



(11)

EP 4 566 713 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
11.06.2025 Bulletin 2025/24

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
B01L 3/00 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **24213155.5**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
B01L 3/50273; B01L 3/502738; B01L 2200/0605;
B01L 2300/0874; B01L 2300/0883;
B01L 2300/0887; B01L 2300/123; B01L 2400/0487;
B01L 2400/0638

(22) Date de dépôt: **15.11.2024**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

Etats d'extension désignés:

BA

Etats de validation désignés:

GE KH MA MD TN

(30) Priorité: **06.12.2023 FR 2313704**

(71) Demandeur: **Commissariat à l'Energie Atomique**
et aux Energies
Alternatives
75015 Paris (FR)

(72) Inventeurs:

- **FUCHS, Olivier**
38054 Grenoble cedex 09 (FR)
- **DEN DULK, Remco**
38054 Grenoble cedex 09 (FR)
- **FOUILLET, Yves**
38054 Grenoble cedex 09 (FR)

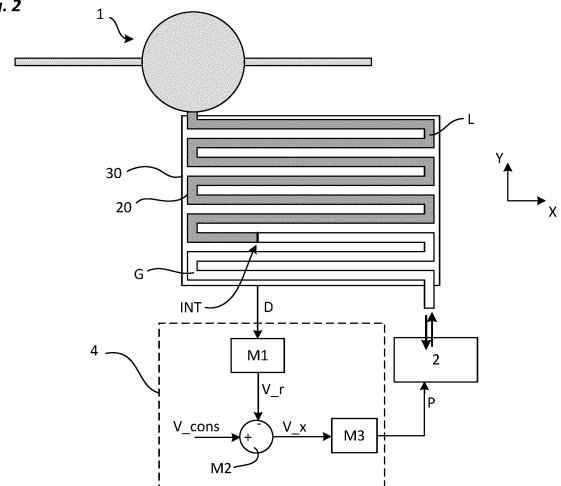
(74) Mandataire: **INNOV-GROUP**
209 Avenue Berthelot
69007 Lyon (FR)

(54) DISPOSITIF DE CONTRÔLE DU DÉPLACEMENT D'UN FLUIDE

(57) L'invention concerne un dispositif de contrôle du déplacement d'un fluide (F) comportant :

- Une capsule microfluidique (1) qui comporte une chambre microfluidique (10), au moins un canal microfluidique (11) débouchant dans ladite chambre microfluidique (10), et une membrane (13) déformable à l'intérieur de ladite chambre microfluidique pour déplacer un volume de fluide en dehors de la chambre vers ledit canal microfluidique ou aspirer un volume de fluide vers l'intérieur de la chambre microfluidique,
- Un dispositif d'actionnement de la membrane (13), le dispositif d'actionnement comportant un canal d'actionnement (20) débouchant en vis-à-vis de la membrane,
- Le dispositif d'actionnement comportant un liquide d'actionnement (L) placé dans le canal d'actionnement (20) et des moyens d'actionnement pneumatiques (2) connectés sur le canal d'actionnement (20) et configurés pour injecter un gaz d'actionnement (G) dans ledit canal d'actionnement (20) en vue de mettre sous pression ledit liquide d'actionnement contre la membrane (13) et la déformer.

Fig. 2



Description

Domaine technique de l'invention

[0001] La présente invention se rapporte à un dispositif de contrôle du déplacement d'un fluide, utilisant un composant microfluidique.

Etat de la technique

[0002] De manière connue, un composant microfluidique, également appelé dispositif microfluidique ou carte microfluidique, comporte un support, souvent réalisé dans un matériau de type COC, PMMA ou équivalent.

[0003] Le composant peut notamment intégrer au moins une capsule microfluidique. Une capsule microfluidique comporte une chambre dans laquelle débouche au moins un canal microfluidique. La capsule microfluidique comporte également une membrane déformable sous l'action de moyens pneumatiques. En appliquant une pression positive ou négative dans un canal d'actionnement dédié, la membrane se déforme dans la chambre entre au moins deux positions extrêmes.

[0004] Le passage de la pression négative à la pression positive, et inversement, entraîne le remplissage ou la vidange de la chambre. Lors de son déplacement, la membrane vient ainsi moduler le volume de fluide présent dans la chambre et donc le volume de fluide qu'elle déplace hors de la chambre, ou qu'elle aspire vers l'intérieur de la chambre.

[0005] Dans certaines applications, il peut s'avérer utile de connaître le volume de fluide délivré ou aspiré par la capsule microfluidique, et contrôler ainsi des volumes de fluide à déplacer.

[0006] Le brevet EP3148696B1 décrit notamment une solution qui comporte des moyens de mesure de la déformation de la membrane, ces moyens de mesure pouvant être de type optique et/ou de type électrique. A titre d'exemple, les moyens de mesure électrique peuvent comporter une jauge de contrainte intégrée dans la membrane. Et les moyens de mesure optique sont par exemple configurés pour déterminer l'angle que fait la membrane par rapport au support lors de sa déformation. En fonction de la position de la membrane, le système en déduit le volume de liquide qui a été déplacé par le mouvement de la membrane.

[0007] Dans le cas de moyens de mesure électrique, cette solution antérieure présente cependant l'inconvénient majeur de nécessiter l'emploi d'une membrane instrumentée spécifique intégrant la jauge de contrainte. En ce qui concerne la mesure de type optique, celle-ci s'avère difficile à implémenter car la visualisation doit être réalisée perpendiculairement à travers plusieurs couches du composant.

[0008] Il existe donc un besoin de disposer d'un dispositif capable de contrôler précisément le déplacement d'un fluide au sein d'un composant microfluidique, et qui soit :

- Facile à implémenter en utilisant des moyens facilement disponibles, sans nécessiter la création d'une membrane spécifique ;
- Fiable et précis dans le volume de fluide déplacé ;

Exposé de l'invention

[0009] Ce but est atteint par un dispositif de contrôle du déplacement d'un fluide comportant :

- Une capsule microfluidique qui comporte une chambre microfluidique, au moins un canal microfluidique débouchant dans ladite chambre microfluidique, et une membrane déformable à l'intérieur de ladite chambre microfluidique pour déplacer un volume de fluide en dehors de la chambre vers ledit canal microfluidique ou aspirer un volume de fluide vers l'intérieur de la chambre microfluidique,
- Un dispositif d'actionnement de la membrane, le dispositif d'actionnement comportant un canal d'actionnement débouchant en vis-à-vis de la membrane,
- Le dispositif d'actionnement comportant un liquide d'actionnement placé dans le canal d'actionnement et des moyens d'actionnement pneumatiques connectés sur le canal d'actionnement et configurés pour injecter un gaz d'actionnement dans ledit canal d'actionnement en vue de mettre sous pression ledit liquide d'actionnement contre la membrane et la déformer,
- Une interface gaz/liquide étant présente dans ledit canal d'actionnement avec une position variable selon la pression du gaz d'actionnement injecté contre le liquide d'actionnement,
- Le dispositif de contrôle comportant des moyens de surveillance configurés pour suivre un déplacement en longueur de ladite interface gaz/liquide le long du canal d'actionnement, et des moyens de contrôle configurés pour déterminer le volume de fluide déplacé par la membrane en fonction dudit déplacement en longueur de l'interface gaz/liquide suivi.

[0010] Selon une particularité, les moyens de contrôle sont configurés pour comparer le volume de fluide déplacé mesuré avec une valeur de consigne et pour envoyer une commande en pression aux moyens d'actionnement pneumatiques en vue d'adapter la pression du gaz d'actionnement injecté en tenant compte de la différence entre le volume de fluide déplacé mesuré et la valeur de consigne.

[0011] Selon une autre particularité, les moyens de contrôle sont configurés pour déterminer la pression à appliquer au gaz d'actionnement en tenant compte de la différence entre le volume de fluide déplacé mesuré et la valeur de consigne.

[0012] Selon une autre particularité, les moyens de contrôle sont configurés pour commander les moyens d'actionnement pneumatiques en contrôlant le débit de

fluide déplacé par la membrane.

[0013] Selon une autre particularité, les moyens de surveillance comportent une caméra positionnée pour capturer des images du canal d'actionnement dans lequel se déplace l'interface gaz/liquide.

[0014] Selon une autre particularité, le canal d'actionnement comporte un serpentin dans lequel est apte à se déplacer l'interface gaz/liquide.

[0015] Selon une autre particularité, la caméra comporte une surface de capture d'images et le serpentin est configuré pour être ajusté en longueur et en section, pour être couvert sur toute sa longueur par ladite surface de capture.

[0016] Selon une autre particularité, le serpentin définit un volume correspondant au minimum au volume maximal de fluide présent dans la chambre lorsque la membrane est dans une position extrême dite d'ouverture.

[0017] Selon une autre particularité, les moyens de surveillance sont de type capacitifs, résistifs ou inductifs, et le déplacement de l'interface gaz/liquide dans le canal d'actionnement a pour effet de modifier la valeur d'une capacité, d'une résistance ou d'une inductance.

Brève description des figures

[0018] D'autres caractéristiques et avantages vont apparaître dans la description détaillée qui suit, en liaison avec les figures listées ci-dessous :

- Les figures 1A à 1C représentent le principe de réalisation d'une capsule microfluidique employée dans l'invention et permettent d'illustrer le principe de fonctionnement de l'invention ;
- La figure 2 représente de manière schématique le principe de réalisation du dispositif de l'invention ;
- Les figures 3A et 3B montrent un exemple de réalisation du canal d'actionnement employé dans le dispositif de l'invention ;
- La figure 4 montre un exemple d'application du dispositif de l'invention ;

Description détaillée d'au moins un mode de réalisation

[0019] Pour la suite de la description, on définit un repère orthonormé X, Y, Z, l'axe Z étant orienté suivant la direction verticale. Les termes "supérieur", "inférieur", "au-dessus" et "au-dessous" ou équivalents sont à comprendre en suivant l'axe Z.

Carte microfluidique et vanne fluidique

[0020]

Figure 1A
Figure 1B
Figure 1C

[0021] L'invention s'applique à une capsule microfluidique 1 employée classiquement dans un composant microfluidique.

[0022] Un tel composant microfluidique est notamment employé dans le domaine médical pour analyser un fluide, tel qu'un échantillon liquide (du sang par exemple) en venant se connecter sur un automate d'analyse. Le composant microfluidique peut ainsi intégrer tout un réseau microfluidique composé d'éléments microfluidiques tels que des vannes, des chambres et des canaux microfluidiques. Le réseau microfluidique est par exemple réalisé par usinage ou par moulage.

[0023] Un composant microfluidique peut être réalisé en une seule couche ou par l'assemblage de plusieurs couches entre elles. Ses couches sont par exemple assemblées entre elles par scellement thermique. Chaque couche peut être usinée ou moulée de manière à y créer au moins une partie du réseau microfluidique de la carte, l'assemblage des couches par empilement permettant de former l'ensemble du réseau microfluidique de la carte microfluidique.

[0024] Le composant microfluidique comporte deux faces opposées, s'étendant chacune dans les deux dimensions X, Y, et présente souvent une épaisseur plus faible (quelques mm par exemple) suivant Z au regard des deux autres dimensions.

[0025] Le composant microfluidique est avantageusement réalisé dans un matériau transparent de type COP (Cyclo-Oléfine Polymère), COC (Cyclo-Oléfine Copolymère), PMMA (Polyméthacrylate de Méthyle Acrylique), PDMS (Polydiméthyl Siloxane), Silicium...

[0026] Le réseau microfluidique du composant microfluidique peut comporter une ou plusieurs capsules microfluidiques 1.

[0027] Une capsule microfluidique 1 comporte classiquement une chambre 10 dans laquelle débouche au moins un canal fluidique, avantageusement deux canaux fluidiques, désignés canal fluidique d'entrée 11 et canal fluidique de sortie 12. La capsule microfluidique comporte également une membrane 13 déformable à l'intérieur de la chambre. Selon sa position, la membrane 13 module le volume de fluide F présent dans la chambre. Elle peut prendre deux positions extrêmes :

- Une position dite d'ouverture dans laquelle la chambre 10 est pleine (figure 1A) ;
- Une position de fermeture, dans laquelle la chambre 10 est vide (figure 1C) ;

[0028] Le déplacement de la membrane 13 à l'intérieur de la chambre 10 entraîne un déplacement de fluide F en dehors de la chambre ou vers l'intérieur de la chambre, selon son sens de déplacement.

[0029] Pour que le principe de l'invention puisse fonctionner de manière fiable, le fluide F déplacé par la membrane 13 est avantageusement incompressible et donc formé d'un liquide.

[0030] La figure 1B montre la capsule microfluidique 1

avec la membrane 13 dans une position intermédiaire, située entre sa position d'ouverture et sa position de fermeture. Dans une position intermédiaire, la membrane 13 vient séparer la chambre 10 en deux espaces distincts, un espace dit supérieur contenant le fluide à déplacer et un espace inférieur mis sous pression par le liquide d'actionnement L du dispositif d'actionnement de la membrane 13 (voir ci-après).

[0031] La membrane 13 est par exemple intercalée entre deux couches du composant microfluidique et est scellée entre ces deux couches.

[0032] Actuellement la membrane 13 déformable est souvent réalisée dans un matériau hyperélastique à base de silicone, tel que le polydiméthylsiloxane (PDMS), ou d'élastomère comme l'Ecoflex (marque déposée). D'autres matériaux ayant des propriétés mécaniques similaires ou adaptées à l'application pourraient être envisagés.

[0033] Pour actionner la membrane 13 entre ses deux positions, le composant microfluidique intègre un canal d'actionnement 20 débouchant en vis-à-vis de la membrane 13. Ce canal d'actionnement 20 fait partie d'un dispositif d'actionnement du système fluidique. Comme le circuit microfluidique du composant, le canal d'actionnement 20 est avantageusement réalisé au moins en partie dans le corps du composant microfluidique, de manière similaire aux autres canaux du réseau microfluidique du composant.

Dispositif d'actionnement

[0034]

Figure 1A
Figure 1B
Figure 1C
Figure 2

[0035] Dans le cadre de l'invention, le dispositif d'actionnement comporte un liquide d'actionnement L placé dans le canal d'actionnement 20 et des moyens d'actionnement pneumatiques 2 connectés sur le canal d'actionnement et configurés pour injecter un gaz d'actionnement G (par exemple de l'air) dans ledit canal d'actionnement 20 en vue de mettre sous pression ledit liquide d'actionnement L contre la membrane 13 pour la déformer.

[0036] Le liquide d'actionnement L vient directement au contact de la membrane 13 pour la déplacer en venant mettre sous pression l'espace inférieur de la chambre 10 de la capsule.

[0037] Le canal d'actionnement 20 présente avantageusement une section constante sur toute sa longueur. Cette section est par exemple rectangulaire.

[0038] La membrane 13 est actionnée entre ses deux positions à l'aide du liquide d'actionnement L venant mettre en pression l'espace inférieur de la chambre, et le liquide d'actionnement L est déplacé par les moyens pneumatiques, par application d'une pression positive ou

négative à l'aide du gaz d'actionnement G injecté dans le canal d'actionnement 20.

[0039] Il faut noter que les moyens d'actionnement pneumatiques 2 sont connectés directement sur le canal d'actionnement 20 dans lequel est placé le liquide d'actionnement L. Le gaz d'actionnement G injecté vient donc directement en contact avec le liquide d'actionnement L. Par le terme « directement », on entend que le gaz G injecté dans le canal d'actionnement 20 vient au contact physique du liquide d'actionnement L présent dans le canal et qu'il n'existe pas de paroi intermédiaire, de membrane spécifique ou de barrière physique les séparant.

[0040] Dans le cadre de l'invention, on s'intéresse à l'interface gaz/liquide INT présente dans le canal d'actionnement 20.

[0041] Selon l'invention, le déplacement de l'interface gaz/liquide INT est directement proportionnel au volume de fluide F déplacé par la membrane 13 dans la capsule microfluidique. Ce principe s'applique notamment parce que le liquide d'actionnement L et le fluide F déplacé par la membrane 13 sont incompressibles.

Moyens de surveillance et de contrôle

[0042]

Figure 1A
Figure 1B
Figure 1C
Figure 2

[0043] En suivant le déplacement de l'interface gaz/liquide INT à l'intérieur du canal d'actionnement 20, il est ainsi possible d'en déduire le volume de fluide déplacé par la membrane 13 dans la capsule microfluidique 1.

[0044] Par interface gaz/liquide INT, il faut comprendre qu'il peut s'agir d'un ménisque ou d'un trait se déplaçant le long du canal d'actionnement 20 en fonction du niveau de pression du gaz G injecté par les moyens d'actionnement pneumatiques 2.

[0045] Les moyens de surveillance comportent avantageusement une caméra 3 configurée pour suivre le déplacement de l'interface gaz/liquide INT à l'intérieur du canal d'actionnement 20.

[0046] La caméra 3 est couplée à des moyens de contrôle 4 chargés de traiter les images acquises par la caméra 3. Les moyens de contrôle 4 sont avantageusement ceux déjà employés pour le pilotage du composant microfluidique.

[0047] La caméra 3 est configurée pour acquérir plusieurs images à des instants successifs. Si la pression du gaz d'actionnement G injecté par les moyens d'actionnement pneumatiques 2 est modifiée, l'interface gaz/liquide INT se déplace. A partir des images acquises, les moyens de contrôle 4 sont configurés pour déterminer, à chaque instant, la position de l'interface gaz/liquide INT et pour en déduire un sens de déplacement de l'interface

gaz/liquide et un déplacement en longueur de cette interface gaz/liquide le long du canal d'actionnement 20 lorsque la position de l'interface gaz/liquide varie au cours du temps.

[0048] En variante, il serait possible d'utiliser d'autres moyens de surveillance du déplacement de l'interface gaz/liquide INT. A titre d'exemple, il pourrait s'agir de systèmes électriques, utilisant des mesures capacitatives, inductives ou résistives. Ces moyens nécessitent de venir positionner des électrodes sur la surface interne du canal d'actionnement 20. Lors du déplacement de l'interface gaz/liquide INT, on observe ainsi une variation de la capacité, de l'inductance ou de la résistance. En fonction de cette variation, les moyens de contrôle 4 peuvent en déduire un déplacement en longueur de l'interface gaz/liquide INT dans le canal d'actionnement et donc, in fine, le volume de fluide déplacé par la membrane 13 dans la capsule microfluidique 1. Les électrodes sont par exemple déposées sur la surface interne du canal d'actionnement 20 et des points de connexion électrique sont créés sur le composant microfluidique pour les raccorder à des moyens de mesure du paramètre considéré (capacité, inductance, résistance).

[0049] Le volume du liquide d'actionnement L déplacé dans le canal d'actionnement 20 (tenant compte de la section du canal d'actionnement et de la longueur entre deux positions de l'interface gaz/liquide) varie en fonction du sens de déplacement et de la longueur de déplacement de l'interface gaz/liquide INT le long du canal d'actionnement 20.

[0050] En considérant que la section du canal d'actionnement 20 est constante, la longueur du déplacement de l'interface gaz/liquide INT est alors directement proportionnelle au volume de fluide déplacé par la membrane 13. En surveillant le déplacement en longueur de l'interface gaz/liquide INT, les moyens de contrôle 4 peuvent mettre en place un contrôle du volume de fluide déplacé par la membrane 13 dans la capsule microfluidique 1.

[0051] De manière avantageuse, les moyens de contrôle sont configurés pour réguler le volume de fluide déplacé par la membrane 13 à l'aide d'une boucle de régulation. En référence à la figure 2, le fonctionnement est par exemple le suivant :

- Une valeur de consigne V_{cons} de volume à déplacer par la capsule microfluidique 1 est injectée en entrée des moyens de contrôle 4 ;
- Pour déplacer ce volume, les moyens de contrôle 4 commandent les moyens d'actionnement pneumatiques 2 ;
- Lors de la commande des moyens d'actionnement pneumatiques 2, l'interface gaz/liquide INT se déplace le long du canal d'actionnement 20 ;
- Les moyens de surveillance (par exemple la caméra 3 via sa surface de capture 30) mesurent au moins deux positions distinctes prises par l'interface gaz/liquide INT lors de son déplacement et envoient des

données D aux moyens de contrôle 4 ;

- A partir des données D reçues, un module logiciel M1 des moyens de contrôle 4 déterminent le déplacement en longueur de l'interface gaz/liquide INT et en déduisent le volume V_r de fluide F réel déplacé par la membrane 13 dans la capsule microfluidique ;
- A l'aide d'un module M2 de comparaison, les moyens de contrôle 4 comparent le volume V_r de fluide réellement déplacé par la membrane 13 avec la valeur de consigne V_{cons} reçue en entrée ;
- En tenant compte de la différence V_x entre le volume V_r réel et la valeur de consigne V_{cons} , les moyens de contrôle 4 déterminent la commande en pression P à envoyer aux moyens d'actionnement pneumatiques 2 pour faire converger le volume réel V_r déplacé vers la valeur de consigne V_{cons} ;
- La boucle de régulation est répétée tant que le volume V_r réel injecté ne correspond pas à la valeur de consigne V_{cons} ;

[0052] Par ailleurs, comme le débit d'un fluide correspond au volume en fonction du temps, il faut noter qu'il serait également possible de contrôler le débit de fluide délivré par la capsule microfluidique 1. Pour cela, les moyens de contrôle 4 peuvent commander les moyens d'actionnement pneumatiques 2 en débit et non plus en volume. Il serait notamment possible de contrôler la capsule microfluidique pour faire en sorte qu'elle délivre le fluide F à débit constant. Pour cela, les moyens de contrôle 4 sont configurés pour exécuter une boucle de régulation en débit. Le principe de la régulation serait similaire à celui décrit ci-dessus pour la régulation en volume.

Architecture du canal d'actionnement

[0053]

Figure 3A

Figure 3B

[0054] De manière avantageuse, le canal d'actionnement 20 est réalisé sous la forme d'un serpent.

[0055] La réalisation sous la forme d'un serpent permet en effet de tenir compte de la contrainte liée à la surface de capture 30 de la caméra 3. L'interface gaz/liquide INT à surveiller doit en effet rester dans le champ de la surface de capture 30 de la caméra. De plus, cette surface de capture 30 étant limitée en taille, il peut être pertinent de disposer d'un canal d'actionnement suffisamment long pour pouvoir déplacer un volume total qui est le plus important possible. Par ailleurs, la résolution liée au volume déplacé par la membrane peut être optimisée en jouant sur la section du canal.

[0056] En fonction de la section du canal d'actionnement 20, de l'étendue de la surface de capture 30 de la caméra et du volume maximum de fluide à déplacer par la membrane 13 dans la capsule microfluidique, on peut

alors déterminer la longueur que doit avoir le canal d'actionnement 20 pour rester toujours dans le champ de la caméra 3.

[0057] A titre d'exemple, avec une surface de capture 30 de $4 \times 6 \text{ mm}^2$ (longueur X et largeur Y sur la figure 3A) et un canal d'actionnement 20 ayant une section rectangulaire de $400 \mu\text{m}$ de large (y1 sur la figure 3B) et de $500 \mu\text{m}$ de profondeur (z1 sur la figure 3B), un canal d'actionnement 20 en serpentín de 34.2mm permettra de suivre le déplacement d'un volume de fluide de $6.8 \mu\text{l}$. Selon le niveau de résolution de la caméra 3, il sera ensuite possible de surveiller plus ou moins précisément le volume de fluide F déplacé.

[0058] A titre d'exemple, avec une résolution de la caméra de $100 \mu\text{m}$, la précision sur la mesure du volume de fluide déplacé par la membrane sera de $0.02 \mu\text{l}$ (0.30%) et avec une résolution de la caméra de $50 \mu\text{m}$, la précision sur la mesure du volume de fluide déplacé par la membrane sera de $0.01 \mu\text{l}$ (0.15%).

[0059] Une autre configuration est par exemple la suivante :

- Canal d'actionnement ayant une section rectangulaire de $500 \mu\text{m}$ en largeur y1 et de $800 \mu\text{m}$ en profondeur z1 :
- Un serpentín de 28.5mm rentre dans le champ de vue de la surface de capture ($4 \times 6 \text{ mm}^2$) de la caméra 3 et permet de suivre le déplacement d'un volume de fluide de $11.4 \mu\text{l}$.
- Avec une résolution de la caméra de $100 \mu\text{m}$, la précision sur la mesure du volume est de $0.08 \mu\text{l}$ (0,36%) ;
- Avec une résolution de la caméra de $50 \mu\text{m}$, la précision sur la mesure du volume est de $0.04 \mu\text{l}$ (0,18%) ;

[0060] Il faut noter qu'il serait également possible de jouer sur la longueur du canal d'actionnement 20 et donc du serpentín en employant une lentille divergente, en utilisant une caméra grand champ, c'est-à-dire dotée d'une surface de capture 30 plus étendue, et/ou éventuellement en utilisant plusieurs caméras juxtaposées.

Applications

[0061] Figure 4

[0062] Le contrôle du volume de fluide déplacé par la membrane 13 dans la capsule microfluidique peut s'avérer utile dans certaines applications.

[0063] Une première application peut être dans le domaine des organoïdes sur puce, typiquement pour perfuser des organoïdes avec des débits faibles et contrôlés. Ainsi pour la perfusion d'un objet biologique, on laisse passer un flux de milieu de culture à très faible débit (de l'ordre de $1 \mu\text{l}/\text{min}$) à proximité de l'objet biologique, afin de lui apporter des nutriments et évacuer ses sécrétions.

[0064] Une autre application, illustrée par la figure 4,

peut consister en la création de profils de concentration en venant mélanger deux composés aqueux. Deux capsules microfluidiques 1a, 1b sont placées en parallèle et au moins l'une d'elles est pilotée en volume selon le principe de l'invention décrit ci-dessus. Sur la figure 4, chaque capsule est par exemple contrôlée via un canal d'actionnement 20a, 20b distinct, réalisé en serpentín. A partir des images acquises (via les deux surfaces de capture 30a, 30b), les moyens de contrôle 3 contrôlent le débit de fluide délivré par chaque capsule 1a, 1b en commandant les moyens d'actionnement pneumatique 2. Chaque capsule 1a, 1b délivre son fluide vers un canal commun 21. Selon le volume délivré par chaque capsule, on vient former un fluide ayant un profil de concentration particulier dans ce canal commun 21.

[0065] Une troisième application utilisant une architecture similaire à celle de la figure 4 est par exemple la création de gouttes en utilisant deux composés non miscibles (huile+eau par exemple). On utilise une première capsule avec de l'eau et une deuxième capsule avec de l'huile, les sorties de chaque capsule convergeant vers un canal commun. Le dispositif de l'invention est adapté sur chaque capsule et on vient contrôler le volume de fluide délivré par chaque capsule à l'aide du principe de l'invention vers le canal commun. En régulant la pression dans chaque capsule, on vient former des gouttes dans le canal commun.

[0066] Comme indiqué ci-dessus, le principe de l'invention permet de contrôler un volume de fluide déplacé par la membrane 13 mais il est également possible d'effectuer un contrôle en débit. Dans ce dernier cas, en surveillant le déplacement de l'interface gaz/liquide INT, on peut envisager de venir contrôler le déplacement de la membrane 13 pour délivrer le fluide à un débit constant.

Avantages

[0067] L'invention est donc une solution simple pour suivre efficacement le volume de fluide F déplacé par une membrane 13 d'une capsule microfluidique 1.

[0068] Dans le cas d'utilisation d'une caméra 3, cette solution permet notamment de ne pas avoir à modifier profondément la structure du composant microfluidique et de ne pas engendrer de surcoût au composant. Les moyens mis en oeuvre sont simples et souvent déjà disponibles pour le pilotage du composant microfluidique. Le composant microfluidique peut notamment être directement monté sur un support instrumenté portant les moyens d'actionnement pneumatique 2 et la caméra 3.

[0069] La solution de l'invention est par ailleurs facilement implémentable dans des applications déjà connues.

Revendications

1. Dispositif de contrôle du déplacement d'un fluide (F) comportant :

- Une capsule microfluidique (1) qui comporte une chambre microfluidique (10), au moins un canal microfluidique (11) débouchant dans ladite chambre microfluidique (10), et une membrane (13) déformable à l'intérieur de ladite chambre microfluidique pour déplacer un volume de fluide en dehors de la chambre vers ledit canal microfluidique ou aspirer un volume de fluide vers l'intérieur de la chambre microfluidique,
- Un dispositif d'actionnement de la membrane (13), le dispositif d'actionnement comportant un canal d'actionnement (20) débouchant en vis-à-vis de la membrane,
- **Caractérisé en ce que :**
- Le dispositif d'actionnement comporte un liquide d'actionnement (L) placé dans le canal d'actionnement (20) et des moyens d'actionnement pneumatiques (2) connectés sur le canal d'actionnement (20) et configurés pour injecter un gaz d'actionnement (G) dans ledit canal d'actionnement (20) en vue de mettre sous pression ledit liquide d'actionnement contre la membrane (13) et la déformer,
- Une interface gaz/liquide (INT) étant présente dans ledit canal d'actionnement (20) avec une position variable selon la pression du gaz d'actionnement (G) injecté contre le liquide d'actionnement,
- Le dispositif de contrôle comporte des moyens de surveillance configurés pour suivre un déplacement en longueur de ladite interface gaz/liquide (INT) le long du canal d'actionnement (20), et des moyens de contrôle (4) configurés pour déterminer le volume de fluide déplacé par la membrane en fonction dudit déplacement en longueur de l'interface gaz/liquide (INT) suivi.

2. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** les moyens de contrôle (4) sont configurés pour comparer le volume de fluide (V_r) déplacé mesuré avec une valeur de consigne (V_{cons}) et pour envoyer une commande en pression (P) aux moyens d'actionnement pneumatiques (2) en vue d'adapter la pression du gaz d'actionnement (G) injecté en tenant compte de la différence entre le volume de fluide (V_r) déplacé mesuré et la valeur de consigne (V_{cons}).

3. Dispositif selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** les moyens de contrôle (4) sont configurés pour déterminer la pression à appliquer au gaz d'actionnement en tenant compte de la différence entre

le volume de fluide (V_r) déplacé mesuré et la valeur de consigne (V_{cons}).

4. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** les moyens de contrôle (4) sont configurés pour commander les moyens d'actionnement pneumatiques (2) en contrôlant le débit de fluide (F) déplacé par la membrane (13).
5. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** les moyens de surveillance comportent une caméra (3) positionnée pour capturer des images du canal d'actionnement (20) dans lequel se déplace l'interface gaz/liquide (INT).
6. Dispositif selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** le canal d'actionnement (20) comporte un serpentín dans lequel est apte à se déplacer l'interface gaz/liquide (INT).
7. Dispositif selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** la caméra (3) comporte une surface de capture (30) d'images et **en ce que** le serpentín est configuré pour être ajusté en longueur et en section, pour être couvert sur toute sa longueur par ladite surface de capture (30).
8. Dispositif selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** le serpentín définit un volume correspondant au minimum au volume maximal de fluide présent dans la chambre lorsque la membrane (13) est dans une position extrême dite d'ouverture.
9. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** les moyens de surveillance sont de type capacitifs, résistifs ou inductifs, et **en ce que** le déplacement de l'interface gaz/liquide (INT) dans le canal d'actionnement (20) a pour effet de modifier la valeur d'une capacité, d'une résistance ou d'une inductance.

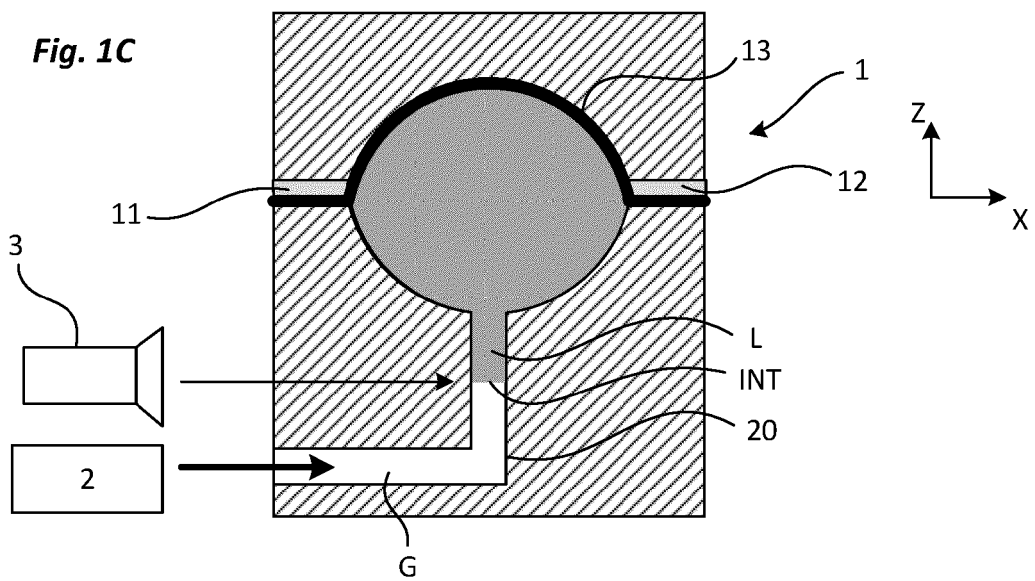
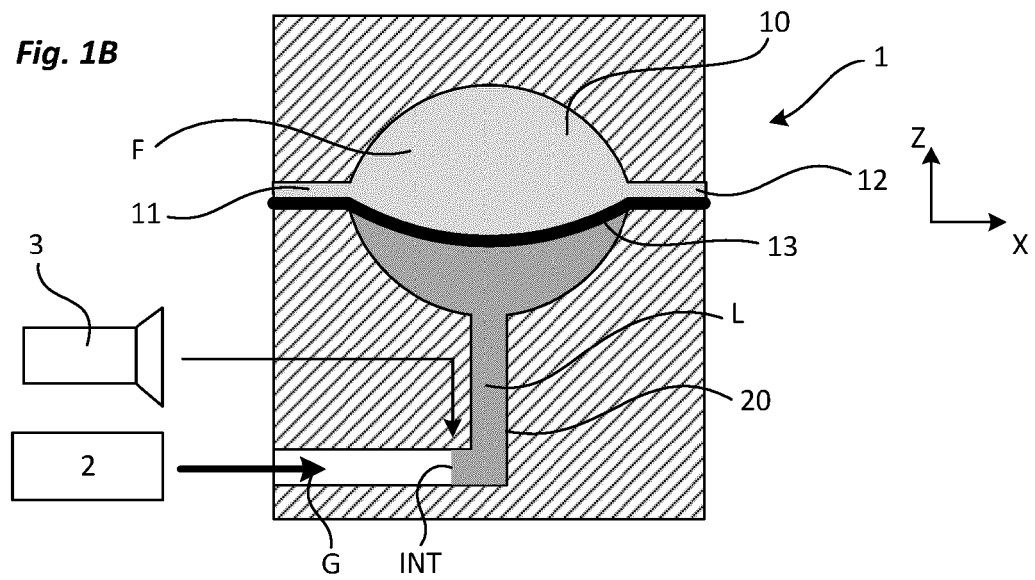
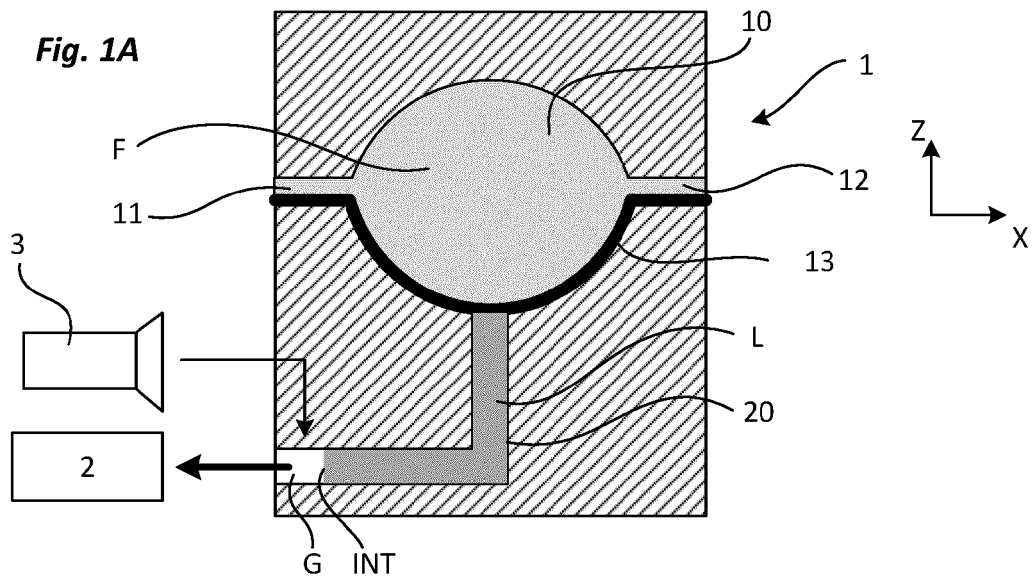


Fig. 2

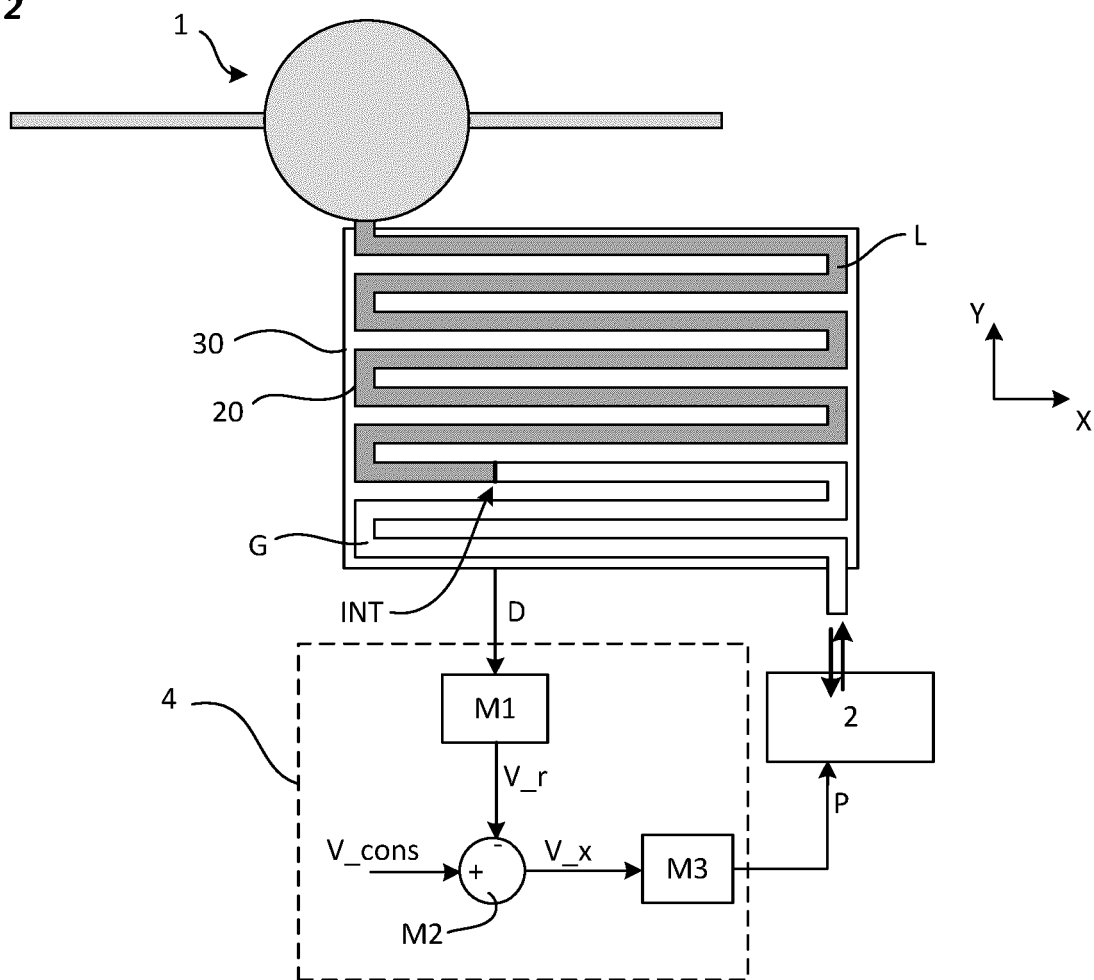


Fig. 3A

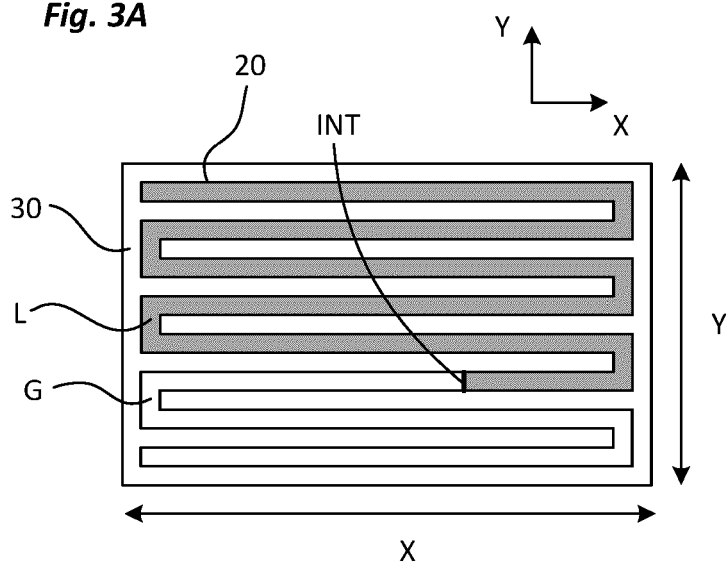


Fig. 3B

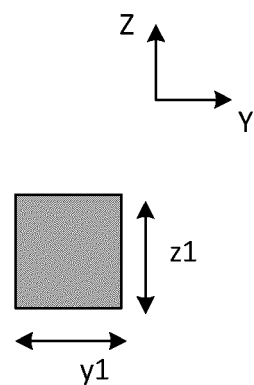
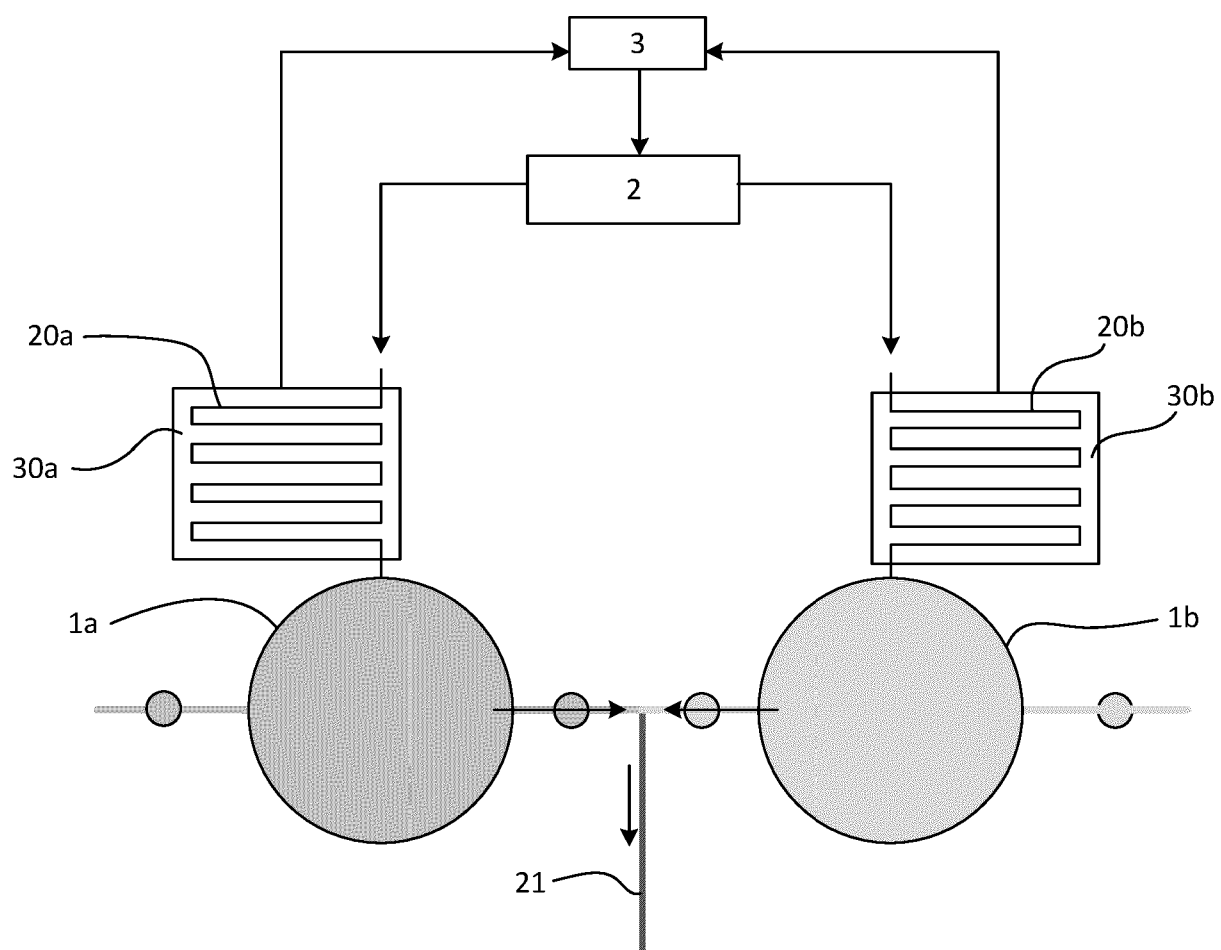


Fig. 4





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 24 21 3155

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

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	EP 3 148 696 B1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 16 mai 2018 (2018-05-16) * alinéas [0044] - [0047], [0051] - [0060], [0062] - [0064], [0082] - [0086] * * figures 1A-1E, 2, 6 * -----	1-9	INV. B01L3/00
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			B01L
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
La Haye		25 novembre 2024	Bischoff, Laura
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	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 24 21 3155

5 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 - 11 - 2024

10	Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
	EP 3148696 B1	16-05-2018	EP 3148696 A1	05-04-2017
15			FR 3021559 A1	04-12-2015
			WO 2015181170 A1	03-12-2015
20	-----			
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

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

- EP 3148696 B1 [0006]