(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 182 212 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
05.05.2010 Bulletin 2010/18

(21) Numéro de dépôt: **09173788.2**

(22) Date de dépôt: **22.10.2009**

(51) Int Cl.:
F04B 19/00 *(2006.01)* ***F04B 43/04*** *(2006.01)*
B01F 13/00 *(2006.01)*

(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

(30) Priorité: **28.10.2008 FR 0857310**

(71) Demandeur: **Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives**
75015 Paris (FR)

(72) Inventeurs:
- **Fouillet, Yves**
  38340 Voreppe (FR)
- **Delapierre, Guillaume**
  38450 Vif (FR)
- **Fuchs, Olivier**
  38000 Grenoble (FR)

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

(54) **Micropompe à actionnement par gouttes**

(57) L'invention concerne une micropompe dont la force de pression n'est pas limitée par l'angle de saturation d'électromouillage, tout en présentant une fabrication simplifiée. Selon l'invention, le microcanal (10) comporte un orifice d'entrée (11) et présente une paroi hydrophile (12) s'étendant à partir dudit orifice d'entrée (11). Des moyens de déplacement sont prévus pour déplacer une goutte (51) de liquide (L1) par électromouillage sur une surface hydrophobe (22) jusqu'à mettre en contact ladite goutte (51) avec ladite paroi hydrophile (12), de sorte que ladite goutte (51) s'introduit par mouillage dans ledit microcanal (10) au travers dudit orifice d'entrée (11), provoquant le déplacement dudit fluide (F1).

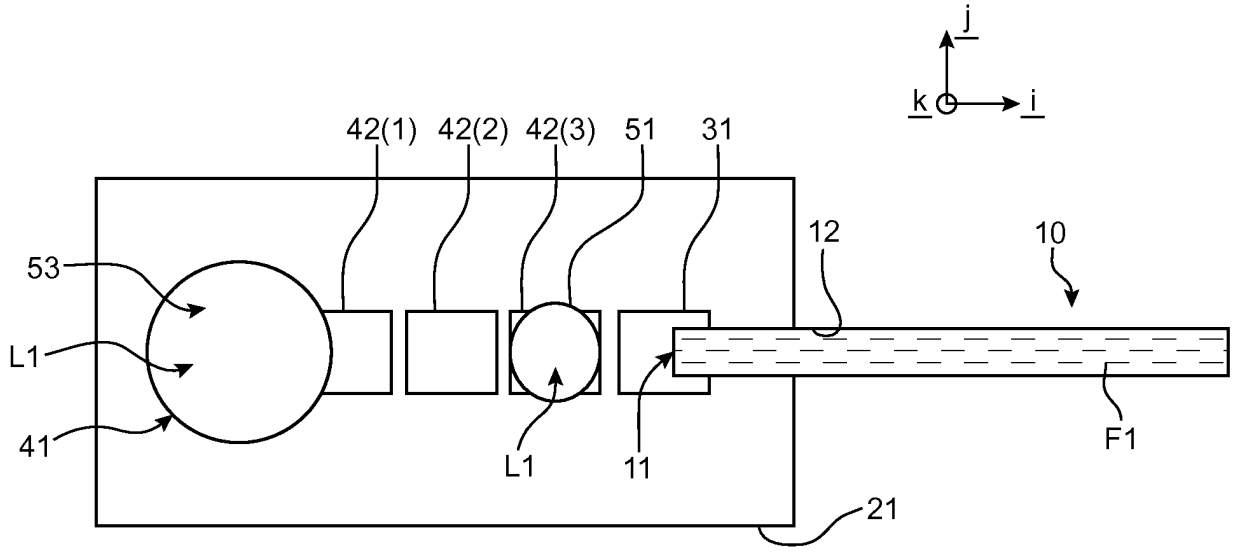


Fig.2A

EP 2 182 212 A1

Description

DOMAINE TECHNIQUE

[0001] La présente invention se rapporte au domaine général de la microfluidique et, plus particulièrement, à celui des micropompes, et concerne une micropompe à actionnement par gouttes.

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

[0002] Les micropompes permettent d'assurer l'écoulement contrôlé d'un fluide, en particulier dans un microcanal, et interviennent dans de nombreux systèmes microfluidiques.

[0003] Par exemple, des micropompes peuvent être présentes dans les laboratoires sur puce, les systèmes d'injection de substances médicales, ou encore les circuits hydrauliques de refroidissement de puces électroniques.

[0004] L'actionnement des micropompes peut être réalisé de différentes manières, par exemple, à l'aide d'un dispositif piézoélectrique, électrostatique, thermopneumatique, voire électromagnétique. Une présentation de ces différents dispositifs d'actionnement peut être trouvée dans le document de D.J. Laser et J.G. Santiago intitulé « A review of micropumps », J. Micromech. Microeng., 14(2004), R35-R64.

[0005] Cependant, ces dispositifs d'actionnement présentent certains inconvénients comme la présence de membranes déformables ou des valves, l'utilisation de tensions élevées, par exemple pour les dispositifs piézoélectriques ou électrostatiques, ou une consommation électrique importante par exemple avec les dispositifs thermopneumatiques ou électromagnétiques.

[0006] Une autre approche, qui permet d'éviter au moins en partie les inconvénients mentionnés ci-dessus, consiste à actionner la micropompe par électromouillage, et plus précisément par électromouillage sur diélectrique.

[0007] Ainsi, la demande de brevet WO2002/07503A1 décrit une micropompe, illustrée en Fig. 1, comportant un substrat dans lequel est formé un microcanal 10, et un dispositif d'actionnement permettant d'assurer l'écoulement d'un fluide F1 dans le microcanal 10. Le principe de fonctionnement du dispositif d'actionnement repose sur le déplacement par électromouillage d'un liquide L1 conducteur dans le microcanal 10 à partir d'un réservoir 41.

[0008] Le dispositif d'actionnement comprend un réseau linéaire d'électrodes de déplacement 31(1), 31(2), 31 (3)... intégrées au substrat et disposées dans le microcanal 10 à partir du réservoir 41. Une contre-électrode 43 est disposée dans le réservoir 41 et assure un contact électrique avec le liquide conducteur L1. Les électrodes de déplacement sont recouvertes d'une couche diélectrique hydrophobe (non représentée).

[0009] Un générateur de tension (non représenté) est connecté au réseau d'électrodes de déplacement 31 et à la contre-électrode 43, et permet d'appliquer une tension U entre les électrodes.

[0010] Le liquide conducteur L1 forme avec le fluide F1 remplissant le microcanal 10 une interface I1.

[0011] Lorsque l'électrode de déplacement 31(i) située en regard de l'interface I1 est activée, à l'aide de moyens de commutation (non représentés) dont la fermeture établit un contact entre cette électrode et la source de tension via un conducteur commun, l'ensemble liquide sous tension L1, couche diélectrique et électrode activée 31(i) agit comme une capacité.

[0012] Comme indiqué dans 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 θ de l'interface I1 du liquide s'exprime selon la relation :

$$\cos\theta(U) = \cos\theta(0) + \frac{\varepsilon_r}{2e\sigma}U^2 \qquad (1)$$

où e est l'épaisseur de la couche diélectrique, ε_r la permittivité de cette couche et σ la tension de surface de l'interface I1 du liquide L1.

[0013] Lorsque la tension de polarisation *U* est alternative, le liquide L1 se comporte comme un conducteur dans la mesure où la fréquence de la tension de polarisation est sensiblement inférieure à une fréquence de coupure. Cette dernière, qui dépend 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 de préférence sensiblement supérieure à la fréquence correspondant au temps de réponse hydrodynamique du liquide, qui dépend des paramètres physiques comme la tension de surface, la viscosité ou la taille du microcanal, et qui est de l'ordre de quelques dizaines ou centaines de Hertz. La réponse du liquide dépend alors de la valeur efficace de la tension, puisque l'angle de contact dépend de la tension en U^2, selon la relation (1).

[0014] Il apparaît alors une pression électrostatique agissant sur l'interface I1, à proximité de la ligne de contact, comme l'explique l'article de Bavière et al. intitulé « Dynamics of droplet transport induced by electrowetting actuation », Microfluid Nanofluid, 4, 2008, 287-294. Le liquide peut alors être déplacé de proche en proche, sur la surface hydrophobe, par activation successive des électrodes 31(1), 31(2), etc. Dans son déplacement, le liquide L1 « pousse » le fluide F1 le long du microcanal 10.

[0015] Cependant, la micropompe selon l'art antérieur présente certains inconvénients.

[0016] La force de pression exercée par le liquide sur le fluide est proportionnelle à $\cos\theta(U)$ Ainsi, plus l'angle $\theta(U)$ est petit, plus la force de pression sera grande et le débit important. Or, en pratique l'angle de contact décroît avec l'augmentation de la tension de polarisation U jusqu'à un angle de saturation qui est habituellement compris entre 30° et 80° environ. La force de pression, et donc le débit de fluide, sont alors limités par cet angle de saturation.

[0017] D'autre part, la longueur de déplacement du liquide dans le microcanal correspond à celle du réseau d'électrodes d'actionnement. Aussi, déplacer le liquide sur toute la longueur du microcanal nécessite d'étendre le réseau d'électrodes tout le long du microcanal. La fabrication est alors rendue particulièrement complexe, notamment dans le cas où le microcanal présente une forme transversale non rectangulaire, par exemple circulaire, ou s'il présente des changements de direction.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

[0018] Le but de la présente invention est de proposer une micropompe dont la force de pression n'est pas limitée par l'angle de saturation d'électromouillage, tout en présentant une fabrication simplifiée.

[0019] Pour ce faire, l'invention a pour objet une micropompe pour déplacer un fluide dans un microcanal.

[0020] Selon l'invention, le microcanal comporte un orifice d'entrée et présente une paroi hydrophile s'étendant à partir dudit orifice d'entrée, et la micropompe comprend des moyens de déplacement d'une goutte de liquide par électromouillage sur une surface hydrophobe jusqu'à mettre en contact ladite goutte avec ladite paroi hydrophile, de sorte que ladite goutte s'introduit par mouillage dans ledit microcanal au travers dudit orifice d'entrée, provoquant le déplacement dudit fluide.

[0021] Ainsi, la force de pression exercée par le liquide sur le fluide dans le microcanal n'est pas limitée par l'angle de saturation d'électromouillage, comme dans la micropompe selon l'art antérieur.

[0022] En effet, selon la présente invention, l'électromouillage permet d'amener des gouttes de liquide jusqu'à l'orifice d'entrée du microcanal, mais n'est pas le phénomène moteur de la micropompe.

[0023] L'écoulement du fluide est obtenu par l'introduction de la goutte de liquide dans le microcanal au travers de l'orifice d'entrée. Celle-ci a naturellement lieu du fait de la différence de mouillabilité à laquelle est soumise la goutte. En effet, lorsque la goutte est mise en contact avec la paroi hydrophile au travers de l'orifice d'entrée, elle mouille dans le même temps la surface hydrophobe et la paroi hydrophile du microcanal. La différence de mouillabilité entre ces deux surfaces provoque la migration de l'ensemble de la goutte de la surface hydrophobe vers la paroi hydrophile. La goutte de liquide s'introduit alors dans le microcanal et « pousse » simultanément le fluide.

[0024] De plus, la réalisation de la micropompe est simplifiée puisqu'il n'est plus nécessaire de disposer des électrodes d'électromouillage sur toute la longueur du microcanal.

[0025] Avantageusement, ladite goutte forme un angle de contact sur ladite paroi hydrophile sensiblement inférieur à celui formé par électromouillage sur ladite surface hydrophobe.

[0026] Lesdits moyens de déplacement comportent, de préférence, au moins une électrode de déplacement et une contre-électrode en contact électrique avec la goutte, et un générateur de tension pour appliquer une différence de potentiel entre une ou plusieurs électrodes de déplacement et ladite contre-électrode.

[0027] Lesdites électrodes de déplacement peuvent être disposées suivant un trajet déterminé.

[0028] Parmi lesdites électrodes de déplacement, une électrode de déplacement, dite de mise en contact, est avantageusement disposée de sorte qu'une goutte de liquide la recouvrant est en contact avec ladite paroi hydrophile au travers dudit orifice d'entrée.

[0029] Lesdits moyens de déplacement peuvent comporter une unique électrode de déplacement, celle-ci étant alors ladite électrode de mise en contact.

[0030] Ladite paroi hydrophile peut présenter une surface nanotexturée ou microtexturée.

[0031] Ladite paroi hydrophile peut être en matériau hydrophile.

[0032] Ladite paroi hydrophile peut comprendre une couche d'un matériau hydrophile.

[0033] Avantageusement, ladite paroi hydrophile s'étend sur toute la longueur du microcanal.

[0034] Une couche de matériau diélectrique est de préférence disposée entre ladite surface hydrophobe et lesdites électrodes.

[0035] Avantageusement, le microcanal comporte une portion de raccord définissant une portion amont et une portion aval, ladite portion de raccord présentant une section transversale sensiblement plus grande que celle de la portion amont.

[0036] La taille de la portion de raccord est, de préférence, comprise entre 5 et 50 fois celle de la portion amont.

[0037] Un second fluide peut être situé en aval du premier fluide de manière à former avec ce dernier une interface localisée dans ladite portion de raccord.

[0038] La portion amont peut comprendre une première portion amont s'étendant à partir de l'orifice d'entrée et une pluralité de deuxièmes portions amont élémentaires disposées en parallèle communiquant chacune avec ladite première portion amont.

[0039] Chaque deuxième portion amont élémentaire peut communiquer avec ladite portion de raccord.

[0040] Chaque deuxième portion amont élémentaire peut être au moins partiellement remplie dudit fluide.

[0041] La micropompe comprend avantageusement des moyens de formation de ladite goutte sur ladite surface hydrophobe, par électromouillage.

[0042] Les moyens de formation de gouttes peuvent comprendre une pluralité d'électrodes de formation de goutte, dont l'une est adjacente à une électrode de déplacement.

[0043] Une seconde surface hydrophobe peut être disposée en regard de la première surface hydrophobe de manière à former un dispositif fermé ou confiné pour ladite goutte.

[0044] D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront dans la description détaillée non limitative ci-dessous.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

[0045] 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 vue de dessus d'une micropompe selon l'art antérieur ;

Les figures 2A et 2B sont des représentations schématiques en vue de dessus d'une micropompe selon un premier mode de réalisation de l'invention, pour deux étapes de fonctionnement, dans lequel la configuration des moyens de formation et de déplacement de gouttes est dite ouverte ou non confinée ;

Les figures 3A à 3C illustrent la formation de gouttes par électromouillage dans le cas d'une micropompe selon le premier mode de réalisation ;

Les figures 4A et 4B sont des représentations schématiques d'une micropompe selon un deuxième mode de réalisation, dans lequel la configuration des moyens de formation et de déplacement de gouttes est dite confinée, la figure 4A étant une vue de dessus et la figure 4B une vue en coupe longitudinale de la figure 4A selon l'axe I-I ;

La figure 5 est une représentation schématique en vue de dessus d'une micropompe selon un troisième mode de réalisation de l'invention, dans lequel le microcanal comprend une portion de raccord ;

La figure 6 est une représentation schématique en coupe longitudinale d'une micropompe selon un quatrième mode de réalisation de l'invention, dans lequel le microcanal comporte une pluralité de portions élémentaires disposées en parallèle ;

La figure 7 est une représentation schématique en coupe longitudinale d'une micropompe selon une variante du quatrième mode de réalisation représenté sur la figure 6, comprenant deux micropompes élémentaires disposées en parallèle.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ D'UN MODE DE RÉALISATION PREFERE

[0046] Un premier mode de réalisation de l'invention est représenté schématiquement sur les figures 2A et 2B, en vue de dessus.

[0047] La micropompe comprend un microcanal 10 rempli au moins partiellement d'un fluide F1 et un dispositif d'actionnement permettant d'assurer l'écoulement dudit fluide F1 dans le microcanal 10.

[0048] La figure 2A montre un repère orthonormé direct ($\underline{i},\underline{j},\underline{k}$). Dans le premier mode de réalisation de l'invention, une goutte 51 peut être déplacée dans un plan sensiblement parallèle au plan ($\underline{i},\underline{j}$).

[0049] On définit l'axe longitudinal du microcanal 10 comme étant la ligne médiane du microcanal. L'axe longitudinal peut être rectiligne ou courbe, et présenter des changements de direction.

[0050] Le microcanal 10 peut présenter une section transversale polygonale convexe, par exemple carrée, rectangulaire, hexagonale, une section carrée étant un cas particulier de la forme rectangulaire plus générale. Il peut également présenter une section transversale circulaire. Le terme microcanal est pris ici dans un sens général et comprend notamment le cas particulier du microtube dont la section est circulaire. Le microcanal peut être également le cathéter d'un système de délivrance de médicament.

[0051] On désigne par le terme hauteur la taille caractéristique transversale du microcanal 10. Dans le cas d'un microtube, la hauteur désigne le diamètre.

[0052] Selon l'invention, le microcanal 10 comprend un orifice d'entrée 11 permettant le passage d'un liquide L1 de

l'extérieur à l'intérieur du microcanal 10.

[0053] De préférence, l'orifice d'entrée 11 est situé à une extrémité du microcanal 10.

[0054] Le microcanal 10 comporte une paroi hydrophile 12 qui s'étend à partir dudit orifice d'entrée 11, sur une partie du contour transversal, ou, de préférence, sur tout le contour transversal.

[0055] La paroi hydrophile 12 peut s'étendre sur une longueur définie suivant l'axe longitudinal du microcanal, ou de préférence, s'étendre sur toute la longueur du microcanal.

[0056] Le dispositif d'actionnement de la micropompe assure l'écoulement du fluide F1 dans le microcanal 10.

[0057] Il comprend des moyens de déplacement d'au moins une goutte 51 de liquide L1, par électromouillage, sur une surface hydrophobe jusqu'à l'orifice d'entrée 11 du microcanal 10.

[0058] Les moyens de déplacement comprennent ici une unique électrode de déplacement 31 intégrée dans ou disposée sur un substrat support 21, et recouverte de la surface hydrophobe.

[0059] L'électrode de déplacement 31, dite électrode de mise en contact, est disposée de sorte qu'une goutte 51 de liquide L1 la recouvrant est en contact avec la paroi hydrophile 12 au travers dudit orifice d'entrée 11.

[0060] Selon une variante non représentée, une série d'électrodes de déplacement peut être disposée selon un trajet déterminé se terminant par une électrode de mise en contact 31 disposée de manière à mettre en contact une goutte 51 la recouvrant avec la paroi hydrophile 12 au travers de l'orifice d'entrée 11 du microcanal 10.

[0061] On notera que les verbes « recouvrir », « être situé sur » et « être disposé sur » n'impliquent pas ici nécessairement de contact direct. Ainsi, la goutte 51 de liquide peut recouvrir l'électrode de déplacement 31 sans qu'il y ait contact direct, une surface hydrophobe étant ici disposée entre la goutte 51 et l'électrode 31.

[0062] Par ailleurs, il est à noter que les moyens de déplacement des gouttes sont ici dans une configuration dite ouverte, ou non confinée, dans la mesure où lesdites gouttes de liquide ne sont pas confinées entre deux substrats supports, ou deux surfaces hydrophobes, parallèles entre eux, mais reposent uniquement sur le substrat support 21.

[0063] Dans les figures 2A et 2B, l'orifice d'entrée 11 est disposé sensiblement en regard de l'électrode de déplacement 31. Plus précisément, l'axe d'entrée au travers de l'orifice 11, ici suivant $\underline{i}$, est sensiblement parallèle au plan $(\underline{i},\underline{j})$ de l'électrode de déplacement 31. D'autres dispositions sont possibles, comme représenté en figure 5 (décrite en détail plus loin), où l'orifice d'entrée 11 est formé sensiblement dans le même plan que l'électrode de déplacement 31. L'axe d'entrée au travers de l'orifice, ici suivant $\underline{k}$, est sensiblement perpendiculaire au plan $(\underline{i},\underline{j})$ de l'électrode de déplacement 31. Dans cet exemple, l'orifice d'entrée 11 est entouré de l'électrode de déplacement 31, de sorte qu'une goutte 51 qui recouvre l'électrode 31 est mise en contact avec ladite paroi hydrophile 12 au travers dudit orifice d'entrée 11.

[0064] La surface hydrophobe peut être une couche d'un matériau hydrophobe.

[0065] De préférence, une couche d'un matériau diélectrique est disposée entre la ou les électrodes de déplacement 31 et la surface hydrophobe.

[0066] Les couches diélectrique et hydrophobe peuvent être une couche unique combinant ces deux fonctions, par exemple une couche en parylène.

[0067] De préférence, une contre-électrode (non représentée) est disposée pour assurer un contact électrique avec la goutte 51 de liquide. Elle est disposée au moins en regard de l'électrode de déplacement 31. Cette contre-électrode peut être soit une caténaire, un fil enterré entre la couche diélectrique et la couche hydrophobe, ou une électrode planaire intégrée dans un capot de la micropompe (un tel capot est décrit plus loin). Dans ce dernier cas, une couche hydrophobe électriquement conductrice peut recouvrir la contre-électrode.

[0068] L'électrode de déplacement 31 et la contre-électrode peuvent être connectées à un générateur de tension (non représenté) continue ou, de préférence, alternative, pour déplacer la goutte 51 par électromouillage, comme décrit précédemment.

[0069] Dans le cas d'une tension alternative, la fréquence est avantageusement comprise entre 100Hz et 10kHz, de préférence de l'ordre de 1kHz, de manière à conserver les propriétés électriques conductrices du liquide et à excéder le temps de réponse hydrodynamique de la goutte 51. La réponse de la goutte 51 dépend alors de la valeur efficace de la tension appliquée. La valeur efficace peut varier entre quelques volts et quelques centaines de volts, par exemple 200V. De préférence, elle est de l'ordre de quelques dizaines de volts.

[0070] Il est particulièrement avantageux que la micropompe dispose de moyens de formation de gouttes 51 par électromouillage à partir d'un réservoir 41 contenant ledit liquide L1.

[0071] Comme le montre la figure 2A, les moyens de formation de gouttes comprennent de préférence au moins trois électrodes de formation 42(1), 42(2), 42(3) intégrées dans ou déposées sur ledit substrat support 21 et recouvertes de ladite surface hydrophobe.

[0072] De préférence, ladite couche diélectrique est également disposée entre la surface hydrophobe et les électrodes de formation 42.

[0073] Une première électrode de formation 42(1) est disposée sensiblement en regard ou à proximité du réservoir 41 contenant le liquide. Une deuxième électrode de formation 42 (2) est adjacente à la première 42(1) et suivie d'une troisième électrode 42(3). La troisième électrode 42(3) est, de préférence, adjacente à l'électrode de déplacement 31.

[0074] Avantageusement, les moyens de formation de gouttes ont en commun avec les moyens de déplacement la

contre-électrode et le générateur de tension précédemment décrits. La contre-électrode est alors disposée de manière à être également en regard des électrodes de formation 42.

[0075] Des moyens de commutation (non représentés) sont prévus pour activer successivement les différentes électrodes 42(1), 42(2), 42(3), 31 et assurer ainsi, d'une part, la formation d'une goutte et, d'autre part, son déplacement jusqu'à l'orifice d'entrée 11 du microcanal 10.

[0076] Les figures 3A à 3C illustrent un exemple de formation d'une goutte par électromouillage à partir d'un réservoir 41 contenant ledit liquide L1, dans le cas d'une configuration ouverte. La demande de brevet W02006/070162, déposée au nom de la demanderesse, décrit en détail le principe de formation de gouttes utilisé ici, et donne également un exemple de formation de gouttes en configuration confinée.

[0077] Comme le montre la figure 3A, ledit réservoir 41 peut être une électrode réservoir au niveau de laquelle est disposée une goutte réservoir 53 de liquide L1. Cette électrode réservoir définit un micro-réservoir de rétention de liquide, et peut être similaire ou identique à l'électrode réservoir 46 décrite plus loin en référence au deuxième mode de réalisation de l'invention. Ladite électrode réservoir 41 peut présenter une forme circulaire comme sur les figures 2A et 2B, carrée comme sur la figure 4A, ou toute autre forme.

[0078] Trois électrodes 42(1), 42(2), 42(3) sont représentées sur les figures 3A à 3C.

[0079] L'activation de cette série d'électrodes 42(1), 42(2), 42(3) conduit à l'étalement du liquide par électromouillage à partir de la goutte réservoir 53 sous forme de segment liquide 52, comme représenté sur la figure 3B.

[0080] Puis, on coupe en deux parties ce segment liquide 52 en désactivant l'électrode 42(2). On obtient ainsi une goutte 51, comme illustré sur la figure 3C.

[0081] On utilise donc une série d'électrodes 42(1), 42(2), 42(3) pour étirer du liquide L1 de la goutte réservoir 53 en un segment liquide 52 (figure 3B) puis pour couper ce segment liquide 52 (figure 3C) et former une goutte 51 qui va pouvoir être déplacée par les moyens de déplacement.

[0082] Le fonctionnement de la micropompe selon le premier mode de réalisation de l'invention est le suivant, en référence aux figures 2A et 2B.

[0083] Les moyens de formation de gouttes sont activés de manière à former par électromouillage une goutte 51 de liquide L1 sur la surface hydrophobe, tel que décrit précédemment.

[0084] Puis les moyens de déplacement sont activés pour déplacer par électromouillage la goutte 51 formée jusqu'à l'orifice d'entrée 11, et ainsi la mettre en contact de la paroi hydrophile 12.

[0085] Lorsque la goutte est en contact avec la paroi hydrophile 12 au travers de l'orifice d'entrée 11, elle s'introduit spontanément par mouillage dans le microcanal 10. Plus précisément, la goutte migre de la surface hydrophobe du dispositif d'actionnement vers la paroi hydrophile 12 du microcanal 10. Ce faisant, elle « pousse » le fluide F1 contenu dans le microcanal 10 et assure ainsi l'écoulement contrôlé de celui-ci.

[0086] Lorsque la goutte 51 s'est entièrement introduite dans le microcanal 10, la procédure peut être répétée. Une deuxième goutte 51 peut être amenée jusqu'à l'orifice d'entrée 11 par électromouillage puis introduite par mouillage dans le microcanal 10. Plus précisément, la deuxième goutte 51 coalesce avec le liquide L1 déjà présent dans le microcanal 10 à partir de l'orifice d'entrée 11. On obtient alors une goutte de plus grand volume dont une partie mouille la surface hydrophobe et l'autre partie mouille la paroi hydrophile 12. Le phénomène reste identique. La nouvelle goutte va se déplacer pour démouiller la surface hydrophobe et mouiller davantage la paroi hydrophile 12 du microcanal 10. Et ce faisant, elle « pousse » le fluide F1 et assure ainsi l'écoulement de celui-ci.

[0087] La micropompe selon l'invention présente donc l'avantage de ne pas être limitée par l'angle de saturation d'électromouillage. La force motrice est alors la force de mouillage qui apparaît spontanément lorsque la goutte 51 de liquide est en contact avec la paroi hydrophile 12 du microcanal 10. Cette force de mouillage dépend de l'angle de contact que forme le liquide L1 sur la paroi hydrophile. Celui-ci peut être très petit, par exemple de l'ordre de, ou inférieur à, 10°. La force de pression et donc le débit de fluide dans le microcanal sont alors plus importants que dans la micropompe selon l'art antérieur.

[0088] De plus, l'écoulement du fluide F1 est assuré à mesure que le microcanal 10 est alimenté en gouttes 51 de liquide par les moyens de déplacement. Le liquide L1 peut s'étendre dans le microcanal 10 sur toute la longueur de la paroi hydrophile 12. Il n'est ainsi pas nécessaire de disposer des électrodes de déplacement 31 le long du microcanal 10. La fabrication de la micropompe est alors particulièrement simplifiée.

[0089] Un deuxième mode de réalisation de l'invention est représenté sur les figures 4A et 4B où la première est une vue de dessus et la seconde une coupe longitudinale de la première selon un axe I-I.

[0090] Les références numériques identiques à celles de la figure 2A désignent des éléments identiques ou similaires.

[0091] Dans ce mode de réalisation, les moyens de formation et de déplacement de gouttes confinent la goutte de liquide.

[0092] En effet, une seconde surface hydrophobe 26 est disposée en regard de la première surface hydrophobe 22 et sensiblement parallèle à celle-ci, et intégrée dans ou disposée sur un capot supérieur 25.

[0093] Ainsi, une goutte 51 peut être formée par les moyens de formation de gouttes et déplacée par les moyens de déplacement entre les première et seconde surfaces hydrophobes 22, 26.

[0094] De préférence, la contre-électrode 43 est intégrée au capot 25 ou disposée sur celui-ci, et recouverte par la seconde surface hydrophobe 26.

[0095] Les moyens de formation de goutte sont avantageusement similaires à ceux décrits dans la demande de brevet W02006/070162 déposée au nom de la demanderesse.

[0096] Ainsi, un puits 27 est pratiqué dans le capot supérieur 25.

[0097] Ce puits 27 est placé au moins partiellement en face d'une électrode de transfert 47, celle-ci étant intégrée au substrat 21 ou disposée sur celui-ci.

[0098] A la suite de l'électrode de transfert 47, on trouve une électrode réservoir 46, qui va permettre de définir un micro-réservoir de rétention de liquide.

[0099] Sont ensuite disposées les électrodes de formation de gouttes 42 suivies d'au moins une électrode de déplacement, ici une unique électrode dite de mise en contact 31.

[0100] Notons que la couche diélectrique, si elle est distincte de la couche hydrophobe 22, n'est pas représentée sur les figures 4A et 4B.

[0101] Comme le décrit la demande de brevet W02006/070162, l'électrode de transfert 47 permet de pomper le liquide du réservoir (non représenté) communiquant avec le puits, et de l'amener à proximité de l'électrode réservoir 46.

[0102] Sur cette électrode réservoir peut être accumulée une certaine quantité de liquide. Elle est représentée comme ayant une forme carrée ou rectangulaire sur la figure 4A, mais sa forme peut être quelconque. De préférence, elle peut accumuler au moins trois à quatre fois le volume des gouttes 51 à dispenser, et de préférence au moins 10 fois ou 20 fois le volume de chaque goutte dispensée 51.

[0103] Comme la distance entre les deux substrats 21, 25 est sensiblement constante (comme on peut le voir sur la figure 4B), c'est en fait la surface de l'électrode 46 qui est au moins trois à quatre fois égale, ou au moins 10 ou 20 fois égale à la surface de chacune des électrodes de formation de gouttes 42.

[0104] L'électrode de transfert, lorsqu'elle est activée, permet d'amener une portion de liquide, située dans le puits 27, à proximité de l'électrode réservoir 46.

[0105] Lorsque cette dernière est elle aussi activée, le liquide est transféré dans la zone située au-dessus de l'électrode réservoir 46.

[0106] Si l'on souhaite continuer à alimenter la zone située au-dessus de l'électrode réservoir 46, on peut réactiver l'électrode de transfert 47, puis l'électrode réservoir 46, de manière à continuer à accumuler du liquide dans cette zone réservoir.

[0107] Il est ainsi possible d'accumuler un volume important de liquide 53 (figure 4B). Un avantage important est que la pression dans ce volume de liquide accumulé au-dessus de l'électrode 46 est indépendante de la pression du liquide dans le puits 27 par désactivation de l'électrode de transfert 47.

[0108] Tant que l'électrode de transfert 47 n'est pas activée, le liquide défini par l'électrode réservoir 46 n'est pas en contact avec le puits 27. La formation de gouttes que l'on va pouvoir réaliser à partir du liquide stocké au-dessus de l'électrode réservoir 46 peut donc être réalisée de manière calibrée, tout en utilisant un puits 27, et indépendamment de la pression dans celui-ci, pour remplir le composant.

[0109] Il est à noter que les deux surfaces hydrophobes 22, 26 forment deux plans sensiblement parallèles et ne constituent pas un microcanal. Ainsi, le déplacement d'une goutte 51 n'entraîne pas de déplacement d'ensemble du fluide environnant dans la même direction. Celui-ci contourne la goutte 51 dans son déplacement. On peut ainsi amener une goutte 51 jusqu'à l'orifice d'entrée 11 sans introduire le fluide environnant dans le microcanal.

[0110] Cette disposition permet de dispenser des gouttes 51 de manière reproductible avec une grande précision en volume. Des coefficients de variation (CV) de volume (CV = 2x écart type/moyenne x100) inférieurs à 3% sont habituellement mesurés.

[0111] De plus, la micropompe selon ce mode de réalisation de l'invention permet de contrôler précisément l'écoulement du fluide F1 dans le microcanal 10. En effet, le fluide F1 est « poussé » par la goutte 51 de liquide sur une distance qui dépend notamment du volume de la goutte 51. Ainsi, la formation d'une goutte de volume calibré permet de déplacer le fluide F1 sur une distance précise.

[0112] Dans ce mode de réalisation de l'invention, la distance entre les deux surfaces hydrophobes 22, 26 est de l'ordre de quelques centaines de micromètres, de préférence 100μm. Les gouttes 51 obtenues présentent un volume compris entre quelques nanolitres à quelques microlitres, par exemple 64nl.

[0113] Selon des variantes non représentées, la goutte réservoir 53 située au niveau de l'électrode réservoir 46 peut être formée lors de la réalisation de la micropompe. Ainsi, les moyens de formation de gouttes ne comprennent pas de puits communiquant avec un réservoir, ni d'électrode de transfert, mais seulement une goutte réservoir située au niveau de l'électrode réservoir. Il est alors avantageux que le capot 25 comprenne une cavité au niveau de l'électrode réservoir 46, dans le but de loger une goutte réservoir d'un volume important.

[0114] Il est également possible que l'espace situé au niveau de l'électrode réservoir 46, ou ladite cavité, communique avec l'extérieur, de sorte que du liquide puisse être introduit, par exemple manuellement avec une pipette, pour reformer ou réalimenter la goutte réservoir. L'espace situé au niveau de l'électrode réservoir et ladite cavité, lorsque du liquide

L1 y est présent, forment alors un réservoir.

[0115] Le substrat support 21 et le capot 25 peuvent être en silicium ou en verre, polycarbonate, polymère, céramique.

[0116] Le microcanal 10 est, par exemple, réalisé par lithographie et gravure sélective. En fonction des dimensions voulues, on pourra utiliser la gravure sèche (attaque par gaz, par exemple SF_6, dans un plasma). La gravure peut être également humide. Pour le verre (majoritairement SiO_2) ou des nitrures de silicium, on peut utiliser les gravures à l'acide fluorhydrique ou phosphorique (ces gravures sont sélectives mais isotropes). La gravure peut être effectuée par ablation laser ou encore par ultrasons. Le micro-usinage peut également être utilisé, en particulier pour du polycarbonate. Le microcanal 10 peut également être un capillaire souple en silice fondu.

[0117] La hauteur du microcanal 10 est typiquement comprise entre quelques dizaines de nanomètres et 200μm, et de préférence entre 1μm et 100μm, de préférence de 30μm. La longueur du microcanal 10 peut être de quelques centaines de microns à quelques centimètres, par exemple 50cm.

[0118] Les électrodes de déplacement et de formation 31, 42, ainsi que l'électrode de transfert 47 et l'électrde réservoir 46, et la contre-électrode 43, peuvent être réalisées 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. Les électrodes 31, 42, 46, 47 sont ensuite gravées suivant un motif approprié, par exemple par gravure humide.

[0119] L'épaisseur des électrodes 31, 42, 46, 47 peut être comprise entre 10nm et 1μm, et être de préférence de l'ordre de 300nm. La longueur des électrodes 31 et 42 peut être comprise entre quelques micromètres à quelques millimètres, de préférence entre 50μm et 1mm, de préférence 800μm. La surface de ces électrodes dépend de la taille des gouttes à former et à déplacer.

[0120] L'espacement entre électrodes adjacentes peut être compris entre 1μm et 20μm.

[0121] Il est à noter que, dans les différents modes de réalisation, les électrodes de déplacement et de formation de gouttes 31 et 42 peuvent présenter une forme sensiblement carrée ou rectangulaire, telle que représentée sur les figures.

[0122] Cependant, l'espacement inter-électrodes peut présenter une forme courbe ou anguleuse. Dans le cas d'une forme anguleuse, le bord d'une électrode peut présenter une forme en dents de scie sensiblement parallèle au bord de l'électrode voisine présentant une forme correspondante. Cette forme d'électrodes facilite le passage de la goutte de liquide d'une électrode à l'autre.

[0123] Comme le décrit la demande de brevet W02006/07162, l'électrode réservoir 46 peut présenter une forme de peigne ou de demi-étoile, voire d'une pointe, afin de garantir un gradient de surface d'électrode. L'électrode de transfert 47 a une forme adaptée à celle de l'électrode réservoir 46.

[0124] Une couche diélectrique peut recouvrir les différentes électrodes 31, 42, 46, 47. Elle peut être réalisée en Si_3N_4, SiO_2, en SiN, en titanate de baryum strontium (BST) ou d'autres matériaux à permittivité élevée tels que du HFO_2, Al_2O_3, Ta_2O_5 [29], Ta_2O_5-TiO_2, $SrTiO_3$ ou $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$. L'épaisseur de cette couche peut être comprise entre 100nm et 3μm, de manière générale comprise entre 100nm et 1μm, de préférence de 300nm. La couche diélectrique en SiO_2 peut être obtenue par oxydation thermique. Un procédé de dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma *(PECVD)* est préféré au procédé de dépôt en phase vapeur à basse pression *(LPCVD)* pour des raisons de contraintes thermiques. En effet, la température du substrat n'est portée qu'entre 150°C et 350°C (selon les propriétés recherchées) contre 750°C environ pour le dépôt LPCVD.

[0125] Enfin, la surface hydrophobe 22 peut être déposée sur la couche diélectrique. 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 5μm, de préférence de 1μm. Cette couche permet notamment de diminuer voire d'éviter les effets d'hystérésis de l'angle de mouillage.

[0126] Dans le cas d'une configuration confinée, une couche hydrophobe 26 recouvre la contre-électrode 43.

[0127] Le microcanal 10 est au moins partiellement rempli de fluide F1, de préférence isolant, qui peut être de l'air, une huile minérale ou silicone, un solvant perfluoré, comme du FC-40 ou du FC-70, ou encore un alcane comme de l'undécane.

[0128] Le liquide L1 est électriquement conducteur et peut être une solution aqueuse chargée en ions, par exemple en Cl^-, K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Zn^{2+}, Mn2+. Le liquide peut également être du mercure, du gallium, du gallium eutectique, ou des liquides ioniques du type bmim PF6, bmim BF4 ou tmba NTf2.

[0129] Les gouttes 51 de liquide présentent un volume compris entre quelques nanolitres et quelques microlitres, par exemple 64nl environ.

[0130] Le fluide F1 est non miscible avec le liquide conducteur L1.

[0131] Le caractère hydrophile de ladite paroi 12 peut être obtenu en utilisant un matériau naturellement hydrophile pour le substrat 21 dans lequel est formé le microcanal 10, comme de l'aluminium, de la silice ou de l'hydrogel.

[0132] Le substrat peut également être un milieu poreux hydraté, comme du Nafion hydraté.

[0133] La paroi hydrophile 12 peut également comprendre une couche de silice. Dans le cas d'un substrat 21 réalisé en silicium, la couche de silice peut être obtenue par oxydation thermique du silicium.

[0134] La surface de la paroi hydrophile 12 peut également être microtexturée ou nanotexturée, de façon à amplifier

les effets de mouillage et augmenter la force de capillarité, comme le décrit la publication de J. Bico et al. intitulée « Wetting of textured surfaces » Colloids and Surfaces A, Physicochem. Eng. Aspects, 206 (2002), 41-46.

[0135] Une surface est appelée nanotexturée (resp. microtexturée) lorsqu'elle présente un relief dont l'échelle caractéristique est de quelques nanomètres (resp. micromètres) à quelques centaines de nanomètres (resp. micromètres). La surface texturée peut présenter un réseau de rugosités, par exemple des picots, des plots ou des rainures nanométriques ou micrométriques.

[0136] Pour obtenir le caractère hydrophile, voire super-hydrophile de la paroi, un film de liquide est alors présent entre les rugosités. L'épaisseur de ce film dit d'imprégnation est comparable à la hauteur des rugosités mais reste négligeable par rapport à la taille caractéristique de la goutte. Ainsi, comme l'explique P.-G. de Gennes et al. dans l'ouvrage intitulé « Gouttes, bulles, perles et ondes » 2002, la goutte se trouve posée, *in fine*, sur un substrat mouillé qui est une sorte de patchwork de solide et de liquide. Ainsi, la paroi présente un caractère hydrophile important.

[0137] Différentes techniques connues de l'homme du métier peuvent être utilisées pour obtenir une surface texturée, et sont décrites notamment dans la thèse de M. Callies Reyssat intitulée « Splendeur et misère de l'effet lotus », 2007, Université Paris VI.

[0138] Les techniques de traitement chimique de surface peuvent être utilisées pour rendre hydrophile la paroi 12 du microcanal 10. Une couche ou un film chimique est habituellement déposé sur la paroi 12, dont l'épaisseur peut varier entre quelques nanomètres et quelques centaines de microns.

[0139] Par exemple, une silanisation d'une surface d'oxyde métallique ou semi-conducteur (par exemple SiO_2, HfO_2, ITO, TiO_2, SnO_2) ou encore des polymères (par exemple le PDMS, le COC) en phase vapeur ou en phase liquide permet de rendre hydrophile la paroi du microcanal. Une grande variété de silanes permet d'obtenir une surface hydrophile. Afin d'être le plus hydrophile possible, les silanes portent, de préférence, un groupe ionique tel que, par exemple, un carboxylate, un phosphate, un phosphonate, un imidazolium, une amine protonée, une amine quaternaire, un sulfonate. Un certain nombre de ces fonctions, la synthèse des molécules associées et les méthodes de fonctionnalisation des surfaces sont décrits dans la demande de brevet W02007/088187.

[0140] Pour d'autres surfaces d'oxydes tels que TiO_2 ou SnO_2, il est avantageux d'utiliser un greffage de la molécule par phosphatation ou phosphanation, pour améliorer la résistance de la couche. Dans ce cas, le groupement conférant la propriété hydrophile pourra être du même type que celui décrit précédemment. La préparation de tels composés et leur mise en oeuvre sur les surfaces sont notamment décrites dans la publication de F. Durmaz et al. intitulée « New phosphates/phosphonates; A modular approach to functional sams », European Cells and Materials, Vol. 6, Suppl. 1, 2003, 55.

[0141] Ces deux méthodes décrites précédemment peuvent être mises en oeuvre de différentes façons suivant l'épaisseur de la couche que l'on souhaite obtenir. Ainsi, en milieu anhydre et peu concentré, on obtient ainsi une couche fine de quelques nanomètres. En présence d'eau et d'alcool (par exemple l'éthanol), on obtient une couche plus épaisse de quelques centaines de nanomètres à la centaine de microns par des procédés de type sol-gel.

[0142] Il est à noter que le greffage de molécules de la famille des polysaccharides permet également d'obtenir une surface hydrophile, comme le décrit la demande de brevet W02002/100559.

[0143] Des familles de polymères permettent d'obtenir une couche hydrophile et résistante de quelques centaines de nanomètres, comme les polyhydroxystyrènes.

[0144] La demande de brevet W02007/053326 décrit également des groupements hydrophiles, par exemple des silanols, introduits dans une matrice polymère à déposer pour former la couche hydrophile.

[0145] Toutes les techniques mentionnées ci-dessus, connues de l'homme du métier, permettent de rendre hydrophile la paroi du microcanal à partir de l'orifice d'entrée.

[0146] Un troisième mode de réalisation de l'invention est représenté sur la figure 5 en vue de dessus.

[0147] Les références numériques identiques à celles de la figure 4A désignent des éléments identiques ou similaires.

[0148] Dans ce mode de réalisation, le microcanal 10 peut comprendre un second fluide F2 disposé en aval du premier fluide F1 de manière à former avec celui-ci une interface 12. De préférence, les premier et second fluides F1, F2 ne sont pas miscibles entre eux.

[0149] De préférence, l'interface I2 est située dans une portion de raccord 17.

[0150] La portion de raccord 17 définit une portion amont 13 s'étendant de l'orifice d'entrée 11 jusqu'à la portion de raccord 17, et une portion aval 16 qui s'étend en aval de la portion de raccord 17.

[0151] La hauteur de la portion de raccord 17 est sensiblement supérieure à celle de la portion amont 13 du microcanal. De préférence, la hauteur est de l'ordre de 5 à 50 fois la hauteur de la portion amont 13, de préférence 10 fois. Préférentiellement, la hauteur des portions amont 13 et aval 16 est constante.

[0152] La portion aval 16 peut présenter une hauteur identique, supérieure ou inférieure à celle de la portion de raccord 17. Dans l'exemple de la figure 4, la portion aval 16 présente une hauteur sensiblement identique à celle de la portion amont 13.

[0153] La présence de la portion de raccord 17 permet de diminuer les effets de l'hystérésis de l'angle de contact qui s'opposent à l'écoulement des fluides. En effet, ceux-ci sont inversement proportionnels à la hauteur de la portion de

raccord 17.

[0154] Les moyens de formation et de déplacement des gouttes sont ici en configuration confinée, telle que décrite dans le deuxième mode de réalisation et comme le montre la figure 5. Alternativement, ils peuvent être en configuration ouverte, telle que décrite dans le premier mode de réalisation.

[0155] Ce troisième mode de réalisation de l'invention présente l'avantage de délivrer un débit calibré de fluide F2 en sortie de la portion aval 16 du microcanal.

[0156] Un quatrième mode de réalisation de l'invention est représenté sur la figure 6 en coupe longitudinale.

[0157] Les références numériques identiques à celles de la figure 4A désignent des éléments identiques ou similaires.

[0158] Dans ce mode de réalisation de l'invention, l'orifice d'entrée 11 est disposé dans le même plan que l'électrode de déplacement 31 et entouré par celle-ci. L'axe d'entrée de l'orifice, ici suivant k, est sensiblement orthogonal au plan de l'électrode de déplacement, ici (i,j). Ainsi, une goutte 51 qui recouvre l'électrode de déplacement est mise en contact avec la paroi hydrophile 12 au travers de l'orifice d'entrée 11.

[0159] Dans ce mode de réalisation, une portion de raccord 17 est disposée entre une portion amont 13 et une portion aval 16 du microcanal.

[0160] De plus, la portion amont 13 comprend une première portion amont 14 et une deuxième portion amont 15. La première portion amont 14 s'étend à partir de l'orifice d'entrée 11. La deuxième portion amont 15 s'étend à partir de la première portion amont 14 jusqu'à la portion de raccord 17. La portion aval 16 correspond à une troisième portion 16 du microcanal.

[0161] Plus précisément, la deuxième portion amont 15 comprend une pluralité de deuxièmes portions amont élémentaires de canal 15' disposées en parallèle, chacune communiquant avec la première portion amont 14 et avec la portion de raccord 17.

[0162] Les deuxièmes portions élémentaires 15' peuvent être disposées selon un réseau hexagonal et présenter un diamètre de l'ordre de quelques dizaines de microns, de préférence 30μm. De préférence, chaque deuxième portion élémentaire 15' présente une section transversale circulaire, hexagonale ou ayant une forme du même type. Les deuxièmes portions élémentaires 15' peuvent être obtenues par gravure plasma du type RIE du substrat 21.

[0163] De préférence, les deuxièmes portions élémentaires 15' sont remplies de liquide L1 et/ou de premier fluide F1.

[0164] Les deuxièmes portions élémentaires 15' peuvent être au nombre de quelques centaines, et présenter une hauteur (diamètre) de quelques dizaines de microns, de préférence 30μm, et une longueur de quelques centaines de microns, de préférence 700μm.

[0165] Cette disposition en parallèle des deuxièmes portions élémentaires 15' permet d'obtenir un grand débit de second fluide F2 dans la portion aval 16.

[0166] Les moyens de formation et de déplacement des gouttes sont ici en configuration confinée, telle que décrite dans le deuxième mode de réalisation et comme le montre la figure 6. Alternativement, ils peuvent être en configuration ouverte, telle que décrite dans le premier mode de réalisation.

[0167] Une variante du quatrième mode de réalisation de l'invention est représentée sur la figure 7 en coupe longitudinale.

[0168] Les références numériques identiques à celles de la figure 4A désignent des éléments identiques ou similaires.

[0169] Selon cette variante, deux micropompes élémentaires dont chacune est sensiblement identique à celle décrite dans le quatrième mode de réalisation, sont disposées en parallèle et sont reliées entre elles d'une part par un puits 27 commun rempli de liquide L1, et d'autre part, par une jonction raccordant les portions aval 16-1 et 16-2. Plus précisément, les deux portions aval 16-1 et 16-2 sont reliées par une jonction 18 de manière à ne former qu'une portion 19.

[0170] Les deux micropompes peuvent avoir des moyens de commande des électrodes de formation et de déplacement des gouttes indépendants les uns des autres.

[0171] De plus, les seconds fluides F2-1 et F2-2 manipulés par les deux micropompes peuvent être différents.

[0172] Ainsi, il est possible de mettre en contact les deux seconds fluides F2-1 et F2-2 au niveau de ladite jonction des portions aval 16-1 et 16-2, et ainsi de réaliser un mélange, voire un écoulement diphasique.

[0173] Les proportions de chaque second fluide F2-1 et F2-2 peuvent être contrôlées à partir des moyens de commande des électrodes.

[0174] Les premiers fluides F1-1 et F1-2 sont avantageusement identiques.

[0175] Bien entendu, plusieurs micropompes élémentaires peuvent être disposées en parallèle, sans que le nombre de micropompes élémentaires soit limité à deux micropompes comme décrit précédemment.

[0176] D'autre part, les micropompes élémentaires peuvent ne pas être reliées entre elles au niveau de leur portion aval 16 respective, pour assurer une dispense indépendante de leur second fluide F2 respectif.

[0177] Enfin, notons qu'en associant, dans les différents modes de réalisation décrits précédemment, des moyens de programmation électroniques aux moyens de commande des électrodes, il est possible de définir des séquences de délivrance de quantités calibrées de premier ou de second fluide.

[0178] Par ailleurs, dans le cas où la couche diélectrique n'est pas présente, le phénomène d'électromouillage dit direct peut être réalisé.

[0179] La capacité intervenant alors n'est plus celle de la couche diélectrique mais celle d'une double couche électrique se formant dans le liquide conducteur L1 à la surface des électrodes 31, 41. Dans ce cas, les tensions appliquées doivent rester suffisamment faibles pour éviter des phénomènes électrochimiques tels que l'électrolyse de l'eau.

[0180] L'épaisseur e intervenant dans la relation reliant l'angle de contact θ à la tension appliquée U, décrite précédemment, est celle de la double couche, qui est de l'ordre de quelques nanomètres.

[0181] Il est alors avantageux d'ajouter dans le liquide L1 des espèces à forte permittivité, comme par exemple des espèces zwitterioniques. Cela permet d'augmenter la permittivité ε_r de la double couche. Les zwitterions utilisés peuvent être des sulfonates d'amine, des phosphates d'amine, des carbonates d'amine, ou des carboxylates d'amine, et en particulier, des alcanes sulfonates de trialkyl ammonium, des alcanes sulfonates d'alkyle imidazole ou des alcanes sulfonates d'alkyle pyridine.

Revendications

1. Micropompe pour déplacer un fluide (F1) dans un microcanal (10), ladite micropompe étant **caractérisée en ce que :**

   - le microcanal (10) comporte un orifice d'entrée (11) et présente une paroi hydrophile (12) s'étendant à partir dudit orifice d'entrée (11),
   et **en ce qu'**elle comprend
   - des moyens de déplacement d'une goutte (51) de liquide (L1) par électromouillage sur une surface hydrophobe (22) jusqu'à mettre en contact ladite goutte (51) avec ladite paroi hydrophile (12), de sorte que ladite goutte (51) s'introduit par mouillage dans ledit microcanal (10) au travers dudit orifice d'entrée (11), provoquant le déplacement dudit fluide (F1).

2. Micropompe selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** ladite goutte (51) forme un angle de contact sur ladite paroi hydrophile (12) sensiblement inférieur à celui formé par électromouillage sur ladite surface hydrophobe (22).

3. Micropompe selon la revendication 1 ou 2, **caractérisée en ce que** lesdits moyens de déplacement comportent au moins une électrode de déplacement (31) et une contre-électrode en contact électrique avec la goutte (51), et un générateur de tension pour appliquer une différence de potentiel entre une ou plusieurs électrodes de déplacement (31) et ladite contre-électrode.

4. Micropompe selon la revendication 3, **caractérisée en ce que** lesdits moyens de déplacement comportent une électrode de déplacement (31) disposée de sorte qu'une goutte (51) de liquide la recouvrant est en contact avec ladite paroi hydrophile (12) au travers dudit orifice d'entrée (11).

5. Micropompe selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisée en ce que** ladite paroi hydrophile (12) présente une surface nanotexturée ou microtexturée.

6. Micropompe selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisée en ce que** ladite paroi hydrophile (12) est en matériau hydrophile ou comprend une couche d'un matériau hydrophile.

7. Micropompe selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisée en ce que** ladite paroi hydrophile (12) s'étend sur toute la longueur du microcanal (10).

8. Micropompe selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** le microcanal (10) comporte une portion de raccord (17) définissant une portion amont (13) et une portion aval (16), ladite portion de raccord (17) présentant une section transversale sensiblement plus grande que celle de la portion amont (13).

9. Micropompe selon la revendication 8, **caractérisée en ce que** la taille de la portion de raccord (17) est comprise entre 5 et 50 fois celle de la portion amont (13).

10. Micropompe selon la revendication 8 ou 9, **caractérisée en ce qu'**un second fluide (F2) est situé en aval du premier fluide (F1) de manière à former avec ce dernier une interface (I2) localisée dans ladite portion de raccord (17).

11. Micropompe selon l'une quelconque des revendications 8 à 10, **caractérisée en ce que** la portion amont (13) comprend une première portion amont (14) s'étendant à partir de l'orifice d'entrée (11) et une pluralité de deuxièmes

portions amont élémentaires (15') disposées en parallèle communiquant chacune avec ladite première portion amont (14).

12. Micropompe selon la revendication 11, **caractérisée en ce que** chaque deuxième portion amont élémentaire (15') communique avec ladite portion de raccord (17).

13. Micropompe selon la revendication 12, **caractérisée en ce que** chaque deuxième portion amont élémentaire (15') est au moins partiellement remplie dudit fluide (F1).

14. Micropompe selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, **caractérisée en ce qu'**elle comprend en outre des moyens de formation de ladite goutte (51) sur ladite surface hydrophobe (22), par électromouillage.

15. Micropompe selon la revendication 14, **caractérisée en ce que**, lesdits moyens de déplacement comportant au moins une électrode de déplacement (31), les moyens de formation de gouttes comprennent une pluralité d'électrodes de formation (42) de gouttes, dont l'une est adjacente à une électrode de déplacement (31).

16. Micropompe selon la revendication 14 ou 15, **caractérisée en ce qu'**une seconde surface hydrophobe (26) est disposée en regard de la première surface hydrophobe (22) de manière à former un dispositif fermé ou confiné pour ladite goutte (51).

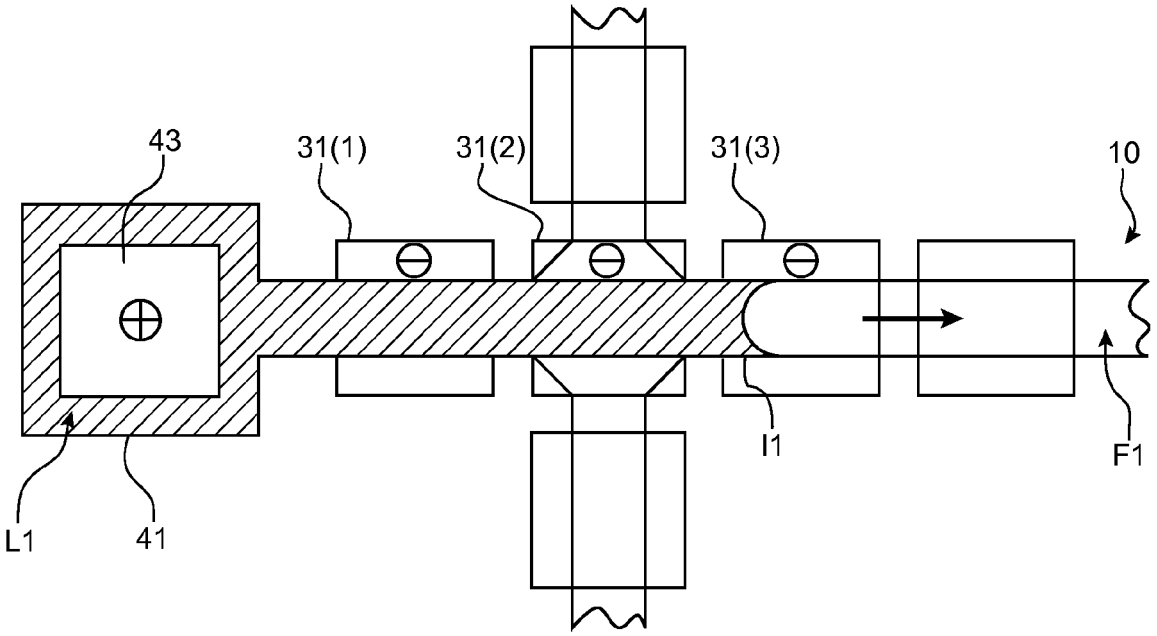


Fig.1

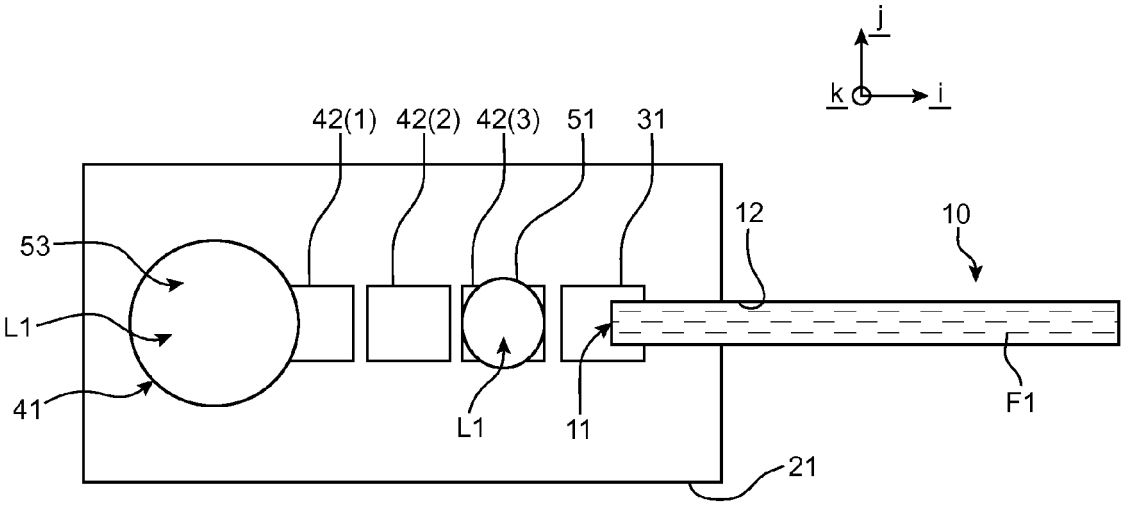

j
k
i
42(1)
42(2)
42(3)
51
31
12
10
53
L1
41
L1
11
F1
21

Fig.2A

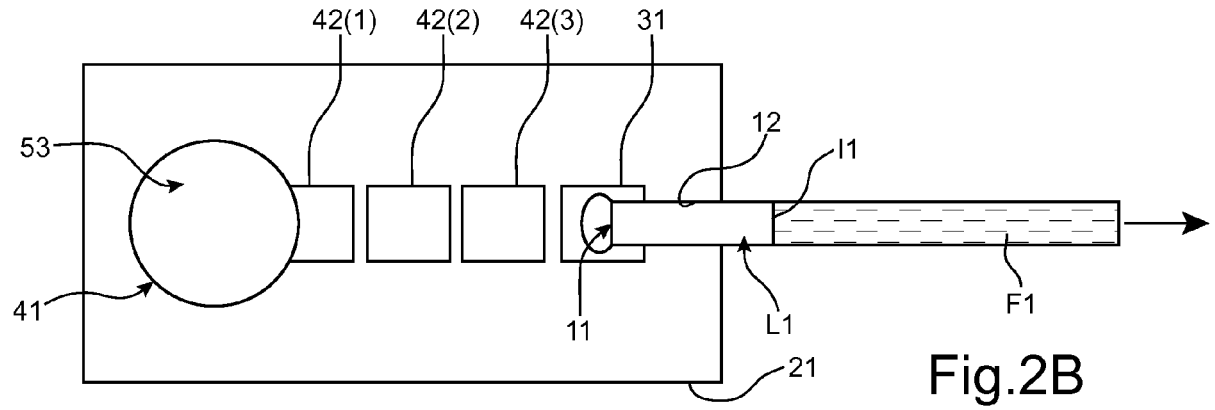

42(1)
42(2)
42(3)
31
12
I1
53
41
11
L1
F1
21

Fig.2B

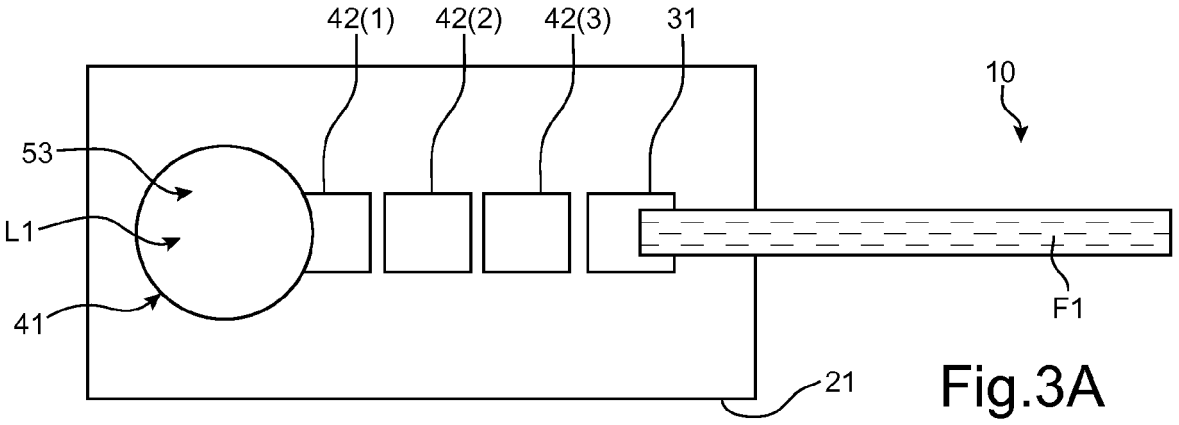


Fig.3A

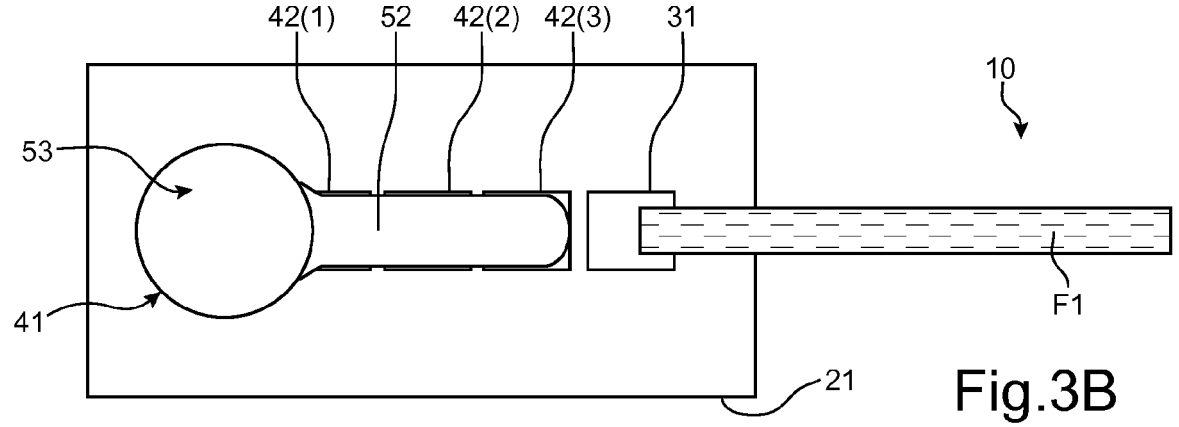


Fig.3B

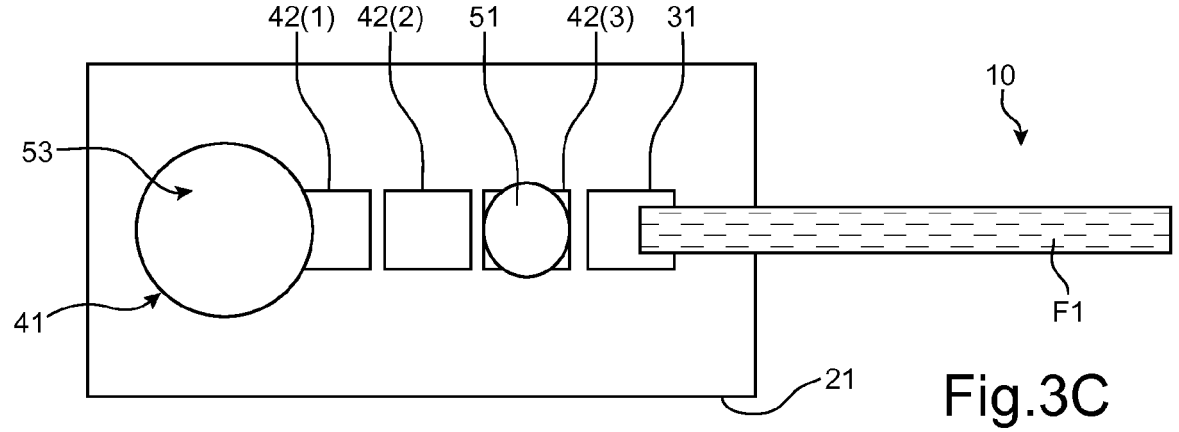


Fig.3C

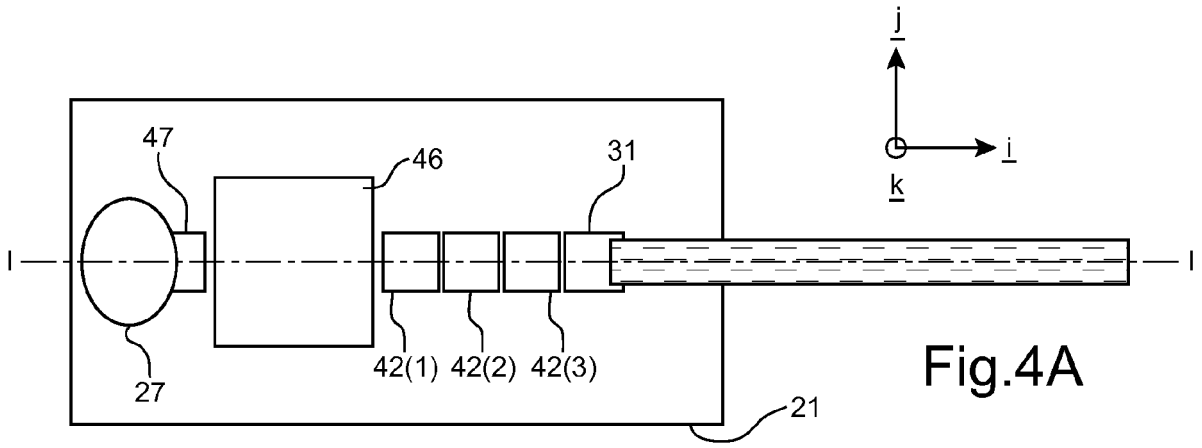

j
i
k
47
46
31
42(1)
42(2)
42(3)
27
21

Fig.4A

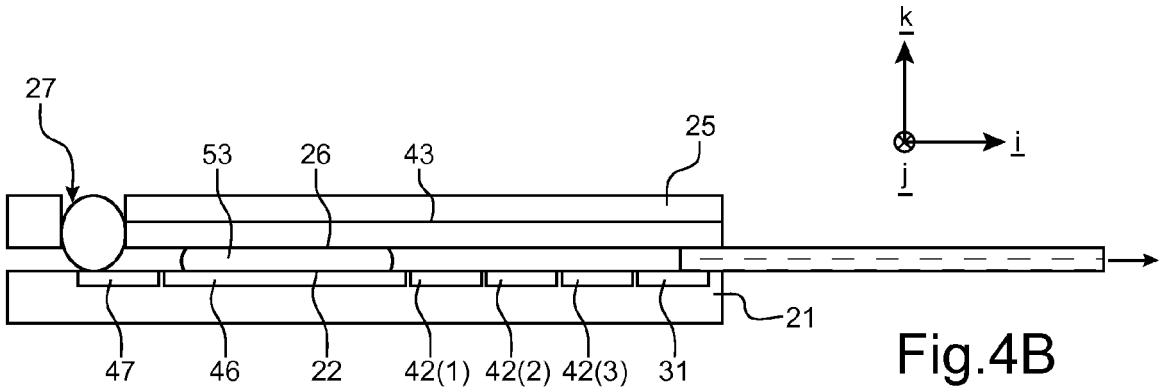

k
i
j
27
53
26
43
25
21
47
46
22
42(1)
42(2)
42(3)
31

Fig.4B

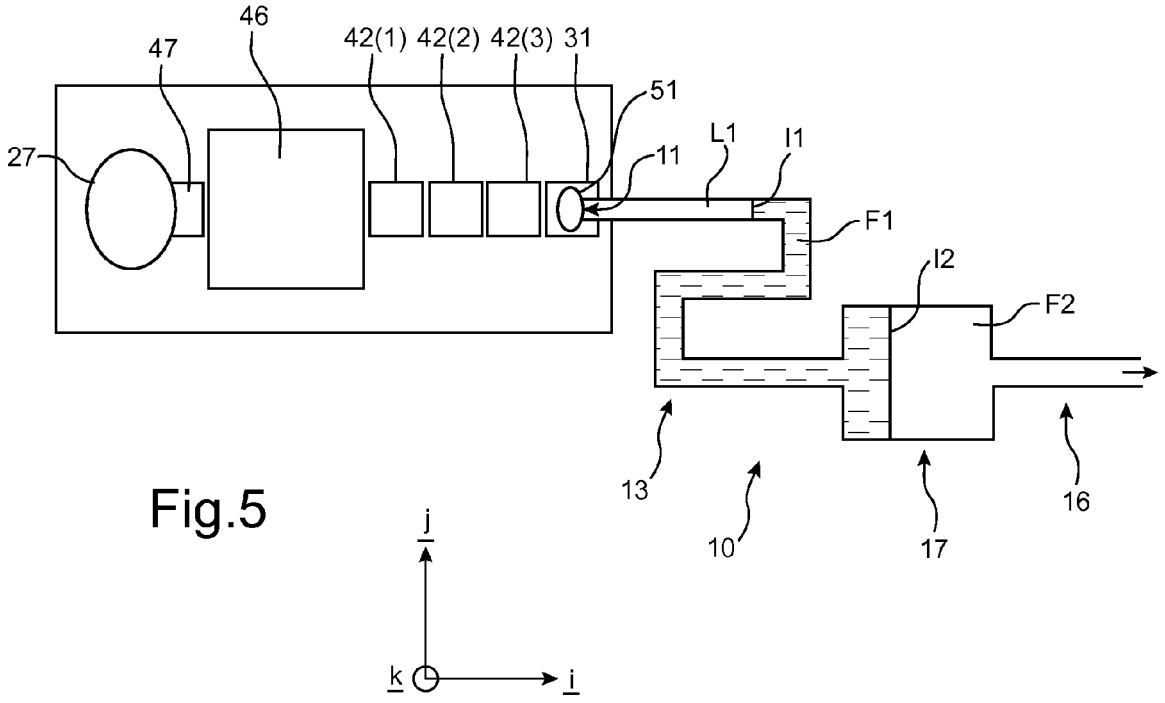


Fig.5

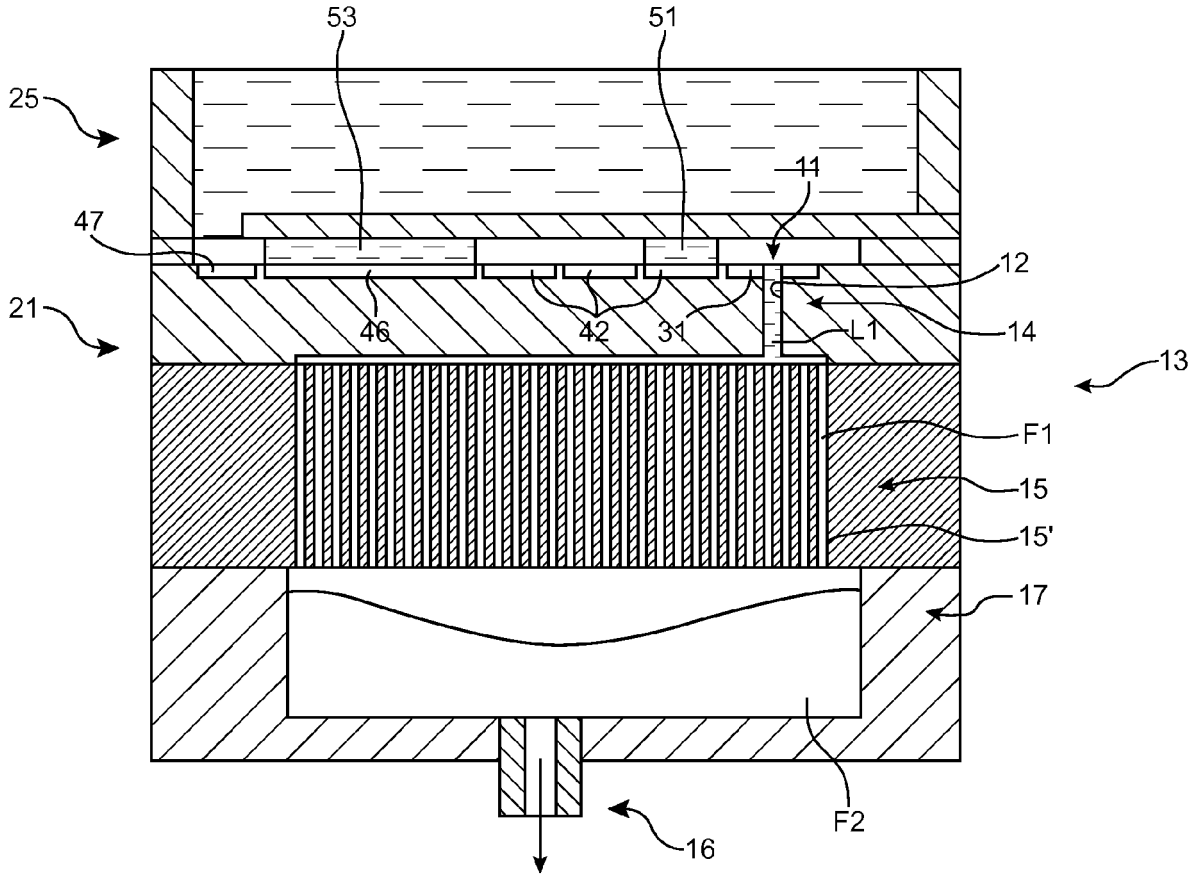
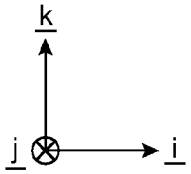


Fig.6



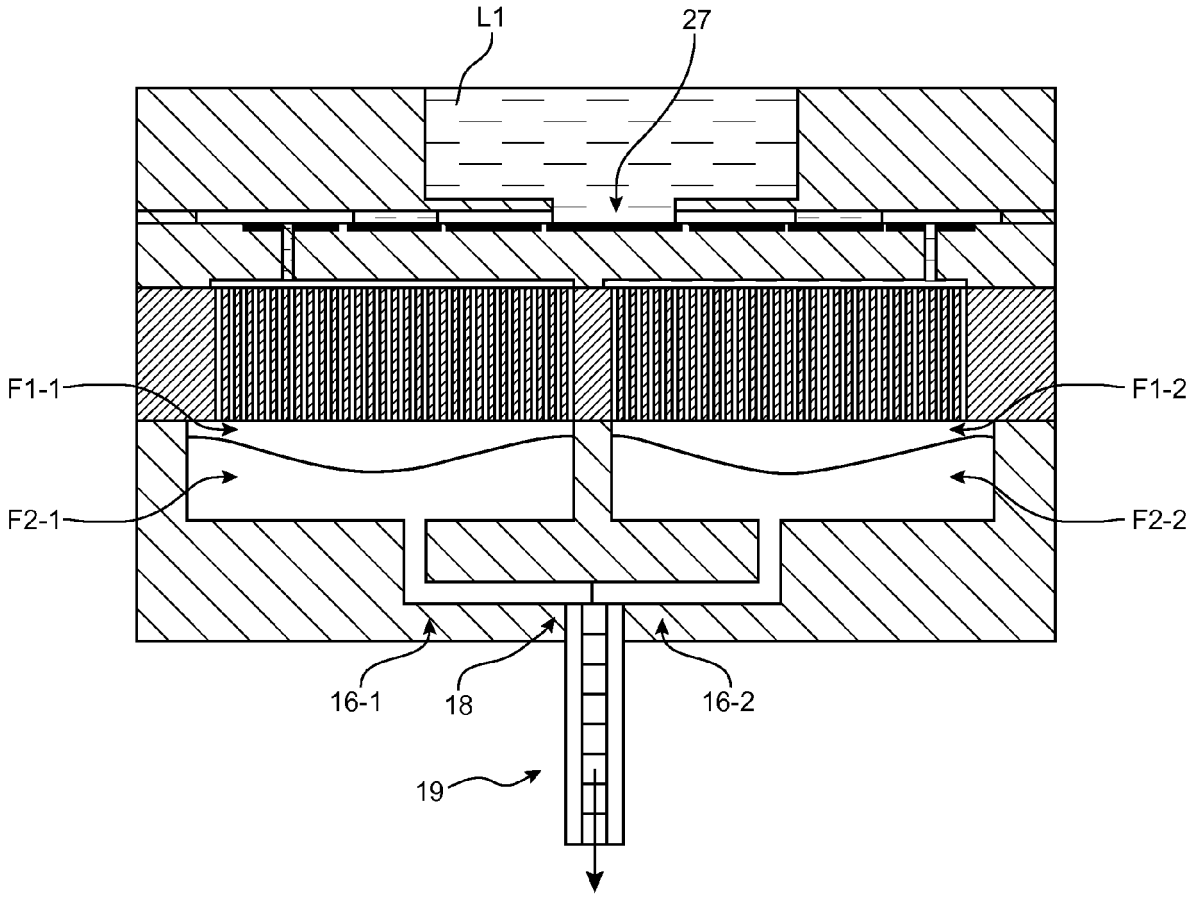
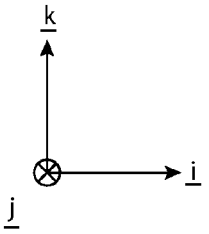


Fig.7



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 09 17 3788

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
Y	WO 2006/083598 A (UNIV CALIFORNIA [US]; KIM CHANG-JIN [US]; MENG DE-SHENG [US]) 10 août 2006 (2006-08-10) * alinéas [0043] - [0045]; figures 3A-3C *	1-16	INV. F04B19/00 F04B43/04 B01F13/00
Y,D	WO 2006/070162 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]; FOUILLET YVES [FR]; JARY DOROTHEE) 6 juillet 2006 (2006-07-06) * page 5, ligne 15 - page 10, ligne 5; revendications 1-15; figures 4A-7C * * page 11, ligne 2 - page 18, ligne 29 *	1-16	
Y	WO 2006/086620 A (APPLERA CORP [US]; TAN ROY H [US]) 17 août 2006 (2006-08-17) * alinéas [0060], [0064] - [0066], [0073] - [0080]; figures 1A-5 *	1-16	

DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)

F04B
G01N

Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications

Lieu de la recherche	Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
Munich	3 février 2010	Jurado Orenes, A

CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : arrière-plan technologique
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons

& : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO. EP 09 17 3788

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

03-02-2010

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2006083598 A	10-08-2006	US 2008118790 A1	22-05-2008
WO 2006070162 A	06-07-2006	EP 1827694 A1	05-09-2007
		FR 2879946 A1	30-06-2006
		JP 2008525778 T	17-07-2008
		US 2008142376 A1	19-06-2008
WO 2006086620 A	17-08-2006	US 2006186048 A1	24-08-2006

EPO FORM P0460

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

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

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

Documents brevets cités dans la description

- WO 200207503 A1 **[0007]**
- WO 2006070162 A **[0076] [0095] [0101]**
- WO 200607162 A **[0123]**
- WO 2007088187 A **[0139]**
- WO 2002100559 A **[0142]**
- WO 2007053326 A **[0144]**

Littérature non-brevet citée dans la description

- **D.J. Laser ; J.G. Santiago.** A review of micropumps. *J. Micromech. Microeng.,* 2004, vol. 14, R35-R64 **[0004]**
- **Berge.** Electrocapillarité et mouillage de films isolants par l'eau. *C.R. Acad. Sci.,* 1993, vol. 317 (2), 157-163 **[0012]**
- **Baret.** Electrowetting: from basics to applications. *J. Phys. Condens. Matter,* 2005, vol. 17, R705-R774 **[0013]**
- **Bavière et al.** Dynamics of droplet transport induced by electrowetting actuation. *Microfluid Nanofluid,* 2008, vol. 4, 287-294 **[0014]**
- **J. Bico et al.** Wetting of textured surfaces. *Colloids and Surfaces A, Physicochem. Eng. Aspects,* 2002, vol. 206, 41-46 **[0134]**
- **P.-G. de Gennes et al.** Gouttes, bulles, perles et ondes. 2002 **[0136]**
- **F. Durmaz et al.** New phosphates/phosphonates; A modular approach to functional sams. *European Cells and Materials,* 2003, vol. 6 (1), 55 **[0140]**