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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
9. Juni 2016 (09.06.2016)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/087329 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H03H 9/10 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2015/077934

(22) Internationales Anmeldedatum:
27. November 2015 (27.11.2015)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2014 117 599.9
1. Dezember 2014 (01.12.2014) DE

(71) Anmelder: **EPCOS AG** [DE/DE]; St.-Martin-Straße 53, 81669 München (DE).

(72) Erfinder: **BAUER, Thomas**; Limmatstr. 4, 81476 München (DE). **SCHÄUFELE, Ansgar**; Johannisplatz 36, 81667 München (DE). **EGGS, Christoph**; Unterkagn 11a, 84431 Rattenkirchen (DE).

(74) Anwalt: **EPPING HERMANN FISCHER PATENTANWALTSGESELLSCHAFT MBH**; Schloßschmidstr. 5, 80639 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

(54) Title: MEMS COMPONENT HAVING GREATER STABILITY, AND MANUFACTURING METHOD

(54) Bezeichnung : MEMS-BAUELEMENT MIT VERBESSERTER STABILITÄT UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG

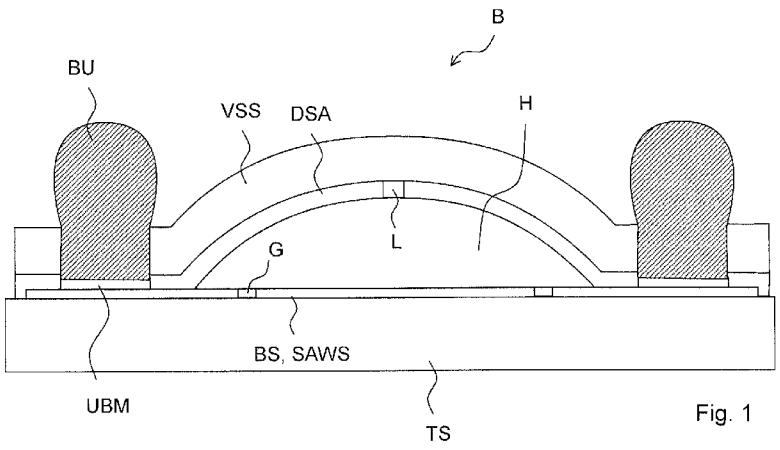

Fig. 1

(57) Abstract: Disclosed are a MEMS component (B) that has a compact housing and great mechanical stability as well as a method for manufacturing a component of said type. The component (B) comprises a thin-film cover (DSA) which, along with a carrier substrate (TS), encloses a cavity (H) inside which component structures are arranged. The thin-film cover (DSA) has an arch.

(57) Zusammenfassung: Es wird ein MEMS-Bauelement (B) mit einer klein bauenden Einhäusung und hoher mechanischer Stabilität sowie ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Bauelements angegeben. Das Bauelement (B) umfasst eine Dünnschicht-Abdeckung (DSA), die zusammen mit einem Trägersubstrat (TS) einen Hohlraum (H) einschließt, in dem Bauelementstrukturen angeordnet sind. Die Dünnschicht-Abdeckung (DSA) weist eine Wölbung auf.

WO 2016/087329 A1

Beschreibung

MEMS-Bauelement mit verbesserter Stabilität und Verfahren zur Herstellung

Die Erfindung betrifft MEMS-Bauelemente, die sich durch eine erhöhte mechanische Stabilität auszeichnen, sowie Verfahren zur Herstellung solcher Bauelemente.

MEMS-Bauelemente (MEMS = Micro-Electro-Mechanical System = mikro-elektromechanisches System) sind Bauelemente, die Bauelementstrukturen aufweisen, die z.B. mittels Lithografie-Verfahren herstellbar sind. Schaltbare Kondensatoren, SAW-Strukturen (SAW = Surface Acoustic Wave = akustische Oberflächenwelle) oder BAW-Strukturen (BAW = Bulk Acoustic Wave = akustische Volumenwelle) können z.B. solche MEMS-Strukturen darstellen.

Allen MEMS-Bauelementstrukturen ist gemein, dass sie empfindlich auf Veränderungen ihrer räumlichen Umgebung reagieren und deshalb i. A. einer Einhäusung bedürfen, die die empfindlichen Strukturen vor schädlichen äußeren Einflüssen schützt.

Oft ist das Bereitstellen einer entsprechend geeigneten Einhäusung dabei aufwendiger und kostenintensiver als die Herstellung der Bauelementstrukturen selbst. Darüber hinaus werden im Rahmen der fortschreitenden Miniaturisierung stets kleinere Bauformen gewünscht, sodass übliche Gehäuse, z.B. Keramikgehäuse mit Deckel, bereits als zu groß angesehen werden.

Es besteht deshalb das Problem, Gehäusetechnologien für MEMS-Strukturen anzugeben, die einer kleinen Bauform genügen und

trotz ihrer geringen Abmessungen eine ausreichend hohe Stabilität zur Verfügung stellen.

Aus der Offenlegungsschrift DE 10 2013 102 213 A1 sind Bauelemente mit kleinen äußeren Abmessungen bekannt, die z.B. MEMS-Strukturen aufnehmen können. Das Bauelement umfasst dabei eine Dünnschicht-Abdeckung, die empfindliche Bauelementstrukturen abdeckt.

Es besteht deshalb insbesondere die Aufgabe, eine Gehäusetechnologie anzugeben, die eine verbesserte Stabilität ermöglicht.

Diese Aufgabe wird durch das MEMS-Bauelement bzw. durch das Verfahren zur Herstellung eines entsprechenden Bauelements gemäß der unabhängigen Ansprüche gelöst. Abhängige Ansprüche geben vorteilhafte Ausgestaltungen an.

Das MEMS-Bauelement umfasst dabei ein Trägersubstrat, MEMS-Bauelementstrukturen auf dem Trägersubstrat, eine Dünnschicht-Abdeckung über den Bauelementstrukturen sowie einen Hohlraum zwischen dem Trägersubstrat und der Dünnschicht-Abdeckung. Der Hohlraum weist eine gewölbte Oberseite auf. Die Dünnschicht-Abdeckung weist ebenfalls eine gewölbte Oberseite auf.

Es wird also ein MEMS-Bauelement angegeben, dessen Bauelementstrukturen in einem Hohlraum angeordnet sind, der von einer gewölbten Dünnschicht-Abdeckung bedeckt ist. Die gewölbte Dünnschicht-Abdeckung leitet vertikal auf die Abdeckung wirkende Kräfte besonders gut auf ihre Unterlage, das Trägersubstrat, ab. Der Begriff „gewölbte Oberseite“ bezeichnet dabei

eine Wölbung, die entlang eines Schnitts durch eine Ebene parallel zur Sagittalebene oder eine Ebene parallel zur Frontalebene des Bauelements aufweist. In einem Schnitt parallel zur Transversalebene des Bauelements kann der Hohlraum eine runde, ovale, rechteckige oder quadratische Grundfläche haben. Eine rechteckige Grundfläche mit abgerundeten Ecken ist auch möglich. Ein Krümmungsradius an den Ecken kann 5 µm betragen.

Der Vorteil einer Dünnschicht-Abdeckung, nämlich geringe geometrische Abmessungen, bedingt durch ihre Art der Herstellung, nämlich mittels Strukturierungs- und Lithografieprozessen, auch gleichzeitig ihren Nachteil: Bei Herstellungsprozessen werden stets mehr oder weniger große Abschnitte auf einem Trägersubstrat gleichzeitig verändert. So wird z.B. eine Schicht mit einer homogenen Dicke abgeschieden, ein Fotolack lokal individuell belichtet, Material einer Schicht mit einer homogenen Abtragungsrate entfernt usw. Die Dünnschicht-Bearbeitungsmethoden zur Strukturierung und die übrigen Lithografieprozesse eignen sich dabei hervorragend, flächige Strukturen mit homogener Dicke bereitzustellen. In Ebenen parallel zur Sagittalebene oder parallel zur Frontalebene verlaufende Materialkanten werden auf einen möglichst glatten Verlauf optimiert, um optimale laterale Auflösungen zu erreichen. Mit den üblichen Prozessen sind gewölbte Hohlräume, insbesondere Hohlräume mit einer runden Wölbung oder einer parabelförmigen Wölbung, die sich nicht lediglich auf kleine Segmente der Oberseite des Hohlraums bezieht, nicht möglich. Die Erfinder erkannten dabei zum einen den Vorteil eines gewölbten Hohlraums und zum anderen, wie ein solcher Hohlraum durch einfach durchzuführende Schritte erhalten werden kann.

Im Vergleich zu konventionellen Häusungstechnologien, aber auch im Vergleich zu bekannten, auf Dünnschicht-Technologie basierenden Schutzelementen ist die Häusung der MEMS-Bauelementstrukturen deshalb verbessert.

Es ist möglich, dass die Wölbung konvex ist.

Es ist möglich, dass das Bauelement Löcher in der Dünnschicht-Abdeckung aufweist. Ein solches Bauelement weist ferner eine Versiegelungsschicht auf, um die Löcher zu schließen. Die Dünnschicht-Abdeckung ist dabei zwischen dem Hohlraum und der Versiegelungsschicht angeordnet.

Während der Herstellung des Bauelements kann ein Opfermaterial, z.B. einer Opferschicht, auf den Bauelementstrukturen angeordnet werden und als Basis für den Abscheideprozess des Materials der Dünnschicht-Abdeckung dienen. Nachdem die Dünnschicht-Abdeckung auf dem Material der Opferschicht und über den Bauelementstrukturen angeordnet worden ist, dienen Löcher in der Dünnschicht-Abdeckung dazu, das Material der Opferschicht zu entfernen. Um die Bauelementstrukturen vor schädlichen äußeren Einflüssen zu schützen, wird das Material der Versiegelungsschicht auf die Dünnschicht-Abdeckung aufgebracht. Das Material der Versiegelungsschicht schließt dabei die Löcher, ohne so weit in den Hohlraum einzudringen, dass die Bauelementstrukturen berührt und ihre mechanische Tätigkeit gestört werden kann.

Es ist möglich, dass das Bauelement ferner eine Verstärkungslage aufweist. Die Verstärkungslage ist dabei direkt auf die Dünnschicht-Abdeckung, direkt auf die Versiegelungsschicht oder direkt auf eine weitere Schicht abgeschieden.

Es ist deshalb möglich, dass die Versiegelungsschicht zwischen der Verstärkungslage und der Dünnschicht-Abdeckung angeordnet ist. Es ist auch möglich, dass die Verstärkungslage zwischen der Dünnschicht-Abdeckung und der Versiegelungsschicht angeordnet ist. Die Verstärkungslage kann dabei mehrere Funktionen erfüllen: Sie kann die mechanische Stabilität des Schichtsystems der Abdeckung des Hohlraums erhöhen, die hermetische Abdichtung des Hohlraums verbessern und/oder, z.B. wenn die Verstärkungslage ein elektrisch leitendes Material umfasst, eine elektromagnetische Abschirmung darstellen.

Es ist möglich, dass das Bauelement Signalleiter und Masse führende Anschlüsse umfasst. Die im Folgenden genannten Eigenschaften von Signalleitern gelten sinngemäß auch für Metallisierungen mit Massepotenzial.

Ein oder mehrere Signalleiter können an der Oberseite des Trägersubstrats angeordnet sein, um die Bauelementstrukturen mit einer externen Schaltungsumgebung zu verschalten. Der Signalleiter hat dabei einen Kontaktierungs-Abschnitt unter der Dünnschicht-Abdeckung. Die Dünnschicht-Abdeckung hat einen Abschnitt, der den Kontaktierungs-Abschnitt des Signalleiters berührt. Der Kontaktierungs-Abschnitt des Signalleiters kann dabei hermetisch vom Hohlraum getrennt sein, da der Signalleiter unter der Dünnschicht-Abdeckung aus dem Hohlraum herausgeführt ist. Wird beispielsweise ein Loch durch die Dünnschicht-Abdeckung im Bereich des Kontaktierungs-Abschnitts gebildet, das bis zum Signalleiter reicht, so kann eine elektrische Verschaltung über eine Durchkontaktierung durch das Loch erhalten werden.

Es ist möglich, dass die Bauelementstrukturen SAW-Strukturen oder BAW-Strukturen sind.

Sind die Bauelementstrukturen BAW-Strukturen, so kann der Hohlraum zumindest einen oder mehrere polygonförmige, z. B. rechtwinklige oder quadratische Abschnitte, in seiner Grundfläche enthalten, in denen ein oder mehrere BAW-Strukturen angeordnet sind, ohne das Material der Dünnschicht-Abdeckung zu berühren. Ecken können abgerundet sein.

Sind die Bauelementstrukturen SAW-Strukturen, welche i. A. in einer akustischen Spur angeordnet sind, so kann der Hohlraum zumindest einen polygonförmig, z. B. rechteckig, Abschnitt in seiner Grundfläche enthalten. Akustische Spuren mit SAW-Strukturen haben dabei eine Länge entlang ihrer longitudinalen Ausbreitungsrichtung, die die Apertur, d. h. die Breite der akustischen Spur, deutlich übertrifft. SAW-Bauelementstrukturen sind deshalb im Vergleich zu ihrer Breite relativ lange Strukturen, wobei der Hohlraum eine Wölbung an seiner Oberseite in einer Ebene parallel zur Frontalebene aufweisen kann. Die Frontalebene steht dabei orthogonal auf der Ausbreitungsrichtung der akustischen Oberflächenwellen.

In Hinblick auf den Wunsch, die Widerstandsfähigkeit der Bauelementstrukturen gegen elektrische Einflüsse, z. B. hohe Leistungen, Spannungen oder Ströme, zu verstärken, ist eine Kaskadierung der Bauelementstrukturen möglich. Die Kaskadierung kann dabei serieller und/oder paralleler Art sein. Um die Leistungsfestigkeit eines SAW-Resonators zu erhöhen, kann ein Resonator durch N Resonatoren der N-fachen Fläche ersetzt werden. Dabei ist $N \geq 2$ eine ganze Zahl. Damit die Gesamtimpedanz des vergrößerten Resonators der ursprünglichen Impedanz gleicht, ist eine zweifache serielle Kaskadierung nötig. Insgesamt beansprucht die Resonatorkaskade mit verbesserter

Leistungsfestigkeit im Wesentlichen die N^2 Fläche des ursprünglichen Resonators gleicher Impedanz. Da SAW-Resonatoren im Vergleich zu ihrer Breite relativ lang sind, bietet es sich an, die kaskadierten Spuren so nebeneinander anzuordnen, dass die Ausbreitungsrichtungen parallel und in transversaler Richtung ca. um die Apertur (genauer: Apertur plus Breite der Stromsammelschiene plus Gap plus Länge der Stummelfinger, …) versetzt sind. Dadurch kann der benötigte Platzbedarf auf einem piezoelektrisch Substrat, das für SAW-Bauelementstrukturen benötigt wird, relativ kompakt gehalten werden.

Es ist deshalb möglich, dass die Bauelementstrukturen kaskadierte Teilstrukturen umfassen. Die N Teilstrukturen können gemeinsam in einem einzigen Hohlraum untergeordnet sein; es ist allerdings auch möglich, dass die Teilstrukturen in eigenen, abgeschlossenen und gewölbten Bereichen eines Hohlraums angeordnet sind.

Dann können zwischen den Teilstrukturen Stützabschnitte auf dem Trägersubstrat vorgesehen sein. Die Dünnschicht-Abdeckung stützt sich auf den Stützabschnitten des Trägersubstrats ab.

Im Wesentlichen werden also parallel zueinander angeordnete und nebeneinander verlaufende Bereiche des Hohlraums auf dem Trägersubstrat angeordnet. Der Hohlraum kann somit nicht nur aus einem einzigen, einfach zusammenhängenden Raum bestehen, sondern mehrere miteinander verbundene oder voneinander hermetisch getrennte aber mit elektrisch verschalteten Teilstrukturen ausgestattete Bereiche umfassen.

Durch die Wahl der Größe der Hohlräume, insbesondere durch die Wahl der geeigneten Breiten der Hohlräume, kann die erhaltene mechanische Stabilität deutlich gesteigert werden.

Insbesondere wenn die Bauelementstrukturen SAW-Strukturen sind und die Teilstrukturen nebeneinander angeordnete akustische Spuren darstellen, kann gleichzeitig Platz auf dem Trägersubstrat gespart und die mechanische Stabilität erhöht werden, indem die akustischen Spuren gemeinsamen Stromsammelschienen, z. B. N-1 Schienen, besitzen. Die gemeinsame Stromsammelschiene und ein Stützabschnitt des Trägersubstrats weisen dabei einen überlappenden Abschnitt auf. Die Dünnschicht-Abdeckung kann somit im Bereich der Stromsammelschiene auf dem Trägersubstrat aufsitzen und vertikale oder horizontale Kräfte, bzw. die vertikal bzw. horizontalen Komponenten beliebig gerichteter Kräfte, ableiten. Der Stützabschnitt kann einzelne säulenförmige Trägerstrukturen der Dünnschicht-Abdeckung stützen. Es ist auch möglich, dass sich der Stützabschnitt im Wesentlichen über die gesamte Länge der akustischen Spur erstreckt.

Es ist möglich, dass benachbarte SAW-Strukturen gegenphasig betrieben werden.

Es ist möglich, dass die Löcher in der Dünnschicht-Abdeckung äquidistant entlang einer longitudinalen Mittelachse der Dünnschicht-Abdeckung angeordnet sind. Dann befinden sie sich im Allgemeinen und bevorzugt an der höchsten Position der Dünnschicht-Abdeckung, wo das Formen der Löcher am einfachsten durchzuführen ist, weil die Löcher in einer Ebene parallel zur Transversalebene, der Ebene parallel zur Oberfläche des Trägersubstrats, ausgerichtet sind.

Es ist möglich, dass die Dünnschicht-Abdeckung ein dielektrisches Material wie beispielsweise ein Siliziumoxid umfasst. Das Material der Dünnschicht-Abdeckung kann dabei Si_xO_y sein, wobei x in einem Bereich um 1 und y in einem Bereich um 2 gewählt ist.

Es ist möglich, dass die Versiegelungsschicht BCB (Benzocyclobuten) oder ein anderes organisches Material umfasst. Auch die Verwendung eines fotosensitiven Lacks, z.B. der als AL-X2000 bezeichnete lichtempfindliche Spin-On-Lack der Asahi Glass Co., Ltd. kann Verwendung finden.

Es ist möglich, dass die Verstärkungslage ein dielektrisches Material wie z.B. Siliziumnitrid oder ein elektrisch leitendes Material, z.B. ein Metall, umfasst.

Ferner ist es möglich, dass das Bauelement eine Mold-Abdeckung oder ein Spritzguss-Material umfasst, wobei die oberste Schicht der Schichtenlage von einem Mold-Material bedeckt ist.

Eine Mold-Abdeckung kann mit üblichen Herstellungsschritten aufgebracht werden und ermöglicht einen hermetisch dichten und mechanisch stabilen Verguss. Der bisher üblichen Problematik, den hohen Mold-Drücken beim Vergießen, kann durch die gewählte gewölbte Struktur des Hohlraums entgegnet werden.

Es ist ferner möglich, dass das Bauelement eine Bump-Verbindung durch die Dünnschicht-Abdeckung umfasst. Die Bump-Verbindung ist dazu geeignet und vorgesehen, die Bauelementstrukturen mit einer externen Schaltungsumgebung zu verschalten. Die Bump-Verbindung reicht dabei vorzugsweise durch

sämtliche Schichten und Mold-Materialien, die über dem Trägersubstrat angeordnet sind.

Das Trägersubstrat kann ein piezoelektrisches Material, z.B. ein kristallines Lithiumtantalat oder Lithiumniobat, Dicke von 350 µm im Falle eines SAW-Bauelements aufweisen. Das Trägersubstrat kann auch gedünnt sein und beispielsweise eine Dicke im Bereich von 130 µm aufweisen. Umfasst das Trägersubstrat Silizium, so kann das Trägersubstrat eine Dicke von etwa 725 µm aufweisen oder auf eine Dicke von 135 µm gedünnt sein.

Die Dünnschicht-Abdeckung kann eine Dicke zwischen 1,5 und 10 µm, z.B. 3 µm oder 5 µm, aufweisen. Die Versiegelungsschicht kann eine Dicke zwischen 5 µm und 20 µm, z.B. 10 µm oder 15 µm, aufweisen. Die oberen Enden der Bump-Verbindungen können etwa 80 bis 90 µm von der Oberseite des Trägersubstrats entfernt sein.

Die Verstärkungslage kann eine Dicke zwischen 0,5 und 3 µm, z.B. 1 µm oder 2 µm, aufweisen.

Es ist möglich, Wandler ohne Stummelfinger zu betreiben. Wandler mit Stummelfinger sind ebenfalls möglich, insbesondere bei $LiTaO_3$ als Substratmaterial. Bei $LiNbO_3$ kann auf Stummelfinger verzichtet werden, insbesondere, wenn Fingerenden aufgedickt sind, um ein gewünschtes transversales Geschwindigkeitsprofil einzustellen.

Ein Verfahren zur Herstellung eines MEMS-Bauelements umfasst die Schritte:

- Bereitstellen eines Trägersubstrats,

- Bilden von Bauelementstrukturen auf dem Trägersubstrat,
- Aufbringen und Strukturieren einer Opferschicht auf den Bauelementstrukturen,
- Ausbilden einer Wölbung an der Oberseite der strukturierten verbleibenden Teile der Opferschicht durch Erweichen des Materials der Opferschicht
- Härten der Opferschicht,
- Abscheiden einer Dünnschicht-Abdeckung auf der Opferschicht,
- Bilden eines Hohlraumes zwischen dem Trägersubstrat und der Dünnschicht-Abdeckung durch Entfernen der Opferschicht

Das Erweichen des Materials kann dabei insbesondere durch Erwärmung erfolgen. Ist das Material der Opferschicht ausreichend viskos und weist das Material eine geeignete Oberflächenspannung auf, ergibt sich die Form der Wölbung durch eine Minimierung der Oberflächenenergie von selbst.

Das Material der Opferschicht wird deshalb vorzugsweise gemäß seiner temperaturabhängigen Viskosität und seiner viskositätsabhängigen Oberflächenspannung gewählt, um geeignete Wölbungsradien für eine gegebene Breite des zu bildenden Hohlraums gewählt.

In der Dünnschicht-Abdeckung können, z.B. nach der Abscheidung der Dünnschicht-Abdeckung, ein Loch oder eine Vielzahl an Löchern strukturiert werden. Durch die Löcher kann das Material der Opferschicht entfernt werden.

Es ist möglich, das Material der Opferschicht, das z.B. ein organisches Material umfassen kann, durch einen Plasmaprozess zu entfernen. Während des Plasmaprozesses kann das herzustel-

lende Bauelement, insbesondere die gelochte Dünnschicht-Abdeckung, einer Atmosphäre mit einem Sauerstoffplasma ausgesetzt werden. Dadurch wird das organische Material der Opferschicht oxidiert. Die entstehenden Reaktionsprodukte sind vorzugsweise gasförmig und können den während des Entfernens der Opferschicht sich bildenden Hohlraum verlassen.

Es ist möglich, dass die Löcher nach dem Entfernen der Opferschicht durch Aufbringen einer Versiegelungsschicht auf der Dünnschicht-Abdeckung geschlossen werden. Die Versiegelungsschicht berührt die Bauelementstrukturen dabei nicht.

Die verschiedenen Schichten können mit den üblichen Schichtabscheidungsprozessen hergestellt werden. Zur Strukturierung sind Belichtungen mittels Maskaligner oder Stepper möglich.

Das Bauelement und Verfahrensschritte zur Herstellung eines entsprechenden Bauelements werden anhand von schematischen Figuren und nicht einschränkenden Ausführungsformen näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1: ein Schnitt durch ein Bauelement B parallel zur Frontalebene,

Fig. 2: eine perspektivische Ansicht der Bauelementstrukturen und des Hohlraums auf der Oberseite eines Trägersubstrats,

Fig. 3: eine Ausführungsform, bei der der Hohlraum zwei Teil-Hohlräume umfasst,

Fig. 4: einen Querschnitt durch eine Ausführungsform mit einer Versiegelungsschicht und einer Verstärkungslage,

Fig. 5: einen Querschnitt durch eine Ausführungsform mit einer Mold-Masse,

Fig. 6: einen Querschnitt parallel zur Transversalebene eines Bauelements mit zwei akustischen Spuren und einem einzigen, zusammenhängenden Hohlraum,

Fig. 7: einen Querschnitt durch eine Ausführungsform, bei der der Hohlraum zwei Teil-Hohlräume umfasst, die voneinander getrennt sind,

Figs. 8 bis 14: verschiedene mögliche Zwischenschritte bei der Herstellung eines Bauelements.

Figur 1 zeigt einen Querschnitt durch eine Ebene parallel zur Frontalebene eines entsprechenden Bauelements B. Exemplarisch sind Elektrodenfinger von SAW-Strukturen SAWS als Bauelementstrukturen BS gezeigt. Die Frontalebene steht dabei orthogonal zur Ausbreitungsrichtung der akustischen Wellen. Auf dem Trägersubstrat TS sind die Bauelementstrukturen BS angeordnet. Die Elektrodenfinger der SAW-Strukturen SAWS der Bauelementstrukturen BS sind dabei durch eine Lücke (gap) G von Stummelfingern der gegenüberliegenden Elektrode getrennt. Der elektroakustisch aktive Anregungsbereich der Bauelementstrukturen BS liegt somit im Wesentlichen zwischen den Lücken G. Oberhalb der Bauelementstrukturen BS ist ein Hohlraum H angeordnet, damit die Bauelementstrukturen beim Wandeln zwischen elektrischen und mechanischen Wellen nicht gestört werden.

Der Hohlraum H ist nach oben hin durch die Dünnschicht-Abdeckung DSA begrenzt, die zum einen die Wölbung des Hohlraums H und zum anderen ihre eigene Wölbung bestimmt. Auf der Dünnschicht-Abdeckung DSA ist eine Versiegelungsschicht VSS angeordnet, die Löcher L in der Dünnschicht-Abdeckung DSA verschließt. Um die Bauelementstrukturen BS mit einer externen Schaltungsumgebung verschalten zu können, ist eine Bump-Verbindung BU vorgesehen, die durch das Material der Versiegelungsschicht VSS und durch das Material der Dünnschicht-Abdeckung DSA reicht. Zwischen einem Kontaktierungs-Abschnitt auf der Oberseite des Trägersubstrats TS bzw. einem Signalleiter, der mit den Bauelementstrukturen BS verschaltet ist und der Bump-Verbindung BU ist eine UBM (Under Bump Metallization) vorgesehen, um eine mechanisch stabile und elektrisch gut leitende Verbindung mit den Bauelementstrukturen zu erhalten. Über die Bump-Verbindungen BU kann das Bauelement B mit Kontaktpads einer externen Schaltungsumgebung verlötet werden.

Im Vergleich zu Bauelementen, bei denen empfindliche Bauelementstrukturen in bekannten Hohlräumen angeordnet sind, verbessert die Wölbung der Schichten, die auf der Wölbung der Dünnschicht-Abdeckung DSA beruht, die mechanische Stabilität, da vertikal auftretende Kräfte, z.B. beim Aufbringen einer Mold-Masse, optimal an das Trägersubstrat TS abgeführt werden können.

Figur 2 zeigt eine perspektivische Ansicht der als SAW-Strukturen ausgestalteten Bauelementstrukturen mit Elektrodenfingern, die mit Stromsammelschienen (bus bars) BB verschaltet sind. Der Hohlraum H über den Bauelementstrukturen hat eine rechteckige Grundfläche. Die Wölbung erstreckt sich analog zur Wölbung des Hohlraums der Figur 1 innerhalb der

Frontalebene. Die Stromsammelschienen BB sind dabei mit jeweils einem Signalleiter SL verschaltet. Der Signalleiter führt unter der nicht gezeichneten Dünnschicht-Abdeckung aus dem Hohlraum H hinaus und ermöglicht eine externe Kontaktierung, ohne die Dünnschicht-Abdeckung zum Hohlraum zu durchdringen. Neben den Elektrodenfingern, die mit den Stromsammelschienen BB verschaltet sind, beinhaltet der Hohlraum H auch akustische Reflektoren R, die dazu vorgesehen sind, akustische Energie im Bereich der akustischen Spur AT einzuschließen. Es genügt ein sehr geringer Sicherheitsabstand der Dünnschicht-Abdeckung zu den Randfingern der Reflektoren. Weisen die Reflektoren R ausreichend viele Elektrodenfinger auf, so kann die Dünnschicht-Abdeckung die äußersten Reflektorfinger auch berühren. Die Apertur der SAW-Resonatoren kann im Bereich zwischen 15 und 25 akustischen Wellenlängen λ liegen. Die Löcher L sind vorzugsweise rund und entlang der longitudinalen Mittelachse der akustischen Spur angeordnet. Dadurch ist gewährleistet, dass die Löcher sich auf dem höchsten Punkt des Gewölbes der Dünnschicht-Abdeckung befinden und somit senkrecht zur Oberfläche des Trägersubstrats stehen, das im Wesentlichen die Orientierung der für die Prozessierung notwendigen technischen Hilfsmittel relativ zu den Bauelementstrukturen bestimmt. Eine entsprechende Positionierung der Löcher ist deshalb optimal für einfache fotolithografische Strukturierungsprozesse. Auch das spätere Entfernen des Materials der Opferschicht, z.B. durch Plasma, ist optimiert, weil das Plasma durch äquidistante Löcher gleichmäßig alle Räume des Hohlraums erreicht und dadurch die Gesamtzahl der Löcher minimiert sein kann, wodurch die mechanische Stabilität weiter erhöht ist.

Die Kanten, an denen die Dünnschicht-Abdeckung Bauelementstrukturen oder das Trägersubstrat TS berühren, sind vorzugsweise von mechanisch aktiven Strukturen ausreichend weit entfernt, um deren Funktionieren zu gewährleisten. Ein ausreichender Abstand kann z.B. im Bereich einer akustischen Wellenlänge liegen.

Figur 2 zeigt einen Wandler ohne Stummelfinger. Wandler mit Stummelfinger sind ebenfalls möglich, insbesondere bei $LiTaO_3$ als Substratmaterial. Bei $LiNbO_3$ kann auf Stummelfinger verzichtet werden, insbesondere, wenn Fingerenden aufgedickt sind, um ein gewünschtes transversales Geschwindigkeitsprofil einzustellen.

Figur zwei zeigt eine Wölbung in der Frontalebene. Allerdings sind weitere Wölbungen, z. B. in der Sagittalebene auch möglich und gegebenfalls vorteilhaft. Kuppeln ohne gerade Kanten sind auch möglich.

Figur 3 zeigt den Querschnitt durch eine Ausführungsform, bei der der Hohlraum H in zwei disjunkte Bereiche H1, H2 aufgeteilt ist. Die Dünnschicht-Abdeckung berührt dabei die Oberseite von Bauelementstrukturen, die in einem Stützabschnitt SAB auf dem Trägersubstrat TS angeordnet sind. Das Berühren der Dünnschicht-Abdeckung in diesem Bereich stört die Funktionalität der Bauelementstrukturen nicht und ermöglicht kompaktere und mechanisch stabilere Teilhohlräume H1, H2. Bestehen die Bauelementstrukturen z.B. aus nebeneinander angeordneten kaskadierten akustischen Spuren mit einer gemeinsamen Stromsammelschiene GBB, so kann der Stützabschnitt SAB genau dort angeordnet sein.

Die beiden Teil-Hohlräume H1, H2 können gleich groß, aber auch verschieden groß sein.

Figur 4 zeigt einen Querschnitt durch eine Ausführungsform, bei der auf der Versiegelungsschicht VSS eine Verstärkungslage VSL angeordnet ist.

Figur 5 zeigt einen Querschnitt durch eine Ausführungsform, bei der das Bauelement eine Mold-Abdeckung mit einer Mold-Masse MM über der Versiegelungsschicht VSS aufweist. Es ist möglich, dass eine weitere, z.B. metallische, Schicht über der Mold-Masse MM angeordnet ist. Es ist auch möglich, dass eine weitere Schicht, z.B. eine metallische Schicht, zwischen der Mold-Masse MM und der Versiegelungsschicht VSS angeordnet ist.

Die Länge der Bump-Verbindungen BU ist ausreichend lang, um eine spätere Verschaltung, auch bei einer anwesenden Mold-Masse MM, zu ermöglichen.

Figur 6 zeigt einen Querschnitt parallel zur Transversalebene des Bauelements, wobei die schraffierte Fläche die Grundfläche des Hohlraums H darstellt. Beide akustischen Spuren AT1, AT2 sind innerhalb des einzigen, zusammenhängend ausgestalteten Hohlraums H angeordnet.

Die Finger der beiden Teilspuren sind spiegelsymmetrisch zur gemeinsamen Stromsammelschiene GBB angeordnet, deshalb sind die akustischen Wellen in beiden Teilspuren um 180° versetzt, also gegenphasig. Dadurch löschen sich elektrische und/oder mechanische Spannungs(rest)felder im Bereich der gemeinsamen Stromsammelschienen GBB aus. Der Stützabschnitt SAB ist somit

feldfrei und Wechselwirkungen sind minimiert oder entfallen ganz.

Exemplarisch zeigt Figur 6 eine im Wesentlichen rechteckige Grundfläche mit abgerundeten Ecken.

Im Gegensatz dazu zeigt Figur 7 einen Querschnitt durch ein Bauelement, bei dem die zwei akustischen Spuren AT1, AT2 in jeweils eigenen Teil-Hohlräumen H1, H2 angeordnet sind. Im Bereich einer gemeinsamen Stromsammelschiene GBB ist der Stützabschnitt SAB angeordnet, an dem die Dünnschicht-Abdeckung aufsetzt, um kompaktere (Teil-)Hohlräume mit verbesserter Stabilität zu ermöglichen.

Die Figuren 8 bis 14 zeigen verschiedene Zwischenstufen der Herstellung eines entsprechenden Bauelements: Figur 8 zeigt ein Trägersubstrat TS, auf dem Bauelementstrukturen BS angeordnet und strukturiert sind.

Figur 9 zeigt eine Zwischenstufe, bei der Material einer Opferschicht OS auf den Bauelementstrukturen angeordnet und strukturiert ist. Da die üblichen Strukturierungsmaßnahmen darauf ausgelegt sind, gradlinig verlaufende Kanten abgeschiedener Materialien zu bevorzugen, ergäbe ein weiterer Abscheideprozess, bei dem das Material der Dünnschicht-Abdeckung direkt auf das unbehandelte strukturierte Material der Opferschicht OS abgeschieden würde, einen Hohlraum mit einem rechteckigen Querschnitt und insbesondere einer flachen Oberseite, die anfällig gegenüber vertikalen Kräften ist.

Im Unterschied dazu wird das Material der Opferschicht OS erweicht, sodass sich aufgrund der Oberflächenspannung eine ge-

wölbte Oberseite der Opferschicht OS ausbilden kann. Das Material der Opferschicht OS und die Parameter des Erweichens werden gewählt, um einen für eine gegebene Breite des späteren Hohlraums geeignete Krümmung der Wölbung zu erhalten.

Nach einem Erstarren des Materials der Opferschicht wird das Material der Dünnschicht-Abdeckung DSA auf der Opferschicht aufgebracht. Die Dünnschicht-Abdeckung übernimmt dabei die Form der Wölbung, die durch die Opferschicht OS vorgegeben wird (Figur 11).

Figur 12 zeigt einen weiteren Zwischenschritt, bei dem Löcher L, bevorzugt an ihrer höchsten Position, in die Dünnschicht-Abdeckung DSA strukturiert werden, um das Material der Opferschicht entfernen zu können. In diesem Strukturierungsschritt können auch gleichzeitig Öffnungen für eine spätere elektrische Kontaktierung gebildet werden.

Figur 13 zeigt einen Zwischenschritt, bei dem die Löcher durch die Versiegelungsschicht VSS abgedichtet sind, nachdem die Opferschicht entfernt wurde.

Figur 14 zeigt einen weiteren Zwischenschritt, bei dem Material der Dünnschicht-Abdeckung und der Versiegelungsschicht entfernt wurden, um eine Kontaktierung des Signalleiters SL, der z.B. mit Stromsammelschienen BB verschaltet sein kann, zu kontaktieren. Zwischen der dafür vorgesehenen Bump-Verbindung BU und dem Signalleiter SL sind eine oder mehrere Metallisierungslagen, üblicherweise als UBM (Under Bump Metallization) bezeichnet, angeordnet. Öffnungen in der Dünnschichtabdeckung für die elektrische Verschaltung können dabei während der Strukturierung der Löcher, durch die das Material der Opferschicht entfernt wird, gebildet werden.

Weder das Bauelement noch das Verfahren zur Herstellung eines Bauelements ist auf gezeigte Ausführungsbeispiele beschränkt. Bauelemente, die noch weitere Schichtenlagen und/oder Bauelementstrukturen umfassen, und Verfahren, die noch weitere Verfahrensschritte umfassen, gehören ebenso zur vorliegenden Erfindung.

Bezugszeichenliste

AT:	akustische Spur
B:	Bauelement
BS:	Bauelementstrukturen
BU:	Bump-Verbindung
DSA:	Dünnschicht-Abdeckung
G:	Lücke
GBB:	gemeinsame Stromsammelschiene
H:	Hohlraum
H1:	erster Teil-Hohlraum
H2:	zweiter Teil-Hohlraum
L:	Loch
MM:	Mold-Masse
OS:	Opferschicht
R:	akustischer Reflektor
SAB:	Stützabschnitt
SAWS:	SAW-Struktur
SL:	Signalleiter
TS:	Trägersubstrat
UBM:	Under Bump Metallurgy
VSL:	Verstärkungslage
VSS:	Versiegelungsschicht

Patentansprüche

1. MEMS-Bauelement (B), umfassend
- ein Trägersubstrat (TS),
- MEMS-Bauelementstrukturen (BS) auf dem Trägersubstrat (TS),
- eine Dünnschicht-Abdeckung (DSA) über den Bauelementstrukturen (BS) und
- einen Hohlraum (H) zwischen dem Trägersubstrat (TS) und der Dünnschicht-Abdeckung (DSA),
wobei
- der Hohlraum (H) eine gewölbte Oberseite aufweist und
- die Dünnschicht-Abdeckung (DSA) eine gewölbte Oberseite aufweist.

2. Bauelement nach dem vorherigen Anspruch, wobei die Wölbung konvex ist.

3. Bauelement nach einem der vorherigen Ansprüche, ferner umfassend
- Löcher (L) in der Dünnschicht-Abdeckung (DSA) und
- eine Versiegelungsschicht (VSS),
wobei
- die Dünnschicht-Abdeckung (DSA) zwischen dem Hohlraum (H) und der Versiegelungsschicht (VSS) angeordnet ist und
- die Versiegelungsschicht (VSS) die Löcher (H) in der Dünnschicht-Abdeckung (DSA) schließt.

4. Bauelement nach einem der vorherigen Ansprüche, ferner umfassend eine Verstärkungslage (VSL), wobei die Dünnschicht-Abdeckung zwischen dem Hohlraum und der Verstärkungslage (VSL) angeordnet ist.

5. Bauelement nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei

- die Bauelementstrukturen (BS) mit einem auf der Oberseite des Trägersubstrats (TS) angeordneten Signalleiter (SL) verschaltet sind,
- der Signalleiter (SL) einen Kontaktierungs-Abschnitt und
- die Dünnschicht-Abdeckung (DSA) einen Abschnitt umfasst, der den Kontaktierungs-Abschnitt des Signalleiters (SL) berührt.

6. Bauelement nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Bauelementstrukturen (BS) SAW-Strukturen (SAWS) oder BAW-Strukturen sind.

7. Bauelement nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Bauelementstrukturen (BS) kaskadierte Teilstrukturen umfassen und die Teilstrukturen in eigenen, abgeschlossenen und gewölbten Bereichen eines Hohlraums (H) angeordnet sind.

8. Bauelement nach dem vorherigen Anspruch, wobei zwischen den Teilstrukturen Stützabschnitte (SAB) auf dem Trägersubstrat vorgesehen sind und die Dünnschicht-Abdeckung sich auf den Stützabschnitten (SAB) abstützt.

9. Bauelement nach dem vorherigen Anspruch, wobei
- die Bauelementstrukturen (BS) SAW-Strukturen (SAWS) sind,
- die Teilstrukturen nebeneinander angeordnete akustische Spuren (AT) darstellen,
- die akustischen Spuren (AT) eine gemeinsame Stromsammelschiene (GBB) aufweisen und
- die gemeinsame Stromsammelschiene (GBB) in einem Stützabschnitt (SAB) angeordnet ist.

10. Bauelement nach dem vorherigen Anspruch, wobei benachbarte SAW-Strukturen (SAWS) gegenphasig betrieben werden.

11. Bauelement nach einem der acht vorherigen Ansprüche, wobei die Löcher (L) äquidistant entlang einer longitudinalen Mittelachse der Dünnschicht-Abdeckung (DSA) angeordnet sind.

12. Bauelement nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Dünnschicht-Abdeckung (DSA) ein Siliziumoxid umfasst.

13. Bauelement nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Versiegelungsschicht (VSS) BCB, ein lichtempfindliches Dielektrikum oder ein anderes organisches Material umfasst.

14. Bauelement nach einem der zehn vorherigen Ansprüche, wobei die Verstärkungslage (VSL) Siliziumnitrid umfasst.

15. Bauelement nach einem der vorherigen Ansprüche, ferner umfassend eine Mold-Abdeckung (MM).

16. Bauelement nach einem der vorherigen Ansprüche, ferner umfassend eine Bump-Verbindung (BU) durch die Dünnschicht-Abdeckung (DSA), die dazu geeignet und vorgesehen ist, die Bauelementstrukturen (BS) mit einer externen Schaltungsumgebung zu verschalten.

17. Verfahren zur Herstellung eines MEMS-Bauelements (B), umfassend die Schritte:

- Bereitstellen eines Trägersubstrats (TS),
- Bilden von Bauelementstrukturen (BS) auf dem Trägersubstrat (TS),

- Aufbringen und Strukturieren einer Opferschicht (OS) auf den Bauelementstrukturen (BS),
- Ausbilden einer Wölbung an der Oberseite der strukturierten verbleibenden Teile der Opferschicht (OS) durch Erweichen des Materials der Opferschicht (OS)
- Härten der Opferschicht (OS),
- Abscheiden einer Dünnschicht-Abdeckung (DSA) auf der Opferschicht (OS),
- Bilden eines Hohlraumes (H) zwischen dem Trägersubstrat (TS) und der Dünnschicht-Abdeckung (DSA) durch Entfernen der Opferschicht (OS).

18. Verfahren nach dem vorherigen Anspruch, wobei
- in der Dünnschicht-Abdeckung (DSA) Löcher (L) strukturiert werden und
- das Material der Opferschicht (OS) durch die Löcher (L) entfernt wird.

19. Verfahren nach dem vorherigen Anspruch, wobei das Material der Opferschicht (OS) ein organisches Material umfasst, das durch einen Plasmaprozess entfernt wird.

20. Verfahren nach dem vorherigen Anspruch, wobei die Löcher (L) nach dem Entfernen der Opferschicht (OS) durch Aufbringen einer Versiegelungsschicht (VSS) auf der Dünnschicht-Abdeckung (DSA) geschlossen werden, ohne dass die Versiegelungsschicht (VSS) die Bauelementstrukturen (BS) berührt.

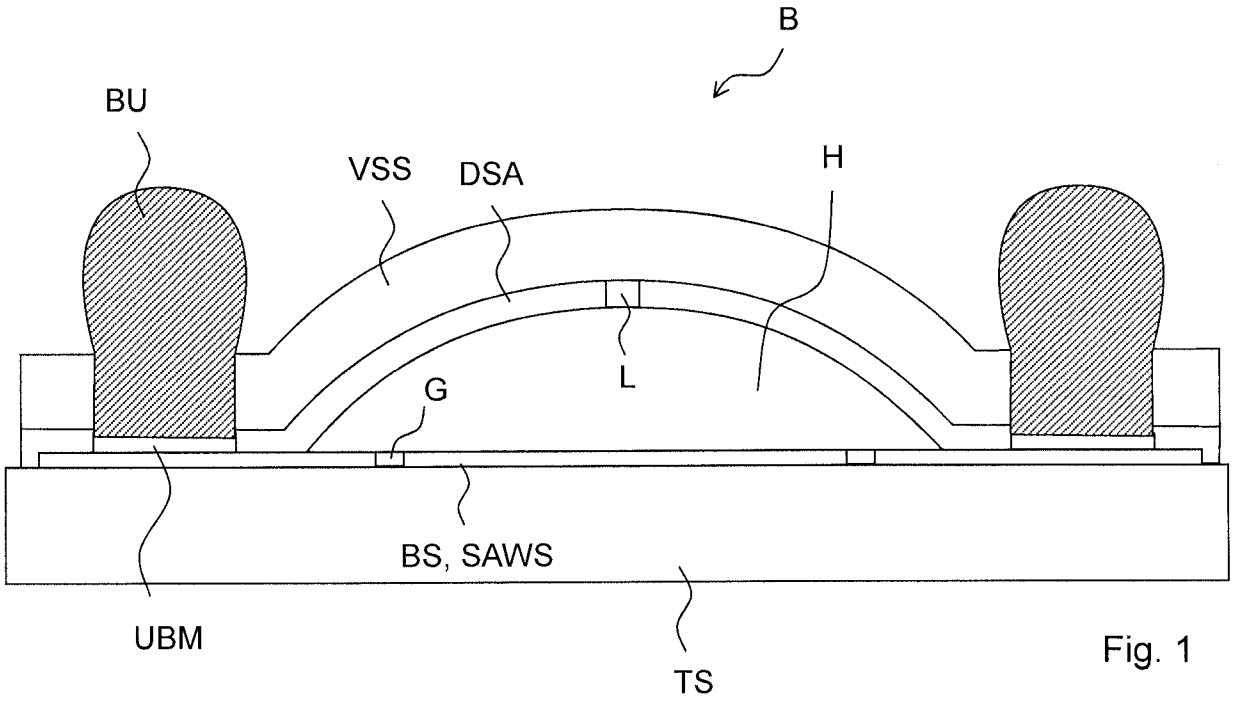

Fig. 1

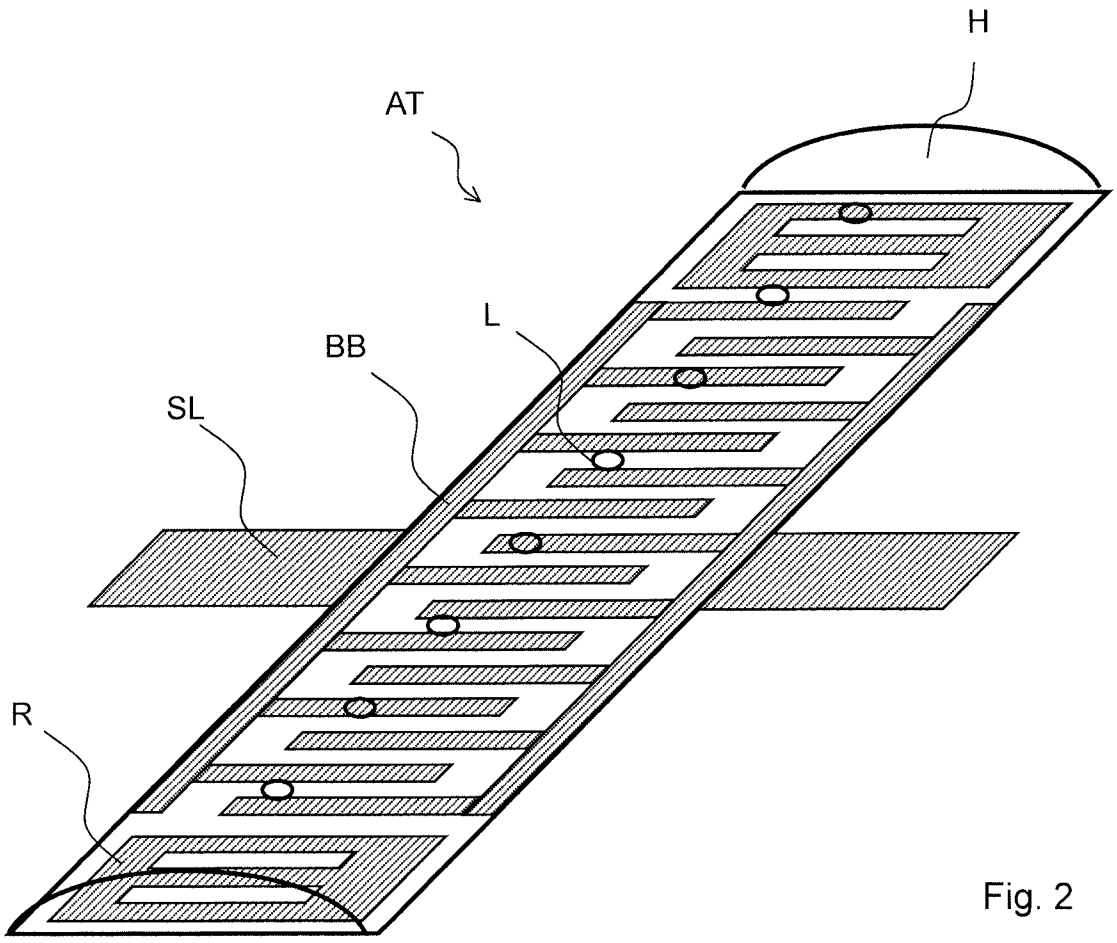

Fig. 2

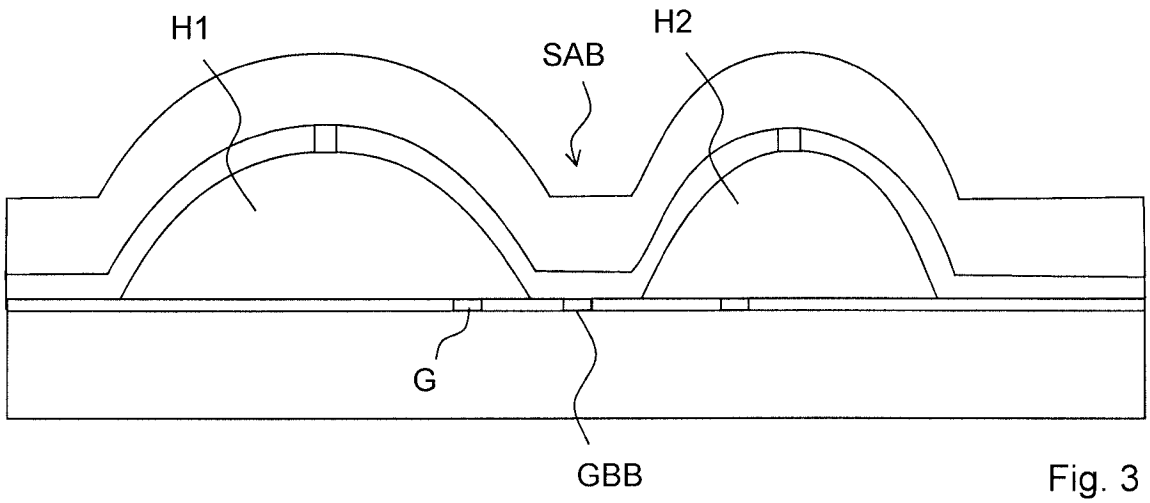

Fig. 3

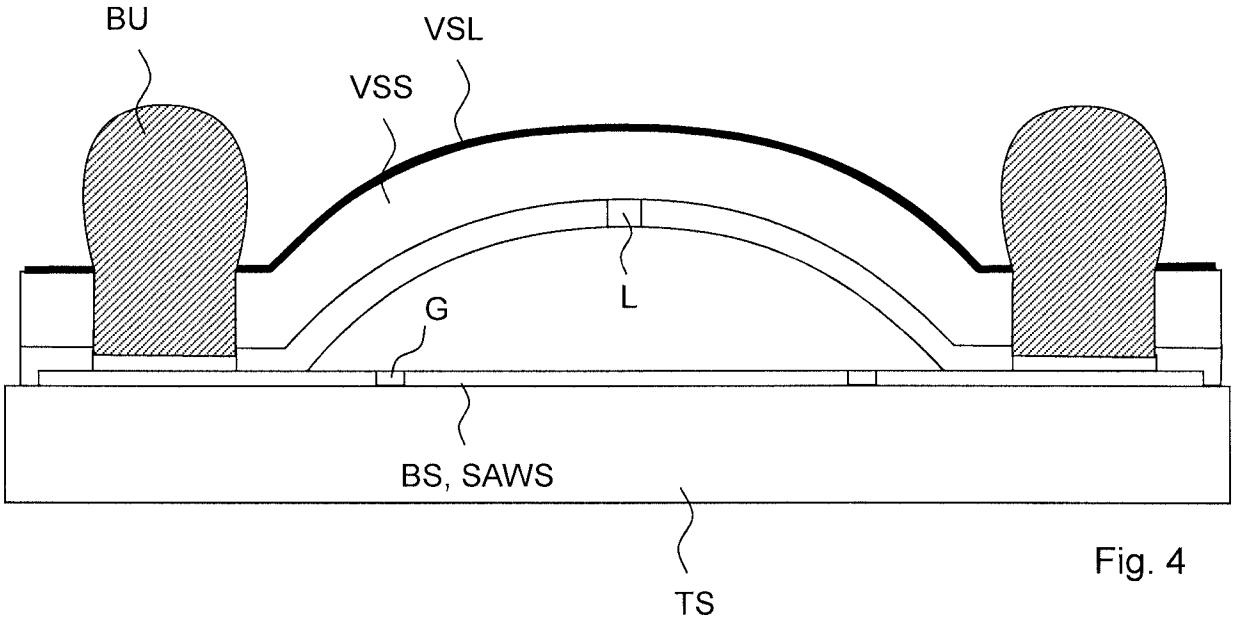

Fig. 4

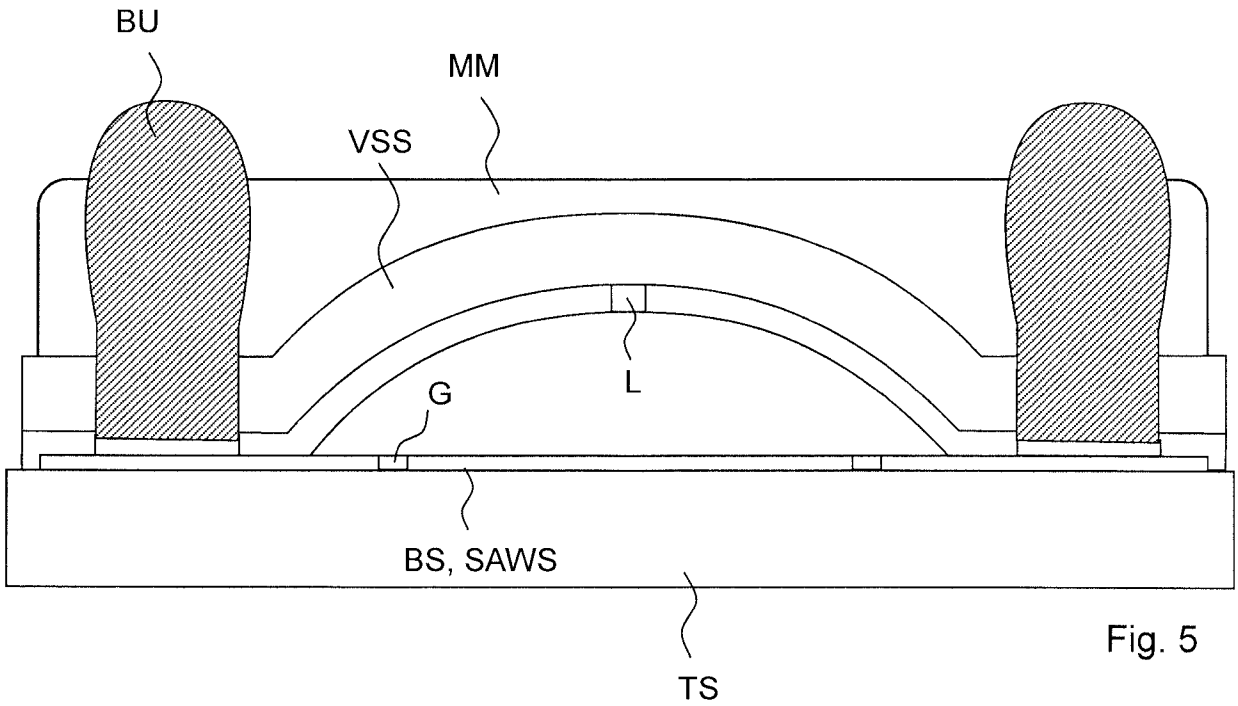

Fig. 5

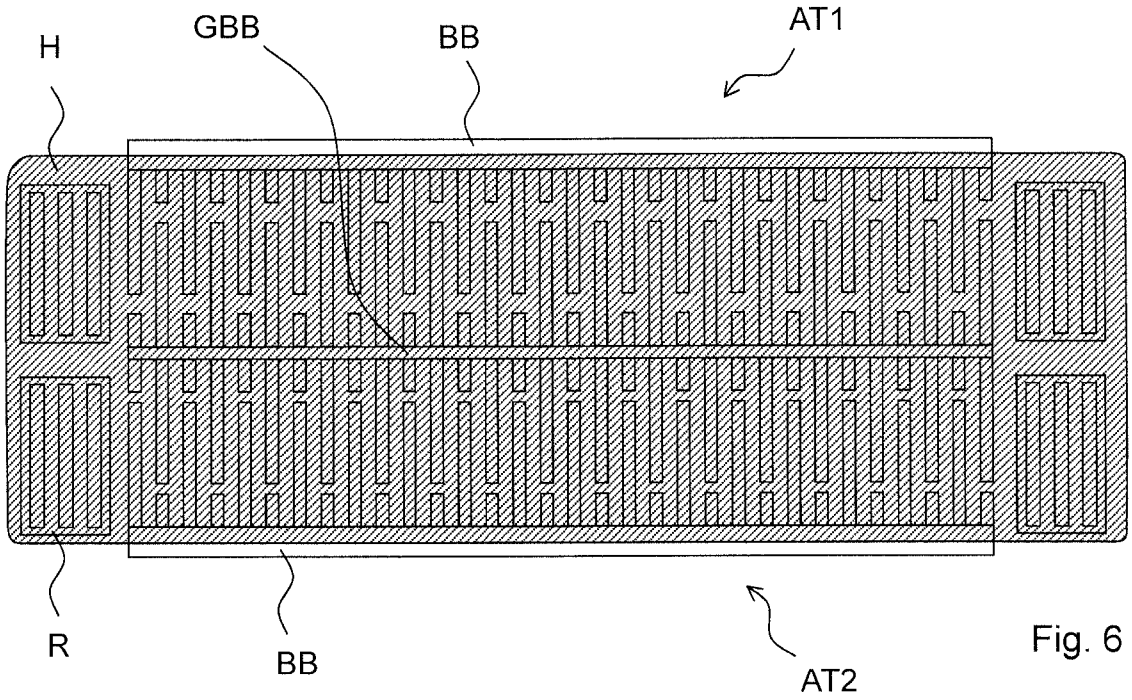

Fig. 6

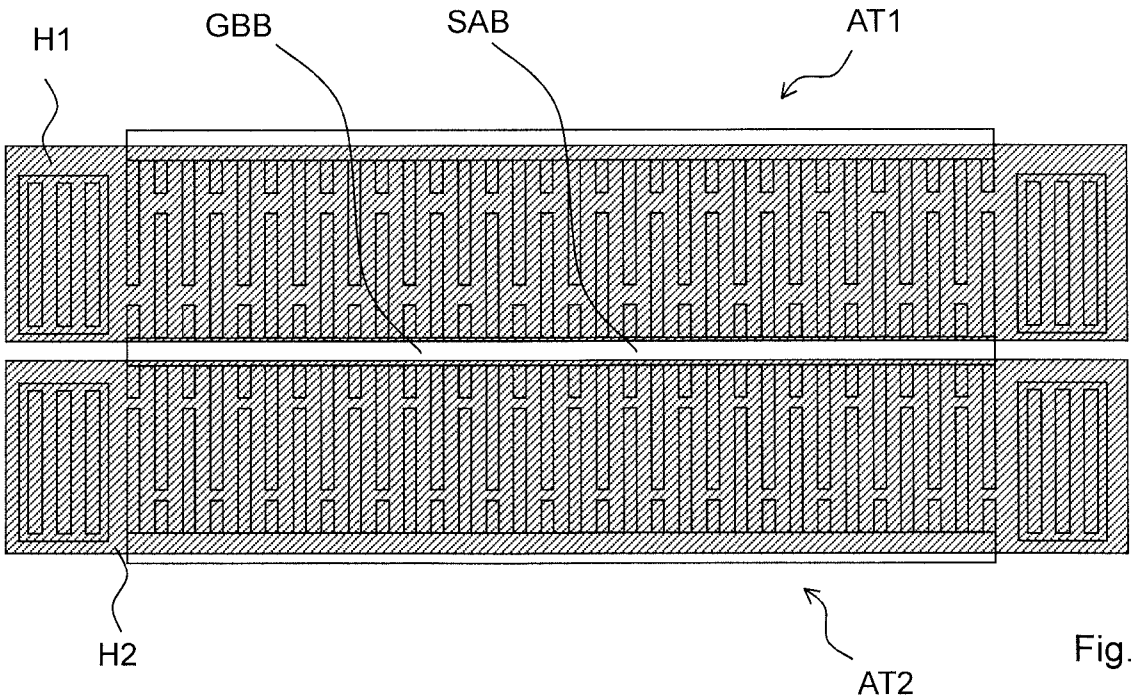

Fig. 7

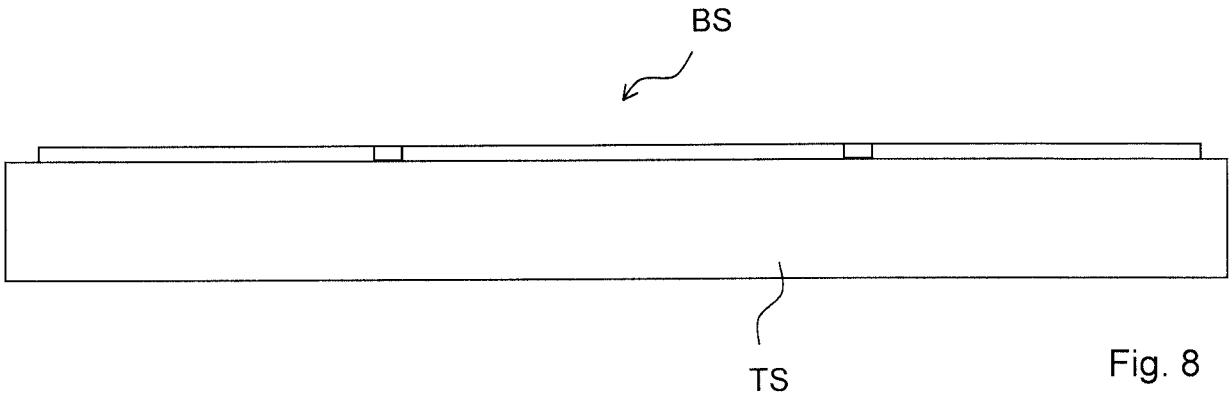

Fig. 8

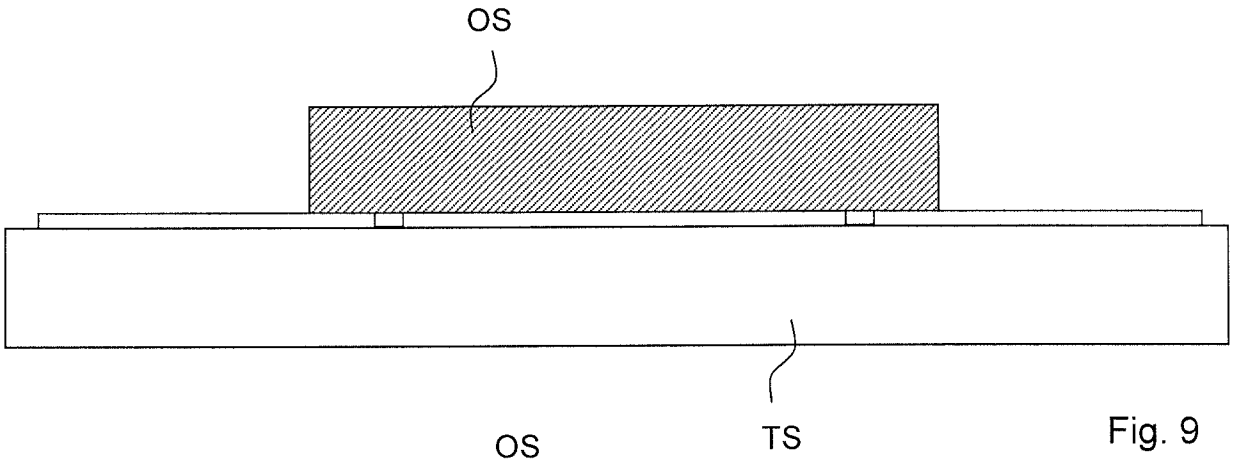

Fig. 9

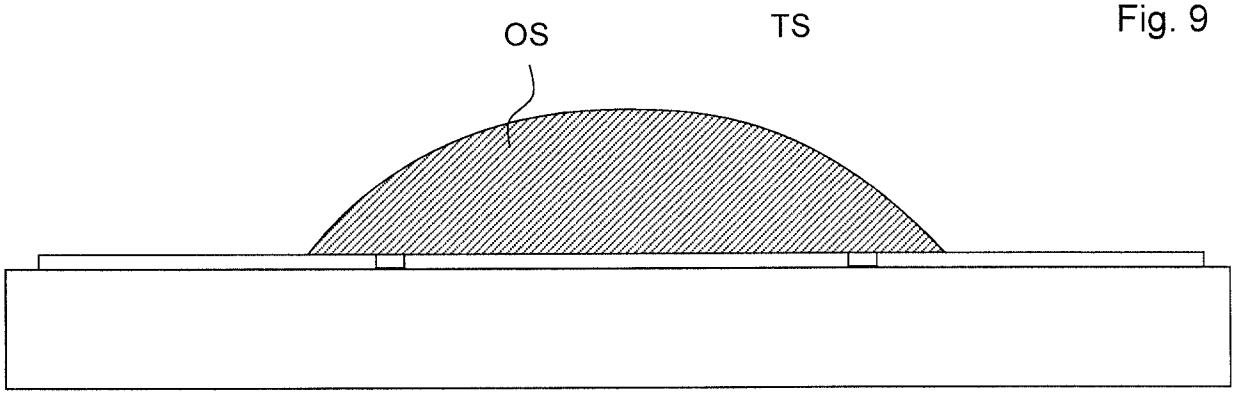

Fig. 10

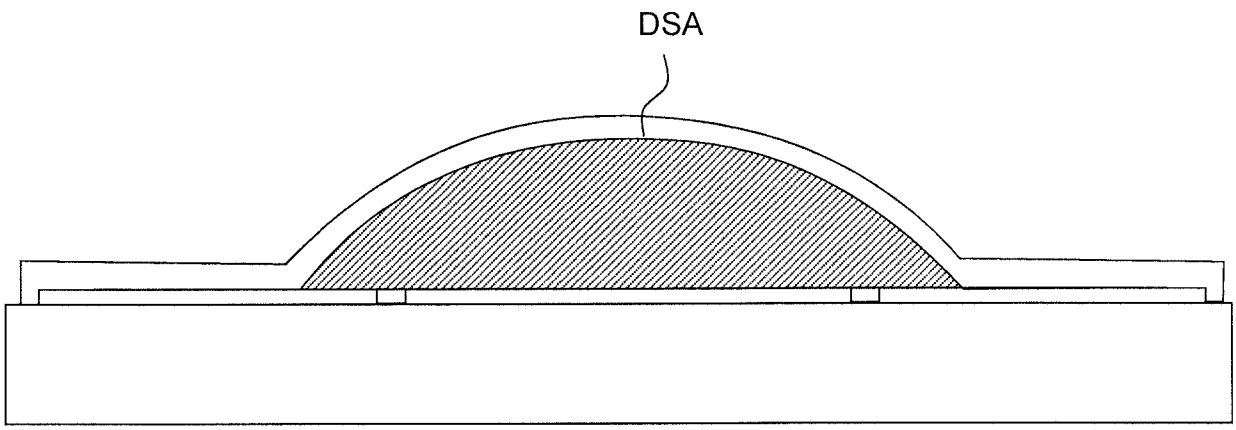

Fig. 11

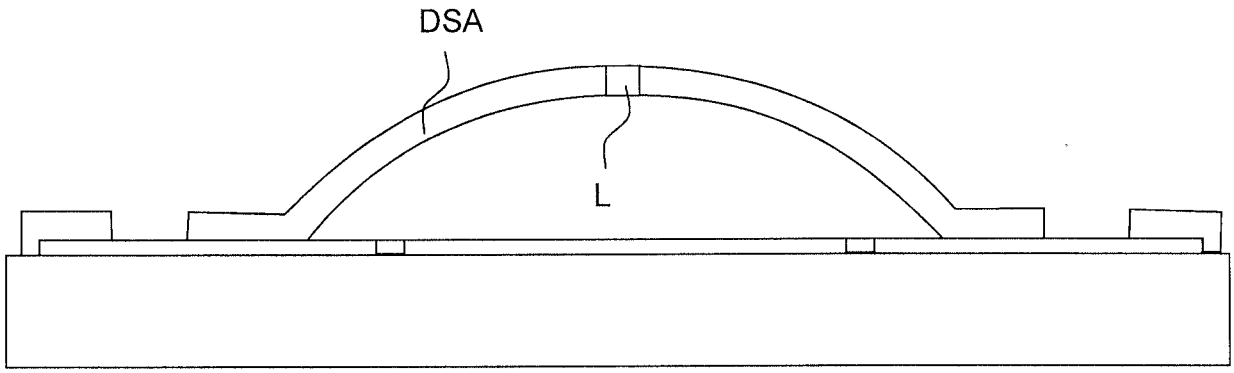

Fig. 12

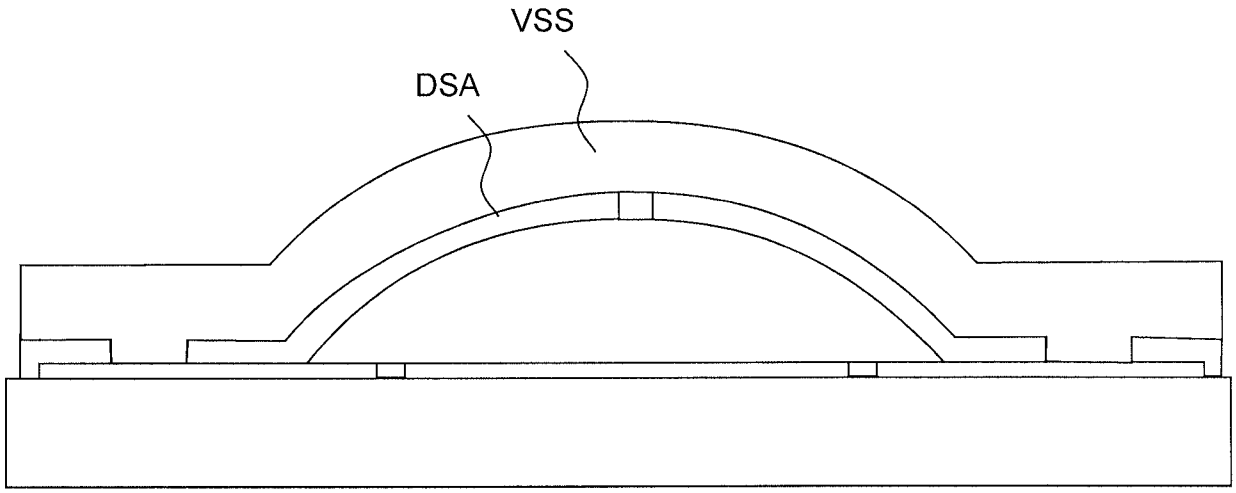

Fig. 13

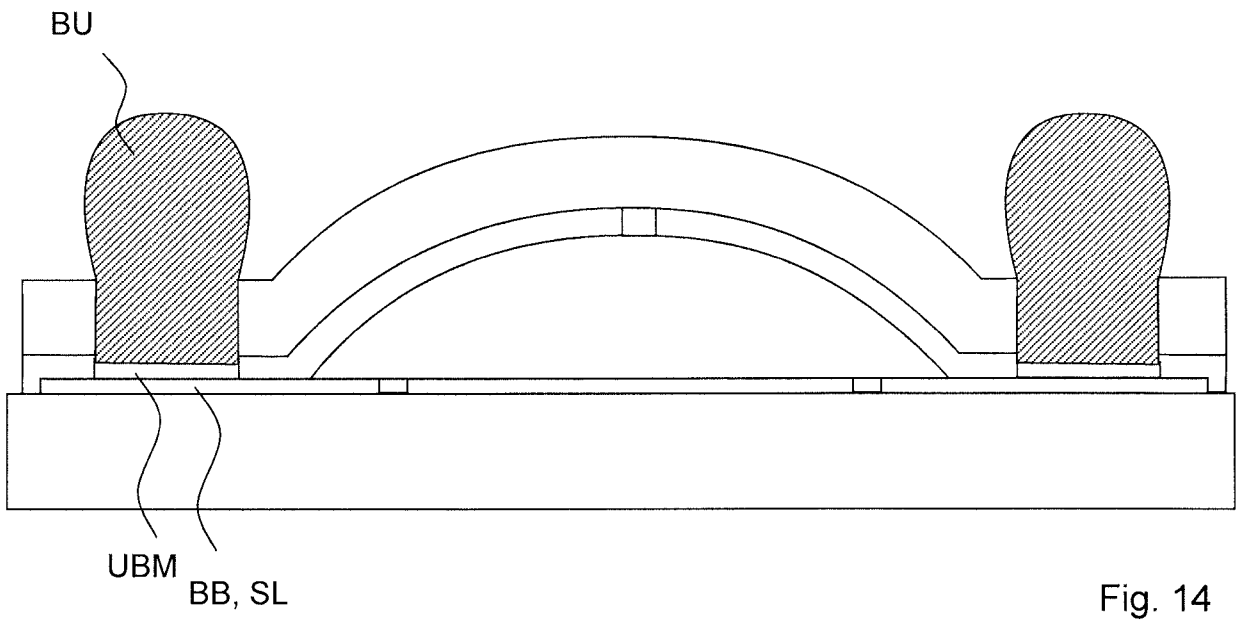

Fig. 14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/077934

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H03H9/10
ADD.

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H03H

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2004/166606 A1 (FOREHAND DAVID [US]) 26 August 2004 (2004-08-26) paragraphs [0022] - [0029]; figure 5	1-20
X	DE 10 2013 102213 A1 (EPCOS AG [DE]) 11 September 2014 (2014-09-11) paragraphs [0001], [0052] - [0057]; figures 1-5	1-20
X	DE 10 2013 102206 A1 (EPCOS AG [DE]) 11 September 2014 (2014-09-11) paragraphs [0016], [0027] - [0028], [0089]; figures 12,16-21	1-20
X	DE 10 2013 102210 A1 (EPCOS AG [DE]) 11 September 2014 (2014-09-11) paragraph [0016]; figures 8-10	1-20

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
16 February 2016	24/02/2016

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Radomirescu, B-M

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/077934

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2014/231934 A1 (SAITO TOMOHIRO [JP]) 21 August 2014 (2014-08-21) paragraphs [0034], [0081] - [0083]; figure 15	1-20
A	JAMES M BUSTILLO ET AL: "Surface Micromachining for Microelectromechanical Systems", PROCEEDINGS OF THE IEEE, IEEE. NEW YORK, US, vol. 86, no. 8, 1 August 1998 (1998-08-01) , XP011044061, ISSN: 0018-9219 figure 17	1-20
A	US 2009/194309 A1 (GILLOT CHARLOTTE [FR] ET AL) 6 August 2009 (2009-08-06) figures 2,4	1-20

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP2015/077934

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

see supplemental sheet

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.

2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.

3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.

☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

The International Searching Authority has found that the international application contains multiple (groups of) inventions, as follows:

1. Claims 1-20

Covered MEMS components having equidistant holes along a central axis of the cover.
Sealed MEMS, SAW/BAW structures which comprise cascaded partial structures with inherent closed regions.

1.1. Claims 6-10

Sealed MEMS, SAW/BAW structures which comprise cascaded partial structures with inherent closed regions.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2015/077934

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2004166606 A1	26-08-2004	NONE	
DE 102013102213 A1	11-09-2014	DE 102013102213 A1	11-09-2014
		US 2016016790 A1	21-01-2016
		WO 2014135329 A1	12-09-2014
DE 102013102206 A1	11-09-2014	DE 102013102206 A1	11-09-2014
		US 2015380634 A1	31-12-2015
		WO 2014135442 A1	12-09-2014
DE 102013102210 A1	11-09-2014	DE 102013102210 A1	11-09-2014
		WO 2014135309 A1	12-09-2014
US 2014231934 A1	21-08-2014	JP 2014155980 A	28-08-2014
		TW 201432856 A	16-08-2014
		US 2014231934 A1	21-08-2014
		US 2015284242 A1	08-10-2015
US 2009194309 A1	06-08-2009	EP 2019811 A1	04-02-2009
		FR 2901264 A1	23-11-2007
		JP 5588674 B2	10-09-2014
		JP 2009537344 A	29-10-2009
		US 2009194309 A1	06-08-2009
		WO 2007135128 A1	29-11-2007

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2015/077934

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H03H9/10
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H03H

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

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2004/166606 A1 (FOREHAND DAVID [US]) 26. August 2004 (2004-08-26) Absätze [0022] - [0029]; Abbildung 5	1-20
X	DE 10 2013 102213 A1 (EPCOS AG [DE]) 11. September 2014 (2014-09-11) Absätze [0001], [0052] - [0057]; Abbildungen 1-5	1-20
X	DE 10 2013 102206 A1 (EPCOS AG [DE]) 11. September 2014 (2014-09-11) Absätze [0016], [0027] - [0028], [0089]; Abbildungen 12,16-21	1-20
X	DE 10 2013 102210 A1 (EPCOS AG [DE]) 11. September 2014 (2014-09-11) Absatz [0016]; Abbildungen 8-10	1-20

-/--

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
16. Februar 2016	24/02/2016

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

5

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2014/231934 A1 (SAITO TOMOHIRO [JP]) 21. August 2014 (2014-08-21) Absätze [0034], [0081] - [0083]; Abbildung 15	1-20
A	JAMES M BUSTILLO ET AL: "Surface Micromachining for Microelectromechanical Systems", PROCEEDINGS OF THE IEEE, IEEE. NEW YORK, US, Bd. 86, Nr. 8, 1. August 1998 (1998-08-01) , XP011044061, ISSN: 0018-9219 Abbildung 17	1-20
A	US 2009/194309 A1 (GILLOT CHARLOTTE [FR] ET AL) 6. August 2009 (2009-08-06) Abbildungen 2,4	1-20

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2015/077934

Feld Nr. II Bemerkungen zu den Ansprüchen, die sich als nicht recherchierbar erwiesen haben (Fortsetzung von Punkt 2 auf Blatt 1)

Gemäß Artikel 17(2)a) wurde aus folgenden Gründen für bestimmte Ansprüche kein internationaler Recherchenbericht erstellt:

1. ☐ Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Gegenstände beziehen, zu deren Recherche diese Behörde nicht verpflichtet ist, nämlich

2. ☐ Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Teile der internationalen Anmeldung beziehen, die den vorgeschriebenen Anforderungen so wenig entsprechen, dass eine sinnvolle internationale Recherche nicht durchgeführt werden kann, nämlich

3. ☐ Ansprüche Nr.
weil es sich dabei um abhängige Ansprüche handelt, die nicht entsprechend Satz 2 und 3 der Regel 6.4 a) abgefasst sind.

Feld Nr. III Bemerkungen bei mangelnder Einheitlichkeit der Erfindung (Fortsetzung von Punkt 3 auf Blatt 1)

Diese Internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere Erfindungen enthält:

siehe Zusatzblatt

1. ☐ Da der Anmelder alle erforderlichen zusätzlichen Recherchengebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht auf alle recherchierbaren Ansprüche.

2. ☒ Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der zusätzliche Recherchengebühr gerechtfertigt hätte, hat die Behörde nicht zur Zahlung solcher Gebühren aufgefordert.

3. ☐ Da der Anmelder nur einige der erforderlichen zusätzlichen Recherchengebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht nur auf die Ansprüche, für die Gebühren entrichtet worden sind, nämlich auf die Ansprüche Nr.

4. ☐ Der Anmelder hat die erforderlichen zusätzlichen Recherchengebühren nicht rechtzeitig entrichtet. Dieser internationale Recherchenbericht beschränkt sich daher auf die in den Ansprüchen zuerst erwähnte Erfindung; diese ist in folgenden Ansprüchen erfasst:

Bemerkungen hinsichtlich eines Widerspruchs

☐ Der Anmelder hat die zusätzlichen Recherchengebühren unter Widerspruch entrichtet und die gegebenenfalls erforderliche Widerspruchsgebühr gezahlt.

☐ Die zusätzlichen Recherchengebühren wurden vom Anmelder unter Widerspruch gezahlt, jedoch wurde die entsprechende Widerspruchsgebühr nicht innerhalb der in der Aufforderung angegebenen Frist entrichtet.

☐ Die Zahlung der zusätzlichen Recherchengebühren erfolgte ohne Widerspruch.

WEITERE ANGABEN **PCT/ISA/** 210

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere (Gruppen von) Erfindungen enthält, nämlich:

1. Ansprüche: 1-20

Abgedeckte MEMS-Bauelemente mit äquidistanten Löchern entlang einer Mittelachse der Abdeckung
Versiegelte MEMS, SAW/BAW-Strukturen, die kaskadierte Teilstrukturen mit eigenen, abgeschlossenen Bereichen umfassen

1.1. Ansprüche: 6-10

Versiegelte MEMS, SAW/BAW-Strukturen, die kaskadierte Teilstrukturen mit eigenen, abgeschlossenen Bereichen umfassen

---

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2015/077934

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2004166606 A1	26-08-2004	KEINE	
DE 102013102213 A1	11-09-2014	DE 102013102213 A1	11-09-2014
		US 2016016790 A1	21-01-2016
		WO 2014135329 A1	12-09-2014
DE 102013102206 A1	11-09-2014	DE 102013102206 A1	11-09-2014
		US 2015380634 A1	31-12-2015
		WO 2014135442 A1	12-09-2014
DE 102013102210 A1	11-09-2014	DE 102013102210 A1	11-09-2014
		WO 2014135309 A1	12-09-2014
US 2014231934 A1	21-08-2014	JP 2014155980 A	28-08-2014
		TW 201432856 A	16-08-2014
		US 2014231934 A1	21-08-2014
		US 2015284242 A1	08-10-2015
US 2009194309 A1	06-08-2009	EP 2019811 A1	04-02-2009
		FR 2901264 A1	23-11-2007
		JP 5588674 B2	10-09-2014
		JP 2009537344 A	29-10-2009
		US 2009194309 A1	06-08-2009
		WO 2007135128 A1	29-11-2007