

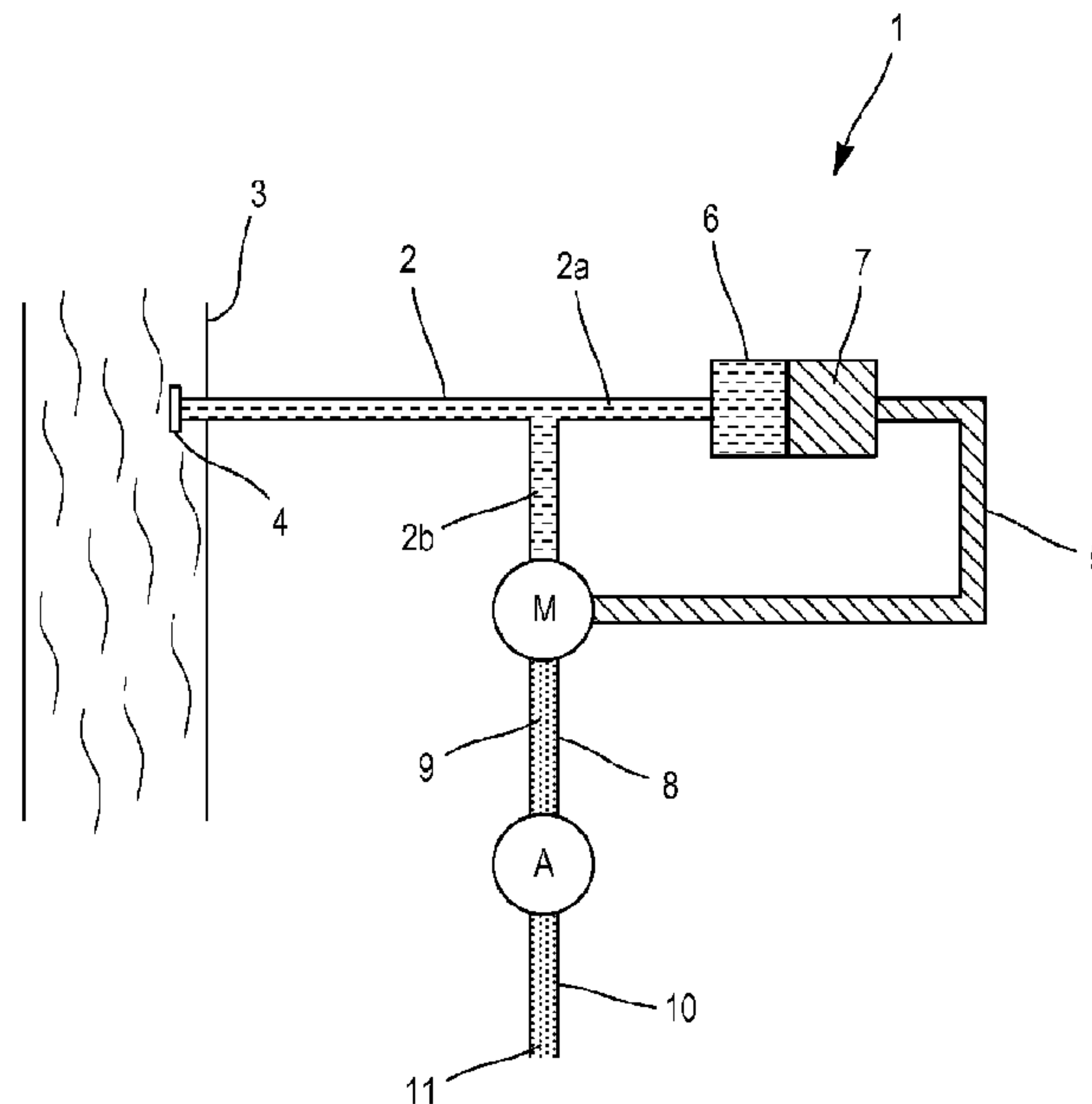


(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2012/06/27
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2013/04/18
(45) Date de délivrance/Issue Date: 2018/08/14
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2014/04/07
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2012/051484
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2013/054014
(30) Priorité/Priority: 2011/10/13 (FR1159278)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *G01N 1/20* (2006.01)
(72) Inventeurs/Inventors:
ANGELESCU, DAN EUGEN, FR;
FREYERMUTH, PIERRE, FR
(73) Propriétaires/Owners:
CHAMBRE DE COMMERCE ET DE L'INDUSTRIE DE
PARIS AU TITRE DE SON ETABLISSEMENT
D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ESIEE PARIS, FR;

EFS SA, FR
(74) Agent: NORTON ROSE FULBRIGHT CANADA
LLP/S.E.N.C.R.L., S.R.L.

(54) Titre : DISPOSITIF MICROFLUIDIQUE POUR ANALYSER UN FLUIDE SOUS PRESSION
(54) Title: MICROFLUIDIC DEVICE FOR ANALYZING A PRESSURIZED FLUID



(57) Abrégé/Abstract:

L'invention concerne un capteur microfluidique pour analyser un fluide présent dans un conduit (3) sous une première pression. Ce capteur comprend un mélangeur (M) pour mélanger une quantité de fluide provenant du conduit (3) avec au moins une quantité de réactif (7) provenant d'au moins un réservoir (6), et un analyseur (A) pour analyser le mélange ainsi constitué. Ce capteur comprend en outre un canal (2) de prélèvement pour prélever une quantité de fluide dans le conduit, pour alimenter le mélangeur et pour mettre sous pression ledit au moins un réservoir. Selon l'invention, un orifice de sortie (11) de l'analyseur (A) est soumis à une seconde pression inférieure à la première pression dans le conduit, de sorte que le fluide transite de manière passive depuis le conduit, d'une part vers l'analyseur via le mélangeur, et d'autre part vers le réservoir (6).

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
18 avril 2013 (18.04.2013)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2013/054014 A1(51) Classification internationale des brevets :
G01N 1/20 (2006.01)(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2012/051484(22) Date de dépôt international :
27 juin 2012 (27.06.2012)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1159278 13 octobre 2011 (13.10.2011) FR(71) Déposants (pour tous les États désignés sauf US) :
**CHAMBRE DE COMMERCE ET DE L'INDUSTRIE
DE PARIS AU TITRE DE SON ETABLISSEMENT
D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ESIEE PARIS**
[FR/FR]; Cité Descartes, 2, boulevard Blaise Pascal, F-
93162 Noisy le Grand (FR). **EFS SA** [FR/FR]; 192, allée
des Chênes, ZAC du Baconnet, F-69700 Montagny (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **ANGELES-
CU, Dan, Eugen** [RO/FR]; 8, place Robert Belvaux, F-
94170 Le Perreux sur Marne (FR). **FREYERMUTH,
Pierre** [FR/FR]; 103, rue de la Rocaille, F-69310 Pierre
Bénite (FR).(74) Mandataire : **PONTET ALLANO & ASSOCIES**; 25,
rue Jean Rostand, Parc Orsay Université, F-91893 Orsay
Cedex (FR).(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ,
CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR,
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD,
SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : MICROFLUIDIC DEVICE FOR ANALYZING A PRESSURIZED FLUID

(54) Titre : DISPOSITIF MICROFLUIDIQUE POUR ANALYSER UN FLUIDE SOUS PRESSION

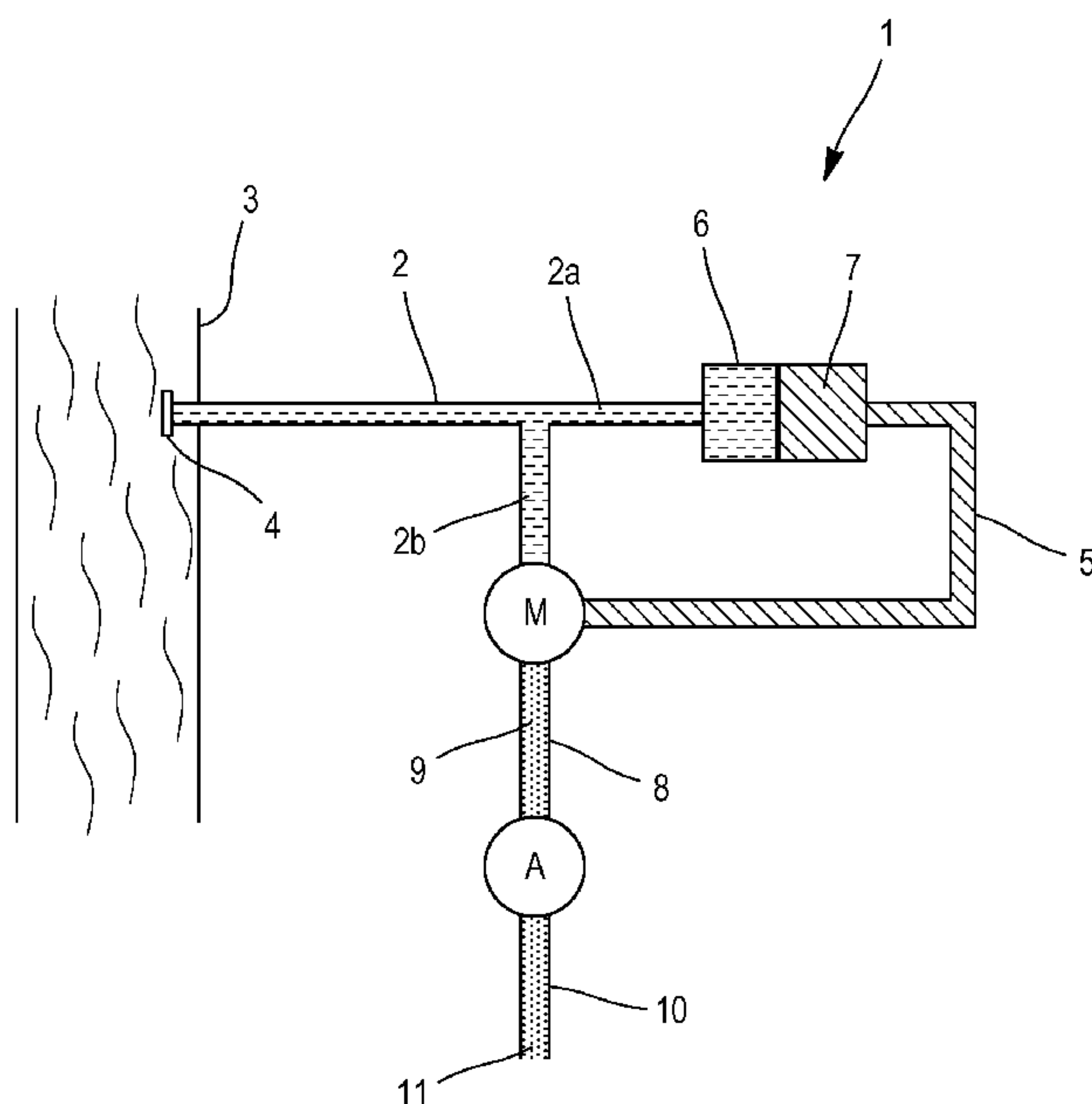


FIG. 1

(57) Abstract : The invention relates to a microfluidic sensor for analyzing a fluid which is in a pipe (3) and which is under a first pressure. Said sensor includes a mixer (M) for mixing amount of fluid from the pipe (3) with at least one amount of a reactant (7) from at least one tank (6), and an analyzer (A) for analyzing the resulting mixture. Said sensor further includes a sampling channel (2) for sampling an amount of the fluid in the pipe, in order to supply the fluid the mixer and to pressurize said at least one tank. According to the invention, an outlet (11) of the analyzer (A) is subjected to a second pressure that is lower than the first pressure in the pipe, such that the fluid passively moves from the pipe towards the analyzer via the mixer, as well as towards the tank (6).

(57) Abrégé : L'invention concerne un capteur microfluidique pour analyser un fluide présent dans un conduit (3) sous une première pression. Ce capteur comprend un mélangeur (M) pour mélanger une quantité de fluide provenant du conduit (3) avec au moins une quantité de réactif (7) provenant d'au moins un réservoir (6), et un

[Suite sur la page suivante]

WO 2013/054014 A1

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

— relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv))

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

analyseur (A) pour analyser le mélange ainsi constitué. Ce capteur comprend en outre un canal (2) de prélèvement pour prélever une quantité de fluide dans le conduit, pour alimenter le mélangeur et pour mettre sous pression ledit au moins un réservoir. Selon l'invention, un orifice de sortie (11) de l'analyseur (A) est soumis à une seconde pression inférieure à la première pression dans le conduit, de sorte que le fluide transite de manière passive depuis le conduit, d'une part vers l'analyseur via le mélangeur, et d'autre part vers le réservoir (6).

" Dispositif microfluidique pour analyser un fluide sous pression."

La présente invention se rapporte à un capteur microfluidique pour
5 analyser un fluide présent dans un conduit sous pression.

Elle trouve une application particulièrement intéressante dans le
domaine de la surveillance et de l'analyse en continu de la qualité d'eau
potable dans des réseaux de distribution, dans des usines de traitement de
l'eau ou dans des machines ou instruments utilisés pour le traitement et la
10 purification de l'eau. Mais la présente invention est d'un cadre plus large
puisque'elle peut s'appliquer à la mesure de différents paramètres physiques
ou électro-chimiques d'un fluide présent dans un conduit sous pression.

Le contrôle de la qualité de l'eau en ligne est devenu un aspect très
15 important tant pour la sécurité que pour des raisons de santé, et des efforts
multiples sont dirigés dans le sens de la création d'appareils qui peuvent
fournir des accès en temps réel à des données sur la qualité de l'eau.
L'industrie de l'eau est généralement soumise à des pressions de coûts: des
dispositifs de contrôle doivent être relativement peu coûteux à fabriquer, leur
20 entretien ne doit pas impliquer des tâches trop intenses pour le personnel, et
doit être réduit au minimum. Naturellement on privilégie des solutions de
capteurs qui peuvent être surveillés à moindre coût, de préférence en
utilisant des technologies sans fil à distance. La maintenance devant
s'effectuer à des moments espacés, les capteurs doivent donc être
25 autonomes pendant de longues périodes de temps, ce qui réduit
automatiquement le nombre de technologies de détection disponibles.

Un aspect critique du contrôle en ligne de la qualité de l'eau implique
des mesures de concentration de chlore. Le chlore est utilisé partout dans le
30 monde comme un purificateur d'eau et un désinfectant pour prévenir la
propagation de maladies hydriques, et son contrôle à la fois dans les usines
de traitement d'eau et à différents points dans le réseau de distribution d'eau
est très important pour s'assurer, d'une part, que l'eau délivrée a une qualité
élevée et constante, et, d'autre part, d'être capable de détecter les sources
35 possibles de contamination du réseau d'eau. La concentration de chlore, tout
en étant reconnu comme le paramètre de qualité de l'eau le plus pertinent,

n'est pas contrôlée en utilisant les mêmes méthodes partout. En particulier, il y a des pays où la réglementation exige que la teneur en chlore total soit contrôlée - ce qui inclut à la fois le chlore libre et le chlore qui a déjà réagi avec les composés organiques dans une réaction d'oxydation, et il y a des pays où seul la teneur en chlore libre (ou disponible) doit être signalée. Un capteur pour le contrôle en ligne de la concentration de chlore a par conséquent besoin de détecter les deux types de chlore s'il doit être déployé dans le monde entier.

On connaît le document US7799278 décrivant un capteur comprenant un boîtier submersible et un substrat en partie à l'extérieur du boîtier pour récupérer le fluide à analyser et le transférer vers un moyen d'analyse qui se trouve à l'intérieur du boîtier. Dans ce document US7799278, le boîtier est complètement plongé dans le fluide à mesurer. Au moins un réactif est à la même pression que le fluide à analyser. Dans un cas, une pompe est prévue pour faire circuler le fluide du substrat vers le boîtier. Les orifices d'entrée et de sortie sont à la même pression. Le système proposé dans ce document US7799278 est encombrant, reste très invasif et implique de nombreuses contraintes d'étanchéité puisqu'il est complètement submersible.

20

La présente invention a pour but un capteur microfluidique doté d'une grande autonomie.

Un autre but de l'invention est un capteur microfluidique économe en consommation de réactif.

L'invention a encore pour but un capteur peu invasif avec un haut niveau de sûreté.

On atteint au moins l'un des objectifs précités avec un dispositif microfluidique pour analyser un fluide présent dans un conduit sous une première pression. Ce dispositif comprend :

- un mélangeur pour mélanger une quantité de fluide provenant du conduit avec au moins une quantité de réactif provenant d'au moins un réservoir, et
- un analyseur pour analyser le mélange ainsi constitué.

Ce dispositif comprend en outre un canal de prélèvement pour prélever une quantité de fluide dans le conduit, pour alimenter le mélangeur et pour

mettre sous pression ledit au moins un réservoir. Avantageusement, un orifice de sortie de l'analyseur est soumis à une seconde pression inférieure à la première pression dans le conduit, de sorte que le fluide transite de manière passive depuis le conduit, d'une part vers l'analyseur via le
5 mélangeur, et d'autre part vers ledit au moins un réservoir.

Le dispositif selon l'invention peut constituer un capteur dans lequel on évite l'utilisation de pompe pour véhiculer le fluide. On se sert avantageusement de la différence de pression entre la pression dans le conduit et la pression de l'orifice de sortie pour que le fluide soit « aspiré »
10 naturellement depuis le conduit vers l'analyseur. On peut ainsi dire que le dispositif est passif. Il consomme peu d'énergie, ce qui permet un fonctionnement autonome in situ sur une longue période. Le dispositif peut être alimenté en courant via le secteur ou de préférence au moyen d'une batterie interne reliée au moins à l'analyseur et à d'autres organes à
15 commander comme des vannes.

En particulier, un tel dispositif microfluidique comporte un réservoir de réactif chimique miniaturisé. Cela permet à la fois de faire une mesure fiable utilisant peu de réactif chimique et ne nécessitant pas de maintenance coûteuse. Ce dispositif peut ainsi être déployé dans des endroits lointains
20 pour effectuer une mesure en continu du chlore par exemple, ou d'un autre paramètre chimique. En utilisant la pression du système comme source de pression pour pousser le fluide dans les microcanaux, le capteur proposé permet de réaliser une configuration qui est intrinsèquement sûre : il n'y a pas de possibilité de contamination du réseau d'eau notamment avec les
25 réactifs chimiques. En effet, le conduit selon l'invention peut être un conduit du réseau de distribution d'eau potable par exemple qui est sous pression, le déplacement du fluide dans le capteur se fait grâce à la différence de pression entre le milieu à surveiller et l'extérieur au conduit. Ce milieu extérieur au conduit peut avantageusement être l'atmosphère ambiant ; la dite seconde
30 pression étant alors la pression atmosphérique. Cette configuration assure le fait que le réactif chimique ne peut pas pénétrer dans le conduit d'eau et confère ainsi une sûreté intrinsèque au capteur.

Le capteur selon l'invention est en outre remarquable par le fait qu'on peut utiliser un unique canal de prélèvement pour alimenter à la fois le
35 réservoir de réactif et le mélangeur. Ainsi, ces deux composants (réservoir de réactif et mélangeur) sont soumis à une même source de pression.

Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, le canal véhiculant le fluide vers le mélangeur et le canal véhiculant le réactif du réservoir vers le mélangeur, sont conformés, c'est-à-dire présentent une géométrie ou sont dimensionnés, de telle sorte que les proportions de
5 mélange entre le fluide et le réactif du réservoir sont prédéterminées.

Le dimensionnement des canaux permet notamment d'imposer un rapport de débit entre les canaux alimentant le mélangeur. On définit ainsi précisément la quantité de réactif à utiliser pour une quantité de fluide donnée.

10 Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, le dispositif selon l'invention comprend au moins une première vanne dans un canal du réservoir et une seconde vanne dans un canal de sortie menant vers l'orifice de sortie de l'analyseur. La première vanne est disposée dans la voie contenant le réservoir de réactif, en amont ou de préférence en aval de ce
15 réservoir c'est-à-dire dans le canal reliant le réservoir au reste du dispositif de réactif. Lorsque disposée en aval, la première vanne se trouve entre le réservoir et le mélangeur. Cette première vanne permet de bloquer l'alimentation du mélangeur en réactif. Dans ce cas, le fluide peut s'écouler depuis le conduit via le mélangeur jusque vers un orifice de sortie afin de
20 réaliser par exemple un rinçage sans réactif.

La seconde vanne, positionnée notamment en sortie du dispositif, permet de bloquer la circulation du fluide dans le dispositif qui reste sous pression.

Le dispositif selon l'invention peut en outre comprendre, en
25 complément ou indépendamment de la première et de la seconde vanne, une troisième vanne dans le conduit de prélèvement pour également contrôler le flux dans le conduit de prélèvement. Cette troisième vanne permet par exemple d'éviter que le dispositif reste constamment sous la pression du conduit.

30 De préférence, l'analyseur est une cellule optique. D'autres types d'analyseurs peuvent être utilisés à la place ou en complément de la cellule optique.

On peut utiliser en outre un débitmètre, un capteur électrochimique, un capteur mécanique de type MEMS (« microelectromechanical system »), un
35 capteur de conductivité disposé par exemple sur le canal de prélèvement, ou tout autre type de capteur ou système de mesure pour le liquide en question.

En utilisant une cellule optique comme analyseur, on utilise le capteur microfluidique décrit dans la présente invention selon le principe d'une réaction chimique en particulier pour la mesure du chlore. Le fluide, tel que l'eau par exemple, est mélangé avec le réactif chimique tel que par exemple le diéthyl-p-phénylènediamin ou DPD, et subit un changement de couleur dont l'intensité est liée à la concentration de chlore dans l'eau. En réalisant une mesure d'absorption optique dans un micro module optique, à une longueur d'onde correspondant au maximum d'absorption du DPD, on calcule une densité optique du mélange et on en déduit la concentration du chlore. Des réactifs existent pour la mesure du chlore total ou juste du chlore libre. Des réactifs existent pour la mesure d'autres paramètres chimiques, comme le pH, le contenu ionique,... Le capteur selon l'invention ne se limite donc nullement à la mesure du chlore et peut aisément être adapté par l'homme du métier pour la mesure d'autres paramètres chimiques en adaptant, remplaçant ou complétant la cellule optique et les réactifs utilisés.

La mesure du paramètre chimique peut se faire de façon continue ou par mesures ponctuelles, chaque mesure ponctuelle faisant intervenir une gestion intelligente des vannes pour alimenter l'analyseur, réaliser la mesure, rincer et passer en mode de repos où le fluide ne circule plus.

Selon un mode de réalisation de l'invention, la cellule optique peut comprendre au moins :

- une source de lumière filtrée,
- une cavité optique formée à partir d'un matériau transparent et véhiculant le mélange, comme par exemple une cavité rectangulaire, un canal transparent, un serpentin, ou une cavité d'autre forme permettant à la lumière de traverser une épaisseur connue de liquide, et
- un détecteur large bande.

Selon un autre mode de réalisation, la cellule optique peut comprendre au moins :

- une source de lumière filtrée,
- des moyens pour guider la lumière depuis la source vers une cavité optique d'une puce microfluidique (comme par exemple une cavité rectangulaire, un canal transparent, un serpentin, ou une cavité d'autre forme permettant à la lumière de traverser une épaisseur connue de liquide), cette cavité contenant le mélange,
- un détecteur large bande, et

- des moyens pour guider la lumière depuis la puce microfluidique vers le détecteur large bande.

Dans ce cas, les moyens pour guider la lumière peuvent comprendre l'un ou une combinaison des éléments suivants :

- 5 - fibre optique,
- guide d'onde obtenu par microfabrication, et
- guide d'onde liquide.

Selon un autre mode de réalisation, la cellule optique peut comprendre au moins :

- 10 - une source de lumière large bande,
- une cavité optique (par exemple une cavité rectangulaire, un canal transparent, un serpentin, ou une cavité d'autre forme permettant à la lumière de traverser une épaisseur connue de liquide) formé à partir d'un matériau transparent et véhiculant le mélange, et
- 15 - un détecteur associé à un filtre donné.

On peut ainsi disposer plusieurs détecteurs associés chacun à un filtre donné pour la détection d'un paramètre donné.

Selon encore un autre mode de réalisation, la cellule optique peut comprendre au moins :

- 20 - une source de lumière large bande,
- une cavité optique (par exemple une cavité rectangulaire, un canal transparent, un serpentin, ou une cavité d'autre forme permettant à la lumière de traverser une épaisseur connue de liquide) formé à partir d'un matériau transparent et véhiculant le mélange,
- 25 - un monochromateur, et
- un détecteur large bande.

Dans ce cas, le monochromateur permet de sélectionner une longueur d'onde spécifique pour la mesure d'un paramètre donné. Ce monochromateur peut être, par exemple non limitatif, un réseau de diffraction, et/ou une roue
30 à filtres.

Avec le dispositif selon l'invention, on peut avantageusement implémenter plusieurs réservoirs de réactifs associés ou non à des vannes de façon à sélectionner une ou une combinaison de réactifs. Chaque canal contenant un réservoir peut être dimensionné de façon spécifique pour
35 imposer un débit donné. Lorsque le dispositif comporte plusieurs réservoirs, ils peuvent être disposés en parallèle.

Selon un mode de réalisation de l'invention, ledit au moins un réservoir de réactif est de type piston. Dans ce cas, le réactif est poussé par le piston qui est lui-même poussé par le fluide provenant directement du canal de prélèvement.

5 Selon un mode de réalisation de l'invention, ledit au moins un réservoir de réactif est de type membrane souple, ou de type sachet souple. De la même manière que précédemment, le réactif est provisionné en fonction de la pression exercée par le fluide provenant du canal de prélèvement.

De préférence, le mélangeur est un micro-mélangeur passif de sorte
10 qu'il n'est pas alimenté en courant et donc ne consomme pas d'énergie. Plusieurs exemples de tels micro-mélangeurs existent, par exemple ceux cités dans les références suivantes: P.-A. Auroux et al. Anal. Chem. 74, p. 2637 (2002) ou West, Becker, Tombrink and Manz, Anal. Chem. 80, 4403 (2008).

Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, le dispositif peut
15 comprendre en outre un réservoir de décharge situé à un orifice de sortie de l'analyseur. Avec l'utilisation des procédés de micro-fabrication, le capteur microfluidique selon l'invention peut comporter au moins un réservoir de réactifs miniaturisé. On utilise ainsi des doses infimes (pouvant aller de quelques nl à une fraction de microlitre) de réactifs chimiques à chaque
20 mesure, ce qui procure au capteur une autonomie importante, et réduit les coûts dus à la consommation de réactifs chimiques. En outre, avec l'utilisation de quantités infimes de réactifs et d'échantillons, le problème d'évacuation du fluide prélevé lors d'une mesure est minimisé : des mesures peuvent se faire pendant des années avec un réservoir de décharge de taille
25 relativement modeste.

De préférence, le canal de prélèvement comporte une extrémité insérée dans le conduit de manière étanche, le reste du dispositif étant disposé à l'extérieur du conduit. Cette extrémité présente un orifice qui aspire le fluide sous pression. Avantageusement, un filtre sous forme d'une grille par
30 exemple est disposé à cet orifice pour empêcher que des impuretés viennent obstruer le canal de prélèvement ou le reste du capteur.

Bien entendu, les différentes caractéristiques, formes et variantes de réalisation de l'invention peuvent être associées les unes avec les autres selon diverses combinaisons dans la mesure où elles ne sont pas incompatibles ou
35 exclusives les unes des autres.

D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée d'un mode de mise en œuvre nullement limitatif, et des dessins annexés, sur lesquels :

5 La figure 1 est une vue schématique illustrant le principe de base d'un capteur microfluidique selon l'invention ;

 La figure 2 est une vue schématique illustrant un capteur microfluidique selon l'invention faisant apparaître un module électronique
10 pour le contrôle de différents composants électroniques ;

 La figure 3 est une vue schématique illustrant un analyseur optique utilisé dans le capteur microfluidique selon l'invention.

15 Bien que l'invention n'y soit pas limitée, on va maintenant décrire un capteur microfluidique pour la surveillance de la qualité de l'eau. Pour ce faire, on prélève de manière passive un échantillon d'eau depuis un conduit sous pression. On mélange ensuite cet échantillon d'eau avec une infime quantité de réactif chimique, le mélange est ensuite envoyé vers un analyseur
20 optique pour la détection du chlore par exemple. Le cheminement du fluide est dit passif car ce fluide circule entre un conduit sous pression jusqu'à un orifice de sortie soumis à une pression inférieure à celle du conduit, sans utilisation de pompe; typiquement en sortie il s'agit de la pression atmosphérique.

25

 Un capteur microfluidique peut comprendre des canaux sub-millimétriques, avec des diamètres allant typiquement de 10 à 100 micromètres. Un tel capteur peut intégrer différents types d'actionneurs et de capteurs de façon à créer des systèmes complexes de détection et de
30 manipulation fluide (Thorsen et al., Science 298, 580 (2002), Psaltis et al., Nature, 442, 381 (2006)). Des systèmes microfluidiques ont été récemment utilisés dans une variété d'applications, notamment la biotechnologie, la pharmacie et la chimie analytique (Stone and Kim, AIChE Journal, vol 47, 6, 1250 (2001), Ohno Tachikawa and Manz, Electrophoresis vol 29, p. 4443
35 (2008), West, Becker, Tombrink and Manz, Anal. Chem. 80, 4403 (2008)).

Sur la figure 1 on voit un capteur microfluidique 1 connecté à un conduit 3 dans lequel circule de l'eau sous une pression de 5 bars par exemple. De façon générale, il s'agit d'un conduit alimentant des habitations en eau potable. La mise sous pression de cette eau permet une distribution naturelle dans les foyers.

Le capteur microfluidique 1 comprend un canal de prélèvement 2 dans lequel circule l'eau provenant du conduit 3. Dans l'exemple illustré sur la figure 1, on distingue un unique canal de prélèvement 2 ayant une première extrémité insérée de façon étanche à travers la paroi à l'intérieur du conduit 3. L'eau prélevée est filtrée au moyen d'un filtre 4 avant de pénétrer dans le capteur microfluidique, ce filtre étant sous forme de grille ou de membrane poreuse, disposé sur l'orifice à la première extrémité du canal de prélèvement 2. Cela permet de ne pas boucher les canaux microfluidiques.

Ce canal de prélèvement 2 alimente ensuite directement en parallèle un mélangeur passif M et un réservoir 6. Pour ce faire, le canal 2 comporte deux bras, un premier bras 2b alimentant le mélangeur passif M, le second bras 2a alimentant le réservoir 6.

Le réservoir 6 est un réservoir renfermant un réactif chimique 7 tel que le DPD pour la détection du chlore. Ce réservoir comprend un piston ou une membrane souple ou encore un sac scellé subissant la pression de l'eau provenant du canal de prélèvement 2. Avec le capteur microfluidique selon l'invention, le réservoir contenant le réactif chimique 7 et le mélangeur passif M subissent une pression dont la source est unique : le conduit 3.

L'eau et le réactif chimique 7 sont combinés au sein du mélangeur passif M. L'eau pour le mélange est directement amenée par le canal de prélèvement 2 et le bras 2b, tandis que le réactif chimique est amené par un canal 5 disposé entre le réservoir et le mélangeur M. Ce mélangeur passif M est une structure qui assure le mélange des différentes entrées de fluide, résultant en un fluide bien mélangé à la sortie. La concentration du réactif chimique 7 peut être contrôlée à l'aide de constriction hydrauliques réalisées dans les canaux 2b et 5, respectivement. La viscosité du fluide et la résistance hydrodynamique imposée par ces constriction définissent le débit des fluides respectifs via les canaux 2b et 5 emmenant respectivement l'eau et le réactif chimique dans le mélangeur M, le canal 2b étant une branche du canal 2 alimentant directement le mélangeur M. La concentration requise du réactif chimique peut donc être imposée et contrôlée par le design des

- 10 -

canaux. Ces constriction consistent à définir la géométrie des canaux 2b et 5 de telle sorte que le rapport entre la proportion d'eau et la proportion de réactif utilisé lors d'une mesure est prédéterminé. Ces constriction peuvent également être implémentées à l'intérieur du mélangeur M. La sortie du

5 mélangeur M est reliée à un canal 8 véhiculant le mélange 9 qui est le fluide issu du mélange entre l'eau et le réactif chimique 7 dans le mélangeur. Ce mélange 9 pénètre ensuite un analyseur A prévu pour détecter notamment la présence de chlore ou d'un autre produit chimique. Cela peut se faire, par exemple, par une mesure colorimétrique ou spectroscopique. Il est possible

10 que le mélangeur M et l'analyseur A soient réalisés sur le même substrat microfluidique, ou sur la même puce.

Avec le capteur microfluidique tel qu'illustré sur la figure 1, il est possible de réaliser des mesures en continu in situ de façon manuelle ou automatisée.

15 La sortie de l'analyseur A est reliée à un conduit 10 dont l'orifice de sortie 11 est à la pression atmosphérique, c'est-à-dire une pression inférieure à celle présente dans le conduit. Cette différence de pression autorise une circulation passive (non poussée par des moyens actifs tels une pompe) depuis le canal de prélèvement 2 jusqu'à l'orifice de sortie 11. L'eau et/ou le

20 réactif chimique circulent dans les canaux 2, 2a, 2b, 5, 8 et 10. Ces canaux communiquent directement ou indirectement entre eux de telle sorte qu'il se crée une « chaîne » ou un gradient de pression entre le filtre 4 au sein du conduit et l'orifice de sortie 11.

25 Sur la figure 2, chaque élément déjà référencé sur la figure 1 et jouant un rôle identique dans les deux figures reprend la même référence. On distingue un capteur microfluidique comportant plus d'éléments que le capteur microfluidique représenté sur la figure 1. Le canal de prélèvement 2 alimente le mélangeur M et le réservoir 6, mais il alimente également

30 plusieurs autres réservoirs en parallèle du réservoir 6. On voit par exemple un réservoir 12 comportant par exemple un réactif chimique qui peut être identique ou différent du réactif chimique 7. Le canal de prélèvement 2 comporte un bras supplémentaire 15 pour véhiculer l'eau depuis le conduit 3 vers le réservoir 12. Ce dernier est ensuite connecté au mélangeur M via un

35 canal 16, qui peut contenir des constriction qui servent à limiter et/ou contrôler le débit de réactif chimique entre le réservoir 12 et le mélangeur M.

- 11 -

De la même manière que le réservoir 6, le réservoir 12 est également sous pression via le canal de prélèvement 2. On peut également prévoir d'autres réservoirs tels le réservoir 13 sur la figure 2 également alimenté en eau via le canal de prélèvement 2. Ce réservoir 13 peut contenir un agent de nettoyage tel qu'un acide par exemple. Cet acide peut servir à un nettoyage des canaux entre le mélangeur et l'analyseur jusqu'à l'orifice de sortie 11. On peut avoir également une multitude de réservoirs 13 disposés en parallèle, qui alimentent le mélangeur M de manière indépendante.

Les deux réservoirs représentés 12 et 13 sont connectés de façon indépendante au mélangeur M, la pression de ces réservoirs étant établie par le canal 15 lié directement au conduit 2. Par contre, on peut prévoir un autre réservoir 14 alimenté directement par le canal de prélèvement 2 et disposé en parallèle du réservoir 6, mais n'alimentant pas indépendamment (de façon autonome) le mélangeur M. Dans ce mode de réalisation, le réservoir 14 alimente le conduit 5 disposé entre le réservoir 6 et le mélangeur M. Le réservoir 14 peut contenir un réactif chimique identique ou différent du réactif chimique 7 contenu dans le réservoir 6. On peut avoir également une multitude de réservoirs 6 disposés en parallèle, qui alimentent le mélangeur M à travers un même conduit 5.

Les réservoirs additionnels 12, 13 et 14 sont optionnels et peuvent être envisagés de façon individuelle ou en combinaison les uns avec les autres. Les canaux reliant ces réservoirs au mélangeur M peuvent également être dimensionnés de façon à prédéterminer les proportions de mélange.

Selon un autre mode de réalisation avantageux de l'invention, on prévoit une mise sous pression indépendante en fluide du conduit d'un ou plusieurs réservoirs additionnels 12, 13 ou 14. Pour ce faire, une mise sous pression indépendante consiste à connecter directement le réservoir additionnel au conduit 3 au moyen d'un autre canal de prélèvement différent du canal de prélèvement 2. Par exemple, le réservoir 12 et/ou le réservoir 13 peuvent être directement alimentés, de façon indépendante, par le conduit 3 comme représenté par les canaux 27 et 28 en pointillés sur la figure 2. Les deux réservoirs 12 et 13 sont donc connectés de façon indépendante au mélangeur M, la pression de ces réservoirs étant établie directement par le conduit 3.

On distingue sur la figure 2 un réservoir optionnel de décharge 17 dans lequel est déversé le mélange utilisé pour la détection du chlore. Ce réservoir

de décharge recueille également un éventuel fluide utilisé pour le nettoyage des canaux. En raison de la nature microfluidique du capteur selon l'invention, les volumes de réactifs et d'échantillon d'eau sont très faibles, et le fonctionnement autonome peut ainsi être assuré pour de longues périodes.

5 Le dispositif de la figure 2 est idéal pour un fonctionnement autonome et automatique. On distingue un module de gestion 18 comprenant une alimentation sous forme de batterie B notamment (optionnellement, le module de gestion peut être alimenté par une source d'énergie électrique externe) et une unité de traitement U équipée de moyens matériels et
10 logiciels configurés pour commander différents composants électromécaniques du capteur microfluidique. Ces moyens logiciels et matériels peuvent comprendre un microprocesseur et/ou un microcontrôleur. En particulier le module de gestion 18 contrôle l'analyseur optique A ainsi que des micro vannes (ou micro valves) 19, 20 et 21 disposées respectivement
15 sur les canaux entre le mélangeur M et les réservoirs 6, 12 et 13. Une micro vanne 22 est également disposée sur le canal de sortie 10.

Une mesure peut être réalisée de la manière suivante. On ouvre les vannes 19 et 22 de sorte que l'eau provenant du conduit via le canal de prélèvement 2 alimente le réservoir 6 qui pousse le réactif 7 vers le
20 mélangeur M. L'eau pénètre également dans le mélangeur M directement via le canal de prélèvement 2b. Le mélange ainsi réalisé alimente l'analyseur A. On peut ensuite refermer la vanne 22 de façon à réaliser une mesure statique, ce fonctionnement convenant aux réactifs chimiques nécessitant un temps plus long de réaction. Si la vanne 22 reste ouverte, on réalise alors
25 une mesure alors que le mélange circule dans l'analyseur A. A la fin de la mesure, on peut refermer les vannes 19 et 22 en attente d'une mesure ultérieure. On peut également prévoir un nettoyage du mélangeur M à la fin de la mesure ou à un autre moment. Pour ce faire, on ouvre la vanne 22 si elle était fermée ou on la maintient ouverte si elle était ouverte, tout en
30 fermant la vanne 19. Dans ce cas, l'eau circule depuis le canal de prélèvement 2 jusqu'à l'orifice de sortie 11 via le mélangeur M et l'analyseur A. On laisse couler suffisamment longtemps pour que tout le résidu du réactif utilisé précédemment s'évacue. On ferme ensuite la vanne 22 pour revenir à un état initial.

35 Pendant la mesure, on peut éventuellement ouvrir la vanne 20 pour ajouter un autre réactif.

Pendant le nettoyage, on peut éventuellement ouvrir la vanne 21 pour introduire un agent de nettoyage.

On peut également prévoir une vanne (non représentée) disposée sur le canal de prélèvement 2 dans un des bras alimentant directement le
5 mélangeur M ou l'un des réservoirs en eau.

Lorsqu'une mesure est réalisée, le résultat peut être sauvegardé en interne au sein du module de gestion 18 et/ou transmis par liaison filaire et/ou sans fil à un récepteur distant non représenté. L'unité de traitement U intègre donc des moyens de communications à distance. Le connecteur 23
10 peut comprendre une antenne pour une communication sans fil et/ou un connecteur à contact permettant de transférer des données à un appareil externe.

Sur la figure 3, on distingue un analyseur optique constitué par une
15 source de lumière 24, un serpentin 25 rempli du mélange issu du mélangeur M et un détecteur optique 26. Le serpentin 25 est avantageusement réalisé dans la continuité du micro canal 8. Au lieu du serpentin 25 on peut imaginer toute autre cavité optique, de forme rectangulaire par exemple. La source de lumière et le détecteur peuvent comprendre des filtres optiques qui limitent le
20 spectre de la lumière transmise à certaines zones d'intérêt du spectre optique. Typiquement, ces filtres optiques limitent la longueur d'onde de lumière à des longueurs d'onde où le réactif chimique (DPD pour chlore par exemple) absorbe le plus. D'autres filtres optiques peuvent être utilisés pour des mesures de référence à des longueurs d'onde différentes. Ces mesures
25 de référence peuvent servir à éliminer la dégradation de réponse du capteur due à des changements possibles dans le chemin optique, ou à la diffusion de la lumière par des bulles et/ou des particules.

L'analyseur optique peut également comprendre d'autres éléments optiques, tels que des lentilles qui permettent une bonne collimation de la
30 lumière provenant de la source de lumière. Des sources de lumière typiques produisent un cône de lumière. Chaque fois qu'un tel cône de lumière traverse une structure étroite telle un micro-canal, la plupart de la lumière frappe les parois et est diffusée ou absorbée. Des éléments optiques peuvent être utilisés pour assurer que la lumière traverse effectivement la partie du
35 canal contenant le fluide à mesurer. Ces éléments optiques (comme par exemple non limitatif des lentilles, des diaphragmes, des réseaux de

diffraction, des miroirs de type Bragg) peuvent être construits directement sur puce, en utilisant des techniques de microfabrication, ou peuvent comprendre des éléments extérieurs tels que des lentilles boules, des fibres à lentille, des réseaux de diffraction...

5

Le capteur microfluidique selon l'invention peut également comprendre d'autres types d'analyseurs pour effectuer des mesures sur l'échantillon d'eau. Celles-ci peuvent comprendre à titre d'exemple non limitatif des mesures de conductivité électrique, des mesures ampérométriques...

10 Les avantages du capteur microfluidique selon l'invention sont nombreux, on peut notamment citer :

- taille réduite,
- mesure fiable et normalisée,
- faible consommation de réactifs, coût d'utilisation réduit et très grande
- 15 autonomie,
- maintenance limitée,
- coût d'étalonnage faible car la mesure est normalisée,
- peut être déployé dans des endroits éloignés pour effectuer en toute autonomie des mesures chimiques en continu sur de très longues
- 20 périodes, et
- configuration intrinsèquement sûre.

Bien sûr, l'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits et de nombreux aménagements peuvent être apportés à ces exemples

25 sans sortir du cadre de l'invention.

REVENDICATIONS

1. Un capteur pour analyser un fluide présent dans un conduit sous une première pression, comprenant :

- un mélangeur (M) pour mélanger une quantité de fluide provenant du conduit (3) avec au moins une quantité de réactif provenant d'au moins un réservoir,

- un analyseur pour analyser le mélange ainsi constitué, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un canal de prélèvement pour prélever une quantité de fluide dans le conduit, pour alimenter le mélangeur et pour mettre sous pression ledit au moins un réservoir qui pousse le réactif vers le mélangeur;

et en ce qu'un orifice de sortie de l'analyseur est soumis à une seconde pression inférieure à la première pression dans le conduit, de sorte que le fluide transite de manière passive depuis le conduit, d'une part vers l'analyseur via le mélangeur, et d'autre part vers ledit au moins un réservoir; le réservoir contenant le réactif et le mélangeur subissent une pression dont la source est unique, cette source étant le conduit.

2. Capteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que le canal véhiculant le fluide vers le mélangeur et le canal véhiculant le réactif du réservoir vers le mélangeur, sont conformés de telle sorte que les proportions de mélange entre le fluide et le réactif du réservoir sont prédéterminées.

3. Capteur selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il comprend au moins une première vanne dans un canal du réservoir et une seconde vanne dans un canal de sortie menant vers l'orifice de sortie de l'analyseur.

4. Capteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une troisième vanne dans le conduit de prélèvement pour contrôler le flux dans le conduit de prélèvement.

5. Capteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que l'analyseur est une cellule optique.
6. Capteur selon la revendication 5, caractérisé en ce que la cellule optique comprend au moins une source de lumière filtrée, une cavité optique formée à partir d'un matériau transparent et véhiculant le mélange, et un détecteur large bande.
7. Capteur selon la revendication 5, caractérisé en ce que la cellule optique comprend au moins :
- une source de lumière filtrée,
 - des moyens pour guider la lumière depuis la source vers une cavité optique d'une puce microfluidique, cette cavité contenant le mélange,
 - un détecteur large bande, et
 - des moyens pour guider la lumière depuis la puce microfluidique vers le détecteur large bande.
8. Capteur selon la revendication 7, caractérisé en ce que les moyens pour guider la lumière comprennent l'un ou une combinaison des éléments suivants :
- fibre optique,
 - guide d'onde obtenu par microfabrication, et
 - guide d'onde liquide.
9. Capteur selon la revendication 5, caractérisé en ce que la cellule optique comprend au moins :
- une source de lumière large bande,
 - une cavité optique formée à partir d'un matériau transparent et véhiculant le mélange, et
 - un détecteur associé à un filtre donné.
10. Capteur selon la revendication 5, caractérisé en ce que la cellule optique comprend au moins :

- une source de lumière large bande,
- une cavité optique formée à partir d'un matériau transparent et véhiculant le mélange,
- un monochromateur, et
- un détecteur large bande.

11. Capteur selon la revendication 10, caractérisé en ce que le monochromateur est un réseau de diffraction et/ou une roue à filtres.
12. Capteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que ledit au moins un réservoir de réactif est de type piston.
13. Capteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que ledit au moins un réservoir de réactif est de type membrane souple.
14. Capteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que ledit au moins un réservoir de réactif est de type sachet souple de réactif.
15. Capteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, caractérisé en ce que le mélangeur est un micro-mélangeur passif.
16. Capteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 15, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un réservoir de décharge situé à un orifice de sortie de l'analyseur.
17. Capteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, caractérisé en ce que la seconde pression est à la pression atmosphérique.
18. Capteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 17, caractérisé en ce que le canal de prélèvement comporte une extrémité insérée dans le conduit de manière étanche, le reste du dispositif étant disposé à l'extérieur du conduit.

1 / 2

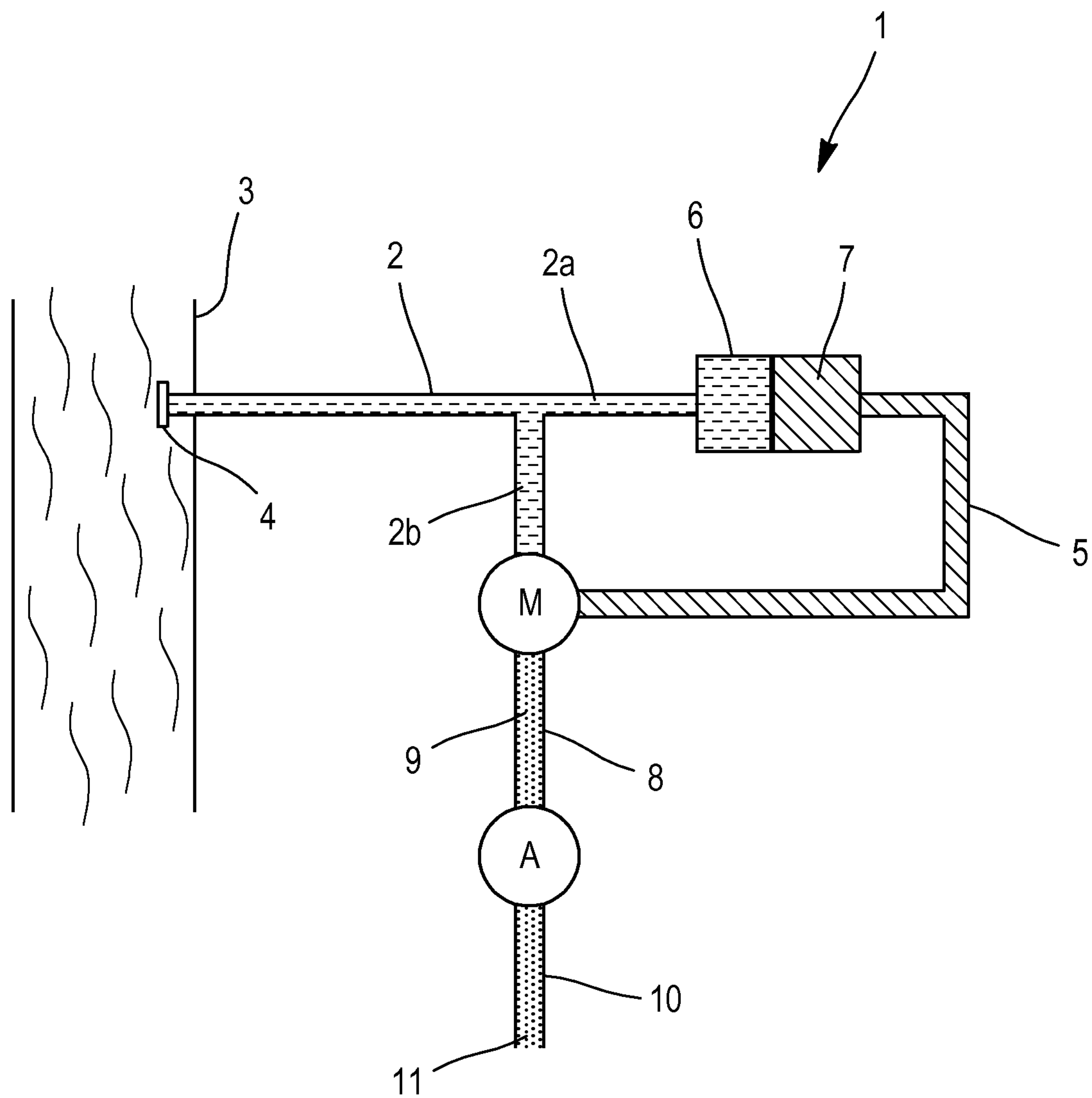


FIG. 1

2 / 2

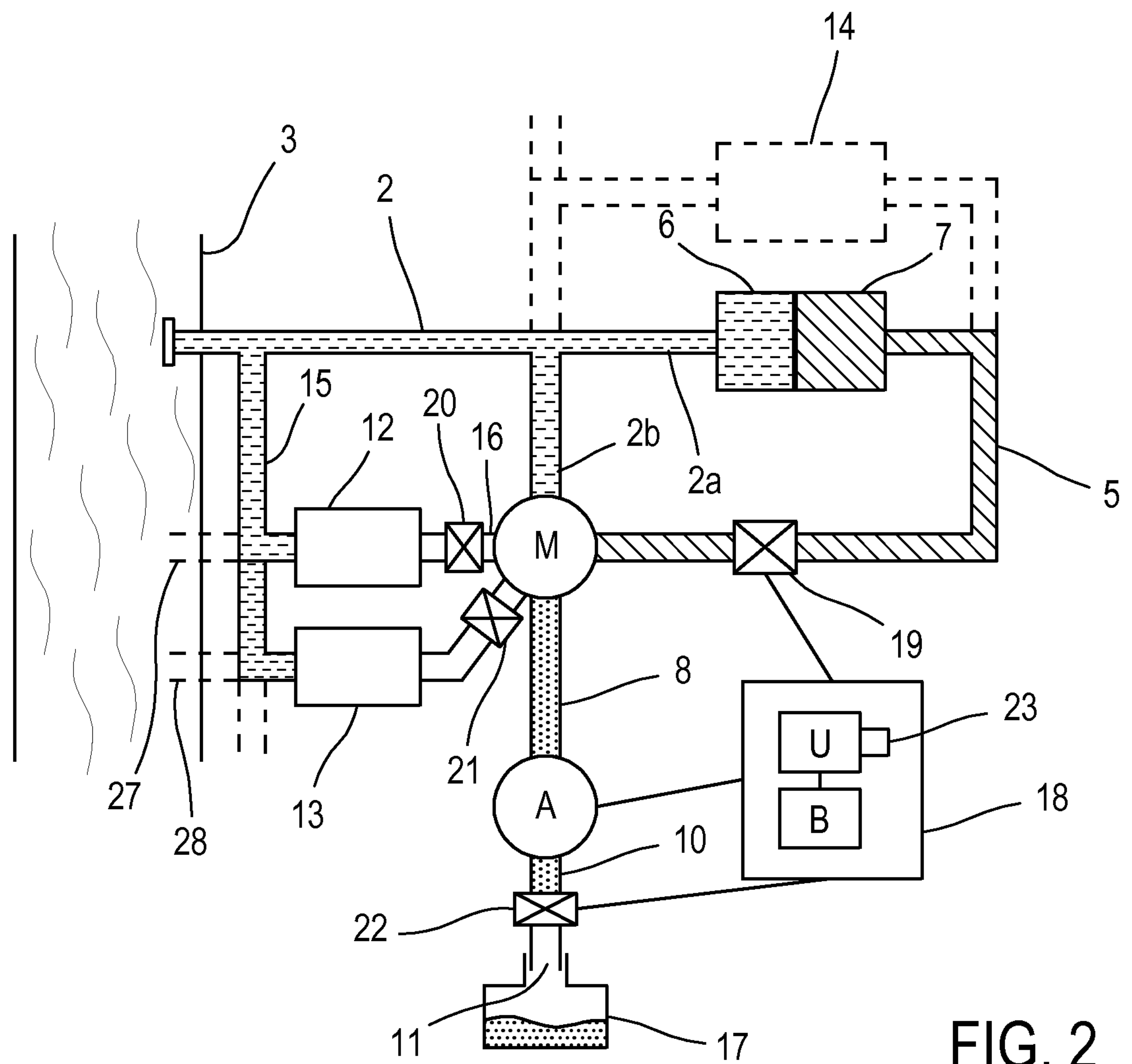


FIG. 2

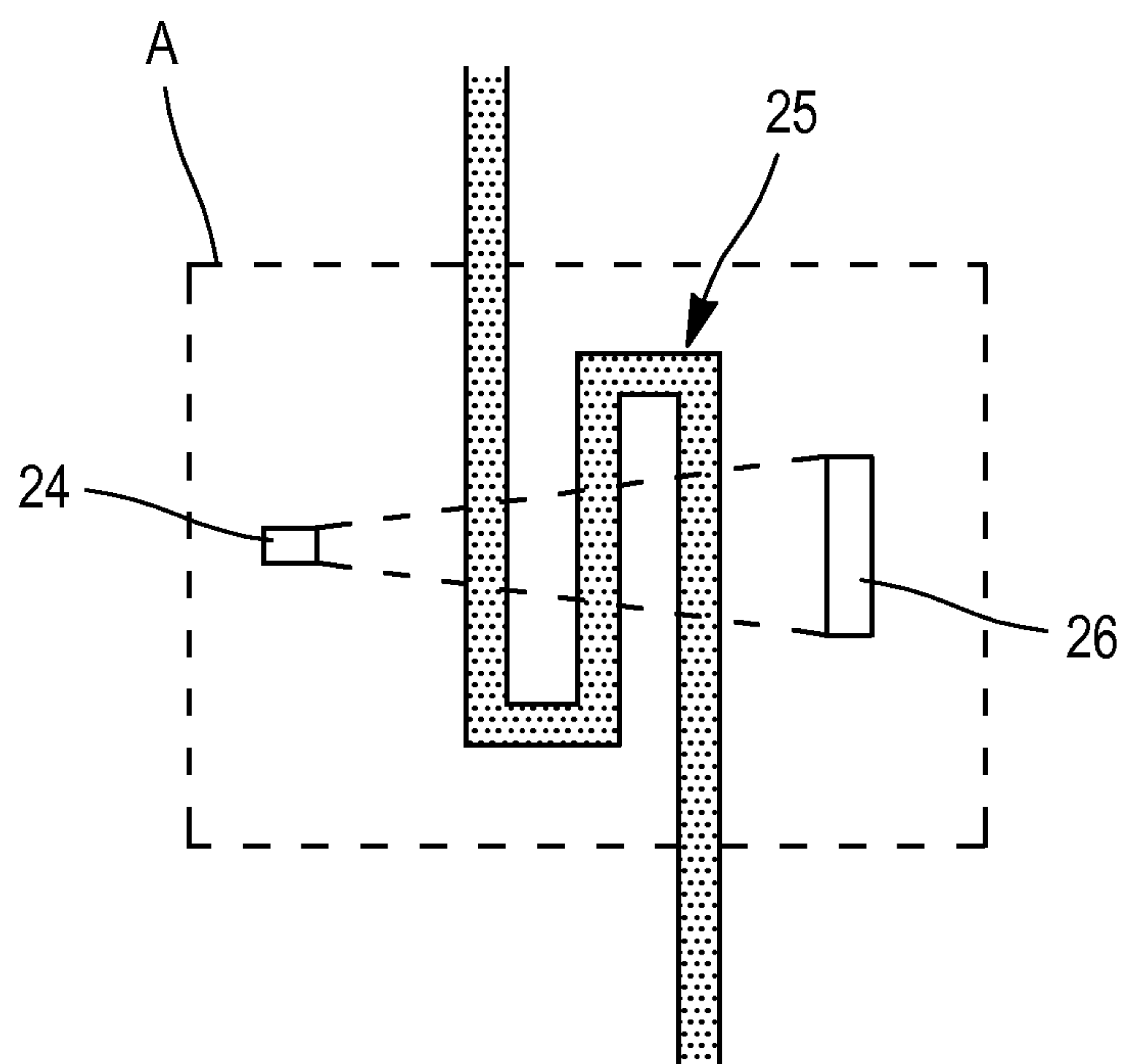


FIG. 3

