire du fluide F_2 est insuffisante pour dépasser cette barrière de pression, l'hystérésis empêche alors le déplacement de la ligne triple du liquide F_3 , et bloque par conséquent le déplacement du liquide F_1 . Le dispositif de déplacement est alors rendu inopérant.

[0217] D'autre part, comme expliqué précédemment, la ligne triple de l'interface I_3 et ensuite le liquide F_3 sont mis en mouvement lorsque l'angle de contact θ_3 atteint la valeur de l'angle de recul $\theta_{3,R}$. Ainsi, si par ailleurs le fluide F_2 est compressible, un temps de retard est introduit pendant lequel le débit du liquide F_3 au travers de la seconde ouverture 11B n'est pas équivalent au débit du liquide F_1 . Cela peut perturber le contrôle de la quantité de liquide F_3 injecté hors du dispositif.

[0218] Dans le but de minimiser l'effet de l'hystérésis de l'angle de contact, la hauteur H de la portion d'injection 17 est rendue sensiblement plus grande que la hauteur h de la portion de contrôle 16. En effet, la pression liée aux phénomènes d'hystérésis est proportionnelle à H^{-1} . Ainsi, la hauteur H peut être comprise entre $5h$ et $50h$, de préférence $10h$.

[0219] Une portion de raccord 18 du microcanal 10 permet de relier la portion de contrôle 16 à la portion d'injection 17, plus précisément la seconde extrémité 16B de la portion de contrôle 16 est reliée à la portion d'injection 17. La portion de raccord 18 est remplie uniquement de fluide séparateur F_2 .

[0220] La barrière de pression induite par l'hystérésis à la ligne triple de l'interface I_3 est alors sensiblement diminuée. On diminue ainsi les risques de blocage du déplacement du liquide F_1 ainsi que le temps de retard de mise en mouvement de la ligne triple de l'interface I_3 .

[0221] Un sixième mode de réalisation de l'invention va maintenant être décrit en détail en référence aux figures 10A à 11B.

[0222] Les figures 10A et 10B sont des représentations schématiques en coupe longitudinale d'un dispositif microfluidique de déplacement de liquide pour lequel la portion d'injection 17 du microcanal peut être simplement remplie, après dispense du liquide F_3 , par le même liquide d'intérêt F_3 . Le dispositif ainsi adapté est alors apte à être utilisé plusieurs fois.

[0223] On considère ici, à titre illustratif, un dispositif de déplacement de liquide tel que décrit dans la figure 4A. Cependant, un dispositif tel que décrit dans les figures 5 à 9 peut également être utilisé.

[0224] Le système de remplissage 90 comprend un réservoir 91 de liquide d'intérêt F_3 relié à la portion d'injection 17 du microcanal 10 par l'intermédiaire d'une vanne trois voies en L 92. Le liquide d'intérêt F_3 stocké dans le réservoir 91 est injecté ou aspiré à l'aide d'une pompe ou d'un pousse-seringue (non représenté).

[0225] La vanne trois voies en L 92 est disposée dans la portion d'injection 17, à proximité de la seconde extrémité 12B, et divise ainsi la portion d'injection en deux parties, une première partie 17A de stockage et une seconde partie 17B d'injection. La première partie 17A de stockage est la partie de la portion d'injection 17 comprise entre la portion de contrôle 16 et la vanne 92. Elle comprend l'interface I_3 . La seconde partie 17B d'injection est la partie de la portion d'injection 17 comprise entre la vanne 92 et la seconde extrémité 12B du microcanal 10. Elle est remplie de liquide F_3 .

[0226] La vanne peut occuper deux états différents.

[0227] Un premier état est un état de remplissage dans lequel la première partie de stockage 17A communique avec le réservoir 91.

[0228] Un second état est un état d'injection dans lequel la première partie de stockage 17A communique avec la seconde partie d'injection 17B.

[0229] Des moyens de commande (non représentés) permettent d'assurer la commutation de la vanne trois voies en L dans l'un des deux états définis.

[0230] La commutation est opérée en fonction de la position l'interface I_1 dans la portion de contrôle 16. Ainsi, lorsque l'interface I_1 est sensiblement à proximité de la première extrémité 16A de la portion de contrôle 16, la vanne 92 commute dans son état d'injection. Lorsque l'interface I_1 est sensiblement à proximité de la seconde

extrémité 16B de la portion de contrôle 16, la vanne 92 commute dans son état de remplissage.

[0231] Le fonctionnement du dispositif de déplacement de liquide selon le sixième mode de réalisation est le suivant.

[0232] Comme le montre la figure 10A, l'interface I_1 est initialement située à proximité de la première extrémité 16A de la portion de contrôle 16. Le liquide F_3 remplit sensiblement la première partie de stockage 17A de la portion d'injection 17 et la vanne 92 est dans l'état d'injection.

[0233] Lorsque l'électrode 30 est activée, une force d'électromouillage est appliquée à la ligne triple de l'interface I_1 et provoque le déplacement du liquide F_1 en direction de la seconde extrémité 16B de la portion de contrôle 16. Par conséquent, le liquide F_1 « pousse » le fluide F_2 dans la même direction. Le liquide d'intérêt F_3 est alors mis en déplacement en direction de la seconde extrémité 12B du microcanal 10 et injecté en dehors du dispositif par l'intermédiaire de la seconde ouverture 11B.

[0234] Lorsque l'interface I_1 arrive en bout de course (figure 10B), c'est-à-dire lorsqu'elle arrive sensiblement à proximité de la seconde extrémité 16B de la portion de contrôle 16, l'électrode 30 est désactivée et la vanne 92 commute dans l'état de remplissage.

[0235] Le réservoir 91 est alors mis en communication avec la partie de stockage 17A de la portion d'injection 17.

[0236] Le liquide d'intérêt F_3 stocké dans le réservoir 91 remplit alors progressivement la partie de stockage 17A de la portion d'injection 17, sous la force de pression exercée sur le liquide F_3 dans le réservoir 91.

[0237] Ce faisant, il déplace le liquide F_1 par l'intermédiaire du fluide F_2 jusqu'à ce que l'interface I_1 soit située sensiblement au niveau de la première extrémité 16A de la portion de contrôle 16. Le dispositif de déplacement de liquide est alors rempli.

[0238] Rappelons que du fait de l'absence de champ électrique, il n'y a pas de force d'électromouillage appliquée à la ligne triple de l'interface I_1 qui induirait un déplacement du liquide F_1 en direction de la seconde extrémité 16A de la portion de contrôle 16, et s'opposerait au remplissage du microcanal par le liquide F_3 . Aussi, le liquide F_1 peut facilement être déplacé par le liquide d'intérêt F_3 du réservoir 91.

[0239] Pour être prêt pour une nouvelle utilisation, la vanne 92 commute dans son état d'injection. Il suffit alors d'imposer un champ électrique entre l'électrode 30 et la contre-électrode 70 pour que, du fait du déplacement de l'interface I_1 , le liquide d'intérêt F_3 soit injecté hors du dispositif.

[0240] Selon une variante représentée schématiquement dans les figures 11A et 11B, le dispositif de déplacement de liquide est adapté pour dispenser en continu le liquide d'intérêt F_3 .

[0241] Pour cela, le dispositif de déplacement de liquide comprend deux dispositifs D1 et D2 tels que décrits

dans la figure 4A et un réservoir 91 contenant le liquide d'intérêt F_3 .

[0242] Un repère (X_i, Y) est représenté dans la figure 11A pour chaque dispositif D_i , où $i=1,2$. Chaque direction X_i est parallèle à l'axe longitudinal de la portion de contrôle 16 et orientée vers la portion d'injection 17.

[0243] Les dispositifs D1 et D2 et le réservoir 91 sont reliés entre eux par une vanne 94 quatre voies à 90°. Les dispositifs D1 et D2 ont en commun, en aval de la vanne 94, la partie d'injection 17B de la portion d'injection 17.

[0244] Les deux dispositifs D1 et D2 ont une structure et un fonctionnement similaires à ce qui a été décrit en référence aux figures 10A et 10B. Les caractéristiques différentes seront simplement détaillées ici.

[0245] La vanne 94 peut commuter dans deux états différents.

[0246] Un premier état correspond à l'injection de liquide F_3 du dispositif D1 et au remplissage en liquide F_3 du dispositif D2. Pour cela, la vanne 94 met en communication, d'une part la partie de stockage 17A du dispositif D1 avec la partie d'injection 17B, et d'autre part le réservoir 91 avec la partie de stockage 17A du dispositif D2.

[0247] Le second état correspond, à l'inverse, au remplissage en liquide F_3 du dispositif D1 et à l'injection en liquide F_3 du dispositif D2. Pour cela, la vanne 94 met en communication, d'une part la partie de stockage 17A du dispositif D2 avec la partie d'injection 17B, et d'autre part le réservoir 91 avec la partie de stockage 17A du dispositif D1.

[0248] Le principe de fonctionnement est le suivant.

[0249] En référence à la figure 11A, lorsque le dispositif D2 est rempli du liquide F_3 par le réservoir 91, le dispositif D1 dispense le liquide F_3 à partir de sa partie de stockage 17A, la vanne 94 occupant alors le premier état.

[0250] Puis, lorsque l'interface I_1 du dispositif D1 arrive sensiblement au niveau de la seconde extrémité 16B de la portion de contrôle 16, le champ électrique du dispositif D1 est désactivé, la vanne 94 commute dans son second état (figure 11B), le champ électrique du dispositif D2 est activé. Le dispositif D2 dispense alors le liquide F_3 à partir de sa partie de stockage 17A pendant que le réservoir 91 remplit de liquide F_3 la partie de stockage 17A du dispositif D1.

[0251] Ainsi, le liquide d'intérêt F_3 est dispensé hors du dispositif selon l'invention de manière continue et non de manière saccadée.

[0252] Bien entendu, selon une variante non représentée, plusieurs dispositifs de déplacement peuvent être reliés entre eux au niveau de la partie d'injection 17B de leur portion d'injection 17 respective. Ainsi, dans la mesure où ils dispensent des liquides d'intérêt F_3 de composition différente et non miscibles entre eux, il est possible d'obtenir la dispense continue de bouchons de liquide d'intérêt F_3 différents.

[0253] Dans le cas où deux, ou plus, dispositifs selon la variante du sixième mode de réalisation sont reliés

entre eux au niveau de la partie d'injection 17B de leur portion d'injection 17 respective, il est possible d'obtenir l'injection continue de liquides F_3 occupant chacun une partie de la section transversale de la partie d'injection 17B de la portion d'injection 17. Le mélange entre les liquides d'intérêt F_3 respectifs peut éventuellement avoir lieu par diffusion avant injection au travers de l'ouverture 11B du microcanal 10.

[0254] Ce dispositif permet d'injecter des liquides d'intérêt F_3 qui ne peuvent être préalablement stockés ensemble dans un réservoir.

[0255] Un septième mode de réalisation de l'invention va maintenant être décrit en détail en référence aux figures 12A à 13B, qui sont des représentations schématiques du dispositif de déplacement de liquide comprenant d'un système d'asservissement du déplacement du liquide piston F_1 , dans le but de contrôler précisément la quantité de liquide d'intérêt F_3 injecté.

[0256] Les figures 12A et 12B représentent le dispositif de déplacement pour lequel le déplacement du liquide F_1 dépend de la position de l'interface I_1 .

[0257] Les figures 13A et 13B montrent des variantes des modes de réalisation représentés dans les figures 12A et 12B, pour lesquels le déplacement du liquide F_1 dépend de la position de l'interface I_3 .

[0258] En référence aux figures 12A et 12B, 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 F_1 .

[0259] Dans le premier mode de réalisation, le dispositif de détermination de position par mesure capacitive est connecté à l'électrode 30 et à la contre-électrode 70.

[0260] Il comprend une source de tension alternative 180. La fréquence de celle-ci est de préférence éloignée de celle de la tension fournie par la source de tension 80. Elle est avantageusement cent fois plus élevée. Par exemple, elle peut être de l'ordre de quelques centaines de kilohertz si la fréquence de la tension fournie par la source de tension 80 est de l'ordre de quelques kilohertz. L'amplitude est de préférence de l'ordre de dix à cent fois plus petite que celle de la tension délivrée par la source de tension 80, et est de préférence de l'ordre d'une dizaine de volt.

[0261] Dans le but de mesurer la capacité formée entre le liquide polarisé F_1 et l'électrode 30, une capacité 141B est mise en série avec l'électrode 30, pour former un diviseur capacitif.

[0262] La valeur de la capacité 141B peut être comprise entre 10pF et 500pF, et vaut de préférence 100pF.

[0263] Un voltmètre 141A mesure la tension aux bornes de la capacité 141B.

[0264] Par ailleurs, il est possible de remplacer la capacité 141B et le voltmètre 141A par un analyseur d'impédance.

[0265] La tension mesurée est transmise à des moyens de calcul 142 de la position de l'interface I_1 .

[0266] A partir de la tension mesurée, les moyens de calcul 142 calculent la valeur de la capacité formée entre

le liquide polarisé F_1 et l'électrode 30 et en déduisent le taux de recouvrement de la couche diélectrique 40 par le liquide F_1 . A partir du taux de recouvrement et connaissant la position de la couche diélectrique 40, les moyens de calcul 142 déterminent la position de l'interface I_1 dans le microcanal 10.

[0267] La position de l'interface I_1 est ensuite transmise à des moyens de commande 152. Ceux-ci sont connectés à la source de tension 80, et permettent de faire varier la valeur de la tension générée.

[0268] La variation de la tension générée par la source de tension 80 permet de contrôler notamment la vitesse de déplacement du liquide F_1 .

[0269] Les moyens de calcul 142 et le moyen de commande 152 sont par exemple disposés sur un circuit imprimé (non représenté).

[0270] Ainsi, le système d'asservissement permet de contrôler le déplacement du liquide F_1 en fonction de la position de l'interface I_1 détectée par mesure capacitive.

[0271] Le fonctionnement du dispositif de déplacement contrôlé de liquide selon le premier mode de réalisation de l'invention est le suivant.

[0272] La source de tension 80 active l'électrode 30 et permet le déplacement du liquide F_1 .

[0273] L'activation de la source de tension 180 permet de mesurer la capacité formée entre le liquide polarisé F_1 et l'électrode 30. Pour cela, le voltmètre 141A du dispositif de mesure capacitive mesure la tension aux bornes de la capacité 141B et envoie le signal mesuré aux moyens de calcul 142.

[0274] Les moyens de calcul 142 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 40 et en déduisent la position de l'interface I_1 . La position de l'interface I_1 est transmise aux moyens de commande 152.

[0275] En fonction du signal reçu, les moyens de commande 152 déterminent la valeur de la différence de potentiel à appliquer par la source de tension 80.

[0276] En fonction de l'intensité de la différence de potentiel appliquée par la source de tension 80, une force d'électromouillage plus ou moins importante est générée au niveau de l'interface I_1 . Son intensité permet de contrôler notamment la vitesse de déplacement du liquide F_1 .

[0277] 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 , et ainsi le liquide F_3 .

[0278] La figure 12B montre une variante du mode de réalisation représenté dans la figure 12A.

[0279] Une matrice d'électrodes 30 est disposée sur une face du microcanal 10.

[0280] La contre-électrode 70 est ici une électrode formée sur une partie de la paroi interne 15 du microcanal 10 en regard de la matrice d'électrode 30. Elle peut toutefois être un fil caténaire (figure 2) ou un fil enterré.

[0281] Des moyens de commutation 121 sont prévus

pour activer une électrode 30(i) de la matrice d'électrodes 30. Leur fermeture établit un contact entre l'électrode 30 (i) et la source de tension 80. Les moyens de commutation 121 sont commandés par un pilote d'activation (non représenté).

[0282] Lorsque l'électrode 30(1) située à proximité de l'interface I_1 est activée, à l'aide des moyens de commutation 121, la couche diélectrique 40 entre cette électrode activée et le liquide sous tension agit comme une capacité.

[0283] Le liquide F_1 peut être déplacé de proche en proche, sur la surface hydrophobe, par activation successive des électrodes 30 (1), 30 (2)... etc.

[0284] 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.

[0285] 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 30. Elle peut s'étendre sur toute la longueur de la matrice d'électrodes 30.

[0286] Porter le substrat 20 à un potentiel déterminé permet d'éviter les perturbations électrostatiques entre les électrodes 30 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.

[0287] Les figures 13A et 13B sont des représentations schématiques en coupe longitudinale d'un dispositif de déplacement de liquide selon une variante du septième mode de réalisation de l'invention, pour lequel l'interface détectée est différente de celle soumise aux forces d'électromouillage.

[0288] Selon ce mode de réalisation de l'invention, le système d'asservissement est adapté pour contrôler le déplacement du liquide F_1 en fonction de la position d'une interface I_3 . Le liquide F_3 est ici électriquement conducteur, mais il peut également être diélectrique, comme expliqué plus loin.

[0289] 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 30 reliée à une source de tension 80.

[0290] Le dispositif de mesure capacitive du système d'asservissement comprend au moins une électrode 130 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.

[0291] La longueur de l'électrode 130 définit une portion de détection 160. L'interface I_3 est située dans la portion de détection 160.

[0292] Une contre-électrode 170 est formée sur la paroi interne 15 du microcanal 10 en regard de l'électrode 130. La contre-électrode 170 peut également être un fil enterré, ou être disposée dans le microcanal 10 sous forme d'un fil caténaire, par exemple un fil en Au.

[0293] De préférence, la contre-électrode 170 s'étend dans le microcanal 10 en vis-à-vis de l'électrode 130.

[0294] La source de tension 180 est connectée aux électrodes 130 et 170 pour appliquer une tension alternative selon les mêmes caractéristiques décrites précédemment. La valeur moyenne de la tension est nulle et la fréquence élevée pour éviter de provoquer la déformation de la courbure de l'interface F_3 qui viendrait perturber la mesure capacitive.

[0295] En référence à la figure 13A, le dispositif de mesure capacitive comprend en outre une couche diélectrique 140 qui recouvre directement l'électrode 130.

[0296] Lorsque la source de tension 180 est activée, la couche diélectrique 140 entre l'électrode 130 et le liquide sous tension F_3 agit comme une capacité.

[0297] La valeur de cette capacité peut être déduite de la tension mesurée aux bornes d'une capacité de référence 141B connectée en série à l'électrode 130.

[0298] Les moyens de calcul 142 permettent de calculer la position de l'interface I_3 , à partir de la mesure de tension par le voltmètre 141A aux bornes de la capacité 141B.

[0299] Les moyens de commande 152 commandent la valeur de la tension générée par la source de tension 80 en fonction de la position de l'interface I_3 .

[0300] Ainsi, le système d'asservissement permet de contrôler le déplacement du liquide F_1 en fonction de la position de l'interface I_3 déterminée par mesure capacitive.

[0301] En référence à la figure 13B, l'électrode 130 peut être remplacée par une matrice d'électrodes 130. Des moyens de commutation 122 peuvent être prévus pour activer l'électrode 130(i) au niveau de laquelle se situe l'interface I_3 . Leur fermeture établit un contact entre l'électrode 130(i) correspondante et la source de tension 180. Les moyens de commutation 122 sont commandés par un pilote d'activation (non représenté).

[0302] 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.

[0303] 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 130. Elle peut s'étendre sur toute la longueur de la matrice d'électrodes 130.

[0304] Dans le cas où le liquide F_3 est diélectrique et présente une permittivité différente de celle du fluide F_2 , la couche diélectrique 140 n'est plus nécessaire.

[0305] En effet, lors de l'activation de la source de tension 180, la mesure de la tension aux bornes de la capacité 141B permet de déduire la valeur de la capacité que forment les fluides F_2 et F_3 entre les électrodes 130 et 170. La valeur de cette capacité dépend de la position de l'interface I_3 .

[0306] Le système d'asservissement comprend les mêmes composants que ce qui a été décrit précédem-

ment et présente un fonctionnement identique.

[0307] Dans un mode de réalisation supplémentaire de l'invention non représenté, le système d'asservissement peut également être adapté pour détecter à la fois la position de l'interface I_1 et celle de l'interface I_3 , dans le but d'obtenir une plus grande précision sur la quantité de liquide F_3 déplacé. Cette situation convient particulièrement dans le cas où le fluide F_2 présente une compressibilité qu'il importe d'évaluer en temps réel, ou lorsque les liquides F_1 et F_3 présentent une évaporation non contrôlée.

[0308] Cette détection permet également de mesurer le débit d'injection, ce qui permet de vérifier que le canal n'est pas bouché, voire de détecter la présence d'une fuite.

[0309] Par ailleurs, il est à noter que dans tous les modes de réalisation décrits précédemment, la surface des canaux, et plus particulièrement au niveau de la portion de contrôle, peut être lisse, rugueuse ou micro ou nano structurée, de façon à amplifier les effets de mouillage et augmenter les forces de capillarité, donc la pression de pompage.

Revendications

1. Dispositif de déplacement de liquide, comprenant au moins un substrat (20 ; 21, 22, 23) comprenant un microcanal (10), ledit microcanal (10) comportant une première extrémité (12A) et une seconde extrémité (12B), sensiblement opposées l'une de l'autre suivant le sens longitudinal du microcanal (10), une ouverture (11B) sur le milieu environnant étant située sensiblement au niveau de ladite seconde extrémité (12B),
ledit dispositif comprenant :

- un premier liquide (F_1) remplissant partiellement le microcanal (10) dans le sens longitudinal du microcanal (10),
- un fluide (F_2) situé en aval dudit premier liquide (F_1) en direction de la seconde extrémité (12B) et formant avec le premier liquide (F_1) une première interface (I_1), ladite première interface (I_1) étant située dans une portion de contrôle (16) du microcanal (10), et
- un second liquide (F_3) situé en aval dudit fluide (F_2) en direction de la seconde extrémité (12B) et formant avec le fluide (F_2) une seconde interface (I_3),

caractérisé en ce que

le dispositif comporte des moyens de déplacement du premier liquide (F_1) par électromouillage, le premier liquide (F_1) étant électriquement conducteur et le fluide (F_2) électriquement isolant, le déplacement du premier liquide (F_1) induisant le déplacement du second liquide (F_3), via le fluide (F_2), au travers de

ladite ouverture (11B).

2. Dispositif de déplacement de liquide selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** lesdits moyens de déplacement du premier liquide (F_1) par électromouillage comprennent :
 - au moins un premier moyen électriquement conducteur (30 ; 20, 21),
 - une couche d'un matériau diélectrique (40) recouvrant directement le premier moyen conducteur (30 ; 20, 21), ladite couche diélectrique (40) étant au moins partiellement mouillée par ledit premier liquide (F_1),
 - au moins un second moyen électriquement conducteur (70) formant contre-électrode, en contact avec le premier liquide (F_1), et
 - un premier générateur de tension (80) pour appliquer une différence de potentiel entre lesdits premier et second moyens conducteurs.
3. Dispositif de déplacement de liquide selon la revendication 2, **caractérisé en ce que**, le substrat (20, 21) comportant la portion de contrôle (16) étant électriquement conducteur, le premier moyen électriquement conducteur (30) comprend le substrat conducteur (20, 21).
4. Dispositif de déplacement de liquide selon la revendication 2 ou 3, **caractérisé en ce que**, le microcanal (10) comprenant une portion d'injection (17) s'étendant sensiblement à partir de l'ouverture (11B) en direction de la portion de contrôle (16), ladite seconde interface (I_3) étant située dans la portion d'injection (17), un empilement (34) d'une première couche d'un matériau diélectrique (40), d'un moyen électriquement conducteur pouvant être porté à un potentiel déterminé (V_0), et d'une seconde couche d'un matériau diélectrique (40), chacun présentant une longueur sensiblement égale dans le sens longitudinal de la portion d'injection (17), est disposé sur la paroi interne (15) de la portion d'injection (17) de manière à isoler électriquement le second liquide (F_3) du substrat conducteur (20, 21).
5. Dispositif de déplacement de liquide selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** ledit premier moyen électriquement conducteur (30) comprend au moins une électrode (30) disposée sur au moins une partie de la paroi dans le sens longitudinal du microcanal (10) et située dans la portion de contrôle (16).
6. Dispositif de déplacement de liquide selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** ledit premier moyen électriquement conducteur (30) comprend une électrode (30) s'étendant sur toute la longueur de la portion de contrôle (16).

7. Dispositif de déplacement de liquide selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce qu'il** comprend un réservoir (60) communiquant avec le microcanal (10) par une ouverture (11A) située au niveau de la première extrémité (12A) et contenant ledit premier liquide conducteur (F_1).
8. Dispositif de déplacement de liquide selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** ledit premier moyen électriquement conducteur (30) comprend une matrice d'électrodes (30) s'étendant sur toute la longueur de la portion de contrôle (16).
9. Dispositif de déplacement de liquide selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** le premier liquide (F_1) forme un bouchon de liquide entouré de fluide (F_2) de manière à former une interface arrière ($I_{1,R}$) et une interface avant ($I_{1,A}$), les deux interfaces ($I_{1,R}$, $I_{1,A}$) étant situées dans la portion de contrôle (16).
10. Dispositif de déplacement de liquide selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** le déplacement de la première interface (I_1) en direction de la première extrémité (12A) du microcanal (10) provoque une aspiration du second liquide (F_3) au travers de l'ouverture (11B) en direction de la première extrémité (12A).
11. Dispositif de déplacement de liquide selon l'une quelconque des revendications 5 à 10, **caractérisé en ce que** ladite électrode (30) comprend deux parties parallèles l'une avec l'autre.
12. Dispositif de déplacement de liquide selon l'une quelconque des revendications 5 à 10, **caractérisé en ce que** ladite électrode (30) s'étend sur tout le périmètre de la portion de contrôle (16).
13. Dispositif de déplacement de liquide selon l'une quelconque des revendications 2 à 12, **caractérisé en ce que** ladite couche de matériau diélectrique (40) est recouverte directement d'une couche de matériau hydrophobe (50).
14. Dispositif de déplacement de liquide selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, **caractérisé en ce que** le microcanal présente une section transversale polygonale convexe.
15. Dispositif de déplacement de liquide selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, **caractérisé en ce que** le microcanal présente une section transversale sensiblement circulaire.
16. Dispositif de déplacement de liquide selon l'une quelconque des revendications 1 à 15, **caractérisé en ce que** le microcanal présente une pluralité de portions de contrôle disposées en série, chaque portion de contrôle (16(i)) étant partiellement remplie du premier liquide ($F_1(i)$) et de fluide ($F_2(i)$).
17. Dispositif de déplacement de liquide selon l'une quelconque des revendications 1 à 15, **caractérisé en ce que** le microcanal présente une pluralité de portions de contrôle disposées en parallèle, chaque portion de contrôle (16(i)) étant partiellement remplie du premier liquide ($F_1(i)$) et de fluide ($F_2(i)$).
18. Dispositif de déplacement de liquide selon l'une quelconque des revendications 1 à 17, **caractérisé en ce que**,
le microcanal (10) comprenant une portion d'injection (17) s'étendant sensiblement à partir de l'ouverture (11B) en direction de la portion de contrôle (16), ladite seconde interface (I_3) étant située dans la portion d'injection (17),
l'axe longitudinal des portions de contrôle (16) est sensiblement perpendiculaire à l'axe longitudinal de la portion d'injection (17).
19. Dispositif de déplacement de liquide selon l'une quelconque des revendications 1 à 18, **caractérisé en ce que**,
le microcanal (10) comprenant une portion d'injection (17) s'étendant sensiblement à partir de l'ouverture (11B) en direction de la portion de contrôle (16), ladite seconde interface (I_3) étant située dans la portion d'injection (17),
la hauteur (H) de la portion d'injection (17) est sensiblement plus grande que la hauteur (h) de la portion de contrôle (16).
20. Dispositif de déplacement de liquide selon revendication 19, **caractérisé en ce que** la hauteur (H) de la portion d'injection (17) est comprise entre sensiblement 10 et 50 fois la hauteur (h) de la portion de contrôle (16).
21. Dispositif de déplacement de liquide selon la revendication 19 ou 20, **caractérisé en ce qu'une** portion de raccord (18) relie la portion de contrôle (16) à la portion d'injection (17), la portion de raccord (18) n'étant remplie que de fluide (F_2).

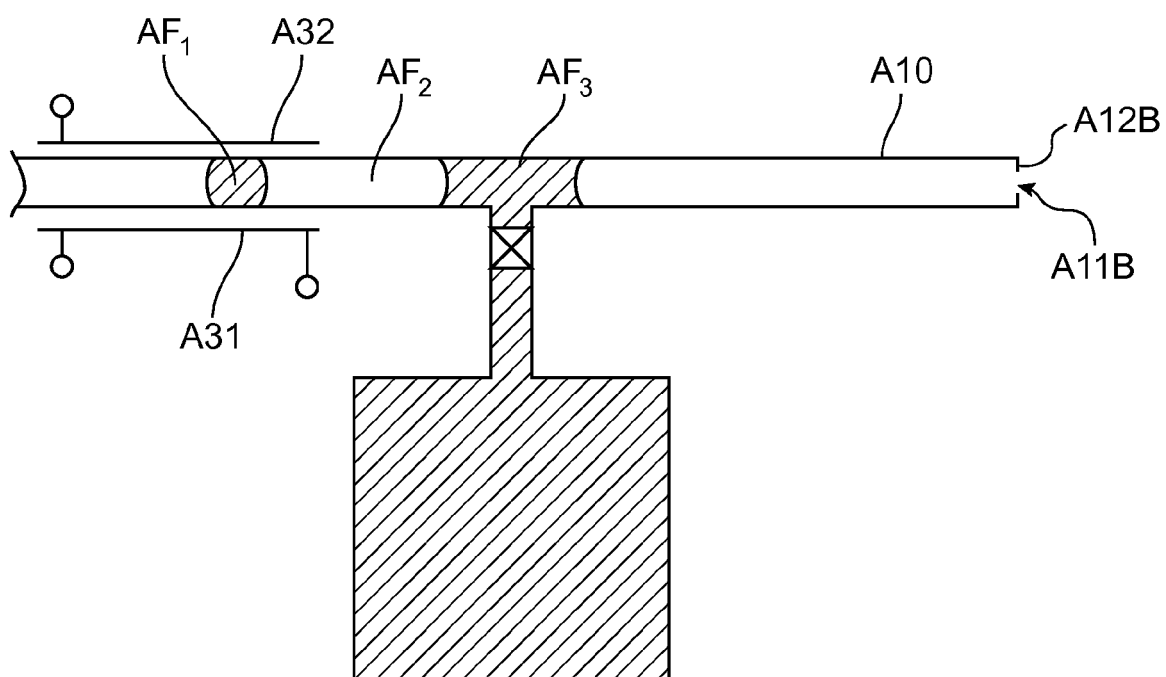


FIG.1

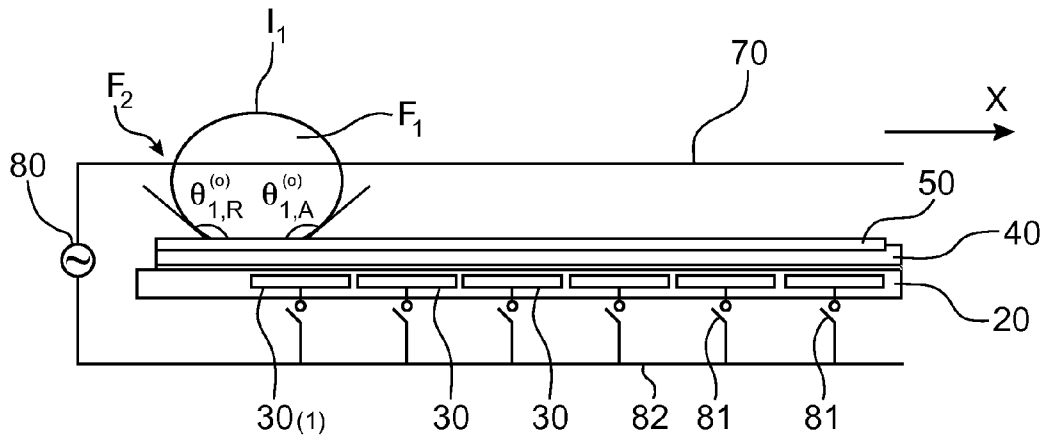


FIG. 2A

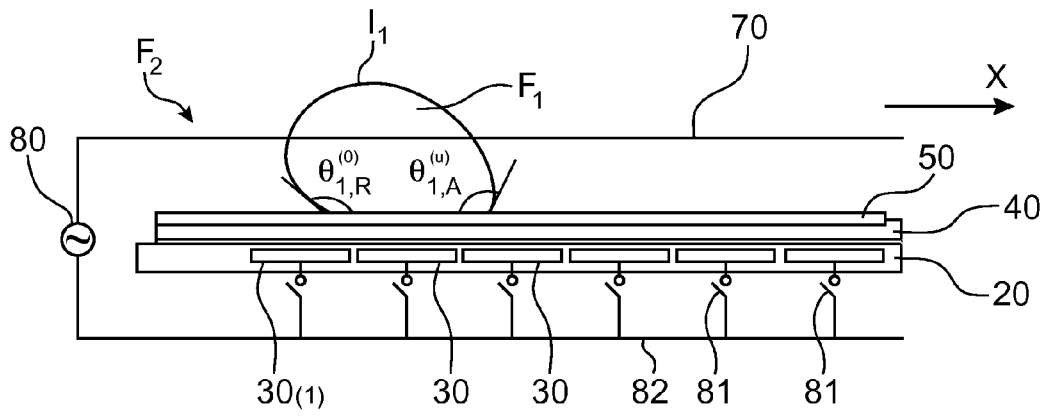


FIG. 2B

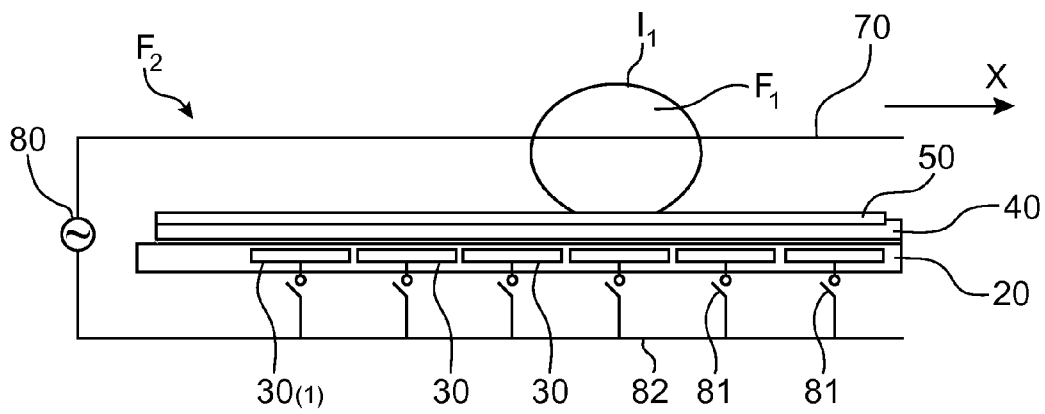


FIG. 2C

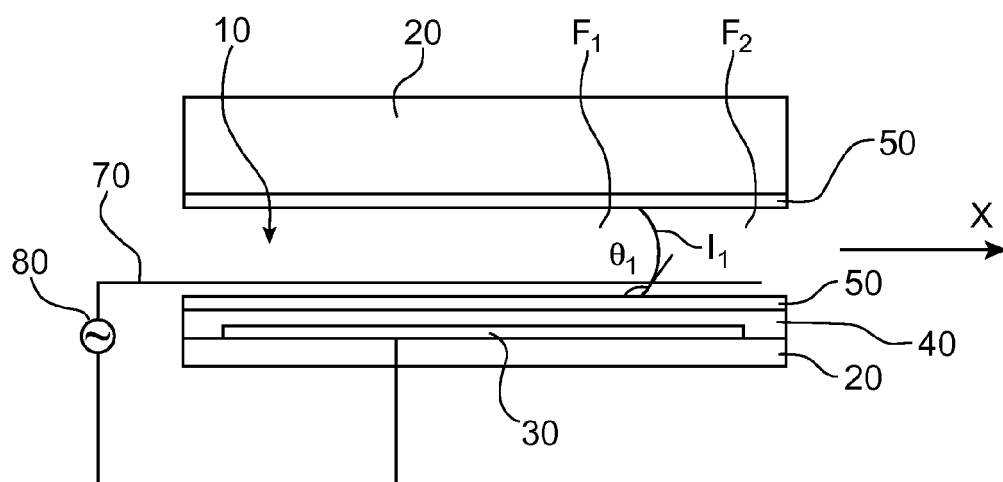


FIG.3

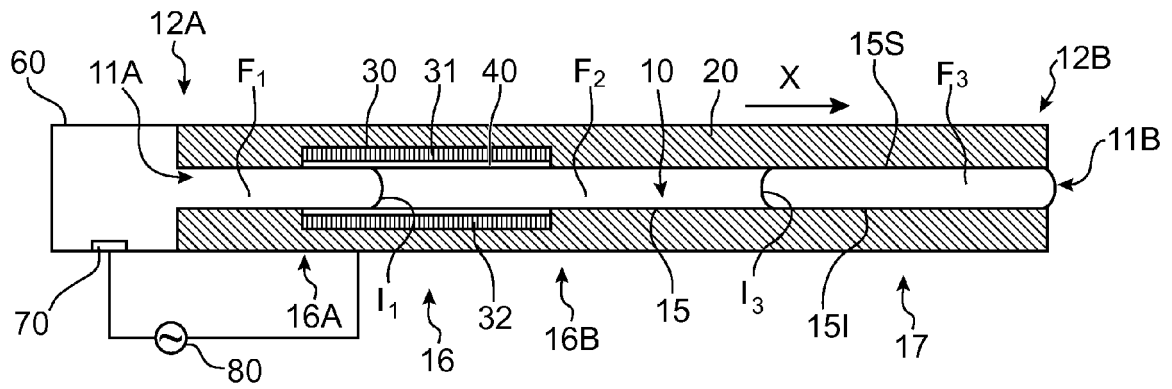


FIG.4A

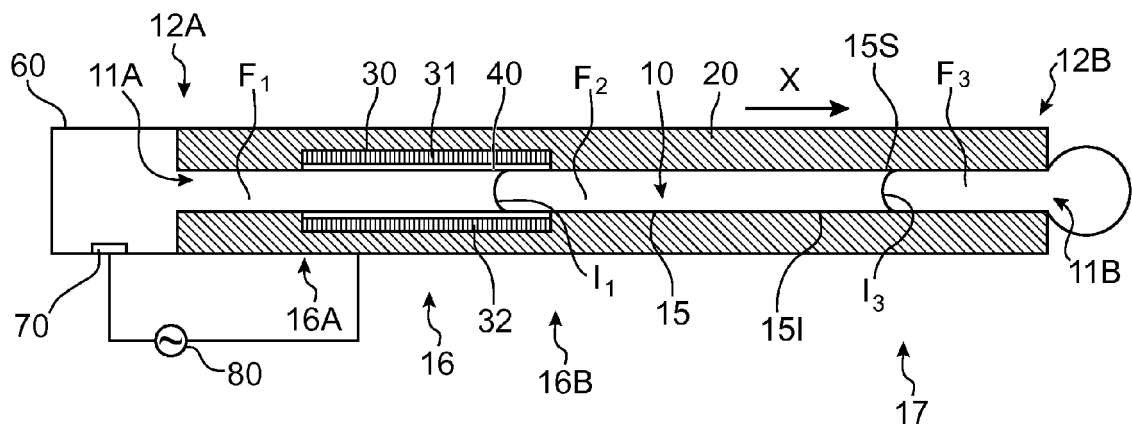


FIG.4B

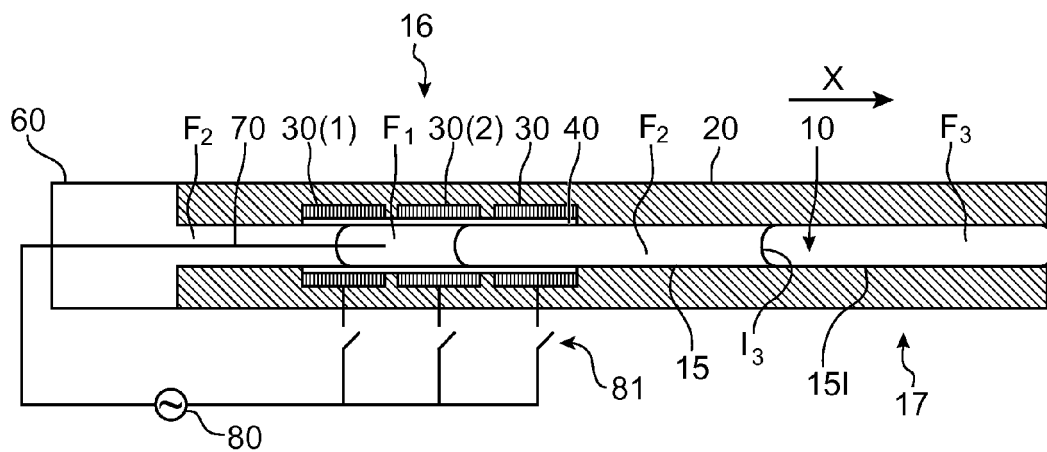


FIG.5

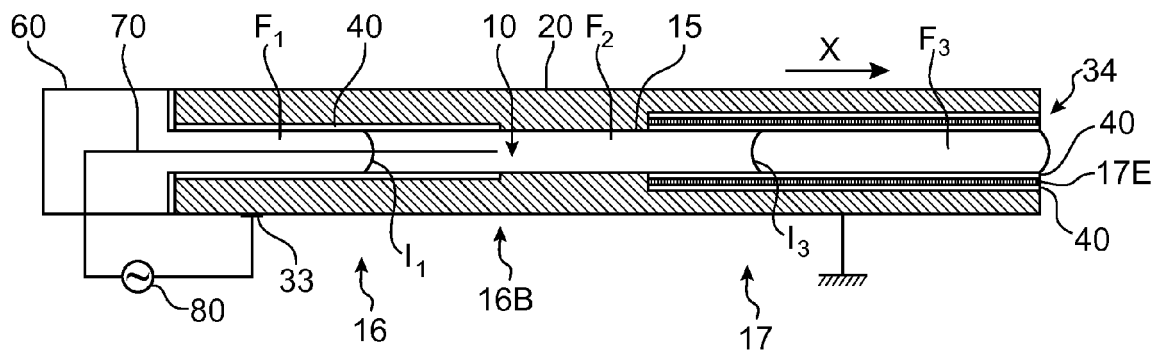


FIG. 6

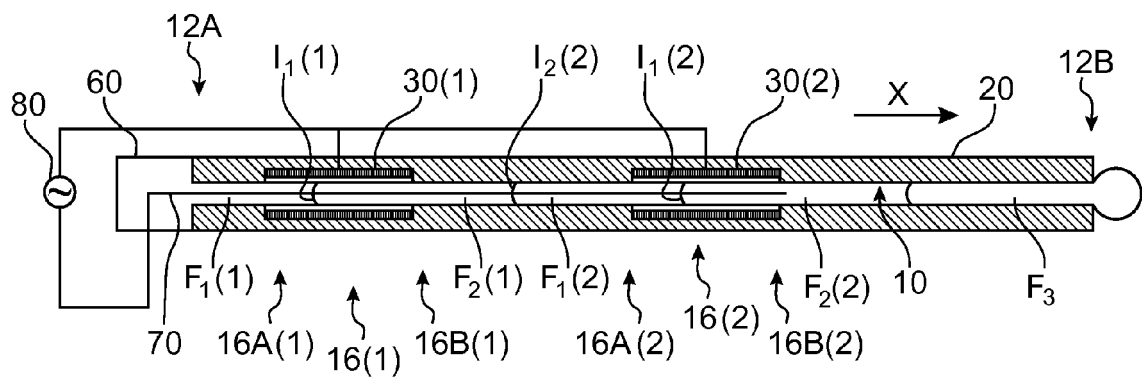
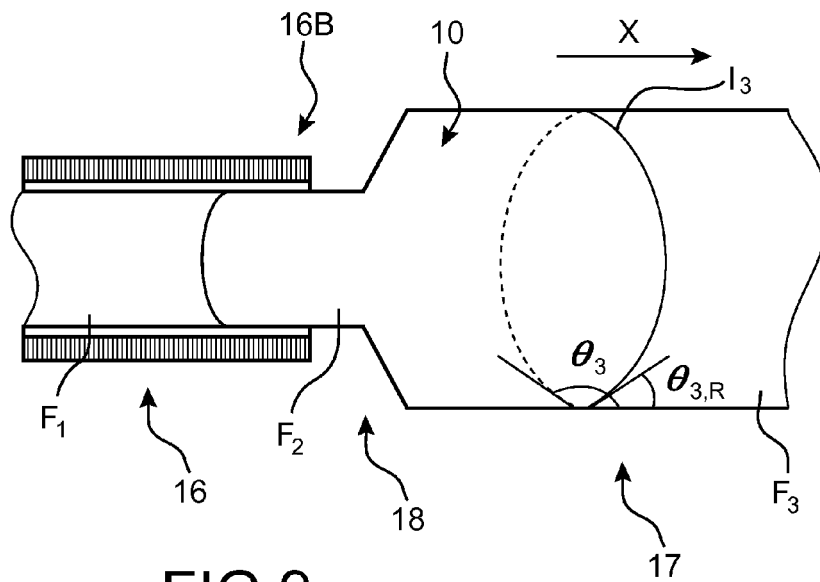
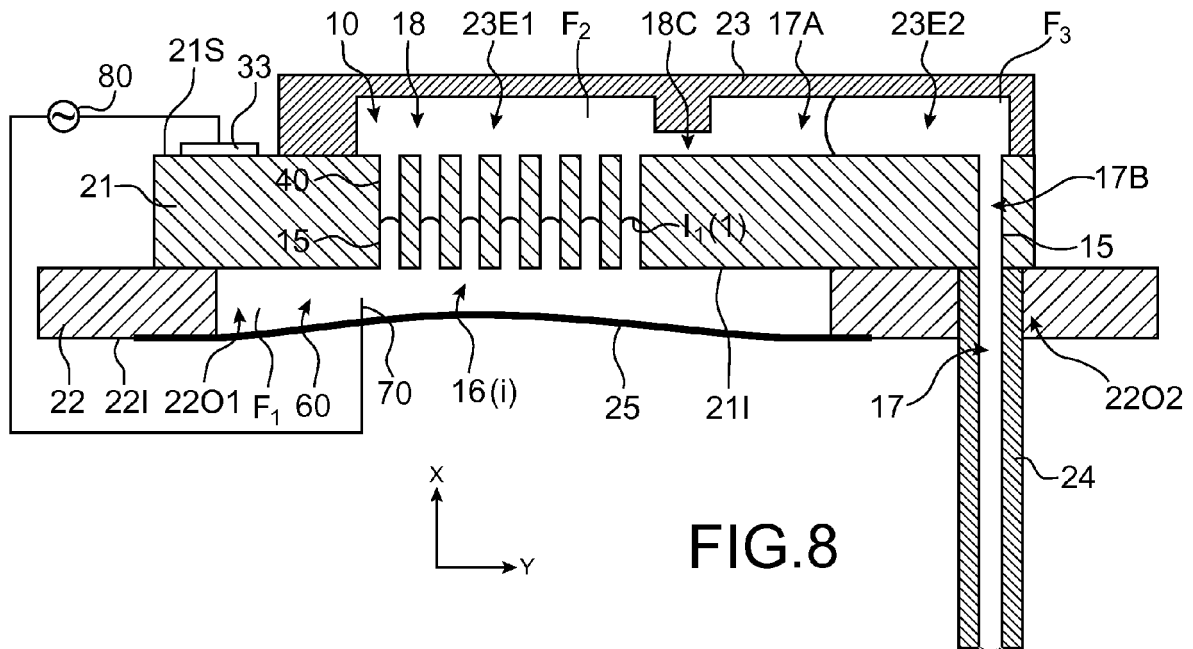
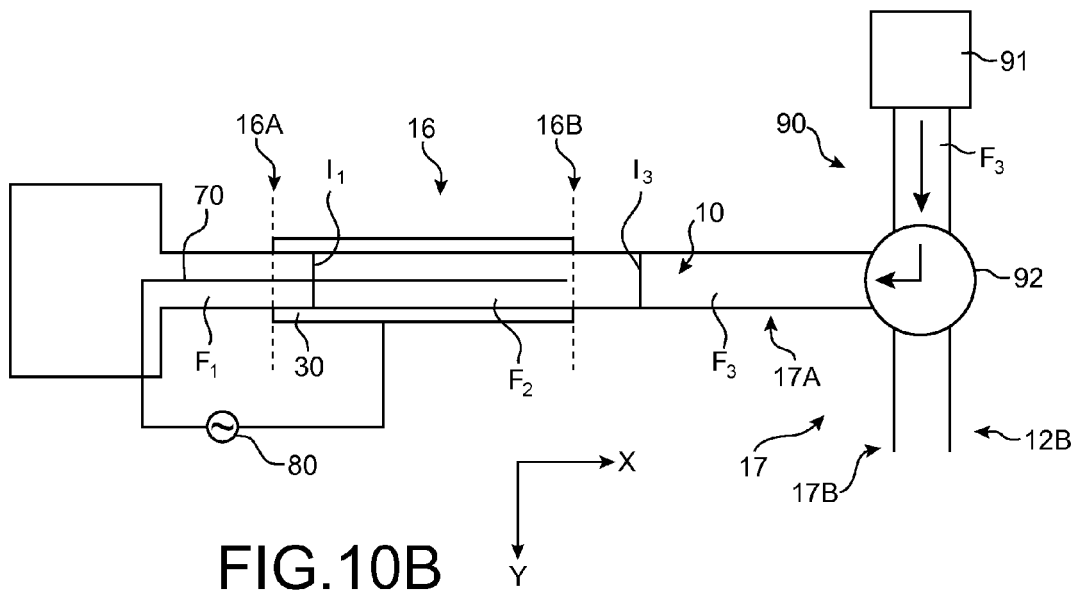
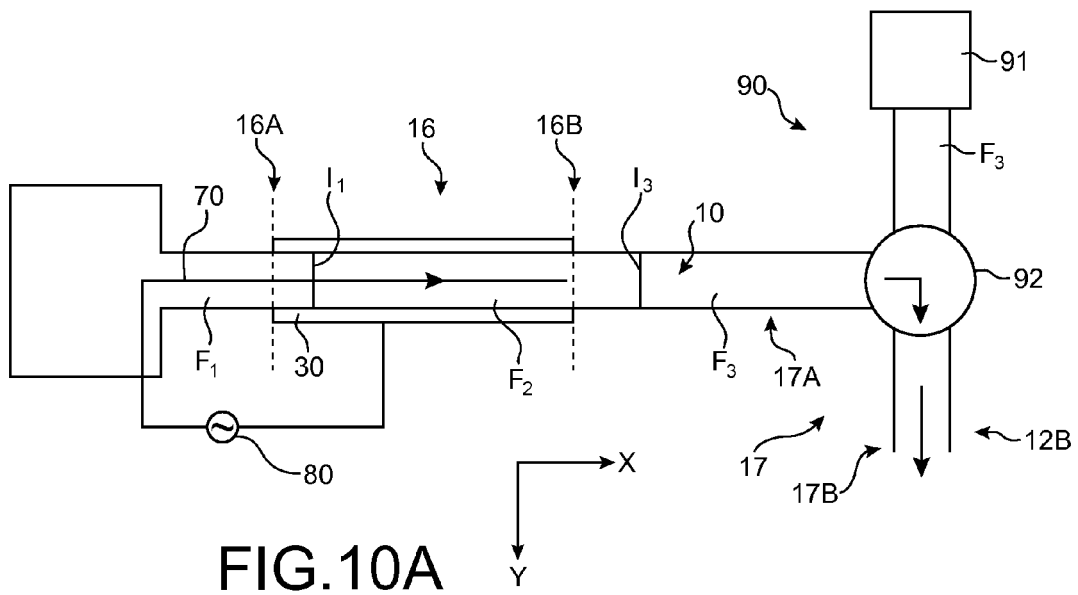
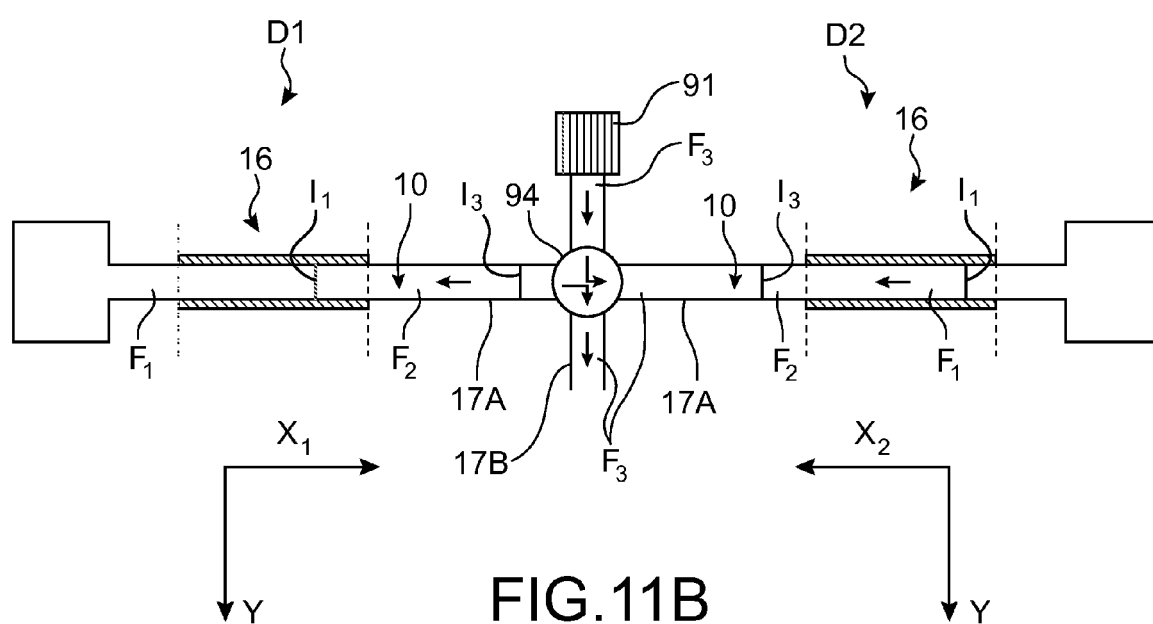
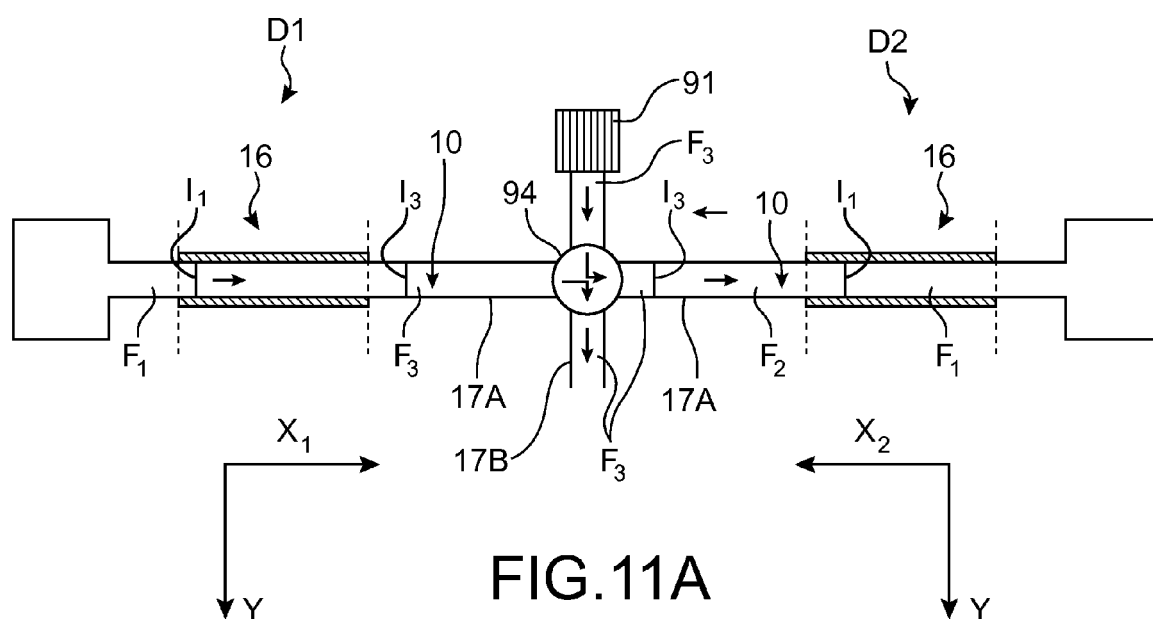


FIG. 7







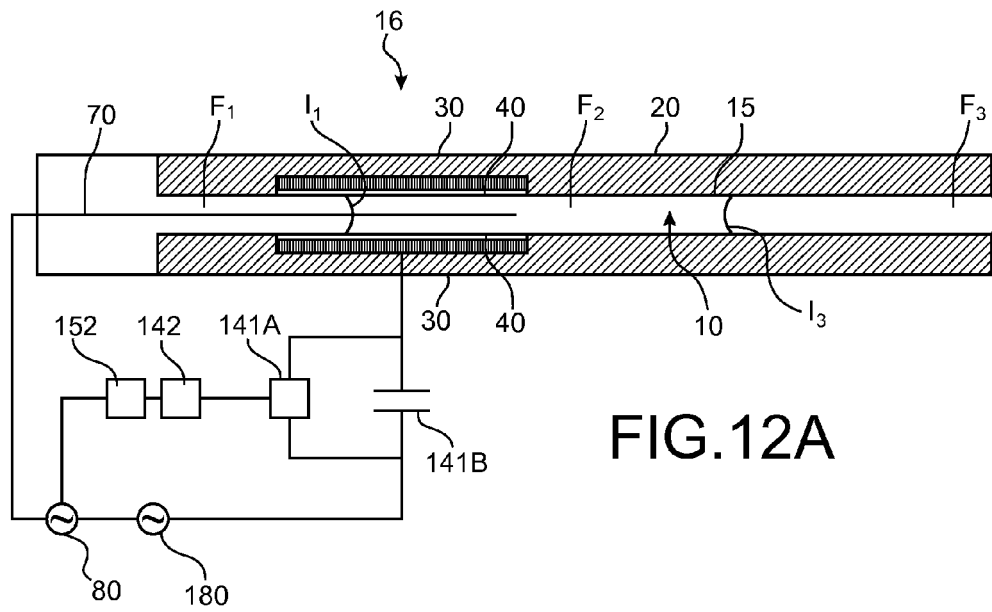


FIG. 12A

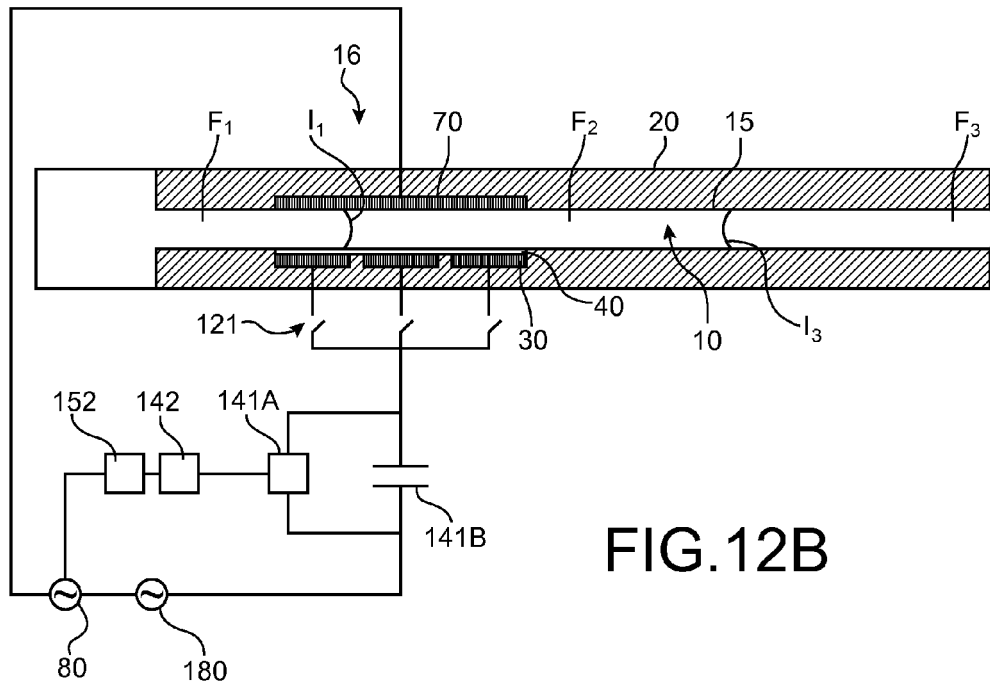


FIG. 12B

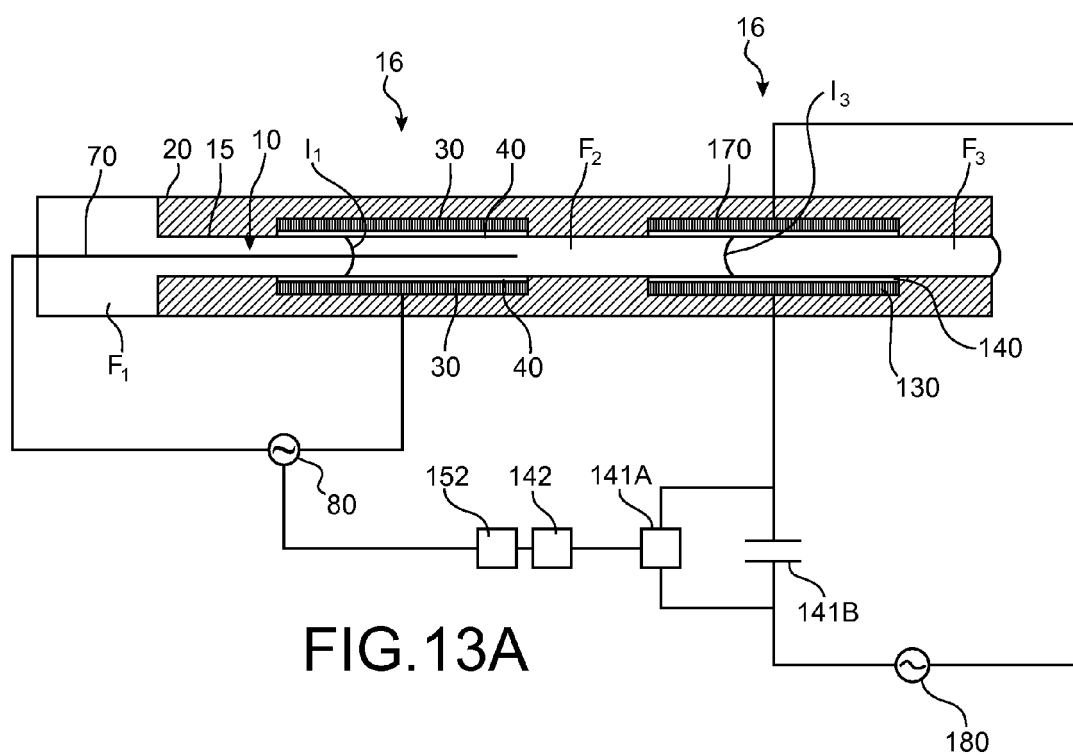


FIG. 13A

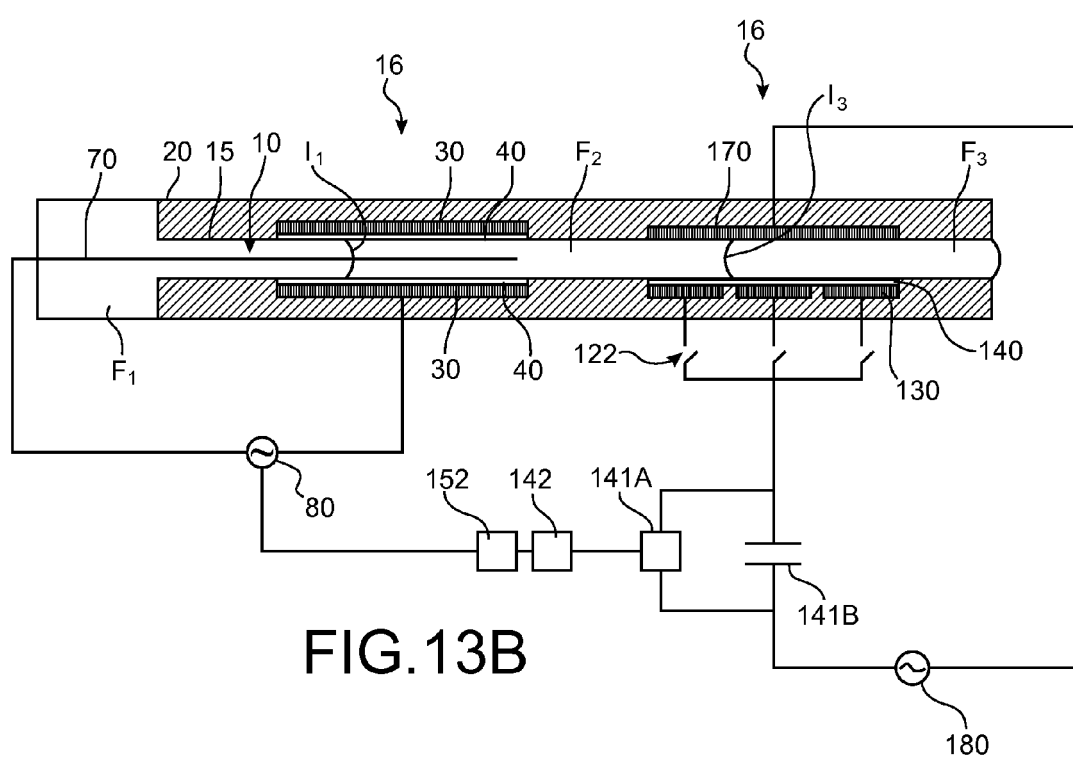


FIG. 13B

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 2003006140 A1 [0008]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **Berge.** Electrocapillarité et mouillage de films isolants par l'eau. *C.R. Acad. Sci.*, 1993, vol. 317, 157-163 [0079]
- **Mugele ; Baret.** Electrowetting: from basics to applications. *J. Phys. Condens. Matter*, 2005, vol. 17, R705-R774 [0080]
- **Bavière et al.** Dynamics of droplet transport induced by electrowetting actuation. *Microfluid Nanofluid*, 2008, vol. 4, 287-294 [0082]
- **Pollack et al.** Electro-wetting-based actuation of droplets for integrated microfluidics. *Lab Chip*, 2002, vol. 2, 96-101 [0092]