



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 212 717.9**

(22) Anmeldetag: **13.07.2016**

(43) Offenlegungstag: **18.01.2018**

(51) Int Cl.: **B81B 7/02 (2006.01)**

**B81B 3/00 (2006.01)**

**B81C 1/00 (2006.01)**

**H04R 1/00 (2006.01)**

**H04R 17/00 (2006.01)**

**H01L 41/08 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:  
**Buck, Thomas, 70839 Gerlingen, DE; Doessel,  
Kerrin, 70193 Stuttgart, DE; Purkl, Fabian, 71277  
Rutesheim, DE**

(56) Ermittelte Stand der Technik:

<b>DE</b>	<b>10 2015 213 771</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2010 / 0 254 547</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2012 / 0 250 909</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>5 633 552</b>	<b>A</b>

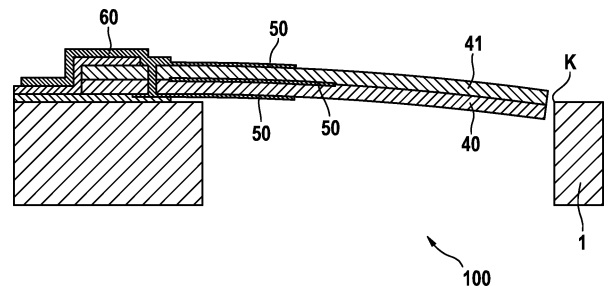
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Detektionseinrichtung für piezoelektrisches Mikrofon**

(57) Zusammenfassung: Detektionseinrichtung (100) für ein piezoelektrisches Mikrofon (200), aufweisend:

- einen Ausleger mit wenigstens drei aufeinander angeordneten Schichten (40, 50), wobei wenigstens eine der Schichten (40) eine piezoelektrische Schicht ist;
- wobei auf beiden Oberflächen der wenigstens einen piezoelektrischen Schicht (40) jeweils eine Elektrodenschicht (50) angeordnet ist;
- wobei ein Schichtstress der Schichten (40, 50) derart ist, dass ein freies Ende des Auslegers definiert in eine unterhalb des Auslegers ausgebildete Kavität ausgerichtet ist.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Detektionseinrichtung für ein piezoelektrisches Mikrofon. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Herstellen einer Detektionseinrichtung für ein piezoelektrisches Mikrofon.

## Stand der Technik

**[0002]** MEMS-Mikrofone sind im Prinzip extrem sensitive Drucksensoren, die Schalldruck in ein elektrisches Signal wandeln, während ein Leckpfad für einen statischen Druckausgleich zwischen Volumina vor und hinter den Mikrofonen sorgt. Sie bestehen aus wenigstens einer freistehenden Struktur, die zur Umgebung exponiert ist und die sich entsprechend einem einwirkenden Schalldruck bewegt. Bisher sind die meisten in Consumer-Applikationen verwendeten Mikrofone kapazitive MEMS-Mikrofone. Für diese Einrichtungen wird eine Bewegung einer Membran durch eine Messung einer Kapazität zwischen der Membran und einer perforierten Gegenelektrode, die vor oder hinter der Membran positioniert ist, erfasst.

**[0003]** Ein alternatives bekanntes Grundprinzip, welches die Detektion der Bewegung der freistehenden Struktur erlaubt, basiert auf dem direkten piezoelektrischen Effekt. In einem derartigen Mikrofon wird durch das Durchbiegen einer Struktur eine piezoelektrische Schicht beeinflusst, woraufhin auf ihrer Oberfläche eine elektrische Ladung entsteht. Diese Ladung kann als eine elektrische Ausgangsspannung erfasst und ausgewertet werden.

**[0004]** In der Vergangenheit waren derartige Mikrofone allerdings wenig sensitiv, was sie für Consumer-Applikationen unbrauchbar machte. Neuerdings zeigen Designs jedoch bedeutsame Verbesserungen auf diesem Gebiet, die in piezoelektrischen Mikrofonen mit brauchbarem Sensitivitätsbereich resultieren. Für jede Art von Mikrofon wird ein sogenannter „akustischer Leckpfad“ zwischen dem Rückvolumen des Mikrofons und einer Umgebung implementiert, um Einflüsse von im Vergleich zu akustischem Schall langsamen Umgebungsdruckänderungen zu eliminieren. Zu diesem Zweck enthält die Struktur typischerweise ein oder mehrere Löcher bzw. Schlitze, welche zwischen einem Volumen vor und hinter der Membran einen Druckausgleich erlauben.

**[0005]** Diese Lecklöcher (oder Schlitze) können in einem elektrischen Ersatzschaltbild als Widerstände dargestellt werden, während das Volumen hinter der Membran durch eine Kapazität dargestellt werden kann. Ein Produkt dieser beiden Elemente ( $R \times C$ ) definiert eine Zeitkonstante des Sensorelements, die den unteren Bereich des sensitiven Frequenzbereichs des Mikrofons repräsentiert. Es ist entscheidend, dass diese Frequenz während eines Herstel-

lungsprozesses mit möglichst geringen Toleranzen gehalten wird, um eine bestmögliche Leistungsfähigkeit und Reproduzierbarkeit zu gewährleisten.

**[0006]** Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine verbesserte Detektionseinrichtung für ein piezoelektrisches Mikrofon bereit zu stellen.

## Offenbarung der Erfindung

**[0007]** Gemäß einem ersten Aspekt wird die Aufgabe gelöst mit einer Detektionseinrichtung für ein piezoelektrisches Mikrofon, aufweisend:

- einen Ausleger mit wenigstens drei aufeinander angeordneten Schichten, wobei wenigstens eine der Schichten eine piezoelektrische Schicht ist;
- wobei auf beiden Oberflächen der wenigstens einen piezoelektrischen Schicht jeweils eine Elektrodenschicht angeordnet ist;
- wobei ein Schichtstress der Schichten derart ist, dass ein freies Ende des Auslegers definiert in eine unterhalb des Auslegers ausgebildete Kavität ausgerichtet ist.

**[0008]** Auf diese Weise kann vorteilhaft erreicht werden, dass ein akustischer Leckpfad und eine Änderung desselben deutlich geringer ausfällt, weil sich der Ausleger auf das Substrat zuneigt. Eine Ermittlungsgenauigkeit des piezoelektrischen Mikrofons kann auf diese Weise vorteilhaft bedeutend erhöht sein.

**[0009]** Gemäß einem zweiten Aspekt wird die Aufgabe gelöst mit einem Verfahren zum Herstellen einer Detektionseinrichtung für ein piezoelektrisches Mikrofon, aufweisend die Schritte:

- Bereitstellen eines Substrats;
- Ausbilden eines Auslegers aus wenigstens drei aufeinander angeordneten, auf dem Substrat aufgebracht Schichten, wobei wenigstens eine der Schichten eine piezoelektrische Schicht ist, wobei auf beiden Oberflächen der wenigstens einen piezoelektrischen Schicht jeweils eine Elektrodenschicht angeordnet wird, wobei der Ausleger derart ausgebildet wird, dass ein freies Ende des Auslegers aufgrund von Schichtstress der Schichten in Relation zu einer Horizontallage des Auslegers definiert in eine unterhalb des Auslegers ausgebildete Kavität ausgerichtet ist.

**[0010]** Bevorzugte Ausführungsformen der Detektionseinrichtung sind Gegenstand von abhängigen Ansprüchen.

**[0011]** Eine vorteilhafte Weiterbildung der Detektionsrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass zwischen drei Elektrodenschichten zwei piezoelektrische Schichten angeordnet sind. Auf diese Weise kann mittels der Detektionseinrichtung ein besonders

hoher Signalpegel für das piezoelektrische Mikrofon generiert werden.

**[0012]** Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung der Detektionseinrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass eine der Elektrodenschichten eine nicht-piezoelektrische Schicht mit definierten mechanischen Eigenschaften ist. Dadurch ist eine Designvielfalt für die Detektionseinrichtung vorteilhaft erhöht. Mittels der nicht-piezoelektrischen Schicht kann eine neutrale Faser aus der piezoelektrischen Schicht gewissermaßen „herausgeschoben“ werden. Die definierten Eigenschaften der nicht-piezoelektrischen Schicht sind derart, dass bei Auslenkung des Schichtstapels als Folge von Schalleinwirkung ein elektrisches Signal erzeugt wird.

**[0013]** Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung der Detektionseinrichtung sieht vor, dass der Ausleger in Relation zu einer Horizontallage um ca. 1µm bis ca. 10µm, vorzugsweise um ca. 3µm bis ca. 6µm nach unten geneigt ist. Auf diese Weise wird ein günstiges Ausmaß einer Ausrichtung des Auslegers nach unten bereitgestellt, wodurch ein akustischer Leckpfad für das piezoelektrische Mikrofon klein gehalten werden kann. Eine Detektionsgüte des piezoelektrischen Mikrofons ist auf diese Weise sehr gut reproduzierbar.

**[0014]** Eine vorteilhafte Weiterbildung des Verfahrens sieht vor, dass der Ausleger in Relation zu einer Kante des Substrats definiert ausgerichtet wird. Dadurch kann eine exakte Dimensionierung des akustischen Leckpfads des piezoelektrischen Mikrofons realisiert werden.

**[0015]** Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung des Verfahrens sieht vor, dass das Substrat zur Ausbildung der Kante von oberhalb des Substrats kommend geätzt wird. Auf diese Weise kann zum Beispiel mittels eines bewährten Ätzschritts eine Anordnung einer Substratkante relativ zum Ausleger sehr genau definiert werden. Im Ergebnis ist dadurch eine präzise Ausgestaltung des akustischen Leckpfads des piezoelektrischen Mikrofons möglich.

**[0016]** Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung des Verfahrens sieht vor, dass ein Loch mit flüssigem Füllmaterial verfüllt wird. Dadurch kann vorteilhaft ein Planarisierungsschritt eingespart werden, wodurch eine effiziente Fertigung der Detektionseinrichtung unterstützt ist.

**[0017]** Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung des Verfahrens sieht vor, dass der Schichtstress der Schichten durch wenigstens einen der folgenden Parameter eingestellt wird: Druck während eines Abscheidvorgangs der Schichten, Temperatur während des Abscheidvorgangs der Schichten, elektrische Spannung zwischen Abscheidequelle und Substrat während des Abscheidvorgangs der Schich-

ten, Materialauswahl der Schichten, Schichtdicken der Schichten nach erfolgtem Abscheidvorgang.

**[0018]** Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung des Verfahrens sieht vor, dass Öffnungen im Substrat mittels reaktivem Ionentiefätzen oder mittels nasschemischem Ätzen erzeugt werden. Auf diese Weise werden bewährte Verfahren verwendet, mit denen das Substrat mit einer hohen Ätzrate definiert geätzt werden kann. Die Erfindung wird im Folgenden mit weiteren Merkmalen und Vorteilen anhand von mehreren Figuren im Detail beschrieben. Dabei bilden alle offenbarten Merkmale, unabhängig von ihrer Rückbeziehung in den Patentansprüchen sowie unabhängig von ihrer Darstellung in der Beschreibung und in den Figuren den Gegenstand der vorliegenden Erfindung. Gleiche oder funktionsgleiche Elemente haben gleiche Bezugszeichen. Die Figuren sind insbesondere dazu gedacht, die erfindungswesentlichen Prinzipien zu verdeutlichen und sind nicht unbedingt maßstabgetreu.

**[0019]** Offenbarte Verfahrensmerkmale ergeben sich analog aus entsprechenden offenbarten Vorrichtungsmerkmalen und umgekehrt. Dies bedeutet insbesondere, dass sich Merkmale, technische Vorteile und Ausführungen betreffend das Verfahren zur Herstellung der Detektionseinrichtung in analoger Weise aus entsprechenden Ausführungen, Merkmalen und Vorteilen der Detektionseinrichtung ergeben und umgekehrt.

**[0020]** In den Figuren zeigt:

**[0021]** Fig. 1 einen Querschnitt durch ein herkömmliches kapazitives MEMS-Mikrofon;

**[0022]** Fig. 2 eine Querschnittsansicht eines herkömmlichen piezoelektrischen Mikrofons;

**[0023]** Fig. 3 eine perspektivische Ansicht einer herkömmlichen Detektionseinrichtung für ein piezoelektrisches Mikrofon;

**[0024]** Fig. 4 eine perspektivische Ansicht einer weiteren herkömmlichen Detektionseinrichtung für ein piezoelektrisches Mikrofon;

**[0025]** Fig. 5 eine Querschnittsansicht einer herkömmlichen Detektionseinrichtung;

**[0026]** Fig. 6 und Fig. 7 Querschnittsansichten durch eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Detektionseinrichtung;

**[0027]** Fig. 8 einen Ablauf eines Herstellungsverfahrens zum Herstellen eines piezoelektrischen Detektionseinrichtung für ein piezoelektrisches Mikrofon;

**[0028]** Fig. 9 eine Variante eines Verfahrens zum Herstellen einer Detektionseinrichtung für ein piezoelektrisches Mikrofon;

**[0029]** Fig. 10 eine weitere Variante einer Herstellungsprozesses zum Herstellen einer Detektionseinrichtung für ein piezoelektrisches Mikrofon;

**[0030]** Fig. 11 eine prinzipielle Darstellung eines Blockschaltbild eines piezoelektrisches Mikrofons mit einer vorgeschlagenen Detektionseinrichtung; und

**[0031]** Fig. 12 einen prinzipiellen Ablauf eines Verfahrens zum Herstellen einer Detektionseinrichtung für ein piezoelektrisches Mikrofon.

#### Beschreibung von Ausführungsformen

**[0032]** Ein Grundgedanke der Erfindung besteht darin, einen Ausleger (engl. cantilever) einer Detektionseinrichtung für ein piezoelektrisches Mikrofon derart auszubilden, dass er nach einem Herstellungsprozess gegenüber einer Horizontallage definiert nach unten auf ein Substrat zu geneigt ist. Auf diese Weise kann ein akustischer Leckpfad möglichst vorteilhaft gering gehalten werden, wodurch Detektionseigenschaften (z.B. ein Frequenzgang) für das piezoelektrische Mikrofon bedeutsam verbessert sind.

**[0033]** Fig. 1 zeigt einen Querschnitt durch eine Detektionseinrichtung **100** eines herkömmlichen kapazitiven MEMS-Mikrofons (engl. micro-electro-mechanical system). Eine Bewegung/Auslenkung einer Membran **10** wird durch eine Änderung einer Kapazität zwischen der Membran **10** und einer perforierten Rückplatte **20** mit Perforationen **21** erfasst. Ein Hauptnachteil dieses Ansatzes, der für alle kapazitiven MEMS-Mikrofone gilt, ist das Erfordernis einer zweiten Elektrode in Form der Rückplatte **20**. Dies begrenzt die Bewegung der Membran **10** und dadurch den Dynamikbereich des Mikrofons und generiert auch ein Zusatzrauschen aufgrund eines Luftwiderstands zwischen der Membran **10** und der Rückplatte **20**. Ein akustischer Leckpfad **30** ist vorgesehen, um einen statischen Druckausgleich zu ermöglichen.

**[0034]** Fig. 2 zeigt einen Querschnitt durch eine Detektionseinrichtung **100** eines herkömmlichen piezoelektrischen Mikrofons, die den oben genannten Nachteil durch Einfügung eines Sensorelements in die Membran löst. Dies erlaubt einen potenziell größeren Dynamikbereich und entfernt auf diese Weise eine Rauschquelle, was potenziell in einer Konzeption von leistungsfähigeren Mikrofonen resultiert.

**[0035]** Das Grundprinzip ist dabei eine Verwendung eines piezoelektrischen Materials für Schichten **40**, zum Beispiel Aluminiumnitrid (AlN) oder Blei-Zirkonat-Titanat (PZT) oder eines anderen geeigneten

Materials, welches eine elektrische Ladung erzeugt und daraus resultierend eine elektrische Spannung auf seiner Oberfläche, wenn es einer mechanischen Druck- bzw. Zugspannung ausgesetzt ist. Erzeugte elektrische Ladungen in den Schichten **40** können mittels Detektorschichten **50** (zum Beispiel in Form von Molybdän) erfasst werden.

**[0036]** Ein gemeinsames Problem aller piezoelektrischen Mikrofone sind intrinsische Stressgradienten, die in den piezoelektrischen Schichten nach dem Abscheideprozess vorhanden sind, die sich in aus der Ebene gerichteten (engl. out-of-plane) Auslenkungen der Sensierstrukturen manifestieren. Diese Auslenkungen erzeugen einen großen akustischen Leckpfad zwischen den einzelnen Sensierelementen oder zwischen einem Sensierelement und der Öffnung im Substrat. Dieser Leckpfad vermindert die Leistungsfähigkeit und den Frequenzgang des Mikrofons. Zusätzlich kann die Höhe des Stressgradienten typischerweise über den Wafer und zwischen Wafern während der Herstellung variieren, was sich in einer teilweise undefinierten Leistungsfähigkeit der Mikrofone auswirkt.

**[0037]** Fig. 3 zeigt einen akustischen Leckpfad einer Detektionseinrichtung **100**, der aus einer Deformation aufgrund von intrinsischen Stressgradienten resultiert. Man erkennt, dass zwei piezoelektrische Schichten **40** gegeneinander ausgerichtet sind und sich aufwölben, wodurch an der linken Seite ein vergrößerter akustischer Leckpfad in Form eines Spalts der Detektionseinrichtung **100** entsteht.

**[0038]** Fig. 4 zeigt ein bekanntes Prinzip zur Minimierung eines derartigen akustischen Leckpfads. In diesem Fall werden dreieckförmig ausgebildete Schichten **40** aufeinander zugerichtet, wodurch eine gleichartige Verbiegung bzw. Aufwölbung generiert wird, was einen etwas verringerten akustischen Leckpfad zur Folge hat.

**[0039]** Typischerweise kann der Mittelwert des Stressgrads der Schichten während der Abscheidung beeinflusst werden. Zum Beispiel kann der Schichtstress im Falle, dass die Schichten mittels Sputterings abgeschieden werden, durch spezifische Parameter während des Abscheideprozesses beeinflusst werden, wie zum Beispiel Druck, elektrische Spannung zwischen Target und Substrat (engl. bias power) und Temperatur. Zusätzlich kann der Effekt bis zu einem gewissen Ausmaß von Reststress durch eine Abscheidung von zusätzlichen Schichten mit einem entgegengesetzten Stresspegel reduziert werden. Allerdings können die genannten Prinzipien den Schichtstress nur bis zu einem gewissen Grad kompensieren und können insbesondere nicht genutzt werden, um die Variation der Stresspegel zwischen verschiedenen Einrichtungen zu reduzieren.

**[0040]** Fig. 5 zeigt die Problematik des vergrößerten akustischen Leckpfads. Erkennbar ist eine Detektionseinrichtung **100** für ein piezoelektrisches Mikrofon (nicht dargestellt) mit einem Schichtstapel bzw. Ausleger mit zwei aufeinander angeordneten Schichten **40, 41**, die beide piezoelektrische Schichten darstellen. Der Schichtstapel ist mittels einer Fixiereinrichtung **60** fixiert, wobei jeweils eine Elektrode **50** auf, unter und zwischen den Schichten **40, 41** angeordnet ist, um elektrische Ladungen in Form eines elektrischen Stromes zu erfassen und abzuleiten bzw. eine elektrische Spannung zu messen. Angedeutet sind mittels Pfeilen in den beiden Schichten **40, 41** wirkende Zug- und Druckkräfte, die durch entsprechende Stressgradienten aufgrund eines Abscheideprozesses der Schichten **40, 41** erzeugt werden. Aufgrund des Stressgradienten ist erkennbar, dass sich der Schichtstapel noch oben biegt, was den akustischen Leckpfad unerwünschter Weise vergrößert und eine Leistungsfähigkeit des piezoelektrischen Mikrofons bedeutsam vermindern kann.

**[0041]** Vorgeschlagen werden eine Detektionsvorrichtung für ein piezoelektrisches Mikrofon und ein Verfahren zum Herstellen einer derartigen Detektionsvorrichtung, um sowohl den akustischen Leckpfad als auch eine Variation dieses Leckpfads, der von intrinsischen Stressgradienten erzeugt wird, zu verkleinern.

**[0042]** Zu diesem Zweck erfolgt eine definierte Einstellung des Stressgradienten im strukturellen Schichtstapel, der in einer definiert nach unten gerichteten Auslenkung der freistehenden Struktur in Richtung auf das Substrat hin resultiert und in eine Kavität zeigt, die zuvor im Substrat ausgebildet wurde.

**[0043]** Vorteilhaft und optional kann die genannte Kavität im Substrat vor der Abscheidung der strukturellen Schichten durch einen vorderseitigen Ätzprozess erzeugt werden, um Herstellungstoleranzen zwischen dem Ort und der Größe der Kavität und der Positionierung der freistehenden Struktur zu reduzieren.

**[0044]** Dabei ist vorgesehen, während des Abscheidungsprozesses den Schichtstress derart einzustellen, dass im Ergebnis der Schichtstapel stets leicht nach unten gewölbt ausgerichtet ist.

**[0045]** Die Fig. 6 und Fig. 7 zeigen eine derartige Auslenkung des Auslegers. Die Detektionseinrichtungen **100** von Fig. 6 und Fig. 7 umfassen zwei piezoelektrische Schichten **40, 41**, wobei jede der beiden piezoelektrischen Schichten **40, 41** jeweils zwischen zwei Elektrodenschichten **50** angeordnet ist.

**[0046]** In Fig. 6 ist eine minimale Auslenkung des Auslegers aufgrund eines minimalen Schichtstress-

gradienten erkennbar, in Fig. 7 eine maximale Auslenkung aufgrund eines maximalen Schichtstressgradienten im Schichtstapel **40, 41**. Vorzugsweise beträgt ein Ausmaß der Auslenkung gegenüber der prozesstechnisch nach Einbeziehung aller Toleranzen nicht wiederholbar realisierbaren Horizontallage ca.  $1\mu\text{m}$  bis ca.  $10\mu\text{m}$ , vorzugsweise ca.  $3\mu\text{m}$  bis ca.  $6\mu\text{m}$ , wobei die Auslenkung aufgrund von bekannten Parametern in an sich bekannten Herstellverfahren bis zu einem gewissen Grad eingestellt werden kann. Die mittlere Auslenkung wird vorzugsweise so eingestellt, dass unter Berücksichtigung der bekannten Schwankungen der Auslenkung für Detektionseinrichtungen mit minimaler Auslenkung der Ausleger noch immer aus der Horizontallage zum Substrat gewölbt ist. Dabei können beispielsweise entsprechende Daten aus bereits realisierten Herstellprozessen herangezogen werden. Erkennbar sind drei Elektrodenschichten **50**, wobei die mittlere Elektrodenschicht **50** eine Elektrodenschicht für die obere piezoelektrische Schicht **41** und für die untere piezoelektrische Schicht **40** darstellt.

**[0047]** Man erkennt, dass der Ausleger definiert auf eine Kante K des Substrats **1** hin ausgerichtet bzw. in eine unterhalb des Auslegers angeordnete Kavität ausgerichtet ist, wobei im Betrieb der Detektionseinrichtung **200**, wenn der Ausleger durch Schalldruck bewegt wird, ein Spalt zwischen der Kante K und dem Ausleger klein gehalten ist, sodass ein akustischer Leckpfad auf diese Art und Weise minimiert ist. Die Kante K ist dabei in bzw. aus der Blattebene von Fig. 6 gerichtet und orthogonal zur Auslenkungsrichtung des Auslegers ausgebildet und kann als eine an der Oberfläche des Substrats **1** ausgebildete Begrenzungskante des Substrats **1** bzw. einer im Substrat **1** ausgebildeten Kavität bzw. Ausnehmung angesehen werden. Dies lässt sich dadurch begründen, dass ein lateraler Abstand des Auslegers zum Substrat **1** minimal ist und dadurch der akustische Leckpfad minimal gehalten werden kann. Auch eine Änderung des akustischen Leckpfads bei einer Bewegung des Auslegers im Betrieb des piezoelektrischen Mikrofons ist auf diese Weise vorteilhaft minimiert.

**[0048]** Ein resultierender Schichtstress der Schichten **40, 41, 50** kann durch wenigstens einen der folgenden, während eines Abscheidvorgangs herrschenden Parameter eingestellt werden: Druck, Temperatur, elektrische Spannung zwischen Abscheidequelle und Substrat. Ferner kann der resultierende Schichtstress der Schichten **40, 41, 50** durch eine Materialauswahl der Schichten **40, 41, 50** und Schichtdicken der Schichten **40, 41, 50** nach erfolgtem Abscheidvorgang eingestellt werden. Dabei wird angestrebt, dass der effektive Stressgradient entlang der Schichtdicke über alle Schichten in Richtung Substrat größer (höhere Zugspannung) wird. Dies kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass eine Druckspannung in der oberen Schicht

**41** höher ist als eine Zugspannung in der unteren Schicht **40**. Alternativ kann in einer der Schichten **40**, **41** ein höherer Stresspegel mit dem gleichen Vorzeichen implementiert werden als in der anderen der Schichten **40**, **41**.

**[0049]** Eine nicht in Figuren dargestellte Variante der Detektionseinrichtung **100** weist insgesamt lediglich drei Schichten auf, wobei eine piezoelektrische Schicht **40**, **41** zwischen den beiden Elektroden-schichten **50** angeordnet ist.

**[0050]** Idealerweise sollte innerhalb einer piezoelektrischen Schicht **40**, **41** bei einer Auslenkung nur ein Vorzeichen betreffend mechanische Belastung auftreten (d.h. entweder nur Zug oder nur Druck). Zum Verschieben der neutralen Faser aus der piezoelektrischen Schicht **40**, **41** kann entweder die Elektroden-schicht **50** oder eine nicht-piezoelektrische Schicht verwendet werden (nicht dargestellt).

**[0051]** Fig. 8 zeigt stark vereinfacht einen Herstellungsprozess der erfindungsgemäßen Detektionseinrichtung **100**.

**[0052]** In Fig. 8a wird ein Substrat **1** (vorzugsweise Silizium) bereitgestellt, auf das nachfolgend eine Oxidschicht **2** abgeschieden wird, beispielsweise in Form von  $\text{SiO}_2$ .

**[0053]** In Fig. 8b wird ein Stapel von zwei Schichten **40**, **41** aufeinander auf die Oxidschicht **2** abgeschieden. Vorzugsweise weisen beide Schichten **40**, **41** piezoelektrische Eigenschaften auf. Alternativ ist es aber auch möglich, dass lediglich eine der beiden Schichten **40**, **41** piezoelektrisch ist, wobei beispielsweise vorgesehen sein kann, dass eine der Schichten **40**, **41** geeignete mechanische Eigenschaften aufweist. Vor und nach den Schichten **40**, **41** wird jeweils eine elektrische leitfähige Schicht als Elektrode abgeschieden (beispielsweise ein Metall wie Pt oder Mo), um das elektrische Signal der piezoelektrischen Schicht auszulesen (nicht dargestellt).

**[0054]** In Fig. 8c wird an einer Unterseite der unteren Oxidschicht **2** mittels eines Ätzschritts eine Öffnung in die untere Oxidschicht **2** eingebracht. An Stelle der Oxidschicht sind auch andere Maskierungsschichten, wie beispielsweise Polymere oder Metalle denkbar.

**[0055]** In Fig. 8d wird mittels eines rückseitigen Ätzschritts eine Kavität in das Substrat **1** eingebracht, die bis zur Oxidschicht **2** unterhalb des Schichtstapels mit den Schichten **40**, **41** reicht.

**[0056]** Schließlich wird in einem letzten Schritt gemäß Fig. 8e die Oxidschicht **2** bis auf einen Anteil, der als Sockel für den Ausleger dient, entfernt, so dass im Ergebnis der Schichtstapel **40**, **41** gegenüber der Kante K des Substrats **1** definiert ausgerichtet

ist, wobei eine resultierende Ausrichtung des Auslegers in Fig. 8e strichliert nach unten gekrümmt dargestellt ist. Die gezeigte horizontale Ausrichtung des Auslegers wäre ein Idealfall, der allerdings prozess-technisch nicht wiederholbar realisierbar ist.

**[0057]** Fig. 9 zeigt schematisch eine weitere Variante eines Herstellungsprozesses der vorgeschlagenen Detektionseinrichtung **100**. In Fig. 9a erkennt man eine Strukturierung einer Ätzmaske zum Vorderseitenätzen, beispielsweise mittels einer Strukturierung der oberen Oxidschicht **2** mittels eines Fotolacks.

**[0058]** Fig. 9b zeigt ein teilweises Ätzen durch das Loch von der Vorderseite, vorzugsweise mittels reaktivem Ionentiefätzen (engl. deep reactive ion etching, DRIE) oder reaktivem Ionenätzen (engl. reactive ion etching, RIE). Aufgrund der mit diesem Frontseitenätzen realisierbaren geringen Toleranzen, die in der Größenordnung von  $< 1\mu\text{m}$  liegen, kann eine sehr genaue Positionierung der Kante K des Substrats **1** in Relation zum Ausleger generiert werden.

**[0059]** Fig. 9c zeigt ein Verfüllen des daraus generierten Grabens mit einem Opfermaterial (z.B. spin-on-Glas, Polymer, usw.) und gegebenenfalls nachfolgender Planarisierung. Der Planarisierungsschritt entfällt vorteilhaft, wenn flüssiges Material in den Graben verfüllt wird.

**[0060]** In Fig. 9d ist eine Abscheidung und Strukturierung eines piezoelektrischen Schichtstapels mit den Schichten **40**, **41** gezeigt. Ebenso wie mit dem anhand von Fig. 8 erläuterten Prozess werden auch hier Elektroden-schichten mit abgeschieden, die nicht dargestellt sind.

**[0061]** Fig. 9e zeigt ein Strukturieren einer Ätzmaske der unteren Oxidschicht **2** von der Rückseite.

**[0062]** Fig. 9f zeigt ein Ätzen des Substrats **1** von der Rückseite vorzugsweise mittels reaktivem Ionentiefätzen oder nasschemischem anisotropem Ätzen (z.B. mittels KOH). Der sich in diesem Ätzschritt ausbildende Winkel hat keine Relevanz für die Positionierung der oberseitigen Kante K des Substrats **1**, da diese bereits mit dem vorhergehenden frontseitigen Ätzschritt definiert wurde.

**[0063]** In Fig. 9g wird der Ausleger mit den Schichten **40**, **41** durch ein Gasphasenätzen oder ein Nassätzen der Opferschicht freigestellt. Im Ergebnis ist auch hier wieder erkennbar, dass die Kante K des Substrats **1** zur freistehenden Vorderseite des Schichtstapels **40**, **41** definiert ausgebildet ist, wobei eine resultierende Ausrichtung bzw. Krümmung des Schichtstapels strichliert gezeichnet ist. Die horizontale Lage des Auslegers ist ein Idealfall, der prozess-technisch nicht wiederholbar umsetzbar ist.

**[0064]** Durch ein geeignetes Design von relativen Größen und Tiefen der zwei Ätzschritte, die das Durchgangsloch bilden und der verbleibenden Kanten unterhalb des Auslegers können Funktionen wie ein Anschlag für den Ausleger (engl. over-travel-stop) in diesem Prozessfluss gewährleistet werden. Dieser Anschlag kann einen Bruch des Auslegers bei zu hohen Schalldrücken oder Erschütterungen und den daraus resultierenden Auslenkungen verhindern.

**[0065]** Fig. 10 zeigt schematisch einen alternativen Prozessfluss zum Herstellen einer Ausführungsform der vorgeschlagenen Detektionseinrichtung **100**.

**[0066]** Fig. 10a zeigt ein Strukturieren einer Ätzmaske zum Vorderseitenätzen, zum Beispiel mittels eines Strukturierens der oberen Oxidschicht **2** mittels eines Fotolacks.

**[0067]** Fig. 10b zeigt ein Ätzen von Gräben (engl. trench) von der Vorderseite, vorzugsweise mittels reaktivem Ionentiefätzen oder mittels reaktivem Ionenätzen.

**[0068]** Fig. 10c zeigt im Prinzip ein Verfüllen der Gräben mit Ätzstopmaterial (z.B. SiO<sub>2</sub>, SiN) und falls erforderlich, ein nachfolgendes Planarisieren.

**[0069]** Fig. 10d zeigt das Ergebnis eines Abscheidungs- und Strukturierungsprozesses eines vorzugsweise piezoelektrischen Schichtstapels **40, 41**. Die zusätzlich benötigten Elektrodenschichten sind nicht dargestellt.

**[0070]** Fig. 10e zeigt eine strukturierte Ätzmaske zum Rückseitenätzen, vorzugsweise zum Strukturieren der unteren Oxidschicht **2** mittels eines Fotolacks.

**[0071]** Fig. 10f zeigt das Ergebnis eines teilweisen Ätzens von Löchern in die untere Oxidschicht **2** mit einem anisotropen Ätzverfahren, beispielsweise in Form von reaktivem Ionentiefätzen.

**[0072]** Fig. 10g zeigt das Ergebnis eines nachfolgenden isotropen Ätzschritts, um verbleibendes Substratmaterial unter dem Ausleger zu entfernen, wobei der Ätzschritt auf der als Ätzstopp- bzw. Opferschicht fungierenden Oxidschicht **2** stoppt.

**[0073]** Fig. 10h zeigt die fertiggestellte Detektionseinrichtung **100**, in der der Ausleger mit den Schichten **40, 41** durch ein Gasphasen- oder Nassätzen der Opferoxidschicht freigestellt ist.

**[0074]** Fig. 11 zeigt schematisch ein piezoelektrisches Mikrofon **200** mit einer vorgeschlagenen Detektionseinrichtung **100**.

**[0075]** Fig. 12 zeigt einen prinzipiellen Ablauf einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ver-

fahrens zum Herstellen einer erfindungsgemäßen Detektionseinrichtung **100**.

**[0076]** In einem Schritt **300** wird ein Substrat **1** bereitgestellt. In einem Schritt **310** wird ein Ausleger aus wenigstens drei aufeinander angeordneten, auf dem Substrat **1** aufgebracht Schichten **40, 50** ausgebildet, wobei wenigstens eine der Schichten **40, 50** eine piezoelektrische Schicht **40** ist, wobei auf beiden Oberflächen der wenigstens einen piezoelektrischen Schicht **40** jeweils eine Elektrodenschicht **50** angeordnet wird, wobei der Ausleger derart ausgebildet wird, dass ein freies Ende des Auslegers aufgrund von Schichtstress der Schichten **40, 50** in Relation zu einer Horizontallage des Auslegers definiert in eine unterhalb des Auslegers ausgebildete Kavität ausgerichtet ist.

**[0077]** Zusammenfassend werden mit der vorliegenden Erfindung eine Detektionseinrichtung für ein piezoelektrisches Mikrofon und ein Verfahren zum Herstellen einer Detektionseinrichtung für ein piezoelektrisches Mikrofon vorgeschlagen, mit dem vorteilhaft ein akustischer Leckpfad beim piezoelektrischen Mikrofon minimiert werden kann.

**[0078]** Obwohl die Erfindung vorgehend anhand von konkreten Anwendungsbeispielen beschrieben worden ist, kann der Fachmann vorgehend auch nicht oder nur teilweise offenbarte Ausführungsformen realisieren, ohne vom Kern der Erfindung abzuweichen.

## Patentansprüche

1. Detektionseinrichtung (**100**) für ein piezoelektrisches Mikrofon (**200**), aufweisend:
  - einen Ausleger mit wenigstens drei aufeinander angeordneten Schichten (**40, 50**), wobei wenigstens eine der Schichten (**40**) eine piezoelektrische Schicht ist;
  - wobei auf beiden Oberfläche der wenigstens einen piezoelektrischen Schicht (**40**) jeweils eine Elektrodenschicht (**50**) angeordnet ist;
  - wobei ein Schichtstress der Schichten (**40, 50**) derart ist, dass ein freies Ende des Auslegers definiert in eine unterhalb des Auslegers ausgebildete Kavität ausgerichtet ist.
2. Detektionseinrichtung (**100**) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen drei Elektrodenschichten (**50**) zwei piezoelektrische Schichten (**40, 41**) angeordnet sind.
3. Detektionseinrichtung (**100**) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine der Elektrodenschichten (**50**) eine nicht-piezoelektrische Schicht mit definierten mechanischen Eigenschaften ist.

4. Detektionseinrichtung (**100**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Ausleger in Relation zu einer Horizontallage um ca. 1µm bis ca. 10µm, vorzugsweise um ca. 3µm bis ca. 6µm nach unten geneigt ist.

5. Piezoelektrisches Mikrofon (**200**) aufweisend eine Detektionseinrichtung (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 4.

6. Verfahren zum Herstellen einer Detektionseinrichtung (**100**) für ein piezoelektrisches Mikrofon (**200**), aufweisend die Schritte:

- Bereitstellen eines Substrats (**1**);
- Ausbilden eines Auslegers aus wenigstens drei aufeinander angeordneten, auf dem Substrat (**1**) aufgebrachtten Schichten (**40, 50**), wobei wenigstens eine der Schichten (**40, 50**) eine piezoelektrische Schicht (**40**) ist, wobei auf beiden Oberflächen der wenigstens einen piezoelektrischen Schicht (**40**) jeweils eine Elektroden-schicht (**50**) angeordnet wird, wobei der Ausleger derart ausgebildet wird, dass ein freies Ende des Auslegers aufgrund von Schichtstress der Schichten (**40, 50**) in Relation zu einer Horizontallage des Auslegers definiert in eine unterhalb des Auslegers ausgebildete Kavität ausgerichtet ist.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei der Ausleger in Relation zu einer Kante (K) des Substrats (**1**) definiert ausgerichtet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, wobei das Substrat (**1**) zur Ausbildung der Kante (K) von oberhalb des Substrats (**1**) kommend geätzt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei ein Loch mit flüssigem Füllmaterial verfüllt wird.

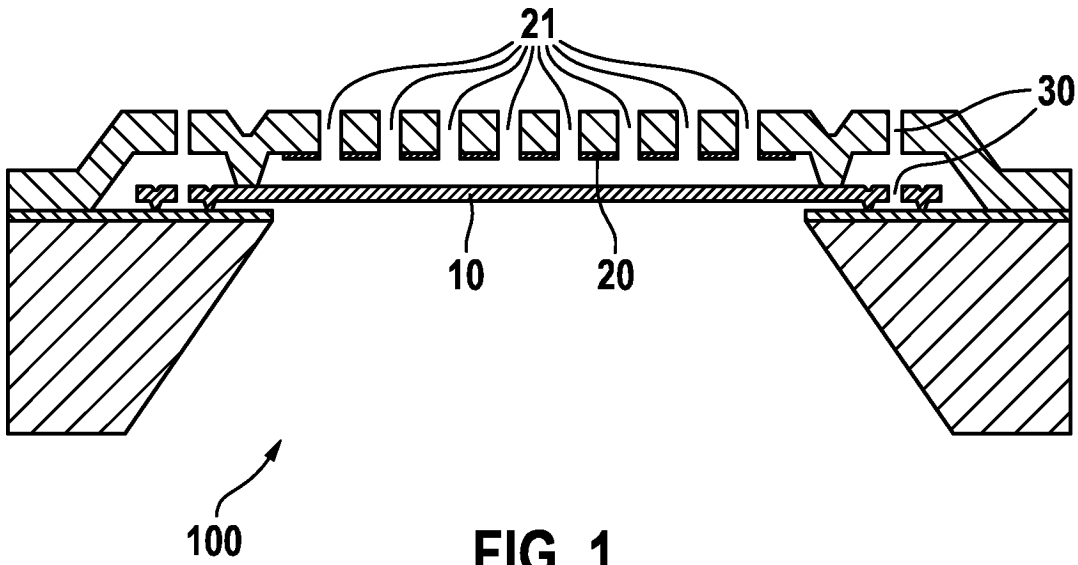
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 9, wobei der Schichtstress der Schichten (**40, 41**) durch wenigstens einen der folgenden Parameter eingestellt wird: Druck während eines Abscheidevorgangs der Schichten (**40, 41**), Temperatur während des Abscheidevorgangs der Schichten (**40, 41**), elektrische Spannung zwischen Abscheidequelle und Substrat während des Abscheidevorgangs der Schichten (**40, 41**), Materialauswahl der Schichten (**40, 41**), Schicht-dicken der Schichten (**40, 41**) nach erfolgtem Abscheidevorgang (**40, 41**).

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei Öffnungen im Substrat (**1**) mittels reaktivem Ionentiefätzen oder mittels nasschemischem Ätzen erzeugt werden.

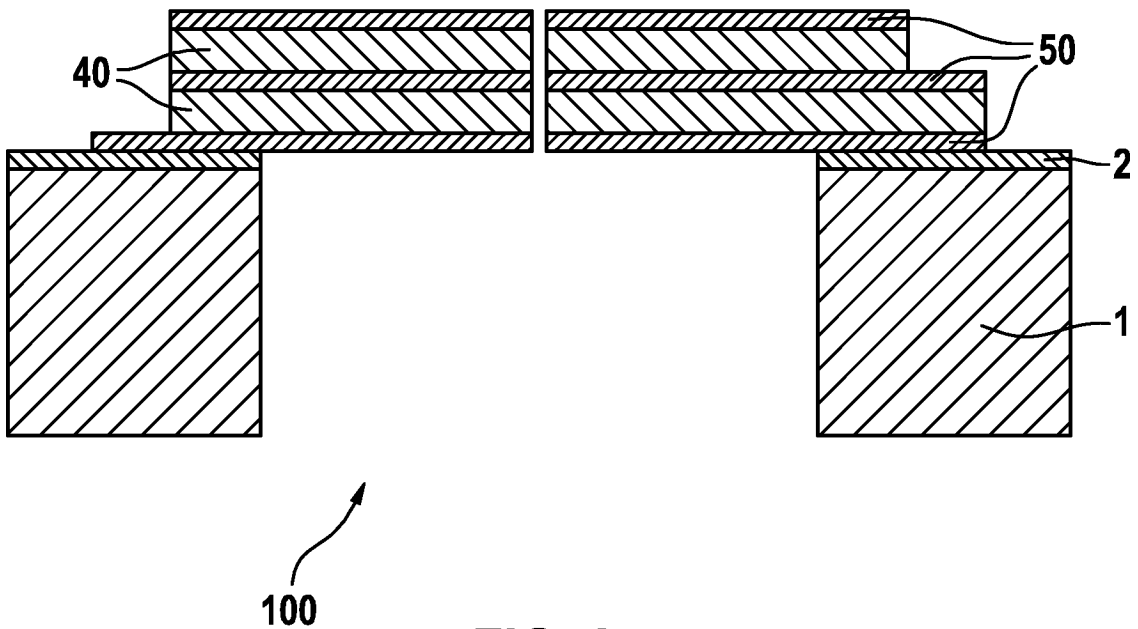
12. Verwendung einer Detektionseinrichtung (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 4 in einem piezoelektrischen Mikrofon (**200**).

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

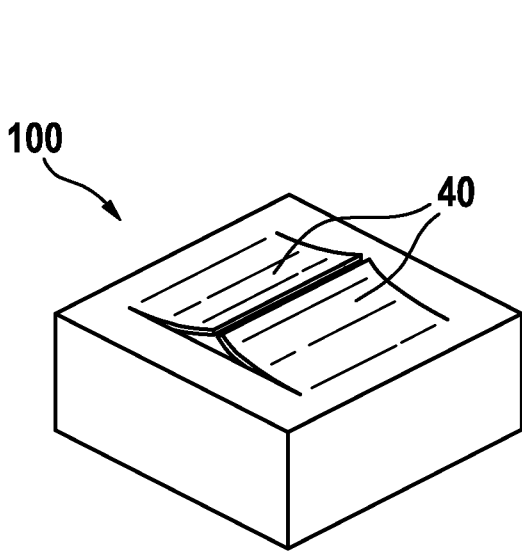
Anhängende Zeichnungen



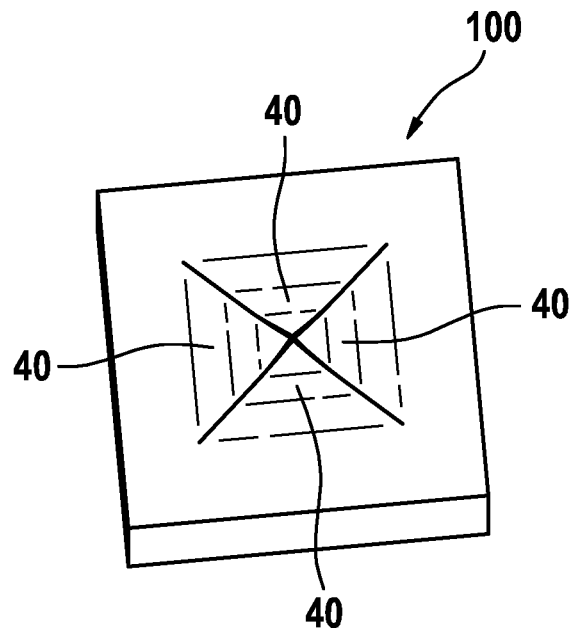
**FIG. 1**  
(Stand der Technik)



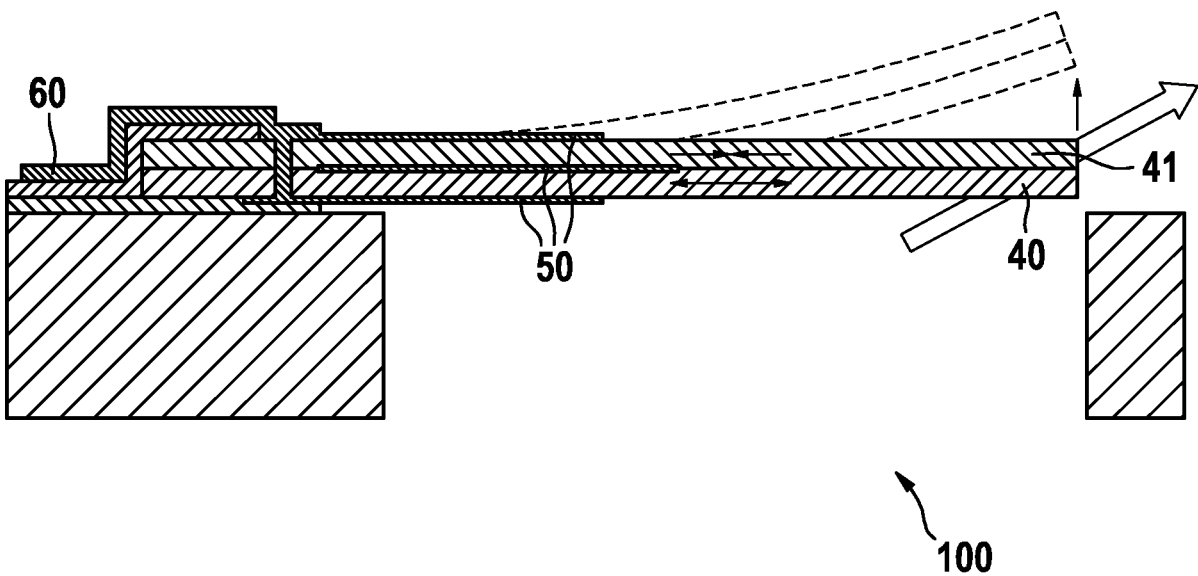
**FIG. 2**  
(Stand der Technik)



**FIG. 3**  
(Stand der Technik)



**FIG. 4**  
(Stand der Technik)



**FIG. 5**  
(Stand der Technik)

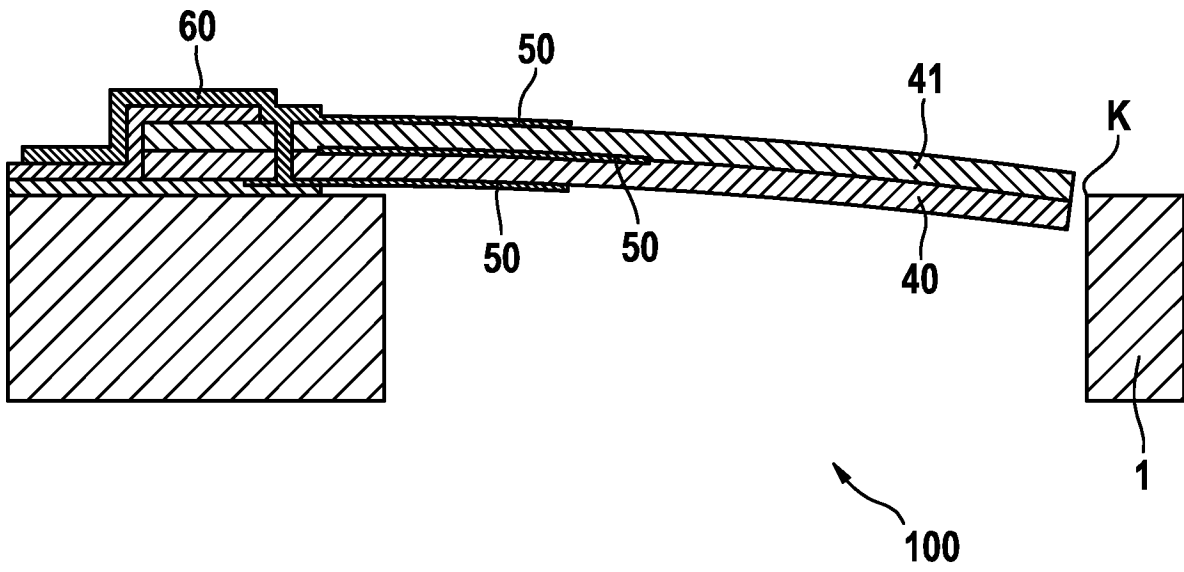


FIG. 6

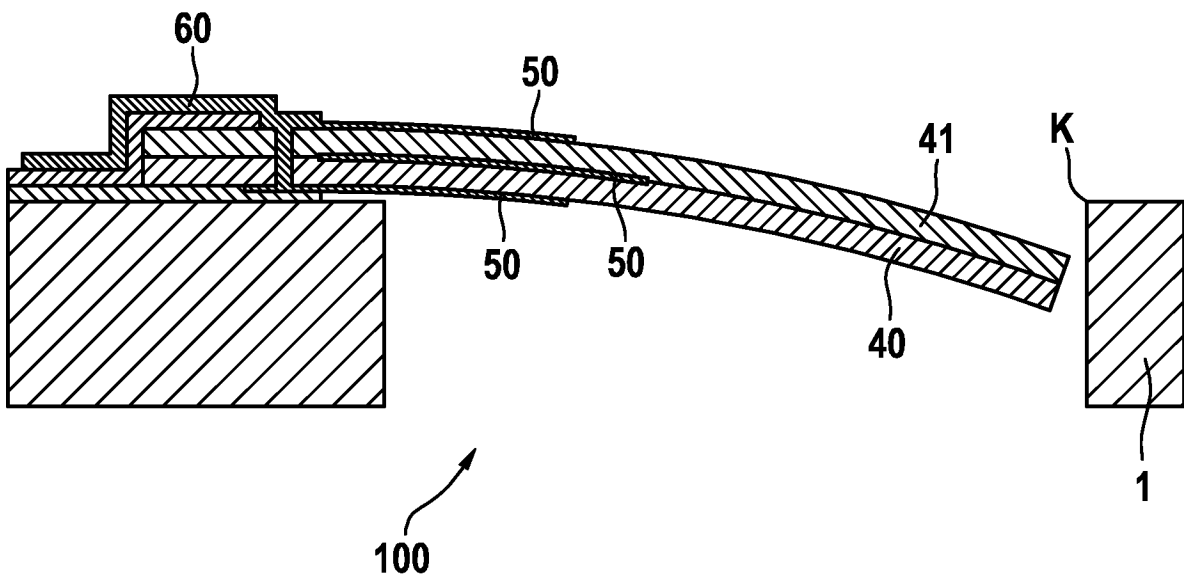
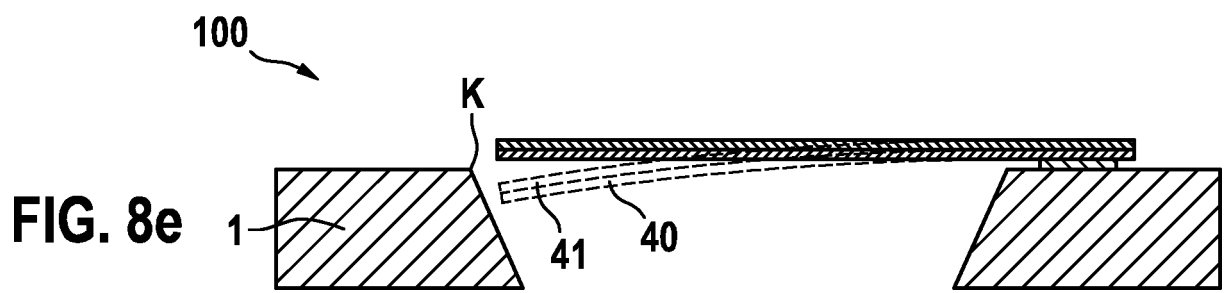
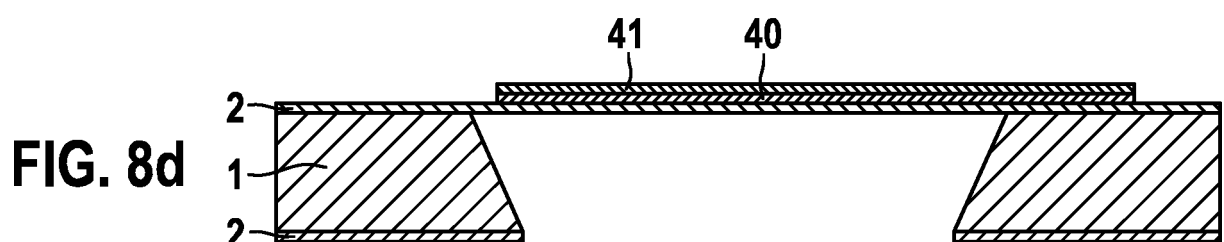
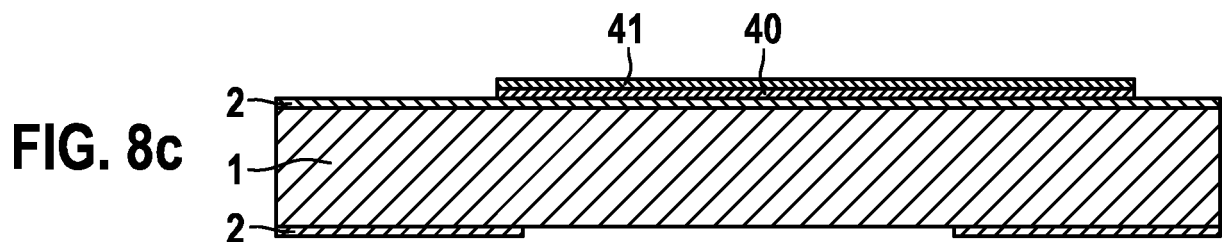
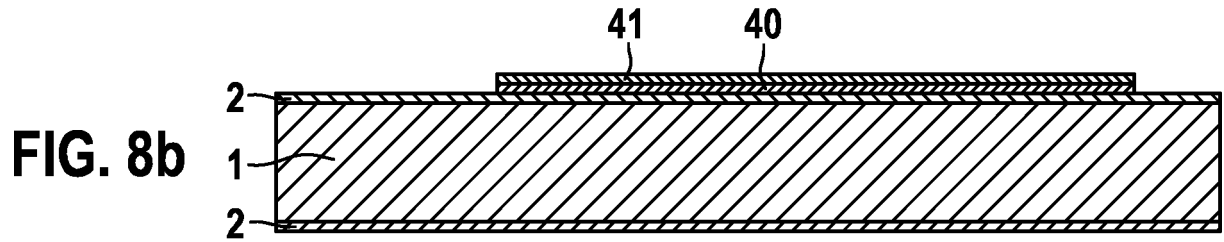
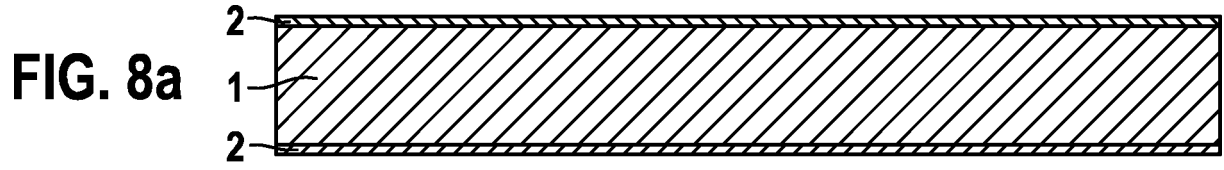
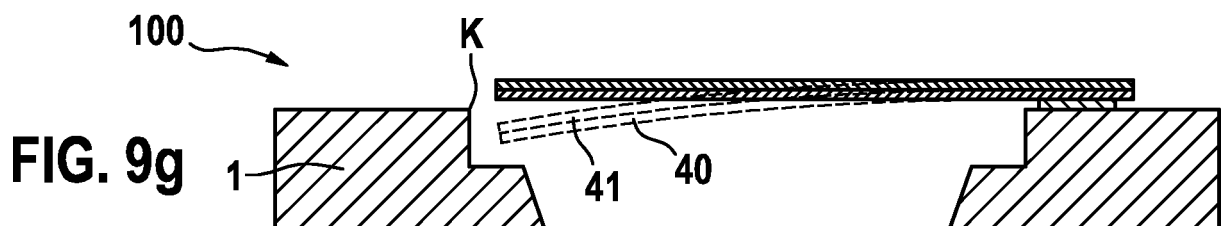
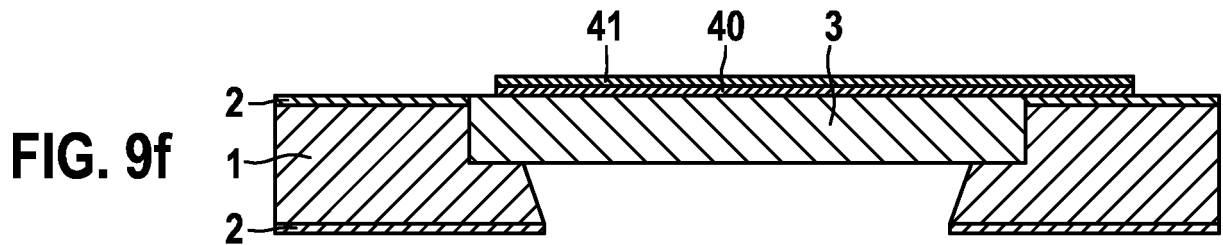
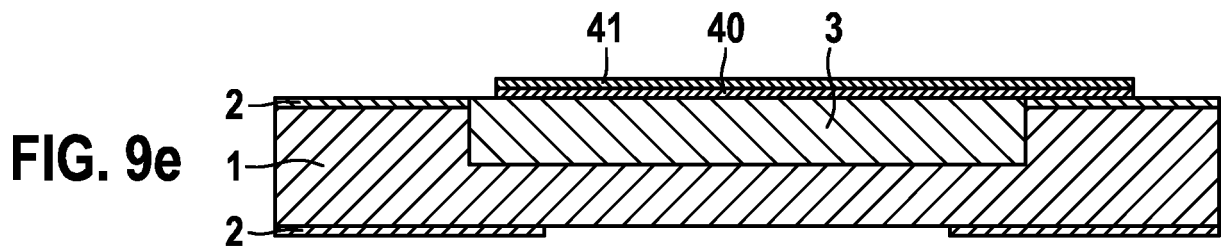
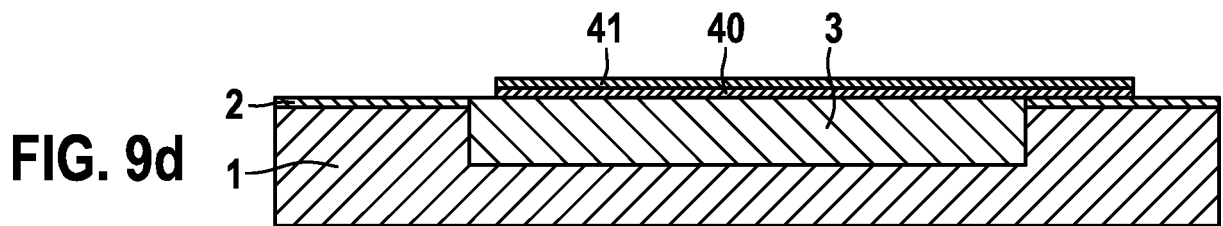
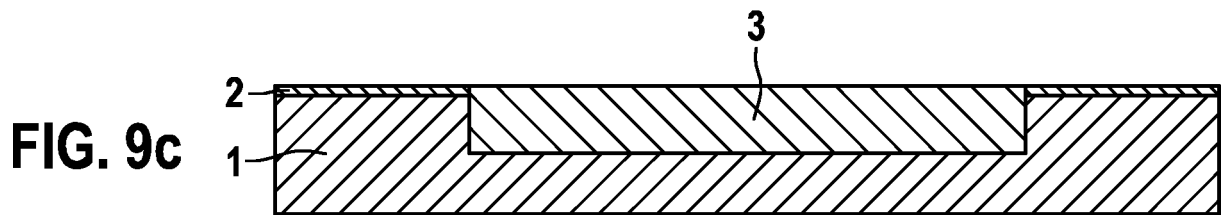
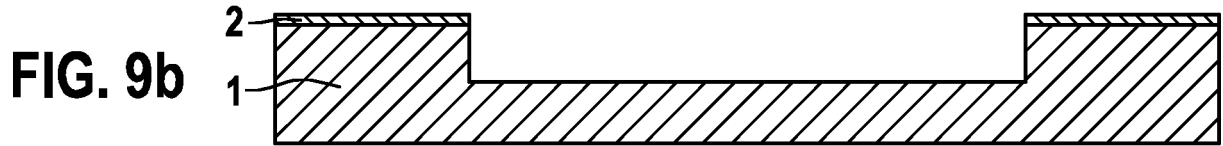
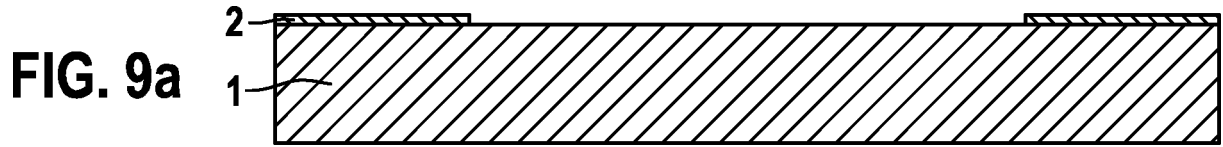
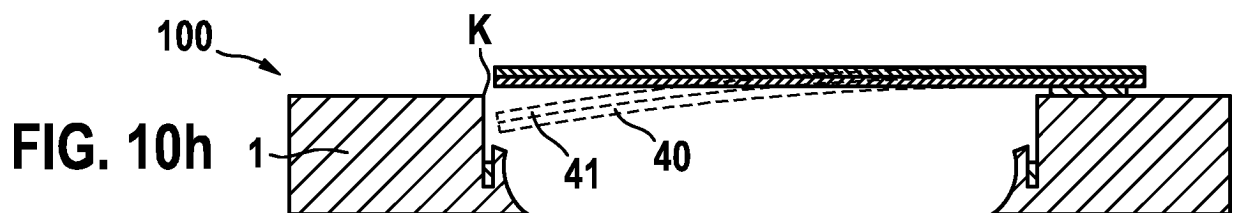
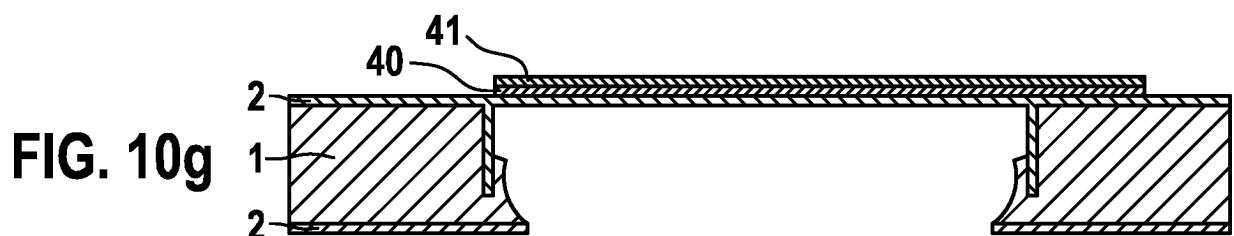
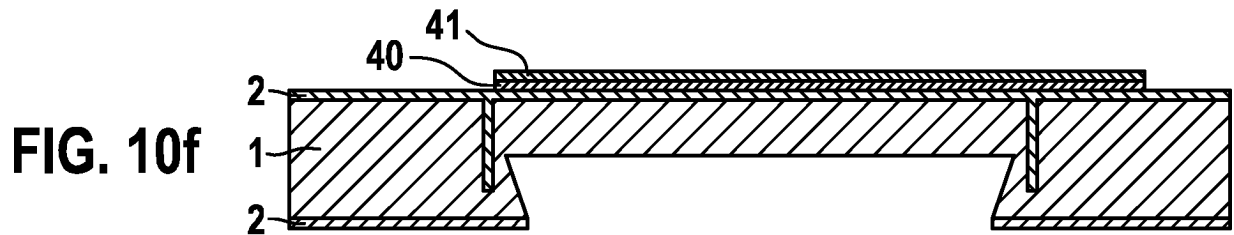
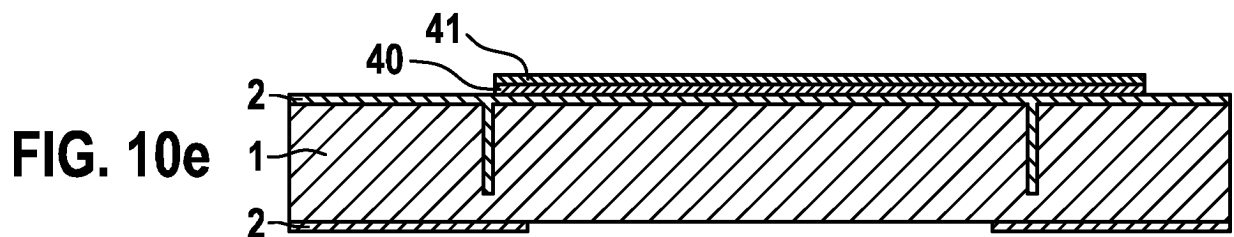
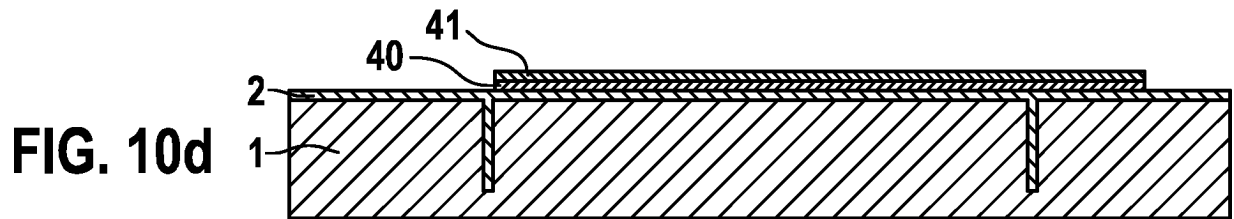
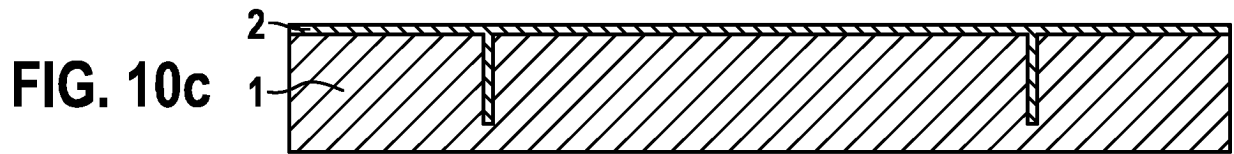
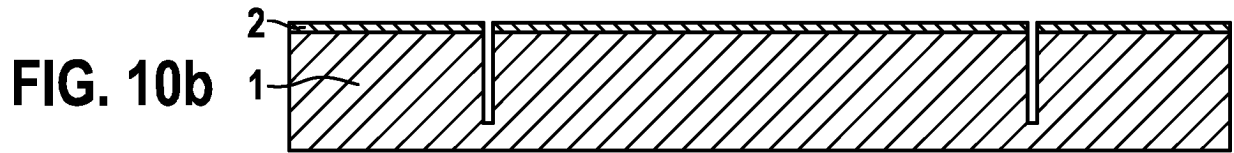
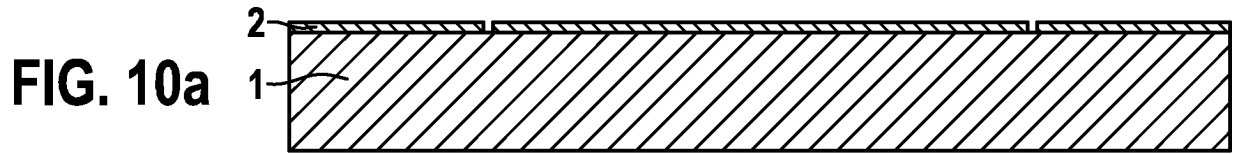


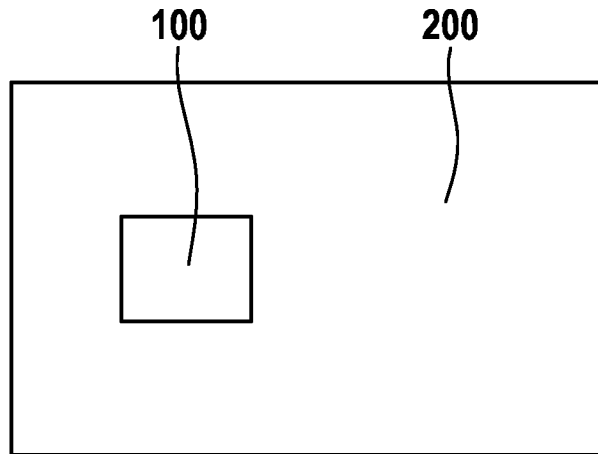
FIG. 7







**FIG. 11**



**FIG. 12**

