

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
9. April 2015 (09.04.2015)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/049301 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01N 15/02 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2014/071066

(22) Internationales Anmeldedatum:
1. Oktober 2014 (01.10.2014)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
A 50641/2013 4. Oktober 2013 (04.10.2013) AT

(71) Anmelder: TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN
[AT/AT]; Karlsplatz 13, A-1040 Wien (AT). AC2T
RESEARCH GMBH [AT/AT]; Viktor Kaplan-Strasse 2,
A-2700 Wiener Neustadt (AT).

(72) Erfinder: HAIDEN, Christoph; Kirchengasse 141, A-
2732 Würflach (AT). VELLEKOOP, Michael;
Schwachhauser Heerstrasse 355, 28211 Bremen (DE).
WOPELKA, Thomas; Pezzlgasse 28/21, A-1170 Wien
(AT). JECH, Martin; Hintzerstr. 9/11, A-1030 Wien
(AT).

(74) Anwalt: MARGOTTI, Herwig; Schwarz & Partner,
Wipplingerstrasse 30, A-1010 Wien (AT).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, 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, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
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.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

(54) Title: DEVICE FOR FRACTIONATING PARTICLES CONTAINED IN A LIQUID

(54) Bezeichnung : VORRICHTUNG ZUR FRAKTIONIERUNG VON IN EINER FLÜSSIGKEIT ENTHALTENEN
PARTIKELN

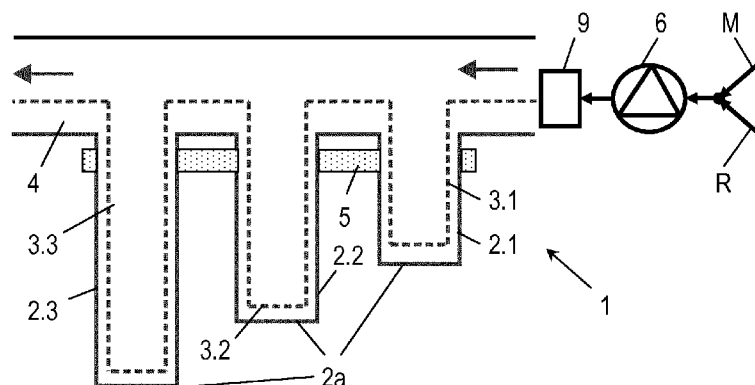


Fig. 1

(57) Abstract: A device (1) for fractionating particles (P) contained in a liquid (M) on the basis of the masses thereof comprises a plurality of cantilevers (2, 2.1, 2.2, 2.3), which are respectively mounted at one end and have a free end (2a), wherein each cantilever (2, 2.1, 2.2, 2.3) has a fluid channel (3, 3.1, 3.2, 3.3), in particular of a U shape, and the fluid channels of the cantilevers are arranged in series. The cantilevers (2, 2.1, 2.2, 2.3) can be made to vibrate by at least one vibration generator (5, 5', 5''). The centrifugal forces (Fcent) and/or frictional forces (Fdrag) exerted on the particle-charged liquid (M) flowing in the fluid channel as a result of the vibrations of the respective cantilever (2, 2.1, 2.2, 2.3) are set differently for each cantilever (2, 2.1, 2.2, 2.3).

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2015/049301 A1



Eine Vorrichtung (1) zur Fraktionierung von in einer Flüssigkeit (M) enthaltenen Partikeln (P) gemäß ihren Massen umfasst eine Mehrzahl von Cantilevern (2, 2.1, 2.2, 2.3), die jeweils einseitig gelagert sind und ein freies Ende (2a) aufweisen, wobei jeder Cantilever (2, 2.1, 2.2, 2.3) einen, insbesondere U-förmigen, Fluidkanal (3, 3.1, 3.2, 3.3) besitzt und die Fluidkanäle der Cantilever in Serie geschaltet sind. Die Cantilever (2, 2.1, 2.2, 2.3) sind durch zumindest einen Schwingungsgenerator (5, 5', 5'') in Schwingung versetzbar. Die durch die Schwingungen des jeweiligen Cantilever (2, 2.1, 2.2, 2.3) auf die im Fluidkanal strömende partikelbeladene Flüssigkeit (M) ausgeübten Fliehkräfte (F_{cent}) und/oder Reibungskräfte (F_{drag}) sind für jeden Cantilever (2, 2.1, 2.2, 2.3) unterschiedlich eingestellt.

Vorrichtung zur Fraktionierung von in einer Flüssigkeit enthaltenen Partikeln

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Fraktionierung von in einer Flüssigkeit enthaltenen Partikeln gemäß ihren Massen, umfassend eine Mehrzahl von Cantilevern, die jeweils einseitig gelagert sind und ein freies Ende aufweisen, wobei jeder Cantilever einen, insbesondere U-förmigen, Fluidkanal besitzt und die Fluidkanäle der Cantilever in Serie geschaltet sind, wobei die Cantilever durch zumindest einen Schwingungsgenerator in Schwingung versetzbar sind.

Unter dem Begriff Cantilever, wie hierin verwendet, sind einseitig gelagerte und auskragende Bauteile zu verstehen.

Die Erfindung dient zur Fraktionierung von kleinen Partikeln in verschiedene Größenklassen und gegebenenfalls zur Messung der Gesamtmasse der angesammelten Partikel, wobei die Partikel in einem flüssigen Medium vorliegen, welches kontinuierlich oder in diskreten Schritten durch die Fluidkanäle der Cantilever strömen gelassen wird. Die Erfindung ist generell anwendbar auf Partikel, die sich durch ihre höhere Dichte vom flüssigen Medium unterscheiden lassen. Das können beispielsweise metallische Verschleißpartikel oder auch andere anorganische oder organische Partikel, biologische Zellen, etc. sein. Als Medium kommt z.B. Wasser oder Motoröl in Frage.

Es sind sogenannte Coulter Counter Methoden zur Messung der Gegenwart von Partikeln in einem flüssigen Medium bekannt, die auf einer Änderung des elektrischen Widerstandes des Mediums bei Anwesenheit eines Partikels basieren. Diese Methoden sind aber nicht anwendbar, wenn das Medium schlecht oder gar nicht leitend ist, wie etwa Öl. Kleine Partikelgrößen ($<1\ \mu\text{m}$) würden außerdem eine sehr kleine Elektrodengeometrie zur Widerstandsmessung und damit unpraktikabel kleine Kanäle zur Durchströmung mit dem partikelbeladenen Medium erfordern.

Optische Messverfahren, wie Verdecken des Lichtweges durch Partikel zwischen z.B. einem Laser und einem Photodetektor, die an gegenüberliegenden Seiten eines Strömungspfades angeordnet sind, sind nur für Partikel $>1\ \mu\text{m}$ möglich und erfordern, dass die Flüssigkeit, in der die Partikel enthalten sind, in Ruhe und transparent ist. Gemäß der Erfindung soll eine solche Einschränkung aber vermieden werden.

Als brauchbar und sensitiv zur Detektierung der Masse einzelner Partikel in flüssigem Medium haben sich sogenannte Suspended Microchannel Resonators (SMR) erwiesen, das sind zur Schwingung angeregte, mikrofabrizierte Cantilever mit eingebetteten Kanälen. Partikel, die durch einen SMR fließen und dessen Spitze passieren, erzeugen eine kurzzeitige Veränderung der Schwingungsfrequenz, welche gemessen werden kann. Der grundlegende Aufbau und die Verwendung von SMRs sind beispielsweise in den Dokumenten WO 2008/045988 A1 und US 2010/288043A1 beschrieben. In letzterem Dokument ist auch erklärt, dass ein Partikel, welches gegen die Kanalwände oszilliert, dazu tendieren wird, in Richtung höherer Oszillationen, d.h. Richtung SMR-Spitze, zu gleiten und dass in Abhängigkeit von der Durchflussrate und der Schwingungsamplitude die schwingungsinduzierten Zentrifugalkräfte das Partikel so gegen die Kanalwand drücken, dass eine ausreichende Reibungskraft erzeugt wird, die den Durchfluss überwindet und das Partikel an der Kanalwand festhält.

Aus dem Dokument US 2010/0154535 A1 ist es bekannt, zwei oder mehr identische Suspended Microchannel Resonators (SMRs) in Cantileverform seriell miteinander zu verbinden, so dass der Durchfluss einer partikelbeladenen Flüssigkeit durch die SMRs sequentiell erfolgt. Dabei wird dem ersten SMR eine mit einem Partikel beladene Flüssigkeit mit einer ersten Dichte zugeführt und eine Resonatormessung durchgeführt, während sich das Partikel in dem Fluidkanal des ersten SMR befindet. Zwischen den Resonatoren wird die Dichte der Flüssigkeit verändert, vorzugsweise indem die Flüssigkeit in einem definierten Verhältnis mit einer anderen Flüssigkeit vermischt wird, die eine zweite, zur ersten unterschiedliche Dichte aufweist. Somit fließt durch den zweiten SMR eine Flüssigkeit mit anderer Dichte als im ersten SMR und die Resonatormessung wird wiederholt, wenn sich das Partikel im zweiten SMR befindet. Nur unter der Voraussetzung, dass die SMRs identisch sind bzw. allfällige Ungleichheiten auskalibriert werden und dadurch identisches Verhalten der SMRs bewirkt wird, kann die Messung der Auftriebsmasse von jedem Cantilever dazu benutzt werden, die Dichte, das Volumen und die absolute Masse des Partikels zu bestimmen.

Diese bekannte Cantilever-SMR Anordnung kann jedoch nicht dazu verwendet werden, eine Vielzahl von Partikeln unterschiedlicher Masse voneinander zu trennen. Sie setzt vielmehr voraus, dass sich in einem Cantilever immer nur ein Partikel (oder eine Zelle) befindet.

Es ist deshalb eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die eingangs erwähnte Vorrichtung zur Fraktionierung von in einer Flüssigkeit enthaltenen Partikeln gemäß ihren Massen auf solche Weise fortzubilden, dass mittels der Cantilever-Anordnung die Partikel in

unterschiedliche Massen-Klassen aufteilbar sind. Vorzugsweise erfolgt die Partikelfraktionierung kontinuierlich. In einem weiteren Aspekt der Erfindung sollen die Gesamtmassen der fraktionierten Partikel klassenweise gemessen und aufgezeichnet werden können, wodurch die Größenverteilung der Partikel bestimmt werden kann.

Die Erfindung löst die gestellte Aufgabe durch Fortbilden der eingangs erwähnten Vorrichtung zur Fraktionierung von in einer Flüssigkeit enthaltenen Partikeln gemäß ihren Massen, indem die durch die Schwingungen des jeweiligen Cantilever auf die im Fluidkanal strömende partikelbeladene Flüssigkeit ausgeübten Fliehkräfte und/oder Reibungskräfte für jeden Cantilever unterschiedlich eingestellt sind. Dadurch wird es möglich, in jedem Cantilever Partikel unterschiedlicher Masse aus der Flüssigkeit „einzufangen“, zu klassifizieren, Messungen daran vorzunehmen und gegebenenfalls die eingefangenen, fraktionierten Partikel aus den Cantilevern auszutragen.

In einer ersten bevorzugten Ausführungsform werden die Cantilever zu unterschiedlichen Schwingungsfrequenzen und/oder Schwingungsamplituden angeregt. Unterschiedliche Schwingungsfrequenzen und/oder Schwingungsamplituden üben unterschiedlich starke Beschleunigungen auf die in der Flüssigkeit enthaltenen Partikeln aus. Je größer die Masse der Partikel ist, desto stärker wirken die resultierenden Fliehkräfte und desto niedriger sind die für die Ausscheidung der Partikel aus der Flüssigkeit erforderlichen Beschleunigungen. Durch Anwendung dieses Prinzips können in den einzelnen Cantilevern Partikel mit unterschiedlichen Massen fraktioniert werden.

In einer Ausführungsform der Erfindung weisen die Cantilever unterschiedliche Eigenfrequenzen auf, die vorzugsweise durch Materialunterschiede und/oder geometrische Unterschiede, wie z.B. Cantileverlänge oder -wandstärken, eingestellt sind. Diese Ausführungsform ist einerseits nützlich, wenn nur ein einziger Schwingungsgenerator zur Anregung aller Cantilever verwendet wird, da die unterschiedlichen Eigenfrequenzen der Cantilever zu unterschiedlichen Verstimmungen gegenüber dem Schwingungsgenerator führen, die wiederum in unterschiedlichen Schwingungsfrequenzen und/oder Schwingungsamplituden der Cantilever resultieren. Ist andererseits jedem Cantilever ein eigener Schwingungsgenerator zugeordnet, so kann dieser zur Erzielung einer maximalen Schwingungsamplitude bei der Eigenfrequenz des ihm zugeordneten Cantilevers betrieben werden.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weisen die Fluidkanäle der Cantilever unterschiedliche Kanalgeometrien, wie z.B. Kanalhöhe, Kanalbreite,

Kanalquerschnittsfläche, Kanalquerschnittsform und/oder Kanalwandbeschaffenheiten auf. Unter den Begriff „unterschiedliche Kanalgeometrien“ fallen auch unterschiedlich geformte Umlenkbereiche sowie Asymmetrien der Kanalführung. Durch diese Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann die Flussgeschwindigkeit der Flüssigkeit durch den jeweiligen Fluidkanal verändert werden. Eine verringerte Flussgeschwindigkeit reduziert die Flüssigkeitsreibung, insbesondere die Reibung zwischen Flüssigkeit und Partikel. Eine verringerte Flüssigkeitsreibung führt dazu, dass Partikel mit geringerer Masse ausgeschieden werden. Unterschiedliche Kanalwandbeschaffenheit oder -beschichtung umfasst auch die Funktionalisierung der Kanalwand mit bestimmten chemischen Gruppen, was zu einer unterschiedlichen Flüssigkeitsreibung/Adhäsion nicht nur des Mediums, sondern auch Adhäsion/Abstoßung (z.B. elektrostatisch) der Partikel führen kann. Dadurch kann eine Anlagerung verhindert oder verursacht werden, wenn dies erwünscht ist.

Der in der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorgesehene, zumindest eine Schwingungsgenerator ist bevorzugt nach einem der nachfolgend aufgelisteten Grundprinzipien ausgeführt:

- Der zumindest eine Schwingungsgenerator umfasst an den Cantilevern angeordnete Piezoelemente und einen die Piezoelemente antreibenden Schwingkreis.
- Der zumindest eine Schwingungsgenerator umfasst an den Cantilevern angeordnete Spulen, wobei die Auslenkung der Cantilever durch die Lorentz-Kraft erfolgt.
- Der zumindest eine Schwingungsgenerator zieht die Cantilever periodisch elektrostatisch an und/oder stößt sie ab.

Wenn jedem Cantilever ein separater Schwingungsgenerator zugeordnet ist, kann dieser Schwingungsgenerator optimal an die Eigenfrequenz des zugeordneten Cantilevers angepasst werden oder jeder Cantilever variabel angeregt werden.

Der zumindest eine Schwingungsgenerator sollte zur Ausübung einer maximalen Fliehkraft auf die partikelbeladene Flüssigkeit die Cantilever zur Schwingung quer zu ihren Längsachsen anregen.

In einer Ausgestaltung der Erfindung weisen die Cantilever oder die die Fluidkanäle der Cantilever verbindenden Kanäle Abzweiganschlüsse, vorzugsweise Abzweigventile, zum

Austragen fraktionierter Partikel auf. Dadurch können die fraktionierten Partikel außerhalb der Vorrichtung Messungen unterzogen werden.

Die Ansammlung der fraktionierten Partikel in den Cantilevern führt wegen ihrer Massen zu einer Verstimmung des aus Schwingungsgenerator und Cantilever gebildeten Schwingkreises, die sich in einer Veränderung der Schwingungsfrequenzen und/oder -amplituden der Cantilever äußert. In einem Aspekt sieht die Erfindung eine Schwingungsmesseinrichtung zur Messung der Schwingungsfrequenzen und/oder -amplituden der Cantilever vor, womit ein Maß für die Masse der in den Cantilevern akkumulierten Partikel erhalten wird. Es ist somit möglich, Partikelmassenmessungen direkt und kontinuierlich in der erfindungsgemäßen Vorrichtung durchzuführen.

Die Schwingungsmesseinrichtung kann an den Cantilevern angeordnete Piezoresistoren umfassen, deren Ausgangssignale ein Maß für die Schwingungsfrequenz und -amplitude der Cantilever repräsentieren.

Alternativ dazu kann die Schwingungsmesseinrichtung an den Cantilevern angeordnete lichtablenkende Elemente umfassen, die mit Licht bestrahlt werden, wobei die abgelenkten Lichtstrahlen auf fotoempfindliche Bauelemente, z.B. Fotowiderstände, auftreffen, deren Ausgangssignale ein Maß für die Schwingungsfrequenz und -amplitude der Cantilever repräsentieren.

In einer weiteren alternativen Ausführungsform erfasst die Schwingungsmesseinrichtung die Verstimmung eines Anregungsschwingkreises des Schwingungsgenerators.

In einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist eine Partikelmesseinrichtung zur Messung der Zahl der akkumulierten Partikel implementiert, wobei die Partikelmesseinrichtung vorzugsweise einen mittels Wellenleiterstrukturen in die Fluidkanäle einkoppelbaren Lichtstrahl, vorzugsweise Laserstrahl, und eine Detektoreinheit umfasst, die an einer transparenten Stelle der Cantilever entweder die Partikel direkt oder das durch die partikelbeladene Flüssigkeit hindurchgehende Licht des Lichtstrahls oder das durch die Partikel hervorgerufene Streulicht des Lichtstrahls erfasst. Dabei kann entweder ein bildgebendes Verfahren basierend auf der Beugung oder Streuung von elektromagnetischen Wellen als auch ein spektroskopisches Verfahren (z.B. XRF) basierend auf Adsorption oder Emission von elektromagnetischen Wellen vorzugsweise zur Abschätzung der Teilchenanzahl oder Partikelmasse Anwendung finden.

Zweckmäßig ist bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung eine Pumpe vorgesehen, die die mit den zu fraktionierenden Partikeln beladene Flüssigkeit oder, gegebenenfalls umschaltbar, eine Reinigungsflüssigkeit durch die seriell geschalteten Fluidkanäle pumpt. Diese Ausführungsform ermöglicht einerseits definierte Durchflussraten und -profile der gepumpten Flüssigkeit einzustellen, und andererseits eine Reinigung der Fluidkanäle durch Erhöhen des Durchflusses bzw. Erzeugen von Druckstößen und/oder Spülen mit Reinigungsflüssigkeit. Wenn die Pumprate der Pumpe variierbar ist, wobei die Pumprate vorzugsweise bis Null verringerbar ist, können besonders genaue Massenmessungen der fraktionierten Partikel durchgeführt werden.

Für besonders genaue Messungen und Einstellungen ist an der erfindungsgemäßen Vorrichtung eine Durchflussmesseinrichtung zur Messung der Durchflussmenge der durch die Fluidkanäle strömenden, partikelbeladenen Flüssigkeit vorgesehen.

Zur Kompensation von Drift der Cantilever kann ein Referenz-Cantilever vorgesehen werden, dessen Schwingungsfrequenz und/oder Schwingungsamplitude als Referenz für eine Driftkompensation der anderen Cantilever herangezogen wird, wobei der Referenz-Cantilever entweder gar nicht oder nur von partikelfreier Flüssigkeit durchströmt wird. Die Driftkompensation erfolgt durch Kalibrierungsmessungen in bestimmten zeitlichen Abständen.

In einer einfach und sehr miniaturisiert herstellbaren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung weist zumindest einer der Cantilever eine den Fluidkanal definierende gebogene Kapillare auf oder besteht daraus.

Zur Erzielung hoher Schwingungsfrequenzen können die Cantilever in höheren Schwingungsmoden betrieben werden.

Die Erfindung wird nun anhand nicht einschränkender Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erklärt.

Fig. 1 zeigt schematisch eine erste Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung in Draufsicht.

Fig. 2 zeigt einen ausgewählten Cantilever der erfindungsgemäßen Vorrichtung in Seitenansicht.

Fig. 3 zeigt den ausgewählten Cantilever im Schnitt.

Fig. 4 schematisch eine Variante der Ausführungsform von Fig. 1 mit einem Referenz-Cantilever.

Fig. 5 zeigt schematisch eine weitere Variante der Ausführungsform von Fig. 1 mit einem Abzweigventil im Fluidkanal.

Figuren 6A, 6B, 6C zeigen eine Ausführungsform eines Cantilever in drei Schnittansichten.

Figuren 7A, 7B, 7C zeigen eine weitere Ausführungsform eines Cantilever in drei Schnittansichten.

Fig. 8A und Fig. 8B zeigen eine erfindungsgemäße Anordnung zweier Cantilever.

Fig. 9A und Fig. 9B zeigen eine weitere erfindungsgemäße Anordnung zweier Cantilever.

Fig. 10 zeigt schematisch einen in der erfindungsgemäßen Vorrichtung verwendeten Schwingungsgenerator mit Piezoelementen.

Fig. 11 zeigt schematisch einen in der erfindungsgemäßen Vorrichtung verwendeten Schwingungsgenerator auf dem Prinzip elektrostatischer Anziehung und Abstoßung.

Fig. 12 zeigt schematisch einen in der erfindungsgemäßen Vorrichtung verwendeten Schwingungsgenerator mit an den Cantilevern angeordneten stromdurchflossenen Spulen und Anregung durch die Lorentz-Kraft.

Fig. 13 zeigt schematisch eine in der erfindungsgemäßen Vorrichtung verwendete Schwingungsmesseinrichtung auf piezoresistiver Basis.

Fig. 14 zeigt schematisch eine in der erfindungsgemäßen Vorrichtung verwendete Schwingungsmesseinrichtung nach dem optical-lever-Prinzip.

Fig. 15 zeigt schematisch eine in der erfindungsgemäßen Vorrichtung verwendete Schwingungsmesseinrichtung unter Ausnützung der Lorentz-Kraft.

Fig. 16 zeigt schematisch eine in der erfindungsgemäßen Vorrichtung verwendete Partikelmesseinrichtung auf optischer Basis.

Die Figuren 17, 18, 19, 20 zeigen Diagramme mit Gegenüberstellungen von Fliehkräften und Reibungskräften auf Partikel in Cantilevern mit unterschiedlichen Geometrien.

In Fig. 1 ist eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 zur Fraktionierung von in einer Flüssigkeit M enthaltenen Partikeln gemäß ihren Massen schematisch in Draufsicht dargestellt. Die Vorrichtung 1 umfasst eine Mehrzahl von Cantilevern 2.1, 2.2, 2.3, die jeweils einseitig an einer Basis 4 gelagert sind und ein freies Ende 2a aufweisen. Jeder Cantilever 2.1, 2.2, 2.3 besitzt einen U-förmigen Fluidkanal 3.1, 3.2, 3.3. Die Fluidkanäle 3.1, 3.2, 3.3 aller Cantilever 2.1, 2.2, 2.3 sind in Serie geschaltet, sodass alle Fluidkanäle hintereinander von der partikelbeladenen Flüssigkeit M durchströmt werden. Die Cantilever 2.1, 2.2, 2.3 sind als Reihenanordnung von Mikro-Cantilevern mit darin eingebetteten Mikrokanälen gefertigt, z.B. in Si, SiO₂ oder Polymeren. Die

partikelbeladene Flüssigkeit M wird von einer Pumpe 6 mit variierbarer Pumprate und damit variierbarer Durchflussmenge durch die Fluidkanäle gepumpt, wobei zur Durchführung von Messungen die Pumprate vorzugsweise bis Null verringerbar ist. In dieser Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 ist alternierend zu der mit den zu fraktionierenden Partikeln P beladenen Flüssigkeit M umschaltbar eine Reinigungsflüssigkeit R von der Pumpe 6 durch die seriell geschalteten Fluidkanäle 3.1, 3.2, 3.3 pumpbar. Als Reinigungsflüssigkeit R kann auch die Flüssigkeit M dienen, wenn sie nicht mit Partikeln P beladen ist. Für genaue Einstellungen der Pumprate der Pumpe 6 und zur Durchführung hochgenauer Messungen dient eine Durchflussmesseinrichtung 9.

Die Cantilever 2.1, 2.2, 2.3 werden durch einen Schwingungsgenerator 5 in Schwingung versetzt. In dieser ersten Ausführungsform der Vorrichtung 1 ist ein einziger Schwingungsgenerator 5 zur Schwingungsanregung aller Cantilever 2.1, 2.2, 2.3 vorgesehen. Nachfolgend werden auch Ausführungsformen der Erfindung vorgestellt, bei denen einem jeden Cantilever ein eigener Schwingungsgenerator zugeordnet ist. Die erfindungsgemäße Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass die durch die Schwingungen des jeweiligen Cantilever 2.1, 2.2, 2.3 auf die im Fluidkanal strömende partikelbeladene Flüssigkeit M ausgeübten Fliehkräfte F_{cent} und/oder Reibungskräfte F_{drag} für jeden Cantilever 2.1, 2.2, 2.3 unterschiedlich eingestellt sind.

Anhand von Fig. 2 und Fig. 3 wird nun das erfindungsgemäße Prinzip erklärt. Fig. 2 zeigt in Seitenansicht einen beliebig aus der Reihenanzordnung von Cantilevern 2.1, 2.2, 2.3 ausgewählten Cantilever, bezeichnet mit dem allgemeinen Bezugszeichen 2. Fig. 3 zeigt diesen ausgewählten Cantilever im Schnitt, in dem man den U-förmigen Verlauf des durch das allgemeine Bezugszeichen 3 bezeichneten Fluidkanals 3 erkennt. Der Fluidkanal 3 wird von der Flüssigkeit M durchströmt, die mit den zu fraktionierenden Partikeln P von unterschiedlicher Masse (bzw. unterschiedlicher Größe, wenn die Dichte der Partikel P gleich ist) beladen ist. Der Cantilever 2 wird durch den nicht dargestellten Schwingungsgenerator zur Schwingung quer zur Längsachse LA mit einer Schwingungsfrequenz f und einer Amplitude A , die die maximale momentane Auslenkung repräsentiert, angeregt. Durch die Schwingungen des Cantilever 2 werden Fliehkräfte F_{cent} in Richtung der Längsachse LA auf die im Fluidkanal 3 befindlichen Partikel P ausgeübt. Diese können in erster Näherung abgeschätzt werden, wenn die Bewegung des freien Endes 2a des Cantilevers 2 einen Bogen mit der Basis 4 des Cantilever 2 als Mittelpunkt beschreibt.

Bei periodischer Anregung ergibt sich eine Winkeländerung gemäß

$$\Theta(t) = A/L \cdot \sin(2\pi f t),$$

wobei L die Länge des Cantilever 2 und A die Amplitude des schwingenden freien Endes 2a des Cantilever 2 darstellen, sowie f die Frequenz, mit der der Cantilever 2 schwingt, und t die Zeit. Hier wird $\sin(\Theta(t)) \sim \Theta(t)$ für kleine Winkel angenähert. Als Winkelgeschwindigkeit ergibt sich die Ableitung

$$\omega(t) = d\Theta/dt = A/L \cdot 2\pi f \cdot \cos(2\pi f t)$$

und somit am freien Ende 2a des Cantilever 2 eine Beschleunigung von

$$a(t) = \omega(t)^2 \cdot r = \omega(t)^2 \cdot L = (2\pi f \cdot A/L)^2 \cdot \cos^2(2\pi f t) \cdot L.$$

Für einen einzelnen Schwingungszyklus ist die Beschleunigung im Mittel

$$\langle a \rangle = \omega_{\max}^2 \cdot L/2 = (2\pi f \cdot A/L)^2 \cdot L/2$$

und damit die Fliehkraft F_{cent} auf eine Masse am freien Ende 2a des Cantilever 2 in Richtung der z-Achse

$$F_{\text{cent}} = \langle F \rangle = m_p \cdot \langle a \rangle = m_p \cdot (2\pi f \cdot A/L)^2 \cdot L/2$$

Da sich die Partikel P im Fluidkanal 3 des Cantilever maximal bei einer etwas geringeren Längskoordinate $z = L - \Delta L$ befinden, reduziert sich die Fliehkraft F_{cent} auf

$$F_{\text{cent}} = m_p \cdot \langle a \rangle = m_p \cdot (2\pi f \cdot A/L)^2 \cdot (L - \Delta L)/2$$

wobei ΔL zwischen der Wandstärke d und $d+w$ liegt, mit w der Breite des Fluidkanals 3 am freien Ende 2a.

Für sphärische Partikel P mit Radius R in einer viskosen Flüssigkeit M ergibt sich eine Reibungskraft (F_{drag}) von

$$F_{\text{drag}} = 6\pi\eta R(v_p - v_f)$$

η stellt die dynamische Viskosität dar, v_f die Flussgeschwindigkeit des Mediums und v_p die Geschwindigkeit des Partikels P. In laminaren Flussverhältnissen (Reynoldszahl <1) folgen Partikel P den Flüssigkeitsbahnen, wenn keine äußeren Kräfte auf sie einwirken (d.h. $v_p = v_f$). Wirkt nun in Längsachsenrichtung eine Fliehkraft F_{cent} auf ein Partikel P, so stellt man diese der Flüssigkeitsreibungskraft F_{drag} gegenüber, wobei F_{cent} in die entgegengesetzte Richtung als F_{drag} wirkt und daher mit negativem Vorzeichen versehen werden muss, und erhält

$$F_{drag} = - F_{cent} \rightarrow v_p = - F_{cent}/(6\pi\eta R) + v_f = - v_{cent} + v_f$$

Wenn die Zentrifugalkraft F_{cent} so groß ist, dass der Betrag der dadurch induzierten zusätzlichen Geschwindigkeitskomponente v_{cent} des Partikels P die Flussgeschwindigkeit v_f übersteigt ($|v_{cent}| \geq |v_f|$) und in der Richtung der Flüssigkeitsströmung entgegengesetzt ist, dann wird dieses Partikel sich in Längsachsenrichtung LA nach außen bewegen und am freien Ende 2a des Cantilever 2 gehalten werden. Kleinere und somit leichtere Partikel P werden jedoch dem Fluss folgen und aus dem Cantilever fließen, weil für sie $|v_{cent}| < |v_f|$ gilt. Die Auslenkung des Cantilever 2 nach oben und unten (x-Achse) bewirkt auch eine Bewegung von Partikeln proportional zur Auslenkung, welche aber im Mittel Null ist und somit keine Auswirkungen auf die wirkenden Fliehkräfte F_{cent} und die dadurch erzeugte Partikelbewegung in Richtung der Längsachse LA hat.

Die Geschwindigkeit eines sphärischen Partikels mit der Masse $m_p = \rho_p \cdot 4\pi R^3/3$ aufgrund der Fliehkräfte F_{cent} ist somit näherungsweise proportional zu den Quadraten von Partikelradius R, Schwingungsfrequenz f und -amplitude A und indirekt proportional zu der Viskosität η der Flüssigkeit M und der Länge L des Cantilever 2:

Die Kanalwandbeschaffenheit oder -beschichtung, etwa Funktionalisierung mit bestimmten chemischen Gruppen, kann zu einer unterschiedlichen Flüssigkeitsreibung/Adhäsion nicht nur des Mediums sondern auch Adhäsion/Abstoßung (z.B. elektrostatisch) der Partikel führen. Das würde somit auch eine Anlagerung verhindern oder verursachen, wenn erwünscht.

$$v_{cent} = F_{cent}/(6\pi\eta R) = m_p \cdot \langle a \rangle / (6\pi\eta R) = (4\pi^2/9) \cdot f^2 A^2 \rho_p R^2 / (\eta L)$$

Generell ist der Effekt der Fliehkräfte F_{cent} größer, je schwerer und größer die Partikel P sind und je weniger viskos die Flüssigkeit M ist. Die Schwingungsfrequenz f hängt von der Geometrie des Cantilever ab, der bei seiner Resonanzfrequenz betrieben werden sollte, um große Schwingungsamplituden zu ermöglichen.

Auf diesem Prinzip basierend ist ein wesentlicher Punkt der Erfindung eine Anordnung von mehreren solchen Cantilevern 2, die alle zu unterschiedlichen Schwingungen angeregt werden können (d.h. unterschiedliche Frequenz f und/oder Amplitude A), um unterschiedlich große Fliehkräfte F_{cent} ausüben zu können und damit jeweils unterschiedliche Partikelklassen von unterschiedlicher Masse abzuscheiden. Eine Ausführungsform wurde oben bereits anhand der Fig. 1 beschrieben; weitere Ausführungsformen werden weiter unten beschrieben. Wenn die mit Partikeln P beladene Flüssigkeit M durch die Vorrichtung 1 gepumpt wird, werden im ersten Cantilever 2.1 zuerst die größeren, d.h. schwereren Partikel gefangen, während kleinere Partikel zum nächsten Cantilever 2.2 fließen. Dort werden aufgrund höherer Schwingungsfrequenz f und/oder -amplitude A am freien Ende des Cantilever 2.2 stärkere Fliehkräfte induziert, sodass die nächstkleinere Partikelklasse abgeschieden wird. Im nächsten Cantilever 2.3 und je nach Bedarf weiteren Cantilevern wird dieser Fraktionierungsvorgang von Partikeln für weitere Klassen fortgesetzt. Wenn nur ein Schwingungsgenerator 5 für alle Cantilever zum Einsatz kommt, so können unterschiedliche Schwingungen der Cantilever durch Einstellen unterschiedlicher Eigenfrequenzen hervorgerufen werden. Die Einstellung der jeweiligen Eigenfrequenz kann durch Materialunterschiede der Cantilever und/oder geometrische Unterschiede, wie z.B. Cantileverlänge L oder die Cantileverwandstärken vorgenommen werden.

Die Figuren 6A, 6B, 6C zeigen eine Ausführungsform eines Cantilever 2 mit einem großen Verhältnis zwischen Länge L und Breite B , sowie einer kleinen rechtwinkligen Querschnittsfläche (Kanalhöhe h , Kanalbreite b) des Fluidkanals 3. Die Kanalbreite S im Umlenkbereich des Fluidkanals ist gegenüber der restlichen Kanalbreite b vergrößert. Die Bezugszeichen $d1-d4$ bezeichnen die Wandstärken an verschiedenen Stellen des Cantilever.

Die Figuren 7A, 7B, 7C zeigen eine weitere Ausführungsform eines Cantilever 2 mit einem Verhältnis von ungefähr 1:1 zwischen Länge L und Breite B , sowie einer gegenüber der vorigen Ausführungsform wesentlich größeren Kanalbreite b des Fluidkanals 3. Durch Ausbilden solcher Cantilever mit unterschiedlichen geometrischen Parametern und/oder Wandmaterialien an einer Partikelfraktionierungsvorrichtung können unterschiedliche Schwingungen der Cantilever erzeugt werden.

Fig. 8A und Fig. 8B zeigen eine erfindungsgemäße Anordnung zweier Cantilever 2.1 und 2.2 mit unterschiedlichen Längen $L1$, $L2$, aber Fluidkanälen 3.1 und 3.2 mit gleicher Kanalbreite b und Kanalhöhe h .

In einem zweiten Aspekt der Erfindung werden - alternativ oder ergänzend zur Variierung der Fliehkräfte F_{cent} - zur Fraktionierung von Partikeln unterschiedlicher Masseklassen in den Cantilevern die darin herrschenden Flüssigkeitsreibungskräfte F_{drag} unterschiedlich eingestellt. Dies kann erreicht werden, indem die Fluidkanäle 3, 3.1, 3.2, 3.3 der Cantilever 2, 2.1, 2.2, 2.3 mit unterschiedlichen Kanalgeometrien ausgestattet werden, wie z.B. unterschiedlicher Kanalhöhe, Kanalbreite, Kanalquerschnittsfläche, Kanalquerschnittsform. Dies führt zu einer Veränderung der Flussgeschwindigkeit v_f , die eine unterschiedliche Flüssigkeitsreibung mit sich bringt. Die oben erläuterten Ausführungsbeispiele von Cantilevern 2 gemäß den Figuren 6A-6C einerseits und Figuren 7A-7C andererseits weisen deutlich unterschiedliche Kanalbreiten b und somit unterschiedliche Querschnittsflächen auf, die zu unterschiedlichen Flussgeschwindigkeiten führen, wobei eine größere Querschnittsfläche eine Verringerung der Flussgeschwindigkeit bewirkt.

Fig. 9A und Fig. 9B zeigen eine erfindungsgemäße Anordnung zweier Cantilever 2.1 und 2.2 mit gleicher Länge L , aber Fluidkanälen 3.1 und 3.2 von unterschiedlichen Kanalbreiten b_1 , b_2 und Kanalhöhen h_1 , h_2 .

Ein weiteres Mittel zur Erzielung unterschiedlicher Flüssigkeitsreibung in den Fluidkanälen der Cantilever ist die Variierung der Kanalwandbeschaffenheiten (Rauigkeit, Vorsprünge, Materialien oder Wandbeschichtungen mit unterschiedlicher Adhäsion zur Flüssigkeit M sowie zu den Partikeln P).

Fig. 10 zeigt schematisch einen in der erfindungsgemäßen Vorrichtung verwendeten Schwingungsgenerator 5 mit an der Basis 4 des Cantilever angeordneten Piezoelementen 5a, die von einem Schwingkreis 5a' angetrieben werden.

Fig. 11 zeigt schematisch einen in der erfindungsgemäßen Vorrichtung verwendeten Schwingungsgenerator 5' auf dem Prinzip elektrostatischer Anziehung und Abstoßung. Eine am freien Ende 2a des Cantilever 2 Elektrode 5b und eine davon entfernt angeordnete Gegenelektrode 5c sind mit einer Wechselstromquelle 5d verbunden und ziehen einander periodisch elektrostatisch an stoßen einander periodisch wieder ab.

Fig. 12 zeigt schematisch einen in der erfindungsgemäßen Vorrichtung verwendeten Schwingungsgenerator 5'' mit einer am Cantilever 2 angeordneten, von einer Gleichstromquelle 5g versorgten, stromdurchflossenen Spule 5f einem im Abstand dazu angeordneten Elektromagneten 5e zur Anregung durch die Lorentz-Kraft.

Ein jeder vorgenannter Schwingungsgenerator ist entweder jeweils einem einzelnen Cantilever zugeordnet, oder alternativ dazu mehreren oder allen Cantilevern zugeordnet.

Voraussetzungen für eine quantitative Festlegung der Partikelklassen sind eine bekannte Viskosität der Flüssigkeit M, was durch vorhergehende Messung der Viskosität der Flüssigkeit M gewährleistet werden kann, und bekannte Massendichte der Partikel P. Sollte letztere nicht bekannt sein, erhält man einen Massenäquivalenzdurchmesser als Funktion von Partikeldichte und -größe sowie Viskosität der Flüssigkeit M.

Im Fall von metallischen Verschleißpartikeln in Schmieröl kann man die im Öl befindlichen Eisenpartikel zuvor magnetisch abtrennen und weiterverwenden. Um die Abscheidung der Partikel aus der Flüssigkeit weiter zu verbessern, kann auch die Temperatur der Vorrichtung 1 mit einem externen Heizelement erhöht werden, wodurch die Viskosität der die Fluidkanäle 3.1, 3.2, 3.3 durchströmenden Flüssigkeit M verringert wird. Ebenso ist stattdessen oder zusätzlich eine Verdünnung der Flüssigkeit M mit geeigneten Lösungsmitteln denkbar (z.B. Heptan).

Da die Partikel P durch die Fliehkräfte F_{cent} in Richtung des freien Endes 2a der Cantilever 2.1, 2.2, 2.3 gedrückt werden, ist es möglich, dass sich dort Agglomerate in den Fluidkanälen 3.1, 3.2, 3.3 bilden oder Partikel an den Kanalwänden haften. Weiters kann man durch Variierung der Kanalwandbeschaffenheiten (Rauigkeit, Vorsprünge, Materialien oder Wandbeschichtungen) eine unterschiedliche Adhäsion zur Flüssigkeit M sowie zu den Partikeln P erzeugen. Sollte das für etwaige nachfolgende Messungen ein Problem darstellen, so kann man z.B. mit Hilfe von Ultraschall diese akkumulierten Partikel wieder von einander lösen bzw. durch hohe mit der Pumpe 6 erzeugte Flussraten der Flüssigkeit M an Wänden anhaftende Partikel losreißen. Im Falle von Motoröl als Medium sind außerdem Additive präsent, die eine Ablagerung und Agglomeration von Partikeln verhindern.

Durch Kalibrierungsmessungen in bestimmten zeitlichen Abständen kann man außerdem eine Messungsdrift aufgrund akkumulierter Partikel kompensieren. Dazu wird, wie in Fig. 4 gezeigt, ein Referenz-Cantilever 2.R, der nicht von Flüssigkeit durchströmt wird, vorgesehen. Die Schwingungsfrequenz und/oder Schwingungsamplitude des Referenz-Cantilever 2.R wird als Referenz für eine Driftkompensation der anderen Cantilever 2.1, 2.2 herangezogen. Als Alternative zur Nicht-Durchströmung könnte der Referenz-Cantilever 2.R nur von partikelfreier Flüssigkeit durchströmt werden.

Detektion

Nach erfolgter Partikelfraktionierung können die Partikel klassenweise aus den einzelnen Cantilevern ausgetragen werden, wenn die Cantilever 2.1, 2.2, 2.3 oder die die Fluidkanäle 3.1, 3.2, 3.3 der Cantilever verbindenden Kanäle 8.1, 8.2 Abzweiganschlüsse 7.1, 7.2, z.B. vorzugsweise Abzweigventile, aufweisen, wie in Fig. 5 schematisch dargestellt ist. Die ausgetragenen Partikel können dann außerhalb der Vorrichtung beliebigen Messungen unterzogen werden oder beliebig weiter verwendet werden.

Es ist in einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung jedoch vorgesehen, die Menge der in der Flüssigkeit vorhandenen Partikel innerhalb der Vorrichtung zu quantifizieren, indem man die Masse der akkumulierten Partikel in den freien Enden 2a der Cantilever 2.1, 2.2, 2.3 misst. Das Prinzip basiert auf der Verschiebung der Resonanzfrequenz eines Cantilevers, wenn sich dessen Masse ändert

$$f_{\text{res}} = 1/(2\pi) \cdot \sqrt{k/(m+\Delta m)}$$

Die Resonanzfrequenz eines unbeladenen Cantilever ergibt sich aus der Geometrie und den Materialparametern und bestimmt die Sensitivität $S \approx f_{\text{res}}/(2m)$ eines Cantilever gegenüber kleinen Massenänderungen $\Delta f = S \cdot \Delta m$. Diese Verschiebung Δf an einem Cantilever wird etwa mit Hilfe der Optical-Lever-Methode oder integrierter piezoresistiver Elemente detektiert.

Fig. 13 zeigt schematisch eine Schwingungsmesseinrichtung 10 für einen Cantilever 2 mit einem am Cantilever 2 angeordneten Piezoresistor 11, dessen Ausgangssignale von einer Auswerteschaltung 10a erfasst werden und ein Maß für die Schwingungsfrequenz und Schwingungsamplitude des Cantilever 2 darstellen.

Fig. 14 zeigt schematisch eine Schwingungsmesseinrichtung 10', bei der an einem Cantilever 2 ein lichtablenkendes Element 12 angeordnet ist, das mit Licht aus einer Lichtquelle 10b bestrahlt wird. Die vom lichtablenkenden Element 12 abgelenkten Lichtstrahlen treffen auf ein fotoempfindliches Bauelemente 13, z.B. einen Fotowiderstand, dessen Ausgangssignale ein Maß für die Schwingungsfrequenz und Schwingungsamplitude des Cantilever 2 repräsentieren.

Fig. 15 offenbart eine Schwingungsmesseinrichtung 10'' auf Basis der Wirkung der Lorentz-Kraft. Dabei wird mittels einer Messschaltung 106 die Verstimmung eines

Anregungsschwingkreises des Schwingungsgenerators, umfassend die Spulen 5e und 5f gemessen.

Im Fall der vorliegenden Erfindung kann für eine bestimmte Zeit eine Fraktionierung der Partikel durchgeführt werden, um anschließend die Flussrate gänzlich zu verringern und die Masse der in den einzelnen Cantilever angesammelten Partikel zu messen. Danach wird wieder Fraktionierung durchgeführt, usw.. Die Parameter für die Anregung sind gegebenenfalls auch unterschiedlich für beide Modi. Essentiell für beide Betriebsarten ist natürlich eine hohe Güte des Resonators, etwa durch Schwingen in Luft oder Vakuum, und somit geringe Dämpfung, was z.B. durch geeignetes Packaging ermöglicht wäre.

Mit Hilfe dieser abwechselnden Betriebsmodi ist man in der Lage, den Anstieg der Masse über die Zeit aufzunehmen und somit Rückschlüsse über die Massenverteilung der insgesamt vorhandenen Partikel auf die einzelnen Größenklassen zu treffen.

Ein optisch transparentes Medium vorausgesetzt, ist es zusätzlich möglich, transparente Cantilever (z.B. SiO_2) einzusetzen und mittels Lichtmikroskop die Bewegung größerer Partikel ($>1\mu\text{m}$) zu verfolgen. Fig. 16 zeigt schematisch eine Partikelmesseinrichtung 20 in Form des Lichtmikroskops mit integrierter Kamera, das auf eine transparente Stelle 2b des Cantilevers gerichtet ist.

Partikel $\ll 1\mu\text{m}$ kann man aufgrund ihres Streulichtes detektieren, indem man an geeigneten Stellen Laser über Wellenleiterstrukturen einkoppelt, um mittels Mikroskop und Kamera Streulicht dieser Partikel aufzunehmen. Dies kann man verwenden, um Partikel zu zählen und damit zusätzlich Informationen über die Anzahl pro Größenklasse zu gewinnen.

Technische Realisierung und Abschätzung

Die Fabrikation von SMRs wurde in mehreren Publikationen der Gruppe von Manalis beschrieben, so z.B. in WO 2005/029042 A2. Vorstellbar wären auch Herstellungsmethoden analog zu deBoer et al., J. Micromech. Microeng., 2000, 9, oder die Fabrikation von Kanälen in Polymer-Cantilever.

Wenn die Anregung über ein externes Piezoelement erfolgt, sind die Anregungsfrequenz und -amplitude für alle Cantilever des Arrays gleich, d.h. die tatsächliche Schwingungsamplitude der einzelnen Cantilever ergibt sich aus deren Geometrie. Sobald die Anregungsfrequenz von der Eigenfrequenz eines Cantilever abweicht, reduziert sich damit dessen Auslenkung,

wodurch zumindest ein Parameter, nämlich die Schwingungsamplitude, beeinflusst werden kann.

Getrennte Anregung, d.h. Einstellen der Schwingungsfrequenz und -amplitude für jeden Cantilever des Arrays ist mittels Lorentz-Kraft üblicherweise durch Modulation des Anregungsstromes möglich, was die Strukturierung von Strombahnen am Cantilever sowie einen externen Magneten (oder *vice versa*) erfordert. Bei elektrostatischer Anregung ist eine zusätzliche Gegenelektrode, beispielsweise am Substrat unterhalb des Cantilever, notwendig.

Unterschiedliche Kanalabmessungen pro Cantilever beeinflussen die Flussgeschwindigkeit und damit auch die Separationsbereiche. Für die Massenmessung kann die Frequenzänderung eines Cantilever z.B. mittels Optical-Lever-Methode oder integrierter Piezoresistoren erfasst werden. Außerdem sollte man noch zumindest einen Referenz-Cantilever implementieren, um etwaige Drift zu kompensieren.

Um größere Fliehkräfte und damit Separation kleinerer, leichter Partikel erreichen zu können, müssen sowohl die Schwingungsfrequenz eines Cantilever als auch die Spitzenauslenkung am freien Ende des Cantilever ausreichend groß sein. Kürzere Cantilever weisen eine höhere Resonanzfrequenz auf, allerdings auf Kosten der maximalen Spitzenauslenkung. Damit ist auch die Höhe eines Cantilevers und damit des Kanals beschränkt (zusätzlich zu technologischen Limits). Die Breite hat dagegen keinen Einfluss auf die Resonanzfrequenz und nur geringen Einfluss auf die Spitzenamplitude, dafür aber auf die Moden des Resonators.

Folgendes Beispiel soll die Abhängigkeit der Separationseffizienz von der Geometrie eines Cantilever veranschaulichen. Als Abmessungen eines Si-Cantilever ($E_{Si}=170\text{GPa}$) wurden gewählt: Länge $L=500\mu\text{m}$, Breite $B=200\mu\text{m}$, Höhe $H=10\mu\text{m}$. Damit ergibt sich für einen soliden Cantilever eine Resonanzfrequenz von $f_{res}=48\text{kHz}$. Vergleiche mit der Literatur über SMR zeigen, dass die Frequenz eines SMR um 15-26% geringer ist als die eines vergleichbaren ausgefüllten Cantilever, während COMSOL Simulationen eine 5% höhere Frequenz ergeben (der Grund könnte in abweichenden Materialparametern oder der Fertigung liegen). Eine Lorentz-Kraft Anregung mit $I=10\text{mA}$, $B_{mag}=0,3\text{T}$, $L_{current}=0,9 \cdot B$ ergibt eine Kraft F an der Spitze des Cantilever in Richtung aus der Ebene von $F=B_{mag} \cdot I \cdot L_{current} = 0,54 \mu\text{N}$, was eine statische Spitzenauslenkung von $d_{Tip} = 4 \cdot F \cdot L^3 / (E_{Si} \cdot B \cdot H^3) = 0,01 \mu\text{m}$ bewirkt. Es wird ein Wert der Güte Q der SMRs von 1000 angenommen, der ein praktisch erreichbarer Wert für Schwingungen in Luft oder Vakuum ist. Damit kann die Amplitude des Cantilever bei Resonanz abgeschätzt werden als

$A = Q \cdot d_{\text{Tip}} = 10 \mu\text{m}$. Die Zentrifugalbeschleunigung ist damit proportional zu $Q^2 \cdot F^2 \cdot L \cdot H^4$. Bei Fluidkanaldimensionen von $80 \mu\text{m} \times 8 \mu\text{m}$ (Länge x Breite), einer Flussgeschwindigkeit von $v = 1 \text{ mm/s}$ ($0,64 \text{ nL/s}$), einer Viskosität $\eta = 10 \text{ mPas}$ und einer Dichte der Partikel von $\rho = 5.17 \text{ g/cm}^3$ (Eisenoxid) erhält man eine Gegenüberstellung der Fliehkräfte F_{cent} mit der Flüssigkeitsreibung F_{drag} und eine Abschätzung, bis zu welchem Durchmesser D Partikel in dem Cantilever gefangen würden. Diese Gegenüberstellung für die Parameter Güte $Q = 1000$, Cantileverlänge $L = 500 \mu\text{m}$, Cantileverhöhe $= 10 \mu\text{m}$, Amplitude $A = 10 \mu\text{m}$ und Schwingungsfrequenz $f = 48 \text{ kHz}$ ist im Balkendiagramm von Fig. 17 zu sehen, in dem die Abszisse den Partikeldurchmesser D in μm und die Ordinate die Fliehkräfte F_{cent} und Flüssigkeitsreibungskräfte F_{drag} repräsentieren. In Fig. 18-20 sind Vergleichsbeispiele mit variierenden Werten der Güte Q , der Länge L , der Höhe H und der sich daraus ergebenden Schwingungsamplitude A und Schwingungsfrequenz f dargestellt. Fig. 18 zeigt ein Diagramm für einen Cantilever mit den Parametern: Güte $Q = 5000$, Cantileverlänge $L = 500 \mu\text{m}$, Cantileverhöhe $= 10 \mu\text{m}$, Amplitude $A = 52 \mu\text{m}$ und Schwingungsfrequenz $f = 48 \text{ kHz}$. Fig. 19 zeigt ein Diagramm für einen Cantilever mit den Parametern: Güte $Q = 5000$, Cantileverlänge $L = 1000 \mu\text{m}$, Cantileverhöhe $= 10 \mu\text{m}$, Amplitude $A = 415 \mu\text{m}$ und Schwingungsfrequenz $f = 12 \text{ kHz}$. Fig. 20 zeigt ein Diagramm für einen Cantilever mit den Parametern: Güte $Q = 5000$, Cantileverlänge $L = 1000 \mu\text{m}$, Cantileverhöhe $= 20 \mu\text{m}$, Amplitude $A = 52 \mu\text{m}$ und Schwingungsfrequenz $f = 24 \text{ kHz}$.

Patentansprüche:

1. Vorrichtung (1) zur Fraktionierung von in einer Flüssigkeit (M) enthaltenen Partikeln (P) gemäß ihren Massen, umfassend eine Mehrzahl von Cantilevern (2, 2.1, 2.2, 2.3), die jeweils einseitig gelagert sind und ein freies Ende (2a) aufweisen, wobei jeder Cantilever (2, 2.1, 2.2, 2.3) einen, insbesondere U-förmigen, Fluidkanal (3, 3.1, 3.2, 3.3) besitzt und die Fluidkanäle der Cantilever in Serie geschaltet sind, wobei die Cantilever (2, 2.1, 2.2, 2.3) durch zumindest einen Schwingungsgenerator (5, 5', 5'') in Schwingung versetzbar sind, dadurch gekennzeichnet, dass die durch die Schwingungen des jeweiligen Cantilever (2, 2.1, 2.2, 2.3) auf die im Fluidkanal strömende partikelbeladene Flüssigkeit (M) ausgeübten Fliehkräfte (F_{cent}) und/oder Reibungskräfte (F_{drag}) für jeden Cantilever (2, 2.1, 2.2, 2.3) unterschiedlich eingestellt sind.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Cantilever (2, 2.1, 2.2, 2.3) zu unterschiedlichen Schwingungsfrequenzen (f) und/oder Schwingungsamplituden (A) angeregt werden.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Cantilever (2, 2.1, 2.2, 2.3) unterschiedliche Eigenfrequenzen aufweisen, die vorzugsweise durch Materialunterschiede und/oder geometrische Unterschiede, wie z.B. Cantileverlänge (L) oder -wandstärken (d_1 - d_4), eingestellt sind.
4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Fluidkanäle (3, 3.1, 3.2, 3.3) der Cantilever (2, 2.1, 2.2, 2.3) unterschiedliche Kanalgeometrien, wie z.B. Kanalhöhe, Kanalbreite, Kanalquerschnittsfläche, Kanalquerschnittsform, und/oder Kanalwandbeschaffenheiten aufweisen.
5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der zumindest eine Schwingungsgenerator (5) an den Cantilevern angeordnete Piezoelemente (5a) und einen die Piezoelemente antreibenden Schwingkreis (5a') umfasst.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der zumindest eine Schwingungsgenerator (5'') an den Cantilevern angeordnete stromdurchflossene Spulen (5f) umfasst und die Auslenkung der Cantilever durch die Lorentz-Kraft erfolgt.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der zumindest eine Schwingungsgenerator (5') die Cantilever periodisch elektrostatisch anzieht und/oder abstößt.
8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass jedem Cantilever (2, 2.1, 2.2, 2.3) ein separater Schwingungsgenerator (5) zugeordnet ist.
9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der zumindest eine Schwingungsgenerator (5) die Cantilever (2, 2.1, 2.2, 2.3) zur Schwingung quer zu ihren Längsachsen anregt.
10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Cantilever (2, 2.1, 2.2, 2.3) oder die die Fluidkanäle (3, 3.1, 3.2, 3.3) der Cantilever verbindenden Kanäle (8.1, 8.2) Abzweiganschlüsse (7.1, 7.2), vorzugsweise Abzweigventile, zum Austragen fraktionierter Partikel aufweisen.
11. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Schwingungsmesseinrichtung (10, 10', 10'') zur Messung der Schwingungsfrequenzen (f) und/oder Schwingungsamplituden (A) der Cantilever (2, 2.1, 2.2, 2.3).
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwingungsmesseinrichtung (10) an den Cantilevern angeordnete Piezoresistoren (11) umfasst, deren Ausgangssignale ein Maß für die Schwingungsfrequenz (f) und Schwingungsamplitude (A) der Cantilever (2, 2.1, 2.2, 2.3) repräsentieren.
13. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwingungsmesseinrichtung (10') an den Cantilevern (2, 2.1, 2.2, 2.3) angeordnete lichtablenkende Elemente (12) umfasst, die mit Licht bestrahlt werden und die abgelenkten Lichtstrahlen auf fotoempfindliche Bauelemente (13), z.B. Fotowiderstände, auftreffen, deren Ausgangssignale ein Maß für die Schwingungsfrequenz (f) und Schwingungsamplitude (A) der Cantilever (2, 2.1, 2.2, 2.3) repräsentieren.
14. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwingungsmesseinrichtung (10'') die Verstimmung eines Anregungsschwingkreises (5e, 5f, 10e) des Schwingungsgenerators (5) erfasst.

15. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Partikelmesseinrichtung (20) zur Messung der Zahl der akkumulierten Partikel, wobei die Partikelmesseinrichtung vorzugsweise einen mittels Wellenleiterstrukturen in die Fluidkanäle einkoppelbaren Lichtstrahl, vorzugsweise Laserstrahl, und eine Detektoreinheit umfasst, die an einer transparenten Stelle der Cantilever (2, 2.1, 2.2, 2.3) entweder die Partikel direkt oder das durch die partikelbeladene Flüssigkeit hindurchgehende Licht des Lichtstrahls oder das durch die Partikel hervorgerufene Streulicht oder gebeugte Licht des Lichtstrahls erfasst oder Spektroskopiemittel basierend auf Adsorption oder Emission von elektromagnetischen Wellen umfasst.

16. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Pumpe (6), die die mit den zu fraktionierenden Partikeln beladene Flüssigkeit (M) oder, gegebenenfalls umschaltbar, eine Reinigungsflüssigkeit (R) durch die seriell geschalteten Fluidkanäle (3, 3.1, 3.2, 3.3) pumpt.

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Pumprate der Pumpe (6) variierbar ist, wobei die Pumprate vorzugsweise bis Null verringerbare ist.

18. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Durchflussmesseinrichtung (9) zur Messung der Durchflussmenge der durch die Fluidkanäle (3, 3.1, 3.2, 3.3) strömenden, partikelbeladenen Flüssigkeit (M).

19. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch einen Referenz-Cantilever (2.R), dessen Schwingungsfrequenz und/oder Schwingungsamplitude als Referenz für eine Driftkompensation der anderen Cantilever (2.1, 2.2) herangezogen wird, wobei der Referenz-Cantilever (2.R) entweder gar nicht oder nur von partikelfreier Flüssigkeit durchströmt wird.

20. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest einer der Cantilever (2, 2.1, 2.2, 2.3) eine den Fluidkanal (3, 3.1, 3.2, 3.3) definierende gebogene Kapillare aufweist oder daraus besteht.

21. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Cantilever (2, 2.1, 2.2, 2.3) in höheren Schwingungsmoden betrieben werden.

1/7

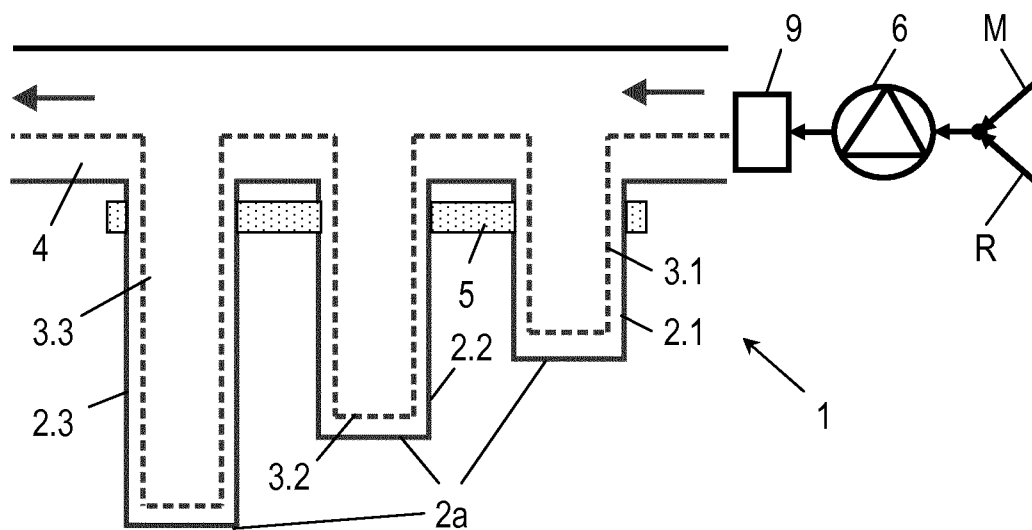


Fig. 1

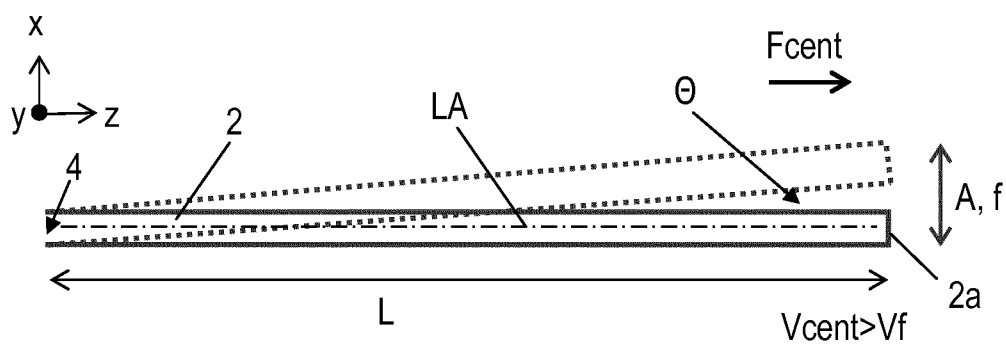


Fig. 2

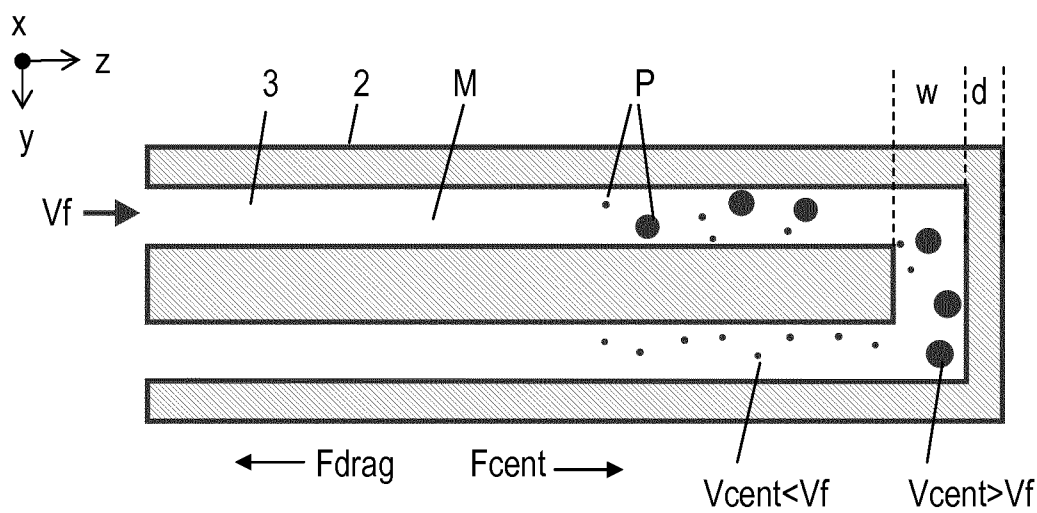


Fig. 3

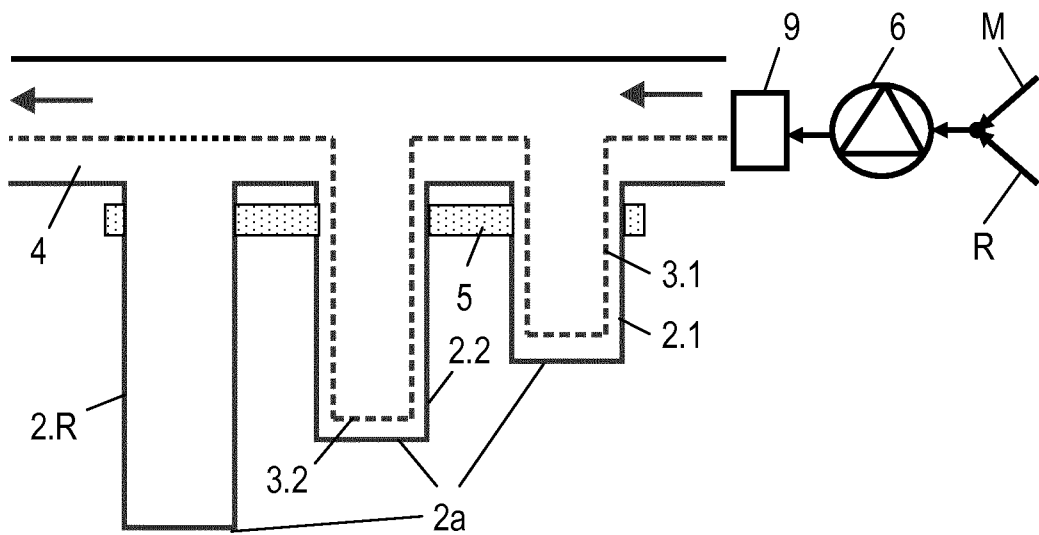


Fig. 4

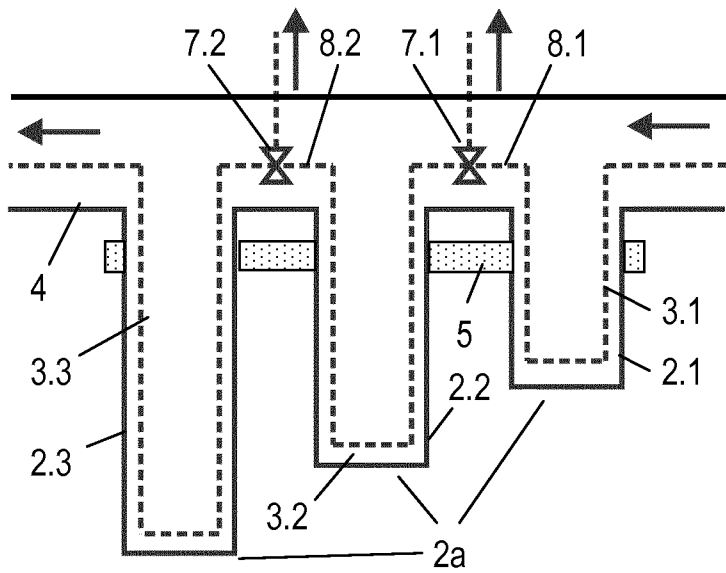
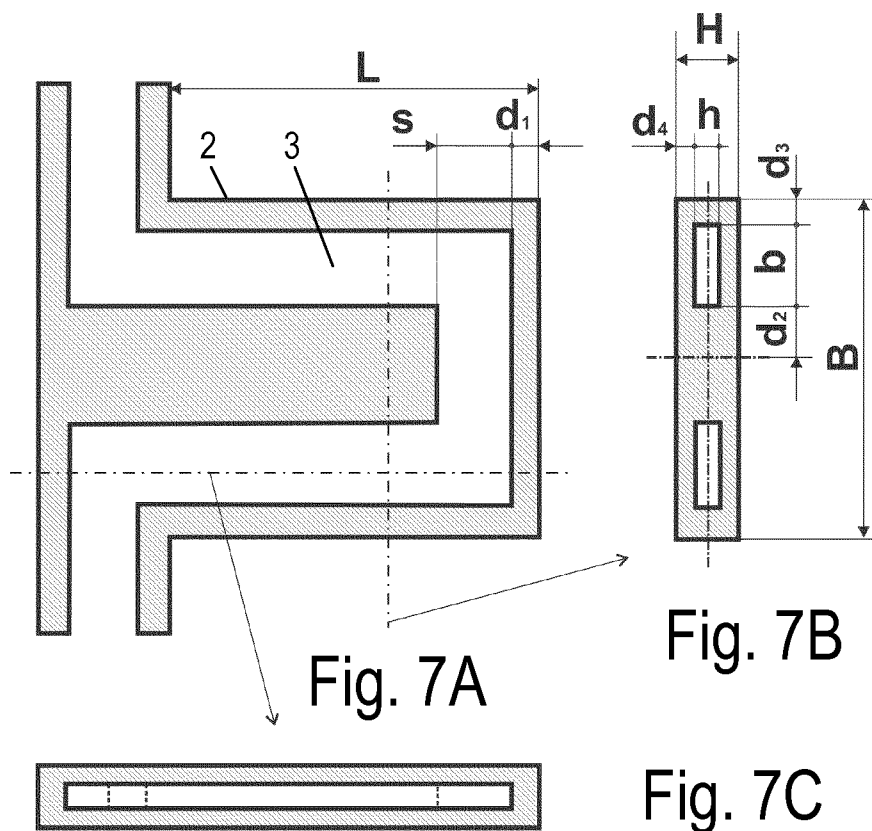
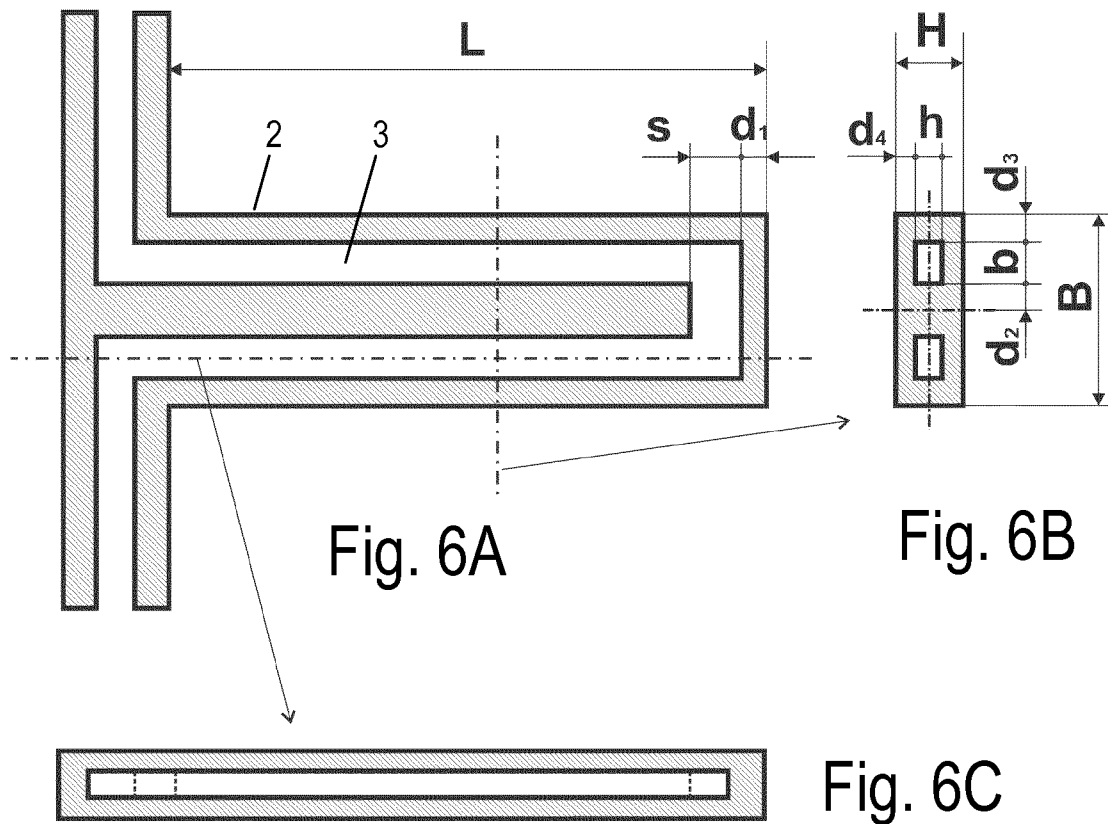


Fig. 5

3/7



4/7

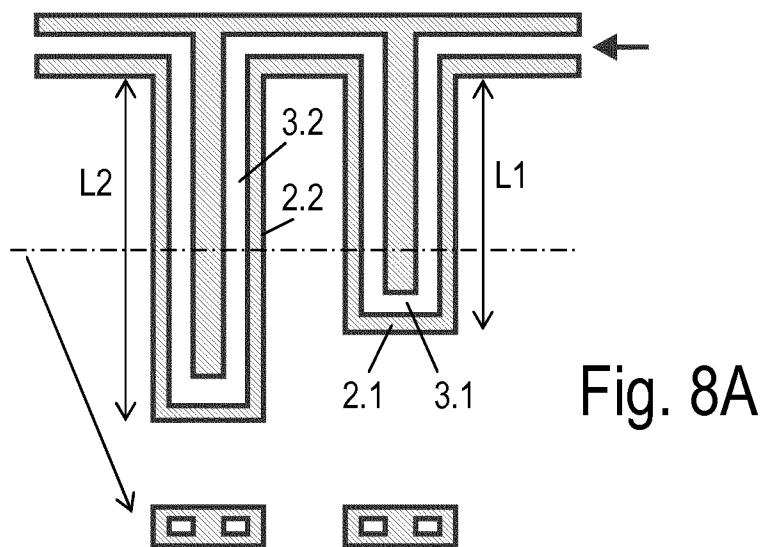


Fig. 8A

Fig. 8B

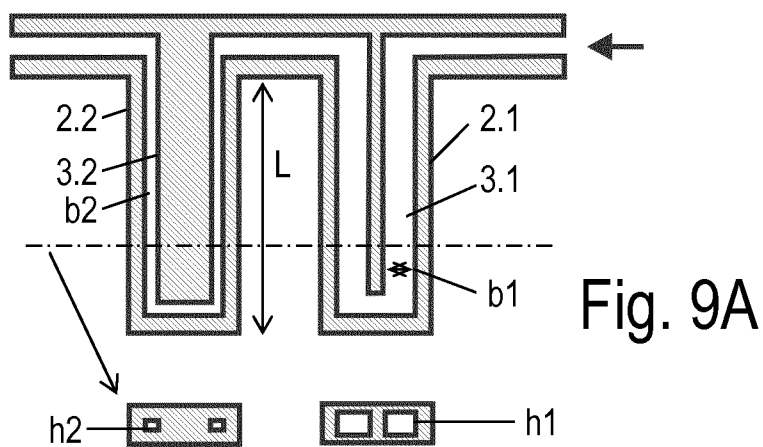


Fig. 9A

Fig. 9B

5/7

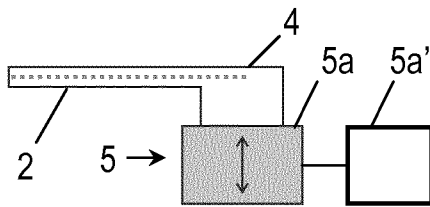


Fig. 10

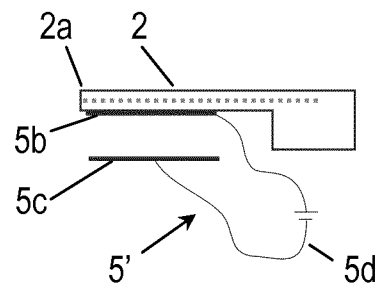


Fig. 11

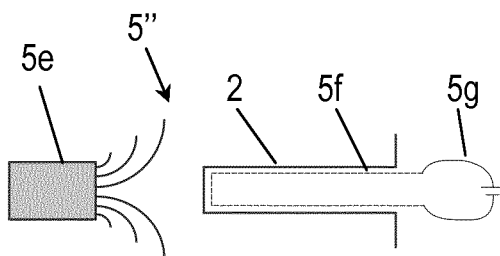


Fig. 12

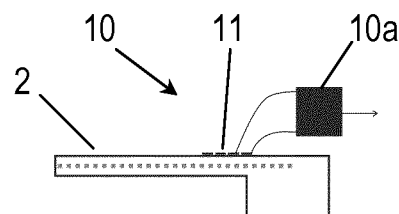


Fig. 13

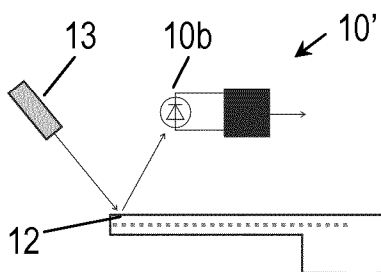


Fig. 14

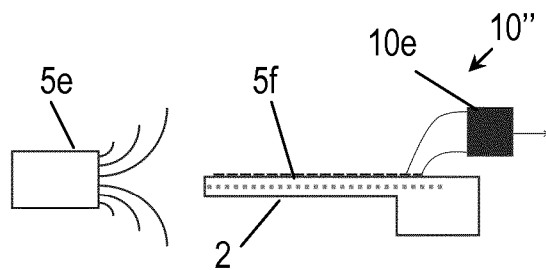


Fig. 15

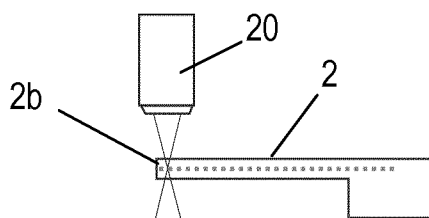


Fig. 16

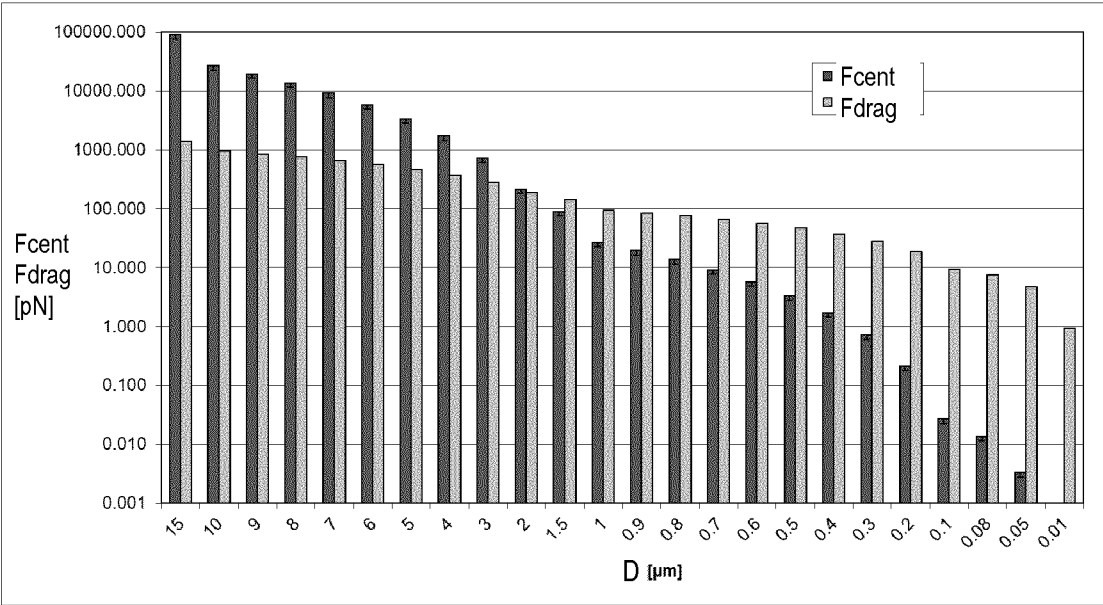


Fig. 17

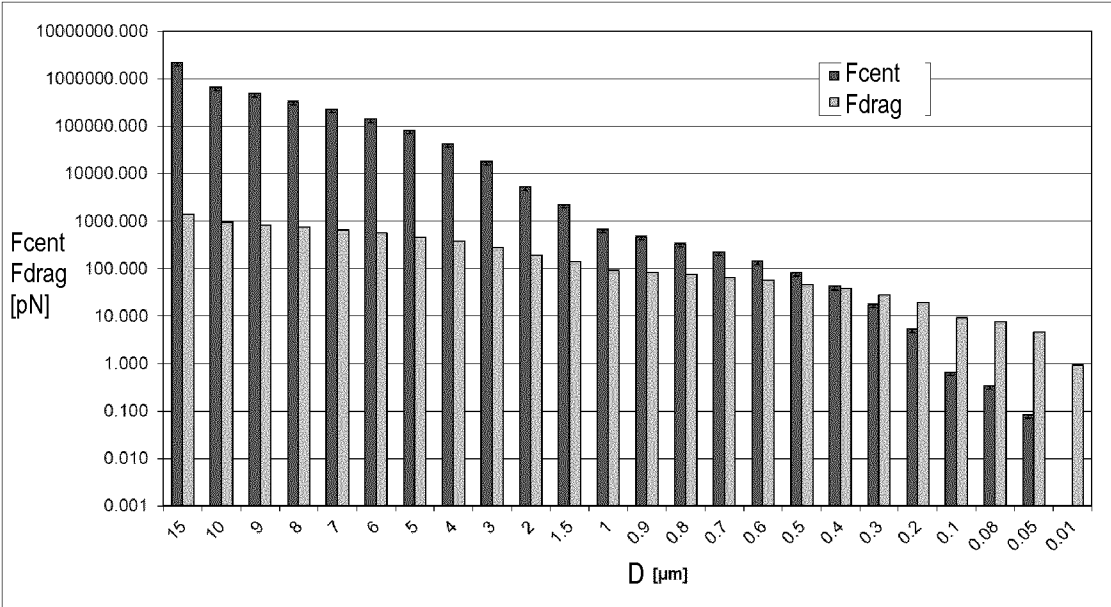


Fig. 18

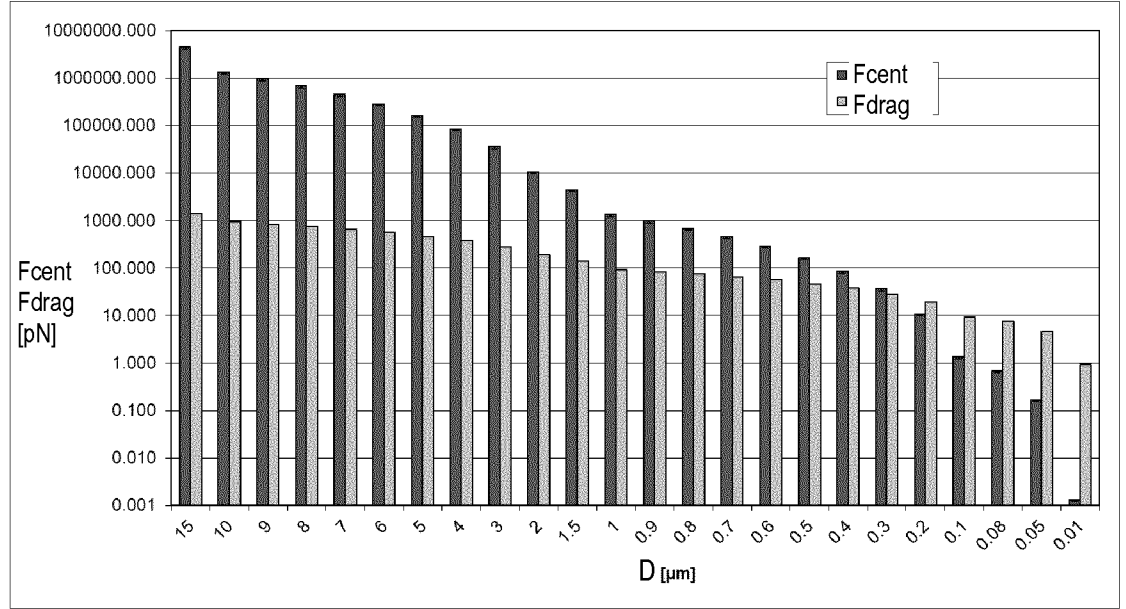


Fig. 19

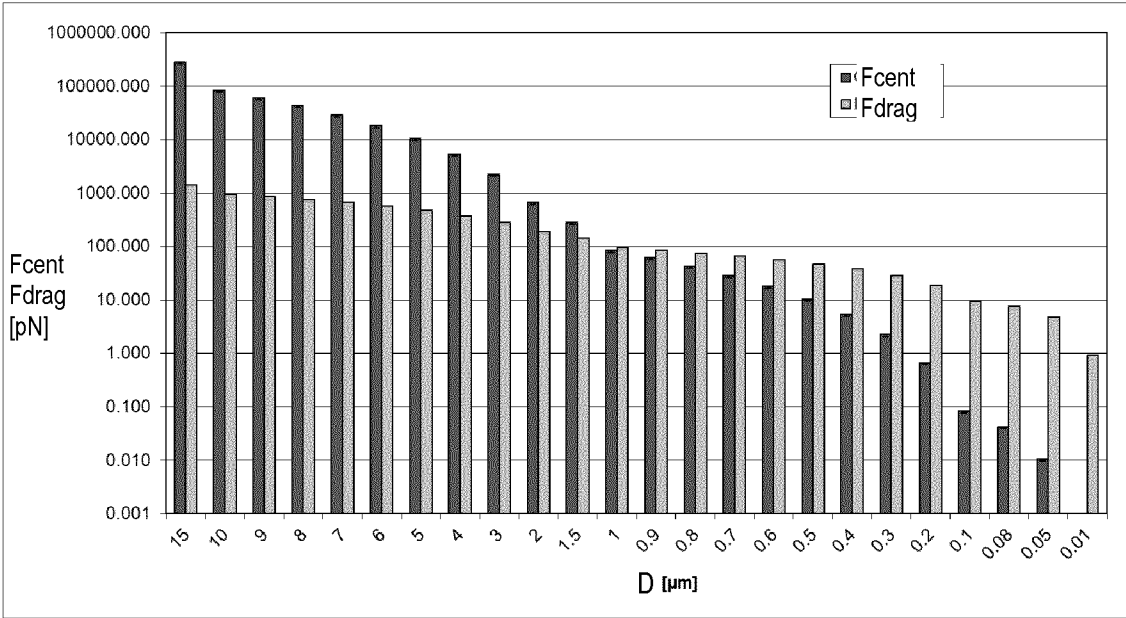


Fig. 20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2014/071066

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01N15/02
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01N B01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2009/035125 A1 (FUJIFILM CORP [JP]; SAKASHITA YUKIO [JP]) 19 March 2009 (2009-03-19) page 3, line 18 - line 31 page 7, line 5 - page 8, line 18 page 20, line 4 - line 28 figures 1,2,7	1-21
X	US 2010/154535 A1 (MANALIS SCOTT R [US] ET AL) 24 June 2010 (2010-06-24) cited in the application paragraph [0024] - paragraph [0028] figures 1-4	1-21
	----- -/--	



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

1 December 2014

Date of mailing of the international search report

05/12/2014

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Liefrink, Feike

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2014/071066

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2008/043040 A2 (MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY [US]; MANALIS SCOTT [US]; HAN JONGYOON []) 10 April 2008 (2008-04-10) page 15, line 12 - line 20 page 26, line 9 - page 27, line 22 figure 10	1-21
A	----- EP 2 602 608 A1 (IMEC [BE]) 12 June 2013 (2013-06-12) paragraph [0127] figure 6	15
A	----- LEE JUNGCHUL ET AL: "High precision particle mass sensing using microchannel resonators in the second vibration mode", REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS, AIP, MELVILLE, NY, US, vol. 82, no. 2, 17 February 2011 (2011-02-17), pages 23704-23704, XP012146161, ISSN: 0034-6748, DOI: 10.1063/1.3534825 Absatz 3	21
A	----- US 2010/288043 A1 (MANALIS SCOTT [US] ET AL) 18 November 2010 (2010-11-18) cited in the application paragraph [0036] -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2014/071066

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2009035125 A1	19-03-2009	CN 101802586 A EP 2185908 A1 JP 2009069006 A US 2010186487 A1 WO 2009035125 A1	11-08-2010 19-05-2010 02-04-2009 29-07-2010 19-03-2009
US 2010154535 A1	24-06-2010	US 2010154535 A1 US 2013263658 A1 US 2014096604 A1	24-06-2010 10-10-2013 10-04-2014
WO 2008043040 A2	10-04-2008	NONE	
EP 2602608 A1	12-06-2013	CN 104136907 A EP 2602608 A1 EP 2788737 A1 WO 2013083815 A1	05-11-2014 12-06-2013 15-10-2014 13-06-2013
US 2010288043 A1	18-11-2010	NONE	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G01N15/02
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G01N B01L

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2009/035125 A1 (FUJIFILM CORP [JP]; SAKASHITA YUKIO [JP]) 19. März 2009 (2009-03-19) Seite 3, Zeile 18 - Zeile 31 Seite 7, Zeile 5 - Seite 8, Zeile 18 Seite 20, Zeile 4 - Zeile 28 Abbildungen 1,2,7 -----	1-21
X	US 2010/154535 A1 (MANALIS SCOTT R [US] ET AL) 24. Juni 2010 (2010-06-24) in der Anmeldung erwähnt Absatz [0024] - Absatz [0028] Abbildungen 1-4 ----- -/-	1-21

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

1. Dezember 2014

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

05/12/2014

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Liefrink, Feike

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2008/043040 A2 (MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY [US]; MANALIS SCOTT [US]; HAN JONGYOUN []) 10. April 2008 (2008-04-10) Seite 15, Zeile 12 - Zeile 20 Seite 26, Zeile 9 - Seite 27, Zeile 22 Abbildung 10	1-21
A	----- EP 2 602 608 A1 (IMEC [BE]) 12. Juni 2013 (2013-06-12) Absatz [0127] Abbildung 6	15
A	----- LEE JUNGCHUL ET AL: "High precision particle mass sensing using microchannel resonators in the second vibration mode", REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS, AIP, MELVILLE, NY, US, Bd. 82, Nr. 2, 17. Februar 2011 (2011-02-17), Seiten 23704-23704, XP012146161, ISSN: 0034-6748, DOI: 10.1063/1.3534825 Absatz 3	21
A	----- US 2010/288043 A1 (MANALIS SCOTT [US] ET AL) 18. November 2010 (2010-11-18) in der Anmeldung erwähnt Absatz [0036] -----	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2014/071066

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 2009035125	A1	19-03-2009	CN	101802586 A		11-08-2010
			EP	2185908 A1		19-05-2010
			JP	2009069006 A		02-04-2009
			US	2010186487 A1		29-07-2010
			WO	2009035125 A1		19-03-2009

US 2010154535	A1	24-06-2010	US	2010154535 A1		24-06-2010
			US	2013263658 A1		10-10-2013
			US	2014096604 A1		10-04-2014

WO 2008043040	A2	10-04-2008	KEINE			

EP 2602608	A1	12-06-2013	CN	104136907 A		05-11-2014
			EP	2602608 A1		12-06-2013
			EP	2788737 A1		15-10-2014
			WO	2013083815 A1		13-06-2013

US 2010288043	A1	18-11-2010	KEINE			
