



(11) **EP 2 161 449 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
10.03.2010 Bulletin 2010/10

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

(21) Numéro de dépôt: **09169628.6**

(22) Date de dépôt: **07.09.2009**

(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

(30) Priorité: **09.09.2008 FR 0856049**

(71) Demandeur: **Commissariat à l'Energie Atomique**
Bâtiment D "Le Ponant"
25 rue Leblanc
75015 Paris (FR)

(72) Inventeur: **Fajolle, Damien**
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 pour microfluidique continue.**

(57) L'invention concerne une micropompe comprenant une inclusion fluide logée dans une chambre du microcanal, et des moyens pour amener une portion de ladite inclusion dans la zone axiale de ladite chambre et

pour déplacer ladite portion suivant l'axe longitudinal du microcanal, de manière à provoquer l'écoulement d'un fluide d'intérêt (F) suivant l'axe longitudinal du microcanal (10).

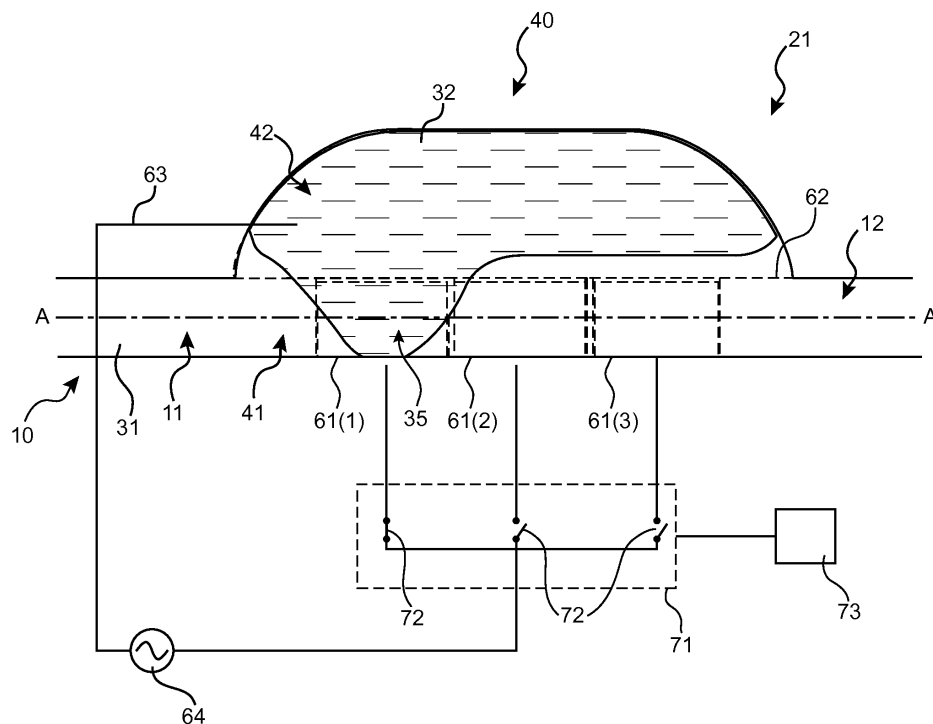
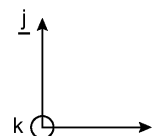


Fig.2



Description

DOMAINE TECHNIQUE

[0001] La présente invention se rapporte au domaine général de la microfluidique et concerne une micropompe pour la microfluidique « continue ». La microfluidique « continue » concerne l'écoulement d'un fluide en phase continue, et s'oppose à la microfluidique « discrète » dans laquelle des gouttes sont manipulées et déplacées.

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

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

[0003] Par exemple, des micropompes peuvent être présentes dans des laboratoires sur puce, des systèmes d'injection de substances médicales, ou encore des 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 nécessité de membranes déformables ou de 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 consiste à actionner la micropompe par électromouillage, et plus précisément par électromouillage sur diélectrique.

[0007] Ainsi, la demande de brevet FR2889633 déposée au nom de la demanderesse décrit une micropompe comprenant un microcanal et un dispositif d'actionnement, celui-ci permettant de provoquer l'écoulement d'un fluide d'intérêt à l'intérieur du microcanal suivant une direction donnée.

[0008] Comme l'illustre la figure 1A, le dispositif d'actionnement comporte une chambre A40 qui sépare le microcanal A10 en deux conduits, un conduit d'entrée A11 et un conduit de sortie A12. Chaque conduit A11, A12 communique avec la chambre A40 par l'intermédiaire d'une valve A51, A52, chacune étant disposée de manière à autoriser l'écoulement du fluide d'intérêt A31 suivant la seule direction j.

[0009] Dans la chambre A40 est logé un piston A53 dont le déplacement entraîne alternativement l'aspiration du fluide à partir du conduit d'entrée A11, et l'injection du fluide dans le conduit de sortie A12.

[0010] Le déplacement du piston A53 est contrôlé par l'intermédiaire d'une membrane flexible A54 en contact avec une goutte de liquide A32. Le contrôle de la forme de la goutte A32 permet de moduler le profil de la membrane A54 et ainsi d'actionner le piston A53. Le contrôle de la forme de la goutte est assuré par électromouillage.

[0011] Plus précisément, la membrane A54 définit, avec un substrat A21, le volume intérieur d'une enceinte, laquelle est remplie par la goutte de liquide A32 électriquement conducteur et par un second liquide A33 environnant, ces deux liquides étant non miscibles.

[0012] Des moyens électriques sont prévus pour modifier la forme de la goutte par électromouillage. Ces moyens comprennent une électrode A61 intégrée au substrat A21, recouverte d'une couche diélectrique A65. La goutte A32 est alors en contact avec ladite couche diélectrique A65 et avec la membrane A54. Une contre-électrode (non représentée) est en contact avec la goutte.

[0013] Lorsqu'une tension est appliquée entre l'électrode A61 et la contre-électrode, l'ensemble goutte sous tension A32, couche diélectrique A65 et électrode activée A61 agit comme une capacité.

[0014] Comme le décrit l'article de B. 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 A32 sur la couche diélectrique A62 diminue alors suivant la relation :

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

où e est l'épaisseur de la couche diélectrique A65, ε_r la permittivité de cette couche et σ la tension de surface de l'interface de la goutte A32.

[0015] Cette diminution de l'angle de contact s'accompagne d'un étalement de la goutte et donc d'une modification de sa forme. Ainsi, l'activation de l'électrode A61 permet de contrôler la forme de la goutte A32, pour, en conséquence, modifier le profil de la membrane A54. Le piston A53 peut alors être déplacé suivant son axe longitudinal dans les deux directions, ce qui assure l'écoulement du fluide A31 du conduit d'entrée A11 au conduit de sortie A12, par l'intermédiaire de la chambre A40.

[0016] Les figures 1A et 1B illustrent deux temps caractéristiques de fonctionnement de la micropompe. Dans la figure 1A, l'électrode A61 est activée, le piston A53 se déplace alors de manière à aspirer du fluide d'intérêt A31 à partir du conduit d'entrée A11 dans la chambre A50, puis lorsque l'électrode A61 est désactivée (figure 1B), la goutte A32 reprend sa forme initiale, et « pousse » le piston de sorte que le fluide A31 à l'intérieur de la chambre A40 est injecté dans le conduit de sortie A12.

[0017] Cependant, la micropompe selon l'art antérieur

comporte un certain nombre d'inconvénients provenant de la présence d'éléments mécaniques mobiles ou déformables dans le dispositif d'actionnement.

[0018] Ainsi, la réalisation et le montage des éléments mécaniques de taille micrométrique sont des opérations particulièrement difficiles à effectuer, qui impliquent par ailleurs des coûts de fabrication élevés.

[0019] De plus, ces éléments et plus précisément leurs organes de liaison, pivot ou glissière, sont particulièrement sensibles aux moindres défauts de fabrication. Les valves et le piston sont alors susceptibles de se bloquer, rendant alors inefficace la micropompe ainsi que le système microfluidique dans lequel elle intervient.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

[0020] Le but de la présente invention est de proposer une micropompe à électromouillage dont le dispositif d'actionnement ne comporte pas de pièces mécaniques mobiles ou déformables.

[0021] Pour ce faire, l'invention a pour objet une micropompe pour déplacer un premier fluide dans un microcanal.

[0022] Selon l'invention, le microcanal comprend au moins une chambre comportant une zone axiale disposée sensiblement suivant l'axe longitudinal du microcanal et au moins une zone latérale, et la micropompe comprend :

- une inclusion d'un second fluide occupant au moins partiellement ladite zone latérale de la chambre,
- des moyens électriques pour amener une portion de ladite inclusion dans ladite zone axiale sous l'effet d'une commande électrique, comportant une pluralité d'électrodes d'actionnement disposées dans ladite zone axiale de la chambre, et
- des moyens d'activation successive desdites électrodes d'actionnement pour déplacer ladite portion de ladite inclusion recouvrant au moins partiellement au moins une électrode d'actionnement, sensiblement suivant l'axe longitudinal du microcanal, de manière à provoquer l'écoulement dudit premier fluide suivant l'axe longitudinal du microcanal.

[0023] Ainsi, la portion de l'inclusion fluide, dans son déplacement, provoque l'écoulement du fluide d'intérêt suivant le sens longitudinal du microcanal.

[0024] Il n'est alors plus nécessaire de prévoir de pièces mécaniques mobiles ou déformables, du type valve, piston ou membrane.

[0025] De plus, le fluide pompé n'est pas discrétisé sous forme de gouttes par la micropompe. Le liquide de l'inclusion fluide reste toujours localisé dans la chambre et n'est donc pas entraîné en aval de la chambre dans le microcanal. Il s'agit bien de microfluidique « continue ».

[0026] Les opérations de réalisation sont ainsi grandement simplifiées, ce qui diminue les coûts de fabrication.

La fiabilité est améliorée, dans la mesure où il n'y a plus de risque de blocage ou de grippage de la micropompe.

[0027] Par ailleurs, à la différence de la micropompe selon l'art antérieur, il est possible de provoquer l'écoulement du fluide d'intérêt suivant l'une quelconque des deux directions parallèles à l'axe longitudinal du microcanal.

[0028] De préférence, le premier fluide ou le second fluide est un liquide.

[0029] Les moyens d'activation successive comprennent avantageusement des moyens de commutation électrique conçus pour activer et pour désactiver chacune desdites électrodes d'actionnement, lesdits moyens de commutation étant commandés par un moyen de commande.

[0030] Selon un premier mode de réalisation préféré, ladite portion de ladite inclusion est une déformation locale de ladite inclusion.

[0031] Ladite portion de ladite inclusion peut recouvrir au moins une électrode d'actionnement suivant toute la section transversale de ladite zone axiale.

[0032] Selon un second mode de réalisation préféré, la chambre comprend une paroi disposée entre la zone axiale et la zone latérale, sur une partie de la longueur de la chambre, de manière à ce que la zone latérale forme un canal secondaire communiquant avec la zone axiale en amont et en aval de la paroi.

[0033] Ladite portion de ladite inclusion peut alors être une inclusion secondaire séparée de ladite inclusion par ladite paroi.

[0034] Selon un mode de réalisation, le premier fluide est un fluide diélectrique, le second fluide étant un liquide conducteur.

[0035] Lesdits moyens électriques pour amener ladite portion dans ladite zone axiale peuvent alors comprendre au moins une contre-électrode en contact électrique avec ladite inclusion, et un générateur de tension pour appliquer une différence de potentiel entre une ou plusieurs électrodes d'actionnement et ladite contre-électrode.

[0036] Lesdits moyens électriques pour amener ladite portion dans ladite zone axiale peuvent comprendre en outre une électrode dite de confinement s'étendant sensiblement sur la surface de ladite zone latérale de la chambre.

[0037] Selon un autre mode de réalisation, le premier fluide est un liquide conducteur, le second fluide étant un fluide diélectrique.

[0038] Lesdits moyens électriques pour amener ladite portion dans ladite zone axiale peuvent alors comprendre au moins une contre-électrode en contact électrique avec ledit premier fluide, et un générateur de tension pour appliquer une différence de potentiel entre une ou plusieurs électrodes d'actionnement et ladite contre-électrode.

[0039] La micropompe peut comprendre en outre un second substrat formant capot. Une seconde pluralité d'électrodes d'actionnement peut alors être intégrée audit capot et disposée dans ladite zone axiale de la

chambre, en regard de ladite première pluralité d'électrodes d'actionnement dudit substrat.

[0040] Le premier fluide peut alors présenter une permittivité électrique sensiblement inférieure à celle du second fluide.

[0041] Ladite chambre peut comprendre deux parties latérales disposées l'une en regard de l'autre, logeant chacune une goutte de liquide conducteur.

[0042] La distance séparant le premier substrat et le capot dans ladite chambre est de préférence sensiblement inférieure aux dimensions de ladite chambre suivant le plan médian dudit premier substrat.

[0043] De préférence, la zone axiale présente une largeur sensiblement inférieure à la longueur de celle-ci.

[0044] L'espacement inter-électrodes d'actionnement présente avantageusement une forme courbe ou anguleuse, de manière à faciliter le passage de la portion de l'inclusion d'une électrode à l'autre.

[0045] Lesdites électrodes peuvent être recouvertes d'une couche de matériau hydrophobe.

[0046] Le premier fluide et le second fluide peuvent être, l'un, un liquide conducteur comprenant des espèces zwitterioniques, et l'autre, un fluide diélectrique.

[0047] Une couche de matériau diélectrique peut être disposée entre la couche hydrophobe et lesdites électrodes.

[0048] Lesdites électrodes d'actionnement peuvent être disposées sous forme matricielle.

[0049] D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront dans la description détaillée non limitative ci-dessous.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

[0050] 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 :

Les figures 1A et 1B, déjà décrites, sont des représentations schématiques en coupe longitudinale d'une micropompe selon l'art antérieur ;

La figure 2 est une représentation schématique en vue de dessus d'une micropompe selon le premier mode de réalisation préféré de l'invention, dans laquelle la première électrode est activée ;

La figure 3 est une représentation schématique en coupe longitudinale de la micropompe selon le premier mode de réalisation préféré de l'invention, la coupe étant prise selon l'axe A-A de la figure 2 ;

Les figures 4A à 4C sont des représentations schématiques en vue de dessus d'une micropompe selon le premier mode de réalisation préféré de l'invention, et illustrent un mode de fonctionnement ;

Les figures 5A à 5C illustrent un autre mode de fonctionnement du premier mode de réalisation préféré de l'invention ;

Les figures 6A à 6D sont des représentations schématiques en vue de dessus d'une micropompe selon

une variante du premier mode de réalisation préféré de l'invention, dans lequel un pont de liquide est formé ;

Les figures 7A à 7D sont des représentations schématiques en vue de dessus d'une micropompe selon une autre variante du premier mode de réalisation préféré de l'invention, dans lequel une onde progressive est générée ;

Les figures 8A à 8D sont des représentations schématiques en vue de dessus d'une micropompe selon le second mode de réalisation préféré de l'invention, dans lequel une inclusion fluide secondaire est formée ;

La figure 9 est une variante du premier mode de réalisation préféré de l'invention, dans laquelle le fluide pompé est un liquide conducteur ; et

Les figures 10 et 11 sont des variantes du premier mode de réalisation préféré de l'invention, dans lequel la zone axiale de la chambre présente un axe longitudinal courbe ou anguleux.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ D'UN MODE DE RÉALISATION PRÉFÉRÉ

[0051] Le premier mode de réalisation préféré de l'invention est représenté schématiquement sur la figure 2, en vue de dessus.

[0052] La micropompe comprend un premier substrat 21 dans lequel est formé un microcanal 10.

[0053] On appelle plan médian du premier substrat 21 un plan du substrat sensiblement parallèle au plan (i,j) du repère orthonormé direct (i,j,k) .

[0054] On définit l'axe longitudinal du microcanal comme étant la ligne médiane du microcanal. L'axe longitudinal peut être droit ou courbe.

[0055] Le microcanal 10 peut présenter une section transversale polygonale convexe, par exemple carrée, rectangulaire, hexagonale.

[0056] 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. Le terme microcanal est pris dans un sens général et comprend notamment le cas particulier du microtube dont la section est circulaire.

[0057] Le microcanal 10 peut être rempli d'un fluide d'intérêt 31 à déplacer.

[0058] Un dispositif d'actionnement de la micropompe est prévu pour provoquer et contrôler l'écoulement du fluide d'intérêt 31 dans le microcanal 10.

[0059] Le dispositif d'actionnement comprend une chambre 40 communiquant avec le microcanal de manière à définir dans celui-ci un premier conduit 11 et un second conduit 12.

[0060] La chambre 40 présente de préférence une forme en coupe transversale sensiblement rectangulaire.

[0061] La chambre 40 comporte une zone axiale 41 disposée dans la continuité des premier et second conduits, c'est-à-dire située sensiblement suivant l'axe lon-

gitudinal du microcanal.

[0062] La chambre 40 comprend également au moins une échancrure formant la zone latérale 42, communiquant avec la zone axiale 41. La zone latérale 42 s'étend dans le plan médian du premier substrat 21.

[0063] Selon l'invention, une inclusion d'un second fluide occupe au moins partiellement ladite zone latérale 42 de la chambre.

[0064] Dans le premier mode de réalisation préféré de l'invention, ladite inclusion de second fluide est une goutte d'un liquide 32 électriquement conducteur.

[0065] Des moyens électriques sont prévus pour amener une portion 35 de la goutte de liquide dans ladite zone axiale 41 de la chambre, sous l'effet d'une commande électrique, par électromouillage.

[0066] En particulier, la goutte de liquide 32 peut être déformée par lesdits moyens électriques.

[0067] Les moyens électriques comprennent une pluralité d'électrodes 61(i), où $i \in [1, N]$, et N est de préférence supérieur ou égal à trois. Dans l'exemple de la figure 2, N est égal à trois.

[0068] Les électrodes 61(i) sont intégrées dans le premier substrat 21 et sont disposées dans la zone axiale 41 de la chambre 40, de préférence de manière linéaire. Le réseau d'électrodes 61(i) peut également présenter une forme de matrice carrée ou rectangulaire.

[0069] De préférence, une électrode dite de confinement 62 est intégrée au premier substrat 21 et disposée sensiblement dans la zone latérale 42 de la chambre 40. L'électrode de confinement 62 s'étend avantageusement sur toute la surface de la zone latérale 42.

[0070] Chaque électrode 61(i) peut présenter une forme sensiblement carrée ou rectangulaire. Alternative-ment, l'espacement inter-électrodes d'actionnement peut présenter une forme courbe ou anguleuse. Dans le cas d'une forme anguleuse, le bord d'une électrode d'actionnement 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.

[0071] De préférence, une couche d'un matériau hydrophobe recouvre les électrodes 61(i) et 62.

[0072] De préférence, une couche d'un matériau diélectrique est disposée entre la couche hydrophobe et les électrodes 61(i) et 62.

[0073] La couche diélectrique et la couche hydrophobe qui recouvrent les électrodes d'actionnement 61(i) et l'électrode de confinement 62 peuvent être une couche unique combinant ces deux fonctions, par exemple une couche en parylène ou en Téflon.

[0074] De préférence, une contre-électrode 63 est disposée en contact électrique avec la goutte de liquide 32. Cette contre-électrode 63 peut être soit une caténaire, soit un fil enterré, soit une électrode planaire dans le capot de la micropompe (un tel capot est décrit plus loin). Dans ces deux dernières possibilités, une couche hydrophobe électriquement conductrice peut recouvrir la con-

tre-électrode 63.

[0075] Les électrodes 61(i) et 62, ainsi que la contre-électrode 63, peuvent être connectées à un générateur de tension 64 continue ou, de préférence, alternative.

[0076] 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. Celle-ci dépend notamment de la conductivité électrique du liquide et est typiquement de l'ordre de quelques dizaines de kilohertz (Mugele et Baret, « 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, qui dépend des paramètres physiques de la goutte comme la tension de surface, la viscosité ou la taille de la goutte, et qui est de l'ordre de quelques centaines de hertz. Aussi, la fréquence est, de préférence, comprise entre 100Hz et 10kHz, de préférence de l'ordre de 1kHz.

[0077] Ainsi, la réponse du liquide de la goutte 32 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 quelques volts et quelques centaines de volts, par exemple 200V. De préférence, elle est de l'ordre de quelques dizaines de volts.

[0078] Selon l'invention, le dispositif d'actionnement comprend des moyens d'activation successive des électrodes d'actionnement 61(i).

[0079] Les moyens d'activation successive peuvent comprendre un système 71 de commutateurs électriques 72, commandé par un moyen de commande 73 du type PC suivant une séquence déterminée.

[0080] Chaque électrode d'actionnement 61(i) est connectée au générateur de tension par l'intermédiaire d'un commutateur 72.

[0081] Ainsi, en fonction de l'état de commutation des différents commutateurs 72, une commande électrique peut être transmise à une ou plusieurs électrodes d'actionnement 61(i). Dans ce cas, ces électrodes sont dites activées. Plus précisément, le générateur de tension 64 applique une différence de potentiel entre la contre-électrode 63 et la ou les électrode(s) d'actionnement 61(i) activée(s).

[0082] De préférence, lorsqu'au moins une électrode d'actionnement 61(i) est activée, l'électrode de confinement 62 l'est également.

[0083] La figure 3 est une vue en coupe longitudinale du mode de réalisation préféré de l'invention, selon l'axe A-A représenté sur la figure 2.

[0084] Un second substrat 22 formant capot peut être déposé sur le premier substrat 21, parallèlement au plan médian de celui-ci.

[0085] Les premier et second substrats 21 et 22 peuvent être en silicium ou en verre, polycarbonate, polymère, céramique.

[0086] Le microcanal 10 et la chambre 40 sont par

exemple réalisés 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.

[0087] La hauteur du microcanal 10 entre les substrats 21 et 22 est typiquement comprise entre quelques dizaines de nanomètres et $200\mu\text{m}$, et de préférence entre $1\mu\text{m}$ et $100\mu\text{m}$.

[0088] De préférence, la hauteur de la chambre 40, en particulier de la zone axiale 41 de la chambre 40 est sensiblement inférieure à la hauteur du microcanal 10, comme le montre la figure 3. Cela permet d'obtenir une goutte de liquide 32 sensiblement « plate », c'est-à-dire étalée entre le premier substrat 21 et le capot 22, voire une portion 35 de goutte 32 sensiblement « plate ». La réduction de la hauteur de la chambre 40 permet par ailleurs d'optimiser l'actionnement par électromouillage. L'augmentation de la section transversale des canaux en entrée et en sortie permet de réduire les pertes de charges en amont et en aval de la pompe.

[0089] Dans l'exemple non limitatif de la figure 3, la contre-électrode 63 est une électrode planaire intégrée au capot 22 de la micropompe.

[0090] Les électrodes d'actionnement 61(i) et de confinement, et la contre-électrode 63, 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 61(i) et 62 sont ensuite gravées suivant un motif approprié, par exemple par gravure humide.

[0091] L'épaisseur des électrodes 61(i), 62, et de la contre-électrode 63 peut être comprise entre 10nm et $1\mu\text{m}$, de préférence 300nm.

[0092] Les électrodes d'actionnement 61(i) sont de préférence carrées avec un côté dont la longueur est comprise entre quelques micromètres à quelques millimètres, de préférence entre $50\mu\text{m}$ et 1mm. La surface de ces électrodes dépend de la taille des gouttes à transporter. L'espacement entre électrodes voisines peut être compris entre $1\mu\text{m}$ et $10\mu\text{m}$.

[0093] L'électrode de confinement 62 s'étend avantageusement sur toute la surface plane de la zone latérale de la chambre 40, suivant le plan médian.

[0094] Une couche diélectrique 65 peut recouvrir les électrodes 61(i) et 62. Elle peut être réalisée en Si_3N_4 , SiO_2 , en SiN, en baryum strontium titanate (BST) ou d'autres matériaux à permittivité élevée tels que du HfO_2 , Al_2O_3 , Ta_2O_5 , $\text{Ta}_2\text{O}_5\text{-TiO}_2$, SrTiO_3 ou $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$. L'épaisseur de cette couche peut être comprise entre 100nm et $3\mu\text{m}$, de manière générale

comprise entre 100nm et $1\mu\text{m}$, de préférence de 300nm. 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 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.

[0095] Enfin, une couche hydrophobe 66 peut être déposée sur la couche diélectrique 65, et sur la contre-électrode 63. Pour cela, un dépôt de Téflon par trempage, par spray ou spin coating, 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 $5\mu\text{m}$, de préférence de $1\mu\text{m}$. Cette couche permet notamment de diminuer voire d'éviter les effets d'hystérésis de l'angle de mouillage.

[0096] Le microcanal peut être rempli d'un fluide d'intérêt 31, de préférence, isolant, et 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.

[0097] Le liquide conducteur 32 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 32 peut également être du mercure, du Gallium, du Gallium eutectique, ou des liquides ioniques du type bmim PF6, bmim BF4 ou tmba NTf2.

[0098] Le fluide d'intérêt 31 est non miscible avec le liquide conducteur 32.

[0099] Par ailleurs, dans une variante de réalisation non représentée, il est à noter qu'une seconde pluralité d'électrodes d'actionnement peut être intégrée au capot 22, et avantageusement recouverte d'une couche diélectrique. L'activation de la seconde pluralité d'électrodes d'actionnement peut être avantageusement commandée par les moyens d'activation successive précédemment décrits.

[0100] Dans ce cas, une contre-électrode, par exemple sous forme de fil suspendu, peut être disposée dans la chambre 40 de manière à assurer un contact électrique avec le liquide conducteur 32. Ainsi, l'application d'une différence de potentiel entre un couple d'électrodes d'actionnement disposées, l'une dans le substrat 21 et l'autre dans le capot 22, et la contre-électrode permet de déplacer le liquide conducteur 32 par électromouillage de manière plus efficace, pour une même différence de potentiel appliquée.

[0101] Le fonctionnement de la micropompe selon le premier mode de réalisation préféré de l'invention est le suivant, en référence aux figures 4A à 4C.

[0102] Les figures 4A à 4C, sur lesquelles les références numériques identiques à celles de la figure 2 désignent des éléments identiques ou similaires, représentent en vue de dessus le premier mode de réalisation préféré de l'invention.

[0103] Le mode de réalisation représenté sur ces figures diffère de celui de la figure 2 uniquement par le nom-

bre N d'électrodes, ici supérieur à trois.

[0104] Par souci de clarté, le générateur de tension et les moyens d'activation successive ne sont pas représentés.

[0105] Les électrodes 61(i), grâce aux commutateurs, peuvent être placées à un potentiel V0 ou V1, indiqué par les références numériques 0 ou 1. Dans le cas d'une tension alternative et comme décrit précédemment, le potentiel V1 correspond alors à la valeur efficace de la tension appliquée. La commutation de chaque commutateur est commandée par le moyen de commande.

[0106] Durant le fonctionnement de la micropompe qui va être décrit, l'électrode de confinement 62 reste avantageusement activée (placée à un potentiel V1 différent de V0), de sorte que la goutte de liquide 32 reste sensiblement confinée dans la zone latérale 42 de la chambre 40, occupant alors sensiblement la surface délimitée par l'électrode de confinement 62.

[0107] La figure 4A montre l'électrode 61(1) activée. Par effet d'électromouillage décrit précédemment, la goutte 32 se déforme localement et mouille, de préférence totalement, la zone de la couche hydrophobe 66 située en regard de l'électrode 61(1) activée.

[0108] On appelle ici déformation locale 35 la portion de goutte de liquide 32 qui occupe une zone de la couche hydrophobe située en regard d'une électrode 61(i) activée.

[0109] Aussi, pour déplacer la déformation locale 35 de la goutte 32 sur la ligne d'électrodes 61(i), il suffit d'activer successivement celles-ci, de l'électrode 61(1) à l'électrode 61(N).

[0110] Plus précisément, pour que la déformation locale 35 passe d'une électrode 61(i) à l'électrode voisine 61(i+1), le moyen de commande, dans le même temps, désactive l'électrode 61(i) et active l'électrode 61(i+1), par actionnement des commutateurs correspondant.

[0111] Ladite déformation locale 35 peut alors être déplacée suivant l'axe longitudinal du microcanal, comme l'illustrent les figures 4A et 4B, de l'électrode 61(1) à 61(N), en passant par les électrodes 61(i-1), 61(1), 61(i+1)...

[0112] La déformation locale 35 « pousse », dans son déplacement, le fluide d'intérêt 31. L'écoulement du fluide 31 est ainsi obtenu. Le fluide 31 est « aspiré » à partir du premier conduit 11 et « poussé » dans le second conduit 12, par le déplacement de la déformation locale 35.

[0113] Cette séquence est répétée jusqu'à l'activation de l'électrode aval 61(N).

[0114] Comme le montre la figure 4B, lorsque l'électrode 61(N) est activée, la déformation locale 35 se situe sensiblement au niveau de l'extrémité aval de la zone axiale 41 de la chambre 40. Pour continuer à assurer l'écoulement du fluide 31, l'électrode 61(1) est activée alors que l'électrode 61(N) est désactivée. La déformation locale 35 de la goutte au niveau de l'électrode 61(N) disparaît, et une nouvelle déformation locale 35 est générée au niveau de l'électrode 61(1). La séquence d'activation successive des électrodes 61(i) se poursuit alors

comme décrit précédemment.

[0115] La fréquence d'activation des électrodes 61(i) permet de contrôler précisément le débit imposé au fluide 31 dans le microcanal.

[0116] Comme on le voit, la goutte de liquide 32 reste confinée dans la chambre 40 durant toute la séquence d'activation des électrodes 61(i). Ainsi, le fluide d'intérêt 31 n'est pas discrétisé sous forme de gouttes ou de bulles en aval de la chambre. La micropompe selon l'invention s'applique bien à la microfluidique « continue ».

[0117] Par ailleurs, il est bien entendu que le sens de déplacement de la déformation 35 n'est pas limité à celui allant du premier conduit 11 au second conduit 12, mais peut tout aussi bien aller dans le sens contraire.

[0118] Les figures 5A à 5C, sur lesquelles les références numériques identiques à celles de la figure 2 désignent des éléments identiques ou similaires, représentent une variante de fonctionnement de la micropompe selon le premier mode de réalisation préféré de l'invention.

[0119] Il peut en effet être avantageux de contrôler très précisément le débit massique de fluide d'intérêt 31 dans le microcanal.

[0120] Or, la figure 4C montre une étape de la séquence d'activation des électrodes 61(i) pour laquelle un flux libre de fluide 31 est possible. Cette étape est celle où la déformation locale 35 passe de l'électrode aval 61(N) à l'électrode amont 61(1). Le débit massique du fluide 31 ne peut alors être contrôlé précisément.

[0121] Pour y remédier, il est avantageux d'avoir une séquence d'activation différente en cette étape. Comme le montre la figure 5C, l'électrode aval 61(N) est maintenue activée lorsque l'électrode amont 61(1) est activée, de sorte que la zone axiale 41 reste toujours obstruée par au moins une, ici deux, déformations locales 35 de la goutte 32.

[0122] Lorsque l'électrode 61(2) est activée, les électrodes amont 61(1) et aval 61(N) sont désactivées dans le même temps. La déformation locale 35 localisée sur l'électrode 61(N) disparaît alors que celle localisée sur l'électrode 61(1) est déplacée sur l'électrode voisine 61(2).

[0123] La séquence d'activation est ensuite similaire à ce qui a été décrit précédemment.

[0124] Les figures 6A à 6D représentent une variante du premier mode de réalisation préféré de l'invention, en vue de dessus. Les références numériques identiques à celles de la figure 2 désignent des éléments identiques ou similaires.

[0125] Dans ce mode de réalisation, la chambre 40 comprend deux parties latérales 42A et 42B, disposées l'une en regard de l'autre par rapport à la zone axiale 41 de la chambre 40.

[0126] Chaque zone latérale 42A, 42B loge une goutte de liquide 32A, 32B.

[0127] Chaque zone latérale 42A, 42B comprend avantageusement une électrode de confinement (non représentée).

[0128] Le mode de fonctionnement représenté sur ces figures est sensiblement similaire à celui décrit sur les figures 5A à 5C.

[0129] L'activation d'une électrode 61(i) génère une déformation locale des gouttes 32A et 32B. Chaque déformation locale s'étend alors sensiblement sur une zone de la couche hydrophobe située en regard de l'électrode 61(i) activée.

[0130] Les déformations locales peuvent alors mouiller une surface suffisante pour coalescer l'une avec l'autre. Un pont de liquide 36 est alors formé, qui relie les deux gouttes de liquide 32A et 32B.

[0131] Le pont de liquide 36, correspondant alors aux deux déformations locales coalescées, est alors déplacé par activation successive des électrodes 61(i).

[0132] Pour former un pont liquide 36 de plus grande dimension et le déplacer, il est avantageux d'actionner deux électrodes voisines 61(i) et 61(i+1) ensemble, comme l'illustrent en particulier les figures 6A à 6C. La figure 6D montre, par ailleurs, un fonctionnement identique à celui décrit sur la figure 5C.

[0133] Ainsi, l'activation conjointe des électrodes 61(1) et 61(N) permet de former une inclusion 31I de fluide 31. La séquence d'activation des électrodes 61(i) permet ainsi de former cette inclusion, de la déplacer et de la fusionner avec le fluide 31 présent dans le second conduit 12.

[0134] Les figures 7A à 7D illustrent une variante de fonctionnement, dans laquelle les deux déformations locales 35A et 35B ne coalescent pas l'une avec l'autre, du fait par exemple d'une tension d'activation V1 trop faible ou d'une fréquence élevée d'activation des électrodes.

[0135] Lors de l'activation successive des électrodes 61(i), chaque déformation locale 35A, 35B est déplacée en demeurant l'une en regard de l'autre, du fluide 31 séparant les deux déformations locales.

[0136] Cette variante de fonctionnement correspond à une micropompe péristaltique. Les différents modes de réalisation de l'invention décrits peuvent fonctionner suivant cette variante de fonctionnement.

[0137] Les figures 8A à 8D représentent le second mode de réalisation préféré de l'invention, en vue de dessus. Les références numériques identiques à celles de la figure 2 désignent des éléments identiques ou similaires.

[0138] Dans ce mode de réalisation, la chambre 40 comprend une paroi 43 disposée entre la zone axiale 41 et la zone latérale 42, sur une partie de la longueur de la chambre, de manière à ce que la zone latérale 42 forme un canal secondaire communiquant avec la zone axiale 41 en amont et en aval de la paroi 43.

[0139] De préférence, la zone latérale 42 communique en amont de la paroi 43 au niveau de l'électrode amont 61(1) et en aval de la paroi 43 au niveau de l'électrode aval 61(N).

[0140] Lors de l'activation de l'électrode amont 61(1), une portion 35 de la goutte 32 vient recouvrir au moins partiellement ladite électrode activée.

[0141] Puis, la séquence d'activation des électrodes est mise en oeuvre comme décrit précédemment.

[0142] L'électrode 61(2) est activée alors que l'électrode 61(1) est désactivée. La portion 35 de liquide est alors déplacée de manière à recouvrir sensiblement la nouvelle électrode activée.

[0143] Puis, à mesure de la désactivation de l'électrode 61(i) et de l'activation de l'électrode 61(i+1), la portion 35 se déplace dans la zone axiale de la chambre de l'électrode 61(1) jusqu'à l'électrode 61(N). Ce faisant, elle provoque l'écoulement du fluide d'intérêt 31 dans le microcanal.

[0144] Du fait que les électrodes 61(i), avec $i \in [2, N-1]$ sont séparées de la zone latérale de la chambre par ladite paroi, la portion 35 forme, lorsqu'elle recouvre sensiblement l'une de ces électrodes, une goutte secondaire séparée de la goutte principale logée dans la zone latérale de la chambre, comme illustré sur la figure 8B.

[0145] Plus précisément, la goutte secondaire 35 est formée par dissociation de la goutte principale lorsque la portion 35 est déplacée de l'électrode 61(1) à l'électrode 61(2).

[0146] Puis, lorsque la goutte secondaire est déplacée de l'électrode 61(N-1) à l'électrode 61(N), elle coalesce avec la goutte principale (figure 8C).

[0147] Il est à noter qu'une contre-électrode est avantageusement disposée de manière à être en contact électrique d'une part avec la goutte principale 32, mais également avec la goutte secondaire 35.

[0148] La séquence d'activation est ensuite similaire à ce qui a été décrit en référence aux figures 4A à 4D.

[0149] La figure 9 illustre une variante du premier mode de réalisation préféré de l'invention. Les références numériques identiques à celles de la figure 2 désignent des éléments identiques ou similaires.

[0150] Dans cet exemple, le fluide d'intérêt 31 est un liquide conducteur et un fluide liquide ou gazeux diélectrique forme une inclusion fluide occupant au moins partiellement ladite zone latérale de la chambre.

[0151] Une contre-électrode est avantageusement disposée dans le microcanal ou dans la partie axiale de la chambre de manière à porter le liquide conducteur au potentiel voulu, par exemple V1.

[0152] La séquence d'activation successive est adaptée dans la mesure où toutes les électrodes 61(i) sont, de préférence, préalablement activées. Une déformation locale 35 est alors formée en désactivant une électrode, par exemple l'électrode amont 61(1). La séquence d'activation successive consiste alors à activer l'électrode 61(i) et à désactiver l'électrode 61(i+1). La déformation locale 35 de l'inclusion fluide 32 est alors déplacée dans la zone axiale suivant l'axe longitudinal du microcanal, ce qui provoque l'écoulement du fluide d'intérêt, ici le liquide conducteur, dans le microcanal.

[0153] Par ailleurs, dans le but d'améliorer le confinement de l'inclusion fluide 32 à l'intérieur de la chambre 40, deux électrodes de confinement peuvent être disposées dans le canal, plus précisément en amont et en aval

de la zone axiale 41 de la chambre 40. La première électrode est donc en amont et à proximité de la première électrode 61(1), et la seconde électrode est en aval et à proximité de la dernière électrode 61(N). Lors du fonctionnement de la micropompe, ces deux électrodes restent avantageusement activées. Ainsi, le confinement de l'inclusion fluide 32 dans ladite chambre est amélioré.

[0154] Cette variante du premier mode de réalisation préféré peut être adaptée aux différents modes décrits, ainsi qu'au second mode de réalisation préféré.

[0155] Les figures 10 et 11 représentent des variantes de géométrie de la micropompe selon le premier mode de réalisation préféré de l'invention, en vue de dessus. Les références numériques identiques à celles de la figure 2 désignent des éléments identiques ou similaires.

[0156] Sur la figure 10, la zone axiale 41 de la chambre 40 présente un axe longitudinal courbe. La zone latérale 42 a une forme sensiblement de demi-disque.

[0157] Sur la figure 11, la zone axiale 41 a une forme de U. La zone latérale 42 a alors une forme sensiblement rectangulaire.

[0158] Ces différentes géométries peuvent être utilisées dans les différents modes de réalisation précédemment décrits.

[0159] Par ailleurs, il est à noter que dans tous les modes de réalisation décrits précédemment, la surface de la chambre, et plus particulièrement au niveau des électrodes 61(i), peut être lisse, rugueuse ou micro-structurée ou nano-structurée, de façon à amplifier les effets de mouillage et augmenter les forces de capillarité. Le déplacement de la portion 35 est alors amélioré.

[0160] Il est à noter que, dans le cas où la couche diélectrique n'est pas présente, le phénomène d'électromouillage dit direct peut être réalisé.

[0161] La capacité intervenant alors n'est plus celle de la couche diélectrique 65 mais celle d'une double couche électrique se formant dans le liquide conducteur 32 à la surface des électrodes 61(i) et 62. Dans ce cas, les tensions appliquées doivent rester suffisamment faibles pour éviter des phénomènes électrochimiques tels que l'électrolyse de l'eau.

[0162] 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.

[0163] Il est avantageux d'ajouter dans le liquide 32 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.

[0164] Par ailleurs, dans une variante du mode de réalisation de l'invention représenté sur la figure 2, une pluralité d'électrodes peut être intégrée au capot 22, et avantageusement recouverte d'une couche diélectrique.

[0165] L'activation d'une électrode quelconque 61(i) du premier substrat 21 s'accompagne alors avantageusement d'une activation conjointe de l'électrode correspondante du capot au potentiel -V1. Ainsi, le liquide conducteur 32 situé entre le substrat 21 et le capot 22 est sensiblement mis au potentiel 0V. Une contre-électrode peut alors ne pas être présente.

[0166] Enfin, il est à noter que, lorsque la fréquence de la tension de polarisation est sensiblement supérieure à quelques dizaines de kilohertz, le liquide d'une goutte 32 présente une propriété diélectrique. Dans le cas où la permittivité du liquide 32 est sensiblement plus grande que celle du fluide 31, le liquide 32 est déplacé au niveau de l'électrode activée par diélectrophorèse.

[0167] Le pompage est alors obtenu en utilisant un liquide 32 occupant au moins partiellement la zone latérale 42 de la chambre 40 et un fluide d'intérêt 31 non miscibles et de permittivités différentes.

[0168] Dans le cas où le liquide 32 et le fluide 31 sont électriquement isolants, la micropompe peut ne pas comprendre de couche diélectrique recouvrant les électrodes d'actionnement intégrées au substrat 31 et celles intégrées au capot 22. Par ailleurs, la tension de polarisation peut être continue.

Revendications

1. Micropompe pour déplacer un premier fluide (31) dans un microcanal (10), **caractérisée en ce que** le microcanal comprend au moins une chambre (40) comportant une zone axiale (41) disposée sensiblement suivant l'axe longitudinal du microcanal (10) et au moins une zone latérale (42),
et **en ce que** la micropompe comprend :

- une inclusion (32) d'un second fluide occupant au moins partiellement ladite zone latérale (42) de la chambre (40),
- des moyens électriques pour amener une portion (35) de ladite inclusion (32) dans ladite zone axiale sous l'effet d'une commande électrique, comportant une pluralité d'électrodes d'actionnement (61) disposées dans ladite zone axiale (41) de la chambre (40), et
- des moyens d'activation successive desdites électrodes d'actionnement (61) pour déplacer ladite portion (35) de ladite inclusion (32) recouvrant au moins partiellement au moins une électrode d'actionnement (61), sensiblement suivant l'axe longitudinal du microcanal (10), de manière à provoquer l'écoulement dudit premier fluide (31) suivant l'axe longitudinal du microcanal (10).

2. Micropompe selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** les moyens d'activation successive comprennent des moyens de commutation électrique

- (72) conçus pour activer et pour désactiver chacune desdites électrodes d'actionnement (61), lesdits moyens de commutation (72) étant commandés par un moyen de commande (73).
3. Micropompe selon la revendication 1 ou 2, **caractérisée en ce que** ladite portion (35) de ladite inclusion (32) est une déformation locale de ladite inclusion (32).
 4. Micropompe selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisée en ce que** ladite portion (35) de ladite inclusion (32) recouvre au moins une électrode d'actionnement (61) suivant toute la section transversale de ladite zone axiale (41).
 5. Micropompe selon la revendication 1 ou 2, **caractérisée en ce que** la chambre (40) comprend une paroi (43) disposée entre la zone axiale (41) et la zone latérale (42), sur une partie de la longueur de la chambre (40), de manière à ce que la zone latérale (42) forme un canal secondaire communiquant avec la zone axiale (41) en amont et en aval de la paroi (43).
 6. Micropompe selon la revendication 5, **caractérisée en ce que** ladite portion (35) de ladite inclusion (32) peut être une inclusion secondaire séparée de ladite inclusion (32) par ladite paroi (43).
 7. Micropompe selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisée en ce que** le premier fluide (31) est un fluide diélectrique, le second fluide étant un liquide conducteur.
 8. Micropompe selon la revendication 7, **caractérisée en ce que** lesdits moyens électriques pour amener ladite portion (35) dans ladite zone axiale (41) comprennent :
 - au moins une contre-électrode (63) en contact électrique avec ladite inclusion (32), et
 - un générateur de tension (64) pour appliquer une différence de potentiel entre une ou plusieurs électrodes d'actionnement (61) et ladite contre-électrode (63).
 9. Micropompe selon la revendication 7 ou 8, **caractérisée en ce que** lesdits moyens électriques pour amener ladite portion (35) dans ladite zone axiale (41) comprennent en outre une électrode dite de confinement (62) s'étendant sensiblement sur la surface de ladite zone latérale (42) de la chambre (40).
 10. Micropompe selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisée en ce que** le premier fluide (31) est un liquide conducteur, le second fluide étant un fluide diélectrique.
 11. Micropompe selon la revendication 10, **caractérisée en ce que** lesdits moyens électriques pour amener ladite portion (35) dans ladite zone axiale (41) comprennent :
 - au moins une contre-électrode (63) en contact électrique avec ledit premier fluide (31), et
 - un générateur de tension (64) pour appliquer une différence de potentiel entre une ou plusieurs électrodes d'actionnement (61) et ladite contre-électrode (63).
 12. Micropompe selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, **caractérisée en ce qu'elle** comprend en outre un second substrat (22) formant capot de ladite micropompe, et **en ce qu'une** seconde pluralité d'électrodes d'actionnement est intégrée audit capot (22) et disposée dans ladite zone axiale (41) de la chambre (40), en regard de ladite première pluralité d'électrodes d'actionnement (61) dudit substrat (21).
 13. Micropompe selon la revendication 12, **caractérisée en ce que** le premier fluide (31) présente une permittivité électrique sensiblement inférieure à celle du second fluide.
 14. Micropompe selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, **caractérisée en ce que** ladite chambre (40) comprend deux parties latérales (42A, 42B) disposées l'une en regard de l'autre, logeant chacune une goutte de liquide conducteur (32A, 32B).
 15. Micropompe selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, **caractérisée en ce qu'elle** comprend en outre un second substrat (22) formant capot de ladite micropompe, la distance séparant le premier substrat (21) et le capot (22) dans ladite chambre (40) est sensiblement inférieure aux dimensions de ladite chambre (40) suivant le plan médian dudit premier substrat (21).
 16. Micropompe selon l'une quelconque des revendications 1 à 15, **caractérisée en ce que** la zone axiale (41) présente une largeur sensiblement inférieure à la longueur de celle-ci.
 17. Micropompe selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, **caractérisée en ce que** l'espacement inter-électrodes d'actionnement (61) présente une forme courbe ou anguleuse.
 18. Micropompe selon l'une quelconque des revendications 1 à 17, **caractérisée en ce que** lesdites électrodes (61, 62) sont recouvertes d'une couche de matériau hydrophobe (66).

19. Micropompe selon l'une quelconque des revendications 1 à 18, **caractérisée en ce que** le premier fluide (31) et le second fluide sont, l'un, un liquide conducteur comprenant des espèces zwitterioniques, et l'autre, un fluide diélectrique. 5
20. Micropompe selon la revendication 18, **caractérisée en ce qu'**une couche de matériau diélectrique (65) est disposée entre la couche hydrophobe (66) et lesdites électrodes (61, 62). 10
21. Micropompe selon l'une quelconque des revendications 1 à 20, **caractérisée en ce que** lesdites électrodes d'actionnement (61) sont disposées sous forme matricielle. 15

20

25

30

35

40

45

50

55

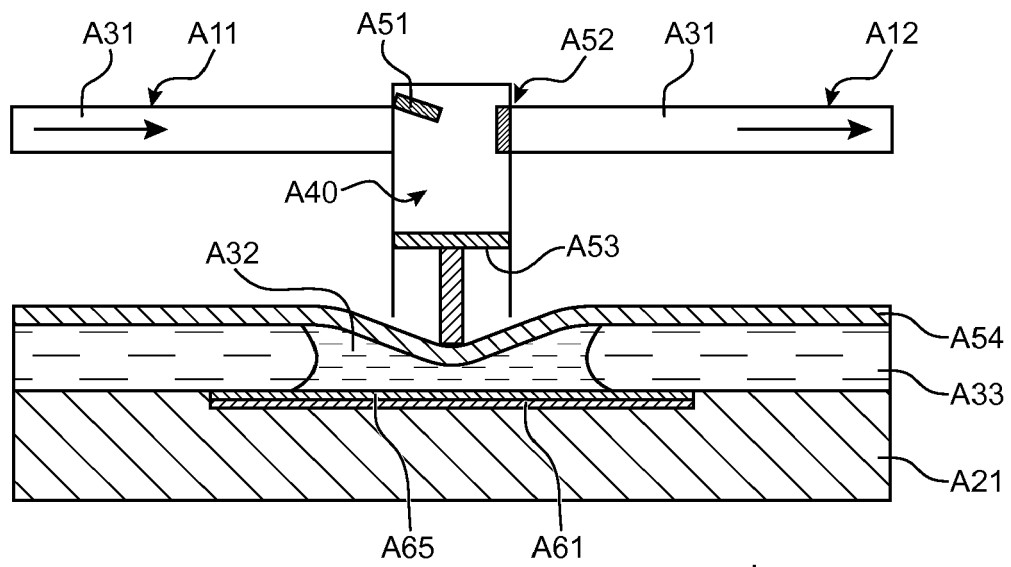


Fig.1A

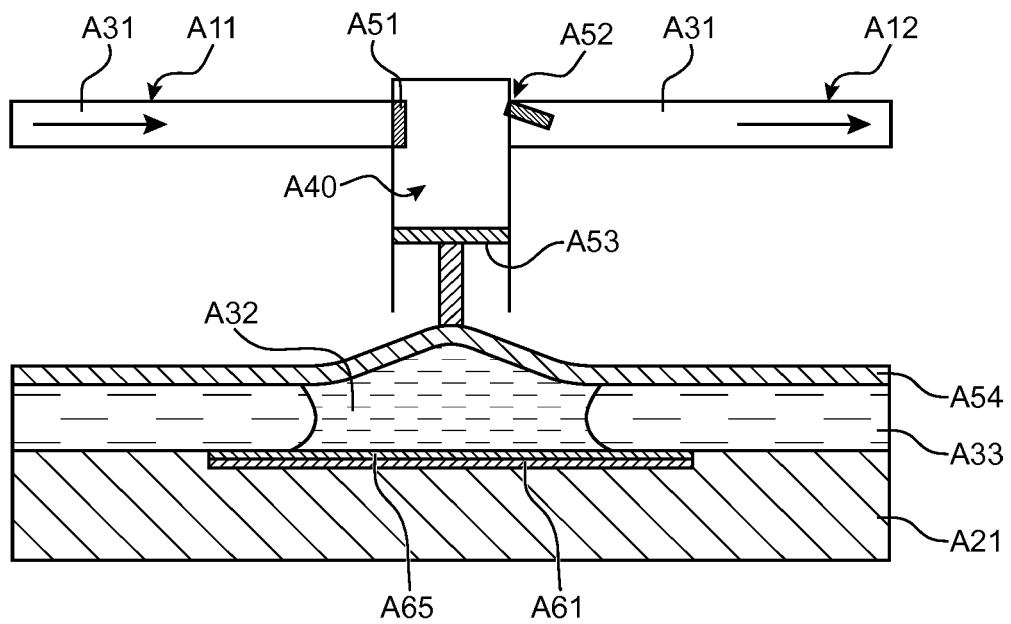
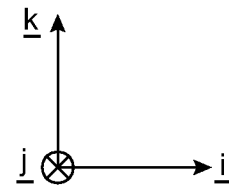


Fig.1B

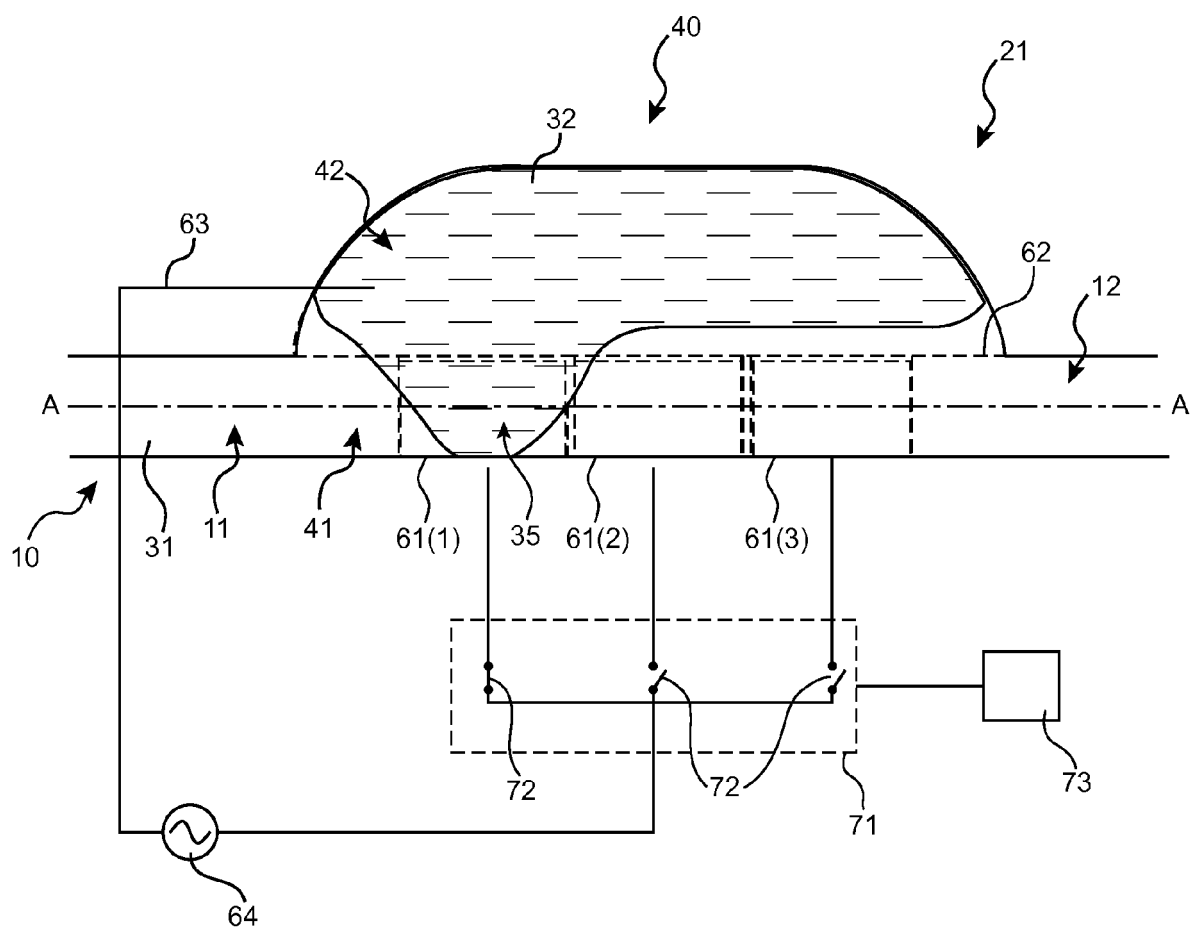


Fig.2

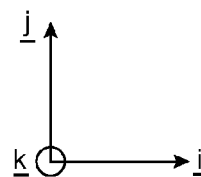


Fig.3

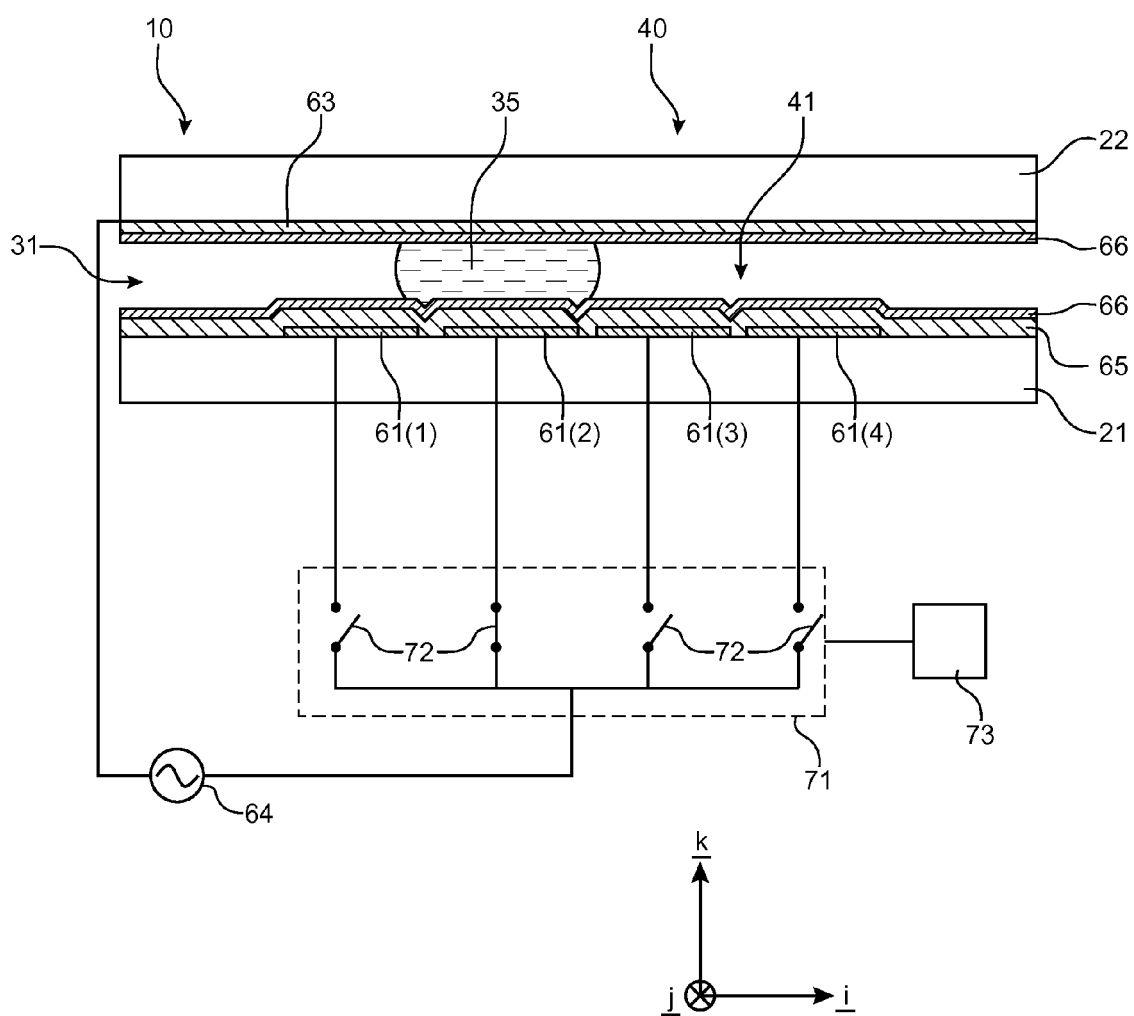


Fig.4A

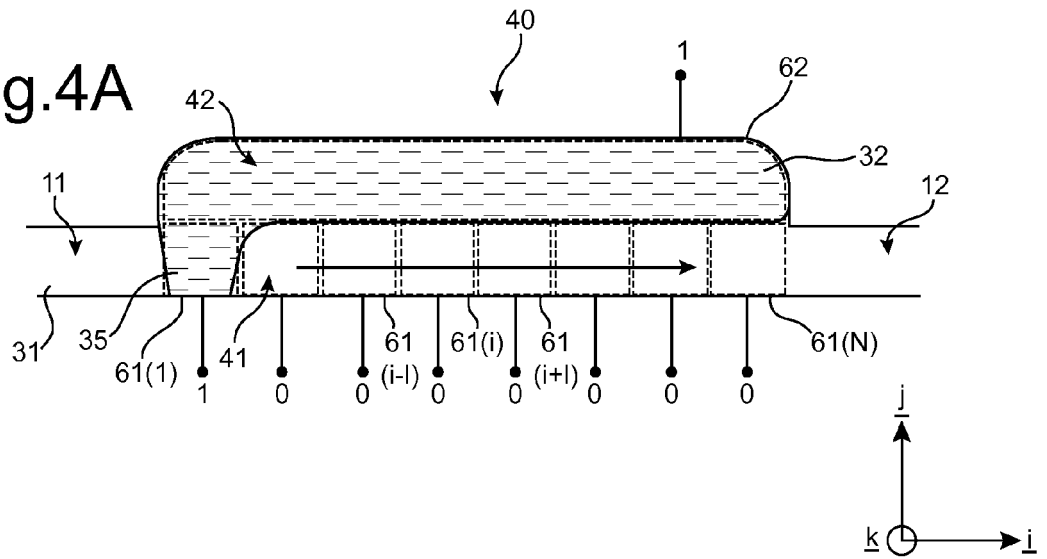


Fig.4B

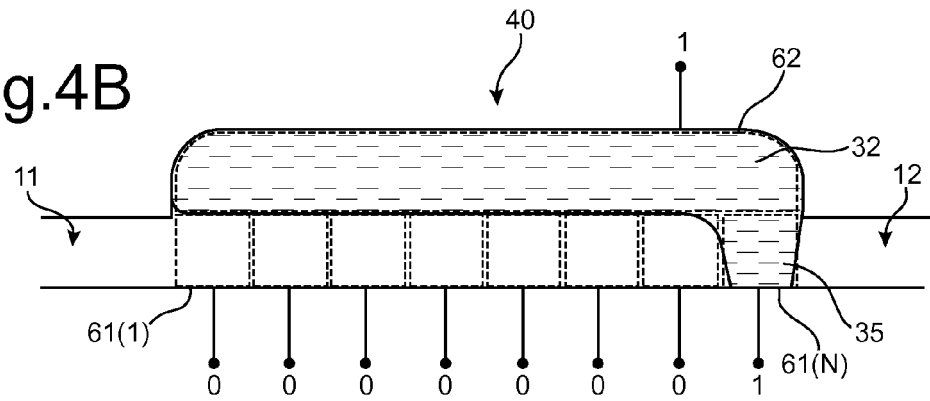


Fig.4C

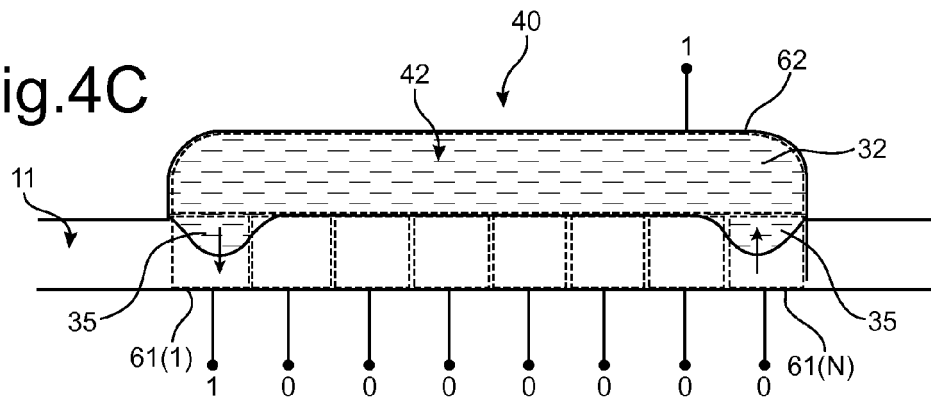


Fig.5A

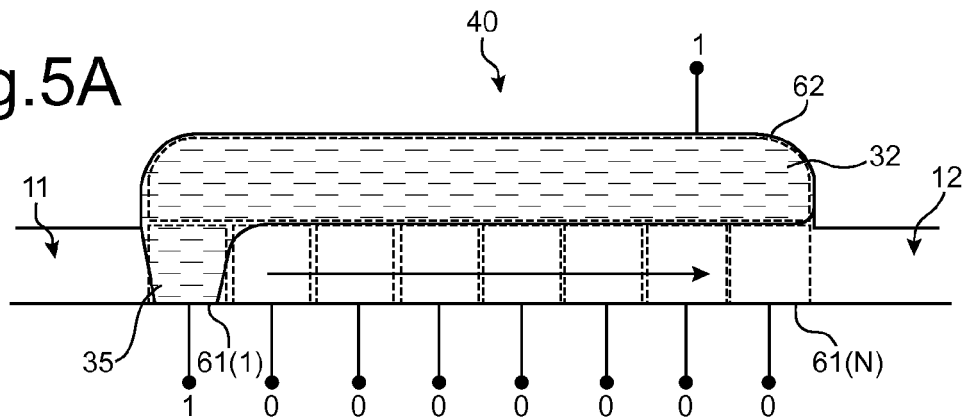


Fig.5B

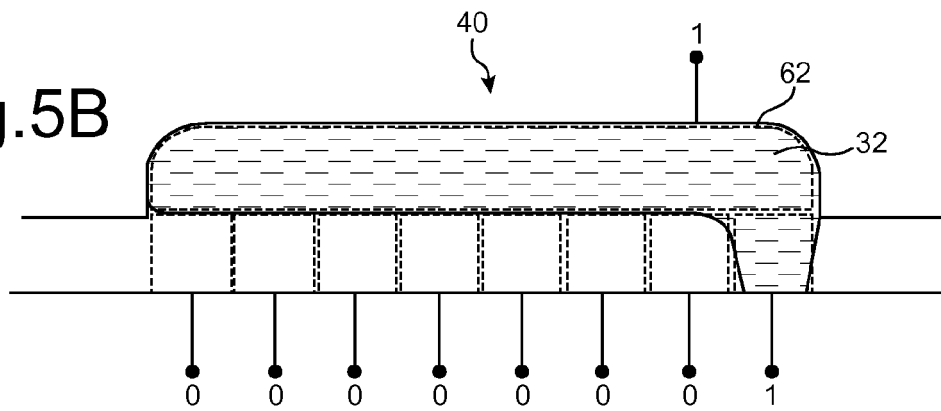


Fig.5C

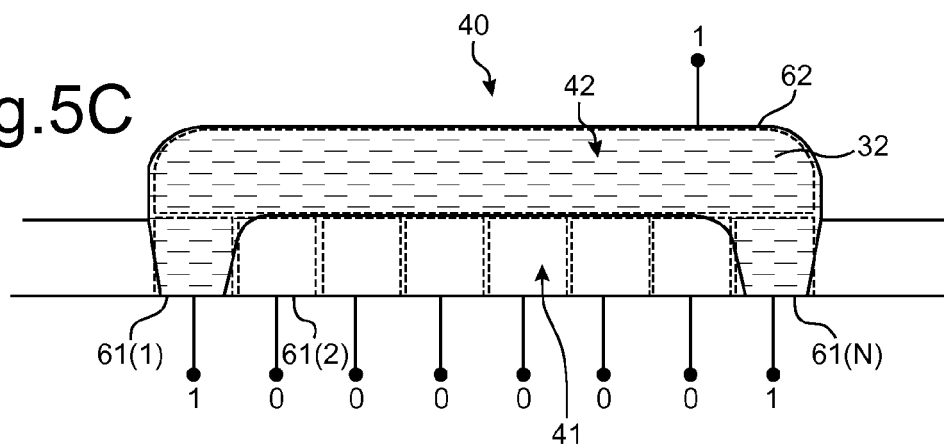


Fig.6A

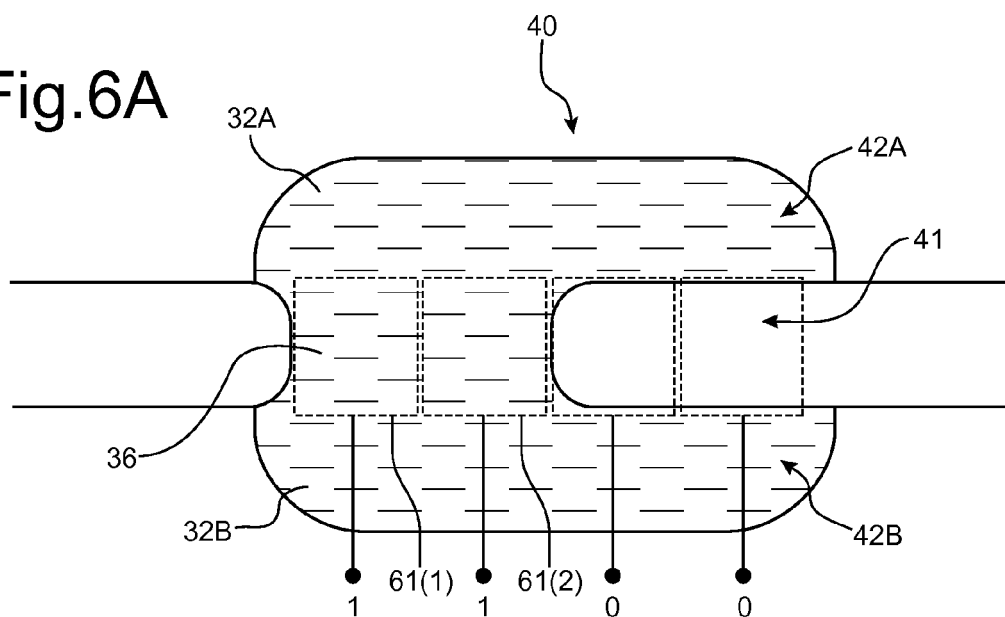
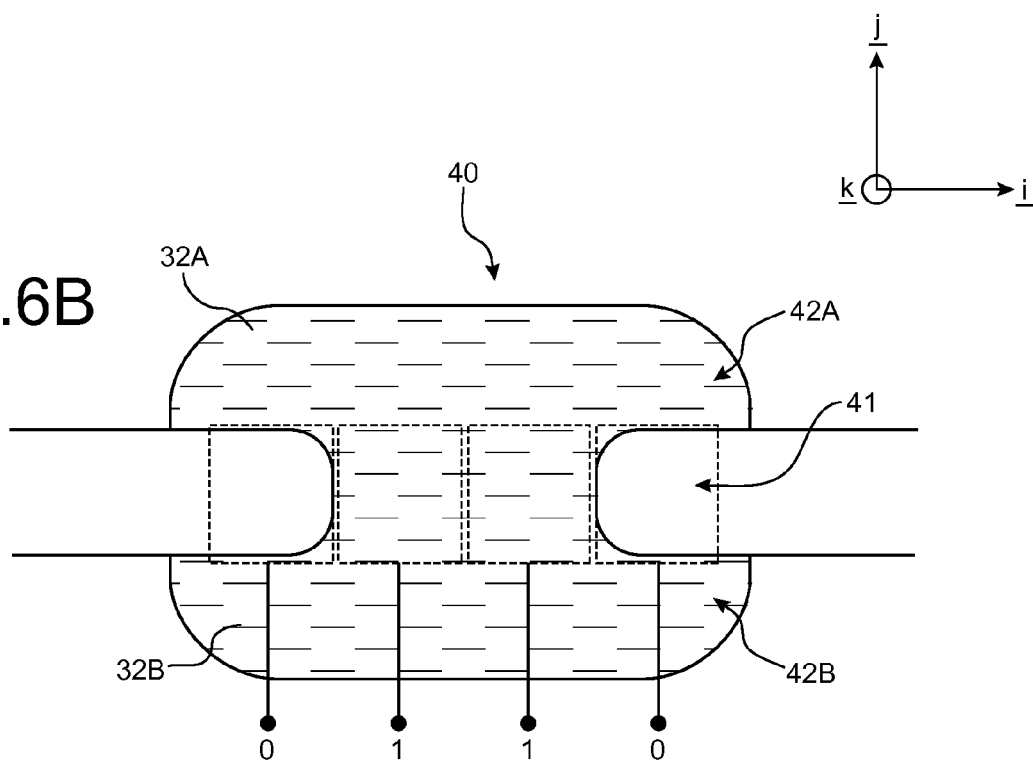


Fig.6B



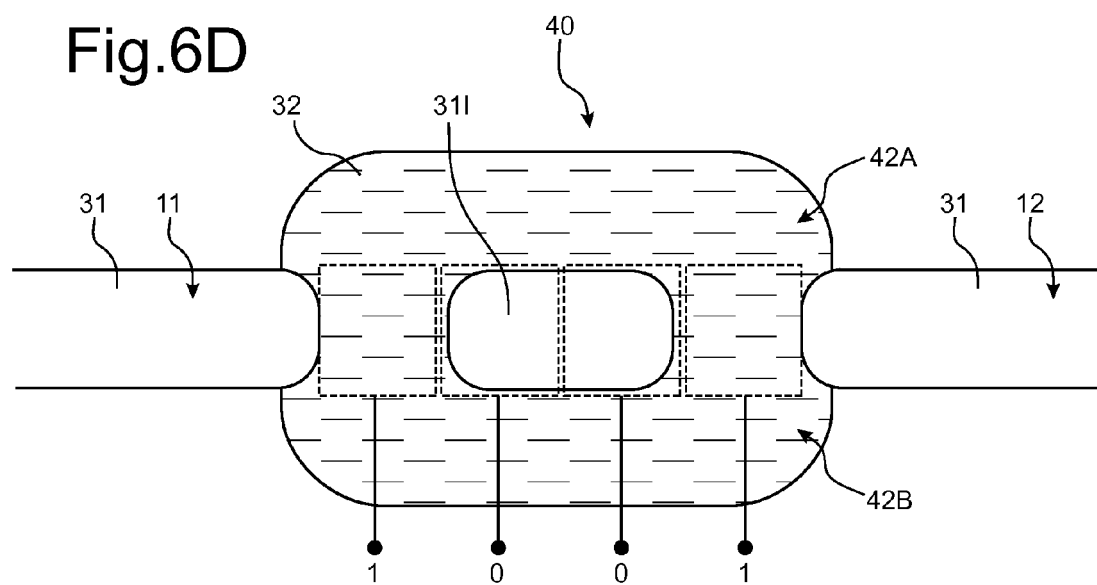
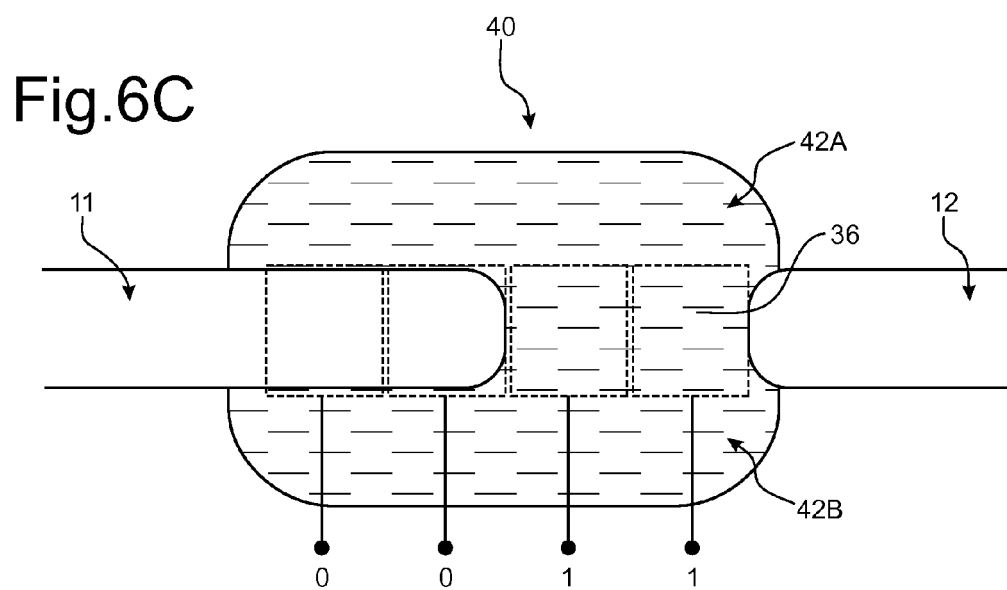


Fig.7A

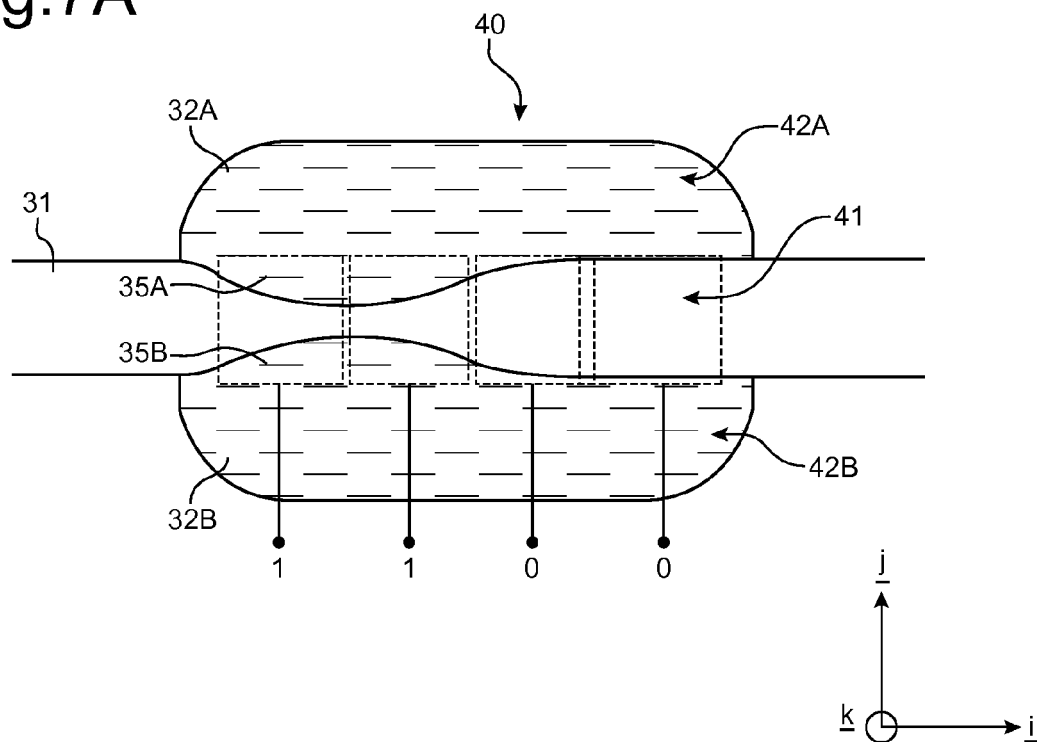


Fig.7B

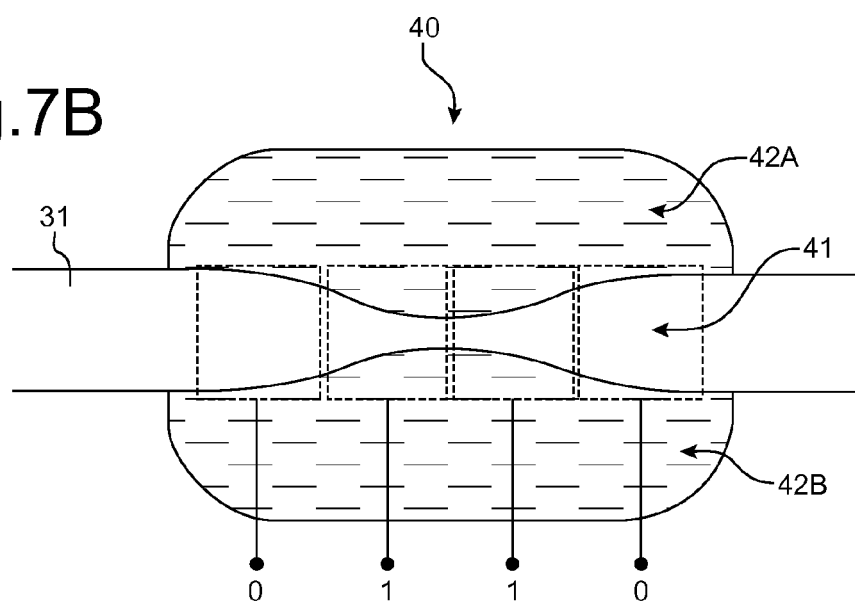


Fig.7C

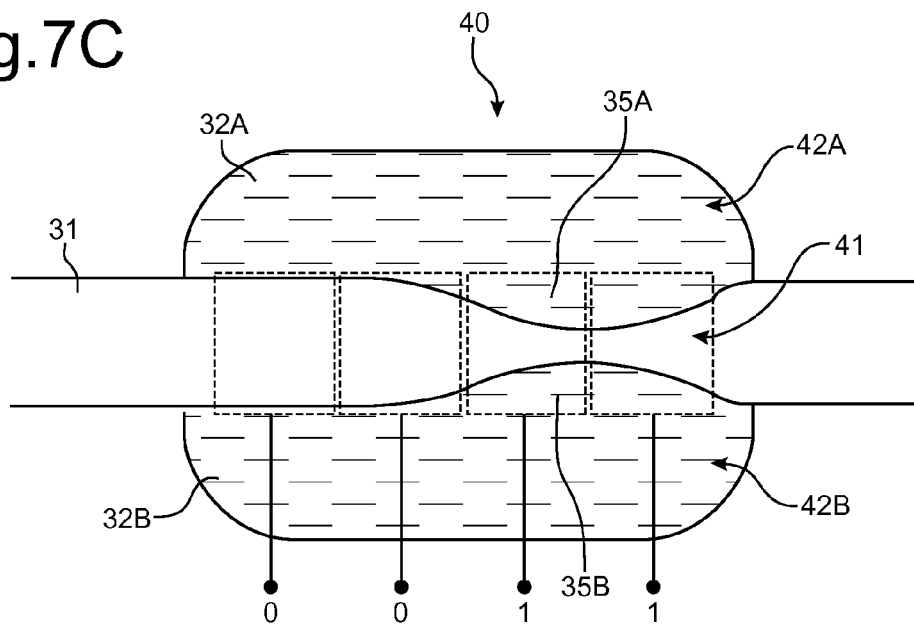


Fig.7D

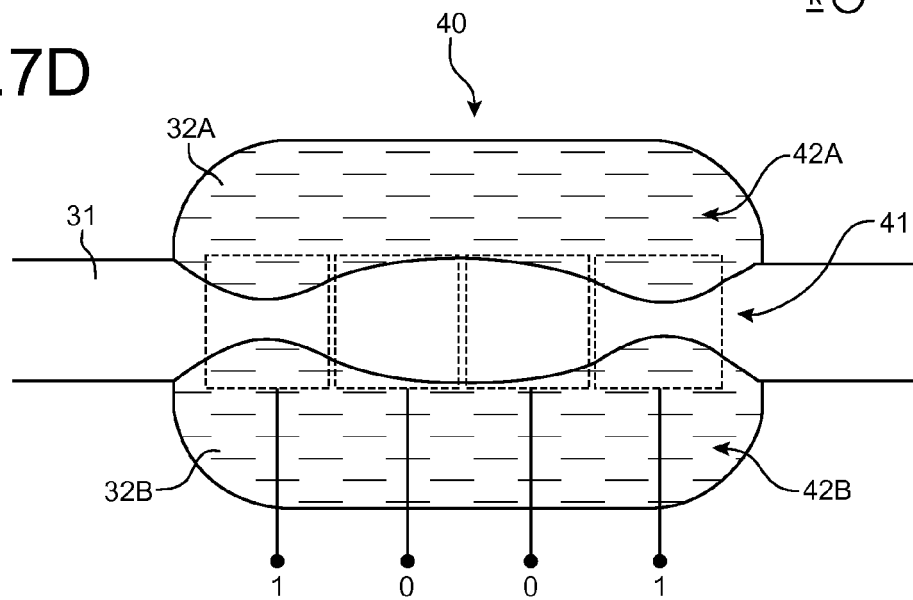


Fig.8A

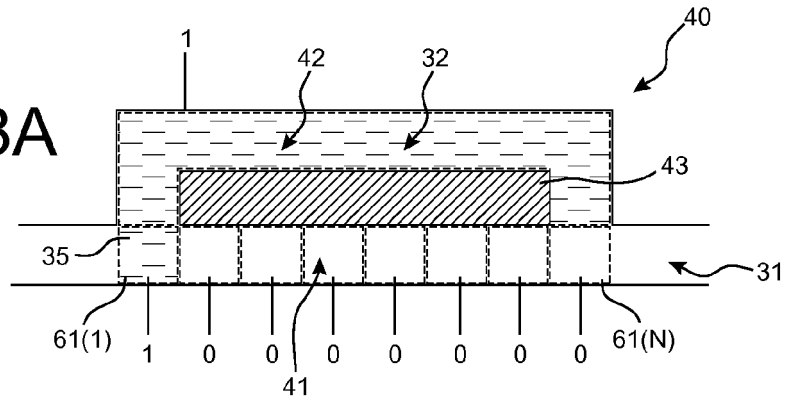


Fig.8B

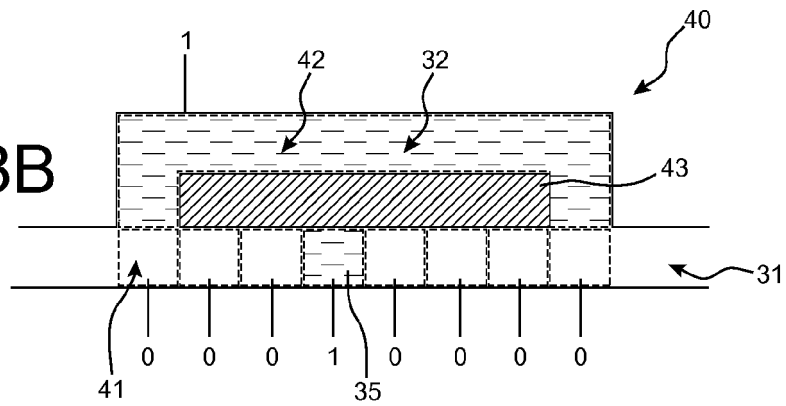


Fig.8C

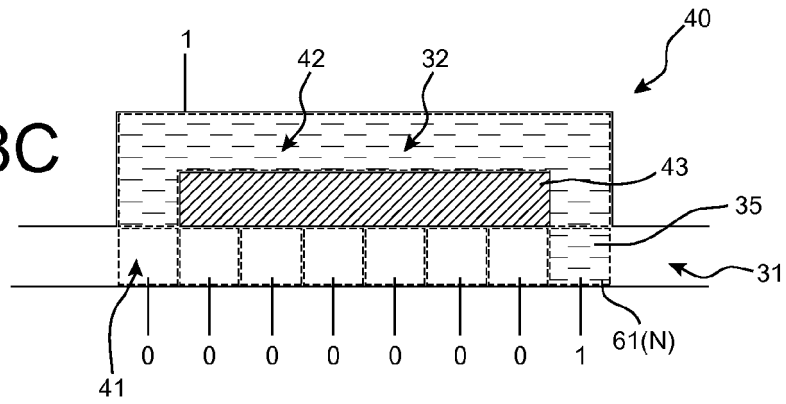
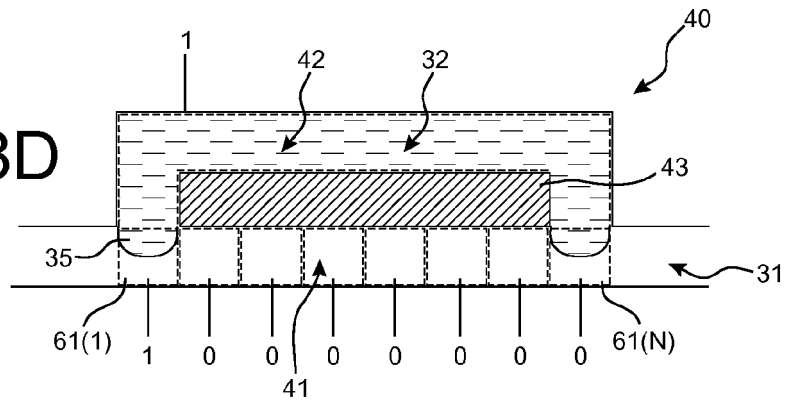


Fig.8D



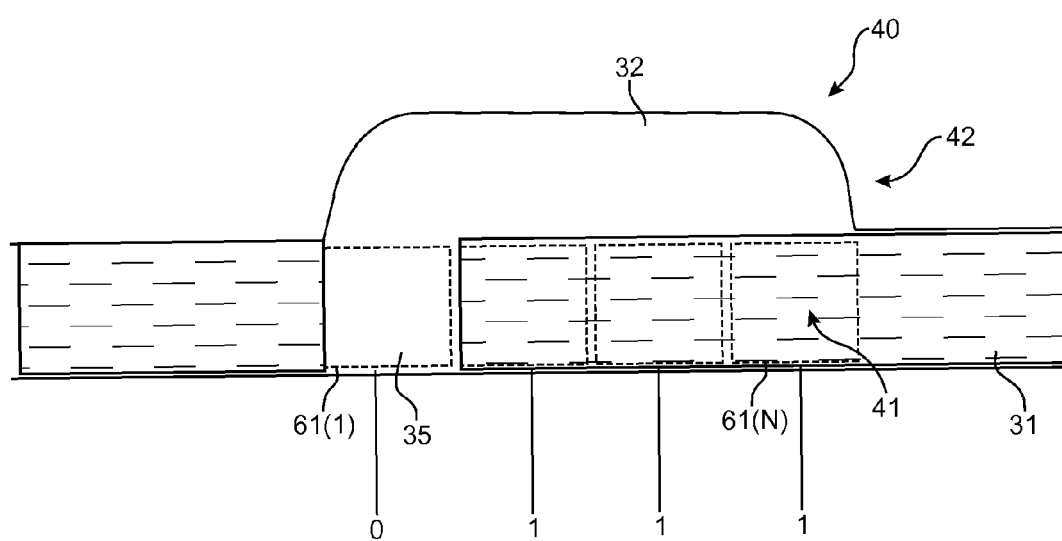


Fig.9

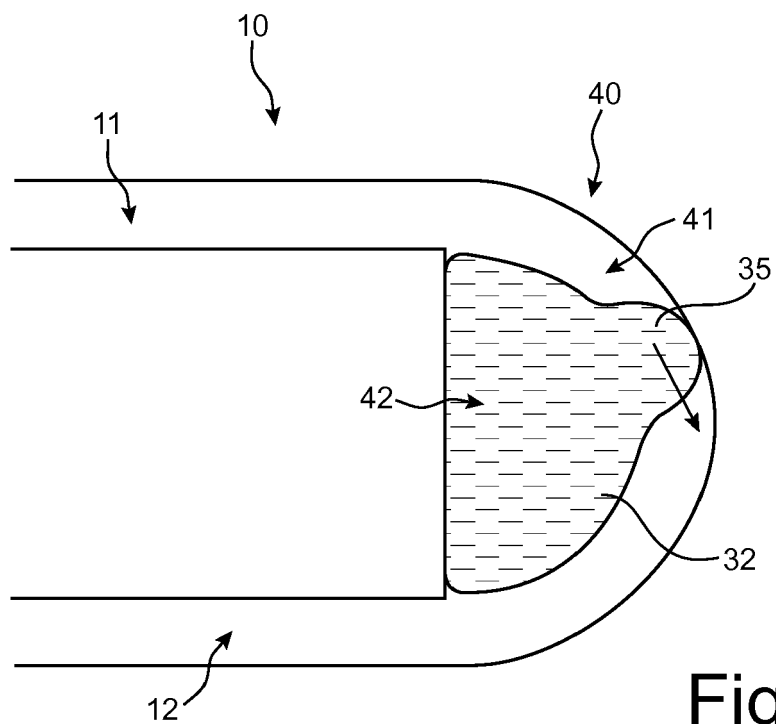


Fig. 10

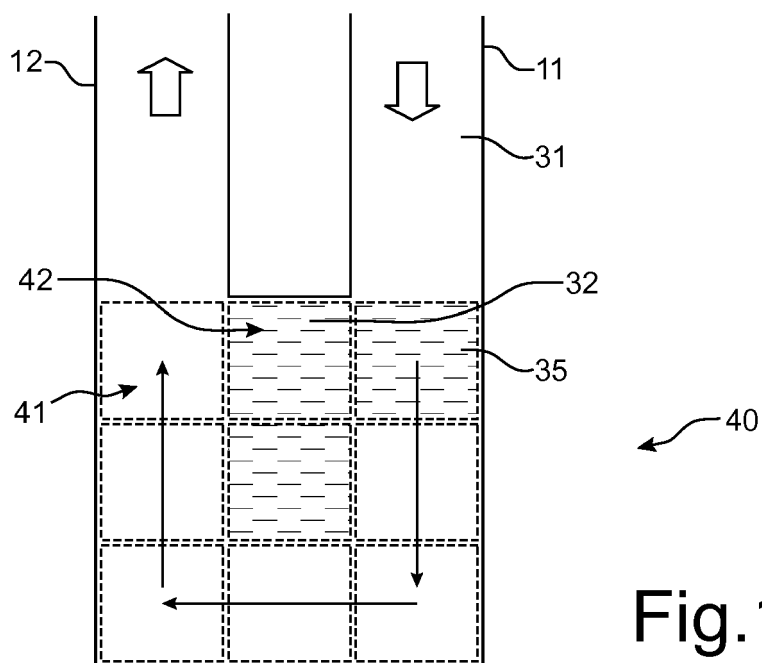


Fig. 11



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 09 16 9628

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A,D	FR 2 889 633 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 9 février 2007 (2007-02-09) * page 34, ligne 27 - page 39, ligne 19 * * figures 11A,11B,13A,13,B *	1-21	INV. F04B19/00 B01L3/00
A	FR 2 890 875 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 23 mars 2007 (2007-03-23) * page 7, ligne 26 - page 10, ligne 26 * * page 13, ligne 11 - page 14, ligne 11 * * figures 1-3 *	1-21	
A	WO 2005/122672 A (UNIVERSITY OF BRITISH COLUMBIA [CA]) 29 décembre 2005 (2005-12-29) * alinéa [0036] - alinéa [0037] * * figures 7A-7D *	1-21	
A	US 2002/114715 A1 (KOREA ADVANCED INST. OF SCIENCE AND TECHN. [KR] ET AL) 22 août 2002 (2002-08-22) * figures 6A-6C * * alinéa [0053] - alinéa [0058] *	1-21	
A	WO 2006/134307 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 21 décembre 2006 (2006-12-21) * figures 1,2,7,8 * * page 9, ligne 20 - page 13, ligne 7 * * revendication 1 *	1-21	
A	US 2003/012483 A1 (TICKNOR, ANTHONY J. [US] ET AL) 16 janvier 2003 (2003-01-16) * figures 1-3,25-34 * * alinéa [0106] - alinéa [0143] * * alinéa [0195] - alinéa [0197] *	1-21	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			F04B B01L B01F
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 25 janvier 2010	Examineur Gnächtel, Frank
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 16 9628

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

25-01-2010

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2889633 A	09-02-2007	EP 1913433 A2 WO 2007017495 A2 US 2008212161 A1	23-04-2008 15-02-2007 04-09-2008
FR 2890875 A	23-03-2007	EP 1949145 A1 WO 2007033990 A1 US 2009127123 A1	30-07-2008 29-03-2007 21-05-2009
WO 2005122672 A	29-12-2005	US 2008135411 A1	12-06-2008
US 2002114715 A1	22-08-2002	KR 20020068096 A	27-08-2002
WO 2006134307 A	21-12-2006	EP 1891329 A1 FR 2887305 A1 US 2008210558 A1	27-02-2008 22-12-2006 04-09-2008
US 2003012483 A1	16-01-2003	AUCUN	

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

- FR 2889633 [0007]

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]
- **B. Berge.** Electrocapillarité et mouillage de films isolants par l'eau. *C.R. Acad. Sci.*, 1993, vol. 317, 157-163 [0014]
- **Mugele ; Baret.** Electrowetting: from basics to applications. *J. Phys. Condens. Matter*, 2005, vol. 17, R705-R774 [0076]