



(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2012 210 052.0**

(22) Anmeldetag: **14.06.2012**

(43) Offenlegungstag: **19.12.2013**

(51) Int Cl.: **B81B 7/02 (2012.01)**

B81B 3/00 (2012.01)

B81C 1/00 (2012.01)

H01L 25/16 (2012.01)

H01L 21/768 (2012.01)

H04R 19/04 (2012.01)

H04R 1/04 (2012.01)

H01H 35/34 (2012.01)

(71) Anmelder:

Robert Bosch GmbH, 70469, Stuttgart, DE

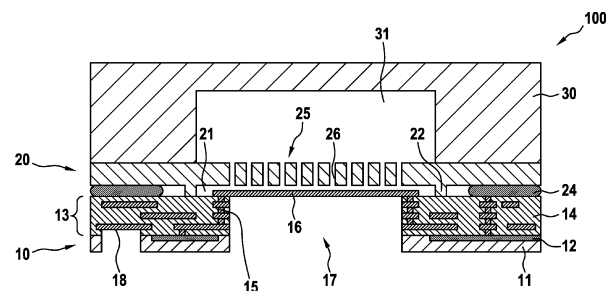
(72) Erfinder:

Weber, Heribert, 72622, Nürtingen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Hybrid integriertes Bauteil und Verfahren zu dessen Herstellung**

(57) Zusammenfassung: Es wird vorgeschlagen ein hybrid integriertes Bauteil (100), das mindestens ein ASIC-Bauelement (10) mit integrierten Schaltungselementen (12) und einem Backendstapel (13), ein MEMS-Bauelement (20) mit einer mikromechanischen Struktur, die sich über die gesamte Dicke des MEMS-Substrats (20) erstreckt, und einen Kappenwafer (30) umfasst, mit einer zusätzlichen mikromechanischen Funktion auszustatten. Dabei ist das MEMS-Bauelement (20) auf dem ASIC-Bauelement (10) montiert, so dass zwischen der mikromechanischen Struktur und dem Backendstapel (13) des ASIC-Bauelements (10) ein Spalt (21) besteht. Der Kappenwafer (30) ist über der mikromechanischen Struktur des MEMS-Bauelements (20) montiert. Erfindungsgemäß wird im Backendstapel (13) des ASIC-Bauelements (10) eine druckempfindliche Membranstruktur (16) mit mindestens einer auslenkbaren Elektrode einer Kondensatoranordnung ausgebildet. Diese Membranstruktur (16) überspannt einen Druckanschluss (17) in der Rückseite des ASIC-Bauelements (10).



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung betrifft ein hybrid integriertes Bauteil, das ein ASIC(application specific integrated circuit)-Baelement mit integrierten Schaltungselementen und einem Backendstapel umfasst, ein MEMS(micro electro mechanical system)-Baelement mit einer mikromechanischen Struktur, die sich über die gesamte Dicke des MEMS-Substrats erstreckt, und einen Kappenwafer. Das MEMS-Baelement ist so auf dem ASIC-Baelement montiert, dass zwischen der mikromechanischen Struktur und dem Backendstapel des ASIC-Baelements ein Spalt besteht und der Kappenwafer ist über der mikromechanischen Struktur des MEMS-Baelements montiert.

[0002] Des Weiteren betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Herstellen eines derartigen hybrid integrierten Bauteils.

[0003] In der US 2011/0049652 A1 wird ein vertikal integriertes Bauteil mit einem ASIC-Baelement, einem MEMS-Baelement und einem Kappenwafer beschrieben sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung. Das bekannte Verfahren sieht vor, zunächst ein ASIC-Substrat zu prozessieren, auf das dann das Ausgangssubstrat für das MEMS-Baelement gebondet wird. Erst danach wird eine mikromechanische Struktur im MEMS-Substrat erzeugt. Im Fall der US 2011/0049652 A1 umfasst diese mikromechanische Struktur eine federnd aufgehängte seismische Masse. Unabhängig davon wird ein Kappenwafer strukturiert und für die Montage über der mikromechanischen Struktur des MEMS-Substrats und auf dem ASIC-Substrat präpariert. Der so prozessierte Kappenwafer wird nach der Strukturierung des MEMS-Substrats auf das ASIC-Substrat gebondet, so dass die mikromechanische Struktur zwischen ASIC-Substrat und Kappenwafer hermetisch dicht eingeschlossen ist. Das bekannte Bauteil ist mit einer Kondensatoranordnung ausgestattet, die eine auslenkbare Elektrode auf der federnd gelagerten seismischen Masse umfasst und feststehende Gegenelektroden, die in einer strukturierten Metallschicht auf der Oberfläche des ASIC-Substrats ausgebildet sind. Je nach Funktion des Bauteils als Inertialsensor oder Aktor dient die Kondensatoranordnung entweder zur Messsignalerfassung oder zur Ansteuerung der seismischen Masse.

[0004] Das bekannte Bauteilkonzept ermöglicht eine kostengünstige Massenproduktion von robusten Bauteilen mit einer mikromechanischen Funktion und einer Signalverarbeitungsschaltung. Dabei werden nicht nur die einzelnen Bauteilkomponenten – ASIC-Baelement, MEMS-Baelement und Kappe – im Waferverbund hergestellt. Auch deren Montage zu einem Bauteil wird auf Waferebene realisiert. Zu-

dem können die MEMS-Funktionen und die ASIC-Funktionen auf Waferebene getestet werden, und sogar der Abgleich der einzelnen Bauteile kann noch vor der Vereinzelung auf Waferebene vorgenommen werden. Außerdem benötigen die bekannten Bauteile aufgrund des gestapelten Aufbaus eine vergleichsweise kleine Montagefläche, was sich auch günstig auf die Herstellungskosten der Endgeräte auswirkt.

Offenbarung der Erfindung

[0005] Mit der vorliegenden Erfindung wird das bekannte Bauteilkonzept um eine zusätzliche MEMS-Funktion erweitert, ohne dass hierfür eine wesentliche Vergrößerung des Bauteil-„footprint“ erforderlich ist. Das so erweiterte Bauteilkonzept ermöglicht außerdem die Realisierung von Bauteilen mit mehrschichtigen mikromechanischen Strukturen, wie z.B. Mikrofon- und Lautsprecher-Bauteilen.

[0006] Dies wird erfindungsgemäß dadurch erreicht, dass im Backendstapel des ASIC-Baelements eine druckempfindliche Membranstruktur mit mindestens einer auslenkbaren Elektrode einer Kondensatoranordnung ausgebildet wird, und zwar so, dass diese Membranstruktur einen Druckanschluss in der Rückseite des ASIC-Baelements überspannt.

[0007] Demnach wird das bekannte Bauteilkonzept erfindungsgemäß durch eine Strukturierung des Backendstapels des ASIC-Baelements erweitert, bei der im Backendstapel nicht nur eine Standoff-Struktur – wie im Stand der Technik – erzeugt wird, sondern eine mikromechanische Membranstruktur mit einer eigenen Sensor- bzw. Aktorfunktion. Da der Bauteilaufbau außerdem noch ein MEMS-Baelement mit einer eigenständigen MEMS-Funktion umfasst, können so beispielsweise sehr einfach und kostengünstig robuste Bauteile mit einer Drucksensorfunktion und einer weiteren davon unabhängigen MEMS-Funktion realisiert werden. So kann die Drucksensorfunktion der ASIC-Membranstruktur eines erfindungsgemäßen Bauteils beispielsweise mit einer Inertialsensorfunktion kombiniert werden, die dann in der mikromechanischen Struktur des MEMS-Baelements realisiert wird und mit Hilfe des Kappenwafers gekapselt wird. Der erfindungsgemäße Bauteilaufbau eignet sich außerdem sehr gut für die Realisierung von Bauteilen mit einer mehrschichtigen mikromechanischen Struktur, wie z.B. für die Realisierung von kapazitiven Mikrofon- und Lautsprecherbauteilen. Die Membranstruktur im Backendstapel des ASIC-Bauteils dient hier als akustisch aktive Membran, während die Backplate, d.h. das dazugehörige akustisch durchlässige Gegenelement mit der feststehenden Gegenelektrode, in der mikromechanischen Struktur des MEMS-Baelements ausgebildet wird. Der Kappenwafer wird bei dieser Anwendung zur Definition des Rückseitenvolumens genutzt. In jedem Fall werden auf dem ASIC-Baelement vorteilhafterweise zu-

mindest Teile einer Signalverarbeitungsschaltung für die MEMS-Funktionen des Bauteils integriert.

[0008] Gemäß dem beanspruchten Verfahren zum Herstellen eines derartigen hybrid integrierten Bauteils wird zunächst ein ASIC-Substrat prozessiert, wobei Schaltungselemente in das ASIC-Substrat integriert werden. Auf dem ASIC-Substrat wird dann ein Backendstapel zum Verschalten dieser Schaltungselemente erzeugt. Dabei wird erfindungsgemäß eine Membranstruktur mit mindestens einer auslenkbaren Elektrode im Backendstapel angelegt. Auf dem Backendstapel des ASIC-Substrats wird dann ein MEMS-Substrat montiert, so dass ein Spalt zwischen dem MEMS-Substrat und dem Backendstapel des ASIC-Substrats besteht. Nach der Montage auf dem ASIC-Substrat wird das MEMS-Substrat in seiner gesamten Dicke strukturiert. Dabei kann im Bereich über der im Backendstapel angelegten Membranstruktur auch ein feststehendes Gegenelement als Träger mindestens einer Gegenelektrode für die auslenkbare Elektrode der Membranstruktur ausgebildet werden. Erfindungsgemäß wird jedenfalls nach der Strukturierung des MEMS-Substrats die Membranstruktur im Backendstapel freigelegt. Dabei wird auch ein Druckanschluss in der Rückseite des ASIC-Substrats erzeugt. Die Montage des Kappenwafers erfolgt nach der Strukturierung des MEMS-Substrats entweder vor oder auch erst nach der Strukturierung des ASIC-Substrats.

[0009] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird die Membranstruktur ausschließlich layouttechnisch im Backendstapel angelegt, indem die Isolationsschichten und Metallisierungsebenen des Backendstapels in geeigneter Weise übereinander abgeschieden und strukturiert werden. Die Membranstruktur wird hier durch die Metallisierungsebenen und die Durchkontakte zwischen den einzelnen Metallisierungsebenen definiert, da die Membranstruktur freigelegt wird, indem das Material der Isolationsschichten im Membranbereich mit anisotropen und/oder isotropen Ätzverfahren entfernt wird. Dabei fungieren die Metallisierungsebenen und die Durchkontakte als vertikaler und lateraler Ätzstopp bzw. Ätzmaske. Bei dieser Verfahrensvariante sind zumindest beim Anlegen der Membranstruktur im Backendstapel keine speziellen Schichtmaterialien, Abscheidungs- und/oder Strukturierungsverfahren erforderlich, so dass das Anlegen der Membranstruktur keinen fertigungstechnischen Mehraufwand verursacht. Das Material der Isolationsschichten wird über Durchgangsöffnungen in der mikromechanischen Struktur des MEMS-Substrats und/oder von der Rückseite des ASIC-Substrats ausgehend aus dem Membranbereich entfernt. Vorteilhafterweise können hierfür Standardverfahren der Halbleiterstrukturierung eingesetzt werden. Da die Metallisierungsebenen des Backendstapels dabei als vertikaler Ätzstopp dienen und Durchkontakte zwischen einzelnen Metallisie-

rungsebenen als lateraler Ätzstopp fungieren, werden die Oberflächen der Membranstruktur jeweils durch eine Metallisierungsebene gebildet, die als Kondensatorelektrode genutzt werden kann. Denkbar ist es aber auch eine Membranstruktur zu realisieren, bei der die Oberflächen aus Isolationsebenen der Mehrlagenmetallisierung bestehen. Dies kann der Fall sein, wenn sich die oberste Metallisierungsebene des ASIC-Substrats im Membranbereich unter einer Isolationsebene befindet und bei der Herstellung des Druckanschlusses zwar auf einer Metallisierungsebene gestoppt wird, diese aber mit Hilfe eines Plasmaätzprozesses nachträglich entfernt wird.

[0010] Das beanspruchte Herstellungsverfahren ermöglicht die Realisierung verschiedenster Membranstrukturen im Backendstapel, so dass sich die Membraneigenschaften sehr gut an die jeweilige Bestimmung bzw. Anwendung eines erfindungsgemäßen Bauteils anpassen lassen.

[0011] In einer einfachsten Ausführungsform der Erfindung ist die Membranstruktur einfach in einer Metallisierungsebene des Backendstapels ausgebildet. Dabei kann die Lage der Metallisierungsebene innerhalb des Backendstapels und damit der Abstand der Membranstruktur zur mikromechanischen Struktur des MEMS-Bauelements weitgehend frei gewählt werden. Je nach der gewünschten Dicke und Steifigkeit kann die Membranstruktur auch mehrere direkt aufeinander abgeschiedene Metallisierungsebenen des Backendstapels umfassen. In diesem Fall kann einfach die Membranstruktur selbst als auslenkbare Elektrode genutzt werden.

[0012] Wenn eine größere Membransteifigkeit gefordert ist, kann sich die Membranstruktur auch über mehrere Metallisierungsebenen und dazwischenliegende Isolationsschichten des Backendstapels erstrecken. Handelt es sich bei den beiden äußeren Schichten einer solchen Membranstruktur um Metallisierungsebenen des Backendstapels, können dann auch einfach eine oder mehrere auslenkbare Elektroden der Kondensatoranordnung ausgebildet werden. In einer vorteilhaften Weiterbildung dieser Variante ist lediglich der Mittelbereich der Membranstruktur versteift, indem er eine größere Dicke aufweist als der Randbereich der Membranstruktur. Dies kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass ein Membranbereich mit einem Schichtaufbau lediglich über eine Metallisierungsebene oder auch einen Schichtaufbau geringerer Dicke in den Backendstapel eingebunden ist. Bei Druckeinwirkungen werden derartige Membranstrukturen bevorzugt im dünneren Randbereich deformiert, während der versteifte Mittelbereich mit der Elektrode planparallel zur feststehenden Gegenelektrode ausgelenkt wird. Im Falle einer Sensoranwendung führt dies zu einer Linearisierung des Sensorsignals. Bei Aktoranwendungen ver-

einfacht sich dadurch die Ansteuerung der Membranstruktur.

[0013] Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung zielt ebenfalls auf eine möglichst planparallele Auslenkung der Elektrode der Membranstruktur gegenüber der feststehenden Gegenelektrode der Kondensatoranordnung ab. Bei dieser Variante umfasst die Membranstruktur ein druckempfindliches Membranelement und ein Elektrodenelement. Das druckempfindliche Membranelement ist in seinem Randbereich in den Schichtaufbau des Backendstapels eingebunden, während das Elektrodenelement lediglich punktuell über einen Durchkontakt mit dem druckempfindlichen Membranelement verbunden ist, ansonsten aber aus dem Schichtaufbau des Backendstapels herausgelöst ist. Dementsprechend führen druckbedingte Deformationen des druckempfindlichen Membranelements zu einer planparallelen Verschiebung des Elektrodenelements.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0014] Wie bereits voranstehend erörtert, gibt es verschiedene Möglichkeiten, die vorliegende Erfindung in vorteilhafter Weise auszugestalten und weiterzubilden. Dazu wird einerseits auf die den unabhängigen Patentansprüchen nachgeordneten Patentansprüche verwiesen und andererseits auf die nachfolgende Beschreibung mehrerer Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Figuren.

[0015] [Fig. 1a–Fig. 1f](#) veranschaulichen anhand von schematischen Schnittdarstellungen die Herstellung eines erfindungsgemäßen Mikrofon-Bauteils **100**,

[0016] [Fig. 2a](#), [Fig. 2b](#) zeigen schematische Schnittdarstellungen von zwei weiteren Mikrofon-Bauteilen **201** und **202** mit einer Metallmembran,

[0017] [Fig. 3a](#), [Fig. 3b](#) zeigen schematische Schnittdarstellungen von zwei Mikrofon-Bauteilen **301** und **302** mit einer zumindest bereichsweise mehrschichtigen Membranstruktur und

[0018] [Fig. 4a](#), [Fig. 4b](#) zeigen schematische Schnittdarstellung von zwei Mikrofon-Bauteilen **401** und **402** mit einem speziellen Membran- und Elektrodenesign.

Ausführungsformen der Erfindung

[0019] Für die Herstellung eines erfindungsgemäßen Bauteils wird zunächst ein ASIC-Substrat **10** prozessiert. Dazu werden Schaltungselemente **12** in ein Ausgangssubstrat **11** integriert, bei dem es sich beispielsweise um einen Siliziumwafer oder einen SOI-Wafer handeln kann. Im Falle eines SOI-Wafers werden die Schaltungselemente in die Si-Funktionsschicht des SOI-Wafers integriert. Die Schaltungsele-

menten **12** bilden vorteilhafterweise zumindest Teile einer Signalverarbeitungsschaltung für die MEMS-Funktionen des herzustellenden Bauteils. Daneben können aber auch MEMS-unabhängige Schaltungsfunktionen realisiert werden. Zur Verdrahtung dieser Schaltungselemente **12** wird ein Schichtaufbau **13** mit mehreren Schaltungsebenen **1** bis **4** auf dem Ausgangssubstrat **11** erzeugt. Diese Schaltungsebenen **1** bis **4** sind in Form von strukturierten Metallisierungsebenen realisiert, die durch Isolationsschichten räumlich und elektrisch voneinander und vom Ausgangssubstrat **11** getrennt sind. Da es sich im hier beschriebenen Ausführungsbeispiel bei den Isolationsschichten jeweils um eine Oxidschicht handelt, wird hier nicht zwischen den einzelnen Isolationsschichten unterschieden. Vielmehr bilden diese zusammen eine Isolationsschicht **14**. Die elektrische Verbindung zwischen den einzelnen Metallisierungsebenen **1** bis **4** wird über sogenannte Durchkontakte **15** hergestellt. Dabei handelt es sich um Kontaktlöcher in den zwischenliegenden Isolationsschichten, die mit Metall verfüllt sind. Die einzelnen Metallisierungsebenen **1** bis **4** können beispielsweise als strukturierte AlSiCu-Schichten oder in Cu-Technik ausgebildet werden. Es ist aber auch möglich, die einzelnen Metallisierungsebenen **1** bis **4** in Form einer Mehrlagenmetallisierung zu realisieren, bei der sich unter der AlSiCu-Schicht weitere Schichten beispielsweise aus TiN, Ti, TiW und/oder deren Kombinationen befinden, um die Haftung zu erhöhen bzw. eine Diffusionsbarriere in den Kontaktlöchern zu bilden. Im Fall des in [Fig. 1a](#) dargestellten ASIC-Substrats **10** ist eine strukturierte Metallisierungsebene **1** auf der Isolationsschicht **14** angeordnet. Die übrigen Metallisierungsebenen **2** bis **4** sind in die Isolationsschicht **14** eingebettet. Dieser Schichtaufbau wird im Folgenden stets als Backendstapel **13** des ASIC-Substrats **10** bezeichnet. Selbstverständlich kann der Backendstapel des ASIC-Bauelements eines erfindungsgemäßen hybrid integrierter Bauteils auch mehr oder weniger als die hier dargestellten vier Metallisierungsebenen umfassen.

[0020] Erfindungsgemäß wird im Backendstapel **13** eine Membranstruktur **16** mit mindestens einer auslenkbaren Elektrode angelegt. Im hier beschriebenen Ausführungsbeispiel werden dazu die einzelnen Isolationsschichten **14** und Metallisierungsebenen **1** bis **4** des Schichtaufbaus **13** in geeigneter Weise strukturiert und übereinander abgeschieden. Die Membranstruktur **16** wird durch die Struktur der Metallisierungsebenen **1** bis **4** definiert, da die Metallisierungsebenen **1** bis **4** zusammen mit den Durchkontakten **15** einen vertikalen und lateralen Ätzstopp, also eine Ätzmaske für den Strukturierungsprozess bilden, bei dem die Membranstruktur **16** freigelegt wird. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wurde ein zusammenhängender Bereich der obersten Metallisierungsebene **1** des Backendstapels **13** als Membran **16** angelegt. Die übrigen Metallisierungsebenen **2** bis **4** wurden in diesem Bereich geöffnet, so dass

das Material der Isolationsschicht **14** unterhalb der Membran **16** in einem rückseitigen Ätzangriff entfernt werden kann. Dieser Ätzangriff wird seitlich durch die den Membranbereich umlaufenden Durchkontakte **15** zwischen den Metallisierungsebenen **1** bis **4** begrenzt. An dieser Stelle sei angemerkt, dass die Mikrofonmembran nicht zwingend als geschlossene Fläche ausgeführt sein muss. Sie kann auch mit einer feinen Perforation versehen sein.

[0021] In [Fig. 1a](#) ist über dem ASIC-Substrat **10** ein MEMS-Substrat **20** dargestellt, das auf dem Backendstapel **13** montiert werden soll, und zwar so, dass zumindest im Bereich der Membranstruktur **16** ein Spalt **21** zwischen dem Backendstapel **13** und dem MEMS-Substrat **20** besteht. Deshalb wurde die Montageseite des MEMS-Substrats **20** im hier dargestellten Ausführungsbeispiel im Rahmen einer Vorprozessierung mit einer Standoff-Struktur in Form von Abstandshaltern **22** versehen. Diese können beispielsweise aus einer Oxidschicht mit einer definierten Dicke herausstrukturiert werden oder aber aus Silizium bestehen. Die Abstandshalter **22** sind hier so angeordnet, dass sie nach der Montage des MEMS-Substrats **20** auf der Isolationsschicht **14** des Backendstapels aufsitzen. Es ist jedoch ebenso möglich, die Abstandshalter **22** so anzuordnen, dass sie auf der obersten Metallisierungsebene **1** des Backendstapels **13** aufsitzen. Des Weiteren sei an dieser Stelle erwähnt, dass alternativ oder auch ergänzend zu den Abstandshaltern **22** auf der Montageseite des MEMS-Substrats **20** auch eine Standoff-Struktur mit Abstandshaltern auf dem Backendstapel **13** des ASIC-Substrats **10** erzeugt werden kann.

[0022] Die mechanische Verbindung zwischen dem MEMS-Substrat **20** und dem Backendstapel **13** wird im hier beschriebenen Ausführungsbeispiel in einem Bondverfahren hergestellt, und zwar durch eutektisches Bonden. Dazu wurde im Verbindungsbereich auf der Montageseite des MEMS-Substrats **20** eine Ge-Schicht **23** aufgebracht, die sich beim Bonden mit dem AlSiCu der obersten Metallisierungsebene **1** zu einem Eutektikum verbindet. Dabei entsteht nicht nur eine rahmenförmig umlaufende mechanische Verbindung **24**, die den Spalt **21** zwischen dem MEMS-Substrat **20** und dem Backendstapel **13** hermetisch abdichtet, sondern auch eine elektrische Verbindung zwischen dem MEMS-Substrat **20** und dem Backendstapel **13**. An dieser Stelle sei noch angemerkt, dass eine unkontrollierte laterale Ausbreitung des Eutektikums, insbesondere in den Membranbereich, durch Stoppgräben in der Montageoberfläche des MEMS-Substrats **20** vermieden werden kann.

[0023] Das relativ dicke MEMS-Substrat **20** wird nun, beispielsweise in einem CMP-Prozess und ggf. einem Plasmaätzschritt, solange abgedünnt, bis seine Dicke in etwa der angestrebten Strukturhöhe des MEMS-Bauelements entspricht. Erst danach

wird das MEMS-Substrat **20** in einem Trenchprozess strukturiert, wobei die Isolationsschicht **14** und die oberste Metallisierungsebene **1** des Backendstapels **13** als Ätzstopp dienen. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird auf diese Weise ein feststehendes Gegenelement **25** als Gegenelektrode für die Metallmembran **16** erzeugt. Das Gegenelement **25** wird mit Durchgangsöffnungen **26** versehen, so dass es akustisch durchlässig ist. Dabei werden die geometrischen Größen der Durchgangsöffnungen **26** so ausgelegt, dass eine möglichst gute Mikrofonübertragungskennlinie erzielt wird. [Fig. 1b](#) zeigt das ASIC-Substrat **10** mit dem Backendstapel **13** nach der Montage des MEMS-Substrats **20**, aus dem bereits das Gegenelement **25** herausstrukturiert wurde. Diese Figur verdeutlicht außerdem die Funktion der Abstandshalter **22** in Ergänzung zur Verbindungsschicht **24**.

[0024] Nach der Strukturierung des MEMS-Substrats **20** wird im hier beschriebenen Ausführungsbeispiel ein strukturierter Kappenwafer **30** über dem Gegenelement **25** auf dem MEMS-Substrat **20** montiert, was in [Fig. 1c](#) dargestellt ist. Der Kappenwafer **30** bildet das Rückseitenvolumen **31** des Mikrofon-Bauteils und könnte alternativ auch auf dem Backendstapel des ASIC-Substrats montiert werden, so dass nicht nur das Gegenelement zwischen Backendstapel und Kappenwafer eingeschlossen wäre, sondern das gesamte MEMS-Bauelement. Für die Montage des Kappenwafers **30** wird bevorzugt ebenfalls ein Waferbondverfahren gewählt, da sich auf diese Weise einfach und kostengünstig hermetisch dichte und langlebige mechanische wie auch elektrische Verbindungen erzeugen lassen. Der Kappenwafer **30** kann nach dem Bondprozess noch abgedünnt werden, um die Bauteilhöhe zu reduzieren. Dabei kann eine definierte Oberflächenrauigkeit eingestellt werden. Dies erweist sich insbesondere im Hinblick auf die 2nd-Level Montage des Mikrofon-Bauteils als sinnvoll, wenn dieses zuverlässig auf einer Unterlage fixiert werden soll.

[0025] Danach wird auch das ASIC-Substrat **10** rückseitig abgedünnt, wofür bekannte Verfahren, wie Schleifen, CMP und Plasmaätzen eingesetzt werden können. Dabei ist darauf zu achten, dass die integrierten Schaltungskomponenten **12** nicht beschädigt werden. Außerdem muss das abgedünnte ASIC-Substrat **10** als Rahmen für den Druckanschluss **17** und Einspannung für die noch freizulegende Membranstruktur **16** über dem Druckanschluss **17** eine Mindeststabilität aufweisen. In diesem Zusammenhang erweist es sich als vorteilhaft, wenn als ASIC-Ausgangssubstrat ein SOI-Wafer verwendet wurde, da beim Abdünnen dann die Oxidschicht unterhalb der Funktionsschicht als definierter Ätzstopp genutzt und eine definierte Restsiliziumdicke, vor allem im Bereich der Schaltungselemente **12**, sichergestellt werden kann

[0026] Erfindungsgemäß wird nun die Membranstruktur **16** freigelegt. Dazu wird zunächst die Rückseite des ASIC-Substrats **10** maskiert, um die Öffnungsfläche des rückseitigen Druckanschlusses **17** und einen Bondpadbereich **18** zu definieren. Das Ausgangssubstrat **11** wird dann mit Hilfe dieser Ätzmaske strukturiert, um den Druckanschluss **17** und den Bondpadbereich **18** zu öffnen. Die Isolationsschicht **14** des Backendstapels **13** bildet eine Ätzstoppgrenze für diesen ersten Ätzprozess. Über die so erzeugten Öffnungen im Ausgangssubstrat **11** wird dann in einem Plasmaätzprozess das Material der Isolationsschicht **14** entfernt. Bei diesem zweiten Ätzprozess fungieren die Metallisierungsebenen **1** und **4** sowie die als Ringkontakte ausgeführten Durchkontakte **15** als Ätzstopp bzw. als Ätzmaske. **Fig. 1d** zeigt das Mikrofon-Bauteil **100** mit der freigelegten Membran **16** in der obersten Metallisierungsebene **1**. Diese Membran **16** wird über den Druckanschluss **17** mit Schallwellen beaufschlagt und bildet zusammen mit dem feststehenden Gegenelement **25** des MEMS-Substrats **20** eine Mikrofon-Kondensatoranordnung. Die Schallwellen werden als Kapazitätsänderungen dieser Kondensatoranordnung erfasst.

[0027] Die 2nd-Level-Montage des Mikrofon-Bauteils **100** erfolgt bevorzugt über den Kappenwafer **30** wie in **Fig. 1e** dargestellt. Für die externe elektrische Kontaktierung des Bauteils **100** sind im vorliegenden Fall Drahtbonds **33** im Bondpadbereich **18** auf der Rückseite des ASIC-Substrats **10** vorgesehen. Der Bondpadbereich **18** ist hier im Bereich des Bondrahmens platziert, um einen ausreichend stabilen Unterbau für das Drahtbonds sicherzustellen.

[0028] Alternativ ist es auch denkbar die 2nd-level-Montage des Mikrofon-Bauteil **100** per Flip-Chip Technik durchzuführen. Hierzu ist es allerdings notwendig elektrische Bondpads **32** an der Rückseite des ASIC-Substrats **10** vorzusehen und diese mit Löt-Bumps **34** zu versehen. In **Fig. 1f** ist dargestellt, wie dies technisch umgesetzt werden kann. Nach dem Rückdünnen des ASIC-Substrats **10** werden eine Isolationsschicht **19** aus z.B. SiO₂ und elektrisch isolierte Durchkontakte **35** und Bondpadstrukturen **32** aus z.B. Cu an der rückseitigen Oberfläche des ASIC-Substrats **10** mit bekannten Verfahren hergestellt. Nun erfolgt eine flächige Abscheidung einer weiteren Isolationsschicht **19** aus z.B. SiO₂, Siliziumnitrid, Siliziumoxinitrid, SiC oder Kombinationen aus diesen, das Öffnen der Bondpadfenster im Bereich der Bondpads **32** und die Herstellung des Druckanschlusses **17**. In den Bondpadfenster können nun Löt-Bumps **34** aus z.B. Pb/Sn platziert werden, mit denen jetzt eine Flip-Chip Montage durchgeführt werden kann. Alternativ ist es auch denkbar die Löt-Bumps **34** bereits vor der Herstellung des Druckanschlusses **17** in den Bondpadfenstern zu platzieren.

[0029] Bei dem in den **Fig. 1d**, **Fig. 1e** und **1f** dargestellten Mikrofon-Bauteil **100** ist die Membranstruktur **16** in der obersten Metallisierungsebene **1** des ASIC-Backendstapels **13** ausgebildet. Die in den **Fig. 2a** und **Fig. 2b** dargestellten Mikrofon-Bauteile **201** und **202** sind ebenfalls mit Metallmembranen **261** und **262** ausgestattet. Der einzige wesentliche Unterschied zum Bauteil **100** besteht hier in der Anordnung und Dicke dieser Metallmembranen **261** und **262**. Deshalb beschränkt sich die nachfolgende Figurenbeschreibung auf diesen Aspekt des Bauteilaufbaus. Zur Erläuterung der übrigen Bauteilkomponenten wird auf die Erläuterungen zu den **Fig. 1a** bis **Fig. 1e** verwiesen.

[0030] Die Metallmembran **261** des in **Fig. 2a** dargestellten Mikrofon-Bauteils **201** ist deutlich dicker als die Membran **16** des Mikrofon-Bauteils **100**. Dazu wurden die obersten Schichten des Backendstapels **13** so strukturiert, dass die Metallisierungsebenen **1** und **2** im Membranbereich direkt übereinander abgetrennt wurden. Die Metallmembran **261** ist hier also in Form eines Stapels aus zwei direkt übereinander angeordneten Metallisierungsebenen **1**, **2** realisiert.

[0031] Bei dem in **Fig. 2b** dargestellten Mikrofon-Bauelement **202** ist die Metallmembran **262** in der untersten Metallisierungsebene **4** des ASIC-Backendstapels **13** ausgebildet. Dazu wurden die darüber liegenden Metallisierungsebenen **1** bis **3** im Membranbereich geöffnet. Außerdem war ein zusätzlicher Ätzangriff erforderlich, um das Material der Isolationsschicht **14** über der Membranstruktur **262** zu entfernen. Dieser Ätzangriff erfolgte noch vor der Montage des MEMS-Substrats **20** über die Durchgangsöffnungen **26** im Gegenelement. Der Druckanschluss **17** in der Rückseite des ASIC-Substrats **10** wurde auch hier erst nach der Montage des Kappenwafers **30** erzeugt. Dabei wurde dann auch das Material der Isolationsschicht **14** unterhalb der Membranstruktur **262** entfernt. Durch die Ausbildung der Membranstruktur in einer unteren Metallisierungsebene bzw. in einem unteren Schichtbereich des Backendstapels **13** kann der Abstand zum Gegenelement **25** im MEMS-Substrat **20** gezielt vergrößert werden, ohne dass dazu die Bauhöhe des Bauteils vergrößert werden muss.

[0032] Auch die in den **Fig. 3a** und **Fig. 3b** dargestellten Mikrofon-Bauteile **301** und **302** unterscheiden sich lediglich in der Membranstruktur vom Mikrofon-Bauteil **100** der **Fig. 1d** und **Fig. 1e**.

[0033] Die Membranstruktur **361** des in **Fig. 3a** dargestellten Mikrofon-Bauteils **301** erstreckt sich von der obersten Metallisierungsebene **1** über die darunter liegende Isolationsschicht **141** bis auf die zweite Metallisierungsebene **2** und weist dementsprechend eine größere Steifigkeit auf als die Membranstrukturen **16**, **261** und **262** der Bauteile **100**, **201** und **202**.

Diese Versteifungsmöglichkeit wurde im Fall des in [Fig. 3b](#) dargestellten Bauteils **302** genutzt, um eine Membranstruktur **362** zu realisieren, die lediglich in ihrem Mittelbereich **5** versteift ist. Diese Membranstruktur **362** ist lediglich über die unterste Metallisierungsebene **4** in den Schichtaufbau des Backendstapels **13** eingebunden, erstreckt sich aber in ihrem Mittelbereich **5** über alle vier Metallisierungsebenen **1** bis **4** des Backendstapels. Dazu wurden den Membranbereich umlaufende, ringförmige Durchkontakte **15** zwischen den Metallisierungsebenen **1** bis **4** erzeugt, die als lateraler Ätzstopp beim vorderseitigen Freilegen der Membranstruktur **362** dienen. Durch geeignete Wahl und Kombination der Isolationsschichten **14**, als Schichten mit Zug- bzw. Druckspannung, kann die Membranstruktur **362** gezielt beeinflusst werden. Die Membranstruktur **362** wird bei Druckeinwirkung im Wesentlichen nur in ihrem Randbereich **6** deformiert, während der versteifte Mittelbereich **5** planparallel ausgelenkt wird. Diese strukturelle Maßnahme trägt zur Linearisierung des Mikrofonsignals bei. An dieser Stelle sei noch angemerkt, dass bei entsprechender Strukturierung der einzelnen Metallisierungsebenen des Backendstapels auch Membranstrukturen mit versteiftem Mittelbereich erzeugt werden können, deren Randbereich sich über mehrere Schichten des Backendstapels erstreckt wie die Membranstruktur **361** des Bauteils **301**. Auf diese Weise lässt sich die Steifigkeit der Membraneinspannung gezielt beeinflussen.

[0034] Bei den in den [Fig. 4a](#) und [Fig. 4b](#) dargestellten Bauteilen **401** und **402** ist der Kappenwafer **30** jeweils direkt auf dem Backendstapel **13** des ASIC-Substrats **10** montiert, so dass das gesamte MEMS-Bauelement **20** innerhalb des Rückseitenvolumens **31** zwischen Kappenwafer **30** und ASIC-Substrat **10** eingeschlossen ist. Diese Figuren veranschaulichen außerdem, dass elektrische Verbindungen zwischen dem MEMS-Bauelement **20** und dem ASIC-Substrat **10** bestehen. Die elektrischen Verbindungen werden über Durchkontakte **27** im MEMS-Bauelement **10** hergestellt, von denen hier einer dargestellt ist, der auf der obersten Metallisierungsebene **1** des Backendstapels **13** aufsitzt.

[0035] Weiter sind elektrische Verbindungen auch zwischen dem Kappenwafer **30** und dem ASIC-Substrat **10** denkbar, um den Kappenwafer **30** auf ein definiertes elektrisches Potential legen zu können.

[0036] Die Membranstruktur **461** des Bauteils **401** umfasst ein druckempfindliches Membranelement **41** und ein Elektrodenelement **42**, das zusammen mit dem Membranelement **41** ausgelenkt wird. Das Membranelement **41** ist hier als geschlossene Metallmembran in der zweiten Metallisierungsebene **2** ausgebildet. Das Elektrodenelement **42** wurde aus der benachbarten Metallisierungsebene **1** herausstrukturiert und dabei mit Durchgangsöffnungen **43** verse-

hen. Es ist lediglich punktuell über einen mittig angeordneten Durchkontakt **15** mit dem Membranelement **41** verbunden. Ansonsten ist das Elektrodenelement **42** nicht in den Schichtaufbau des Backendstapels **13** eingebunden. Auch dieses Design trägt zur Linearisierung des Mikrofonsignals bei, da druckbedingte Deformationen des Membranelements **41** eine planparallele Auslenkung des Elektrodenelements **41** bewirken. Außer einer mittigen Aufhängung des Elektrodenelements **42** ist auch eine mehrfach punktuell Aufhängung denkbar, wenn sich alle Aufhängungspunkte bei der Auslenkung des Membranelements **41** auf der gleichen Höhenlinie befinden.

[0037] Auch bei der in [Fig. 4b](#) dargestellten Bauteilvariante **402** umfasst die Membranstruktur **462** ein Membranelement **44**, das in der zweiten Metallisierungsebene **2** ausgebildet ist, und ein Elektrodenelement **45**, das in der benachbarten Metallisierungsebene **1** ausgebildet ist. Das Elektrodenelement **45** ist – wie im Fall des Bauteils **401** – lediglich punktuell über einen mittig angeordneten Durchkontakt **15** mit dem Membranelement **44** verbunden und ansonsten nicht in den Schichtaufbau des Backendstapels **13** eingebunden. Im Unterschied zum Bauteil **401** ist das Membranelement **44** beim Bauteil **402** jedoch perforiert, während das Elektrodenelement **45** als geschlossene Metallelektrode ausgeführt ist. Mit Hilfe einer solchen Perforation des Membranelements **44** kann die Kennlinie und Dynamik des Mikrofon-Bauteils **402** gezielt beeinflusst werden. Auch hier führen druckbedingte Deformationen des Membranelements **44** zu einer planparallelen Auslenkung des Elektrodenelements **45**.

[0038] Auch in diesem Beispiel ist außer einer mittigen Aufhängung des Elektrodenelements **45** eine mehrfach punktuell Aufhängung denkbar, wenn sich alle Aufhängungspunkte bei der Auslenkung des Membranelements **44** auf der gleichen Höhenlinie befinden.

[0039] Abschließend sei noch angemerkt, dass bei allen voranstehend beschriebenen Ausführungsbeispielen noch weitere Schichten auf der Membranstruktur abgeschieden werden können, um den Membranstress zu beeinflussen.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 2011/0049652 A1 [[0003](#), [0003](#)]

Patentansprüche

1. Hybrid integriertes Bauteil (**100**), mindestens umfassend

- ein ASIC-Bauelement (**10**) mit integrierten Schaltungselementen (**12**) und einem Backendstapel (**13**),
- ein MEMS-Bauelement (**20**) mit einer mikromechanischen Struktur, die sich über die gesamte Dicke des MEMS-Substrats (**20**) erstreckt, und
- einen Kappenwafer (**30**),

wobei das MEMS-Bauelement (**20**) auf dem ASIC-Bauelement (**10**) montiert ist, so dass zwischen der mikromechanischen Struktur und dem Backendstapel (**13**) des ASIC-Bauelements (**10**) ein Spalt (**21**) besteht, und wobei der Kappenwafer (**30**) über der mikromechanischen Struktur des MEMS-Bauelements (**20**) montiert ist;

dadurch gekennzeichnet, dass im Backendstapel (**13**) des ASIC-Bauelements (**10**) eine druckempfindliche Membranstruktur (**16**) mit mindestens einer auslenkbaren Elektrode einer Kondensatoranordnung ausgebildet ist und dass die Membranstruktur (**16**) einen Druckanschluss (**17**) in der Rückseite des ASIC-Bauelements (**10**) überspannt.

2. Bauteil (**100**) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Membranstruktur (**16**) mit der auslenkbaren Elektrode in mindestens einer Metallisierungsebene (**1**) des Backendstapels (**13**) ausgebildet ist.

3. Bauteil (**301**) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Membranstruktur (**361**) einen Schichtaufbau aufweist, der mehrere Metallisierungsebenen (**1, 2**) und Isolationsschichten (**141**) umfasst.

4. Bauteil (**301**) nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass es sich bei den beiden äußeren Schichten der Membranstruktur (**361**) jeweils um Metallisierungsebenen (**1, 2**) des Backendstapels (**13**) handelt.

5. Bauteil (**302**) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Mittelbereich (**5**) der Membranstruktur (**362**) versteift ist, indem er eine größere Dicke aufweist als der Randbereich (**6**) der Membranstruktur (**362**).

6. Bauteil (**401**) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Membranstruktur (**461**) ein druckempfindliches Membranelement (**41**) und mindestens ein Elektrodenelement (**42**) umfasst, dass das druckempfindliche Membranelement (**41**) in seinem Randbereich in den Schichtaufbau des Backendstapels (**13**) eingebunden ist und dass das Elektrodenelement (**42**) lediglich punktuell über mindestens einen Durchkontakt (**15**) mit dem druckempfindlichen Membranelement (**41**) verbunden ist, an-

sonsten aber aus dem Schichtaufbau des Backendstapels (**13**) herausgelöst ist.

7. Bauteil (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass in der mikromechanischen Struktur des MEMS-Bauelements (**20**) mindestens ein feststehendes Gegenelement (**25**) als Träger für mindestens eine feststehende Gegenelektrode der Kondensatoranordnung realisiert ist.

8. Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die mikromechanische Struktur des MEMS-Bauelements mindestens ein Strukturelement für eine druckunabhängige Sensor- oder Aktorfunktion umfasst.

9. Bauteil (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass das MEMS-Bauelement (**20**) über eine Standoff-Struktur (**22**) auf dem ASIC-Bauelement (**10**) montiert ist und dass die Standoff-Struktur (**22**) in Form mindestens einer strukturierten Schicht auf dem MEMS-Substrat (**20**) und/oder auf dem ASIC-Substrat realisiert ist.

10. Bauteil (**100; 401**) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Kappenwafer (**30**) auf dem MEMS-Bauelement (**20**) oder auf dem ASIC-Bauelement (**10**) montiert ist.

11. Kapazitives Mikrofon-, Lautsprecher-, Drucksensor- oder Druckschalter-Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 10.

12. Verfahren zum Herstellen eines hybrid integrierten Bauteils (**100**) mit einem ASIC-Bauelement (**10**), mit einem MEMS-Bauelement (**20**) und mit einem Kappenwafer (**30**), insbesondere zum Herstellen eines Bauteils nach einem der Ansprüche 1 bis 10,

- bei dem Schaltungselemente (**12**) in ein ASIC-Substrat (**10**) integriert werden und ein Backendstapel (**13**) auf dem ASIC-Substrat (**10**) erzeugt wird, wobei im Backendstapel (**13**) eine Membranstruktur (**16**) mit mindestens einer auslenkbaren Elektrode angelegt wird,
- bei dem ein MEMS-Substrat (**20**) auf dem Backendstapel (**13**) des ASIC-Substrats (**10**) montiert wird, so dass ein Spalt (**21**) zwischen dem MEMS-Substrat (**20**) und dem Backendstapel (**13**) des ASIC-Substrats (**10**) besteht,
- bei dem das montierte MEMS-Substrat (**20**) in seiner gesamten Dicke strukturiert wird,
- bei dem die Membranstruktur (**16**) im Backendstapel (**13**) freigelegt wird, wobei in der Rückseite des ASIC-Substrats (**10**) ein Druckanschluss (**17**) erzeugt wird, und
- bei dem ein Kappenwafer (**30**) über der mikromechanischen Struktur des MEMS-Substrats (**20**) montiert wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Membranstruktur (16) im Backendstapel (13) angelegt wird, indem die Isolationsschichten (14) und Metallisierungsebenen (1-4) des Backendstapels (13) in geeigneter Weise übereinander abgeschieden und strukturiert werden, und dass die Membranstruktur (16) freigelegt wird, indem das Material der Isolationsschichten (14) im Membranbereich über Durchgangsöffnungen (26) in der mikromechanischen Struktur (25) des MEMS-Substrats (20) und/oder von der Rückseite des ASIC-Substrats (10) ausgehend mit anisotropen und/oder isotropen Ätzverfahren entfernt wird, wobei die Metallisierungsebenen (1-4) des Backendstapels (13) als vertikaler Ätzstopp und Durchkontakte (15) zwischen einzelnen Metallisierungsebenen (1-4) als lateraler Ätzstopp fungieren.

Es folgen 12 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1a

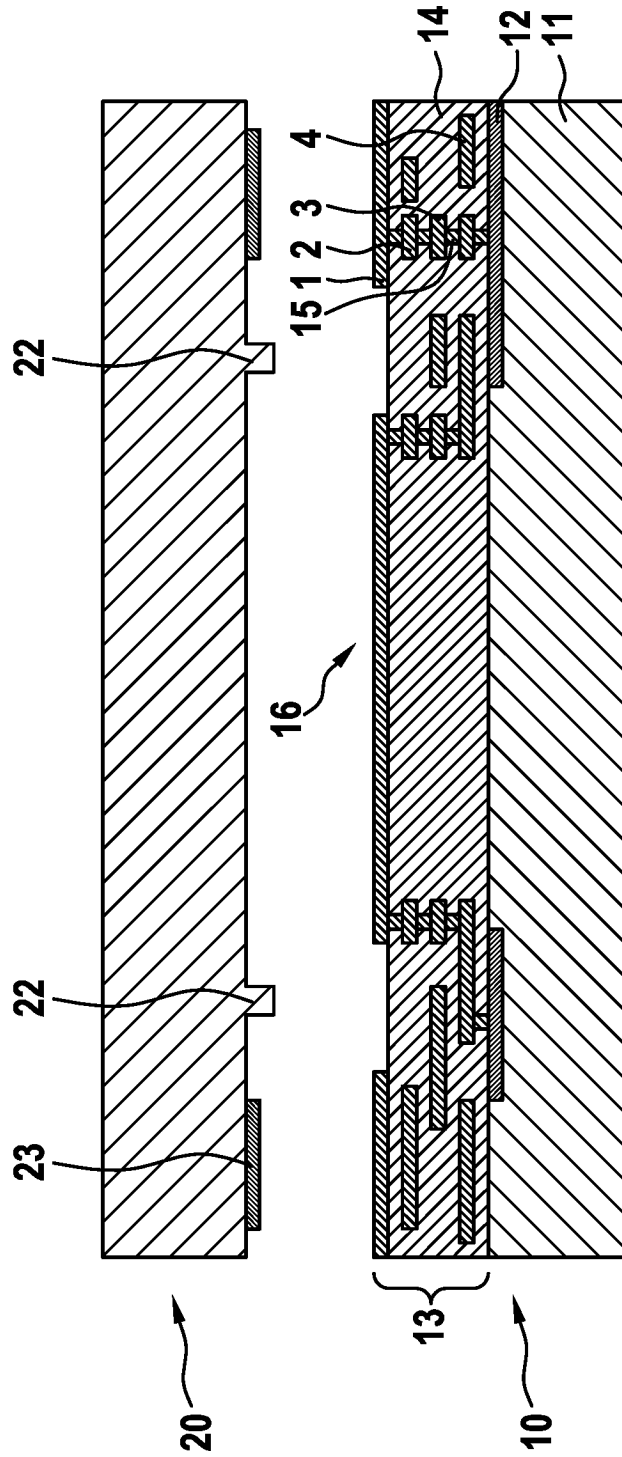


Fig. 1b

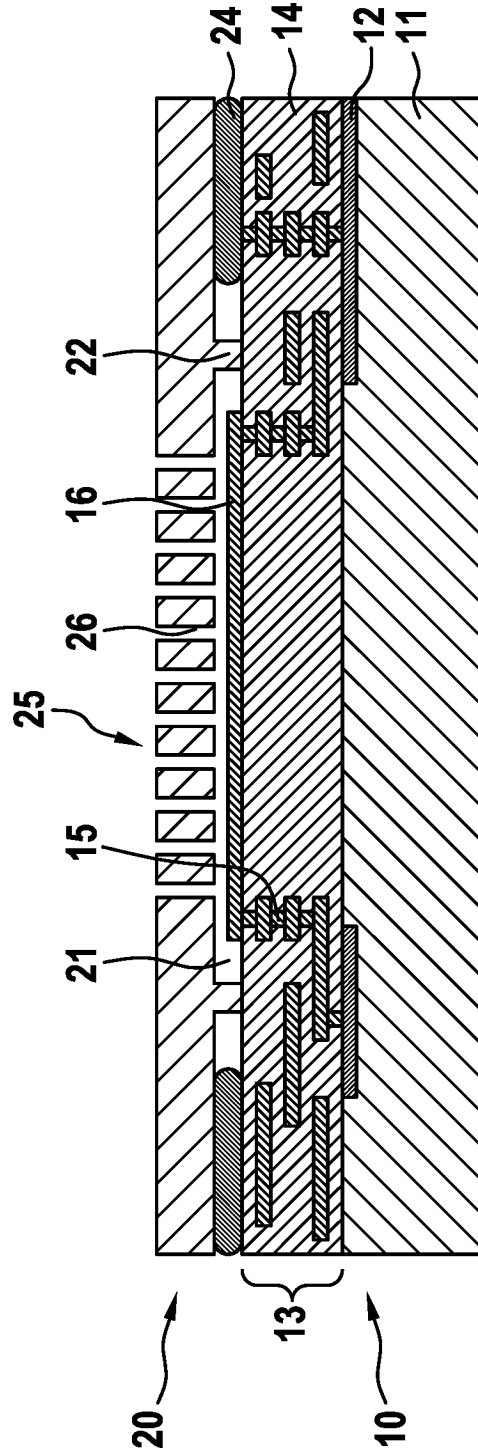


Fig. 1c

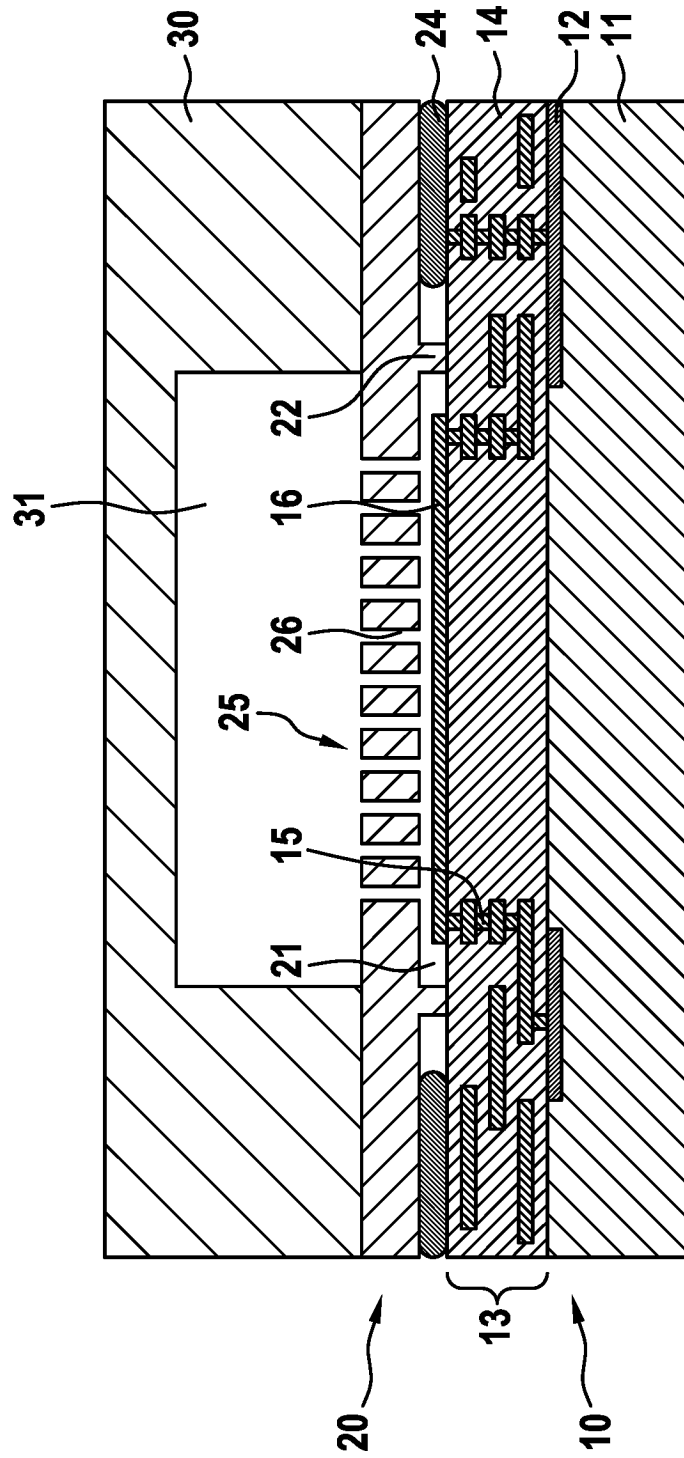


Fig. 1d

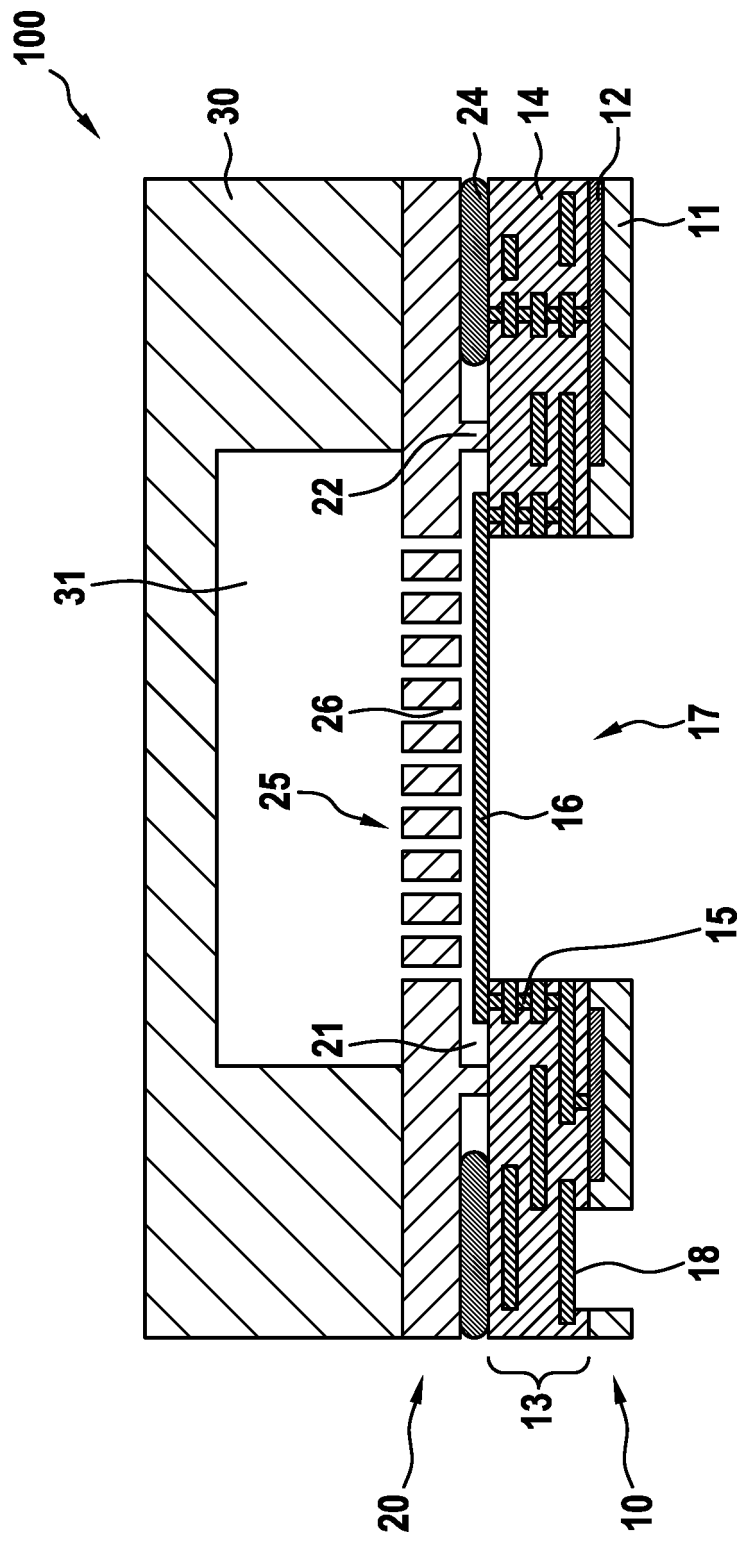
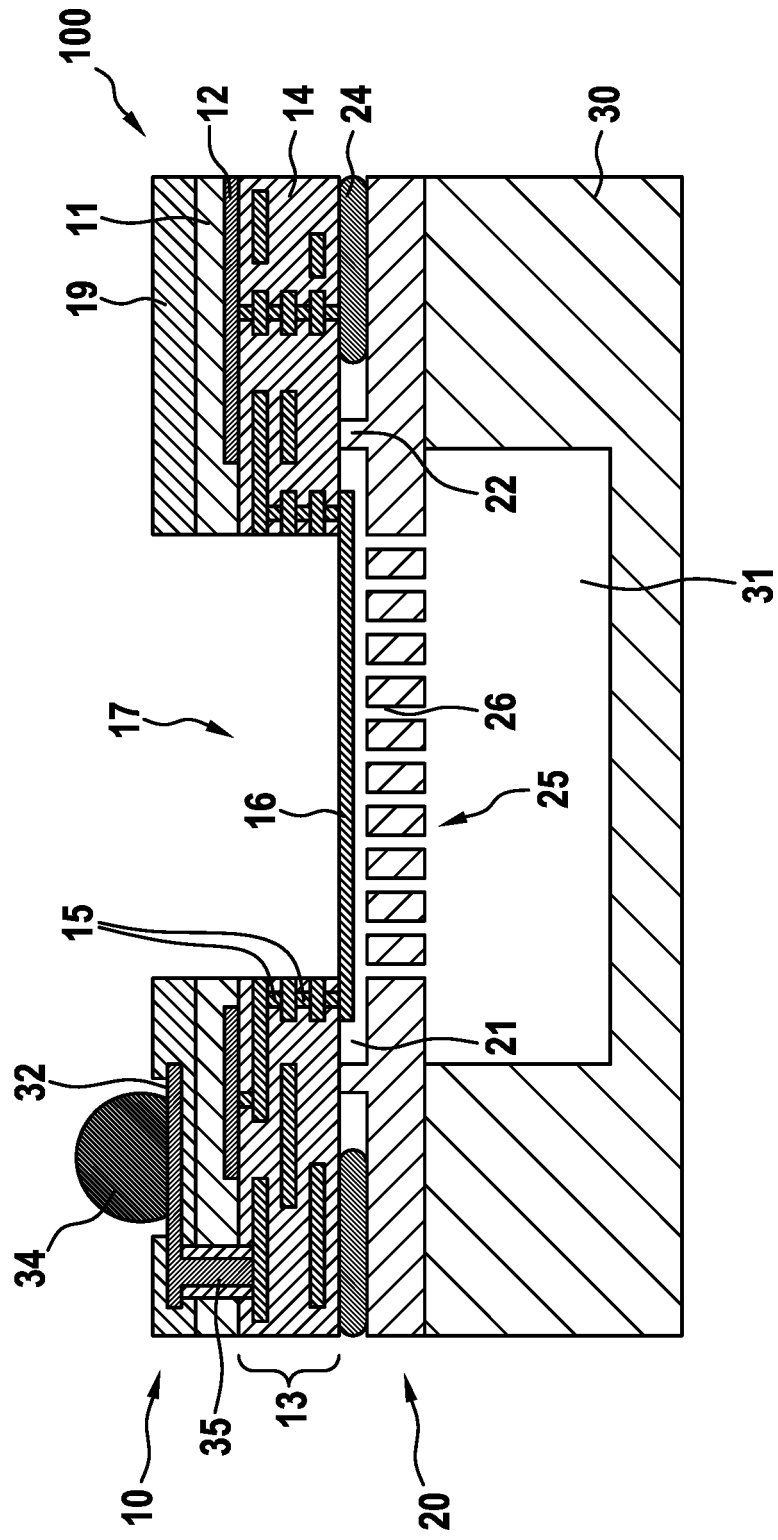


Fig. 1f



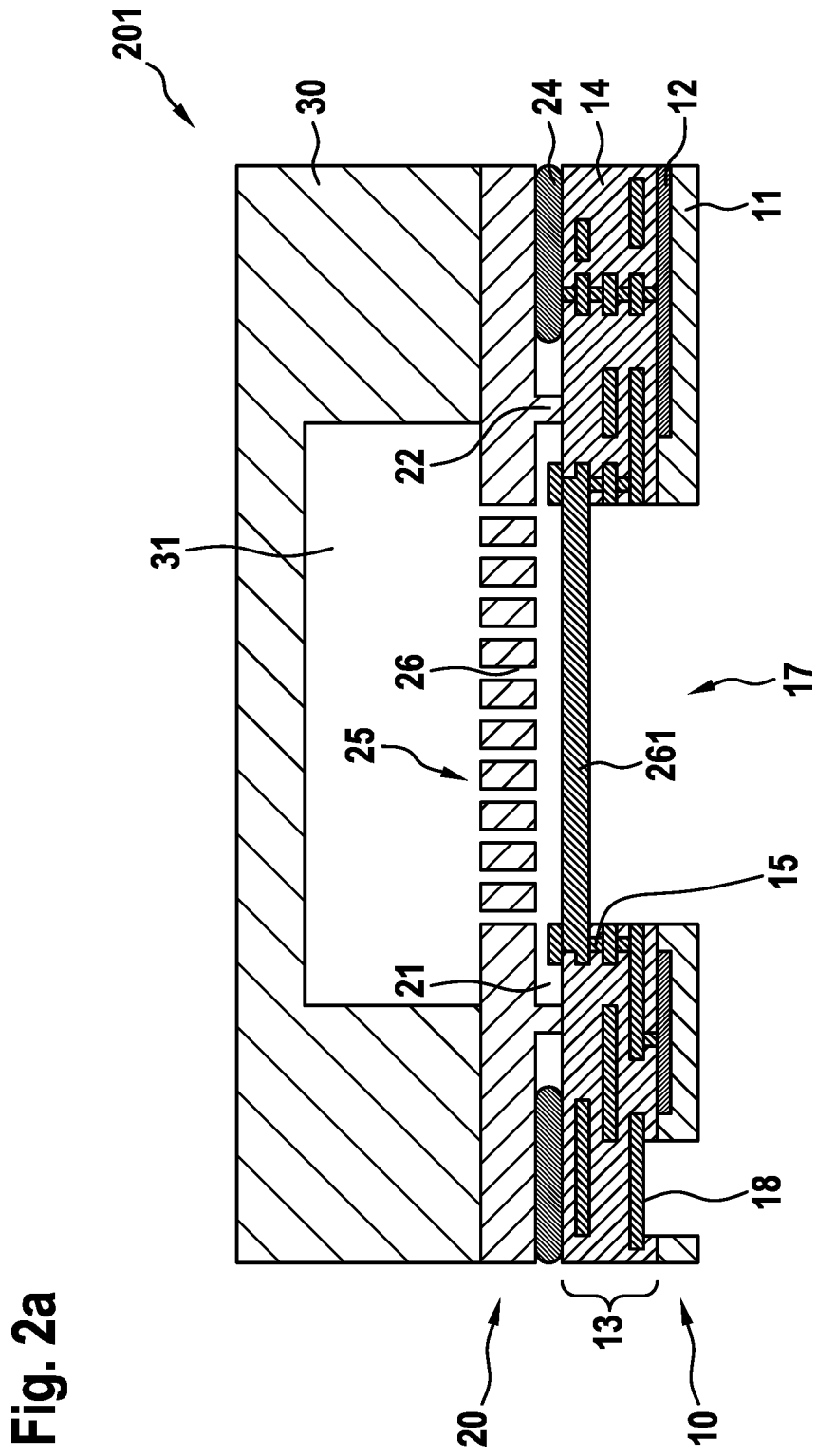


Fig. 2a

Fig. 2b

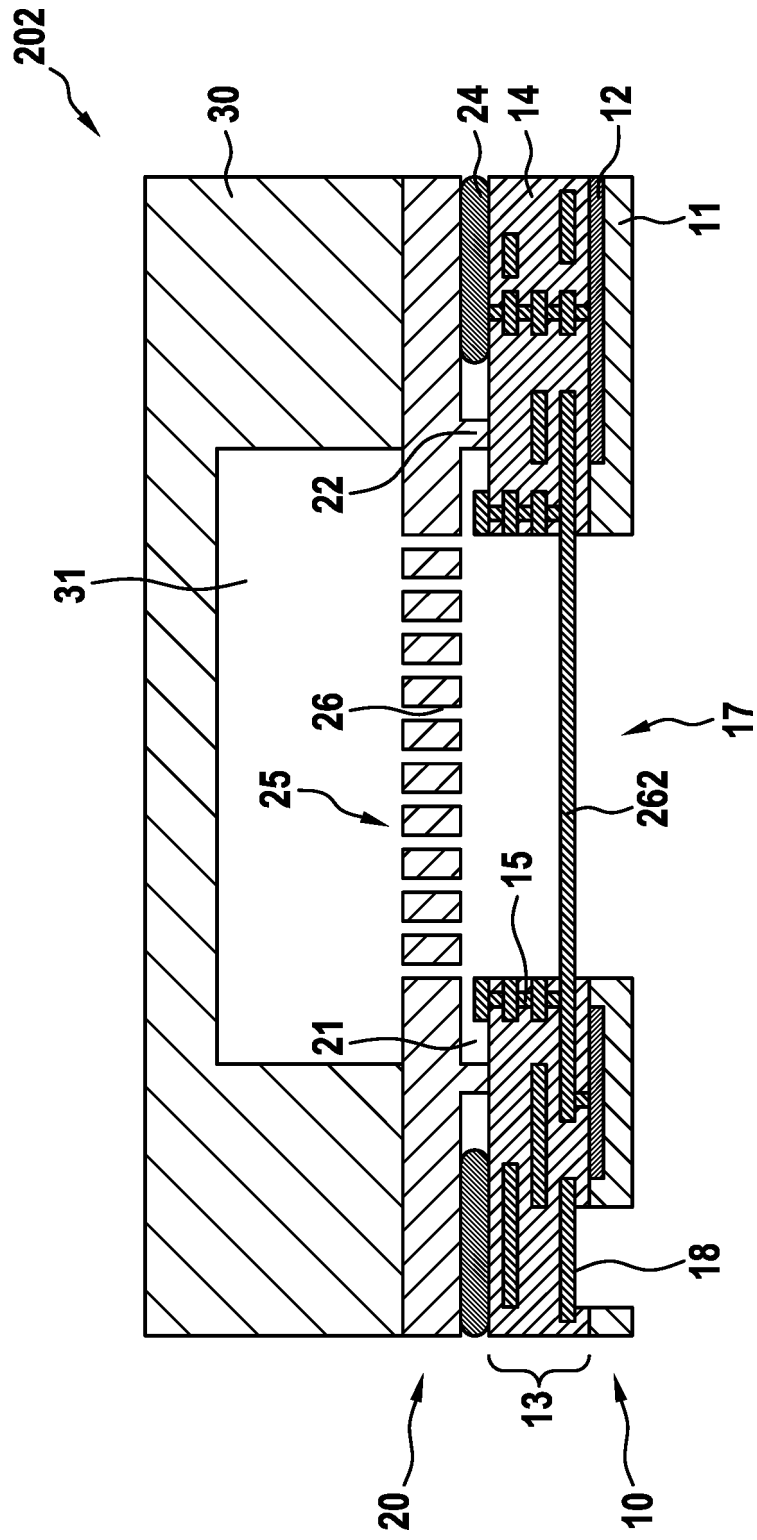


Fig. 3a

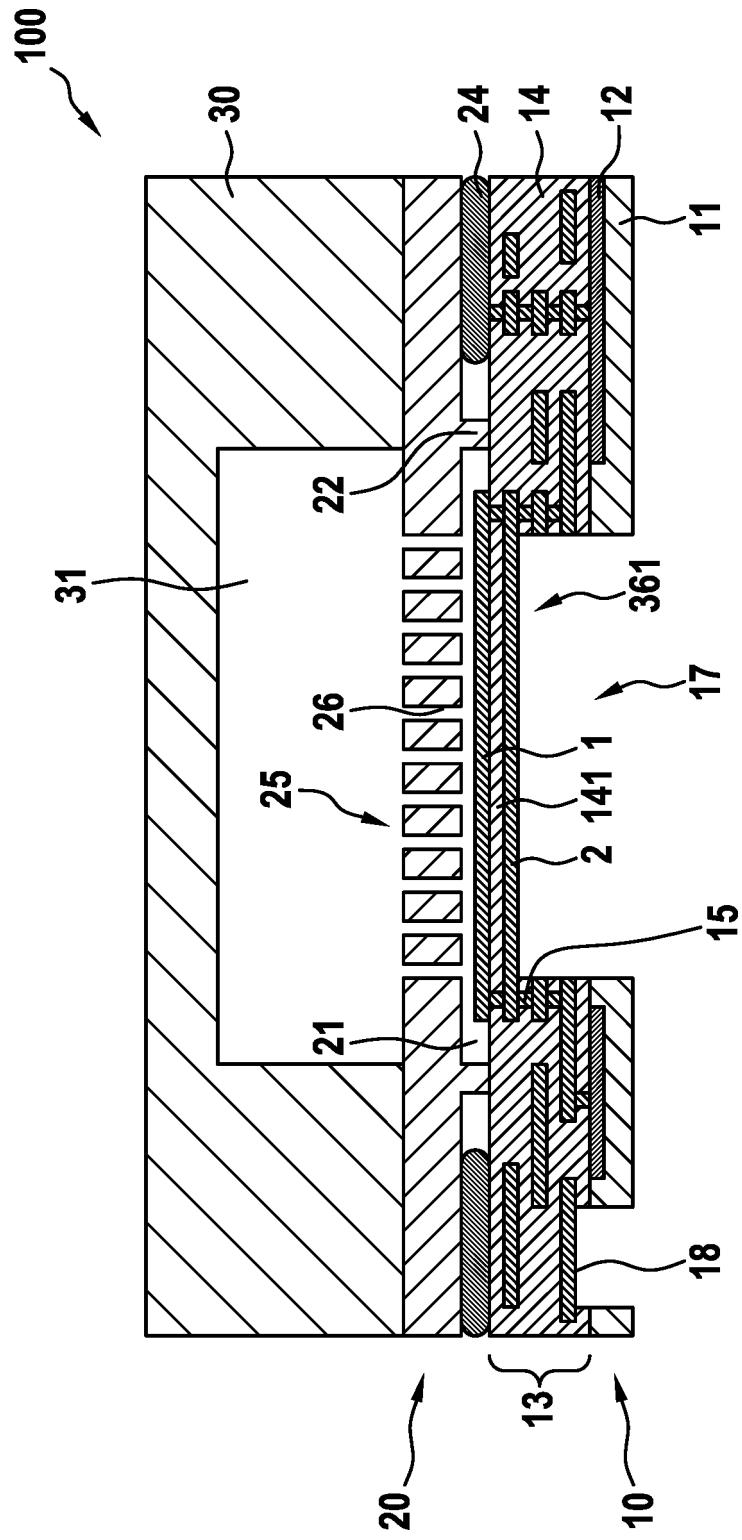


Fig. 4a

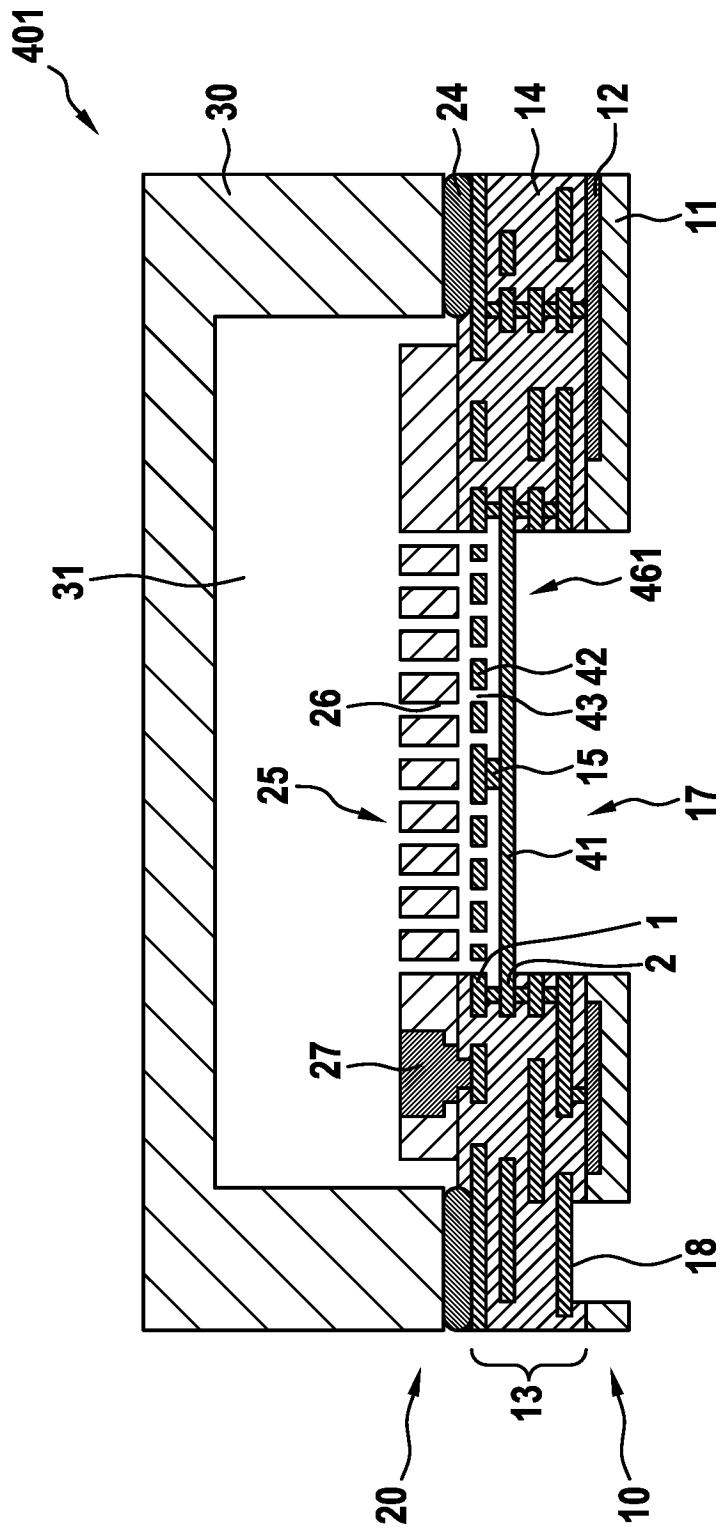


Fig. 4b

