

(19)



(11)

EP 3 487 622 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
07.07.2021 Patentblatt 2021/27

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

(21) Anmeldenummer: **17737777.7**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2017/067099

(22) Anmeldetag: **07.07.2017**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2018/019546 (01.02.2018 Gazette 2018/05)

(54) **VORRICHTUNG FÜR DIE MIKROFLUIDIK**

MICROFLUIDIC DEVICE

DISPOSITIF DESTINÉ À LA MICROFLUIDIQUE

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

(30) Priorität: **25.07.2016 DE 102016213577**
12.12.2016 DE 102016124059

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
29.05.2019 Patentblatt 2019/22

(73) Patentinhaber: **Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden e.V.**
01069 Dresden (DE)

(72) Erfinder:
• **WINKLER, Andreas**
01187 Dresden (DE)
• **HARAZIM, Stefan**
01069 Dresden (DE)

(74) Vertreter: **Rauschenbach, Marion**
Rauschenbach Patentanwälte
Bienertstrasse 15
01187 Dresden (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A1-2009/062940 WO-A1-2015/099162
WO-A2-2014/165559 US-A1- 2010 201 005
US-B1- 6 772 513

EP 3 487 622 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

Vorrichtung für die Mikrofluidik

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf die Gebiete der Mikrosystemtechnik und der Mikrofluidik und betrifft eine Vorrichtung für die Mikrofluidik, wie sie beispielsweise für aktorische oder sensorische Lab-on-a-Chip Systeme, die Impedanzspektroskopie, Oberflächenplasmonenresonanz oder die elektromagnetische Separation in der Medizintechnik oder in der analytischen Chemie und Biochemie zum Einsatz kommen kann.

[0002] Die Mikrofluidik beschäftigt sich mit dem Verhalten von Flüssigkeiten und Gasen auf kleinstem Raum (Wikipedia, Suchbegriff "Mikrofluidik"). Die Mikrofluidik wird zunehmend auch für die Analyse oder Manipulation von Fluiden eingesetzt. Dazu werden mittlerweile sogenannte Lab-on-a-Chip-Systeme (auch als Mikro-Total-Analyse-Systeme, micro total analysis systems, μ TAS bezeichnet) als mikrofluidische Systeme eingesetzt, welche die Funktionalität eines makroskopischen Labors auf einem Chipsubstrat vereinen.

[0003] Dazu müssen in allen Lab-on-a-Chip-Systemen auch die nötigen Aufgaben, die im makroskopischen Maßstab realisiert werden, ebenfalls ausgeführt werden können. Dazu gehören beispielsweise Mischen, Abmessen, zur Reaktion bringen, Transportieren, Analysieren (zum Beispiel optisch, elektrisch oder akustisch), usw.

[0004] Derartige Lab-on-a-Chip-Systeme bestehen typischerweise aus zwei Hauptkomponenten, die für die Grundoperationen notwendig sind. Die eine Hauptkomponente ist die passive Komponente, die einfache Techniken realisiert und ohne äußere Energiezufuhr auskommt, wie Ausnutzung der Kapillareffekte zum Ansaugen von Flüssigkeit in Kanäle oder Vliese, oder Ausnutzung von Farbumschlagreaktionen bei Drogen-/Schwangerschaftstests, wie Mischen oder Transportieren der Fluide aus Kanälen, Reaktionskammern und vorgelagerten Reagenzien. Die entsprechenden Vorrichtungselemente sind meist Testträger oder Einwegkartuschen. Die zweite Hauptkomponente ist die aktive Komponente, die einen zusätzlichen Energieeintrag in das System (zum Beispiel magnetisch, elektrisch, akustisch, thermisch oder optisch) benötigt und die vielfältige Sensorik-/Aktorikmöglichkeiten realisiert, wie Impedanzspektroskopie, Flüssigkeitserwärmung bei der Polymerase-Kettenreaktion, SAW-Zerstäuben, usw.. Die zweite Komponente ermöglicht es, die Prozesse für die Analyse von Fluiden automatisiert ablaufen zu lassen.

[0005] Für Anwendungen in der Mikrofluidik sind aus dem Stand der Technik verschiedene Vorrichtungen bekannt.

[0006] So ist ein Si/SiO_x-Mikro-Refraktometer auf einem Si-Substrat bekannt (A. Bernardi et al: Applied Physics Letters 93, 094106 (2008)). Danach wird ein Mikroröhrchen mit einem Durchmesser von 2 - 3 μ m und einer Länge von 100 μ m bis 1 mm, welches aus einer

aufgerollten Si/SiO_x-Bischicht besteht, mit einer Flüssigkeit gefüllt. Mittels Mikrophotolumineszenz-Spektroskopie wird durch Anregung mittels eines Lasers der Brechungsindex der Flüssigkeit ermittelt.

[0007] Ebenfalls bekannt sind optofluidische Ringresonatorstrukturen als Mikrostrukturen (K. Scholten et al: Applied Physics Letters 99, 141108 (2011)). Derartige Ringresonatorstrukturen werden als Sensoren für die biomedizinische Analyse benötigt. Diese Ringresonatorstrukturen bestehen aus kleinen Kapillaren, durch die die Analyseflüssigkeit fließt. Derartige Resonatorstrukturen lassen sich aufgrund ihrer Herstellung entweder nur schlecht in "lab-on-a-chip"-Mikrosysteme integrieren oder sie weisen vergleichsweise schlechte Eigenschaften (Q-Faktoren) auf.

[0008] Aus der DE 10 2012 206 042 A1 ist ein mikrofluidisches mikrochemomechanisches System mit integrierten aktiven Elementen bekannt, welche frei von Hilfsenergie durch beeinflussbare Umgebungsgrößen aktivierbar ist und durch die Änderung ihres Quellungs Zustandes oder ihrer mechanischen Eigenschaften aktive Funktionen bewirken. Das System enthält zumindest einen Strukturträger mit zumindest einem ersten Kanal, eine Abdeckung, welche den Strukturträger zumindest teilweise abdeckt und zumindest einen zweiten Kanal, wobei der zweite Kanal auf dem Strukturträger oder der Abdeckung angeordnet ist. Die Kanäle bilden jeweils durch aktive Elemente begrenzte Reservoirräume aus, die so angeordnet sind, dass sie zueinander mindestens einen Überlagerungsbereich aufweisen und zusammen eine Reaktionskammer bilden.

[0009] Weiterhin bekannt aus der DE 10 2011 112 638 A1 ist ein mikrofluidischer Chip, der mindestens ein mikrofluidisches Kanalsystem, welches mindestens einen horizontalen Kanal und mindestens eine horizontale Kammer umfasst, wobei der mindestens eine Kanal und die mindestens eine Kammer durch eine Membran getrennt sind und der mindestens eine Kanal von einer zellhaltigen Flüssigkeit durchströmt werden kann, und eine Breite von mindestens 10 μ m und höchstens 300 μ m und eine Tiefe von mindestens 10 μ m und höchstens 100 μ m aufweist. Die mindestens eine Kammer kann unabhängig von dem mindestens einen Kanal gefüllt werden. Der Kanal kann oben und die Kammer unten, oder der Kanal unten und die Kammer oben liegen. Der Eingangs- und der Ausgangsbereich des mindestens einen Kanals sind trichterförmig ausgestaltet.

[0010] Weiterhin bekannt aus der DE 10 2006 020 716 A1 ist ein Mikrofluidik-Prozessor mit integrierten steuerbaren Elementen zur Handhabung von Prozessmedien, mit auf temperatursensitiven Hydrogelen basierenden Elementen, deren zur Medienhandhabung relevanten Sensibilitäten sich durch gezielt veränderbare Umgebungstemperatur ändern, wobei die Umgebungstemperatur über elektrische oder elektronikkompatible Schnittstellen steuerbar ist. Die integrierten Polymernetzwerk-basierten Elemente sind hardwaremäßig in einer logischen Grundkonfiguration zusammengeschaltet und

über die Schnittstellen durch ein übergeordnetes System kontrollierbar. Der Mikrofluidik-Prozessor weist mindestens eine fluidische Mischeinheit auf, welche über ausgangsseitig zusammengeschaltete Hydrogelaktor-basierte Pumpen verfügt und für verschiedene Prozessmedien Mischungsverhältnisse herstellt, die durch die jeweiligen Volumina der Pumpenkammern der Pumpen konstruktiv vorgebar sind und die entstandene Mischung in Reaktions- oder Analyseeinheiten befördern.

[0011] Aus der DE 10 2012 201 713 A1 ist ein Verfahren für die Positionierung von Mikrostrukturelementen bekannt. Dabei werden auf ein Substrat mindestens zwei Polymerschichten mindestens teilweise übereinander aufgebracht, die nachfolgend in mindestens eine Plattform mit einem darauf oder darum befindlichen Rahmen strukturiert werden, der Rahmen an mindestens teilweise und mindestens an gegenüberliegenden Seiten der Plattform eine größere Höhe als die Plattform aufweist und das Mikrostrukturelement innerhalb des Rahmens, mindestens zwischen die Teile des Rahmens, die über die Plattform hinausragen, auf der Plattform mindestens positioniert wird.

[0012] Des Weiteren ist aus der DE 10 2012 201 714 A1 ein Verfahren zur Herstellung von Mikrofluidsystemen bekannt. Dabei wird auf einem Substrat mindestens an den Positionen von Verbindungselementen mindestens eine Polymerschicht aufgebracht und nachfolgend das Verbindungselement in die Position auf der Polymerschicht gebracht. Anschließend wird mindestens eine weitere Polymerschicht mindestens teilweise über das Verbindungselement mindestens mit einer Dicke aufgebracht, die mindestens größer ist als die Höhe des Verbindungselementes, und danach wird eine Strukturierung und Aushärtung mindestens der mindestens zweiten Polymerschicht realisiert.

[0013] Aus der WO 2015 / 099 162 A1 ist ein Flüssigkeitsprobensensor bekannt, der einen Filter aufweist, der eine Flüssigkeitsprobe filtert, einen ersten Kanal, der stromabwärts relativ zum Filter angeordnet ist und aus einer Kapillare gebildet wird, einen zweiten Kanal, der stromabwärts relativ zum Filter angeordnet ist und aus einer Kapillare gebildet ist, und ein Sensorelement, das sich im zweiten Kanal befindet und ein Signal entsprechend einem Bestandteil der Flüssigkeitsprobe ausgibt.

[0014] Aus der US 2010 / 2010 05 A1 ist ein mikrofluidische Komponente bekannt, umfassend mindestens eine erste Polymerschicht, die mit einer Mikrostruktur für mindestens eine Flüssigkeit versehen ist; und mindestens eine zweite Polymerschicht, wobei mindestens eine Halbleiterkomponente auf mindestens einer der ersten Polymerschicht und der zweiten Polymerschicht angeordnet ist.

[0015] Aus der WO 2009 / 062940 A1 ist eine in einen Analysator einsetzbare Sensorkassette mit einem durchgehenden Messkanal zur Aufnahme fluidischer Medien und mit sensorischen Elementen zur Bestimmung von chemischen und/oder physikalischen Parametern der fluidischen Medien bekannt, die aus zumindest zwei fest

miteinander verbundenen Modulen bestehen, welche jeweils ein Gehäuse und einen Messkanalabschnitt aufweisen, wobei die Messkanalabschnitte benachbarter Module durch eine fluidische Kopplung zum durchgehenden Messkanal verbunden sind. Zumindest eines der miteinander verbundenen Module ist als Sensormodul ausgeführt und ein Sensorarray mit zumindest zwei sensorischen Elementen aufweist und der Sensorkassette ein Speicherelement zugeordnet ist, auf welchem für die Sensorkassette spezifische Informationen, insbesondere zu deren Aufbau aus den jeweiligen Modulen, gespeichert sind.

[0016] Aus der US 6 772 513 B1 ist ein Verfahren zur Herstellung einer elektrofluidischen Verbindung in einer Mikrofluidvorrichtung bekannt, die eine schematischen Querschnittsdarstellung eines mikroanalytischen Systems offenbart, mit einzelnen Mikrochips der mikroanalytischen Komponente, die separat hergestellt und auf einem mikrofluidischen Substrat zusammengebaut sind und elektrische Verbindungen mit der Trägerelektronik als auch fluidische Verbindungen zwischen den mikroanalytischen Komponenten bereitstellen. Die Fluidverbindungen können eingebettete Strömungskanäle umfassen. Das mikrofluidische Substrat kann ferner einen Verteiler für den Probeneinlass und Probenauslass oder elektrische Verbindungen zu einer separaten PWB-Platine mit der Trägerelektronik umfassen.

[0017] Und bekannt aus der WO 2014 / 165 559 A2 sind mikrofluidischen Anordnungen mit Modulen, die fluidische Grundoperationen in Kombination mit Polydimethylsiloxan (PDMS) durchführen. Die verschiedenen Module sind in einer Anordnung zusammengefasst und weisen untereinander unterschiedliche Verbindungsstellen der fluidführenden Einrichtungen auf.

[0018] Nachteilig ist, dass die Kontaktierung beispielsweise der elektrischen und fluidischen Elemente bei bekannten Vorrichtungen für die Mikrofluidik aufwendig ist und eine zu geringe Flexibilität bei sich ändernden Anwendungen aufweisen.

[0019] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist die Angabe einer Vorrichtung für die Mikrofluidik, die einfach aufgebaut ist und eine verbesserte Flexibilität zur Anpassung an geänderte Anwendungen aufweist.

[0020] Die Aufgabe wird durch die in den Ansprüchen angegebene Erfindung gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche, wobei die Erfindung auch Kombinationen der einzelnen abhängigen Ansprüche im Sinne einer und-Verknüpfung mit einschließt, solange sie sich nicht gegenseitig ausschließen.

[0021] Die erfindungsgemäße Vorrichtung für die Mikrofluidik enthält mindestens ein Funktionselement, welches mindestens ein aktives und passives Teil aufweist, und ein mit dem passiven Teil des Funktionselementes gas- und/oder flüssigkeitsdicht verbundenes fluidisches Bauelement, und ein mit dem aktiven Teil des Funktionselementes elektrisch leitend verbundenes elektrisches Bauelement, wobei die Elemente der Vorrichtung über

die gas- und/oder flüssigkeitsdichten und elektrisch leitenden Verbindungsstellen als Module austauschbar angeordnet sind.

[0022] Vorteilhafterweise weist das Funktionselement und/oder die Vorrichtung als Substrat oder Trägerelement ein Substrat oder eine Platte oder einen Mikrochip aus Silizium, Glas/Gläsern, Keramik/Keramiken, Piezoelektrika oder Polymeren oder aus SiO_2 , Al_2O_3 , LiNbO_3 , LiTaO_3 , AlN , ZnO , Si und/oder GaAs oder aus Kombinationen dieser Materialien auf.

[0023] Erfindungsgemäß ist als passiver Teil des Funktionselementes mindestens ein Mikrostrukturelement vorhanden, dass Mikrokanäle, Verbindungselemente oder Reservoirs sein können.

[0024] Auch vorteilhafterweise sind Mikrostrukturelemente aus und/oder in Polydimethylsiloxan, Polystyrol, Polycaprolacton, Polycarbonat, Cyclo-Olefin-Copolymer, Polymethylmethacrylat, Polyimid, Polyetheretherketon, Glas, Silizium, Metallen, Keramiken und/oder fotolithographisch strukturierten Polymeren, wie SU-8 oder KMPR Fotolack, vorhanden.

[0025] Erfindungsgemäß werden als aktiver Teil des Funktionselementes Sensor- und/oder Aktorelemente in Form eines Interdigitalwandlers zur Vermessung und/oder Manipulation elektrischer, akustischer, magnetischer, thermischer, optischer und/oder chemischer Eigenschaften des Fluids eingesetzt.

[0026] Noch vorteilhafterweise bestehen die Sensor- und/oder Aktorelemente in Form von Elektroden oder elektrischen Kontakten oder elektrisch angesteuerte Elemente aus Cr , Ag , Au , Al , Ti , W , Ru , Mo , Cu , Ta , Pt , Pd oder eine Kombination dieser Materialien.

[0027] Vorteilhafterweise sind zwischen den Bauelementen und/oder zwischen dem Funktionselement und dem Substrat mechanische Dämpfungselemente angeordnet und/oder weisen die Bauelemente Oberflächenstrukturierungen zur ortsfesten Positionierung untereinander auf.

[0028] Auch vorteilhafterweise weist das fluidische Bauelement mindestens eine, noch vorteilhafterweise zwei oder mehr Fluidführungseinrichtungen auf.

[0029] Weiter vorteilhafterweise ist das fluidische Bauelement aus einem Polymermaterial, insbesondere aus PEEK, PTFE, PC, PP, PE hergestellt.

[0030] Vorteilhafterweise sind im und/oder am fluidischen Bauelement aktive und/oder passive Fluidkomponenten, wie eine oder mehrere Mikropumpen, Mikromembranen, Elektroosmosepumpen, Ventile, fluidische Umschalter, GMR-Sensoren, Reservoirs und/oder magnetische Teile, vorhanden.

[0031] Ebenfalls vorteilhafterweise weist das elektrische Bauelement eine elektrische Leiterplatte, ein oder mehrere Logikelemente, insbesondere ein oder mehrere Ansteuerungselemente, ein oder mehrere Ein-/Ausgabeschchnittstellen, ein oder mehrere Auswerteelemente oder ein oder mehrere Displays oder beliebige Kombinationen dieser Baugruppen auf.

[0032] Erfindungsgemäß ist das elektrische Bauelement

mit dem Funktionselement mittels elektrisch leitfähigen Kontaktstiften, Klemmen und/oder Federkontaktstiften elektrisch kontaktiert.

[0033] Weiter sind vorteilhafterweise das elektrische Bauelement und das fluidische Bauelement als ein Vorrichtungsbestandteil ausgeführt.

[0034] Erfindungsgemäß sind die Verbindungsstellen der Elemente der Vorrichtung Mittel zum Positionieren des Funktionselementes, des fluidischen Bauelementes und/oder des elektrischen Bauelementes zueinander.

[0035] Und ebenfalls erfindungsgemäß sind die Mittel zum Positionieren Führungsstifte, Führungsbolzen, Strukturen, Bohrungen, Federkontaktstifte, Klemmen und/oder Kontaktstifte.

[0036] Erfindungsgemäß wird eine Vorrichtung für die Mikrofluidik bereitgestellt, die einfach aufgebaut ist und eine verbesserte Flexibilität zur Anpassung an geänderte Anwendungen aufweist.

[0037] Erfindungsgemäß erreicht wird dies durch eine Vorrichtung für die Mikrofluidik, bei der die Bauelemente als Module flexibel auf geänderte Anwendungen austauschbar einsetzbar sind. Damit ist ein schneller und zeitsparender Austausch der Elemente der Vorrichtung realisierbar. Zudem ist mit der Vorrichtung eine sichere, jederzeit reproduzierbare mechanische, elektrische und fluidische Verbindung der einzelnen Module sichergestellt.

[0038] Unter "Module" sollen im Rahmen der Erfindung einzelne Bauelemente einer Vorrichtung verstanden werden, die austauschbar sind und aus der Vorrichtung entnommen oder in die Vorrichtung eingesetzt werden können und mindestens teilweise über entsprechende Verbindungsstellen miteinander interagieren können. Die einzelnen Module können industriell in großen Stückzahlen vorgefertigt sein, sodass die Module vor Ort für die jeweilige Anwendung ausgewählt und zur erfindungsgemäßen Vorrichtung zusammengebaut oder der erfindungsgemäßen Vorrichtung entnommen und durch ein dazu passendes anderes Bauelement ersetzt werden können.

[0039] Dabei enthält die erfindungsgemäße Vorrichtung für die Mikrofluidik mindestens ein Funktionselement, welches mindestens ein aktives und passives Teil aufweist, und ein mit dem passiven Teil des Funktionselementes gas- und/oder flüssigkeitsdicht verbundenes fluidisches Bauelement, und ein mit dem aktiven Teil des Funktionselementes elektrisch leitend verbundenes elektrisches Bauelement, wobei die Elemente der Vorrichtung über die gas- und/oder flüssigkeitsdichten und elektrisch leitenden Verbindungsstellen als Module austauschbar angeordnet sind.

[0040] Das erfindungsgemäße Funktionselement, welches aus mindestens einem aktiven und passiven Teil besteht, und die gesamte Vorrichtung können auf einem Trägerelement oder Substrat angeordnet sein, welche beispielsweise eine Platte oder ein Mikrochip, beispielsweise aus Glas/Gläsern, Silizium, Piezoelektrika, Keramik oder Polymer oder aus SiO_2 , Al_2O_3 , LiNbO_3 , LiTaO_3 ,

AlN, ZnO, Si und/oder GaAs oder aus Kombinationen dieser Materialien besteht.

[0041] Vorteilhaft ist, wenn insbesondere das Substrat oder Trägerelement aus kostengünstigen Materialien besteht, die auch einfach in der Bearbeitung sind und zudem ein geringes Gewicht aufweisen, was insbesondere für den mobilen Feldeinsatz der erfindungsgemäßen Vorrichtung von Bedeutung ist. Als besonderer Vorteil bei Einsatz eines Substrates oder Trägerelementes gilt, dass es leicht austauschbar und preislich günstig ist, und somit als Wegwerfartikel für "single use" eingesetzt werden kann.

[0042] Der passive Teil des Funktionselementes ist mindestens ein Mikrostrukturelement, wobei das Mikrostrukturelement Mikrokanäle, Verbindungselemente, Reservoirs, oder fotolithografisch strukturierte Polymermikrokanäle sein können, die beispielsweise aus und/oder in Polydimethylsiloxan, Polystyrol, Polycaprolacton, Polycarbonat, Cyclo-Olefin-Copolymer, Polymethylmethacrylat, Polyimid, Polyetheretherketon, Glas, Silizium, Metallen, Keramiken und/oder fotolithographisch strukturierten Polymeren (beispielsweise SU-8 oder KM-PR Fotolack) vorhanden sind. Diese Mikrostrukturelemente weisen mindestens fluidische Verbindungsstellen auf, über die die gas- und/oder flüssigkeitsdichte Verbindung mit dem fluidischen Bauelement realisiert ist. Für eine sichere gas- und/oder flüssigkeitsdichte Verbindung von fluidem Bauelement und dem passiven Teil des Funktionselementes können vorteilhafterweise zusätzlich Dichtelemente angeordnet sein.

[0043] Das Funktionselement weist außerdem mindestens einen aktiven Teil auf, wobei als aktiver Teil des Funktionselementes beispielsweise Sensor- und/oder Aktorelemente in Form eines Interdigitalwandlers zur Vermessung und/oder Manipulation elektrischer, akustischer, magnetischer, thermischer, optischer und/oder chemischer Eigenschaften des Fluids eingesetzt werden.

[0044] Diese können Elektroden und elektrische Kontakte oder elektrisch angesteuerte Elemente aufweisen. Das Material der Elektroden und der elektrischen Kontakte kann beispielsweise Cr, Ag, Au, Al, Ti, W, Ru, Mo, Cu, Ta, Pt, Pd oder eine Kombination dieser Materialien sein. Der aktive Teil des Funktionselementes kann auch als elektrisch ansteuerbare Sensor- und/oder Aktorelemente ausgebildet sein. Derartige Sensor- und/oder Aktorelemente können beispielsweise optische Sensoren für die Analyse von Fluiden, elektromagnetische Aktoren, Heizelemente, oder auch SAW-Bauelemente für die Zerstäubung von Fluiden oder für akustische Pinzetten sein.

[0045] Die Vorrichtung weist ein Trägerelement auf, auf dem insbesondere das Funktionselement angeordnet ist. Durch das Trägerelement werden beispielsweise die darauf angeordneten Bauelemente aufgenommen und/oder auch eine jederzeit reproduzierbare Positionierung der Bauelemente zueinander und/oder beispielsweise auf einem Wafer oder anderen Bauteilen sicher-

gestellt. So kann eine Oberfläche des Trägerelementes strukturiert sein, wodurch beispielsweise das auf dem Trägerelement angeordnete Funktionselement ortsfest und in seiner Lage ausgerichtet in der realisierten Struktur der Oberfläche des Trägerelementes angeordnet ist. Damit wird sichergestellt, dass das auf dem Trägerelement angeordnete Funktionselement stets an einer vorbestimmten Position und in einer vorbestimmten Lage positioniert ist und im Falle des Austausches von Modulen das nachfolgend angeordnete Modul wieder die gleiche Position und Lage auf dem Trägerelement aufweist.

[0046] Außerdem weist die erfindungsgemäße Vorrichtung Verbindungsstellen zwischen den einzelnen Elementen der Vorrichtung auf, die Mittel zum Positionieren, wie beispielsweise Führungsstifte, Führungsbolzen, Strukturen, Bohrungen, Federkontaktstifte, Klemmen und/oder Kontaktstifte sind. Mit diesen Mitteln zum Positionieren wird einerseits erreicht, dass ein zeitsparender Zusammenbau der einzelnen Bauelemente als Module der erfindungsgemäßen Vorrichtung möglich ist. Außerdem wird erreicht, dass ein nachträgliches Ausrichten der einzelnen Module beim Zusammenbau der Vorrichtung entfällt, da durch die Mittel zum Positionieren eine selbstausrichtende Montage realisiert werden kann (Self-Alignment).

[0047] Des Weiteren weist die erfindungsgemäße Vorrichtung ein fluidisches Bauelement auf. Das fluidische Bauelement ist mit dem passiven Teil des Funktionselementes gas- und/oder flüssigkeitsdicht verbunden. Durch die gas- und/oder flüssigkeitsdichte Verbindung können Fluide zugeführt und/oder abgeführt werden können. Dazu sind beispielsweise zwei Fluidführungseinrichtungen vorhanden, die die Zu- und Abführung von Fluiden zum und vom fluidischen Bauelement realisieren.

[0048] Das fluidische Bauelement kann beispielsweise aus den gleichen Materialien, wie der passive Teil des Funktionselementes bestehen und auch mit den gleichen Verfahren hergestellt werden, und/oder aus Polymermaterial, insbesondere aus PEEK, PTFE, PC, PP, PE hergestellt sein. Dabei ist zu beachten, dass die Materialien des fluidischen Bauelementes in jedem Fall kompatibel mit den eingesetzten Fluiden, insbesondere hinsichtlich ihrer chemischen Stabilität sein müssen.

[0049] Am und/oder im fluidischen Bauelement können vorteilhafterweise aktive und passive Fluidkomponenten, wie eine oder mehrere Mikropumpen, Mikro-membranen, Ventile, Fluidische Umschalter, Elektroosmosepumpen, GMR-Sensoren, Reservoirs und/oder magnetische Teile vorhanden sein.

[0050] Außerdem weist die erfindungsgemäße Vorrichtung ein elektrisches Bauelement auf, das mit dem aktiven Teil des Funktionselementes elektrisch leitend verbunden ist. Die elektrisch leitende Verbindung ist über elektrisch leitende Kontaktstifte, Klemmen und/oder Federstifte realisiert, die beispielsweise auf dem Funktionselement oder auf dem elektrisch leitenden Bauelement angeordnet sind. Über die elektrischen Kontakte werden

die für die Anwendung erforderlichen elektrischen Signale auf den aktiven Teil des Funktionselementes übertragen und Informationen vom Funktionselement beispielsweise zu einer Auswerteeinheit oder einem Display übertragen.

[0051] Das elektrische Bauelement ist beispielsweise eine elektrische Leiterplatte, ein oder mehrere Logikelemente, insbesondere ein oder mehrere Ansteuerungselemente, ein oder mehrere Ein-/Ausgabeschnittstellen, ein oder mehrere Auswerteelemente oder ein oder mehrere Displays oder beliebige Kombinationen dieser Baugruppen.

[0052] Vorteilhafterweise können erfindungsgemäß das elektrische Bauelement und das fluidische Bauelement als ein Vorrichtungsbestandteil ausgeführt sein.

[0053] Die Anordnung und Positionierung des elektrischen Bauelementes erfolgt über Verbindungsstellen zwischen den einzelnen Elementen der Vorrichtung, die Mittel zum Positionieren, wie elektrisch leitfähigen Kontaktstifte, Klemmen und/oder Federkontaktstifte, aufweisen.

[0054] Die mechanische Belastung aufgrund der mechanischen und elektrischen Kontaktierung des elektrischen Bauelementes mit dem Funktionselement kann dadurch verringert, vorteilhafterweise gezielt eingestellt, werden, dass die Vorrichtung Federelemente aufweist. So kann oder können beispielsweise auf der Oberfläche des Trägerelementes oder auf der Fläche des Funktionselementes, die mit dem Trägerelement kontaktiert ist, ein oder mehrere Federelemente als Dämpfungselemente angeordnet sein. Das oder die Federelemente können beispielsweise ein geschäumtes Polymermaterial, eine Feder, ein Federkontaktstift oder eine Elastomermaterial sein. Durch das Anordnen der Federelemente beispielsweise zwischen dem Trägerelement und dem auf dem Trägerelement angeordneten Funktionselement wird einerseits eine sichere mechanische Kontaktierung des Trägerelementes mit dem Funktionselement realisiert. Andererseits wird die mechanische Belastung durch die mechanische Kontaktierung des elektrischen Bauelementes mit dem Funktionselement wesentlich verringert. Derartige Dämpfungselemente können auch zwischen den anderen Elementen der Vorrichtung angeordnet sein.

[0055] Außerdem ist es möglich, dass die elektrisch leitenden Kontakte des elektrischen Bauelementes als Federelemente ausgeführt sind. Eine Ausführung der elektrisch leitenden Kontakte als Federelemente führt zu einer sicheren elektrischen Verbindung beider Bauelemente sowie zu einer mechanischen Entlastung des Funktionselementes im Bereich der Kontaktierung mit dem elektrischen Bauelement.

[0056] Mit der erfindungsgemäßen Lösung wird erstmals eine, auch für die Massenindustrie einsetzbare Vorrichtung bereitgestellt, die sich durch eine mehrfach verwendbare Peripherie, beispielsweise eines Trägerelementes, auszeichnet und in einfacher Weise durch die austauschbaren Bauelemente als Module montiert und

demontiert werden kann. Gleichzeitig wird eine sichere und reproduzierbare Vorrichtung für die Mikrofluidik bereitgestellt, die sich durch kompatible und austauschbare Bauelemente als Module flexibel an die jeweilige Anwendung anpassen lässt.

[0057] Zudem ermöglicht die Vorrichtung eine Integration von Logikelementen, Ansteuer- und Auswerteelektronik, Displays oder anderen aktiven oder passiver Elektronikkomponenten in das elektrische Bauelement, wodurch im Feldeinsatz eine umfangreiche Analyse und Auswertung von Daten von Fluiden vorgenommen werden kann.

[0058] Die Erfindung wird anhand des nachfolgenden Ausführungsbeispiels näher erläutert.

Ausführungsbeispiel 1

[0059] Ein Trägerelement aus Al weist eine CNC-gefräste Oberflächenstrukturierung mit den Abmessungen 10.05 mm x 20.05 mm x 0.5 mm (BHT) auf, in der ein Funktionselement in Form eines Mikrochips angeordnet ist. Der Mikrochip besteht aus LiNbO₃ mit einer Orientierung 128°YX und hat die Abmessungen 10 mm x 20 mm x 0.5 mm (BHT). Auf der Oberfläche des Mikrochips ist mittels lithographischer Verfahren ein abgedeckter Mikrofluidkanal als passiver Teil des Funktionselementes mit einer Kanalgeometrie von 100 x 100 x 5000 µm³ (BHT) und einer Wand-/Deckelstärke von 100 µm/10 µm appliziert, dessen beide Enden jeweils eine Öffnung aufweisen. Außerdem sind auf der Oberfläche des Mikrochips zwei Interdigitalwandler (IDT, $\lambda/4$, 100 µm Wellenlänge, 1 mm Apertur) aus einer Ti/Al-Schichtfolge als aktiver Teil des Funktionselementes angeordnet. Mit den Fingerelektroden der IDT sind durch Leitbahnen jeweils zwei elektrische Kontaktflächen mit einer Größe von 1 mm x 1 mm verbunden. Der Mikrofluidkanal ist zwischen den IDT angeordnet, wodurch im Fluid im Kanal bei Anlegen eines Hochfrequenzsignales an die IDT eine teilweise stehende akustische Welle angeregt wird. Auf den beiden Kanalöffnungen sind zwei Dichtungsringe aus EPDM mit den Abmessungen 0,74 x 1,02 (Innendurchmesser x Schnurstärke in mm) angeordnet, die einen gas- und flüssigkeitsdichten Zu- und Abfluss des Fluides in und aus dem Mikrofluidkanal gewährleisten, sobald das fluidische Bauelement aufgedrückt wird.

[0060] Auf dem Mikrochip ist dann ein fluidisches Bauelement aus PEEK mit den Abmessungen 10 mm x 20 mm x 3 mm (BHT) angeordnet. Das fluidische Bauelement weist im Inneren einen Fluidzuführkanal und einen weiteren Fluidabführkanal auf. Weiterhin befindet sich in der Mitte des fluidischen Bauelements eine Öffnung zur optischen Inspektion des Kanals mit 5 mm Durchmesser und vier Öffnungen (Durchführungen) für die elektrische Kontaktierung des Mikrochips. Die Enden der beiden Kanäle sind um jeweils um 90° abgewinkelt und weisen jeweils eine Öffnung auf, die jeweils mit den Dichtungsringen auf dem Mikrochip gas- und flüssigkeitsdicht verbunden sind.

[0061] Auf dem fluidischen Bauelement ist ein elektrisches Bauelement in Form einer Leiterplatte mit 50 Ohm-angepassten Leitbahnen (Wellenleiter) positioniert. Die Leiterplatte weist eine Abmessung von 10 mm x 20 mm x 1 mm (BHT) auf. Weiterhin befindet sich in der Mitte der Leiterplatte eine Öffnung zur optischen Inspektion des Kanals mit 5 mm Durchmesser. Auf der Unterseite der Leiterplatte in Richtung des fluidischen Bauelementes sind vier elektrisch leitende, vergoldete Federkontaktstifte angeordnet, die mit den elektrischen Kontaktflächen auf der Oberfläche des Mikrochips durch Durchführungen im fluidischen Bauelement in mechanischen und elektrischen Kontakt stehen.

[0062] Das elektrische Bauelement weist zudem elektrische Anschlüsse für den Anschluss einer elektrischen Signalquelle und Auswerteeinheit auf.

[0063] Die Positionierung des fluidischen Bauelementes auf dem Funktionselement und die Positionierung des elektrischen Bauelementes auf dem fluidischen Bauelement erfolgt über zwei auf dem Trägerelement vorgesehene Positionierstifte, die einen positionsgenauen Zusammenbau der einzelnen Bauelemente über Durchführungen zur Herstellung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ermöglichen.

[0064] Mit dieser Vorrichtung können Partikel im Mikrokanal manipuliert, sortiert oder aufkonzentriert werden.

[0065] Sofern eine andere Anwendung gefordert wird, kann beispielsweise das Funktionselement einfach aus der Vorrichtung entfernt und durch ein anderes Funktionselement, beispielsweise für die Analyse der Zusammensetzung eines Fluides ersetzt werden. Abmessungen und Verbindungsstellen des anderen Funktionselementes sind identisch mit dem ersten Funktionselement, so dass das andere Funktionselement passgenau eingesetzt werden kann und sofort funktionsfähig ist.

Patentansprüche

1. Vorrichtung für die Mikrofluidik, mindestens enthaltend ein auf einem Trägerelement angeordnetes Funktionselement, welches mindestens ein aktives und passives Teil aufweist, und ein mit dem passiven Teil des Funktionselementes gas- und/oder flüssigkeitsdicht verbundenes fluidisches Bauelement, und ein mit dem aktiven Teil des Funktionselementes elektrisch leitend verbundenes elektrisches Bauelement, wobei die Elemente der Vorrichtung über die gas- und/oder flüssigkeitsdichten und elektrisch leitenden Verbindungsstellen als Module austauschbar angeordnet sind, und wobei die Verbindungsstellen der Elemente der Vorrichtung Mittel zum Positionieren des Funktionselementes, des fluidischen Bauelementes und/oder des elektrischen Bauelementes zueinander sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Funktionselement ein Mikrochip ist, der als aktives Teil SAW-Bauelemente zur Manipu-

lation elektrischer und/oder akustischer Eigenschaften eines Fluids und als passives Teil mindestens ein Mikrostrukturelement in Form von Mikrokanälen, Verbindungselementen oder Reservoirs aufweist, wobei zwischen den Bauelementen mechanische Dämpfungselemente angeordnet sind.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der das Funktionselement ein Mikrochip aus Silizium, Glas/Gläsern, Keramik/Keramiken, Piezoelektrika oder Polymeren oder aus SiO₂, Al₂O₃, LiNbO₃, LiTaO₃, AlN, ZnO, Si und/oder GaAs oder aus Kombinationen dieser Materialien ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, bei der die Vorrichtung als Trägerelement ein Substrat oder eine Platte oder einen Mikrochip aus Silizium, Glas/Gläsern, Keramik/Keramiken, Piezoelektrika oder Polymeren oder aus SiO₂, Al₂O₃, LiNbO₃, LiTaO₃, AlN, ZnO, Si und/oder GaAs oder aus Kombinationen dieser Materialien aufweist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der Mikrostrukturelemente aus und/oder in Polydimethylsiloxan, Polystyrol, Polycaprolacton, Polycarbonat, Cyclo-Olefin-Copolymer, Polymethylmethacrylat, Polyimid, Polyetheretherketon, Glas, Silizium, Metallen, Keramiken und/oder fotolithographisch strukturierten Polymeren, wie SU-8 oder KMPR Fotolack, vorhanden sind.

5. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der als aktiver Teil des Funktionselementes Sensorelemente zur Vermessung elektrischer, akustischer, magnetischer, thermischer, optischer und/oder chemischer Eigenschaften des Fluids eingesetzt werden.

6. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der die Sensor- und/oder Aktorelemente in Form von Elektroden oder elektrischen Kontakten oder elektrisch angesteuerte Elemente aus Cr, Ag, Au, Al, Ti, W, Ru, Mo, Cu, Ta, Pt, Pd oder eine Kombination dieser Materialien bestehen.

7. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der zwischen dem Funktionselement und dem Trägerelement mechanische Dämpfungselemente angeordnet sind und/oder die Bauelemente Oberflächenstrukturierungen zur ortsfesten Positionierung untereinander aufweisen.

8. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der das fluidische Bauelement mindestens eine, vorteilhafterweise zwei oder mehr Fluidführungseinrichtungen aufweist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der das fluidische Bauelement aus einem Polymermaterial, insbeson-

dere aus PEEK, PTFE, PC, PP, PE hergestellt ist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der im und/oder am fluidischen Bauelement aktive und/oder passive Fluidkomponenten, wie eine oder mehrere Mikropumpen, Mikromembranen, Elektroosmosepumpen, Ventile, fluidische Umschalter, GMR-Sensoren, Reservoirs und/oder magnetische Teile, vorhanden sind.
11. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der das elektrische Bauelement eine elektrische Leiterplatte, ein oder mehrere Logikelemente, insbesondere ein oder mehrere Ansteuerungselemente, ein oder mehrere Ein-/Ausgabeschnittstellen, ein oder mehrere Auswerteelemente oder ein oder mehrere Displays oder beliebige Kombinationen dieser Baugruppen aufweist.
12. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der das elektrische Bauelement mit dem Funktionselement mittels elektrisch leitfähiger Kontaktstifte, Klemmen und/oder Federkontaktstifte elektrisch kontaktiert ist.
13. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der das elektrische Bauelement und das fluidische Bauelement als ein Vorrichtungsbestandteil ausgeführt sind.
14. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der die Mittel zum Positionieren Führungsstifte, Führungsbolzen, Strukturen, Bohrungen, Federkontaktstifte, Klemmen und/oder Kontaktstifte sind.

Claims

1. Microfluidic device at least comprising a functional element which is disposed on a carrier element and has at least an active portion and a passive portion, and a fluidic component connected in a gas- and/or liquid-tight manner to the passive portion of the functional element, and an electrical component connected in an electrically conductive manner to the active portion of the functional element, wherein the elements of the device are in an interchangeable arrangement as modules via the gas- and/or liquid-tight and electrically conductive connection sites, and wherein the connection sites of the elements of the device are means of positioning the functional element, the fluidic component and/or the electrical component relative to one another, **characterized in that** the functional element is a microchip that has, as its active portion, SAW components for manipulation of electrical and/or acoustic properties of a fluid and, as its passive portion, at least one microstructure element in the form of micro-channels, connecting elements or reservoirs, wherein mechanical damping elements are dis-

posed between the components.

2. Device according to Claim 1, in which the functional element is a microchip made of silicon, glass(es), ceramic(s), piezoelectrics or polymers, or from SiO₂, Al₂O₃, LiNbO₃, LiTaO₃, AlN, ZnO, Si and/or GaAs, or of combinations of these materials.
3. Device according to Claim 1 or 2, in which the device includes, as carrier element, a substrate or a plate or a microchip made of silicon, glass(es), ceramic(s), piezoelectrics or polymers, or from SiO₂, Al₂O₃, LiNbO₃, LiTaO₃, AlN, ZnO, Si and/or GaAs, or of combinations of these materials.
4. Device according to Claim 1, in which microstructure elements composed of and/or in polydimethylsiloxane, polystyrene, polycaprolactone, polycarbonate, cycloolefin copolymer, polymethylmethacrylate, polyamide, polyetheretherketone, glass, silicon, metals, ceramics and/or photolithographically structured polymers, such as SU-8 or KMPR photoresist, are present.
5. Device according to Claim 1, in which active portions used in the functional element are sensor elements for measurement of electrical, acoustic, magnetic, thermal, optical and/or chemical properties of the fluid.
6. Device according to Claim 1, in which the sensor and/or actuator elements in the form of electrodes or electrical contacts or electrically actuated elements consist of Cr, Ag, Au, Al, Ti, W, Ru, Mo, Cu, Ta, Pt, Pd or a combination of these materials.
7. Device according to Claim 1, in which mechanical damping elements are disposed between the functional element and the carrier element and/or the components have surface structuring for positioning at a fixed location with respect to one another.
8. Device according to Claim 1, in which the fluidic component has at least one and advantageously two or more fluid conduction unit(s).
9. Device according to Claim 1, in which the fluidic component has been produced from a polymer material, especially from PEEK, PTFE, PC, PP, PE.
10. Device according to Claim 1, in which, in and/or on the fluidic component, there are active and/or passive fluid components such as one or more micropumps, micro-membranes, electroosmotic pumps, valves, fluidic switches, GMR sensors, reservoirs and/or magnetic parts.
11. Device according to Claim 1, in which the electrical

component has an electrical printed circuit board, one or more logic elements, especially one or more actuating elements, one or more input/output interfaces, one or more evaluation elements or one or more displays, or any combinations of these assemblies.

12. Device according to Claim 1, in which the electrical component is electrically contacted with the functional element by means of electrically conductive contact pins, terminals and/or spring contact pins.
13. Device according to Claim 1, in which the electrical component and the fluidic component are executed as one device constituent.
14. Device according to Claim 1, in which the means of positioning are guide pins, guide bolts, structures, holes, spring contact pins, terminals and/or contact pins.

Revendications

1. Dispositif pour la microfluidique, contenant au moins un élément fonctionnel agencé sur un élément support, qui comprend au moins une partie active et une partie passive, et un composant fluidique relié de manière étanche aux gaz et/ou aux liquides avec la partie passive de l'élément fonctionnel, et un composant électrique relié de manière électriquement conductrice avec la partie active de l'élément fonctionnel, les éléments du dispositif étant agencés de manière remplaçable en tant que modules par l'intermédiaire des emplacements de liaison étanches aux gaz et/ou aux liquides et électriquement conducteurs, et les emplacements de liaison des éléments du dispositif étant des moyens pour le positionnement de l'élément fonctionnel, du composant fluidique et/ou du composant électrique les uns par rapport aux autres,
caractérisé en ce que l'élément fonctionnel est une micropuce, qui comprend en tant que partie active des composants SAW pour la manipulation de propriétés électriques et/ou acoustiques d'un fluide et en tant que partie passive au moins un élément microstructural sous la forme de microcanaux, d'éléments de liaison ou de réservoirs, des éléments d'amortissement mécaniques étant agencés entre les composants.
2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel l'élément fonctionnel est une micropuce en silicium, verre/verres, céramique/céramiques, matériaux piézoélectriques ou polymères ou en SiO_2 , Al_2O_3 , LiNbO_3 , LiTaO_3 , AlN , ZnO , Si et/ou GaAs ou en combinaisons de ces matériaux.

3. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le dispositif comprend en tant qu'élément support un substrat ou une plaque ou une micropuce en silicium, verre/verres, céramique/céramiques, matériaux piézoélectriques ou polymères ou en SiO_2 , Al_2O_3 , LiNbO_3 , LiTaO_3 , AlN , ZnO , Si et/ou GaAs ou en combinaisons de ces matériaux.
4. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel les éléments microstructuraux sont présents en et/ou dans du polydiméthylsiloxane, du polystyrène, de la polycaprolactone, du polycarbonate, du copolymère de cycloooléfine, du polyméthacrylate de méthyle, du polyimide, de la polyétheréthercétone, du verre, du silicium, des métaux, des céramiques et/ou des polymères structurés par photolithographie, tels que de la photorésine SU-8 ou KMPR.
5. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel, en tant que partie active de l'élément fonctionnel, des éléments capteurs pour la mesure de propriétés électriques, acoustiques, magnétiques, thermiques, optiques et/ou chimiques du fluide sont utilisés.
6. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel les éléments capteurs et/ou actionneurs sous la forme d'électrodes ou de contacts électriques ou d'éléments commandés électriquement sont constitués de Cr , Ag , Au , Al , Ti , W , Ru , Mo , Cu , Ta , Pt , Pd ou d'une combinaison de ces matériaux.
7. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel des éléments d'amortissement mécaniques sont agencés entre l'élément fonctionnel et l'élément support et/ou les composants comprennent des structurations de surface pour le positionnement fixe les uns par rapport aux autres.
8. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel le composant fluidique comprend au moins un, avantageusement deux appareils de guidage de fluide ou plus.
9. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel le composant fluidique est fabriqué en un matériau polymère, notamment en PEEK, PTFE, PC, PP, PE.
10. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel des composants fluidiques actifs et/ou passifs, tels qu'une ou plusieurs micropompes, une ou plusieurs micromembranes, une ou plusieurs pompes d'électro-osmose, une ou plusieurs soupapes, un ou plusieurs commutateurs fluidiques, un ou plusieurs capteurs GMR, un ou plusieurs réservoirs et/ou une ou plusieurs parties magnétiques, sont présents dans et/ou sur le composant fluidique.
11. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel le

composant électrique comprend une plaque conductrice électrique, un ou plusieurs éléments logiques, notamment un ou plusieurs éléments de commande, une ou plusieurs interfaces d'entrée/de sortie, un ou plusieurs éléments d'exploitation ou un ou plusieurs affichages ou des combinaisons quelconques de ces unités. 5

12. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel le composant électrique est en contact électrique avec l'élément fonctionnel au moyen de broches de contact électriquement conductrices, de bornes et/ou de broches de contact à ressort. 10

13. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel le composant électrique et le composant fluide sont configurés en tant qu'un constituant de dispositif. 15

14. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel les moyens pour le positionnement sont des broches de guidage, des boulons de guidage, des structures, des alésages, des broches de contact à ressort, des bornes et/ou des broches de contact. 20

25

30

35

40

45

50

55

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102012206042 A1 [0008]
- DE 102011112638 A1 [0009]
- DE 102006020716 A1 [0010]
- DE 102012201713 A1 [0011]
- DE 102012201714 A1 [0012]
- WO 2015099162 A1 [0013]
- US 2010201005 A1 [0014]
- WO 2009062940 A1 [0015]
- US 6772513 B1 [0016]
- WO 2014165559 A2 [0017]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **A. BERNARDI et al.** *Applied Physics Letters*, 2008, vol. 93, 094106 [0006]
- **K. SCHOLTEN et al.** *Applied Physics Letters*, 2011, vol. 99, 141108 [0007]