

(19)



(11)

EP 4 031 768 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:

14.08.2024 Bulletin 2024/33

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):

F04B 43/00^(2006.01) F04B 43/04^(2006.01)

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):

F04B 43/0018; F04B 43/0027; F04B 43/04

(21) Numéro de dépôt: **20771756.2**

(22) Date de dépôt: **10.09.2020**

(86) Numéro de dépôt international:

PCT/EP2020/075379

(87) Numéro de publication internationale:

WO 2021/052865 (25.03.2021 Gazette 2021/12)

(54) **SYSTÈME DE POMPAGE DANS LE DOMAINE DES LABORATOIRES SUR PUCE**

PUMPSYSTEM IM BEREICH EINES LAB-ON-A-CHIP

PUMPING SYSTEM IN THE LAB-ON-A-CHIP FIELD

(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 MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorité: **17.09.2019 FR 1910252**

(43) Date de publication de la demande:

27.07.2022 Bulletin 2022/30

(73) Titulaires:

- **Institut Polytechnique de Grenoble
38000 Grenoble (FR)**
- **Centre national de la recherche scientifique
75016 Paris (FR)**
- **Université Grenoble Alpes
38400 Saint Martin d'Hères (FR)**

(72) Inventeurs:

- **VIEILLE, Victor
73160 VIMINES (FR)**
- **DEVILLERS, Thibaut
38600 FONTAINE (FR)**

(74) Mandataire: **Hautier IP**

**20, rue de la Liberté
06000 Nice (FR)**

(56) Documents cités:

**WO-A1-2016/058620 DE-A1- 102015 218 468
US-A- 3 743 446 US-A1- 2008 193 307
US-A1- 2014 017 097**

EP 4 031 768 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

Domaine technique

[0001] La présente invention se rapporte à un système pour pomper un fluide et un procédé de mise en oeuvre de ce système.

[0002] Plus précisément, l'invention concerne un système pour pomper un fluide dans le domaine des applications de laboratoires sur puce.

État de la technique

[0003] La manipulation contrôlée de fluides par des pompes est nécessaire dans de nombreux domaines. Par exemple, une telle manipulation contrôlée est mise en oeuvre dans le domaine des laboratoires sur puce. Ce domaine consiste à miniaturiser, sur une puce, des fonctions de laboratoire.

[0004] Pour cela, on utilise typiquement des systèmes pour pomper et contrôler le débit et la pression de fluides circulants à l'intérieur de la puce afin notamment de pouvoir réaliser diverses fonctions comme la dissolution de poudre ou la mise en contact de plusieurs fluides et leur mélange, par exemple pour analyser un échantillon afin de doser une substance recherchée. Le système d'entraînement des fluides peut être plus ou moins intégré suivant le besoin et les solutions existantes. Dans certains cas, le pompage peut se faire par un système complètement externe à la puce, comme par exemple un système de pousse-seringue avec sa seringue, un système de pompe péristaltique classique, un système utilisant la différence de hauteur permettant d'utiliser la force de gravité, ou encore un système de contrôle de pression pneumatique exerçant une pression d'air sur le fluide à injecter. Ces systèmes nécessitent de faire transiter le fluide entre l'extérieur de la puce et l'intérieur, ce qui implique d'effectuer des connexions étanches entre la puce et les appareillages extérieurs.

[0005] Cela pose des problèmes de compacité, d'étanchéité, de simplicité d'usage, de stérilité, de gaspillage du fluide contenu dans des tuyaux de liaison et parfois même de précision à cause de la déformation des tuyaux de liaison. C'est pourquoi il est utile d'intégrer à la puce les éléments de pompage qui sont en contact direct avec le fluide et qui permettent de lui transmettre l'énergie à l'origine de son déplacement, tout en pouvant éventuellement laisser d'autres parties du système de pompage à l'extérieur de la puce. Un grand nombre de technologies sont proposées dans la littérature ou l'industrie. La force de capillarité est utilisée en contrôlant le caractère hydrophile des canaux dans la puce. Comme cette technique est passive, elle ne permet pas de contrôler le pompage depuis l'extérieur, de plus, elle dépend du fluide utilisé. Les forces électrocinétiques ou magnétocinétiques agissant directement sur le liquide peuvent être utilisées, notamment les forces électroosmotiques, mais le contrôle du débit est complexe, la force dépend du fluide

utilisé et les fluides peuvent être chimiquement affectés et dénaturés. La force centrifuge est utilisée notamment sur des puces mises en rotation, mais comme la puce tourne, il est compliqué d'effectuer simultanément certaines actions comme une mesure ou une injection, en outre le pompage ne peut pas se faire de manière continue.

[0006] L'entraînement du fluide par déplacement d'une paroi d'un canal ou d'une chambre de la puce est la technique la plus répandue : cela se fait traditionnellement grâce à des parois déformables par pression pneumatique ou solide ou grâce à des parois coulissantes dans des mini-seringues activées par pression d'un solide. Néanmoins, suivant leur mise en oeuvre, ces derniers systèmes nécessitent soit l'intégration supplémentaire de canaux et branchements pneumatiques dans la puce, soit l'intégration de valves passives dont le sens de circulation du liquide n'est pas modifiable, soit l'intégration de valves actives nécessitant plusieurs actionneurs extérieurs pour l'activation d'une seule pompe, soit l'intégration de mini-seringue qu'il faut assembler et étanchéifier. En outre, il est souvent nécessaire de coupler la partie intégrée de la pompe avec la partie non-intégrée par un positionnement et un appui mécanique précis de la puce sur les actionneurs, ce qui contraint la géométrie, les matériaux et le positionnement de la puce.

[0007] Ainsi, les systèmes de pompe actuellement utilisés dans ce domaine ne parviennent pas à cumuler de nombreux avantages en même temps tels que des coûts d'intégration et d'industrialisation faibles, la polyvalence, la robustesse, la précision et une grande plage de fonctionnement. Ainsi, aucune solution ne se démarque pour adresser efficacement la problématique de pompage des fluides dans les laboratoires sur puces, et en particulier pour le diagnostic médical qui nécessite une solution jetable, bas coup, précise, robuste, pouvant générer une surpression ou du vide, et d'utilisation simple et fiable.

[0008] Par ailleurs, il est à noter que des pompes, non destinées aux laboratoires sur puces, existent actuellement et utilisent un mouvement ondulatoire d'une membrane chargée magnétiquement pour créer des cavités capables de se déplacer, la membrane ne parvenant à se déformer en ondelettes que par l'application de forces dont l'orientation et l'intensité varie suivant l'emplacement et le temps. Or, l'application de ces forces qui sont hétérogènes et progressives ne peut s'exercer, sur une membrane sans structure magnétique hétérogène, que par l'application d'un champ magnétique dont l'orientation et/ou le gradient est hétérogène spatialement et variable dans le temps. Cela contraint à utiliser de multiples sources de champ placées à proximité immédiate de la membrane et d'une dimension semblable à la dimension des ondulations, qui est souvent faible (quelques millimètres). En outre, ces sources doivent être modulables. Généralement, ces sources comprennent plusieurs électroaimants de petite taille intégrés à un support. Toutefois, de telles pompes présentent des inconvénients notamment liés au fait que les électroaimants encombrant

le support et chauffent par effet Joule à proximité du liquide pompé. Par ailleurs, l'intégration des électroaimants est coûteuse et la dimension des ondulettes est limitée en miniaturisation. Il est également nécessaire d'avoir un branchement par contact avec une source électrique et un circuit de contrôle pour moduler chaque électroaimant. C'est pour cela que ce type de pompe n'est pas adapté aux laboratoires sur puces.

[0009] Un système de l'art antérieur pour pomper un fluide est divulgué par le document WO 2016/058620 A1 ; cependant, le système de ce document ne comprend pas une membrane ayant une structure d'aimantation permanente spatialement tournante associée à une source d'un champ magnétique apte à générer un champ magnétique d'entraînement temporellement tournant et ayant une orientation sensiblement homogène.

Description de l'invention

[0010] Pour résoudre un ou plusieurs des inconvénients cités précédemment, la présente invention fournit un système pour pomper un fluide tel que défini par la revendication 1, le système comprenant :

- une pompe comprenant :
 - une entrée et une sortie pour respectivement introduire et extraire le fluide susceptible d'être pompé,
 - une membrane souple présentant deux surfaces opposées, la membrane comprenant une structure d'aimantation permanente spatialement tournante,
 - un moyen support rigide sur lequel est fixée une partie au moins d'une desdites surfaces de la membrane,
- une source d'un champ magnétique apte à générer un champ magnétique d'entraînement à l'endroit où se situe la membrane, ledit champ magnétique d'entraînement ayant une orientation sensiblement homogène, la membrane étant susceptible de se déformer, sous l'effet du champ magnétique d'entraînement, selon une ondulation présentant alternativement une ou plusieurs parties concaves et une ou plusieurs parties convexes, l'ondulation étant susceptible de se déplacer sous l'effet du champ magnétique d'entraînement, le fluide susceptible d'être pompé entre l'entrée et la sortie se trouvant au moins entre l'une desdites surfaces de la membrane et le moyen support.

[0011] Par fluide, on entend, au sens de la présente invention, un gaz, un liquide ou un mélange de gaz et/ou de liquide.

[0012] Par membrane souple, on entend, au sens de la présente invention, une membrane apte à être déformée de manière réversible et élastique, et dont le module

d'Young est suffisamment faible pour que des contraintes magnétiques appliquées dans la membrane soient suffisantes pour engendrer la déformation de la membrane. Le module d'Young peut par exemple être compris entre 100kPa et 1GPa.

[0013] Par structure d'aimantation permanente spatialement tournante, on entend, au sens de la présente invention, une structure d'aimantation constituée d'une juxtaposition de zones élémentaires, ces zones élémentaires ayant une variation d'aimantation tournante selon l'axe du déplacement souhaité de l'ondulation.

[0014] Par exemple, pour comprendre, selon la présente invention, si on a affaire à une « structure d'aimantation permanente spatialement tournante », on suit le protocole suivant :

- a. on définit le terme « zone élémentaire » comme étant une portion volumique de la membrane, notamment la partie de la membrane libre de se déformer et de créer l'ondulation, sur son épaisseur et sa largeur et dont la longueur est limitée à deux fois l'épaisseur de la membrane,
- b. on partitionne la membrane en zones élémentaires Z_n , n étant l'indice numérotant les zones élémentaires consécutives l'une après l'autre dans le sens croissant de leur défilement de la gauche vers la droite pour un observateur regardant une membrane placée horizontalement en coupe suivant le plan de coupe PP, appelé aussi plan de rotation magnétique de la membrane, dont la surface inférieure se situe coté bas de la membrane, le plan PP étant le plan perpendiculaire à la membrane et contenant l'axe ES (Entrée vers Sortie) correspondant à l'axe de déplacement souhaité de l'ondulation,
- c. on note A_n l'aimantation moyenne de la zone élémentaire Z_n projetée sur le plan PP,
- d. on note O_n l'angle orienté appartenant à $[-\pi, \pi]$ représentatif de l'angle entre A_n et A_{n+1} ,
- e. on considère alors que la structure d'aimantation permanente est spatialement tournante si les deux conditions suivantes sont remplies :

- i. pour tout n , O_n est positif, ou bien pour tout n , O_n est négatif. On note au passage que pour la suite, dans le cas où O_n est positif, c'est-à-dire dans le cas où la structure d'aimantation permanente spatialement tournante de la membrane tourne, de gauche à droite, dans le sens trigonométrique, alors on nommera la surface supérieure, c'est-à-dire la surface exposée vers le haut, la surface forte et la surface inférieure, c'est-à-dire la surface exposée vers le bas, la surface faible, et dans le cas où O_n est négatif, c'est-à-dire dans le cas où la structure d'aimantation permanente spatialement tournante de la membrane tourne, de gauche à droite, dans le sens anti-trigonométrique, alors on nommera la surface supérieure la surface faible et la surface

inférieure la surface forte

ii. pour tout n , la valeur absolue de $O_n + O_{n+1}$ est inférieure à $5\pi/3$

iii. l'aimantation fait au moins un tour, c'est-à-dire que la somme sur tous les n des O_n fait au moins 2π

[0015] Pour la suite on appelle « motif magnétique » toute partie d'une membrane correspondant à une aimantation effectuant un tour, c'est-à-dire la plus petite partie telle que la somme des O_n est supérieure à 2π . On appelle alors « longueur du motif » la longueur du motif magnétique dans le sens de rotation de l'aimantation, c'est-à-dire la période de rotation spatiale de l'aimantation de la membrane.

[0016] Par plan de rotation magnétique de la membrane, on entend, au sens de la présente invention, un plan perpendiculaire à un axe de rotation spatial de l'aimantation tournante de la membrane.

[0017] Le caractère aimantable de la membrane est obtenu par un moyen quelconque connu de l'homme du métier. Par exemple, ce caractère provient d'un mélange entre des particules magnétiques aimantables et un polymère souple lors de la fabrication de la membrane. La membrane est aimantée par un quelconque procédé connu de l'homme du métier pour former la structure d'aimantation tournante.

[0018] Par champ magnétique d'entraînement temporellement tournant, on entend, au sens de la présente invention, un champ magnétique dont l'orientation est en rotation dans l'espace, cette rotation pouvant être continue ou discontinue.

[0019] Par exemple, pour comprendre, selon la présente invention, si un champ magnétique d'entraînement **B** est un « champ magnétique d'entraînement temporellement tournant », on suit le protocole suivant :

a. on définit le terme « zone élémentaire temporelle » comme étant une portion du temps qui permette une évolution dynamique notable de la membrane lui permettant de passer de sa déformation initiale à sa déformation d'équilibre lorsqu'elle est soumise à un changement de contrainte,

b. on partitionne le temps en zones élémentaires temporelles Zt_n , n étant l'indice numérotant les zones élémentaires temporelles consécutives dans le sens de l'écoulement du temps,

c. on note B_n le champ magnétique **B** moyenné sur Zt_n et projeté sur le plan PP,

d. on note Ob_n l'angle orienté appartenant à $[-\pi, \pi]$ qui mesure l'angle allant de B_n à B_{n+1} ,

e. On considère alors que le champ magnétique

d'entraînement est temporellement tournant si les deux conditions suivantes sont remplies :

- i. pour tout n , Ob_n est positif, ou bien pour tout n , Ob_n est négatif. On note au passage que pour la suite, dans le cas où Ob_n est positif, on dira que **B** tourne dans le sens trigonométrique, et dans le cas où Ob_n est négatif, on dira que **B** tourne dans le sens anti-trigonométrique
- ii. pour tout n , la valeur absolue de $Ob_n + Ob_{n+1}$ est inférieure à $\pi/2$

[0020] Par champ magnétique d'entraînement temporellement tournant ayant une orientation sensiblement homogène, on entend, au sens de la présente invention, un champ magnétique dont la dispersion d'orientation est inférieure à 45° sur la zone du motif magnétique de la membrane.

[0021] Par ailleurs, notons que :

- si le champ magnétique d'entraînement tourne dans le sens trigonométrique, et que la surface forte de la membrane est la surface supérieure, alors le déplacement de l'ondulation se fera vers la droite
- si le champ magnétique d'entraînement tourne dans le sens anti-trigonométrique, et que la surface forte de la membrane est la surface supérieure, alors le déplacement de l'ondulation se fera vers la gauche
- si le champ magnétique d'entraînement tourne dans le sens trigonométrique, et que la surface forte de la membrane est la surface inférieure, alors le déplacement de l'ondulation se fera vers la gauche
- si le champ magnétique d'entraînement tourne dans le sens anti-trigonométrique, et que la surface forte de la membrane est la surface inférieure, alors le déplacement de l'ondulation se fera vers la droite.

[0022] Il est à noter que le fluide est donc susceptible de circuler entre l'entrée et la sortie par effet péristaltique.

[0023] Selon l'invention, la quantité $mB^2/(Eh^2)$ doit être plus grande que 0,01 ; où m est la moyenne de l'intensité de l'aimantation dans la membrane (par exemple en A/m), B l'intensité du champ magnétique générée par la source dans la membrane (par exemple en T), E le module d'Young (par exemple en Pa), h l'épaisseur de la membrane (par exemple en m) et T la période de rotation spatiale du motif magnétique de la membrane (par exemple en m).

[0024] De préférence, la moyenne de l'intensité de l'aimantation dans la membrane m peut être comprise entre 10kA/m et 1000kA/m, avantageusement entre 100kA/m et 500kA/m, encore plus avantageusement entre 200kA/m et 400kA/m.

[0025] De préférence, l'intensité du champ magnétique **B** au niveau de la pompe peut être comprise entre

10mT et 1T, avantageusement entre 50mT et 500mT, encore plus avantageusement entre 70mT et 150mT

[0026] De préférence, la structure d'aimantation peut être définie par une période de rotation spatiale comprise entre 20 μ m et 2cm, avantageusement entre 50 μ m et 1cm, encore plus avantageusement entre 500 μ m et 5mm, encore plus avantageusement entre 1mm et 3mm.

[0027] De préférence, le module d'Young E peut être compris entre 100kPa et 1 GPa, avantageusement entre 500kPa et 500MPa, encore plus avantageusement entre 900kPa et 5MPa.

[0028] De préférence, la membrane peut présenter une épaisseur comprise entre 5 μ m et 1cm, avantageusement entre 50 μ m et 300 μ m, encore plus avantageusement entre 100 μ m et 200 μ m. Ainsi, la pompe présente une épaisseur amoindrie afin de permettre alors une intégration efficace dans une quelconque puce par exemple.

[0029] Ainsi, grâce au système selon l'invention, la fonction de pompage est entièrement réalisée par une membrane sans qu'il soit nécessaire d'utiliser une ou plusieurs valves. Par ailleurs, grâce au système selon l'invention, la fonction de pompage est assurée par la création et la translation de chambres distinctes, chacune de ces chambres étant formées par l'application du champ magnétique d'entraînement temporellement tournant. Le sens du pompage peut être choisi en fonction du sens de rotation du champ magnétique. En outre, deux membranes situées dans le même champ magnétique d'entraînement tournant pourront voir le déplacement de leur ondulation s'effectuer dans des sens opposés si l'orientation des surfaces fortes et faibles des membranes est opposée. Par ailleurs, le système permet de réaliser un pompage qui n'est pas susceptible aux phénomènes de bulles dans la mesure où ce système est capable de pomper à la fois un liquide et un gaz. À l'aide du système selon l'invention, il est à noter qu'il est possible de modifier le débit ou l'orientation de circulation du fluide situé dans la pompe en modulant uniquement la vitesse et le sens de rotation du champ magnétique d'entraînement tournant. Par ailleurs, l'invention présente également l'avantage de ne pas nécessairement dégager de chaleur par effet joule à proximité du liquide pompé car d'une part il est possible d'utiliser un aimant permanent plutôt que des électroaimants pour générer le champ d'entraînement, et d'autre part, même dans le cas où il s'agirait d'électroaimant, il est possible de les placer à distance du canal pour éviter de le chauffer.

[0030] De préférence, une projection du champ magnétique d'entraînement sur le plan de rotation magnétique de la membrane peut être susceptible d'être temporellement tournante.

[0031] De préférence, le champ magnétique d'entraînement peut être entièrement compris dans le plan de rotation magnétique de la membrane.

[0032] De préférence, au moins une ou plusieurs des parties convexes peuvent être susceptibles d'être en contact avec le moyen support et au moins une ou plu-

sieurs des parties concaves peuvent être susceptibles de ne pas être en contact avec le support de manière à permettre la formation d'une ou plusieurs chambres entre l'une desdites surfaces de la membrane et le moyen support, ces chambres étant susceptibles d'accueillir un fluide, et le déplacement de l'ondulation permettant de créer le déplacement des chambres et donc de déplacement du fluide entre l'entrée et la sortie.

[0033] Par une ou plusieurs des parties convexes étant en contact avec le moyen support, au sens de la présente invention, on entend une partie au moins d'un ou plusieurs des sommets des parties convexes en contact avec le moyen support.

[0034] De préférence, le champ magnétique d'entraînement temporellement tournant peut présenter en outre un gradient minimum de 1T/m et une orientation du gradient sensiblement homogène.

[0035] De préférence, le champ magnétique d'entraînement temporellement tournant peut présenter en outre un gradient minimum de 1T/m et une orientation du gradient constante dans le temps.

[0036] De préférence, lorsque le champ magnétique d'entraînement temporellement tournant présente un gradient minimum de 1T/m, une orientation du gradient sensiblement homogène et une orientation du gradient constante dans le temps, la membrane peut être positionnée de manière à ce que le gradient soit orienté de la surface faible vers la surface forte, sachant que :

- lorsque la structure d'aimantation permanente spatialement tournante de la membrane tourne, de gauche à droite, dans le sens trigonométrique, la surface forte désigne la surface exposée vers le haut et la surface faible désigne la surface exposée vers le bas, et
- lorsque la structure d'aimantation permanente spatialement tournante de la membrane tourne, de gauche à droite, dans le sens anti-trigonométrique, la surface forte désigne la surface exposée vers le bas et la surface faible désigne la surface exposée vers le haut.

[0037] De préférence, la pompe et la source d'un champ magnétique peuvent ne pas être en contact. Ainsi, aucune connexion matérielle n'est nécessaire entre la membrane et la source d'un champ magnétique ce qui permet de pouvoir activer la pompe à distance : la source se trouvant à l'extérieur d'une puce pouvant comprendre la pompe.

[0038] De préférence, la membrane peut comprendre un polymère et un matériau magnétique, le matériau magnétique comprenant les particules magnétiques permettant la structuration d'aimantation. De manière encore plus préférée, la membrane peut être biocompatible.

[0039] Selon une première variante de réalisation du système selon l'invention, le système peut comprendre en outre une paroi rigide fixée sur une partie au moins

du périmètre de l'autre desdites surfaces de la membrane et espacée de la membrane par une distance d suffisante pour permettre l'ondulation et pour permettre le contact entre les parties concaves et la paroi. Cela a pour effet d'augmenter la force et la surface d'appui de la membrane sur le moyen support en lui présentant une paroi d'appui, d'améliorer la maîtrise du volume de fluide contenu dans chaque partie convexe et également de permettre la protection de la membrane de potentiels chocs ou frottement pouvant la détériorer.

[0040] Selon une deuxième variante de réalisation du système selon l'invention, le système peut comprendre une paroi rigide fixée sur une partie au moins du périmètre de l'autre desdites surfaces de la membrane et espacée de la membrane par une distance d' suffisante pour permettre l'ondulation et pour éviter le contact entre les parties concaves et la paroi. Ainsi, il est possible, en sus des effets mentionnés pour la première variante, d'appliquer une pression prédéfinie sur la surface de la membrane qui n'est pas en contact avec le fluide.

[0041] Par paroi rigide fixée sur une partie au moins du périmètre de l'autre desdites surfaces de la membrane, au sens de la présente invention, on entend une partie au moins du périmètre de l'autre desdites surfaces de la membrane immobile par rapport à la paroi rigide et reliée à celle-ci directement ou indirectement.

[0042] De préférence, la paroi peut comprendre un orifice à travers lequel est appliquée une pression contrôlée entre la paroi et la membrane. Ainsi, il est possible d'appliquer sur la surface de la membrane qui n'est pas en contact avec le fluide à pomper une pression qui est contrôlée de sorte à éviter d'altérer la membrane ou encore le fluide pompé et également d'accentuer l'appui de la membrane contre le moyen support.

[0043] De préférence, la membrane peut présenter deux orifices traversant, chacun étant situé à ses extrémités de manière à ce que le fluide susceptible d'être pompé se trouve en outre entre l'autre desdites surfaces de la membrane et la paroi. Ainsi, il est possible d'avoir un flux de fluide dans la pompe plus élevé et plus constant que lorsqu'il y a absence de ces deux orifices traversant dans la mesure où le fluide circule alors à la fois dans les parties concaves mais également dans les parties convexes. En effet, la pompe est alors agencée de manière à ce que le fluide circule à la fois entre la membrane et le moyen support et entre la membrane et la paroi pour augmenter le débit et la régularité de la circulation du fluide dans la pompe. Par ailleurs, le fluide circulant de part et d'autre de la membrane, la pompe n'est influencée que par les pressions à l'entrée et à la sortie de la pompe en s'affranchissant de la pression ambiante. On améliore donc son débit et sa régularité.

[0044] De préférence, la paroi peut comprendre en outre une deuxième entrée et une deuxième sortie pour respectivement introduire et extraire un fluide susceptible d'être pompé se trouvant en outre entre l'autre desdites surfaces de la membrane et la paroi. Le fluide susceptible de circuler entre l'autre surface de la membrane

et la paroi peut soit être le même que celui susceptible de circuler entre l'une desdites surfaces de la membrane et le moyen support, soit être différent. Dans le cas où le même fluide est susceptible de circuler de part et d'autre de la membrane, il est possible que l'entrée du moyen support et la deuxième entrée de la paroi soient reliées par un canal. Il en est de même pour la sortie du moyen support et la deuxième sortie de la paroi. De cette façon, la pompe n'est influencée que par les pressions aux entrées et sorties de la pompe en s'affranchissant de la pression ambiante. On améliore donc également son débit et sa régularité.

[0045] Il est à noter que le moyen support et/ou la paroi rigide peuvent être transparents de manière à pouvoir observer les différentes chambres formées par l'ondulation et/ou pour ne laisser passer que des rayonnements souhaités et prédéfinis.

[0046] Il est également à noter que le moyen support et/ou la paroi peuvent comprendre un appareil de mesure (comme un capteur) et/ou un actionneur pouvant être directement en contact avec le fluide.

[0047] Il est à noter que le système selon l'invention peut également être utilisé dans les domaines tels que les compresseurs, les pompes à vide, la circulation d'électrolytes dans une pile, l'entraînement de liquide de refroidissement.

[0048] Par ailleurs, un autre objet de l'invention concerne un procédé de mise en oeuvre d'un système décrit ci-avant et comprenant les étapes suivantes :

- a) interaction entre le champ magnétique d'entraînement issu de la source et la structure d'aimantation permanente de la membrane de manière à créer des contraintes dans la membrane engendrant une déformation statique de la membrane suivant une ondulation présentant alternativement une ou plusieurs parties concaves et une ou plusieurs parties convexes,
- b) rotation du champ magnétique d'entraînement de manière à déplacer les contraintes dans la membrane pour déplacer l'ondulation dans une orientation définie selon le sens de rotation du champ magnétique d'entraînement,
- c) déplacement du fluide entre l'entrée et la sortie, le fluide étant compris au moins dans une des parties concaves délimitées par la membrane et le moyen support.

[0049] De préférence, l'étape b) de rotation peut être réalisée par la mise en rotation d'un aimant permanent.

[0050] De préférence, lorsque le champ magnétique d'entraînement temporellement tournant présente une orientation du gradient sensiblement spatialement homogène et constante, le gradient peut être dirigé de la surface faible vers la surface forte de la membrane.

[0051] Par ailleurs, il est à noter que la présente invention possède de nombreux avantages capables de résoudre des problématiques des laboratoires sur puce

mais ne s'y limite pas. Ainsi, une multitude d'autres applications sont possibles, tels que la circulation d'électrolytes dans une pile électrique, la distribution ou le dosage de produits de fluide (par exemple de médicament), la création de vide ou de surpression dans des récipients par exemple pour leur conservation, la circulation d'un liquide de refroidissement sur une carte électronique. Il est aussi envisageable d'implanter la pompe dans un milieu biologique tel que le corps humain pour libérer un médicament ou prélever/transférer un fluide.

Brève description des figures

[0052] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit, faite uniquement à titre d'exemple, et en référence aux figures en annexe dans lesquelles :

[Fig 1] représente un système selon un mode de réalisation selon l'invention,

[Fig 2A] représente une membrane comprenant une structure d'aimantation permanente spatialement tournante selon un mode de réalisation selon l'invention,

[Fig 2B] représente une membrane comprenant une structure d'aimantation permanente spatialement tournante selon un mode de réalisation selon l'invention,

[Fig 3A] représente la réaction de la membrane selon un mode de réalisation selon l'invention au champ magnétique d'entraînement ;

[Fig 3B] représente la réaction de la membrane selon un mode de réalisation selon l'invention au champ magnétique d'entraînement ;

[Fig 3C] représente la réaction de la membrane selon un mode de réalisation selon l'invention au champ magnétique d'entraînement ;

[Fig 4A] représente en vue de dessus un système (ci-après désigné par premier système) selon un premier mode de réalisation selon l'invention ;

[Fig 4B] représente une vue en coupe du système selon le premier mode de réalisation selon l'invention lorsque celui-ci est activé ;

[Fig 4C] représente une vue en coupe du système selon le premier mode de réalisation selon l'invention lorsque celui-ci est activé ;

[Fig 4D] représente une vue en coupe du système selon le premier mode de réalisation selon l'invention lorsque celui-ci est activé ;

[Fig 4E] représente une vue en coupe du système selon le premier mode de réalisation selon l'invention lorsque celui-ci est activé ;

[Fig 5] représente une vue en coupe d'un système (ci-après désigné par deuxième système) selon un deuxième mode de réalisation selon l'invention ;

[Fig 6] représente une vue en coupe d'un système (ci-après désigné par troisième système) selon un troisième mode de réalisation selon l'invention ;

[Fig 7] représente une vue en coupe d'un système

(ci-après désigné par quatrième système) selon un quatrième mode de réalisation selon l'invention ;

[Fig 8] représente une vue en coupe d'un système (ci-après désigné par cinquième système) selon un cinquième mode de réalisation selon l'invention ;

[Fig 9] représente une vue en coupe d'un système (ci-après désigné par sixième système) selon un sixième mode de réalisation selon l'invention ; et

[Fig 10] représente une vue en coupe d'un système (ci-après désigné par huitième système) selon un huitième mode de réalisation selon l'invention.

Modes de réalisation

[0053] La figure 1 montre un système selon un mode de réalisation selon l'invention. Ce système comprend :

- une pompe 1 à travers laquelle au moins un fluide peut circuler entre une entrée E et une sortie S, et
- une source 2 d'un champ magnétique apte à générer dans une membrane 100 un champ magnétique d'entraînement 2A temporellement tournant, présentant un gradient minimum de 1T/m et une orientation du gradient sensiblement spatialement homogène dans la membrane 100 et dont l'orientation du gradient est constant dans le temps, cette source 2 étant par exemple un aimant permanent mis en rotation mais peut également être toutes sources connues de l'homme du métier.

[0054] On peut observer, sur la figure 1, les lignes du champ magnétique d'entraînement 2A issues de la source 2. Le champ magnétique d'entraînement est généré par une source locale située à proximité de la pompe 1, en particulier de sa membrane 100, situation tout à fait avantageuse de par sa simplicité de mise en oeuvre. En effet, typiquement, cette source 2 d'un champ magnétique d'entraînement peut, par exemple, être un jeu d'électroaimants ou un aimant permanent mis en rotation sur lui-même.

[0055] Les figures 2A et 2B illustrent au moins en partie une structure d'aimantation permanente spatialement tournante de la membrane 100. Sur ces figures, on remarque une répétition d'un motif magnétique, présentant une période de rotation spatiale T, dans la membrane 100 de manière à ce que la membrane 100 puisse onduler sous l'effet du champ magnétique. Il est à noter que ce motif n'est donné qu'à titre indicatif et la période de rotation spatiale T peut varier en fonction des applications souhaitées de manière à avoir des ondulations de plus ou moins grandes périodes.

[0056] En particulier, et à titre d'exemple, pour définir la structure d'aimantation permanente spatialement tournante de la figure 2 qui présente un exemple d'un motif magnétique de la membrane 100 :

- a. on définit le terme « zone élémentaire » comme

étant une portion volumique de la membrane 100,

b. on partitionne la membrane 100 en zones élémentaires Z_n , dans l'exemple de la figure 2A, on est en présence de 15 zones élémentaires numérotées de manière consécutives l'une après l'autre dans le sens croissant de leur défilement de la gauche vers la droite pour un observateur regardant la membrane 100 ($Z_0 < Z_n < Z_{15}$), le plan PP étant le plan perpendiculaire à la membrane 100 et contenant un axe reliant l'entrée E et la sortie S de la pompe 1 qui correspond à un axe de déplacement souhaité de l'ondulation,

c. on note A_n l'aimantation moyenne d'une zone élémentaire particulière Z_n projetée sur le plan PP,

d. on note O_n l'angle orienté appartenant à $[-\pi, \pi]$ représentatif de l'angle entre A_n et A_{n+1} ,

e. la structure d'aimantation permanente est spatialement tournante car pour tout n ($0 < n < 15$), O_n est positif, la surface exposée vers le haut de la membrane 100 est la surface forte 10011 et la surface exposée vers le bas de la membrane 100 est la surface faible 10012, et pour tout n , la valeur absolue de $O_n + O_{n+1}$ est environ égale à $\pi/4$, et l'aimantation fait au moins un tour, c'est-à-dire que la somme sur tous les n , d'une période de rotation spatiale T , des O_n fait au moins 2π .

[0057] Les figures 3A, 3B et 3C illustrent la réaction de la membrane 100 de la pompe 1 de la figure 1 au champ magnétique d'entraînement 2A qui lui est appliqué de manière à ce qu'une chambre de fluide F circule au travers de la pompe 1 entre l'entrée E et la sortie S. Dans cette configuration, si le champ magnétique d'entraînement tourne dans le sens anti-trigonométrique, la surface forte 10011 de la membrane 100 étant située vers le haut, alors le déplacement de l'ondulation se fait vers la gauche.

[0058] Le champ magnétique d'entraînement 2A au niveau de la membrane 100 a typiquement une orientation de son gradient 2B sensiblement homogène et constante dans le temps, ce gradient 2B étant généralement orienté vers la source 2. Il est à noter que le gradient 2B génère une force magnétique 100B résultante liée au gradient 2B dans la membrane 100 qui vaut $F_m = \text{grad}(\mathbf{M} \cdot \mathbf{B})$. Si le gradient 2B du champ magnétique d'entraînement 2A est important, cette force magnétique 100B est à prendre en compte dans la déformation de la membrane 100. Il n'est alors plus possible de prendre en compte uniquement le couple magnétique ($\mathbf{C}_m = \mathbf{M} \times \mathbf{B}$) 100A résultant dans la membrane 100 généré dans la membrane 100 pour expliquer la déformation de cette dernière, comme dans le cas de la figure 3A, il faut aussi prendre en compte la force magnétique 100B F_m . (voir figures 3B et 3C).

[0059] Or, l'effet de cette force magnétique 100B issue

du gradient 2B peut accentuer ou défavoriser la déformation de la membrane 100 causée par le couple 100A $\mathbf{C}_m$, suivant que le gradient 2B soit orienté dans le sens [surface faible 10012] => [surface forte 10011] (figure 3B) ou dans le sens [surface forte 10011] => [surface faible 10012] (figure 3C).

[0060] Dans le premier cas, c'est-à-dire dans le sens [surface faible 10012] => [surface forte 10011], la force magnétique 100B favorise la déformation du couple 100A, comme on peut le voir sur l'exemple illustré figure 3B (membrane 100 + gradient 2B), où la force magnétique 100B F_m a été indiquée par des flèches superposées à la déformation du couple 100A de la figure 3A, F_m tant à entrainer les points d'altitude maximum de la membrane 100 vers la surface forte 10011 (ou vers le haut), et les points d'altitude minimum vers la surface faible 10012 (ou vers le bas).

[0061] Dans le second cas, c'est-à-dire dans le sens [surface forte 10011] => [surface faible 10012], la force magnétique 100B défavorise la déformation du couple 100A, comme on peut le voir sur l'exemple illustré figure 3C (membrane 100 + gradient 2B), où la force magnétique 100B F_m a été indiquée par des flèches superposées à la déformation du couple 100A de la figure 3A : F_m tant à entrainer les points d'altitude maximum de la membrane 100 vers la surface faible 10012 (ou vers le bas), et les points d'altitude minimum vers la surface forte 10011 (ou vers le haut).

[0062] Ainsi, même dans le cas où le champ magnétique d'entraînement 2A temporellement tournant présente aussi un fort gradient 2B sensiblement homogène et dont l'orientation est constante, il est possible de garder une déformation adéquate de la membrane 100 en orientant cette dernière de sorte à ce qu'elle expose sa surface forte 10011 aux zones de fort champ magnétique d'entraînement 2A, c'est-à-dire du côté de la source 2.

[0063] Les figures 4A, 4B, 4C, 4D et 4E montrent une pompe selon un premier système selon un premier mode de réalisation selon l'invention, la pompe comprenant :

- une entrée E et une sortie S pour respectivement introduire et extraire le fluide de la pompe,
- une membrane 100 souple présentant une surface supérieure 102 et une surface inférieure 104, la membrane 100 comprenant une structure d'aimantation permanente spatialement tournante, et
- un moyen support 200 rigide sur lequel est fixée une partie au moins du périmètre de la surface inférieure 104 de la membrane 100.

[0064] La source du champ magnétique génère alors le champ magnétique d'entraînement à l'endroit où se situe la membrane 100. La projection du champ magnétique d'entraînement sur un plan de rotation magnétique PP de la membrane 100, ayant une orientation sensiblement homogène et ayant des composantes temporellement tournantes dans le plan de rotation magnétique PP,

est susceptible d'être temporellement tournante. Il est à noter que le champ magnétique d'entraînement peut également être entièrement compris dans le plan de rotation magnétique PP de la membrane 100.

[0065] Ainsi, le champ magnétique d'entraînement et la structure d'aimantation permanente interagissent de manière à créer des contraintes dans la membrane 100 pour engendrer une déformation statique de la membrane 100 suivant une ondulation présentant alternativement une ou plusieurs parties concaves et une ou plusieurs parties convexes. De cette façon, la mise en rotation du champ magnétique d'entraînement appliqué à la membrane 100 permet le déplacement des contraintes dans la membrane 100 pour déplacer l'ondulation dans une orientation définie par le sens de rotation du champ magnétique d'entraînement.

[0066] Les entrées et sorties de ce premier mode de réalisation du système selon l'invention sont réalisées par la création de trous pratiqués dans le moyen support 200, par infiltration au travers du moyen support 200, ou encore par introduction de canaux disposés entre la membrane 100 et le moyen support 200. Il en est de même pour les autres modes de réalisation du système selon l'invention.

[0067] Le moyen support 200 permet de valoriser le mouvement ondulatoire de la membrane 100 pour transporter le fluide.

[0068] La pompe et la source du champ magnétique ne sont pas en contact dans ce mode de réalisation. Ainsi, aucune connexion matérielle n'est nécessaire entre la membrane 100 et la source d'un champ magnétique ce qui permet de pouvoir activer la pompe à distance.

[0069] Par exemple, le moyen support 200 peut comprendre du verre, du silicium, du PDMS, du PMMA, du COP, du polycarbonate, du polyimide, du PVC ou encore du PE.

[0070] Il est à noter que la source d'un champ magnétique permet alors la création de l'ondulation de chacune des membranes 100 représentées dans les figures. Cette source de champ magnétique peut, par exemple, être un aimant cylindrique tournant ou comprendre des bobines électriques placées à proximité de la pompe, mais sans contact ni branchement avec elle. La source peut également comprendre un électro-aimant, un aimant non cylindrique ou cylindre de Halbach, un aimant cylindrique ou non associé à un moteur à courant continu ou à une ou plusieurs bobines électriques.

[0071] Il est à noter qu'une partie des parties convexes, donc des parties de la surface inférieure 104 de la membrane 100, sont en contact avec le moyen support 200 pour qu'une ou plusieurs des parties concaves contiennent un volume de fluide, ou chambre de fluide, le volume de fluide étant susceptible de se déplacer sur le moyen support 200 entre l'entrée E et la sortie S lors du déplacement de l'ondulation.

[0072] La membrane 100 comprend un mélange comprenant un polymère et un matériau magnétique. Par exemple, le mélange est un mélange homogène d'un

polymère souple, tel que le PDMS, le latex, ou encore le silicone, avec de la poudre d'un matériau magnétique dur présentant par exemple une granulométrie de 30 μm , telle qu'une poudre de NdFeB ou encore telle qu'une poudre de ferrite. Par ailleurs, il est possible d'obtenir une membrane biocompatible composée de biomatériaux.

[0073] Par exemple, cette membrane 100 peut être fabriquée comme indiqué ci-après. Une fois le mélange étalé et polymérisé puis découpé selon la forme du moyen support 200 sur lequel elle sera placée par exemple, la membrane obtenue est aimantée de sorte à avoir une aimantation permanente spatialement tournante apte à provoquer l'ondulation dans la membrane 100 par l'action du champ magnétique d'entraînement temporellement tournant sur l'aimantation de la membrane 100. La membrane 100 présente alors une souplesse suffisante pour permettre la création de l'ondulation.

[0074] Par exemple, la membrane 100 fabriquée comme indiqué ci-avant peut présenter une structure d'aimantation définie par une période de rotation spatiale T environ égale à 1.10^{-3} m, présentant un module d'Young E environ égal à 1.10^5 Pa et une épaisseur h environ égale à 1.10^{-4} m.

[0075] Par exemple, la moyenne de l'intensité de l'aimantation m dans la membrane peut être environ égale à 1.10^5 A/m, l'intensité du champ magnétique B générée par la source du champ magnétique dans la membrane 100 peut être environ égale à 1.10^{-2} T.

[0076] Dans cette configuration, la quantité $mBT^2/(Eh^2)$ est alors égale à 1.

[0077] Ainsi, le coeur de la pompe repose notamment sur une membrane 100 souple et à aimantation permanente spatialement tournante. Il est à noter que le déplacement de l'ondulation permet l'entraînement péristaltique du fluide à travers la pompe. La membrane 100, bas coût, peut donc, dans le domaine des laboratoires sur puce, facilement être placée dans une puce directement lors de la fabrication et donc fonctionner dans un dispositif isolé de la source d'alimentation de la pompe. La pompe peut alors être activée à travers des éléments rigides simplement en la positionnant à proximité de la source de champ magnétique. Aussi, la pompe peut être implantée dans un corps ou un milieu biologique alors que la source du champ magnétique peut quant à elle être située à l'extérieur.

[0078] La figure 4A représente une vue du dessus de la pompe comprise dans le système selon le premier mode de réalisation. Les moyens de fixation 502 utilisés pour fixer le périmètre de la surface inférieure 104 de la membrane 100 au moyen support 200 rigide peuvent être tout ceux connus de l'homme du métier et permettant l'étanchéité de la pompe.

[0079] La figure 4B illustre l'état de la pompe lorsqu'aucun champ magnétique n'est appliqué sur celle-ci.

[0080] La figure 4C illustre l'état de la pompe lorsque le champ magnétique est appliqué sur celle-ci. On peut remarquer que dans les figures 4C, 4D et 4E est relié à

l'entrée E un volume de fluide que l'on souhaite transmettre à la sortie S. Par exemple, la pression appliquée à l'entrée E de la pompe peut être de 1013 hPa environ, celle en sortie S de 1063 hPa environ, et celle du côté extérieur de la membrane 100 (en contact avec la surface supérieure 102) de 1013 hPa.

[0081] Cette transmission est réalisée grâce à la formation de l'ondulation et à son déplacement de l'entrée E vers la sortie S. Ainsi, le volume de fluide est introduit dans la pompe par l'entrée E et est transmis dans la partie concave reliée à l'entrée E, cette partie concave formant une poche délimitée par la membrane 100 qui présente l'ondulation et le moyen support 200 (figure 4C). Ensuite, sous l'action de la rotation du champ magnétique, l'ondulation se déplace de l'entrée E vers la sortie S pour déplacer également le volume de fluide contenu dans la poche (figure 4D). Dès qu'une deuxième partie concave est reliée à l'entrée E, un autre volume de fluide est introduit dans celle-ci de sorte à ce que plusieurs volumes de fluide se déplacent simultanément entre le moyen support 200 et la membrane 100 (figure 4E). Il est à noter que chacune de ces parties concaves, ou poche ou chambre, peut contenir un volume prédéfini de fluide compris entre 10 nL et 1 mL, par exemple 1 μ L, qui est notamment fonction des caractéristiques géométriques de la pompe 1.

[0082] Le débit de fluide circulant dans la pompe selon le premier mode de réalisation varie en fonction de l'application du champ magnétique, et notamment de la vitesse de rotation du champ magnétique. À chaque fois que le champ magnétique effectue une rotation complète, l'ondulation se déplace de la période de rotation spatiale du motif magnétique.

[0083] En référence à la figure 5, un deuxième système selon un deuxième mode de réalisation selon l'invention est représenté.

[0084] La pompe de ce deuxième mode de réalisation diffère de celle du premier mode en ce qu'elle comprend en outre une paroi 300 rigide fixée sur une partie au moins du périmètre de la surface supérieure 102 de la membrane 100 et espacée de la membrane 100 par une distance d suffisante pour permettre l'ondulation et pour permettre le contact entre les parties concaves et la paroi 300. Cette distance d peut être comprise entre 10 μ m et 1 cm. La paroi 300 rigide est fixée sur le périmètre de la surface supérieure 102 de la membrane 100 à l'aide de moyens de fixation 504 connu de l'homme du métier semblable à ceux utilisés pour la fixation du périmètre de la membrane 100 au moyen support 200.

[0085] Par ailleurs, la paroi 300 rigide comprend un orifice 302, mais pourrait en comprendre plusieurs (non illustré dans les figures), à travers lequel est appliquée une pression contrôlée entre la paroi 300 et la membrane 100. Cette pression est amenée par exemple par l'introduction à travers l'orifice 302 d'un gaz ou d'un fluide.

[0086] En référence à la figure 6, un troisième système selon un troisième mode de réalisation selon l'invention est représenté.

[0087] Selon le troisième mode de réalisation, la pompe comprend une paroi 300 rigide fixée sur une partie au moins du périmètre de la surface supérieure 102 de la membrane 100 et espacée de la membrane 100 par une distance d' suffisante pour, à la différence de la pompe du deuxième mode, permettre l'ondulation et pour éviter le contact entre les parties concaves et la paroi 300. La paroi 300 rigide est fixée sur le périmètre de la surface supérieure 102 de la membrane 100 à l'aide de moyens de fixation 504 connu de l'homme du métier semblable à ceux utilisés pour la fixation du périmètre de la membrane 100 au moyen support 200. La distance d'est au moins égale à l'épaisseur de la membrane 100. Dans ce mode de réalisation, la membrane 100 ne prend pas appui sur la paroi 300, comme dans le deuxième mode de réalisation, mais sur un fluide ou gaz introduits entre la membrane 100 et la paroi 300 via l'orifice 302 qui applique une pression sur la membrane 100 et dont il est possible de moduler la pression.

[0088] En référence à la figure 7, un quatrième système selon un quatrième mode de réalisation selon l'invention est représenté.

[0089] Dans ce quatrième mode, la pompe est similaire à celle du deuxième mode mais comprend une membrane 100 présentant deux orifices traversant 106 et 108, chacun étant situé à ses extrémités, ainsi que la paroi 300 sans orifice. Ainsi, il est possible d'avoir un flux de fluide dans la pompe plus élevé et plus constant que lorsqu'il n'y a pas la présence de ces deux orifices 106 et 108 dans la mesure où le fluide circule alors à la fois dans les parties concaves mais également dans les parties convexes. En effet, la pompe est alors agencée de manière à ce que le fluide circule à la fois entre la membrane 100 et le moyen support 200 et entre la membrane 100 et la paroi 300 pour doubler le débit de circulation du fluide dans la pompe. Ainsi, plutôt que d'avoir à la sortie S un débit de fluide entrecoupé, ici puisque les volumes de fluide sont contenus à la fois dans les parties concaves et convexes, le débit à la sortie S est davantage constant. En outre, ce quatrième mode de réalisation permet de s'affranchir de l'influence de la pression extérieure à la pompe : seules la pression d'entrée P_0 et la pression de sortie P_s sont à considérer. De plus, la pression obtenue dans une chambre est obtenue par la pression de la chambre précédente à laquelle on ajoute l'ajout de pression généré par la partie de la membrane entre les deux chambres. Ainsi, il est possible d'augmenter la différence de pression possible entre l'entrée de la pompe et la sortie de la pompe lors de sa fabrication en augmentant le nombre d'ondulations dans la pompe (et donc de motifs magnétiques dans la membrane 100).

[0090] Par ailleurs, pour ce mode de réalisation, mais aussi pour les autres, le moyen support 200 rigide peut comprendre un canal aux bordures latérales arrondis (non illustré dans les figures) reliant l'entrée E à la sortie S pour guider le fluide circulant dans la pompe entre l'entrée E et la sortie S. De cette manière, l'étanchéité est assurée. Par ailleurs, le canal peut présenter une épais-

seur de 350 μm .

[0091] En référence à la figure 8, un cinquième système selon un cinquième mode de réalisation selon l'invention est représenté.

[0092] Ce cinquième système comprend une pompe présentant plusieurs entrées E1, E2 et E3 et une unique sortie S1. La pompe est alors constituée d'une unique membrane présentant plusieurs parties, trois en l'occurrence : une première partie 1001 reliant l'entrée E1 à un point B, une deuxième partie 1002 reliant l'entrée E2 à un point A, une troisième partie 1003 reliant l'entrée E3 au point A, une quatrième partie 1004 reliant le point A au point B et une cinquième partie 1005 reliant le point B à la sortie S1. Les motifs magentiques de chacune de ces parties sont en phase aux points A et B pour qu'il y ait bien création d'une unique chambre aux points d'intersections A et B. Par ailleurs, sont associés à chacune de ces parties 1001, 1002, 1003, 1004, 1005 des canaux pour guider les fluides circulant dans chacune de ces parties. L'unique membrane constituée de ces différentes parties forme un monobloc.

[0093] À l'aide de ce cinquième système, il est possible d'introduire différents fluides dans chacune des entrées E1, E2 et E3, de procéder à leur mélange aux points A et B, et de récupérer le mélange à la sortie S1.

[0094] Dans ce cinquième système, le fluide introduit dans chacune des entrées E1, E2 et E3 est constamment stocké dans une chambre respectivement de la première partie 1001, deuxième partie 1002 et troisième partie 1003, sans fuites dans les autres chambres qui suivent ou précèdent. Ainsi, deux chambres issues de deux parties différentes, par exemple une chambre issue de la deuxième partie 1002 et une autre chambre issue de la troisième partie 1003, peuvent fusionner ensemble en une plus grosse chambre au point A, et cette plus grosse chambre peut fusionner avec une autre chambre de la première partie 1001 au point B.

[0095] Il est à noter qu'en changeant le sens de circulation du fluide pompé, les entrées E1, E2 et E3 peuvent devenir des sorties et la sortie S1 peut être une entrée. Ainsi, plutôt que de mettre en contact différents fluides introduits, il est possible de diviser un fluide introduit en divisant la chambre dans laquelle il se trouve.

[0096] En référence à la figure 9, un sixième système selon un sixième mode de réalisation selon l'invention est représenté.

[0097] Le sixième système est semblable au deuxième mode de réalisation, mais comprend en outre, dans le moyen support 200 plusieurs actionneurs ou capteurs 410 agencés de manière à être directement en contact avec le fluide pompé, et un appareil de mesure 420.

[0098] Par exemple, l'actionneur 410 peut comprendre des électrodes pour créer une réaction électrochimique, un générateur de chaleur ou d'ultrasons, une source lumineuse, un capteur. Par exemple, les appareils de mesure peuvent permettre de mesurer des paramètres dans les chambres.

[0099] De cette façon, il est possible d'activer ou d'ana-

lyser un seul volume de fluide souhaité et compris dans une chambre particulière.

[0100] En référence à la figure 10, un huitième système selon un huitième mode de réalisation selon l'invention est représenté.

[0101] Le huitième mode de réalisation est semblable au quatrième mode de réalisation. Ici, la membrane 100 ne comprend pas d'orifices traversant. La pompe de ce huitième mode comprend en outre la paroi 300 rigide fixée sur une partie au moins du périmètre de la surface supérieure 102 de la membrane 100 et espacée de la membrane 100 par une distance suffisante pour permettre l'ondulation, l'ondulation impliquant ou évitant le contact entre les parties concaves et la paroi 300 à condition que le ou les fluides circulent au travers de la pompe. Le moyen support 200 comprend une entrée E' et une sortie S' et la paroi 300 rigide comprend également une entrée E'' et une sortie S''. De cette façon, un fluide peut circuler entre la membrane 100 et le moyen support 200 et un autre fluide peut circuler entre la membrane 100 et la paroi 300. Ainsi, deux fluides distincts peuvent être pompés avec la même pompe et un même débit.

[0102] Par ailleurs, il est à noter qu'avec ce mode de réalisation, il est également possible que le fluide circulant entre l'entrée E' et la sortie S' soit le même que celui circulant entre l'E'' et la sortie S''. Dans cette configuration, les deux entrées E' et E'' peuvent être reliées entre elles par un canal par exemple de manière à introduire un même fluide de part et d'autre de la membrane 100, et les deux sorties S' et S'' par un autre canal de manière à extraire le même fluide circulant de part et d'autre de la membrane 100. Ainsi, le débit de circulation du fluide dans la pompe est alors doublé.

[0103] Il est à noter que dans chacun des modes de réalisation ci-avant présentés, le moyen support 200 rigide peut être transparent de manière à pouvoir observer les différentes chambres formées par l'ondulation. Par ailleurs, la paroi 300 et/ou le moyen support 200 peuvent être transparents de sorte à ne laisser passer que des rayonnements souhaités et prédéfinis.

[0104] Il est à noter que dans l'ensemble de la présente demande, lorsqu'il fait référence à des indications en gras de type, **F_m**, **C_m**, **M**, **B**, **A_n**, il est question de vecteurs.

[0105] L'invention a été illustrée et décrite en détail dans les dessins et la description précédente. Celle-ci doit être considérée comme illustrative et donnée à titre d'exemple et non comme limitant l'invention à cette seule description. De nombreuses variantes de réalisation sont possibles sans s'écarter de la portée des revendications annexées.

[0106] Dans les revendications, le mot « comprenant » n'exclut pas d'autres éléments et l'article indéfini « un/une » n'exclut pas une pluralité.

Revendications

1. Système pour pomper un fluide, ledit système comprenant :
 - une pompe (1) comprenant :
 - une entrée (E) et une sortie (S) pour respectivement introduire et extraire ledit fluide susceptible d'être pompé,
 - une membrane (100) souple présentant deux surfaces opposées, ladite membrane (100) comprenant une structure d'aimantation permanente spatialement tournante,
 - un moyen support (200) rigide sur lequel est fixée une partie au moins d'une desdites surfaces de ladite membrane (100),
 - une source (2) d'un champ magnétique apte à générer un champ magnétique d'entraînement à l'endroit où se situe ladite membrane (100), ledit champ magnétique d'entraînement étant temporellement tournant et ayant une orientation sensiblement homogène ladite membrane (100) étant configurée pour se déformer, sous l'effet dudit champ magnétique d'entraînement, selon une ondulation présentant alternativement une ou plusieurs parties concaves et une ou plusieurs parties convexes, l'ondulation étant configurée pour se déplacer sous l'effet dudit champ magnétique d'entraînement, ledit fluide susceptible d'être pompé entre ladite entrée (E) et ladite sortie (S) se trouvant au moins entre une desdites surfaces de ladite membrane (100) et ledit moyen support (200).
2. Système selon la revendication 1, selon lequel une projection dudit champ magnétique d'entraînement sur un plan de rotation magnétique (PP) de la membrane (100) est temporellement tournante
3. Système selon la revendication 2, selon lequel ledit champ magnétique d'entraînement est entièrement compris dans ledit plan de rotation magnétique (PP) de ladite membrane (100).
4. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, selon lequel au moins une ou plusieurs des parties convexes sont configurées pour être en contact avec ledit moyen support (200) et au moins une ou plusieurs des parties concaves sont configurées pour ne pas être en contact avec ledit moyen support (200).
5. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, selon lequel ledit champ magnétique d'entraînement temporellement tournant présente en outre un gradient minimum de 1T/m et une orientation du gradient sensiblement spatialement homogène.
6. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, selon lequel ledit champ magnétique d'entraînement temporellement tournant présente en outre un gradient minimum de 1T/m et une orientation du gradient constante dans le temps.
7. Système selon l'une des revendications 5 et 6, selon lequel ladite membrane (100) est positionnée de manière à ce que ledit gradient soit orienté d'une surface faible (10012) vers une surface forte (10011), sachant que :
 - lorsque la structure d'aimantation permanente spatialement tournante de la membrane (100) tourne, de gauche à droite, dans le sens trigonométrique, la surface forte désigne la surface exposée vers le haut et la surface faible désigne la surface exposée vers le bas, et
 - lorsque la structure d'aimantation permanente spatialement tournante de la membrane (100) tourne, de gauche à droite, dans le sens anti-trigonométrique, la surface forte désigne la surface exposée vers le bas et la surface faible désigne la surface exposée vers le haut.
8. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, selon lequel ladite membrane (100) présente une épaisseur comprise entre 5 μm et 1 cm.
9. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, selon lequel ladite structure d'aimantation est définie par une période de rotation spatiale (T) comprise entre 20 μm et 2 cm.
10. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, comprenant en outre une paroi (300) rigide fixée sur une partie au moins dudit périmètre de l'autre desdites surfaces de ladite membrane (100) et espacée de ladite membrane (100) par une distance d suffisante pour permettre ladite ondulation et pour permettre le contact entre lesdites parties concaves et ladite paroi (300).
11. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, comprenant en outre une paroi (300) rigide fixée sur une partie au moins dudit périmètre de l'autre desdites surfaces de ladite membrane (100) et espacée de ladite membrane (100) par une distance d' suffisante pour permettre ladite ondulation et pour éviter le contact entre lesdites parties concaves et ladite paroi (300).
12. Système selon l'une quelconque des revendications 10 ou 11, dans lequel ladite paroi (300) comprend un orifice (302) à travers lequel est appliquée une pression contrôlée entre ladite paroi (300) et ladite

membrane (100).

13. Système selon l'une quelconque des revendications 10 à 12, dans lequel ladite membrane (100) présente deux orifices traversant, chacun étant situé à ses extrémités de manière à ce que ledit fluide susceptible d'être pompé se trouve en outre entre l'autre desdites surfaces de ladite membrane (100) et ladite paroi (300). 5
14. Système selon l'une quelconque des revendications 10 à 12, dans lequel ladite paroi (300) comprend en outre une deuxième entrée et une deuxième sortie pour respectivement introduire et extraire un fluide susceptible d'être pompé se trouvant en outre entre l'autre desdites surfaces de ladite membrane (100) et ladite paroi (300). 10
15. Procédé de mise en oeuvre d'un système selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, comprenant les étapes suivantes : 15
- a) interaction entre ledit champ magnétique d'entraînement issu de ladite source (2) et ladite structure d'aimantation permanente de ladite membrane (100) de manière à créer des contraintes dans ladite membrane (100) engendrant une déformation statique de ladite membrane (100) suivant une ondulation présentant alternativement une ou plusieurs parties concaves et une ou plusieurs parties convexes, 25
- b) rotation dudit champ magnétique d'entraînement de manière à déplacer lesdites contraintes dans ladite membrane (100) pour déplacer ladite ondulation dans une orientation définie selon le sens de rotation dudit champ magnétique d'entraînement, 30
- c) déplacement dudit fluide entre ladite entrée (E) et ladite sortie (S), ledit fluide étant compris au moins dans une desdites parties concaves délimitées par ladite membrane (100) et ledit moyen support (200). 35
16. Procédé selon la revendication 15, selon lequel ladite étape b) de rotation est réalisée par la mise en rotation d'un aimant permanent. 40
17. Procédé selon l'une des revendications 15 ou 16, selon lequel, lorsque ledit champ magnétique d'entraînement temporellement tournant présente une orientation du gradient sensiblement spatialement homogène et constante, ledit gradient est dirigé de la surface faible (10012) vers la surface forte (10011) de ladite membrane (100). 45

Patentansprüche

1. System zum Pumpen eines Fluids, wobei das System Folgendes umfasst: 5
- eine Pumpe (1), die Folgendes umfasst:
- einen Einlass (E) und einen Auslass (S) zum Einführen bzw. Ablassen des pumpfähigen Fluids,
 - eine flexible Membran (100), die zwei gegenüberliegende Oberflächen aufweist, wobei die Membran (100) eine räumlich drehbare Permanentmagnetstruktur umfasst,
 - ein starres Trägermittel (200), an dem mindestens ein Teil einer der Oberflächen der Membran (100) befestigt ist,
- eine Quelle (2) eines Magnetfelds, das dazu ausgelegt ist, an der Stelle, an der sich die Membran (100) befindet, ein antreibendes Magnetfeld zu erzeugen, wobei das antreibende Magnetfeld zeitlich drehbar ist und eine im Wesentlichen homogene Ausrichtung aufweist, wobei die Membran (100) dazu konfiguriert ist, sich unter der Wirkung des antreibenden Magnetfelds gemäß einer Wellung zu verformen, die abwechselnd einen oder mehrere konkave Teile und einen oder mehrere konvexe Teile aufweist, wobei die Wellung dazu konfiguriert ist, sich unter der Wirkung des antreibenden Magnetfelds zu bewegen, wobei sich das zwischen dem Einlass (E) und dem Auslass (S) pumpfähige Fluid mindestens zwischen einer der Oberflächen der Membran (100) und dem Trägermittel (200) befindet. 10
2. System nach Anspruch 1, bei dem eine Projektion des antreibenden Magnetfelds auf eine magnetische Rotationsebene (PP) der Membran (100) zeitlich drehbar ist. 15
3. System nach Anspruch 2, bei dem das antreibende Magnetfeld vollständig in der magnetischen Rotationsebene (PP) der Membran (100) enthalten ist. 20
4. System nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem mindestens einer oder mehrere der konvexen Teil dazu konfiguriert sind, in Kontakt mit dem Trägermittel (200) zu stehen, und mindestens einer oder mehrere der konkaven Teile dazu konfiguriert sind, nicht in Kontakt mit dem Trägermittel (200) zu stehen. 25
5. System nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem das zeitlich drehbare antreibende Magnetfeld ferner einen minimalen Gradienten von 1 T/m und eine im 30

Wesentlichen räumlich homogene Ausrichtung des Gradienten aufweist.

6. System nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem das zeitlich drehbare antreibende Magnetfeld ferner einen minimalen Gradienten von 1 T/m und eine zeitlich konstante Ausrichtung des Gradienten aufweist.

7. System nach einem der Ansprüche 5 und 6, bei dem die Membran (100) derart positioniert ist, dass der Gradient von einer schwachen Oberfläche (10012) zu einer starken Oberfläche (10011) hin ausgerichtet ist, wobei gilt, dass:

- wenn sich die räumlich drehbare Permanentmagnetstruktur der Membran (100) von links nach rechts in der trigonometrischen Richtung dreht, die starke Oberfläche die nach oben exponierte Oberfläche und die schwache Oberfläche die nach unten exponierte Oberfläche bezeichnet, und
- wenn sich die räumlich rotierende Permanentmagnetstruktur der Membran (100) von links nach rechts in der antitrigonometrischen Richtung dreht, die starke Oberfläche die nach unten exponierte Oberfläche und die schwache Oberfläche die nach oben exponierte Oberfläche bezeichnet.

8. System nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem die Membran (100) eine Dicke zwischen 5 μm und 1 cm aufweist.

9. System nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem die Magnetstruktur durch eine räumliche Rotationsperiode (T) zwischen 20 μs und 2 cm definiert ist.

10. System nach einem der Ansprüche 1 bis 9, das ferner eine starre Wand (300) umfasst, die an mindestens einem Teil des Umfangs der anderen der Oberflächen der Membran (100) befestigt ist und von der Membran (100) um einen Abstand d beabstandet ist, der ausreicht, um die Wellung zu ermöglichen und den Kontakt zwischen den konkaven Teilen und der Wand (300) zu ermöglichen.

11. System nach einem der Ansprüche 1 bis 9, das ferner eine starre Wand (300) umfasst, die an mindestens einem Teil des Umfangs der anderen der Oberflächen der Membran (100) befestigt ist und von der Membran (100) um einen Abstand d beabstandet ist, der ausreicht, um die Wellung zu ermöglichen und den Kontakt zwischen den konkaven Teilen und der Wand (300) zu verhindern.

12. System nach einem der Ansprüche 10 oder 11, wobei die Wand (300) eine Öffnung (302) umfasst, durch die ein kontrollierter Druck zwischen der Wand

(300) und der Membran (100) ausgeübt wird.

13. System nach einem der Ansprüche 10 bis 12, wobei die Membran (100) zwei Durchgangsöffnungen aufweist, die sich jeweils an ihren Enden befinden, so dass sich das pumpfähige Fluid auch zwischen der anderen der Oberflächen der Membran (100) und der Wand (300) befindet.

14. System nach einem der Ansprüche 10 bis 12, wobei die Wand (300) ferner einen zweiten Einlass und einen zweiten Auslass zum Einführen bzw. Ablassen eines pumpfähigen Fluids umfasst, die sich ebenfalls zwischen der anderen der Oberflächen der Membran (100) und der Wand (300) befinden.

15. Verfahren zum Betreiben eines Systems nach einem der Ansprüche 1 bis 14, umfassend die folgenden Schritte:

- a) Wechselwirkung zwischen dem antreibenden Magnetfeld von der Quelle (2) und der Permanentmagnetstruktur der Membran (100), um Spannungen in der Membran (100) zu erzeugen, die eine statische Verformung der Membran (100) nach einer Wellung verursachen, die abwechselnd einen oder mehrere konkave Teile und einen oder mehrere konvexe Teile aufweist,
- b) Rotieren des antreibenden Magnetfelds, um die Spannungen in der Membran (100) zu verschieben, um die Wellung in eine Ausrichtung zu verschieben, die entsprechend der Rotationsrichtung des antreibenden Magnetfelds definiert ist,
- c) Verschieben des Fluids zwischen dem Einlass (E) und dem Auslass (S), wobei das Fluid zumindest in einem der konkaven Teile enthalten ist, die durch die Membran (100) und das Trägermittel (200) begrenzt werden.

16. Verfahren nach Anspruch 15, bei dem der Schritt b) des Rotierens durch Rotieren eines Permanentmagneten durchgeführt wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 oder 16, bei dem, wenn das zeitlich drehbare antreibende Magnetfeld eine im Wesentlichen räumlich homogene und konstante Ausrichtung des Gradienten aufweist, der Gradient von der schwachen Oberfläche (10012) zur starken Oberfläche (10011) der Membran (100) hin gerichtet wird.

Claims

1. System for pumping a fluid, said system comprising:
- a pump (1) comprising:

- an inlet (E) and an outlet (S) for respectively introducing and extracting said fluid liable to be pumped,
 - a flexible membrane (100) having two opposite surfaces, said membrane (100) comprising a spatially rotating permanent-magnetisation structure,
 - a rigid support means (200) on which at least part of one of said surfaces of said membrane (100) is secured,
- a source (2) of a magnetic field able to generate a driving magnetic field at the point where said membrane (100) is located, said driving magnetic field being temporally rotating and having a substantially homogeneous orientation said membrane (100) being configured to deform, under the effect of said driving magnetic field, in an undulation having alternately one or more concave parts and one or more convex parts, the undulation being configured to move under the effect of said driving magnetic field, said fluid liable to be pumped between said inlet (E) and said outlet (S) being located between at least one of said surfaces of said membrane (100) and said support means (200).
2. System according to claim 1, according to which a projection of said driving magnetic field onto a magnetic-rotation plane (PP) of the membrane (100) is temporally rotating.
 3. System according to claim 2, according to which said driving magnetic field is entirely included in said magnetic-rotation plane (PP) of said membrane (100).
 4. System according to any one of claims 1 to 3, according to which at least one or more of said convex parts are configured to be in contact with said support means (200) and at least one or more of said concave parts are configured not to be in contact with said support means (200).
 5. System according to any one of claims 1 to 4, according to which said temporally rotating driving magnetic field furthermore has a minimum gradient of 1T/m and a substantially spatially homogeneous orientation of the gradient.
 6. System according to any one of claims 1 to 5, according to which said temporally rotating driving magnetic field furthermore has a minimum gradient of 1T/m and an orientation of the gradient that is constant over time.
 7. System according to one of claims 5 and 6, according to which said membrane (100) is positioned so that said gradient is oriented from a weak surface (10012) towards a strong surface (10011), knowing that:
 - when the spatially rotating permanent-magnetisation structure of the membrane (100) is rotating, from left to right, in the anticlockwise direction, the strong surface designates the surface exposed upwards and the weak surface designates the surface exposed downwards, and
 - when the spatially rotating permanent-magnetisation structure of the membrane (100) is rotating, from left to right, in the clockwise direction, the strong surface designates the surface exposed downwards and the weak surface designates the surface exposed upwards.
 8. System according to any one of claims 1 to 7, according to which said membrane (100) has a thickness of between 5 μm and 1 cm.
 9. System according to any one of claims 1 to 8, according to which said magnetisation structure is defined by a spatial-rotation period (T) of between 20 μm and 2 cm.
 10. System according to any one of claims 1 to 9, furthermore comprising a rigid wall (300) secured to at least part of said perimeter of the other one of said surfaces of said membrane (100) and spaced apart from said membrane (100) by a distance d sufficient to allow said undulation and to allow contact between said concave parts and said wall (300).
 11. System according to any one of claims 1 to 9, furthermore comprising a rigid wall (300) secured to at least part of said perimeter of the other one of said surfaces of said membrane (100) and spaced apart from said membrane (100) by a distance d' sufficient to allow said undulation and to prevent contact between said concave parts and said wall (300).
 12. System according to either one of claims 10 or 11, wherein said wall (300) comprises an orifice (302) through which a controlled pressure is applied between said wall (300) and said membrane (100).
 13. System according to any one of claims 10 to 12, wherein said membrane (100) has two through orifices, each being located at its ends so that said fluid liable to be pumped is furthermore located between the other one of said surfaces of said membrane (100) and said wall (300).
 14. System according to any one of claims 10 to 12, wherein said wall (300) furthermore comprises a second inlet and a second outlet for respectively introducing and extracting a fluid liable to be pumped furthermore located between the other one of said surfaces of said membrane (100) and said wall (300).

15. Method for implementing a system according to any one of claims 1 to 14, comprising the following steps:

- a) interaction between said driving magnetic field resulting from said source (2) and said permanent-magnetisation structure of said membrane (100) so as to create stresses in said membrane (100) causing a static deformation of said membrane (100) in an undulation having alternately one or more concave parts and one or more convex parts, 5
- b) rotation of said driving magnetic field so as to move said stresses in said membrane (100) to move said undulation in an orientation defined in the direction of rotation of said driving magnetic field, 10
- c) movement of said fluid between said inlet (E) and said outlet (S), said fluid being included in at least one of said concave parts delimited by said membrane (100) and said support means (200). 15 20

16. Method according to claim 15, according to which said rotation step b) is implemented by rotating a permanent magnet. 25

17. Method according to one of claims 15 or 16, according to which, when said temporally rotating driving magnetic field has an orientation of the gradient that is substantially spatially homogeneous and constant, said gradient is directed from the weak surface (10012) towards the strong surface (10011) of said membrane (100). 30

35

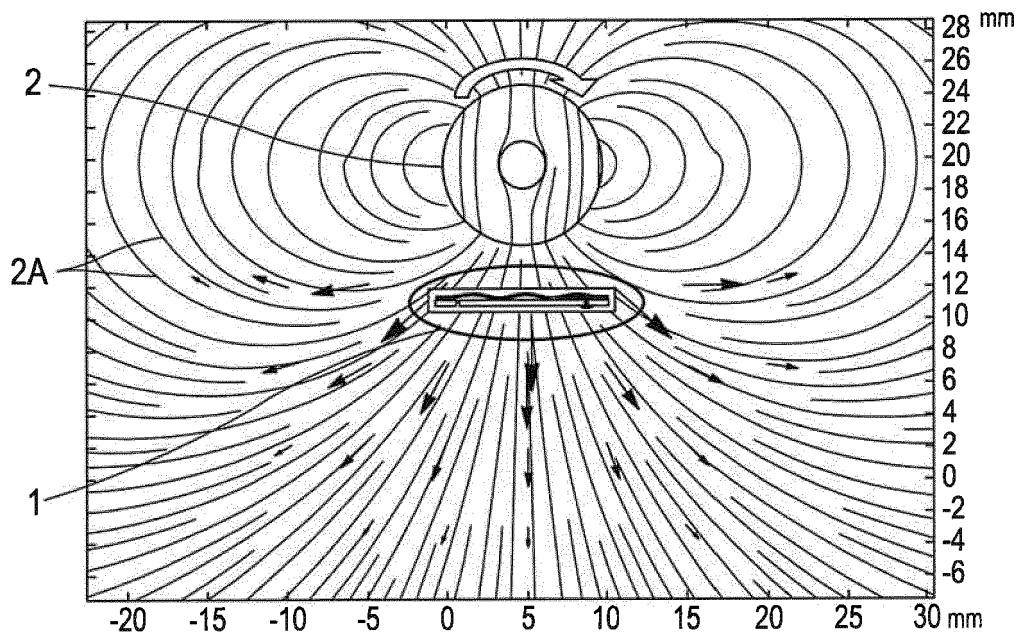
40

45

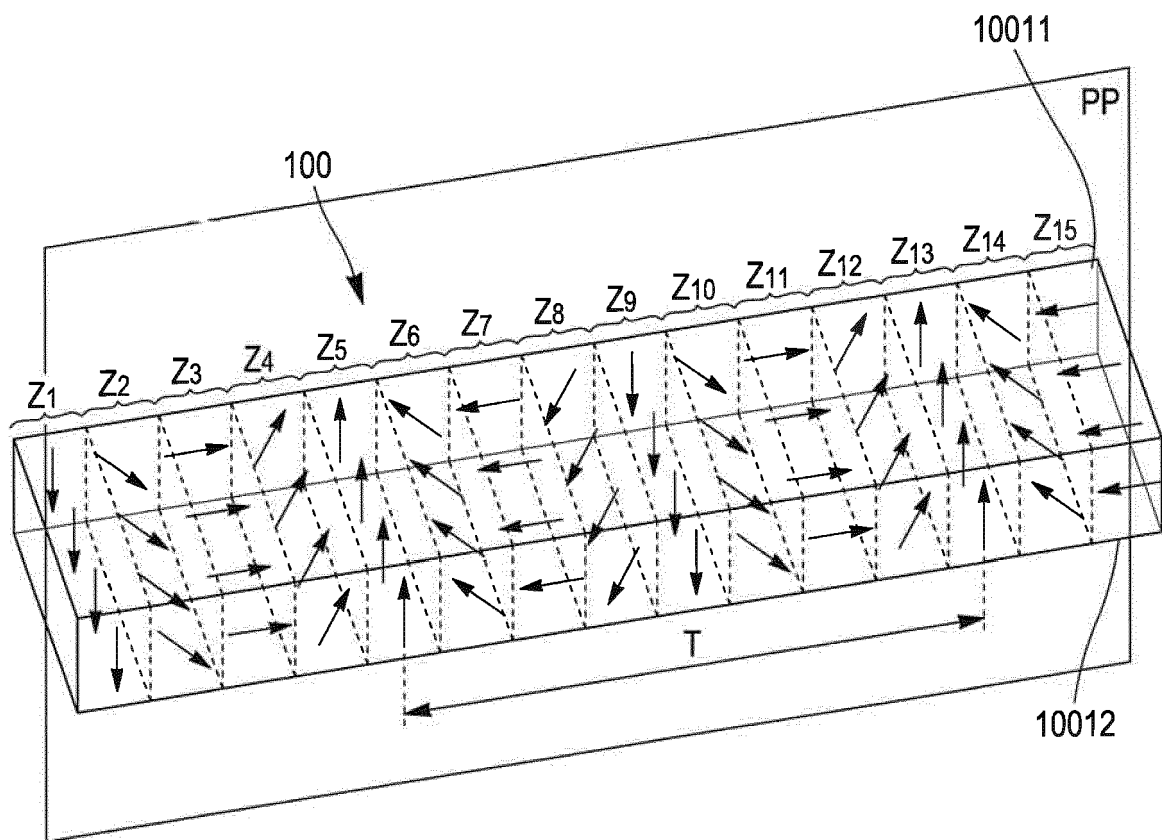
50

55

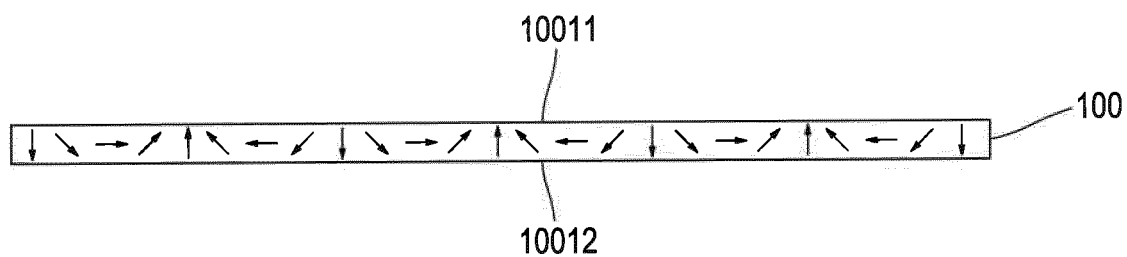
[Fig. 1]



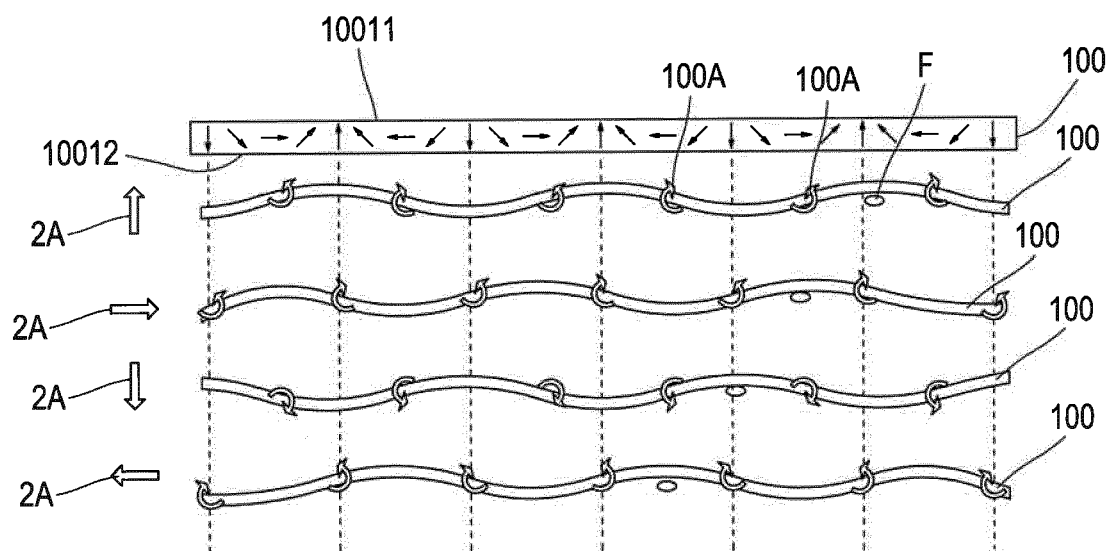
[Fig. 2A]



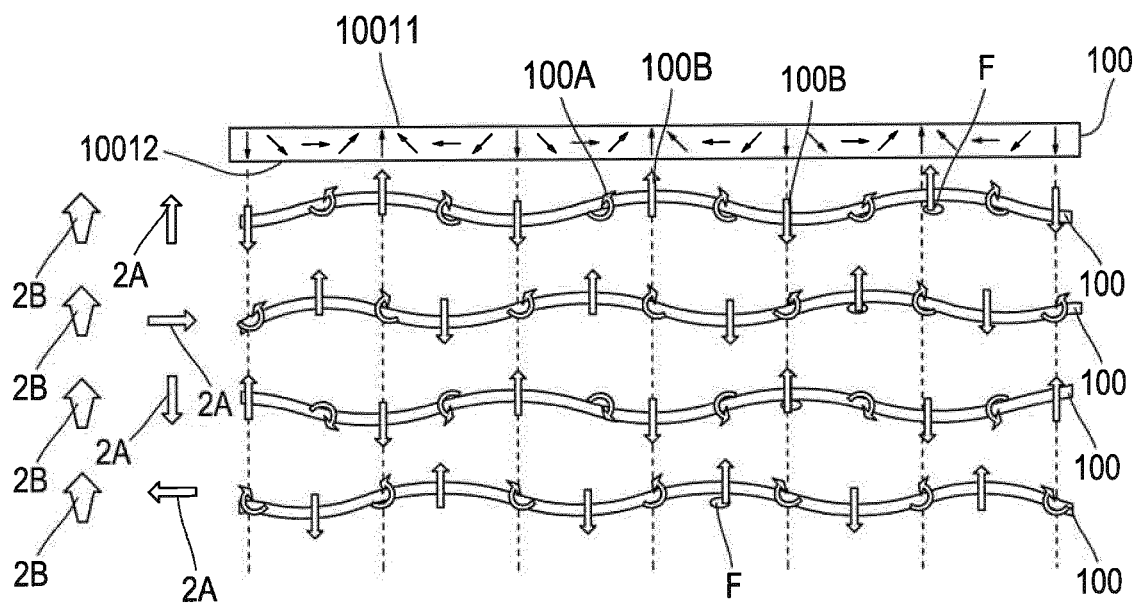
[Fig. 2B]



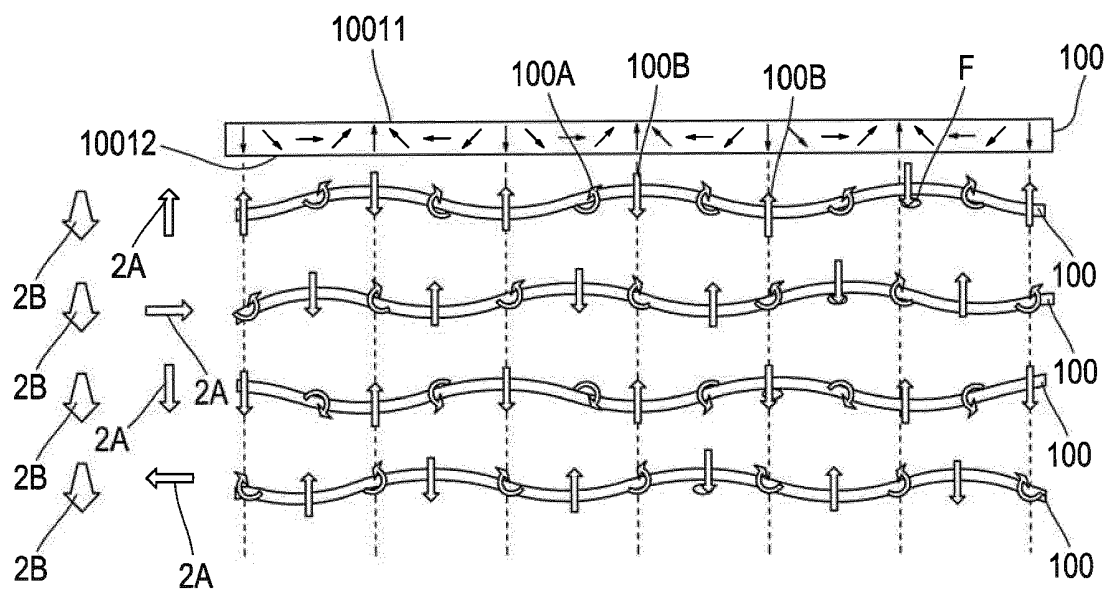
[Fig. 3A]



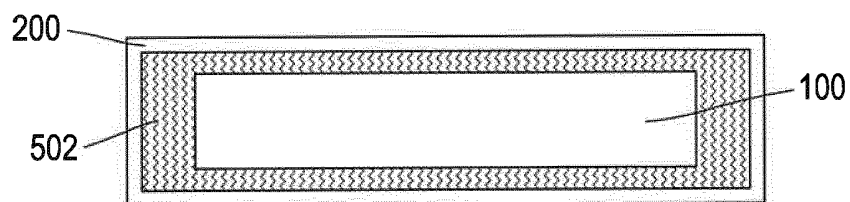
[Fig. 3B]



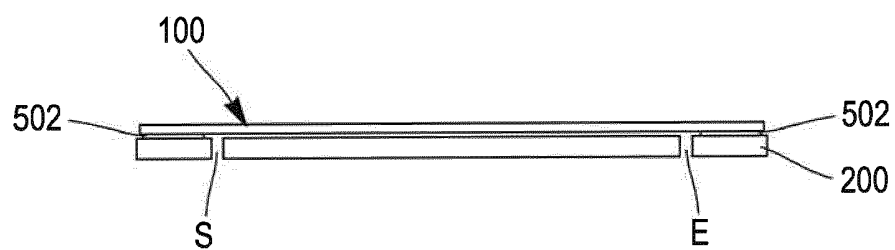
[Fig. 3C]



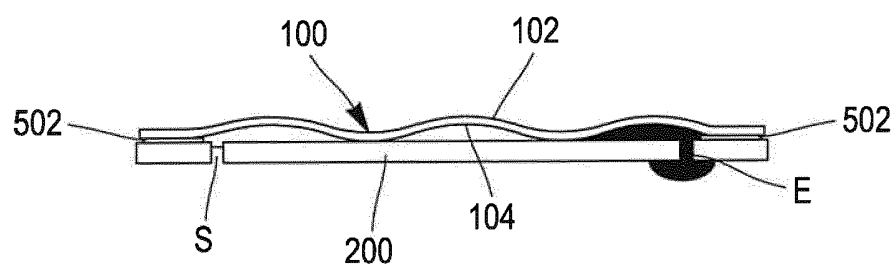
[Fig. 4A]



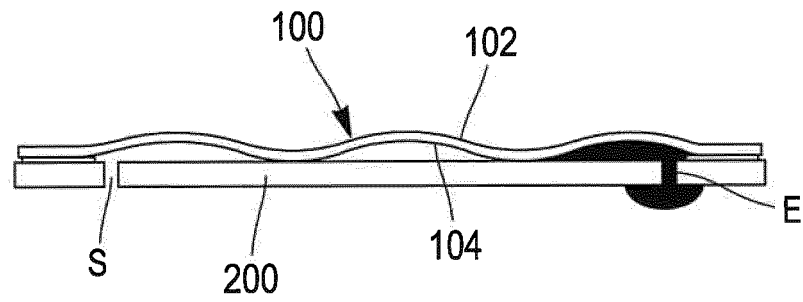
[Fig. 4B]



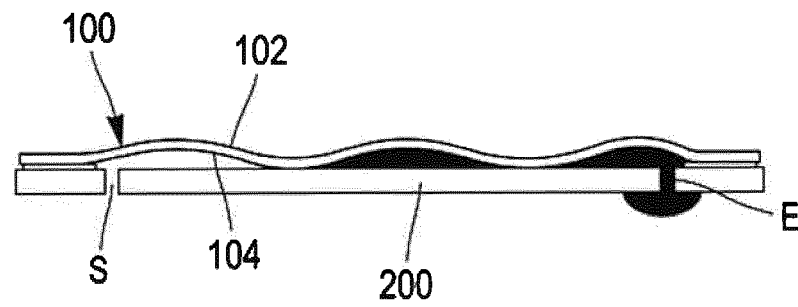
[Fig. 4C]



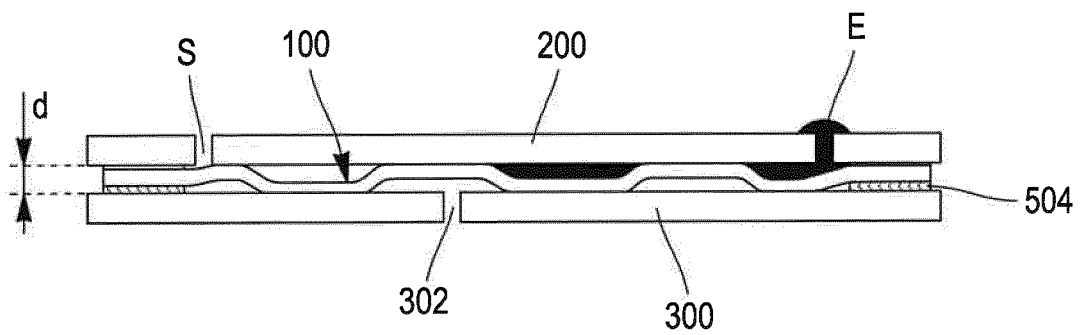
[Fig. 4D]



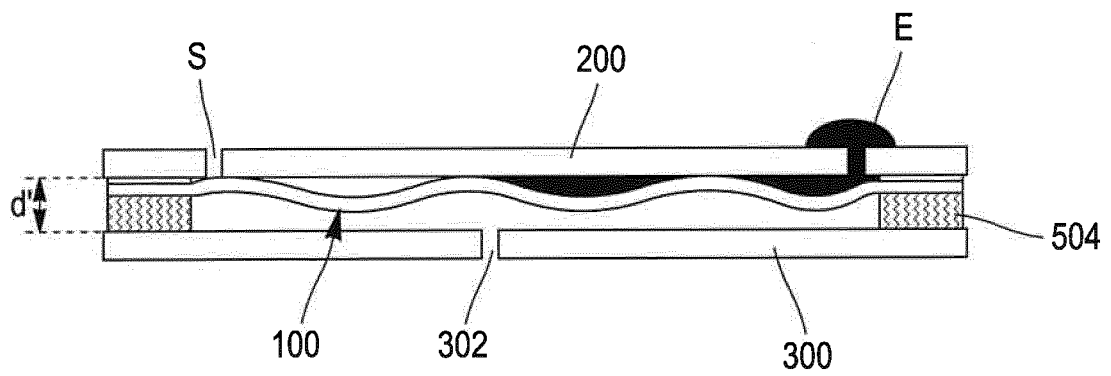
[Fig. 4E]



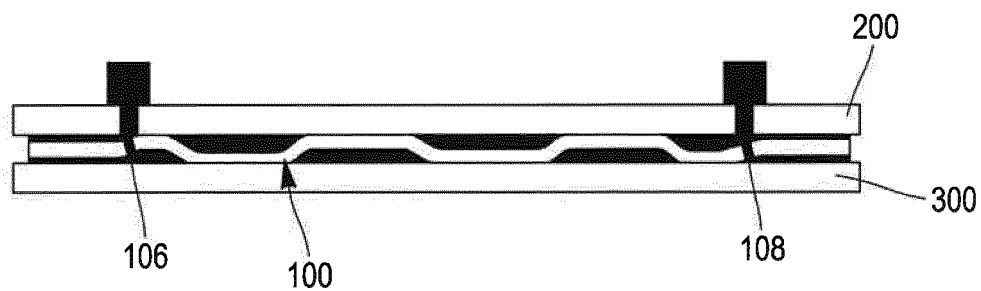
[Fig. 5]



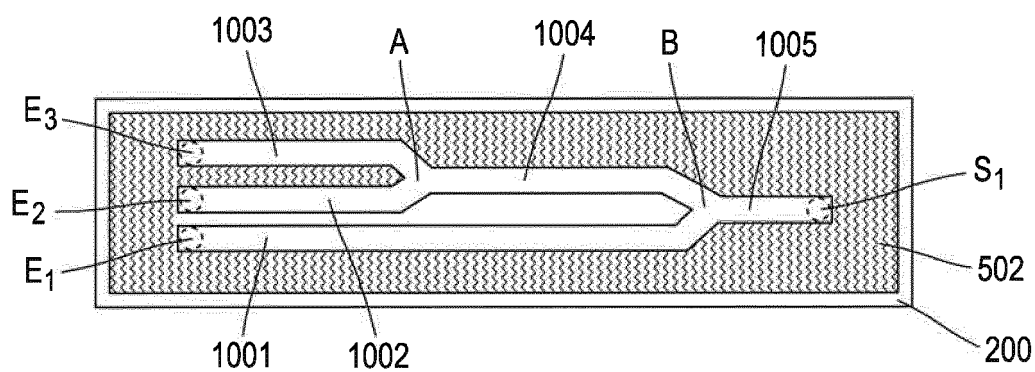
[Fig. 6]



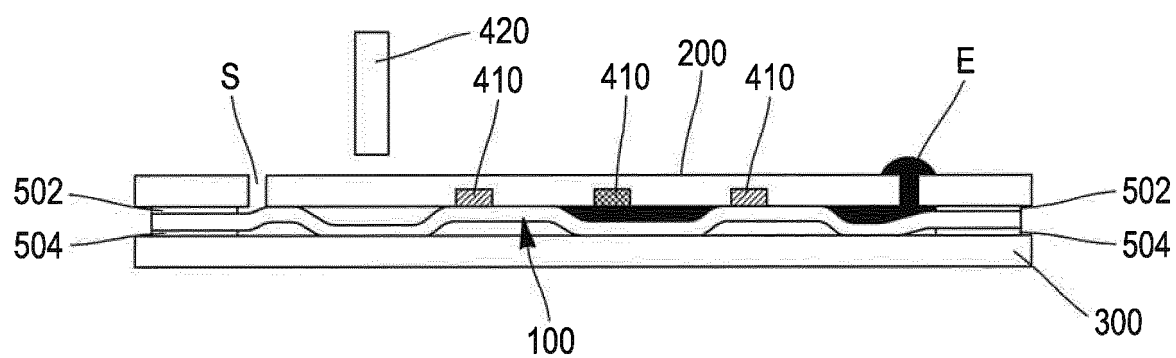
[Fig. 7]



[Fig. 8]



[Fig. 9]



[Fig. 10]

