



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 100 63 991 B4** 2005.06.02

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **100 63 991.7**
 (22) Anmeldetag: **21.12.2000**
 (43) Offenlegungstag: **04.07.2002**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **02.06.2005**

(51) Int Cl.7: **B81C 1/00**

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(71) Patentinhaber:
Infineon Technologies AG, 81669 München, DE

(74) Vertreter:
Zimmermann & Partner, 80331 München

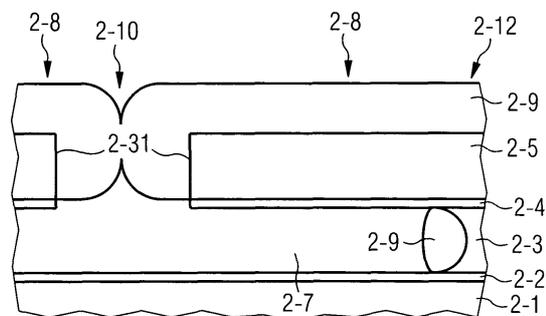
(72) Erfinder:
**Pusch, Catharina, 81737 München, DE; Wittmann,
 Reinhard, 82282 Unterschweinbach, DE;
 Franosch, Martin, 81739 München, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
DE 43 14 888 C1
DE 198 47 455 A1
DE 196 03 829 A1
US 50 95 401
US 49 49 148
**Liu, Chang and Tai, Yu-Chong: Sealing of
 Microma-
 chined Cavities Using Chemical Vapor Deposition
 Methods: Characterization and Optimization. In:
 IEEE Journal of Microelectromechanical Systems,
 Vol. 8, No. 2, June 1999, pp. 135-45;**
**Elderstig, Hakan and Wallgren Per: Spin deposi-
 tion of polymers over holes and cavities. In:
 Sensors and Actuators, A 46-47(1995), pp.95-97;**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung von mikromechanischen Bauelementen**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Bauelementes mit unterätzten Schichtelementen mit den folgenden Schritten:

- auf ein Substrat wird ein Schichtstapel, der eine Opferschicht und darauf aufgebracht eine zu unterätzende Schicht aufweist, aufgebracht;
- durch die zu unterätzende Schicht wird mindestens ein Ätzloch erzeugt;
- die Opferschicht wird isotrop geätzt, so daß unterätzte Schichtelemente erzeugt werden;
- eine Passivierung wird auf Oberfläche zwischen unterätzten Schichtelementen und Substrat erzeugt;
- Abdeckmaterial wird selektiv zu der Passivierung abgeschieden, so daß das Ätzloch geschlossen wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von mikromechanischen Bauelementen mit unterätzten Schichtelementen.

[0002] Mikromechanische Bauelemente finden zunehmend Anwendung in Drucksensoren, Mikrofonen, Beschleunigungssensoren, Schaltern, Mikropipetierungseinheiten, elektrischen Hohlraumsicherungen und anderen Apparaten. Die mikromechanischen Herstellungsverfahren ermöglichen dabei einen hohen Grad der Miniaturisierung, wobei man sich gleichzeitig die Vorteile einer monolithischen Integration mit einer mikroelektronisch hergestellten Auslese- oder Steuerelektronik zu Nutze machen kann. Auf diese Weise können mikromechanische Bauelemente auf kompakte, zuverlässige und kostengünstige Weise in großer Stückzahl hergestellt werden.

Stand der Technik

[0003] Bei der Erzeugung von mikromechanischen Bauelementen spielt die Herstellung von unterätzten Schichtelementen eine besondere Rolle. Unter unterätzten Schichtelementen versteht man die Bereiche von Schichten, die auf keiner fremden Schicht aufliegen. Beispiele für unterätzte Schichtelemente sind mikromechanische Membrane, Brücken, Stege und ähnliches. Die Herstellung unterätzter Schichtelemente und deren Versiegelung ist zum Beispiel in „Sealing of Micromachined Cavities Using Chemical Vapor Deposition Methods: Characterization and Optimization“ von Chang Liu and Yu-Chong Tai in IEEE Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 8, No. 2, June 1999 beschrieben. Weiterhin sind die Herstellung unterätzter Schichtelemente und deren Versiegelung aus den Patentschriften US 5,095,401, DE 43 14 888 C1, US 4,949,148, DE 196 03 829 A1, DE 198 47 455 A1 und aus „Spin deposition of polymers over holes and cavities“ von Hakan Elderstig und Per Wallgren in „Sensors and Actuators“ A 46–47 (1995), Seite 95–97, bekannt.

[0004] Die Herstellung unterätzter Schichtelemente für mikromechanische Bauelemente wird meist wie folgt durchgeführt (**Fig. 1a** bis **1d**): ein Schichtstapel **1-0** mit einem Substrat **1-1** aus Silizium, darauf aufgebracht einer sogenannten Opferschicht **1-2**, z.B. aus Siliziumoxid, und darauf aufgebracht einer zu unterätzenden Schicht **1-3** wird erzeugt (**Fig. 1a**). Die zu unterätzende Schicht **1-3** ist häufig aus Polysilizium oder epitaktisch aufgewachsenem Silizium.

[0005] Um Teile der zu unterätzenden Schicht **1-3** unterätzen zu können, muß die zu unterätzende Schicht, z.B. mit Hilfe photolithographischer Verfahren, geöffnet werden. In **Fig. 1b**) erfolgt die Öffnung durch eine Strukturierung der zu unterätzenden Schicht **1-3**, z.B. zu drei Balken, die an einer Seite

verbunden sind. Wird die Opferschicht **1-2** nun isotrop geätzt, so wird die Opferschicht **1-2** auch unterhalb der drei Balken geätzt, so daß sich bei ausreichend langer Ätzzeit die drei Balken zu unterätzten Schichtelementen **1-4** ausbilden. Dabei werden gleichzeitig auch Hohlbereiche **1-7** im Bereich zwischen unterätzten Schichtelementen **1-4** und Substrat **1-1** erzeugt. **Fig. 1b**) zeigt auch, daß die Opferschicht **1-2** aufgrund der begrenzten Ätzzeit lediglich im Verbindungsbereich der drei Balken zurückgeblieben ist. Der zurückgebliebene Bereich der Opferschicht **1-2** dient in dieser Ausführung als Stützung der drei unterätzten Balken **1-4**.

[0006] Dieses Verfahren hat jedoch Nachteile. Zum einen ist es mit diesem Verfahren nicht möglich, Membrane, die hermetisch dicht rundum auf einer Opferschicht aufliegen, herzustellen, da in diesem Falle die zu unterätzende Schicht nicht strukturiert wird und somit keine Öffnungen vorhanden sind, durch welche die Opferschicht geätzt werden kann. Zum anderen besteht für die Erzeugung von großflächigen unterätzten Schichtelementen das Problem, daß das notwendige Unterätzen durch den isotropen Ätzschritt sehr lange dauern kann. So dauert es z.B. bis zu zwei Stunden, um in einer Opferschicht aus Siliziumoxid Hohlräume von einem mittleren Volumen von $400 \mu\text{m}^3$ mit 10%-tiger Flußsäure freizuätzen. Bei diesen langen Ätzzeiten ist zudem die Reproduzierbarkeit für eine plangenaue Strukturierung der Opferschicht nur begrenzt gegeben. Das kann z.B. zur Folge haben, daß Teile der Opferschicht, die z.B. zu Stützzwecken erhalten bleiben sollen, gelegentlich ebenfalls entfernt werden.

[0007] Zur Lösung dieses Problems werden zusätzlich kleine Öffnungen, sogenannte Ätzlöcher, in der zu unterätzenden Schicht erzeugt, welche die Aufgabe haben, eine möglichst große Angriffsfläche auf die darunterliegende Opferschicht für das isotrop ätzende Medium herzustellen. Die Ätzlöcher können dabei runde, aber auch nicht runde Formen wie z.B. schlitzförmige Formen aufweisen und ggf. auch an die gewünschte Form der zu erzeugenden unterätzten Schichtelemente angepaßt gestaltet werden.

[0008] Für viele Anwendungen ist es von Vorteil, wenn die Ätzlöcher nach der isotropen Ätzung wieder geschlossen werden. Zum einen können die unterätzten Schichtelemente damit ihre mechanische oder elektrische Stabilität weitgehend wieder zurückerhalten; zum anderen mag es erforderlich sein, daß die unterätzten Schichtelemente Strukturen auf dem Substrat abdecken oder, wie im Fall von Drucksensoren, einen hermetisch dichten Verschuß bilden sollen.

[0009] Damit die Ätzlöcher mit einem Abdeckmaterial problemlos geschlossen werden können, sollten die Ätzlöcher möglichst kleine Durchmesser haben.

Fig. 1c) zeigt schematisch das mikromechanische Bauelement **1b)** mit den drei unterätzten Balken **1-4**, von denen jeder mit einem zusätzlichen Ätzloch **1-5** versehen ist. Auf diese Weise kann die Ätzzeit verkürzt werden, so daß der Stützbereich der Opferschicht **1-2** im Vergleich zu **Fig. 1b)** vergrößert wurde. In dieser Zeichnung sind die Ätzlöcher im Vergleich zu der Balkenstrukturgröße aus Darstellungsgründen deutlich größer als in Wirklichkeit.

[0010] Die Materialien des Schichtstapels **1-0** werden bei diesem Verfahren zum einen so gewählt, daß die Strukturierung der zu unterätzenden Schicht **1-3** durch Ätzung selektiv zur darunterliegenden Opferschicht **1-2** erfolgen kann. Weiterhin sollten die Materialien es erlauben, die Opferschicht **1-2** mit naßchemischen Verfahren zu entfernen, ohne daß die zu unterätzende Schicht **1-3** zerstört wird. Beispielsweise besteht die Opferschicht **1-2** aus einem Siliziumoxid und die zu unterätzende Schicht **1-3** aus Epi- oder Polysilizium. Die Epi- oder Polysiliziumschicht kann naßchemisch mit Basen wie KOH geätzt werden (große Strukturen) oder, wenn die mikromechanischen Abmessungen in der Größenordnung von wenigen μm oder kleiner liegen, mit in einem Plasma befindlichen Gasen "trockenchemisch" geätzt werden (z.B. Cl_2 -, HBr- oder SF_6 -Gase oder Mischungen von Gasen).

[0011] Die Opferschicht aus Siliziumoxid **1-2** wird z.B. mit einer flußsäurehaltigen Lösung entfernt (verdünnte HF oder verdünnte NF_3/HF), welche die darüber liegende zu unterätzende Schicht aus Silizium **1-3** nicht angreift. Der Angriff der Ätzchemikalie auf die Opferschicht **1-2** erfolgt über die offenen Gebiete der zu unterätzenden Schicht **1-3** einschließlich der Ätzlöcher **1-5**. Typische Abmessungen der Ätzlochdurchmesser liegen – abhängig von der Geometrie der mikromechanischen Elemente – im Bereich von einigen 10 nm bis zu mehreren Mikrometern.

[0012] Der Verschuß der Ätzlöcher wird gewöhnlich durch ein Abscheiden von Abdeckmaterial erreicht. Durch Diffusion gerät das Abdeckmaterial jedoch auch in die Hohlbereiche **1-7** und lagert sich dort ab. **Fig. 1d)** zeigt in einem Querschnitt das in **Fig. 1c)** dargestellte mikromechanische Bauelement nach dem Abscheiden des Abdeckmaterials **1-6**. Die zum Schließen der Ätzlöcher erforderliche Schichtdicke des Abdeckmaterials **1-6** erzeugt jedoch auch eine Schicht im Hohlbereich **1-7**, die die Schichtdicke der unterätzten Schichtelemente erhöht und das mechanische oder elektrische Verhalten verändert.

[0013] Die Größe der Ätzlöcher ist abhängig von dem gesamten Prozeßablauf, mit dem die unterätzten Schichtelemente **1-4** hergestellt werden. Weiterhin hängt ihre Größe von der geplanten Enddicke der zu unterätzten Schichtelemente **1-4** ab: je dünner die Enddicke der unterätzten Schichtelemente, desto

kleiner muß der Durchmesser der Ätzlöcher **1-5** sein. Somit ergeben sich derzeit Ätzlöcher mit einem Durchmesser größer als 50 nm und kleiner als 5 μm .

[0014] Eine Methode, Ätzlöcher mit kleinem Durchmesser abzudecken oder zu verschließen, ist in der europäischen Patentanmeldung EP 0 783 108 A1 beschrieben. Dort werden die Ätzlöcher durch die Abscheidung einer fließfähigen BPSG-Schicht (Bor-Phosphor-Silikat-Glas) geschlossen. Ein Nachteil dieser Methode liegt jedoch darin, daß die unterätzten Schichtelemente bzw. Membranschichten dann nicht mehr nur aus Epi- oder Polysilizium sondern aus verschiedenen Materialien mit unterschiedlichen Materialeigenschaften bestehen. Das kann zu mechanischen Spannungen zwischen den Materialien führen. Weiterhin wird in der Regel die Kompatibilität zu den folgenden Prozessschritten verringert. Schließlich kann eine BPSG-Schicht aufgrund ihrer Dotierung ausgasen, so daß bei hermetisch abzudichtenden Membranen sich ein unerwünschter Überdruck im Hohlraum bilden kann.

Aufgabenstellung

[0015] Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren bereitzustellen, das die oben aufgeführten Schwierigkeiten vermindert bzw. ganz vermeidet.

[0016] Diese Aufgabe wird von den Verfahren zur Herstellung von mikromechanischen Bauelementen gemäß der unabhängigen Patentansprüche 1, 7 und 8 gelöst. Weitere vorteilhafte Ausführungsformen, Ausgestaltungen und Aspekte der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Patentansprüchen, der Beschreibung und den beiliegenden Zeichnungen.

[0017] Erfindungsgemäß wird ein erstes Verfahren zur Herstellung von mikromechanischen Bauelementen mit unterätzten Schichtelementen mit den folgenden Schritten bereitgestellt:

- a) auf ein Substrat wird ein Schichtstapel, der eine Opferschicht und darauf aufgebracht eine zu unterätzende Schicht aufweist, aufgebracht;
- b) durch die zu unterätzende Schicht wird mindestens ein Ätzloch erzeugt;
- c) die Opferschicht wird isotrop geätzt, so daß unterätzte Schichtelemente erzeugt werden;
- d) eine Passivierung wird auf Oberflächen zwischen unterätzten Schichtelementen und Substrat erzeugt;
- e) Abdeckmaterial wird selektiv zu der Passivierung abgeschieden, so daß das Ätzloch geschlossen wird.

[0018] Erfindungsgemäß wird ein weiteres Verfahren zur Herstellung von mikromechanischen Bauelementen mit unterätzten Schichtelementen mit den

folgenden Schritten bereitgestellt:

- a) auf ein Substrat wird ein Schichtstapel, der eine erste, Passivierungsschicht, darauf aufgebracht eine Opferschicht und darauf aufgebracht eine zu unterätzende Schicht aufweist, aufgebracht;
- b) durch die zu unterätzende Schicht wird mindestens ein Ätzloch erzeugt;
- c) die Opferschicht wird isotrop geätzt, so daß unterätzte Schichtelemente erzeugt werden;
- d) Abdeckmaterial wird selektiv zu der ersten Passivierungsschicht abgeschieden, so daß das Ätzloch geschlossen wird.

[0019] Erfindungsgemäß wird weiterhin ein drittes Verfahren zur Herstellung von mikromechanischen Bauelementen mit unterätzten Schichtelementen mit den folgenden Schritten bereitgestellt:

- a) auf ein Substrat wird ein Schichtstapel, der eine Opferschicht, darauf aufgebracht eine zweite Passivierungsschicht und darauf aufgebracht eine zu unterätzende Schicht aufweist, aufgebracht;
- b) durch die zu unterätzende Schicht und die zweite Passivierungsschicht wird mindestens ein Ätzloch erzeugt;
- c) die Opferschicht wird isotrop geätzt, so daß unterätzte Schichtelemente erzeugt werden;
- d) Abdeckmaterial wird selektiv zu der zweiten Passivierungsschicht abgeschieden, so daß das Ätzloch geschlossen wird.

[0020] Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht, daß die Ätzlöcher mit dem gleichen Material wie dem der unterätzten Schichtelemente geschlossen werden, so daß die unterätzten Schichtelemente nach dem Ätzlochverschluß aus einem einheitlichen Material sind. Das einheitliche Material eines unterätzten Schichtelements vermeidet mechanische Spannungen und ungewollte chemische Reaktionen zwischen Schichten aus verschiedenen Materialien und vereinfacht die weitere Prozeßführung.

[0021] Diese Vorzüge werden durch die selektive Abscheidung des Abdeckmaterials bezüglich der Passivierungen im Oberflächenbereich zwischen unterätzten Schichtelementen und Substrat ermöglicht. Die Passivierung, die erfindungsgemäß auch mit Hilfe von erster oder zweiter Passivierungsschicht erzeugt werden kann, bewirkt, daß bei geeigneter Prozeßführung das Abdeckmaterial sich bevorzugt auf Oberflächen abscheidet, die keine passivierte Oberfläche aufweisen. Auf diese Weise wird erreicht, daß die Abscheidung von Abdeckmaterial im Bereich zwischen unterätzten Schichtelementen und Substrat unterdrückt ist, während die Ablagerung des Abdeckmaterials auf der Oberseite der unterätzten Schichtelemente zum Schließen der Ätzlöcher unbeschadet fortgeführt wird.

[0022] Durch die Unterdrückung der Abscheidung von Abdeckmaterial im Bereich zwischen unterätzten

Schichtelementen und Substrat kann eine größere Menge von Abdeckmaterial zum Abdecken der Ätzlöcher abgeschieden werden, ohne daß sich zu viel Abdeckmaterial im zu unterätzenden Bereich abscheidet, das im schlimmsten Fall zu einem Zusammenwachsen von unterätztem Schichtelement und Substrat durch das Abdeckmaterial führen kann. Ein Zusammenwachsen von unterätztem Schichtelement und Substrat durch Abdeckmaterial würde die Charakteristik der unterätzten Schichtelemente zerstören, was Funktionen der unterätzten Schichtelemente z.B. als Membranen, Drucksensoren oder als elektrische Hohlraumsicherung beeinträchtigen würde. Weiterhin wird das Schichtdickenwachstum und damit Verfälschungen des mechanischen oder elektrischen Verhaltens der unterätzten Schichtelemente deutlich reduziert.

[0023] Die Ätzlöcher dienen dazu, die Angriffsfläche des isotrop ätzenden Medium auf die Opferschicht zu erweitern, so daß auch großflächige Schichtelemente in einer vorgegebenen Ätzzeit unterätzt werden können. Auf diese Weise kann die Strukturgröße eines zu erzeugenden unterätzten Schichtelements weitgehend unabhängig von der Ätzzeit gewählt werden, was die Gestaltungsfreiheit für unterätzte Schichtelementestrukturen erhöht.

[0024] Unter unterätzten Schichtelementen sind die Bereiche der auf der Opferschicht aufliegenden Schichten zu verstehen, die durch die isotrope Ätzung der Opferschicht nicht mehr auf der Opferschicht aufliegen. Im Falle von Anspruch 1 und 7 bestehen die unterätzten Schichtelemente bevorzugt aus Bereichen der zu unterätzenden Schicht **1-3**. Im Falle von Anspruch 8 bestehen die unterätzten Schichtelemente bevorzugt aus Bereichen der zu unterätzenden Schicht und der zweiten Passivierungsschicht.

[0025] Die Ätzlöcher können im Prinzip jede Form annehmen, so lange sie klein genug sind, um während des Abscheidens des Abdeckmaterials wieder geschlossen zu werden. Sie können daher runde, ovale oder eckige Löcher mit ausreichend kleinem Durchmesser, aber auch z.B. Schlitzlöcher von ausreichender Schmalheit sein. Bevorzugt werden die Ätzlöcher gleichzeitig mit der Strukturierung der zu ätzenden Schicht, z.B. für die Herstellung einer Brücke, erzeugt. Bevorzugt werden die Ätzlöcher dabei in einem photolithographischen Verfahren hergestellt.

[0026] Die isotrope Ätzung bewirkt ein laterales Ätzen der Opferschicht, so daß Opferschichtmaterial auch unterhalb der zu unterätzenden Schicht, d.h. zwischen zu unterätzender Schicht und Substrat, entfernt wird. Da die isotrope Ätzung die zu unterätzende Schicht weitgehend chemisch nicht angreift, werden Bereiche der zu unterätzenden Schicht unterätzt und bilden somit unterätzte Schichtelemente.

Durch Fortführen der isotropen Ätzung ist es weiterhin möglich, daß benachbarte unterätzte Schichtelemente zusammenwachsen und ein gemeinsames großes unterätztes Schichtelement bilden. Sind z.B. durch eine Vielzahl von benachbarten Ätzlöcher viele unterätzte Schichtelemente erzeugt worden, so kann durch ein Fortsetzen der isotropen Ätzung ein großes unterätztes Schichtelement erzeugt werden. Bevorzugt wird das isotope Ätzen durch einen naßchemischen Ätzschritt erzeugt.

[0027] Die Prozeßführung zur Abscheidung des Abdeckmaterial ist so gewählt, daß das Abdeckmaterial auf der Oberseite der zu unterätzenden Schicht oder auf den Seitenwänden der Ätzlöcher mit einer vielfach größeren Wachstumsrate aufwächst als auf den passivierten Schichten (Passivierung oder Passivierungsschicht). Durch die passivierten Oberflächen zwischen unterätzten Schichtelementen und Substrat ist gewährleistet, daß das Abdeckmaterial, das durch Diffusion in die Hohlbereiche unterhalb der unterätzten Schichtelemente eingedrungen ist, sich nicht oder nur sehr langsam auf dem Substrat oder auf der unteren Seite der unterätzten Schichtelemente abgelagert. Dadurch kann verhindert werden, daß unterätzte Schichtelemente und Substrat durch das abgeschiedene Abdeckmaterial zusammenwachsen oder die zu unterätzende Schicht dicker als erwünscht wird.

[0028] In dem Verfahren nach Anspruch 1 wird die Passivierung bezüglich des Abdeckmaterials durch eine Passivierung erzielt, die nach der isotropen Ätzung auf den Oberflächen zwischen unterätzten Schichtelementen und Substrat erzeugt wird. Die Passivierung kann aufgebracht oder auch an der Oberfläche erzeugt (z.B. thermische Oxidation) sein. Im Unterschied zu erster und zweiter Passivierungsschicht kann die Passivierung Bereiche zwischen unterätzten Schichtelementen und Substrat dreidimensional auskleiden. In den Verfahren nach Anspruch 7 und 8 wird die Passivierung dagegen durch mindestens eine Passivierungsschicht erzeugt, die vor der Strukturierung in den Schichtstapel eingebracht worden ist und die erst durch die isotope Ätzung wieder freigelegt wird.

[0029] Die erfindungsgemäße Schließung der Ätzlöcher mit Abdeckmaterial setzt voraus, daß die Oberseite der unterätzten Schichtelemente oder die Seitenwände der Ätzlöcher weitgehend frei von Passivierung sind. Unter der Oberseite ist hier wie im folgenden die Seite der unterätzten Schichtelemente zu verstehen, die dem Substrat nicht zugewandt ist. Die Oberseite der unterätzten Schichtelemente oder die Seitenwände der Ätzlöcher werden als Auflagefläche für die Abscheidung des Abdeckmaterials benötigt, mit denen die Ätzlöcher geschlossen werden.

[0030] In einer bevorzugten Ausführung wird die

Oberseite der unterätzten Schichtelemente dadurch frei von Passivierung gehalten, daß nach einem Passivierungsschritt die Passivierung auf der Oberseite der unterätzten Schichtelemente wieder entfernt wird. Bevorzugt wird die Entfernung der Passivierung auf der Oberseite der unterätzten Schichtelemente dabei durch einen weitgehend anisotropen Ätzschritt vollzogen.

[0031] In einer bevorzugten Ausführung weisen die Ätzlöcher trichterförmig schräge Seitenwände auf, so daß nach der anisotropen Ätzung der Oberseiten der unterätzten Schichtelemente auch die Seitenwände der Ätzlöcher frei von Passivierungsbelag sind. Dadurch kann sich bei der Abscheidung des Abdeckmaterials das Abdeckmaterial auch auf den Seitenwänden der Ätzlöcher ablagern, was das Verschließen der Ätzlöcher beschleunigt. Insbesondere kann damit auch erreicht werden, daß die Ätzlöcher verschlossen werden, ohne daß ein zusätzlicher Schichtauftrag des Abdeckmaterials auf der Oberseite der unterätzten Schichtelementen benötigt wird. Dadurch können die unterätzten Schichtelemente ihre ursprüngliche Schichtdicke unabhängig von den zu schließenden Ätzlochdurchmessern beibehalten.

[0032] Bevorzugt ist der anisotrope Ätzprozeß so eingestellt, daß die Ätzrate auf der Oberfläche des Substrats um mehr als 10% kleiner ist als die Ätzrate auf der Oberfläche der unterätzten Schichtelemente. Dies kann z.B. über eine ausreichend kurze freie Weglänge des Ätzgases im Reaktor eingestellt werden. Durch dieses Verfahren wird gewährleistet, daß die Passivierung auf der Oberseite der unterätzten Schichtelemente durch die anisotrope Ätzung vollständig entfernt wird, während die Passivierung auf dem Substrat direkt unterhalb der offenen Bereiche der zu unterätzenden Schicht und insbesondere unterhalb der Ätzlöcher noch vorhanden ist.

[0033] In einer anderen bevorzugten Ausführung wird die Oberseite der zu unterätzenden Schicht vor der Erzeugung der Passivierung mit einer Schutzschicht bedeckt, die die Erzeugung einer Passivierung auf der Oberseite der zu unterätzenden Schicht verhindert. Dadurch kann der anisotrope Ätzschritt zur Beseitigung der Passivierung auf der Oberseite der zu unterätzenden Schicht wegfallen. Bevorzugt wird die Schutzschicht nach der Erzeugung des Passivierung wieder entfernt.

[0034] Bevorzugt weist das Substrat auf der Oberfläche Silizium auf. Die Passivierung ist in einer ersten bevorzugten Ausführung ein Siliziumoxid, das thermisch oder in einem Abscheidungsprozeß im Oberflächenbereich zwischen unterätzten Schichtelementen und Substrat erzeugt wird. In einer zweiten bevorzugten Ausführung ist die Passivierung ein Siliziumnitrid. Die Erzeugung einer Passivierung aus Siliziumoxid oder Siliziumnitrid auf den Oberflächenbe-

reichen, die bevorzugt aus Silizium sind, geschieht mit Methoden nach Stand der Technik.

[0035] In dem Verfahren nach Anspruch 7 weist der Schichtstapel eine erste Passivierungsschicht auf, die zwischen dem Substrat und der Opferschicht angeordnet ist. Die erste Passivierungsschicht ist aus einem Material, bevorzugt Siliziumnitrid, das bei der Abscheidung des Abdeckmaterials eine Ablagerung unterdrückt. Die erste Passivierungsschicht wird bei dem isotropen Ätzen der Opferschicht teilweise oder vollständig freigelegt. Auf diese Weise wird die Abscheidung von Abdeckmaterial im Bereich zwischen unterätzten Schichtelementen und Substrat weitgehend unterdrückt.

[0036] In dem Verfahren nach Anspruch 8 weist der Schichtstapel eine zweite Passivierungsschicht auf, die zwischen Opferschicht und zu unterätzender Schicht angeordnet ist. Die zweite Passivierungsschicht besteht ebenfalls aus einem Material, bevorzugt Siliziumnitrid, das bei der Abscheidung des Abdeckmaterials eine Ablagerung des Abdeckmaterials unterdrückt.

[0037] Die nach dem Verfahren nach Anspruch 8 erzeugten Ätzlöcher führen durch die zu unterätzende Schicht und die zweite Passivierungsschicht hindurch. Durch die isotrope Ätzung der Opferschicht werden Bereiche der Oberfläche der zweiten Passivierungsschicht freigelegt. Die unterätzten Schichtelemente setzen sich somit aus Elementen der zweiten Passivierungsschicht und der zu unterätzenden Schicht zusammen. Durch das Freilegen von Bereichen der zweiten Passivierungsschicht wird die Abscheidung des Abdeckmaterials auf den Unterseiten der unterätzten Schichtelemente weitgehend unterdrückt. Weiterhin wird das Schichtdickenwachstum der unterätzten Schichtelemente durch das Abdeckmaterial reduziert.

[0038] Bevorzugt weist der Schichtstapel eine erste Passivierungsschicht und eine zweite Passivierungsschicht auf. Die erste Passivierungsschicht ist von der Art wie in Anspruch 7 beschrieben und zwischen Substrat und Opferschicht angeordnet, die zweite Passivierungsschicht ist von der Art wie in Anspruch 8 beschrieben und zwischen Opferschicht und zu unterätzender Schicht angeordnet. Auf diese Weise kann die isotrope Ätzung der Opferschicht sowohl Bereiche der ersten Passivierungsschicht auf dem Substrat als auch Bereiche der zweiten Passivierungsschicht auf der Unterseite der unterätzten Schichtelemente freilegen. Damit wird die Abscheidung von Abdeckmaterial sowohl auf dem Substrat als auch auf den Unterseiten der unterätzten Schichtelemente unterdrückt. Dadurch kann die Menge des Abdeckmaterials, mit denen die Ätzlöcherabgedeckt werden sollen, um ein Vielfaches erhöht werden, ohne daß die Gefahr besteht, daß unterätzte Schicht-

elemente und Substrat durch Abscheidungen des Abdeckmaterials ungewollt zusammenwachsen.

[0039] Bevorzugt weist der Schichtstapel auf der zu unterätzenden Schicht eine dritte Passivierungsschicht auf, so daß das Abdeckmaterial auch selektiv zur dritten Passivierungsschicht abgeschieden wird. Die Ätzlöcher führen dabei durch die dritte Passivierungsschicht und die zu unterätzende Schicht hindurch. Durch die dritte Passivierungsschicht wird die Abscheidung von Abdeckmaterial auf der Oberseite der unterätzten Schichtelemente unterdrückt. Damit wird das Wachstum der Schichtdicke der unterätzten Schichtelemente während des Verschließens der Ätzlöcher unterdrückt, so daß die unterätzten Schichtelemente ihre mechanischen oder elektrischen Eigenschaften beibehalten. In einer bevorzugten Ausführung weist der Schichtstapel sowohl erste, zweite als auch dritte Passivierungsschicht auf. Auf diese Weise kann das Abdeckmaterial im Bereich der Ätzlöcher nur noch an den Seitenwände der Ätzlöcher abgeschieden werden. Auf diese Weise können die Ätzlöcher durch das Abdeckmaterial geschlossen werden, ohne daß die Schichtdicke der unterätzten Schichtelemente zunimmt.

[0040] Bevorzugt sind Abdeckmaterial und Material der unterätzten Schichtelemente aus dem gleichen Material. Dadurch ist die materialbezogene Homogenität der unterätzten Schichtelemente gewährleistet, was mechanische Spannungen und chemische Reaktionen durch unterschiedliche Materialeigenschaften verhindert und die weitere Prozeßführung erleichtert.

[0041] Bevorzugt ist das Substrat aus einem Halbleitermaterial, und insbesondere aus Silizium, da für solche Substrate eine Vielfalt von technologischen Mitteln für das Aufbringen und Strukturierung von Schichten vorhanden ist.

[0042] Das Substrat dient vor allem als Auflagefläche für Passivierungsschichten oder Opferschichten. Seine Oberfläche kann vor dem Erzeugen des Schichtstapels in vielfältiger Weise vorstrukturiert und vorbehandelt sein. In einer bevorzugten Weise ist das Substrat ein Halbleitersubstrat mit einer vor dem Erzeugen des Schichtstapels aufgebracht mikroelektronischen Schaltung oder mit vor dem Erzeugen des Schichtstapels aufgebracht mikromechanischen Elementen.

[0043] Daher ist unter Substrat auch ein Halbleitersubstrat mit auf der Oberfläche aufgebracht strukturierten Schichten aus anderen Materialien zu verstehen. Auf diese Weise lassen sich vielfältige mikromechanische Elemente zusammen mit den zu erzeugenden Opferschichtelementen und mit den zu unterätzenden Schichtelementen herstellen. Insbesondere lassen sich auf diese Weise mikromechanische

Elemente und mikroelektronische Schaltungen auf kompakte und kostengünstige Weise monolithisch miteinander integrieren.

[0044] Bevorzugt ist die Opferschicht aus Siliziumoxid, Polygermanium, undotiertem Polysilizium oder Siliziumnitrid, je nachdem aus welchen Materialien die zu unterätzende Schicht und die Passivierungsschichten sind. Die Opferschicht ist bevorzugt aus Siliziumoxid, wenn die zu unterätzende Schicht aus Silizium, Siliziumnitrid oder Siliziumcarbid ist. Die Opferschicht ist bevorzugt aus undotiertem Polysilizium, wenn die zu unterätzende Schicht aus Siliziumoxid oder Siliziumnitrid ist. Die Opferschicht ist bevorzugt aus Nitrid, wenn die zu unterätzende Schicht aus Silizium oder Siliziumcarbid ist.

[0045] In einer weiteren bevorzugten Ausführung ist die Opferschicht strukturiert, bevor eine zweite Passivierungsschicht oder die zu unterätzende Schicht aufgebracht werden. Auf diese Weise sind die Gestaltungsmöglichkeiten von mikromechanischen Elementen deutlich erhöht. Zum Beispiel kann damit erreicht werden, daß unterätzte Schichtelemente bereichsweise auch direkt auf dem Substrat aufliegen.

[0046] Bevorzugt ist die zu unterätzende Schicht aus Silizium, insbesondere aus Polysilizium oder epitaktisch gewachsenem Silizium, aus Siliziumcarbid, aus Siliziumoxid oder Siliziumnitrid. Schichten aus Siliziumnitrid und Siliziumoxid haben den Vorteil, daß sie im optischen Bereich durchsichtig sind, so daß z.B. bei einer Membranschicht durch die Membranschicht für Meß- und Beobachtungszwecke in den Hohlbereich eingesehen werden kann. Siliziumcarbid hat den Vorteil einer hohen Temperaturfestigkeit. Silizium hat den Vorteil einer einfachen Prozessierbarkeit, guter Temperaturleitfähigkeit, Feuchtigkeit abweisenden Oberfläche und guter Haltbarkeit. Alle Schichten lassen sich auf definierte Weise auf Opferschichten oder auf Passivierungsschichten aufbringen und z.B. mittels photolithographischer Verfahren strukturieren.

[0047] Bevorzugt ist die erste, die zweite oder auch die dritte Passivierungsschicht aus Siliziumnitrid (Si_3N_4), Siliziumoxid, Polysilizium oder monokristallinem Silizium, je nachdem, mit welchem Material abgedeckt werden soll und aus welchem Material die zu unterätzende Schicht ist. Eine Passivierungsschicht aus Siliziumoxid kann als Passivierungsschicht gegen eine Abdeckschicht aus Nitrid, die auf einer zu unterätzenden Schicht aus Nitrid aufgewachsen werden soll, eingesetzt werden. Eine Passivierungsschicht aus Silizium, d.h. undotiertem oder dotiertem Polysilizium oder monokristallinem, kann als Passivierungsschicht gegen eine Abdeckschicht aus Siliziumoxid, die auf einer zu unterätzenden Schicht aus Siliziumoxid aufgewachsen werden soll, eingesetzt werden. Weiterhin kann eine Passivierungsschicht

aus Siliziumnitrid als Passivierungsschicht gegen eine Abdeckschicht aus Silizium oder Siliziumcarbid, die auf einer zu unterätzenden Schicht aus Silizium oder Siliziumcarbid aufgewachsen werden soll, eingesetzt werden. Bevorzugt sind die erste und zweite, und bevorzugt auch die dritte Passivierungsschicht aus dem gleichen Material. Die gleichen Passivierungsschichtmaterialien erleichtern das Herstellungsverfahren und das Einstellen der Prozeßführungsparameter für die Abscheidung des Abdeckmaterials.

[0048] Bevorzugt sind die erste und zweite Passivierungsschicht weniger als 1000 nm und bevorzugt weniger als 5 nm dick. Die Passivierungsschichten dienen bevorzugt lediglich der Passivierung von Oberflächen und haben bevorzugt keinen signifikanten mechanischen oder elektronischen Einfluß auf das mikromechanische Bauelement. Da in einer bevorzugten Ausführung die unterätzten Schichtelemente Material der zweiten Passivierungsschicht und Material der zu unterätzenden Schicht aufweisen, können bei einer dünnen zweiten Passivierungsschicht die durch Materialunterschiede erzeugten mechanischen Spannungen innerhalb der unterätzten Schichtelemente gering gehalten werden.

[0049] In einer vorteilhaften Ausführung ist die dritte Passivierungsschicht so strukturiert, daß zusätzlich zu den zu verschließenden Oberflächen Abscheidungsregionen für die Herstellung von elektrisch leitenden Komponenten definiert werden. In vorteilhafter Weise kann dadurch die Abscheidung des Abdeckmaterials zum Schließen der Ätzlöcher gleichzeitig für die Erzeugung von elektronischen Schaltungselementen, Leiterbahnen oder mechanischen Strukturen genutzt werden. Ist das Abdeckmaterial z.B. aus Polysilizium, so können gleichzeitig mit dem Schließen der Ätzlöcher Widerstände, Kontaktschlüsse oder Leiterbahnen bzw. Leiterbahnebenen erzeugt werden. Dies kann einen oder mehrere Maskenschritte einsparen.

[0050] Ist die zu unterätzende Schicht aus einem elektrisch leitenden Material, so werden Abscheidungsregionen bevorzugt auf Regionen der zu unterätzenden Schicht erzeugt, die von anderen unterätzten Schichtelementen elektrisch isoliert sind. Anderenfalls würden die zu erzeugenden elektronischen Schaltungselemente durch die unterätzten Schichtelemente elektrisch leitend verbunden sein und ggf. miteinander kurzgeschlossen sein. So kann auch ein unterätztes Schichtelement leitend angeschlossen werden.

[0051] Die erfindungsgemäßen Verfahren werden zur Erzeugung von unterätzten Schichtelementen angewandt, unabhängig davon, ob das unterätzte Schichtelement unstrukturiert, wie z.B. bei einer Membran, oder strukturiert, wie z.B. bei Brücken,

Stegen und Schaltern und ähnlichem, sein soll. Ist die zu unterätzende Schicht zu strukturieren, so wird die Strukturierung bevorzugt in einem Schritt mit der Erzeugung der Ätzlöcher durchgeführt.

Ausführungsbeispiel

[0052] Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Figuren der Zeichnung näher dargestellt. Es zeigen:

[0053] [Fig. 1a](#))–d) Verfahren zur Herstellung von unterätzten Schichtelementen nach dem Stand der Technik.

[0054] [Fig. 2a](#))–d) erste Ausführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung von unterätzten Schichtelementen mit Ätzlöchern und zwei Passivierungsschichten.

[0055] [Fig. 3a](#))–d) zweite Ausführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung von unterätzten Schichtelementen mit Ätzlöchern und drei Passivierungsschichten bei gleichzeitiger Erzeugung eines elektrischen Kontaktierungsanschlusses mit der zu unterätzenden Schicht.

[0056] [Fig. 4a](#))–e) vierte Ausführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung von unterätzten Schichtelementen mit Ätzlöchern und Passivierung.

[0057] Die [Fig. 1a](#)) bis [Fig. 1d](#)) sind bereits weiter oben beschrieben worden.

[0058] [Fig. 2a](#)) bis [Fig. 2d](#)) beschreiben schematisch den Ablauf einer ersten Ausführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung von mikro-mechanischen Bauelementen mit unterätzten Schichtelementen mit Ätzlöchern, die erfindungsgemäß zu schließen sind. Die Abstände und Maße der folgenden Figuren sind dabei im folgenden, wenn nicht anders ausdrücklich erwähnt, qualitativ und nicht maßstabsgetreu zu verstehen. [Fig. 2a](#)) zeigt einen Ausschnitt aus einem Schichtstapel **2-12**, der ein Substrat **2-1**, darauf aufgebracht eine erste Passivierungsschicht **2-2**, darauf aufgebracht eine Opferschicht **2-3**, darauf aufgebracht eine zweite Passivierungsschicht **2-4** und darauf aufgebracht eine zu unterätzende Schicht **2-5** aufweist. Das Substrat ist bevorzugt aus Silizium und z.B. eine Siliziumscheibe. Die erste und zweite Passivierungsschicht, **2-2** und **2-4**, sind bevorzugt aus Siliziumnitrid, das z.B. in einem standardmäßigen LPCVD-Prozeß auf dem Substrat **2-1** bzw. auf der Opferschicht **2-3** abgeschieden wird. Die Dicke der Siliziumnitridschichten ist bevorzugt deutlich dünner als die Dicke der Opferschicht **2-3**. Ein typischer Wert für die Dicke der Siliziumnitridschichten ist z.B. 20 nm.

[0059] Die Opferschicht **2-3** ist bevorzugt ein Silizi-

umoxid und wird ebenfalls in einem der standardmäßigen Verfahren auf der ersten Passivierungsschicht **2-2** abgeschieden. Sie kann aber auch z.B. thermisch erzeugt sein, indem z.B. erst eine Polysiliziumschicht abgeschieden und diese dann thermisch oxidiert wird. Die Dicke der Opferschicht hängt von der Anwendung und Prozeßschrittfolge ab. Sie ist bevorzugt ausreichend groß, damit die zu unterätzende Schicht **2-5** und Substrat **2-1** nach der Abscheidung der Abdeckmaterials nicht miteinander in Berührung kommen. In der vorliegenden Ausführung ist die Opferschicht **2-3** etwa 500 nm dick.

[0060] Die zu unterätzende Schicht **2-5** ist bevorzugt aus Silizium. In der einen bevorzugten Ausführung ist das Silizium als undotiertes Polysilizium auf der zweiten Passivierungsschicht **2-4** abgeschieden. In einer anderen bevorzugten Ausführung ist das Silizium als Polysilizium, das dotiert ist, auf der zweiten Passivierungsschicht **2-4** abgeschieden. Die dotierte Polysiliziumschichtabscheidung kann so gleichzeitig als Material für eine Verdrahtungsebene auf einem nicht hier gezeigten mikroelektronischen Schaltung verwendet werden. Die erforderliche Dicke der zu unterätzenden Schicht **2-5** hängt von den Anwendung und den Prozessierungsschritten ab. In der vorliegenden Ausführung ist die Schicht etwa 500 nm dick.

[0061] [Fig. 2b](#)) zeigt schematisch einen Ausschnitt aus dem Schichtstapel **2-12** nach der Erzeugung der Ätzlöcher **2-6** durch die zu unterätzende Schicht **2-5** und die zweite Passivierungsschicht **2-4**. Bevorzugt werden die Ätzlöcher mit Hilfe eines standardmäßigen photolithographischen Verfahrens erzeugt, wobei der photolithographische Schritt auch zur Erzeugung einer vorgegebenen Struktur, z.B. zur Erzeugung einer Brücke oder eines Balkens, genutzt werden kann. [Fig. 2b](#)) zeigt repräsentativ nur die Struktur eines Ätzlöches **2-6**. In der Regel werden in den zu unterätzenden Schichten **2-5** jedoch eine Vielzahl von Ätzlöchern erzeugt, wenn großflächige zu unterätzende Strukturen wie z.B. Membrane erzeugt werden sollen. Die Ätzlöcher haben in dieser Ausführung einen Durchmesser von z.B. 1 µm. Die Ätzlöcher mit Durchmessern dieser Größe sind technologisch einfacher herzustellen und ermöglichen ein schnelles Ätzen der Opferschicht. Der Abstand benachbarter Ätzlöcher zueinander ist in der vorliegenden Ausführung etwa 10 µm bis 20 µm.

[0062] [Fig. 2c](#)) zeigt schematisch einen Ausschnitt aus dem Schichtstapel **2-12** nach dem isotropen Ätzen der Opferschicht **2-3**. Die isotrope Ätzung führt zu der Unterätzung der zu unterätzenden Schicht **2-5** und der zweiten Passivierungsschicht **2-4**, so daß die zu unterätzende Schicht **2-5** und zweite Passivierungsschicht **2-4** ein unterätztes Schichtelement **2-8** bilden. Die isotrope Ätzung wird bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel bevorzugt naßchemisch und bevorzugt mit einer 20%-tigen HF-Säure durch-

geführt. Die isotrope Ätzung wird bevorzugt mindestens so lange durchgeführt bis die Opferschicht **2-3** bis zur ersten Passivierungsschicht **2-2** durchgeätzt ist. Auf diese Weise liegt die erste Passivierungsschicht **2-2** frei, um dort später die Abscheidung von Abdeckmaterial zu unterdrücken. Bevorzugt wird die isotrope Ätzung weiterhin mindestens so lange durchgeführt, bis sich die entstehenden Hohlbereiche **2-7** benachbarter Ätzlöcher berühren und die Opferschicht **2-3** in den von den Ätzlöchern **2-6** überdeckten Bereichen weitgehend entfernt ist. Angesichts des Abstandes benachbarter Ätzlöcher in dieser Ausführung erfordert dies eine Unterätzung über eine Reichweite von mindestens 5–10 µm.

[0063] [Fig. 2d](#)) zeigt schematisch einen Ausschnitt aus dem Schichtstapel **2-12**, nachdem das Abdeckmaterial **2-9** selektiv abgeschieden worden ist. Für eine gute Selektivität wird das Abdeckmaterial, das hier Polysilizium ist, das in einem LPCVD-Prozeß, z.B. mit einer Centura HT, mit Hilfe von Dichlorsilan (100 sccm), H₂ (25 slm) und HCl (50 sccm) bei einer Temperatur von etwa 850 C bis 900 C und einem Druck von 798 Pa abgeschieden wird. Die gute Konformität der Polysilizium-Abscheidung bewirkt ein schnelles laterales Wachstum des Polysiliziums **2-9** im Bereich der Seitenkanten der Ätzlöcher **2-6** und damit einen schnellen Verschluß **2-10** der Ätzlöcher.

[0064] Aufgrund der offengelegten ersten und zweiten Passivierungsschichten, **2-2** und **2-4**, scheidet sich das Abdeckmaterial **2-9** fast nur auf den Oberseiten und Seitenkanten der zu unterätzenden Schicht **2-5** ab. Wegen der ersten und zweiten Passivierungsschichten, **2-2** und **2-4**, besteht somit keine Gefahr, daß das Abdeckmaterial **2-9** den Hohlbereich **2-7** beim Verschließen der Ätzlöcher **2-6** auffüllt.

[0065] Bei einem Ätzloch von 1 µm Durchmesser muß die Schichtdicke des Abdeckmaterials **2-9** auf der zu unterätzenden Schicht **2-5** mindestens 500 nm dick sein, damit das Ätzloch **2-6** vollständig abgedeckt werden kann. Die Hohlbereiche **2-7** unterhalb der unterätzten Schichtelemente **2-8** werden dabei nicht aufgefüllt. Durch die Wahl von Polysilizium als Abdeckmaterial wird weiterhin dafür gesorgt, daß die unterätzten Schichtelemente **2-8** durchgehend aus dem gleichen Material, nämlich Silizium, bestehen, wobei dabei lediglich von der sehr dünnen zweiten Passivierungsschicht **2-4** aus z.B. Siliziumnitrid abgesehen wird.

[0066] [Fig. 3a](#)) bis [Fig. 3d](#)) zeigen die Abfolge für eine weitere Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung von unterätzten Schichtelementen mit Ätzlöchern, die verschlossen werden, und drei Passivierungsschichten. [Fig. 3a](#)) zeigt schematisch einen Ausschnitt aus dem Schichtstapel **2-12** der im Vergleich zu [Fig. 2a](#)) sich lediglich durch die dritte Passivierungsschicht **2-20**, die auf der zu

unterätzenden Schicht **2-5** aufgebracht ist, unterscheidet. Die dritte Passivierungsschicht **2-20** ist ebenfalls bevorzugt eine Siliziumnitridschicht, die ebenfalls bevorzugt dünn ist im Vergleich zur Opferschicht **2-3**. In der vorliegenden Ausführung ist die dritte Passivierungsschicht etwa 20 nm dick, was jedoch keine Einschränkung bezüglich anderer möglicher Schichtdicken bedeutet.

[0067] Weiterhin weist die dritte Passivierungsschicht **2-20** eine Strukturierung auf, mit der eine Abscheidungsregion **2-22** auf der zu unterätzenden Schicht **2-5** definiert ist und auf der später Abdeckmaterial abgeschieden wird. Das Abdeckmaterial auf den Abscheidungsregionen **2-22** kann je nach Layout und Dotierung unterschiedliche Funktionen in dem mikromechanischen Bauelement übernehmen. Es kann mechanische Funktionen haben, z.B. der Stabilisierung einer Membrane dienen, es kann aber auch elektronische Funktionen übernehmen. Wenn das Abdeckmaterial aus einem dotiertem Polysilizium besteht, kann auf diese Weisen z.B. eine Leiterbahn zur elektronischen Kontaktierung der unterätzten Schicht gleichzeitig mit der Schließung der Ätzlöcher erzeugt werden. Auf diese Weise kann z.B. eine monolithische Integration eines mikromechanischen Bauelements mit einer mikroelektronischen Schaltung erfolgen. Die Strukturierung zur Erzeugung der Abscheidungsregion **2-22** geschieht bevorzugt durch ein photolithographisches Verfahren.

[0068] In einem weiteren Schritt, bevorzugt durch photolithographische Strukturierung, wird die dritte Passivierungsschicht **2-20** zur Erzeugung von Ätzlöchern geöffnet und die Ätzlöcher **2-6**, die durch dritte Passivierungsschicht, zu unterätzende Schicht **2-5** und zweite Passivierungsschicht **2-4** hindurchführen, erzeugt ([Fig. 3b](#)). Es folgt die isotrope Ätzung der Opferschicht **2-3** analog zu der in [Fig. 2c](#)) gezeigten Ätzung, so daß unterätzte Schichtelemente **2-8** und Hohlbereiche **2-7** erzeugt werden ([Fig. 3c](#)).

[0069] [Fig. 3d](#)) zeigt schematisch den Ausschnitt des Schichtstapels **2-12** nach dem Abscheiden des Abdeckmaterials **2-9**, das in der vorliegenden Ausführung bevorzugt wiederum Polysilizium ist. Das Abdeckmaterial ist mit dem gleichen Verfahren wie in [Fig. 2d](#)) beschrieben aufgebracht worden. Wegen der dritten Passivierungsschicht **2-20** kann das Abdeckmaterial **2-9** nur auf der zu unterätzenden Schicht **2-5** im Bereich der Abscheidungsregion **2-22** abgeschieden werden, wo es einen elektrisch leitenden Kontaktanschluß **2-24** zur Kontaktierung des elektrisch leitenden unterätzten Schichtelements **2-8** bildet. Durch die Dotierungskonzentration der Abdeckschicht kann weiterhin der elektronische Widerstand des Kontaktanschlusses **2-24** eingestellt werden.

[0070] Außerhalb der Abscheidungsregion **2-22**

kann das Abdeckmaterial **2-9** in dieser Ausführung nur an den Kanten der zu unterätzenden Schicht **2-5**, insbesondere an den Seitenwänden **2-31** der Ätzlöcher und, falls die Opferschicht **2-3** nicht als Passivierung wirkt, auch an den Kanten der zurückgebliebenen Opferschicht **2-3** abgeschieden werden. Auf diese Weise können die Ätzlöcher verschlossen werden, ohne daß die unterätzten Schichtelemente **2-8** durch die Abscheidung des Abdeckmaterials **2-9** dicker gemacht werden.

[0071] Ist wie im vorliegenden Fall das Abdeckmaterial **2-9** identisch mit dem Material der zu unterätzenden Schicht **2-5**, so können damit materialmäßig homogene unterätzte Schichtelemente **2-8** hergestellt werden, wie man sie ohne Ätzlöcher gehabt hätte. Die unterätzten Schichtelemente **2-8** erhalten damit eine bessere mechanische Stabilität und lassen sich leichter weiter prozessieren. Die durch die Erzeugung der Ätzlöcher erlittene mechanische Änderung der zu unterätzenden Schicht kann damit wieder rückgängig gemacht werden.

[0072] **Fig. 4a)** bis **Fig. 4d)** zeigen eine weitere Ausführung der erfindungsgemäßen Verfahren. Der Schichtstapel **2-12** besteht in dieser Ausführung aus dem Substrat **2-1** aus Silizium, darauf aufgebracht der Opferschicht **2-3** aus Siliziumoxid mit einer Dicke von z.B. 300 nm, darauf aufgebracht die zu unterätzende Schicht **2-5** aus z.B. Polysilizium mit einer Dicke von z.B. 400 nm und darauf aufgebracht eine dritte Passivierungsschicht **2-20** aus Siliziumnitrid mit einer Dicke von etwa 60 nm (**Fig. 4a)**). Die Dicke der dritten Passivierungsschicht **2-20** ist so groß gewählt, daß bei der anisotropen Ätzung zur Entfernung einer später zu erzeugenden Passivierung eine Bedeckung der zu unterätzenden Schicht **2-5** durch die Passivierungsschicht **2-20** noch zurückbleibt.

[0073] **Fig. 4b)** zeigt den Schichtstapel **2-12** mit einem Ätzloch **2-6**, das durch die zu unterätzende Schicht **2-5** und die dritte Passivierungsschicht **2-20** hindurchführt. In dieser Ausführung ist der Durchmesser des Ätzloches **2-6** ungefähr 500 nm. Aus später ersichtlichen Gründen sind die Seitenwände **2-31** der Ätzlöcher **2-6** mit einem der Verfahren, die dem Fachmann geläufig sind, trichterförmig schräg geätzt. Der Winkel in dieser Ausführung beträgt etwa 80°–90°.

[0074] **Fig. 4c)** zeigt das mikromechanische Bauelement nach der isotropen Ätzung der Opferschicht **2-3**, die die unterätzten Schichtelemente **2-8** und Teile der Oberfläche des Substrats **2-1** freilegt und so den Hohlbereich **2-7** erzeugt. **Fig. 4d)** zeigt das mikromechanische Bauelement nach der Erzeugung der Passivierung **2-30** aus Nitrid. In dieser Ausführung ist die Passivierung **2-30** etwa 20 nm dick. Die Passivierung zieht sich über die offenen Siliziumoberflächen von Substrat **2-1** und die Oberfläche der

zu unterätzenden Schicht **2-5**.

[0075] **Fig. 4e)** zeigt die Struktur während einer anisotropen Trockenätzung mit einem üblichen Trockenätzgas **2-32**. Die Prozeßführung der Trockenätzung ist so eingestellt, daß die freie Weglänge des Ätzgases (in dieser Ausführung < 300 nm) im Ätzreaktor im Bereich des Substrats so kurz ist, daß die Ätzrate des Trockenätzgases **2-32** im oberen Bereich des Ätzloches **2-6** größer ist als im unteren Bereich des Ätzloches **2-6** und dort wiederum größer als im Hohlbereich **2-7** auf der Oberfläche des Substrats **2-1**. Die Dauer der anisotropen Ätzung ist daher bevorzugt so eingestellt, daß die Passivierung **2-30** im oberen Bereich der Seitenwand des Ätzloches **2-31** weitgehend entfernt ist während die Passivierung auf dem Substrat **2-1** unterhalb des Ätzloches in ausreichender Weise zurückbleibt. Die dritte Passivierungsschicht **2-20** bleibt nach der Trockenätzung dagegen aufgrund ihrer anfänglich großen Schichtdicke als zwar gedünnte, aber immer noch passivierende Schicht erhalten. In der Region unterhalb des Ätzloches ist lediglich eine Stufe **2-33** in der Passivierungsschicht erkennbar.

[0076] **Fig. 4f)** zeigt das mikromechanische Bauelement, nachdem Abdeckmaterial **2-9** aus Silizium, z.B. in einem LPCVD-Verfahren, selektiv abgeschieden wurde. Das Abdeckmaterial ist wieder Polysilizium, das in einem LPCVD-Prozeß, z.B. mit einer Centura HT, mit Hilfe von Dichlorsilan (100 sccm), H₂ (25 slm) und HCl (50 sccm) bei einer Temperatur von etwa 850°C bis 900°C und einem Druck von 798 Pa abgeschieden wird. Das Abdeckmaterial **2-9** scheidet sich selektiv auf den Siliziumoberflächen ab, so daß es weitgehend nur auf der Seitenwand des Ätzloches **2-6** aufwächst. Auf diese Weise können die Ätzlöcher **2-6** verschlossen werden, wobei das Abdeckmaterial **2-9** identisch mit dem Material der zu unterätzenden Schicht **2-5** ist, und die ursprüngliche Schichtdicke der zu unterätzenden Schicht **2-5** erhalten bleibt. Anschließend wird die dritte Passivierungsschicht **2-20** bevorzugt entfernt, so daß die unterätzten Schichtelemente **2-8**, abgesehen von einer dünnen Passivierungsschicht, nur aus Silizium bestehen.

Bezugszeichenliste

| | |
|------------|----------------------------|
| 1-0 | Schichtstapel |
| 1-1 | Substrat |
| 1-2 | Opferschicht |
| 1-3 | zu unterätzende Schicht |
| 1-4 | unterätztes Schichtelement |
| 1-5 | Ätzloch |
| 1-6 | Abdeckmaterial |
| 1-7 | Hohlbereich |
| 1-8 | Abdeckung |
| 2-1 | Substrat |
| 2-2 | erste Passivierungsschicht |
| 2-3 | Opferschicht |

| | |
|-------------|-----------------------------|
| 2-4 | zweite Passivierungsschicht |
| 2-5 | zu unterätzende Schicht |
| 2-6 | Ätzloch |
| 2-7 | Hohlbereich |
| 2-8 | unterätztes Schichtelement |
| 2-9 | Abdeckmaterial |
| 2-10 | Verschuß |
| 2-12 | Schichtstapel |
| 2-20 | dritte Passivierungsschicht |
| 2-22 | Abscheidungsregion |
| 2-24 | Kontaktanschluß |
| 2-30 | Passivierung |
| 2-31 | Seitenwand eines Ätzloches |
| 2-32 | Trockenätzgas |
| 2-33 | Stufe |

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Bauelementes mit unterätzten Schichtelementen mit den folgenden Schritten:

- a) auf ein Substrat wird ein Schichtstapel, der eine Opferschicht und darauf aufgebracht eine zu unterätzende Schicht aufweist, aufgebracht;
- b) durch die zu unterätzende Schicht wird mindestens ein Ätzloch erzeugt;
- c) die Opferschicht wird isotrop geätzt, so daß unterätzte Schichtelemente erzeugt werden;
- d) eine Passivierung wird auf Oberfläche zwischen unterätzten Schichtelementen und Substrat erzeugt;
- e) Abdeckmaterial wird selektiv zu der Passivierung abgeschieden, so daß das Ätzloch geschlossen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Passivierung aus Siliziumoxid oder Siliziumnitrid ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Passivierung auf der Oberseite der unterätzten Schichtelemente vor dem Beschichten mit Abdeckmaterial entfernt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Passivierung auf der Oberseite der unterätzten Schichtelemente durch eine anisotrope Ätzung entfernt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Ätzlöcher trichterförmig schräge Seitenwände aufweisen.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß der anisotrope Ätzprozeß so eingestellt ist, daß die Ätzrate auf der Oberfläche des Substrats um mehr als 10% kleiner ist als die Ätzrate auf der Oberseite der unterätzten Schichtelemente.

7. Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Bauelementes mit unterätzten Schichtelementen mit den folgenden Schritten:

- a) auf ein Substrat wird ein Schichtstapel, der eine erste Passivierungsschicht, darauf aufgebracht eine Opferschicht und darauf aufgebracht eine zu unterätzende Schicht aufweist, aufgebracht
- b) durch die zu unterätzende Schicht wird mindestens ein Ätzloch erzeugt;
- c) die Opferschicht wird isotrop geätzt, so daß unterätzte Schichtelemente erzeugt werden;
- d) Abdeckmaterial wird selektiv zu der ersten Passivierungsschicht abgeschieden, so daß das Ätzloch geschlossen wird.

8. Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Bauelementes mit unterätzten Schichtelementen mit den folgenden Schritten:

- a) auf ein Substrat wird ein Schichtstapel, der eine Opferschicht, darauf aufgebracht eine zweite Passivierungsschicht und darauf aufgebracht eine zu unterätzende Schicht aufweist, aufgebracht;
- b) durch die zu unterätzende Schicht und die zweite Passivierungsschicht wird mindestens ein Ätzloch erzeugt;
- c) die Opferschicht wird isotrop geätzt, so daß unterätzte Schichtelemente erzeugt werden;
- d) Abdeckmaterial wird selektiv zu der zweiten Passivierungsschicht abgeschieden, so daß das Ätzloch geschlossen wird.

9. Verfahren nach Anspruch 7 und 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Schichtstapel die erste Passivierungsschicht, darauf aufgebracht die Opferschicht, darauf aufgebracht die zweite Passivierungsschicht und darauf aufgebracht die zu unterätzende Schicht aufweist.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß auf der zu unterätzenden Schicht eine dritte Passivierungsschicht aufgebracht ist, so daß das Abdeckmaterial selektiv zur dritten Passivierungsschicht abgeschieden wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Abdeckmaterial und zu unterätzende Schicht aus dem gleichen Material sind.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat aus einem Halbleitermaterial, insbesondere Silizium, ist.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Opferschicht aus Siliziumoxid, undotiertem Polysilizium, Siliziumnitrid oder Polygermanium ist.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die zu unterätzende Schicht aus Silizium, insbesondere Poly-

silizium oder epitaktisch gewachsenem Silizium, aus Siliziumnitrid, Siliziumoxid oder Siliziumcarbid ist.

15. Verfahren nach Anspruch 7, sowie nach 9 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Passivierungsschicht aus Siliziumnitrid, Siliziumoxid, Polysilizium oder monokristallinem Silizium ist.

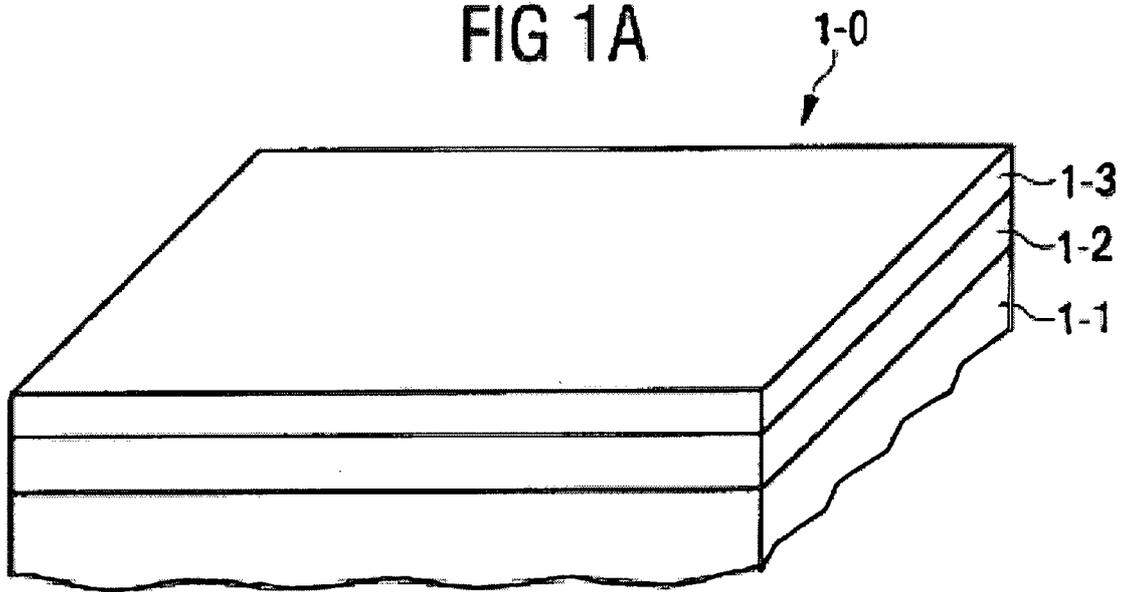
16. Verfahren nach Anspruch 8 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Passivierungsschicht aus Siliziumnitrid oder Siliziumoxid ist.

17. Verfahren nach Anspruch 9 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die erste und zweite Passivierungsschicht weniger als 1000 nm und bevorzugt weniger als 50 nm dick sind.

18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die zu unterätzende Schicht strukturiert wird.

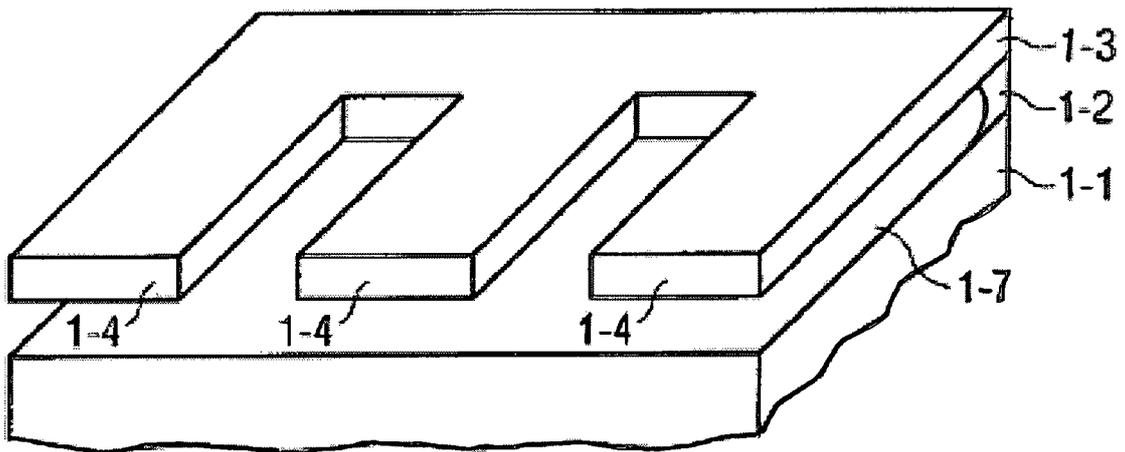
Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

FIG 1A



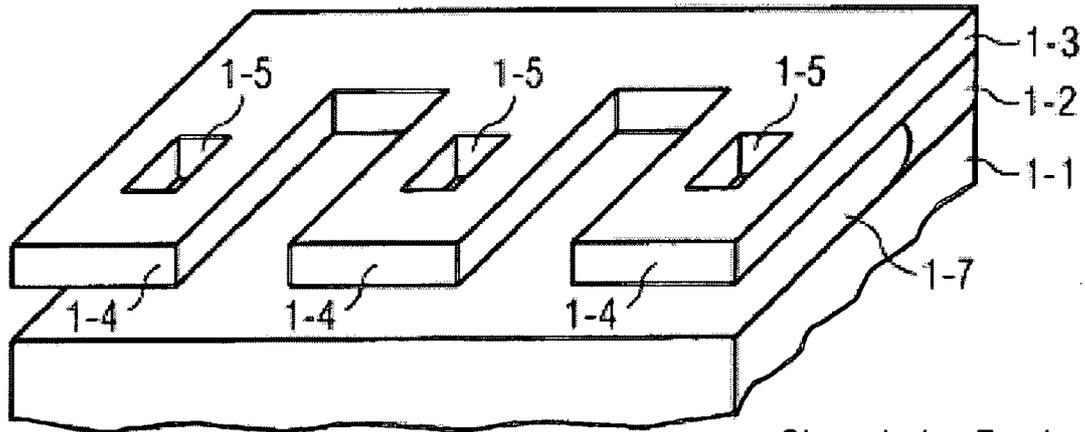
Stand der Technik

FIG 1B



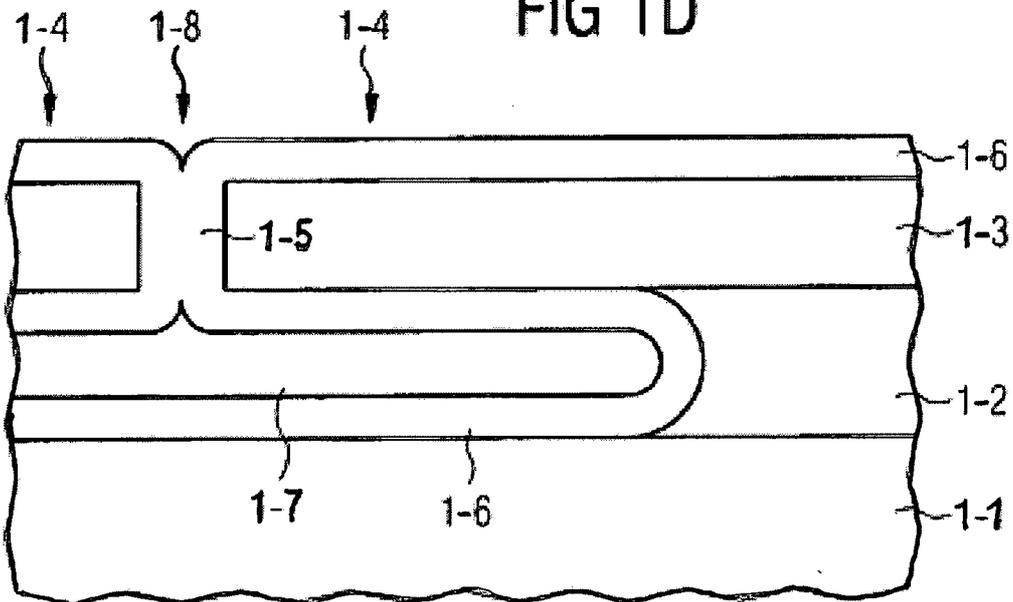
Stand der Technik

FIG 1C

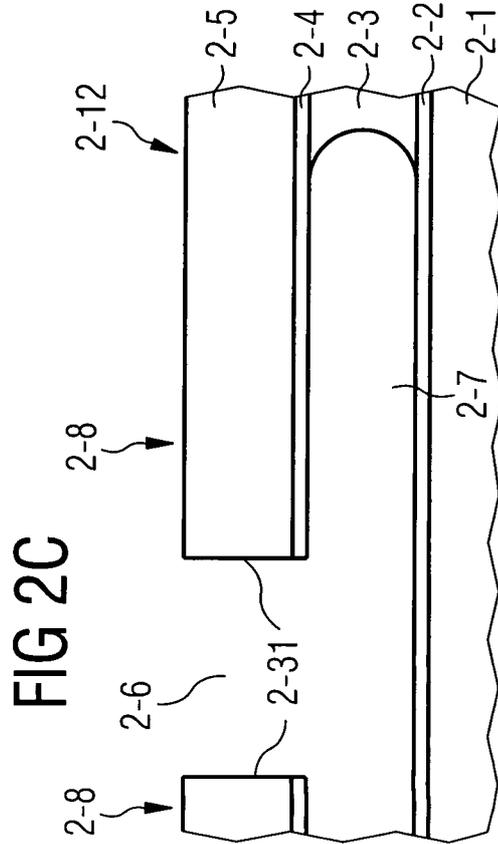
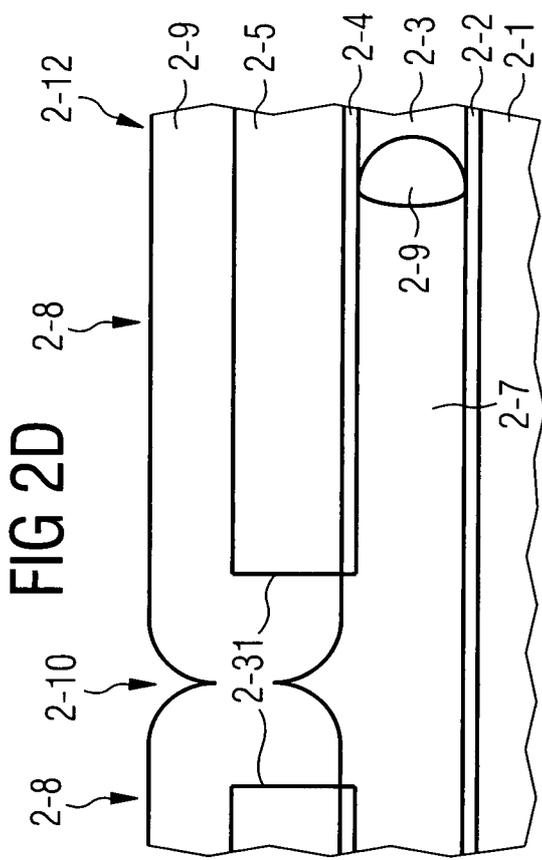
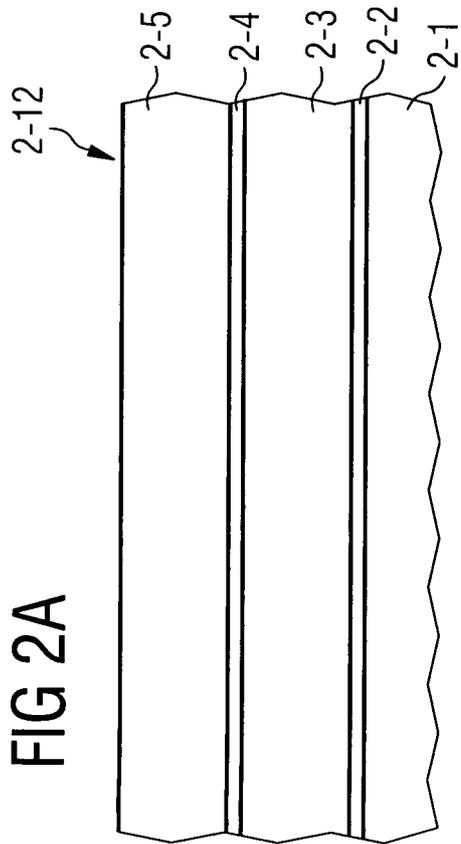
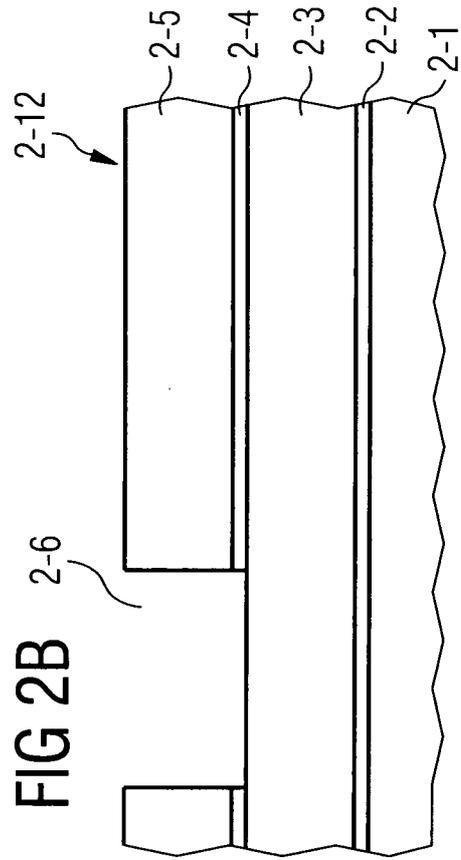


Stand der Technik

FIG 1D



Stand der Technik



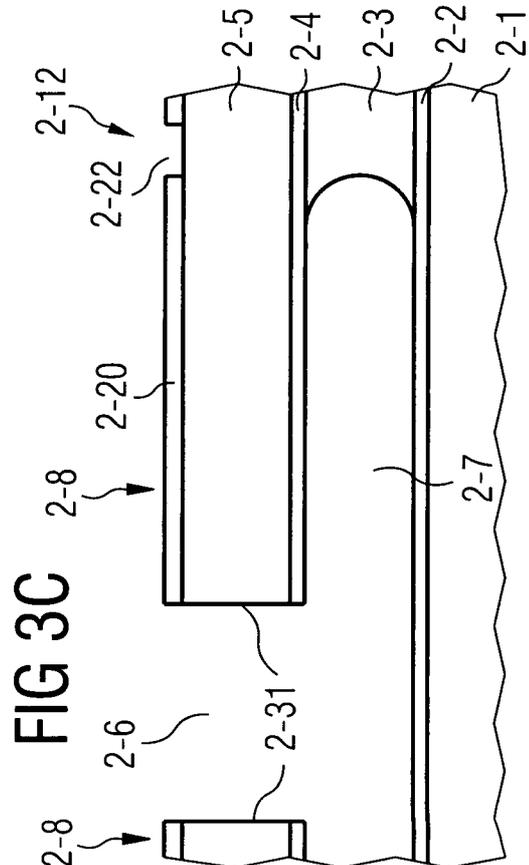
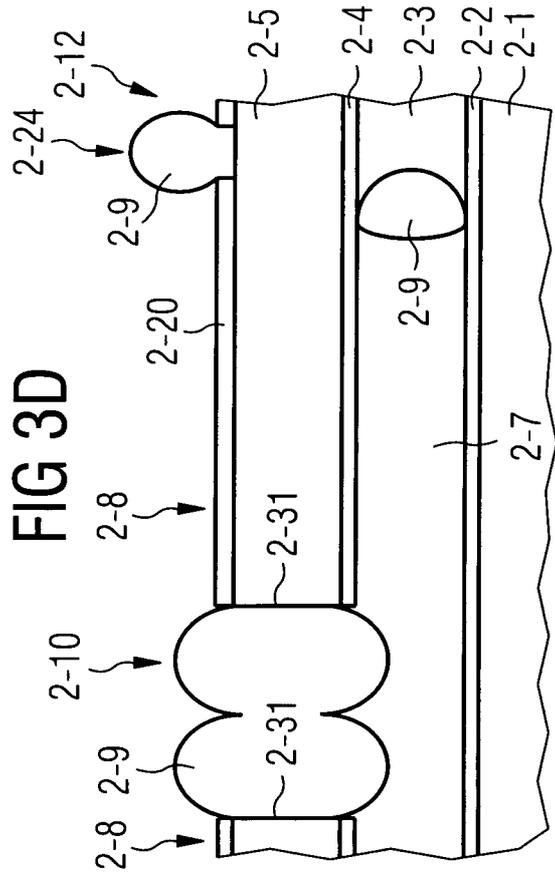
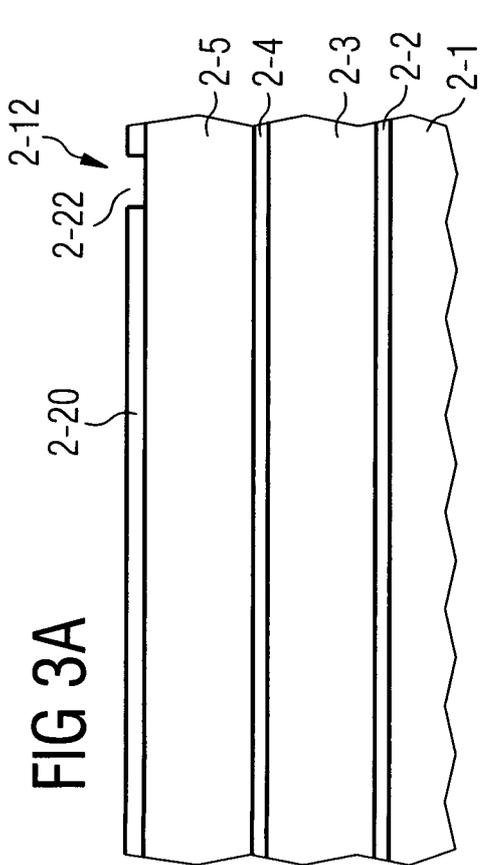
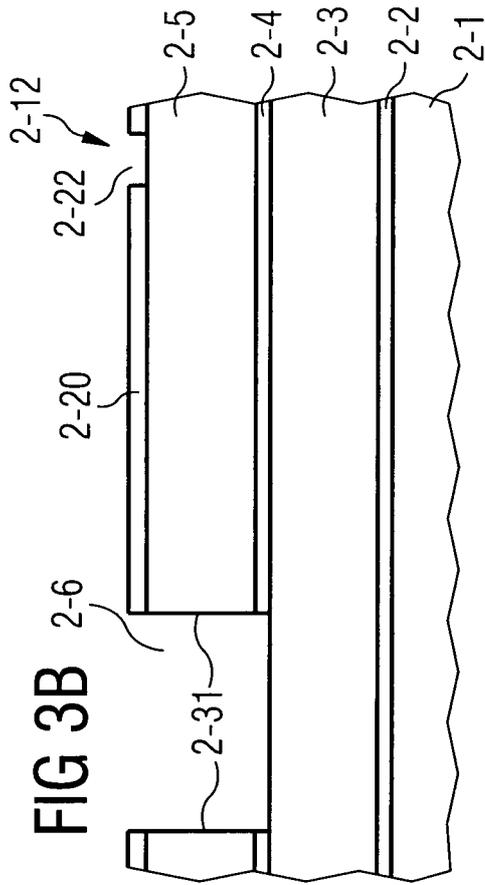


FIG 4A

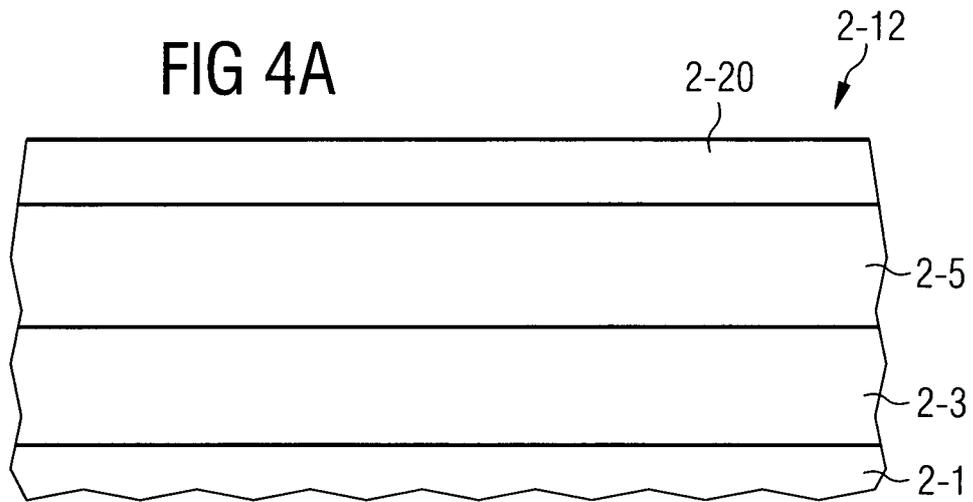


FIG 4B

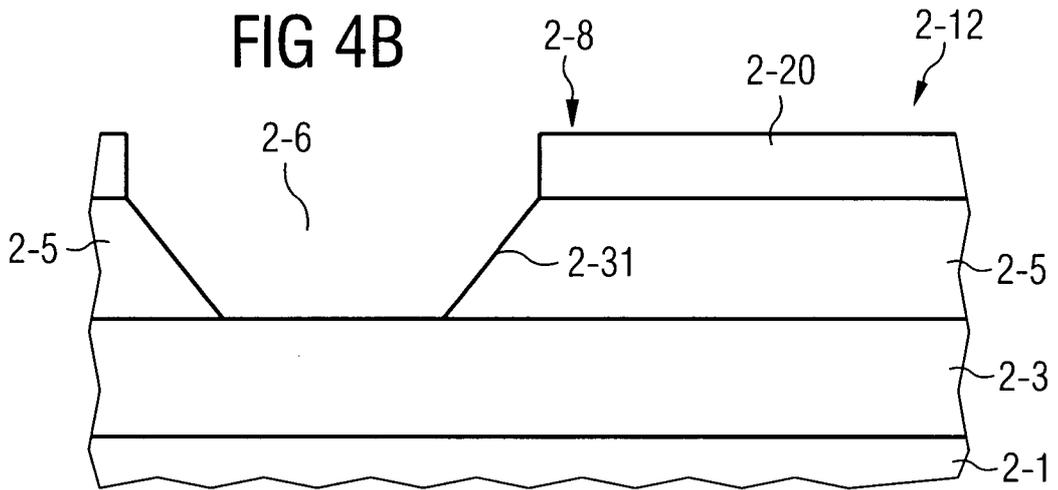


FIG 4C

