



(11)

EP 3 017 876 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
11.05.2016 Patentblatt 2016/19

(51) Int Cl.:
B05B 17/06 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **15193411.4**

(22) Anmeldetag: **06.11.2015**

(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
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
MA MD

(30) Priorität: **06.11.2014 DE 102014222680**

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

(72) Erfinder:
• **WINKLER, Andreas**
01187 Dresden (DE)
• **HARAZIM, Stefan**
01069 Dresden (DE)
• **ECKERT, Jürgen**
01189 Dresden (DE)
• **SCHMIDT, Oliver G.**
01219 Dresden (DE)

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

(54) **VORRICHTUNG ZUR FLÜSSIGKEITSZERSTÄUBUNG UND VERFAHREN ZU IHRER HERSTELLUNG**

(57) Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Mikroakustik und betrifft eine Vorrichtung zur Flüssigkeitszerstäubung, wie sie beispielsweise im medizinischen Bereich für die Inhalation zum Einsatz kommen kann.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Vorrichtung anzugeben, mit der unter Einsatz von akustischen Oberflächenwellen eine sichere, reproduzierbare und gleichmäßige Zerstäubung von Flüssigkeiten gewährleistet werden kann.

Gelöst wird die Aufgabe durch eine Vorrichtung, bestehend aus einem piezoelektrischen Substrat mit min-

destens einem Interdigitalwandler und auf dem Substrat ein oder mehrere mittels fotolithografischer Verfahren aufgebrachte Strukturen aus Polymermaterial mit Mikrokanälen vorhanden sind, die teilweise außerhalb des Ausbreitungsbereichs der akustischen Welle angeordnet sind, und mindestens eine Öffnung der Mikrokanäle an der Position angeordnet ist, an der die akustische Welle einen nachweislichen Anstieg der Amplitude der akustischen Welle aufweist.

Die Aufgabe wird weiterhin durch ein Verfahren gelöst, bei dem Polymermaterial fotolithographisch aufgebracht und strukturiert belichtet wird.

EP 3 017 876 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Mikroakustik und betrifft eine Vorrichtung zur Flüssigkeitszerstäubung, wie sie beispielsweise im medizinischen Bereich für die Inhalation oder im technischen Bereich für Kühlung oder die Kontrolle atmosphärischer Bedingungen, aber auch zur Brennstoffinjektion oder Duftverteilung oder für Mikrodruckverfahren zum Einsatz kommen kann, und ein Verfahren zu ihrer Herstellung.

[0002] Die Anwendung von Oberflächenwellen (engl. surface acoustic waves, kurz SAW) für die Flüssigkeitszerstäubung ist seit 1995 bekannt (M. Kurosawa et al: Sensors and Actuators A: Physical 50, 69 (1995)). In späteren Veröffentlichungen wurden die zugrundeliegenden Mechanismen und mögliche Anwendungen untersucht (D.J. Collins et al: Phys. Rev. E 86, 1 (2012), A. Qi et al: Phys. Fluid 20, 074103 (2008)).

[0003] Als Bauteile wurden dafür piezoelektrische Substrate mit Interdigitalwandlern (engl. Interdigital transducer, kurz IDT) mit Aperturen von 1 - 10 mm (Überlappungsbereich der Fingerelektroden) bei Frequenzen zwischen 1 und 200 MHz eingesetzt. Als Substrate wurden Lithiumniobat, Aluminiumnitrid oder Zinkoxid eingesetzt. Als Flüssigkeiten wurden beispielsweise Wasser, Alkohole, Glycerol, Öle, Mikro- und Nanopartikellösungen, Zelllösungen oder Proteinlösungen zerstäubt. Die elektrische Ansteuerung erfolgt über Frequenzgeneratoren und Verstärker, kontinuierlich oder im Pulsbetrieb.

[0004] Als Verfahren für die Flüssigkeitszufuhr für die Flüssigkeitszerstäubung mit SAW sind drei verschiedene Prinzipien bekannt.

1. Die Flüssigkeit wird in Form einzelner Tropfen auf die Substratoberfläche aufgebracht (A. Qi, et al: Physics of Fluids 20, 1 (2008)). Dabei kommen meist Pipettenspitzen, Glasröhrchen oder Schläuche zum Einsatz, welche über die Substratoberfläche positioniert werden und einzelne Tropfen auf die Substratoberfläche abgeben.

Die Nachteile dieser Lösung liegen in ihrer nichtkontinuierlichen Flüssigkeitszufuhr, der nicht-reproduzierbaren Flüssigkeitsgeometrie auf dem Substrat und dem dadurch zeitlich nicht konstanten Zerstäubungsprozess, welcher dann auch zeitlich veränderliche Aerosoleigenschaften bedingt.

2. Die Flüssigkeit wird mit Hilfe von flüssigkeitsgetränkten Geweben/Vliesen, welche in Kontakt mit der Substratoberfläche stehen, in den Schallpfad gebracht (D. Teller, et al: Phys. Rev. E 87, 053004 (2013)).

Die Nachteile dieser Verfahren liegen in der geringen Reproduzierbarkeit der Vliesgeometrie und Vliespositionierung, der schwierigen Miniaturisierbarkeit und der undefinierten Interaktion der SAW mit dem Gewebe/Vlies, wenn dessen Geometrie (Porengröße, Faserdurchmesser usw.) in der Größenordnung der akustischen Welle liegt.

3. Die Flüssigkeit wird durch einen Kapillarspalt zugeführt (M. Kurosawa et al: IEEE Proceedings, 25 (1995)).

Der Nachteil dieser Lösung liegt in der aufwendigen technologischen Umsetzung und teuren Herstellung sowie der noch unzuverlässigen Arbeitsweise.

[0005] Bezüglich des Ortes der Flüssigkeitszufuhr auf der Substratoberfläche ist bisher nur ein einziger Ort beschrieben worden: Die Flüssigkeit wird im Bereich der maximalen Amplitude der Teilchenoszillation zugeführt, so dass die laufende akustische Welle zentral auf die Flüssigkeit trifft (K. Chono et al: Jap.J. of Appl. Phys. Part 1-Regular Papers Short Notes & Review Papers 43, 2987 (2004)). Auch auf Bauelementen, welche stehende akustische Wellen anregen, wird die Flüssigkeitszufuhr an diesem Ort realisiert (J. Ju et al: Sens. Actuator A-Phys. 147, 570 (2008)). Diese Positionierung der Flüssigkeitszufuhr in den Bereich des akustischen Pfades ist sinnvoll, da das Zerstäuben der Flüssigkeit nur bei hohen Amplituden der Teilchenoszillation möglich ist.

[0006] Nachteilig ist, dass es dabei aber zu sekundären Wechselwirkungen zwischen der SAW und dem Flüssigkeitsvolumen und/oder dem Flüssigkeitsmeniskus kommt, wie beispielsweise zu einer Flüssigkeitsakkumulation durch die Erhöhung des Kontaktwinkels auf den Rayleigh-Winkel und die Flüssigkeitsnachlieferung aus dem Reservoir, zu Strömungsanregungen ("acoustic streaming", Eckart-Strömung), zur Anregung von Kapillarwellen an der Flüssigkeits-Gas-Grenzfläche bis hin zur Abtrennung von größeren Flüssigkeitstropfen (Jetting), welche die Effizienz des Zerstäubungsprozesses verringern, den Zerstäubungsprozess destabilisieren und die Aerosoleigenschaften negativ beeinflussen können.

[0007] Weiterhin sind Lösungen bekannt, bei denen Polymere zur Herstellung von dreidimensionalen Strukturen wie Mikrokanälen unter Anwendung von fotolithografischen Verfahren zum Einsatz kommen (J.M. Dykes, Proc. Of SPIE 6465, 64650N-1 (2007)). Hierzu wurde bereits gezeigt, dass die Belichtung einer Lackschicht unter Verwendung von Graustufenmasken bei einer Wellenlänge im Einzelbelichtungsverfahren, sowie von chromstrukturierten Quarzmasken in einem zweistufigen Belichtungsverfahren mit zwei verschiedenen Wellenlängen auf nichttransparenten Siliziumsubstraten zu einer kanalartigen Struktur im Fotolack führen kann. Dazu werden insbesondere epoxy-basierte polymere Fotolacke oder novolak-basierte polymere Fotolacke oder Acryl-basierte polymere Fotolacke eingesetzt, die eine wellenlängenabhängige optische Dichte und gute mechanische und chemische Eigenschaften aufweisen.

[0008] Nachteilig bei der Verwendung von Graustufenmasken sind zum einen der große Aufwand, inklusive der höheren Kosten, bei der Herstellung der Masken sowie die unscharf abgebildeten Übergänge von Kanalwand zu Kanaldeckel bei kleinen Abmessungen und Aspektverhältnissen.

[0009] Es ist eine Lösung bekannt, bei der ein transparentes Glassubstrat verwendet wurde, um Kanalstrukturen im Fotolack zu erzeugen (S. Tuomikoski und S. Franssila, Sensors and Actuators A 120 (2005) 408-415).

[0010] Nachteilig daran ist jedoch, dass der Kanal allseitig aus dem Lack besteht und somit der Kanal keinen ebenen Kontakt zum Substrat hat. Des Weiteren benötigt der Lösungsvorschlag mehr als einen Belackungsschritt mit je einer nachfolgenden Belichtung bestehend aus Flut- oder Strukturbelichtungen.

[0011] Für die in (S. Tuomikoski und S. Franssila, Sensors and Actuators A 120 (2005) 408-415) präsentierte Variante bei der eine Kanalwand aus dem Substrat selbst besteht, kam wieder das für UV Licht intransparente Silizium als Substrat zum Einsatz.

[0012] Der Nachteil dieses Verfahrens ist, dass die verfügbaren Werte für das Tempern des Lackes und Dosis während der Belichtung wegen der speziellen Eigenschaften (Verspannung, Doppelbrechung, Reflexion) des Substrates in Verbindung mit dem Lack nicht für andere Materialkombinationen übernommen werden können und erst jeweils angepasst werden müssen.

[0013] Nachteilig bei den bekannten Lösungen insgesamt ist, dass entsprechende Mikrokanäle nicht im industriellen Maßstab herstellbar sind und eine sichere und gleichmäßige Zerstäubung von Flüssigkeiten nicht gewährleistet werden kann.

[0014] Bekannt ist die Anordnung von Mikrokanälen auf einem SAW-Bauelement, welche mittels fotolithografischer Verfahren hergestellt worden sind und deren Auslass an der Grenze der akustischen Welle positioniert ist und direkt auf das Zentrum der akustischen Welle zeigt (A. Winkler, S. Harazim, D.J. Collins: Vortrag, Acoustofluidics Conference, Prato (2014))

[0015] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Vorrichtung zur Flüssigkeitszerstäubung anzugeben, mit der unter Einsatz von akustischen Oberflächenwellen eine sichere, reproduzierbare und gleichmäßige Zerstäubung von Flüssigkeiten gewährleistet werden kann, und weiterhin ein Verfahren zu ihrer Herstellung anzugeben, welches einfach reproduzierbar und im industriellen Maßstab anwendbar ist.

[0016] Die Aufgabe wird durch die in den Ansprüchen angegebene Erfindung gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0017] Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Flüssigkeitszerstäubung besteht aus einem piezoelektrischen Substrat oder aus einem mit einer piezoelektrischen Schicht beschichteten Substrat oder aus einem mit einem piezoelektrischen Substrat über ein Koppelmedium verbundenen nichtpiezoelektrischen Substrat, wobei auf dem piezoelektrischen Substrat oder auf dem mit einer piezoelektrischen Schicht beschichteten Substrat mindestens ein Interdigitalwandler mit Elektroden aufgebracht ist, und weiterhin auf dem piezoelektrischen Substrat oder auf dem mit einer piezoelektrischen Schicht beschichteten Substrat oder auf dem mit dem piezoelektrischen Substrat über ein Koppelmedium verbundenen

nichtpiezoelektrischen Substrat ein oder mehrere mittels fotolithografischer Verfahren aufgebrachte Strukturen aus Polymermaterial mit Mikrokanälen vorhanden sind, die mindestens teilweise außerhalb des Ausbreitungsbereichs der von dem mindestens einen Interdigitalwandler angeregten akustischen Welle oder Wellen angeordnet sind, und die Mikrokanäle mindestens zwei Öffnungen aufweisen und mindestens eine der Öffnungen der Mikrokanäle in Richtung der akustischen Welle oder Wellen angeordnet sind, und diese mindestens eine Öffnung der Mikrokanäle an der Position angeordnet ist, an der die akustische Welle oder Wellen einen nachweislichen Anstieg der Amplitude der akustischen Welle oder Wellen aufweisen, und die mindestens eine Öffnung der Mikrokanäle, die nicht in Richtung der akustischen Welle angeordnet ist, mit einem Flüssigkeitsreservoir verbunden ist.

[0018] Vorteilhafterweise besteht das piezoelektrische Substrat aus einkristallinem SiO_2 , Lithiumniobat (LiNbO_3), Lithiumtantalat (LiTaO_3), Längsgerad ($\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$), $\text{Ca}_3\text{TaGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$, Aluminiumnitrid (AlN), Zinkoxid (ZnO), Blei-Zirkonat-Titanat (PZT), Blei-Magnesium-Niobat (PMN), Galliumorthophosphat (GaPO_4) oder aus einem mit einer piezoelektrischen Schicht beschichteten nichtpiezoelektrischen Substrat aus Polymer, Glas, Keramik oder Metall.

[0019] Weiterhin vorteilhafterweise besteht das über ein Koppelmedium mit einem piezoelektrischen Substrat verbundene nichtpiezoelektrische Substrat aus Polymer, Glas, Keramik oder Metall.

[0020] Ebenfalls vorteilhafterweise ist das Substrat, auf dem sich die Strukturen aus Polymermaterial befinden, optisch transparent.

[0021] Und auch vorteilhafterweise ist ein Mikrokanal vorhanden, dessen eine Öffnung an der Position angeordnet ist, bei der die Amplitude der akustischen Welle oder Wellen 5 - 30 %, noch vorteilhafterweise 5 - 15 % der maximalen Amplitude der Welle oder Wellen beträgt.

[0022] Vorteilhaft ist es auch, wenn zwei Mikrokanäle vorhanden sind, von denen mindestens eine Öffnung an der Position angeordnet ist, bei der die Amplitude der akustischen Welle oder Wellen 5 - 30 %, noch vorteilhafterweise 5 - 15 %, der maximalen Amplitude der Welle oder Wellen beträgt, wobei die Mikrokanäle an gegenüberliegenden Seiten der akustischen Welle auf dem Substrat angeordnet sind.

[0023] Ebenfalls vorteilhaft ist es, wenn eine Vielzahl an Mikrokanälen vorhanden sind, deren mindestens eine Öffnung auf einer oder auf beiden Seiten der akustischen Welle oder Wellen angeordnet sind.

[0024] Weiterhin vorteilhaft ist es, wenn das Polymermaterial der Mikrokanäle aus Epoxy-basiertem polymeren Fotolack, oder Novolak-basiertem polymeren Fotolack oder Acryl-basiertem polymeren Fotolack besteht.

[0025] Und auch vorteilhaft ist es, wenn die Querschnitte der Mikrokanäle rechteckig, quadratisch, halbrund oder halboval sind, und/oder ein Bereich des Umfangs der Mikrokanäle vom Substrat und/oder auf dem

Substrat befindlichen Schichten gebildet ist.

[0026] Von Vorteil ist es auch, wenn die Innenwände der Mikrokanäle mit Einzelschichten oder Mehrlagenschichten aus Metallmaterial, Silanverbindungen, Polymermaterial, Keramikmaterial oder Glasmaterial beschichtet sind.

[0027] Weiterhin von Vorteil ist es, wenn mindestens eine Öffnung eines Mikrokanals an der Position angeordnet ist, an der der Anstieg der Amplitude der akustischen Welle oder Wellen 10^{-4} ... 10 nm/mm, vorteilhafterweise 10^{-3} ... 5 nm/mm, beträgt.

[0028] Ebenfalls von Vorteil ist es, wenn als Interdigitalwandler Chirped IDT oder slanted finger IDT zum Einsatz kommen.

[0029] Und auch von Vorteil ist es, wenn zwischen dem Substrat und dem Polymermaterial der Strukturen eine oder mehrere Funktionsschichten vorhanden sind.

[0030] Ebenso von Vorteil ist es, wenn der Kontaktwinkel der Flüssigkeit zur Substratoberfläche oder zu einer auf der Substratoberfläche befindlichen Funktionsschicht kleiner oder gleich dem Winkel der Wellenabstrahlung in die Flüssigkeit (Rayleigh-Winkel) ist.

[0031] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung einer Vorrichtung zur Flüssigkeitszerstäubung wird auf ein piezoelektrisches Substrat oder auf ein mit einer piezoelektrischen Schicht beschichtetes Substrat oder auf ein mit einem piezoelektrischen Substrat über ein Koppelmedium verbundenes Substrat mindestens ein Interdigitalwandler aufgebracht, nachfolgend wird fotolithographisch strukturierbares Polymermaterial aufgebracht und die strukturierte Belichtung des Polymermaterials zur Herstellung von einem oder mehreren Mikrokanälen mit mindestens zwei Öffnungen durchgeführt, wobei durch die Strukturierung jeweils eine der Öffnungen der Mikrokanäle in Richtung der akustischen Welle oder Wellen an der Position angeordnet wird, an der die akustische Welle oder Wellen einen nachweislichen Anstiegs der Amplitude der akustischen Welle oder Wellen aufweisen, und nach der strukturierten Belichtung und Aushärtung wird das unvernietzte Polymermaterial entfernt.

[0032] Vorteilhafterweise wird fotolithographisch strukturierbares Polymermaterial mit wellenlängenabhängiger Lichtabsorption aufgebracht und zur Strukturierung der Mikrokanäle zuerst mit Licht einer Wellenlänge 1 zur Belichtung der Mikrokanalwände belichtet und nachfolgend mit Licht einer Wellenlänge 2 zur Belichtung der Mikrokanalabdeckung belichtet.

[0033] Weiterhin vorteilhafterweise werden funktionelle Schicht/en auf das Substrat aufgebracht.

[0034] Ebenfalls vorteilhafterweise werden Schichten aus dielektrischem oder passivierendem Material, wie Schichten aus SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 und/oder metallische Schichten wie Al, Ti, Cr, Au, Pt, Pd aufgebracht.

[0035] Mit der erfindungsgemäßen Lösung ist es erstmals möglich eine Vorrichtung zur Flüssigkeitszerstäubung anzugeben, mit der unter Einsatz von akustischen Oberflächenwellen eine sichere, reproduzierbare und

gleichmäßige Zerstäubung von Flüssigkeiten gewährleistet werden kann, und weiterhin ein Verfahren zu ihrer Herstellung anzugeben, welches einfach reproduzierbar und im industriellen Maßstab anwendbar ist.

[0036] Erreicht wird dies mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Flüssigkeitszerstäubung, welche im Wesentlichen ein SAW-Bauelement mit einem polymeren, lithographisch hergestellten Bauelement verbindet und die Eigenschaften einer akustischen Welle für die Flüssigkeitszerstäubung ausnutzt.

[0037] Die Vorrichtung besteht dabei aus einem Substrat, welches für ein SAW-Bauelement einsetzbar ist. Dies sind piezoelektrische Substrate oder mit einer piezoelektrischen Schicht beschichtete Substrate oder aus einem mit einem piezoelektrischen Substrat über ein Koppelmedium verbundenen Substrat. Letztgenannte Substrate werden im Bereich der SAW-Flüssigkeitsaktor als Superstrates oder Übersubstrate bezeichnet. Dies können beispielsweise nichtpiezoelektrische Glas-, Keramik-, Metall- oder Polymerplatten sein, die mit einem Koppelmedium an ein piezoelektrisches Substrat akustisch angekoppelt sind.

[0038] Als piezoelektrische Substrate können alle bekannten piezoelektrischen Substratmaterialien, die auch für SAW-Bauelemente bekannt sind und die Anregung von Rayleigh- oder Plattenwellen ermöglichen, eingesetzt werden, wie einkristallines SiO_2 , oder LiNbO_3 (insbesondere $128^\circ\text{YX-LiNbO}_3$), LiTaO_3 , $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$, $\text{Ca}_3\text{TaGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$, AlN , ZnO , Blei-Zirkonat-Titanat (PZT), Blei-Magnesium-Niobat (PMN), Galliumorthophosphat (GaPO_4) oder beschichtetes Polymer, Glas, Keramik oder Metall.

[0039] Auf die erfindungsgemäß einsetzbaren Substrate, die entweder piezoelektrische Substrate sind oder mit einem Piezomaterial beschichtete Substrate sind, wird mindestens ein Interdigitalwandler mit Elektroden aufgebracht. Dies erfolgt ebenfalls mit bekannten Verfahren und Materialien aus der SAW-Technologie, wie beispielsweise Lift-Off-Strukturierungsverfahren und Materialien wie Aluminium oder Titan. Vorteilhafterweise wird für eine Flüssigkeitszerstäubung nur ein Interdigitalwandler auf das Substrat aufgebracht, es können aber auch zwei oder mehr Interdigitalwandler für eine Flüssigkeitszerstäubung aufgebracht werden, wenn stehende Wellenfelder oder Wellenfelder mit spezieller räumlicher Struktur oder Amplitudenverteilung angeregt werden sollen.

[0040] Weiterhin sind ein oder mehrere Mikrokanäle auf dem piezoelektrischen Substrat oder auf dem mit einem Piezomaterial beschichteten Substrat oder auf dem über ein Koppelmedium mit einem piezoelektrischen Substrat verbundenem nichtpiezoelektrischen Substrat vorhanden, die mittels fotolithografischer Verfahren hergestellt worden sind.

[0041] Dabei wird fotolithographisch strukturierbares Polymermaterial aufgebracht und nachfolgend erfolgt eine strukturierte Belichtung des Polymermaterials zur Herstellung von einem oder mehreren Mikrokanälen mit

mindestens zwei Öffnungen. Fotolithographisches Polymermaterial sind beispielsweise Epoxy-basierte polymere Fotolacke und/oder Novolak-basierte polymere Fotolacke und/oder Acryl-basierte polymere Fotolacke, wie SU-8, SU-8 50, SU-8-2000, SU-8-3000, KMPR, SPR 220-7, Ordyl P-50100 oder Diaplate 132.

[0042] Die strukturierte Belichtung des Polymermaterials, im für UV Lithographie üblichen Spektrum, wird einerseits mit chromstrukturierten Masken oder mit graduerten Intensitätsfiltern versehenen Grautonmasken durchgeführt. Mittels einer Grautonmaske kann die strukturierte Belichtung in einem Prozessschritt durchgeführt werden. Hinzu kommt, dass es weitaus schwieriger ist, bei einem einstufigen Belichtungsverfahren nicht-transparente Substratmaterialien zu finden, welche für SAW Anwendungen geeignet sind und zudem die Fotolacke bei der gewählten Wellenlänge für die Intransparenz des Substrates noch dreidimensional strukturierbar sind. Daher ist es vorteilhaft für eine industrielle Verwendung die strukturierte Belichtung wegen der weitaus günstigeren Herstellung von chromstrukturierten Masken in zwei Prozessschritten durchzuführen.

[0043] Zu berücksichtigen ist, dass die jeweiligen strukturierten Belichtungen hinsichtlich der Wellenlängen an die optischen Eigenschaften des Substrates und der Polymermaterialien anzupassen sind. Dies sind bekannte Kriterien für fotolithographische Verfahren.

[0044] Vorteilhaft für einen zweistufigen Belichtungsprozess auf transparenten Substraten sind integrierte Methoden, die ein Rückstreuen von UV Licht von der Substratunterseite oder dem Substrathalter vermindern oder gar ganz verhindern. Dies kann beispielsweise durch eine funktionale Beschichtung mit einem als Bragg-Reflektor wirkendes geeignetes Schichtsystem auf der Substratoberfläche geschehen. Die als Bragg-Reflektor wirkende Schicht würde somit die positiven Reflexionseigenschaften von Si-Substraten imitieren.

[0045] Bei einem zweistufigen Belichtungsprozess wird im ersten Prozessschritt das Polymermaterial zur Erzeugung der Mikrokanalwände mit Licht einer Wellenlänge 1 und einer Fotomaske 1 belichtet. Dabei ist von Bedeutung, dass bei dieser gewählten Wellenlänge das Polymermaterial eine höhere Transparenz und damit eine geringere optische Dichte und gleichzeitig das Substrat eine geringere Reflektivität von der Substratunterseite aufweisen, als bei der nachfolgenden Belichtung mit Licht einer Wellenlänge 2. Idealerweise sollte das Substrat bei der Wellenlänge 1 das Licht entweder komplett von Oberfläche reflektieren oder komplett absorbieren.

[0046] Bei der erfindungsgemäßen strukturierten Belichtung sollten bei der Herstellung der Mikrokanalwände nur minimale Reflexionen von der Substratunterseite auftreten und damit minimierte sekundäre Belichtungs-effekte auftreten. Ermöglicht wird dies durch den Einsatz von Licht bei einer Wellenlänge, bei der das Polymermaterial einen Großteil des Lichtes absorbiert, aber dennoch durchbelichtet werden kann. Dadurch gelangt mög-

lichst wenig Licht in das Substrat und folglich kann entsprechend weniger von der Substratunterseite zurückgestreut werden.

[0047] Im zweiten Prozessschritt wird das bereits teilweise belichtete Polymermaterial erneut belichtet, jedoch mit Licht einer Wellenlänge 2 und einer Fotomaske 2. Die Wellenlänge 2 wird dabei so gewählt, dass das Polymermaterial bei der Belichtung eine hohe Lichtabsorption, also eine höhere optische Dichte gegenüber dem Licht mit der Wellenlänge 1 aufweist. Dadurch wird nicht das gesamte Volumen des Polymers durchbelichtet, sondern nur eine obere Schicht, welche dünner ist als die gesamte Polymerschicht.

[0048] Mit der zweiten Belichtung sollen die Mikrokanalabdeckungen hergestellt werden. Nach der Belichtung erfolgt die Temperung und damit die Auslösung der gewünschten chemischen Reaktionen zur Vernetzung und Aushärtung des Polymermaterials. Der folgende nasschemische Waschschrift mit einem Lackentwickler entfernt die nicht vernetzten Polymerbereiche und legt somit die Kanalstruktur frei.

[0049] Zur weiteren Modifizierung beziehungsweise Korrektur der Kanalstruktur können weitere Belichtungsschritte durchgeführt werden.

[0050] Während die Wände und der Deckel der Mikrokanäle aus einem Polymermaterial bestehen, besteht der Boden der Mikrokanäle aus dem Substratmaterial oder der obersten der auf das Substratmaterial aufgetragenen Funktionsschichten. Die Innenwände des Mikrokanals können mit verschiedenen Funktionsschichten beschichtet sein, um einen an das verwendete Fluid angepasste Oberflächenspannung zu erzeugen. Eine angepasste Oberflächenspannung kann das Befüllen des Kanals erleichtern.

[0051] Auf das Substrat können (vor Erzeugung der Mikrokanäle aus Polymermaterial) ebenfalls funktionelle Schichten, wie dielektrische Schichten, optisch opake, reflektierende und/oder absorbierende Schichten oder Schichten zur Einstellung einer gezielten Lichtreflexion oder -absorption beispielsweise aus Al, Cr und Ti als Einzel- oder Mehrschichten realisiert werden. Auch auf die Innenwände der Mikrokanäle können nach deren Herstellung funktionelle Schichten aus beispielsweise SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Silanverbindungen zur chemischen Funktionalisierung, zur chemischen Passivierung und/oder zur Anpassung der Benetzungseigenschaften der Materialien der Mikrokanäle beispielsweise durch nasschemische Verfahren oder Gasphasenabscheidung aufgebracht werden.

[0052] Da die strukturierte Belichtung zur Herstellung von Mikrokanälen mit mindestens zwei Öffnungen durchgeführt wird, befindet sich in dem verbliebenen ausgehärteten Polymermaterial mindestens ein Mikrokanal, beispielsweise mit einem rechteckigen Querschnitt mit Abmessungen von $2000 \times 50 \times 50 \mu\text{m}^3$ (LängexHöhexBreite). Die Positionierung und Ausrichtung der Mikrokanäle und ihrer Öffnungen wird durch die strukturierte Belichtung und Aushärtung der Polymermaterialien und

nachfolgende Entfernung der unausgehärteten Polymermaterialien erreicht.

[0053] Dabei erfolgt die Anordnung des fotolithographisch strukturierten Polymerblockes mit dem Mikrokanal oder den Mikrokanälen auf dem Substrat mindestens teilweise außerhalb des Ausbreitungsbereichs der akustischen Welle oder Wellen, wobei die Ausrichtung des Mikrokanals oder der Mikrokanäle und deren mindestens eine Öffnung in Richtung der akustischen Welle oder Wellen, vorteilhafterweise in einem Winkel von $\pm 45^\circ$ bezogen auf die orthogonale Ausrichtung der Öffnung zur Ausbreitungsrichtung der akustischen Welle oder Wellen, erfolgt, ebenfalls vorteilhafterweise im Wesentlichen orthogonal zur Ausbreitungsrichtung der akustischen Welle oder Wellen, und mindestens an einer Position bezüglich der akustischen Welle oder Wellen realisiert ist, an welcher ein Anstieg der Amplitude der akustischen Welle oder Wellen nachweisbar ist.

[0054] Die Positionierung der mindestens einen Öffnung eines Mikrokanals erfolgt, vorteilhafterweise, indem der Mikrokanalteil mit der Öffnung im Ausbreitungsbereich der akustischen Welle oder Wellen angeordnet ist besonders vorteilhafterweise an einer Position der Substratoberfläche, an welcher der Anstieg der Amplitude der akustischen Welle oder Wellen $10^{-4} \dots 10$ nm/mm, vorteilhafterweise $10^{-3} \dots 5$ nm/mm, mit nm = (Amplitude der Oberflächenoszillation) und mm = (Strecke auf der Substratoberfläche) beträgt. Der übrige Mikrokanalteil kann außerhalb des Ausbreitungsbereichs der akustischen Welle oder Wellen angeordnet sein.

[0055] Die Positionierung einer Öffnung eines Mikrokanals am und/oder teilweise im Ausbreitungsbereich der akustischen Welle und an einer Position mit einem nachweisbaren Anstieg der Amplitude der Welle oder Wellen ermöglicht die Interaktion der im Mikrokanal befindlichen Flüssigkeit am Mikrokanalausgang mit der Welle oder den Wellen und damit die Einwirkung einer Kraft auf die Flüssigkeit. Diese Kraftwirkung in Richtung des oder der Amplitudenmaxima führt zur dynamischen Ausbildung und Stabilisierung einer Flüssigkeitsdünnschicht, deren Ausdehnung in Richtung der ansteigenden Amplitude erfolgt und im Amplitudenmaximum zur Zerstäubung der Flüssigkeit führt.

[0056] Weiterhin können auch eine Vielzahl von Mikrokanälen auf einer oder auf beiden Seiten einer oder mehrerer akustischer Wellen angeordnet sein, wobei immer mindestens eine Öffnung eines Mikrokanals an der Position angeordnet ist, bei der die Amplitude der akustischen Welle oder Wellen 5 - 30 % der maximalen Amplitude der Welle oder Wellen beträgt.

[0057] Der Anstieg der Amplitude der Welle oder Wellen wird im Rahmen dieser Erfindung so definiert, dass bei Vorliegen einer ausgebildeten Welle oder Wellen auf einem Substrat die Welle oder Wellen über den Querschnitt betrachtet, vom Substrat ausgehend von beiden seitlichen Rändern der Welle aus die Amplitude bis zum Amplitudenmaximum oder mehreren Amplitudenmaxima ansteigt. Sobald ein nachweisbarer Anstieg der Am-

plitude am Wellenrand vorliegt, ist damit ein Ort für die Positionierung der Öffnung eines Mikrokanals angegeben. Vorteilhafterweise befindet sich dieser Ort an der Position, an der der Anstieg $10^{-3} \dots 5$ nm/mm, mit nm = (Amplitude der Oberflächenoszillation) und mm = (Strecke auf der Substratoberfläche) und die Amplitude 5-30 %, vorteilhafterweise 5-15 %, der maximalen Amplitude der Welle oder Wellen beträgt.

[0058] Bei bekannten Daten des SAW-Bauelementes kann dieser Ort berechnet werden. Der Ort kann aber auch durch Messung der Amplitudenverteilung bei gegebenem Aufbau und Eingangssignal, beispielsweise mit Hilfe eines Vibrometers, bestimmt werden. Die Lage der Position kann bei gegebenem Aufbau ebenfalls auf der Substratoberfläche verschoben werden, indem die dem IDT zugeführte Leistung erhöht oder verringert wird, so dass an einer festen Position auf der Substratoberfläche der Betrag des Anstiegs der Amplitude und die Amplitude der akustischen Welle oder Wellen verändert werden kann.

[0059] Die Lage der Position kann bei gegebenem Aufbau ebenfalls auf der Substratoberfläche verschoben werden, indem die dem IDT zugeführte Leistung erhöht oder verringert wird, so dass sich an einer festen Position auf der Substratoberfläche der Betrag des Anstiegs der Amplitude und die Amplitude der akustischen Welle oder Wellen verändert. Weiterhin kann bezüglich einer festen Position auf der Substratoberfläche der Betrag des Anstiegs der Amplitude der akustischen Welle oder Wellen bei Verwendung spezieller IDT, beispielsweise sogenannter Chirped oder slanted-finger IDT durch Veränderung der elektrischen Eingangssignale verändert werden. Bei chirped IDT kann dabei durch Wahl der Frequenz in Kombination mit der wellenlängenabhängigen Beugung und Wellenausbreitung eine Variation des Wellenfeldes, d.h. der räumlichen Amplitudenverteilung, erreicht werden. Bei slanted-finger IDT erfolgt die Anregung der SAW bei einer Frequenz nur in einem Teil der Apertur, wodurch ebenfalls das Wellenfeld entsprechend gesteuert werden kann.

[0060] Es ist auch möglich, durch die Veränderung des lokalen Anstiegs der Amplitude der akustischen Welle oder Wellen über ihre Pfadlänge verschiedene Öffnungen von Mikrokanälen entlang des Pfades der akustischen Welle anzusteuern und dann möglicherweise auch unterschiedliche Flüssigkeiten gezielt zu zerstäuben, die durch die unterschiedlichen Mikrokanäle eingebracht werden können.

[0061] Die mindestens zweite Öffnung der Mikrokanäle, die nicht in Richtung der akustischen Welle angeordnet ist, ist mit einem Flüssigkeitsreservoir verbunden.

[0062] Die Mikrokanäle haben vorteilhafterweise eine L-förmige Struktur, wobei der kürzere Schenkel des L in Richtung des Flüssigkeitsreservoirs angeordnet ist. Dort können Pumpen, Schläuche oder Ventile angeschlossen werden, um die Flüssigkeitszufuhr zu gewährleisten. Andere Kanalformen, beispielsweise Mäander, oder Kanäle mit mehreren Kanalöffnungen, oder die Integration von

aktiven Komponenten wie Pumpen oder Ventilen in den Mikrokanal sind ebenfalls möglich.

[0063] Die Dimensionierung der Öffnung in Richtung der akustischen Welle können den Dimensionen der gewünschten Flüssigkeitsschicht (Breite, Höhe) angepasst werden. Wünschenswert ist zudem eine möglichst geringe Breite der Mikrokanalwände im Wechselwirkungsbereich mit der akustischen Welle, um die Wechselwirkungen des Polymermaterials mit der akustischen Welle zu minimieren und die Intensität störender Effekte, wie Polymererwärmung und/oder Polymerdegradation und/oder die Dämpfung der akustischen Welle und/oder die negative Beeinflussung des Wellenfeldes zu verringern. Die Breite der technologisch realisierbaren Kanalwände wird jedoch durch Faktoren wie Haftfestigkeit, mechanische Stabilität und die Grenzen der Lithografie in Polymerschichten limitiert.

[0064] Mit der erfindungsgemäßen Lösung wird eine räumliche Trennung von Flüssigkeitszufuhrposition und Zerstäubungszone realisiert, die durch eine Flüssigkeitsdünnschicht miteinander verbunden sind. Dadurch wird die akustische Welle in ihren Eigenschaften wenig oder gar nicht beeinflusst, sekundäre akustischbedingte Effekte im Fluid vermindert und eine bestmögliche Zerstäubung der Flüssigkeit ist möglich. Ebenso wird das Polymermaterial durch die akustische Welle wenig oder gar nicht negativ beeinflusst, was eine geringere Stressbelastung und höhere Lebensdauer und Leistungsbeständigkeit des Polymermaterials zur Folge hat.

[0065] Die Herstellung der Mikrokanäle mittels fotolithographischer Verfahren ist einfach und kostengünstig und für eine Massenproduktion einfach anwendbar. Es kann auf teure Verfahrensschritte, wie beispielsweise Waferbonden, verzichtet werden.

[0066] Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist gut miniaturisierbar und kann gut mit übergeordneten Fluidsystemen, wie Pumpen, Reservoirs, Ventilen, verbunden werden.

[0067] Durch Auswahl der Polymermaterialien und einer möglichen Funktionalisierung der Kanalinnenwände kann eine gute Kompatibilität zu vielen Flüssigkeitsklassen oder Dispersionen erreicht werden, ebenso wie eine gute Biokompatibilität.

[0068] Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung können kontinuierliche oder diskontinuierliche Flüssigkeitszerstäubungen realisiert werden, sowohl mit nur einer Flüssigkeit als auch mit mehreren verschiedenen Flüssigkeiten, sowie eine gezielte Steuerung der Zerstäubung an verschiedenen Orten durch lokale Änderung des Anstieges der Amplitude der akustischen Welle oder Wellen auf dem Substrat. Ebenso können die Zerstäubungsbedingungen gesteuert und damit die Aerosoleigenschaften konstant gehalten werden, beispielsweise hinsichtlich der Tropfengrößenverteilung, oder auch eine selektive Aerosolbildung oder eine zeitlich variable Aerosolbildung realisiert werden.

[0069] Unter Flüssigkeiten sollen im Rahmen dieser Erfindung alle Flüssigkeiten und auch Dispersionen und

Suspensionen mit Bestandteilen im Nanometerbereich verstanden werden.

[0070] Nachfolgend wird die Erfindung an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert.

Beispiel

[0071] Auf einem 4-Zoll-Wafer aus piezoelektrischem 128°YX Lithiumniobat (LiNbO_3) als Substrat wird ein Interdigitalwandler aus 5nm Titan (als Haftsicht) und aufliegend 295nm Aluminium mittels Lift-Off-Strukturierung hergestellt. Anschließend wird eine $1\text{ }\mu\text{m}$ dicke SiO_2 -Schicht als Funktionsschicht mittels Kathodenzerstäubung aufgebracht. Die SiO_2 -Schicht wird anschließend an den Stellen der elektrischen Kontaktierung freigeätzt. Der Interdigitalwandler ist vom Lambda-Viertel-Typ mit Finger- und Leerraumbreiten von jeweils $15\text{ }\mu\text{m}$ und einer Apertur von 2 mm.

[0072] Nachfolgend wird die Oberfläche des Substrates mittels Aceton und Isopropylalkohol unter Ultraschall 10 min gereinigt und nachfolgend mit Stickstoff abgeblasen und mit Sauerstoffplasma behandelt. Damit sind alle Partikel und organischen Reste von der Oberfläche entfernt, was die Adhäsion mit dem nachfolgend aufgetragenen Fotolack verbessert.

[0073] Auf die Mitte des Substrates wird nun 5 ml Fotolack SU-8 50 aufgetropft. Durch Abschleudern bei 1500 rpm wird eine Lackschicht auf der Oberfläche des Substrates von ca. $80\text{ }\mu\text{m}$ Dicke gebildet. Das Substrat mit der Lackschicht wird mit einer Aufheizgeschwindigkeit von 2 K/min auf 95°C erwärmt dort für 30 min gehalten und ebenfalls mit 2 K/min wieder abgekühlt. Damit ist das Lösungsmittel entfernt und Verspannungen sind in der Lackschicht minimiert.

[0074] Nachfolgend findet der Belichtungsprozess statt. Die Belichtung erfolgt in zwei Schritten, wobei im ersten Schritt die Mikrokanalwände und im zweiten Schritt der Mikrokanaldeckel strukturiert werden.

[0075] Zur Herstellung der Mikrokanalwände wird eine Fotomaske 1 in einer im Kontaktmodus betriebenen Belichtungsanlage eingesetzt. Die Fotomaske 1 weist Strukturen aus Chrom und Leerräume auf. Die Leerräume repräsentieren dabei die zu belichtenden Bereiche und damit die späteren Mikrokanalwände. Die Fotomaske 1 wird in einer Vorrichtung entsprechend ausgerichtet. Bei einer Wellenlänge von 365nm wird der Fotolack mit einer Lichtdosis von 7 mW/cm^2 für 20 s belichtet. Nachfolgend erfolgt die zweite Belichtung mit der Fotomaske 2 bei einer Wellenlänge von 254 nm mit einer Lichtdosis von 2 mW/cm^2 und einer Belichtungszeit von 10 s. Auch diese Fotomaske 2 weist Strukturen aus Chrom und Leerräume auf, wobei die Leerräume die zu belichtenden Bereiche repräsentieren und damit den späteren Kanaldeckel. Auch die Fotomaske 2 wird entsprechend der zuvor belichteten Strukturen ausgerichtet.

[0076] Nach den beiden Belichtungsschritten erfolgt wiederum eine Temperung zu den Bedingungen, wie für die Entfernung des Lösungsmittels. Danach erfolgt die

Entwicklung des Fotolacks mit einem Lackentwickler mr-DEV 600 pur für 2 Stunden. Nachfolgend wird eine Spülung mit reinem Isopropylalkohol durchgeführt und eine Trocknung an Luft realisiert.

[0077] Nach der Entfernung des ungehärteten Fotolacks vom Substrat verbleibt ein Polymerblock von $3,0 \times 3,5 \text{ mm}^2$ (BreitexLänge) und einer Höhe von $80 \text{ }\mu\text{m}$. Der L-förmige Mikrokanal im Inneren des Polymerblockes hat die Abmessungen von $1,5 \text{ mm}$ Länge und $70 \times 100 \text{ }\mu\text{m}^2$ (HöhexBreite) des langen L-Schenkels, der parallel zur Substratoberfläche angeordnet ist und $80 \text{ }\mu\text{m}$ Länge und $100 \times 100 \text{ }\mu\text{m}^2$ (HöhexBreite) des kurzen L-Schenkels, der in einem Winkel von 90° zur Substratoberfläche angeordnet ist. Die Innenwände des Mikrokanals sind zur Verbesserung der Benetzung mit einer 5 nm dicken Hydroxymethyltriethoxysilanschicht beschichtet.

[0078] Der strukturierte Polymerblock befindet sich zum größten Teil außerhalb des Pfades der akustischen Welle, wobei die Öffnung des langen Schenkels des L-förmigen Mikrokanals senkrecht zur Wellenausbreitungsrichtung angeordnet ist. Die Kanalöffnung befindet sich dabei in Ausbreitungsrichtung der Welle in einem Abstand von 3 mm vom IDT-Ende und senkrecht zur Ausbreitungsrichtung in einem Abstand von $1,25 \text{ mm}$ von der Aperturmitte. An diesem Ort entspricht der Betrag der ansteigenden Amplitude der SAW senkrecht zur Ausbreitungsrichtung ca. 4 nm/mm , mit nm (Amplitude) und mm (Strecke auf der Substratoberfläche). Die Amplitude der Welle an der Kanalöffnung beträgt dabei nur ca. 5% des Amplitudenmaximums in dieser Entfernung zum IDT, wodurch ein sehr geringer Energieeintrag in das Polymermaterial gewährleistet wird.

[0079] Zur elektrischen Ansteuerung des Interdigitalwandlers dient ein Sinus-Generator, welcher bei der Resonanzfrequenz des Interdigitalwandlers (ca. 64 MHz) betrieben wird und an dessen Ausgang ein 10 W -Hochfrequenzverstärker angeschlossen ist. An den Ausgang wird der Interdigitalwandler über Bonddrahtbrücken und SMA-Anschlusskabel angeschlossen.

[0080] Die Öffnung des kurzen Schenkels des L-förmigen Mikrokanals wird über einen Gummiring direkt an eine Andruckplatte mit einem Flüssigkeitsreservoir angeschlossen. Bei Zugabe der Flüssigkeit in das Reservoir füllt diese den Kanal und bildet an der Öffnung des langen Schenkels des L-förmigen Mikrokanals einen Flüssigkeitsmeniskus auf der Substratoberfläche aus. Als Flüssigkeit wird eine 1% ige Kochsalzlösung eingesetzt. Der Kontaktwinkel der Flüssigkeit zum SiO_2 ist kleiner als der Rayleigh-Winkel.

[0081] Bei Anlegen eines Sinus-Signals mit der Resonanzfrequenz des Interdigitalwandlers und 4 W elektrischer Leistung wird vom Interdigitalwandler eine akustische Oberflächenwelle vom Rayleigh-Typ ausgesandt. Die akustische Oberflächenwelle erreicht den Ort der Öffnung des langen Schenkels des L-förmigen Mikrokanals mit dem zuvor definierten Amplitudenanstieg. Dadurch wird eine Kraft auf den Flüssigkeitsmeniskus ausgeübt, es bildet sich eine dünne Flüssigkeitsschicht aus und die

Flüssigkeit wird in Richtung des Amplitudenmaximums gezogen. Die Zerstäubung der Flüssigkeit erfolgt am Ort des Amplitudenmaximums. Durch eine kontinuierliche Flüssigkeitszufuhr wird eine kontinuierliche, gleichmäßige und sichere Zerstäubung realisiert.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Flüssigkeitszerstäubung, bestehend aus einem piezoelektrischen Substrat oder aus einem mit einer piezoelektrischen Schicht beschichteten Substrat oder aus einem mit einem piezoelektrischen Substrat über ein Koppelmedium verbundenen nichtpiezoelektrischen Substrat, wobei auf dem piezoelektrischen Substrat oder auf dem mit einer piezoelektrischen Schicht beschichteten Substrat mindestens ein Interdigitalwandler mit Elektroden aufgebracht ist, und weiterhin auf dem piezoelektrischen Substrat oder auf dem mit einer piezoelektrischen Schicht beschichteten Substrat oder auf dem mit dem piezoelektrischen Substrat über ein Koppelmedium verbundenen nichtpiezoelektrischen Substrat ein oder mehrere mittels fotolithografischer Verfahren aufgebrachte Strukturen aus Polymermaterial mit Mikrokanälen vorhanden sind, die mindestens teilweise außerhalb des Ausbreitungsbereichs der von dem mindestens einen Interdigitalwandler angeregten akustischen Welle oder Wellen angeordnet sind, und die Mikrokanäle mindestens zwei Öffnungen aufweisen und mindestens eine der Öffnungen der Mikrokanäle in Richtung der akustischen Welle oder Wellen angeordnet sind, und diese mindestens eine Öffnung der Mikrokanäle an der Position angeordnet ist, an der die akustische Welle oder Wellen einen nachweislichen Anstieg der Amplitude der akustischen Welle oder Wellen aufweisen, und die mindestens eine Öffnung der Mikrokanäle, die nicht in Richtung der akustischen Welle angeordnet ist, mit einem Flüssigkeitsreservoir verbunden ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der das piezoelektrische Substrat aus einkristallinem SiO_2 , Lithiumniobat (LiNbO_3), Lithiumtantalat (LiTaO_3), Langasit ($\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$), $\text{Ca}_3\text{TaGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$, Aluminiumnitrid (AlN), Zinkoxid (ZnO), Blei-Zirkonat-Titanat (PZT), Blei-Magnesium-Niobat (PMN), Galliumorthophosphat (GaPO_4) oder aus einem mit einer piezoelektrischen Schicht beschichteten nichtpiezoelektrischen Substrat aus Polymer, Glas, Keramik oder Metall besteht.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der das über ein Koppelmedium mit einem piezoelektrischen Substrat verbundene nichtpiezoelektrische Substrat aus Polymer, Glas, Keramik oder Metall besteht.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der das Substrat, auf dem sich die Strukturen aus Polymermaterial befinden, optisch transparent ist.
5. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der ein Mikrokanal vorhanden ist, dessen eine Öffnung an der Position angeordnet ist, bei der die Amplitude der akustischen Welle oder Wellen 5 - 30 %, noch vorteilhafterweise 5 - 15 %, der maximalen Amplitude der Welle oder Wellen beträgt.
6. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der zwei Mikrokanäle vorhanden sind, von denen mindestens eine Öffnung an der Position angeordnet ist, bei der die Amplitude der akustischen Welle oder Wellen 5 - 30 %, noch vorteilhafterweise 5 - 15 %, der maximalen Amplitude der Welle oder Wellen beträgt, wobei die Mikrokanäle an gegenüberliegenden Seiten der akustischen Welle auf dem Substrat angeordnet sind.
7. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der eine Vielzahl an Mikrokanälen vorhanden sind, deren mindestens eine Öffnung auf einer oder auf beiden Seiten der akustischen Welle oder Wellen angeordnet sind.
8. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der das Polymermaterial der Mikrokanäle aus Epoxy-basiertem polymeren Fotolack, oder Novolak-basiertem polymeren Fotolack oder Acryl-basiertem polymeren Fotolack besteht.
9. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der die Querschnitte der Mikrokanäle rechteckig, quadratisch, halbrund oder halboval sind, und/oder ein Bereich des Umfangs der Mikrokanäle vom Substrat und/oder auf dem Substrat befindlichen Schichten gebildet ist.
10. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der die Innenwände der Mikrokanäle mit Einzelschichten oder Mehrschichten aus Metallmaterial, Silanverbindungen, Polymermaterial, Keramikmaterial oder Glasmaterial beschichtet sind.
11. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der mindestens eine Öffnung eines Mikrokanals an der Position angeordnet ist, an der der Anstieg der Amplitude der akustischen Welle oder Wellen 10^{-4} ... 10 nm/mm, vorteilhafterweise 10^{-3} ... 5 nm/mm, beträgt.
12. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der als Interdigitalwandler Chirped IDT oder slanted finger IDT zum Einsatz kommen.
13. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der zwischen dem Substrat und dem Polymermaterial der Strukturen eine oder mehrere Funktionsschichten vorhanden sind.
14. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der der Kontaktwinkel der Flüssigkeit zur Substratoberfläche oder zu einer auf der Substratoberfläche befindlichen Funktionsschicht kleiner oder gleich dem Winkel der Wellenabstrahlung in die Flüssigkeit (Rayleigh-Winkel) ist.
15. Verfahren zur Herstellung einer Vorrichtung zur Flüssigkeitszerstäubung, bei dem auf ein piezoelektrisches Substrat oder auf ein mit einer piezoelektrischen Schicht beschichtetes Substrat oder auf ein mit einem piezoelektrischen Substrat über ein Kopplmedium verbundenes Substrat mindestens ein Interdigitalwandler aufgebracht wird, nachfolgend fotolithographisch strukturierbares Polymermaterial aufgebracht und die strukturierte Belichtung des Polymermaterials zur Herstellung von einem oder mehreren Mikrokanälen mit mindestens zwei Öffnungen durchgeführt wird, wobei durch die Strukturierung jeweils eine der Öffnungen der Mikrokanäle in Richtung der akustischen Welle oder Wellen an der Position angeordnet wird, an der die akustische Welle oder Wellen einen nachweislichen Anstieg der Amplitude der akustischen Welle oder Wellen aufweist, und nach der strukturierten Belichtung und Aushärtung das unvernetzte Polymermaterial entfernt wird.
16. Verfahren nach Anspruch 15, bei dem fotolithographisch strukturierbares Polymermaterial mit wellenlängenabhängiger Lichtabsorption aufgebracht und zur Strukturierung der Mikrokanäle zuerst mit Licht einer Wellenlänge 1 zur Belichtung der Mikrokanalwände belichtet und nachfolgend mit Licht einer Wellenlänge 2 zur Belichtung der Mikrokanalabdeckung belichtet wird.
17. Verfahren nach Anspruch 15, bei dem funktionelle Schicht/en auf das Substrat aufgebracht werden, vorteilhafterweise funktionelle Schichten aus dielektrischem oder passivierendem Material, wie Schichten aus SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 und/oder metallische Schichten, wie Al, Ti, Cr, Au, Pt, Pd, aufgebracht werden.



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 15 19 3411

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	CN 201 681 080 U (UNIV NINBO) 22. Dezember 2010 (2010-12-22) * Absatz [0018] - Absatz [0030]; Abbildungen *	1-5,7-17	INV. B05B17/06
X	CN 101 862 631 B (UNIV NINGBO) 24. April 2013 (2013-04-24) * Absatz [0001] - Absatz [0041]; Abbildungen *	1-5,7-17	
A	JP 2008 104974 A (MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD) 8. Mai 2008 (2008-05-08) * Zusammenfassung; Abbildungen *	1,15	
A	CN 102 773 188 A (TECHNO FRONTIER CO LTD; SHUNDE APOLLO AIR CLEANER CO LTD) 14. November 2012 (2012-11-14) * Zusammenfassung; Abbildungen *	1,15	
A	JP H07 232114 A (KANAGAWA KAGAKU GIJUTSU AKAD) 5. September 1995 (1995-09-05)	1,15	
X,P	A. WINKLER ET AL: "SAW-based fluid atomization using mass-producible chip devices", LAB ON A CHIP, Bd. 15, Nr. 18, 1. Januar 2015 (2015-01-01), Seiten 3793-3799, XP055258349, GB ISSN: 1473-0197, DOI: 10.1039/C5LC00756A * das ganze Dokument *	1-17	B01J B01L G01N C12Q B05B B06B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 17. März 2016	Prüfer Endrizzi, Silvio
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
 EP 15 19 3411

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X,P	A Winkler ET AL: "On-chip microacoustic aerosol generation", Mater. Sci. Eng. C-Mater. Biol. Appl. Lab on a Chip, 15. Juni 2015 (2015-06-15), XP055258376, Gefunden im Internet: URL: http://www.tut.fi/at2015/wp-content/uploads/On-chip-microacoustic-aerosol-generation.pdf [gefunden am 2016-03-15] * das ganze Dokument * -----	1-17	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 17. März 2016	Prüfer Endrizzi, Silvio
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 15 19 3411

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

17-03-2016

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
CN 201681080 U	22-12-2010	KEINE	
CN 101862631 B	24-04-2013	KEINE	
JP 2008104974 A	08-05-2008	JP 4915567 B2 JP 2008104974 A	11-04-2012 08-05-2008
CN 102773188 A	14-11-2012	KEINE	
JP H07232114 A	05-09-1995	JP 3626222 B2 JP H07232114 A	02-03-2005 05-09-1995

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

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 Nicht-Patentliteratur

- **M. KUROSAWA et al.** *Sensors and Actuators A: Physical*, 1995, 50-69 [0002]
- **D.J. COLLINS et al.** *Phys. Rev.*, 2012, 86, , 1 [0002]
- **A. QI et al.** *Phys. Fluid*, 2008, vol. 20, 074103 [0002]
- **A. QI et al.** *Physics of Fluids*, 2008, vol. 20, 1 [0004]
- **D. TALLER et al.** *Phys. Rev.*, 2013, vol. E 87, 053004 [0004]
- **M. KUROSAWA et al.** *IEEE Proceedings*, 1995, 25 [0004]
- **K. CHONO et al.** Regular Papers Short Notes & Review Papers. *Jap.J. of Appl. Phys.*, 2004, vol. 43, 2987 [0005]
- **J. JU et al.** *Sens. Actuator A-Phys.*, 2008, vol. 147, 570 [0005]
- **J.M. DYKES.** *Proc. Of SPIE*, 2007 [0007]
- **S. TUOMIKOSKI ; S. FRANSSILA.** *Sensors and Actuators A*, 2005, vol. 120, 408-415 [0009] [0011]
- **A. WINKLER ; S. HARAZIM ; D.J. COLLINS.** Vortrag, *Acoustofluidics Conference, Prato*, 2014 [0014]