

(19)



(11)

EP 3 929 960 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
29.12.2021 Patentblatt 2021/52

(51) Int Cl.:
H01H 57/00 (2006.01) H01H 37/00 (2006.01)
H01H 1/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **20182568.4**

(22) Anmeldetag: **26.06.2020**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)

(72) Erfinder:
• **Raab, Oliver**
94496 Ortenburg (DE)
• **Schwarz, Markus**
80796 München (DE)

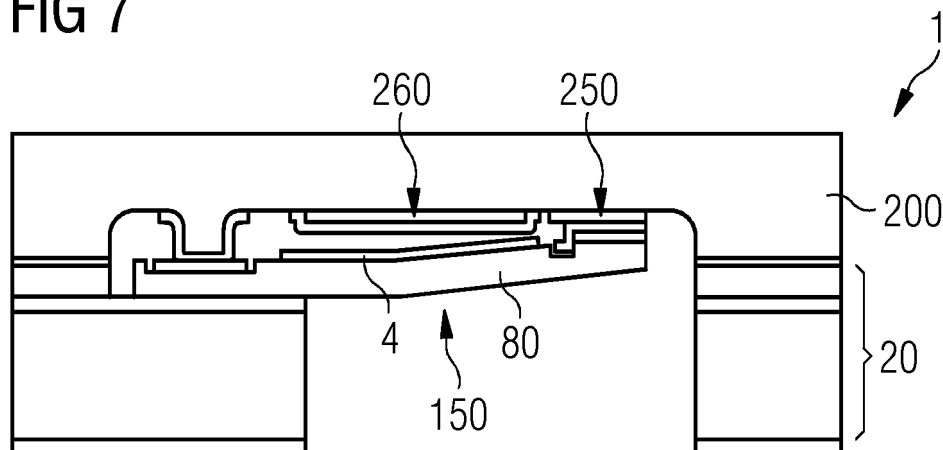
(54) **MEMS-SCHALTER, VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES MEMS-SCHALTERS UND VORRICHTUNG**

(57) MEMS-Schalter (1) mit einem Biegeelement (150) und einem an dem Biegeelement angeordneten Schaltkontakt (120) sowie mit einem Gegenkontakt (250), wobei vom Biegeelement (150) eine Anlagestellung einnehmbar ist, in welcher der Schaltkontakt (120)

am Gegenkontakt (250) in Anlage ist, wobei das Biegeelement (150) in die Anlagestellung vorgespannt ist.

Bei dem Verfahren zur Herstellung eines solchen MEMS-Schalters (1, 300) wird das Biegeelement (150) in die Anlagestellung vorgespannt.

FIG 7



EP 3 929 960 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen MEMS-Schalter sowie ein Verfahren zur Herstellung eines MEMS-Schalters und eine Vorrichtung.

[0002] Es ist bekannt, in logischen Schaltungen, Gattern oder I/O-Baugruppen für SPS-Geräte sogenannte MEMS-Schalter einzusetzen. Solche MEMS-Schalter (MEMS = engl. "Microelectromechanical Systems") sind mikro- oder nanometergroße mechanische Festkörper-Schaltelemente, welche mittels elektrischer Spannung geschaltet werden können.

[0003] Für die oben genannten Einsatzzwecke, insbesondere zur Realisation von Baugruppen für SPS-Geräte mit integrierter Kurzschlussprüfung, wäre es vorteilhaft, eine zur CMOS-Technologie komplementäre topologische Ausgestaltung mikromechanischer Schalterbauteile anzustreben. Allerdings können mittels CMOS-Technologie Schaltelemente eingesetzt werden, welche im Normalzustand durchschalten und welche im bestromten Zustand einen Schaltkontakt unterbrechen. MEMS-Schalter hingegen besitzen Stärken in anderen Anwendungsbereichen.

[0004] Vor diesem Hintergrund ist es daher Aufgabe der Erfindung, einen verbesserten MEMS-Schalter zu schaffen, welcher insbesondere einen verbesserten Betrieb erlaubt. Zudem ist es Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung eines solchen MEMS-Schalters anzugeben. Weiterhin ist es Aufgabe der Erfindung, eine Vorrichtung mit einer Mehrzahl solcher MEMS-Schalter zu schaffen.

[0005] Diese Aufgabe der Erfindung wird mit einem MEMS-Schalter mit den in Anspruch 1 angegebenen Merkmalen sowie mit einem Verfahren mit den in Anspruch 9 angegebenen Merkmalen und mit einer Vorrichtung mit den in Anspruch 13 angegebenen Merkmalen gelöst. Bevorzugte Weiterbindungen der Erfindung sind in den zugehörigen Unteransprüchen, der nachfolgenden Beschreibung und der Zeichnung angegeben.

[0006] Der erfindungsgemäße MEMS-Schalter weist einen Schaltkontakt und ein Biegeelement und einen gegenüber dem Biegeelement angeordneten Gegenkontakt auf. Dabei ist bei dem erfindungsgemäßen MEMS-Schalter vom Biegeelement, eine Anlagestellung einnehmbar, in welcher der Gegenkontakt am Schaltkontakt in Anlage ist. Bei dem erfindungsgemäßen MEMS-Schalter ist das Biegeelement mechanisch in die Anlagestellung vorgespannt.

[0007] Mittels des erfindungsgemäßen MEMS-Schalters lässt sich infolge der Vorspannung in die Anlagestellung eine Schaltung realisieren, in welcher der MEMS-Schalter in seinem Dauerzustand, in welchem er nicht mit einer elektrischen Spannung beaufschlagt ist, einen Schaltkontakt bereitstellt. D.h. der MEMS-Schalter schaltet im nicht mit einer elektrischen Spannung beaufschlagten Dauerzustand durch und unterbricht den Schaltkontakt nur im Falle einer Spannungsbeaufschlagung. Eine solche Eigenschaft, im Normalzustand ohne

Spannungsbeaufschlagung einen Schaltkontakt herzustellen, ist bislang ein Alleinstellungsmerkmal der CMOS-Technologie. Erfindungsgemäß steht diese vorteilhafte Eigenschaft nunmehr auch für MEMS-Schalter zur Verfügung. Auf diese Weise muss keine Wahl getroffen werden zwischen in CMOS-Technologie realisierten Schaltern, welche genau solche Eigenschaften aufweisen, und MEMS-Schaltern, welche diese Eigenschaften herkömmlich nicht aufweisen. Es können folglich mittels des erfindungsgemäßen MEMS-Schalters die aus der CMOS-Technologie bekannten Vorteile und die Vorteile der MEMS-Technologie zugleich genutzt werden.

[0008] Im Gegensatz dazu sind herkömmliche MEMS-Schalter mit einem metallischen und/oder Silizium-basierten Biegeelement, insbesondere einem Biegebalken, realisiert, welcher beispielsweise durch eine elektrische Spannung ausgelenkt wird und dann Schaltkontakt und Gegenkontakt zusammenbringt und kurzschließt. Durch diesen Kurzschluss kann dann ein Strom fließen. Bei dem erfindungsgemäßen MEMS-Schalter hingegen ist es nicht erforderlich, eine elektrische Spannung anzulegen, um einen Stromfluss zu bewerkstelligen. Vielmehr ist bei dem erfindungsgemäßen MEMS-Schalter ein Stromfluss im Normalzustand, also im Dauerzustand ohne Anlegen einer elektrischen Spannung an den MEMS-Schalter, möglich.

[0009] Bei herkömmlichen MEMS-Schaltern lässt sich eine Fertigung des Biegeelements in einer Anlagestellung nicht bewerkstelligen, da es gegenwärtige Fertigungstechnologien nicht erlauben, das Biegeelement im ausgelenkten Zustand zu fertigen und eine Anlage von Schaltkontakt und Gegenkontakt zu gewährleisten. Zudem ist es gegenwärtig nicht möglich, nichtausgelenkte Biegeelemente zu fertigen, welche Schaltkontakte aufweisen, welche beim Abschluss der Fertigung reversibel trennbar an einem Gegenkontakt anliegen.

[0010] Denn zum einen werden gegenwärtig in einem letzten Prozessschritt bei der Fertigung von MEMS-Schaltern Wafer, welche Schaltkontakt und Gegenkontakt tragen, mittels hoher Temperaturen zusammengefügt. Sind Schaltkontakt und Gegenkontakt bereits im Kontakt, so würden diese bei dem letzten Prozessschritt aneinander haftenbleiben oder sogar zusammenlegieren, sodass der herkömmliche MEMS-Schalter überhaupt nicht schaltbar wäre. Schaltkontakt und Gegenkontakt wären dann nicht ohne Weiteres reversibel trennbar ausgebildet.

[0011] Auch sonstige bekannte Fertigungsverfahren gingen mit einer Anhaftung des Biegeelements oder von Schaltkontakt und Gegenkontakt aneinander einher, sodass auch solche alternativen Fertigungsverfahren ausscheiden.

[0012] Vorteilhaft ist bei dem erfindungsgemäßen MEMS-Schalter das Biegeelement ein Biegebalken. MEMS-Schalter mit Biegeelementen in Form von Biegebalken stellen eine etablierte und erprobte Bauart von MEMS-Schaltern dar, sodass der erfindungsgemäße MEMS-Schalter mit bekannten MEMS-Schaltern kom-

patibel ausbildbar ist und - etwa mittels derselben Wafer - gemeinsam oder alternativ zu diesen herstellbar ist.

[0013] Bei dem MEMS-Schalter gemäß der Erfindung ist das Biegeelement mit, insbesondere aus, Halbleitermaterial, insbesondere Silizium, und/oder mit oder aus Metall, und/oder mit oder aus Dielektrika gebildet. Mittels der vorgenannten Materialien ist der MEMS-Schalter mit Materialien fertigbar, welche in der Halbleiterelektronik bekannten, erprobten und mit diesen kompatibel sind. Somit ist der erfindungsgemäße MEMS-Schalter gemeinsam mit konventionellen MEMS-Schaltern betreibbar oder mit denselben Betriebsparametern betreibbar ist wie konventionelle MEMS-Schalter.

[0014] Zweckmäßig ist bei dem erfindungsgemäßen MEMS-Schalter das Biegeelement mittels einer Spannungsbeaufschlagung des MEMS-Schalters aus der Anlagestellung bringbar. Vorzugsweise sind dabei Schaltkontakt und Gegenkontakt voneinander beabstandbar.

[0015] Vorteilhaft kann in dieser Weiterbildung der Erfindung der erfindungsgemäße MEMS-Schalter herangezogen werden, um ein MEMS-Relais ohne dauerhafte Beaufschlagung mit einer elektrischen Spannung zu realisieren. Insbesondere können mittels dieser Weiterbildung des erfindungsgemäßen MEMS-Schalters Logikschaltungen und/oder mikromechanische logische Gatter realisiert werden. Vorzugsweise ist ein erfindungsgemäßer MEMS-Schalter in dieser Weiterbildung zur Kurzschlussmessung in einer SPS-Baugruppe oder zur Entladung einer kapazitiven Last nach Ausschalten einer Versorgungsspannung nutzbar

[0016] Geeigneterweise weist der MEMS-Schalter ein Vorspannelement auf, das ausgebildet und angeordnet ist, das Biegeelement mechanisch vorzuspannen. Vorteilhafter Weise ist das Vorspannelement an dem Biegeelement angeordnet. Auf diese Art lässt sich die mechanische Vorspannung mittels des Vorspannelements einfach auf das Biegeelement anwenden.

[0017] Bei dem erfindungsgemäßen MEMS-Schalter ist das Vorspannelement bevorzugt mit einer an dem Biegeelement anliegenden Schicht gebildet. Vorzugsweise ist die Schicht mit einem stringierenden Material gebildet, also einem Material, das eine Zugspannung aufweist. Auf diese Weise kann eine unter Zugspannung stehende Schicht das Biegeelement, an welchem die Schicht angeordnet ist, mechanisch vorspannen und somit dieses bei ansonsten fehlenden Krafteinwirkungen auf das Biegeelement auslenken. Alternativ oder zusätzlich kann die an dem Biegeelement angeordnete Schicht eine Druckspannung aufweisen. Auch auf diese Weise kann die unter Druckspannung stehende Schicht das Biegeelement vorspannen und dieses bei ansonsten fehlender Krafteinwirkung auf das Biegeelement auslenken.

[0018] Bei dem MEMS-Schalter gemäß der Erfindung ist das Vorspannelement bevorzugt mit einem Material gebildet, welches einen Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweist, der sich von demjenigen des Materials des Biegeelements um mehr als $20 \cdot 10^{-6}/K$ unterscheidet. Unter einem Wärmeausdehnungskoeffizienten im Sinne

der vorliegenden Erfindung ist geeignet ein Längenausdehnungskoeffizient zu verstehen. Auf diese Weise lässt sich das Vorspannelement, insbesondere eine Schicht, in erwärmten Zustand an dem Biegeelement anordnen, sodass bei Abkühlung von Biegeelement und Vorspannelement aufgrund der unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten von Schicht und Biegeelement unterschiedliche Schrumpfungen des Materials von Vorspannelement und Biegeelement erfolgen. Sind Vorspannelement, insbesondere die Schicht, und das Biegeelement aneinander angeordnet, so kann eine infolge der unterschiedlichen Schrumpfung bestehende Zug- oder Druckspannung des Vorspannelements eine mechanische Vorspannung des Biegeelements bewerkstelligen.

[0019] Vorzugsweise ist bei dem MEMS-Schalter das Vorspannelement mit einem Siliziumnitrid und/oder mit einem Silizium-Oxynitrid und/oder einem Siliziumoxid, vorzugsweise Siliziumdioxid, und/oder Metall, insbesondere Gold, und/oder mit piezoelektrischem Material und/oder einem Polymer und/oder einer, insbesondere partiellen, Dotierung und/oder einem elektrischen Isolator, insbesondere Aluminiumoxid und/oder Galliumoxid gebildet.

[0020] Vorteilhaft bilden Silizium-Oxynitrid und/oder Siliziumoxid und/oder Siliziumdioxid und/oder Gold ein stringierendes Material, wenn dieses bei erhöhter Temperatur an dem Biegeelement angeordnet wird. Bei Abkühlung bilden die vorgenannten Materialien Zugspannungen oder Druckspannung aus, welche das Biegeelement vorspannen.

[0021] Alternativ oder zusätzlich kann das Biegeelement mittels piezoelektrischen Materials vorgespannt werden. Dazu wird zweckmäßig das piezoelektrische Material insbesondere schichtartig an dem Biegeelement angeordnet. Besonders bevorzugt bildet das piezoelektrische Material eine piezoelektrische Schichtfolge wie sie von Piezostapeln bekannt ist.

[0022] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung eines MEMS-Schalters nach einem der vorhergehenden Ansprüche wird das Biegeelement in die Anlagestellung mechanisch vorgespannt.

[0023] Vorzugsweise wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren das Biegeelement während der Fertigung zunächst mittels einer Fixierung in seiner Position gehalten, danach das Biegeelement mechanisch vorgespannt und nachfolgend die Fixierung aufgehoben. Auf diese Weise kann die Vorspannung des Biegeelements besonders leicht erfolgen. Insbesondere kann eine Fixierung derart realisiert werden, dass das Biegeelement subtraktiv gefertigt wird und, bevor das Biegeelement, vorzugsweise abschließend, subtraktiv gefertigt wird, d.h. freigestellt wird, vorgespannt wird. Dann wird das Biegeelement bis dessen Fertigung abgeschlossen ist, infolge dessen Anbindung an Teile, von welchen es erst noch getrennt werden muss, in Position gehalten, d.h. fixiert.

[0024] Vorzugsweise wird bei dem Verfahren gemäß der Erfindung das Biegeelement, insbesondere mit ei-

nem Silicon-on-Insulator-Substrat, subtraktiv gefertigt.

[0025] Auf diese Weise kann das Biegeelement bei seiner Fertigung insbesondere derart fixiert werden, dass das Biegeelement noch vor seiner Freistellung, d.h. vor dem Abschluss der subtraktiven Fertigung des Biegeelements aus einem Volumenmaterial, d.h. einem Material, aus welchem das Biegeelement subtraktiv gefertigt wird, vorgespannt wird. Auf diese Weise ist das Biegeelement bis zu seiner endgültigen Freistellung fixiert, sodass es sich leicht vorspannen und prozessieren lässt.

[0026] Weiterhin vorteilhaft weist das Silicon-on-Insulator-Substrat eine Schicht eines Isolators auf. Dieser Isolator, vorzugsweise Siliziumdioxid, kann nun vorteilhaft als Vorspannelement an dem Biegeelement dienen, welches dieses vorspannt. Vorteilhaft ist in dieser Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens ein zusätzliches Vorsehen eines Vorspannelements nicht erforderlich, um das Biegeelement vorzuspannen. Vielmehr kann das Biegeelement mittels einer Siliziumschicht des Silicon-on-Insulator-Substrates gefertigt werden, während das Vorspannelement mittels eines Isolators des Silicon-on-Insulator-Substrats gefertigt wird.

[0027] Besonders bevorzugt wird bei der subtraktiven Fertigung des Biegeelements der Isolator an dem Biegeelement belassen, sodass das Vorspannelement nicht eigens an dem Biegeelement angeordnet werden muss. Der Isolator des Silicon-on-Insulator-Substrats steht herstellungsbedingt regelmäßig unter-Druckspannung, so dass der Isolator als Vorspannelement dienen kann. Wird das Biegeelement also bei dessen subtraktiver Fertigung aus dem Silicon-on-Insulator-Substrat nicht vom Isolator getrennt, so kann der Isolator das Biegeelement vorspannen. Wird die subtraktive Fertigung des Biegeelements abgeschlossen, so wird das Biegeelement freigestellt und das Biegeelement kann sich aufgrund der Vorspannung infolge des Isolators auslenken. Weiterhin ist es denkbar vor Freistellung des Balkens auf der rückwärtig angeordneten Seite, als Ersatz oder Ergänzung des Silicon-on-Insulator Isolators, ein alternatives Material aufzubringen, welches unter Spannung steht und in Folge dessen nach der Freistellung des Biegeelements eine Auslenkung des Balkens bewirkt.

[0028] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird das Biegeelement bevorzugt, bevor es subtraktiv gefertigt wird, vorgespannt. Auf diese Weise ist das Biegeelement, bevor es freigestellt ist, d.h. bevor die subtraktive Fertigung des Biegeelements abgeschlossen ist, fixiert.

[0029] Zweckmäßig wird bei dem Verfahren gemäß der Erfindung ein Vorspannelement als Schicht an dem Biegeelement angeordnet. Auf diese Weise kann die Vorspannung einer an dem Biegeelement als Vorspannelement angeordneten Schicht das Biegeelement wie oben beschrieben leicht auslenken.

[0030] Geeigneterweise wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren das Vorspannelement bei einer Temperatur an dem Biegeelement oder dem Material des Biegeelements angeordnet, welche die Betriebstemperatur

des MEMS-Schalters und/oder die Temperatur von zumindest 293 Kelvin um mindestens 40 Kelvin, vorzugsweise mindestens 60 Kelvin und insbesondere mindestens 80 Kelvin, überschreitet. Auf diese Weise lässt sich das Vorspannelement, insbesondere eine Schicht, in erwärmten Zustand an dem Biegeelement anordnen, so dass bei Abkühlung von Biegeelement und Vorspannelement aufgrund eines vorzugsweise unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten unterschiedliche Schrumpfungen des Materials von Vorspannelement und Biegeelement erfolgen. Sind Vorspannelement, insbesondere die Schicht, und das Biegeelement aneinander angeordnet, so kann eine infolge der unterschiedlichen Schrumpfung bestehende Zug- oder Druckspannung des Vorspannelements eine Vorspannung des Biegeelements leicht bewerkstelligen.

[0031] Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist vorzugsweise eine Logikschaltung und/oder ein mikromechanisches logisches Gatter und/oder eine analoge Schaltung oder weist eine Logikschaltung und/oder ein mikromechanisches logisches Gatter und/oder eine analoge Schaltung auf. Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist einen solchen MEMS-Schalter wie zuvor beschrieben und/oder hergestellt nach einem Verfahren wie zuvor beschrieben auf.

[0032] Nachfolgend wird die Erfindung anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert.

[0033] Es zeigen:

Fig. 1 eine Ausbildung eines Vorspannelements an einem Halbleitermaterial zur Fertigung eines erfindungsgemäßen MEMS-Schalters schematisch im Längsschnitt,

Fig. 2 bis 4 eine konventionelle Herstellung eines konventionellen MEMS-Schalters in aufeinanderfolgenden Prozessstadien schematisch im Längsschnitt,

Fig. 5 bis 7 ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Herstellung eines erfindungsgemäßen MEMS-Schalters mit einem Vorspannelement gem. Fig. 1 in aufeinanderfolgenden Prozessstadien schematisch in Längsschnitt sowie

Fig. 8 bis 10 ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Herstellung eines erfindungsgemäßen MEMS-Schalters mit einem Vorspannelement gem. Fig. 1 in aufeinanderfolgenden Prozessstadien schematisch in Längsschnitt.

[0034] Die erfindungsgemäße Fertigung des erfindungsgemäßen MEMS-Schalters 1 basiert auf der Fertigung eines konventionellen MEMS-Schalters wie in

DE102017215236A1 offenbart. Der erfindungsgemäße MEMS-Schalter wird wie in der vorbezeichneten Druckschrift gefertigt, soweit es hier nicht abweichend beschrieben ist.

[0035] Der erfindungsgemäße MEMS-Schalter 1 umfasst ein Biegeelement in Gestalt eines Biegebalkens, welcher mit einem Halbleitermaterial, im dargestellten Fall Silizium, gebildet ist. Die Funktionsweise einer Vorspannung eines Halbleitermaterials wird zunächst anhand der in Fig. 1 dargestellten Anordnung 2 erläutert: Die Anordnung 2 umfasst eine mit Silizium gebildete Halbleiterschicht 3, an welcher ein Vorspannelement in Gestalt einer Schicht 4 angeordnet ist. Die Schicht 4 ist auf der Halbleiterschicht 3 vollflächig aufgetragen.

[0036] Dabei weist die Schicht 4 eine hohe innere Zugspannung auf, welche die Halbleiterschicht 3 vorspannt. Die Zugspannung der Schicht 4 ist mittels thermischer Ausdehnung beim Auftragen oder durch den Prozess entstehende innere Spannungen der Schicht 4 realisiert: Die Schicht 4 ist mit Gold gebildet, welche bei mindestens 40 Grad, in weiteren Ausführungsbeispielen bei mindestens 100 Grad, oberhalb der Betriebstemperatur des MEMS-Schalters auf die Halbleiterschicht 3 aufgebracht ist. Infolge der Abkühlung der Schicht 4 zieht sich diese Schicht 3 in Richtungen parallel zur Grenzfläche zwischen Schicht 4 und Halbleiterschicht 3 zusammen.

[0037] Infolge des Zusammenziehens übt die mit Gold gebildete Schicht 4 eine Vorspannung auf die mit Silizium gebildete Halbleiterschicht 3 aus, welche sich infolge des Zusammenziehens verbiegt und um die mit gebildete Schicht 4 krümmt.

[0038] Anstelle einer mit Gold gebildeten Schicht 4 kann auch eine mit anderem Material, beispielsweise mit Silizium-Oxynitrid oder mit Metall gebildete Schicht, als Vorspannelement dienen.

[0039] Auch kann in weiteren Ausführungsbeispielen anstatt eines Materials mit Zugspannung ein Material unter Druckspannung, z.B. Siliziumdioxid, auf einer abgewandten Seite der Halbleiterschicht 3 vorgesehen sein.

[0040] Wie in den Figuren 2 bis 4 dargestellt wird zur Herstellung von MEMS-Schaltern wie sie aus DE102017215236A1 bekannt sind ein SOI-Substrat 10 ("Silicon-On-Insulator"-Substrat) herangezogen, welches eine Silizium-Isolator-Silizium-Schichtfolge 20 aufweist, die auf einer mit Glas gebildeten Isolationsschicht 30 angeordnet ist. Die Isolationsschicht 30 und ein schichtartiger Isolator 40 der Silizium-Isolator-Silizium-Schichtfolge 20 des SOI-Substrats 10 sind jeweils aus Glas, d.h. Siliziumdioxid, gebildet. Somit weist das SOI-Substrat 10 eine Schichtfolge auf, die eine homogene Glasschicht 30 (in Fig. 2 zuunterst dargestellt), darauf aufbauend eine 300 Mikrometer dicke homogene Siliziumschicht 70, darauffolgend den als Glasschicht ausgebildeten einen Mikrometer dicken Isolator 40 sowie abschließend eine 10 Mikrometer dicke, äußere Siliziumschicht 80 aufweist.

[0041] Zur Fertigung von Biegebalken der MEMS-Schalter wird auf das SOI-Substrat 10 zunächst eine Me-

tallisierung 110 aufgebracht, welche in eine wannenförmige Vertiefung in der Siliziumschicht 80 eingebracht wird. Die wannenförmige Vertiefung bildet einen flachen, sich senkrecht zur Zeichenebene erstreckenden Graben. Die Metallisierung 110 schließt mit der Siliziumschicht 80 ab. Die Metallisierung 110 ist als 300 Nanometer dicke Goldschicht ausgebildet. Die Metallisierung 110 unterscheidet sich in den geometrischen Details von der Metallisierung 110 der in den Fig. 2 bis 4 dargestellte MEMS-Schalter von jenem der Druckschrift DE 102017215236 A1, in welcher anstelle einer in einem wannenförmigen Graben befindlichen Metallisierung 110 eine Metallisierung in zwei zueinander parallelen Streifen und auf einem zwischenliegenden Bereich befindlich ist. Im Übrigen entspricht der in Druckschrift DE 102017215236 A1 dargestellte MEMS-Schalter dem hier gezeigten MEMS-Schalter.

[0042] Zusätzlich ist auch ein von der Metallisierung 110 entfernt liegender Bereich der Siliziumschicht 80 an seiner nach oben gewandten Oberfläche mittels einer Glasschicht 90 versehen und mittels einer 300 Nanometer dicken Goldschicht 120 metallisiert. Die Goldschicht 120 wird wie an sich bekannt mittels Lithographie und einem nachfolgenden Ätzschritt aufgetragen. Die beiden Goldschichten 110, 120 werden bei dem MEMS-Schalter eine Anbindung (Goldschicht 110) und ein freies Ende (Goldschicht 120) des Biegebalkens bilden.

[0043] Zudem liegt das SIO-Substrat 10 wie in Fig. 2 dargestellt räumlich strukturiert vor: Dazu sind angrenzend an die Goldschichten 110, 120 an ihrer der jeweils anderen Goldschicht 110, 120 fernen Seite sich senkrecht zur Zeichenrichtung erstreckende Spalte 130, 140 in äußere Siliziumschicht 80 eingebracht, welche in Dickenrichtung d bis an den Isolator 40 angrenzend in das SIO-Substrat 10 einragen. Die Spalte verlaufen zur wannenförmigen Vertiefung und der darin liegenden Metallisierung 110 parallel und senkrecht zur Zeichenebene.

[0044] Dazu ist die äußere Siliziumschicht 80 mittels des DRIE-Verfahrens (DRIE = engl.: "Deep reactive-ion-etching") zur Bildung der Spalte 130, 140 zuvor entfernt worden.

[0045] Nachfolgend wird wie in Fig. 3 dargestellt die Isolationsschicht 30 und die Siliziumschicht 70 und der Isolator 40 mittels Lithographie und aufeinanderfolgender Ausführung des RIE-Verfahrens, des DRIE-Verfahrens und des RIE-Verfahrens in demjenigen Bereich des SIO-Substrats 10 entfernt, welcher an dem an der Goldschicht 120 liegenden Spalt 140 sowie an der Goldschicht 120 und dem zwischen Goldschicht 110 und Goldschicht 120 liegenden Bereich der äußeren Siliziumschicht 80 angrenzt.

[0046] Folglich ist mittels der die Goldschichten 110 und 120 tragenden äußeren Siliziumschicht 80 der Biegebalken 150 ausgebildet, dessen freies Ende mit der Goldschicht 120 gebildet ist und welcher mittels des Isolators 40 nah der Goldschicht 110 an dem SIO-Substrat angebunden ist. Dieser letzte Schritt des Ausbildens des Biegebalkens 150 wird nachfolgend auch als "Freistel-

len" des Biegebalkens bezeichnet.

[0047] Infolge des Spalts 130 ist der Biegebalken von übrigen Bereichen der äußeren Siliziumschicht 80 mechanisch entkoppelt.

[0048] An die äußere Siliziumschicht 80 können nun wie in Fig. 4 dargestellt in einem nachfolgenden Fertigungsschritt weitere Teile des MEMS-Schalters angebunden werden können.

[0049] Bei dem Biegebalken 150 bildet die Goldschicht 120 einen ersten Kontakt des Biegebalkens 150 des MEMS-Schalters. Der zum ersten Kontakt des Biegebalkens 150 korrespondierende Gegenkontakt wird erfindungsgemäß mit einem Glaswafer 200 gebildet:

Dazu wird ein 700 Mikrometer dicker Glaswafer 200 herangezogen, in welchen zwei wannenförmige Gräben 210, 220 eingebracht werden, welche zueinander parallel und senkrecht zur Zeichenebene verlaufen. Der Graben 220 ist dabei um ein Mehrfaches so breit wie der Graben 210. Der zwischen den beiden Gräben 210, 220 befindliche Bereich des Glaswafers 200 ist mit einer Metallisierung 255 versehen. Zusätzlich wird auch ein dem schmaleren Graben 210 ferner Randbereich eines Bodens des breiteren Grabens 220 mit einer Metallisierung 250 versehen, welche einen Gegenkontakt für den Kontakt des Biegebalkens 150 bildet. Beabstandet von der Metallisierung 250 ist der dem schmaleren Graben 210 nähere Bereich des Bodens des breiteren Grabens 220 mit einer Gate-Metallisierung 260 versehen, welche nach Fertigstellung des MEMS-Schalters der Auslenkung des Biegebalkens 150 mittels Speisung mit Steuersignalen dient.

[0050] Der erfindungsgemäße MEMS-Schalter 1 wird nun grundsätzlich mittels derselben Fertigungsverfahren wie der herkömmliche MEMS-Schalter hergestellt. Allerdings bestehen einige wenige Unterschiede bei der Herstellung wie nachfolgend erläutert:

Bevor der Biegebalken 150 wie oben beschrieben freigestellt wird, wird der Biegebalken wie in Fig. 5 dargestellt mit der Schicht 4 als Vorspannelement versehen. Wie in Fig. 1 dargestellt besteht die Schicht 4 aus Gold. Diese Schicht 4 wird wie in Fig. 1 erläutert im erwärmten Zustand, im dargestellten Ausführungsbeispiel um 40 Grad gegenüber der Betriebstemperatur des MEMS-Schalters 1 erwärmt, auf der Siliziumschicht 80 des Biegebalkens 150 aufgetragen. Die Schicht 4 weist dabei eine Dicke in Dickenrichtung d von 1.5 Mikrometern auf. In weiteren, nicht eigens dargestellten Ausführungsbeispielen kann die Schicht auch eine abweichende Dicke, etwa von einem Mikrometer oder von 2 Mikrometern, aufweisen. Die Schicht 4 kann in weiteren Ausführungsbeispielen zudem mit Siliziumnitrid und/oder Silizium-Oxynitrid oder weiteren Materialien gebildet werden. Im Falle von Siliziumnitrid wird die Schicht 4 infolge der Abscheidung mit einer Vorspannung versehen.

[0051] Die Schicht 4 kühlt sich nach dem Auftragen auf die Siliziumschicht 80 des Biegebalkens 150 ab. Da in dem in Fig. 5 dargestellten Fertigungsschritt der Biegebalken 150 noch gar nicht freigestellt ist, kann die

Schicht 4 den Biegebalken noch gar nicht auslenken.

[0052] Nachfolgend wird vor dem Freistellen des Biegebalkens 150 der Glaswafer 200 mit der den Gegenkontakt bildenden Metallisierung 250 angebunden. Auf diese Weise kann der mit der Goldschicht 120 gebildete Kontakt nach der Freistellung des Biegebalkens 150 mit dem mit der Metallisierung 250 gebildeten Gegenkontakt zur Anlage kommen.

[0053] Nach der Anbindung des Glaswafers 200 wird nun der Biegebalken wie anhand von Fig. 3 gezeigt freigestellt. Dazu wird wie zuvor beschrieben die Isolationschicht 30 und die Siliziumschicht 70 und der Isolator 40 mittels Lithographie und aufeinanderfolgender Ausführung des RIE-Verfahrens, des DRIE-Verfahrens und des RIE-Verfahrens in demjenigen Bereich des SIO-Substrats 10 entfernt, welcher an dem an der Goldschicht 120 liegenden Spalt 140 sowie an der Goldschicht 120 und dem zwischen Goldschicht 110 und Goldschicht 120 liegenden Bereich der äußeren Siliziumschicht 80 angrenzt.

[0054] Nach dem Freistellen des Biegebalkens 150 wird der Biegebalken 150 infolge der Schicht 4 derart in der Darstellung gem. Fig. 7 nach oben gebogen, dass der Kontakt 120 mit dem mit der Metallisierung 250 gebildeten Gegenkontakt zur Anlage kommt. Ohne die Schicht 4 würde sich der Biegebalken 150 wie beim herkömmlichen MEMS-Schalter der Figuren 2 bis 4 in einer vorspannungsfreien Ruhelage verbleiben, d.h. in einer Ausrichtung des Biegebalkens 150 mit seiner Längsmittelachse in horizontaler Richtung.

[0055] In einem weiteren in den Figuren 8 bis 10 dargestellten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen MEMS-Schalters 300 wird keine zusätzliche Schicht 4 oberseitig auf den Biegebalken 150 aufgetragen. Stattdessen wird der ohnehin bereits durch das Fertigungsverfahren bedingt an der Siliziumschicht 80 des Biegebalkens 150 angeordnete Isolator 40 genutzt: Anders als im anhand der Figuren 5 bis 7 erläuterten Ausführungsbeispiel wird dazu der schichtartige Isolator 40 der Silizium-Isolator-Silizium-Schichtfolge 20 des SOI-Substrats 10 beim Freistellen des Biegebalkens 150 nicht entfernt. Stattdessen bleibt der Isolator 40 wie in Fig. 10 dargestellt beim Freistellen des Biegebalkens 150 erhalten.

[0056] Bei der Fertigung des SOI-Substrats 10 wird das Glas des Isolators 40 mit einer hohen Druckspannung zwischen die Siliziumschichten 70, 80 eingebracht, sodass der Isolator 40 bei seiner Verwendung zur Fertigung eines MEMS-Schalters 1 wie oben beschrieben ein Vorspannelement mit einer deutlichen Druckspannung bildet. Nach dem Freistellen des Biegebalkens 150 mit dem Isolator 40 übt der Isolator 40 auf den Biegebalken 150 eine Vorspannung aus, mittels welcher die Goldschicht 120 des Biegebalkens mit der Metallisierung 250 des Glaswafers 200 zur Anlage kommt.

[0057] In einem weiteren Ausführungsbeispiel ist der Biegebalken 150 der erfindungsgemäßen MEMS-Schalter 1, 300 - anders als in Fig. 2 bis 10 dargestellt - strom-

leitend ausgebildet. Dazu ist der Biegebalken 150 nicht lediglich mit einer Metallisierung 120 am freien Ende des Biegebalkens 150 versehen, sondern der Biegebalken 150 ist entlang seiner gesamten Längserstreckung (d.h. entlang seiner gesamten Erstreckung in Richtung der flächigen Erstreckungen der Schichten der Silizium-Isolator-Silizium-Schichtfolge 20, also senkrecht zur Dickenrichtung d) metallisiert.

[0058] Nicht explizit in der Zeichnung dargestellt ist eine erfindungsgemäße Vorrichtung in Gestalt einer Logikschaltung, welche mikromechanische logische Gatter aufweist, die mit erfindungsgemäß hergestellten erfindungsgemäßen MEMS-Schaltern (1, 300) wie vorhergehend beschrieben aufgebaut sind.

Patentansprüche

1. MEMS-Schalter (1) mit einem Biegeelement (150) und einem an dem Biegeelement angeordneten Schaltkontakt (120), wobei vom Biegeelement (150) eine Anlagestellung einnehmbar ist, in welcher der Schaltkontakt (120) am Gegenkontakt (250) in Anlage ist, wobei das Biegeelement (150) in die Anlagestellung vorgespannt ist.

2. MEMS-Schalter nach dem vorhergehenden Anspruch, bei welchem das Biegeelement (150) ein Biegebalken ist.

3. MEMS-Schalter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem das Biegeelement (150) mit, insbesondere aus, Halbleitermaterial, insbesondere Silizium, und/oder Metall und/oder einem oder mehreren Dielektrika gebildet ist.

4. MEMS-Schalter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem das Biegeelement (150) mittels Spannungsbeaufschlagung des MEMS-Schalters (1, 300) aus der Anlagestellung bringbar ist und insbesondere Schaltkontakt (120) und Gegenkontakt (150) voneinander beabstandbar sind.

5. MEMS-Schalter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welcher ein Vorspannelement (4) aufweist, das ausgebildet und angeordnet ist, das Biegeelement (150) vorzuspannen.

6. MEMS-Schalter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem das Vorspannelement (4) mit einer an dem Biegeelement (150) anliegenden Schicht gebildet ist.

7. MEMS-Schalter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem das Vorspannelement (4) mit einem Material gebildet ist, welches einen Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweist, welcher sich von demjenigen des Materials des Biegeele-

ments (150) um mehr als $20 \cdot 10^{-6}/K$ unterscheidet.

8. MEMS-Schalter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem das Vorspannelement (4) mit einem Siliziumnitrid und/oder einem Silizium-Oxynitrid und/oder Siliziumoxid und/oder piezoelektrischem Material und/oder einem Polymer und/oder einer, insbesondere partiellen, Dotierung und/oder einem oder mehreren elektrischen Isolatoren, insbesondere Aluminiumoxid und/oder Galliumoxid, gebildet ist.

9. Verfahren zur Herstellung eines MEMS-Schalters nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem das Biegeelement (150) in die Anlagestellung vorgespannt wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem das Biegeelement (150), insbesondere mit einem Silicon-on-Insulator-Substrat (10), subtraktiv gefertigt wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem das Biegeelement (150), bevor es subtraktiv gefertigt wird, mit dem Vorspannelement (4) versehen wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem das Vorspannelement (4) als Schicht an dem Biegeelement (150) angeordnet wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem das Vorspannelement (4) bei einer Temperatur an dem Biegeelement (150) oder dem Material des Biegeelements (150) angeordnet wird, welche die Betriebstemperatur des MEMS-Schalters (1) und/oder die Temperatur von zumindest 293 Kelvin um mindestens 40 Kelvin, vorzugsweise mindestens 60 Kelvin und insbesondere mindestens 80 Kelvin, überschreitet.

13. Vorrichtung, vorzugsweise eine Logikschaltung und/oder ein mikromechanisches logisches Gatter und/oder analoge Schaltung oder umfassend eine Logikschaltung und/oder ein mikromechanisches logisches Gatter und/oder analoge Schaltung, mit einem MEMS-Schalter (1, 300) nach einem der vorhergehenden Ansprüche und/oder hergestellt nach einem Verfahren der vorhergehenden Ansprüche.

FIG 1

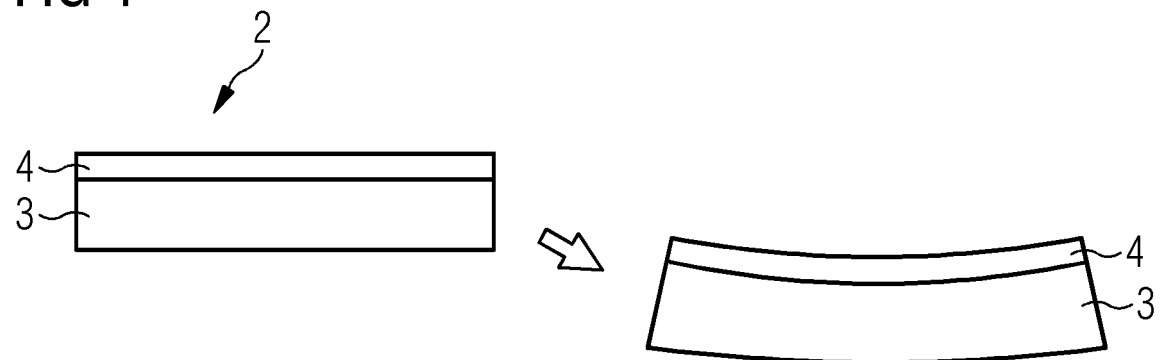


FIG 2

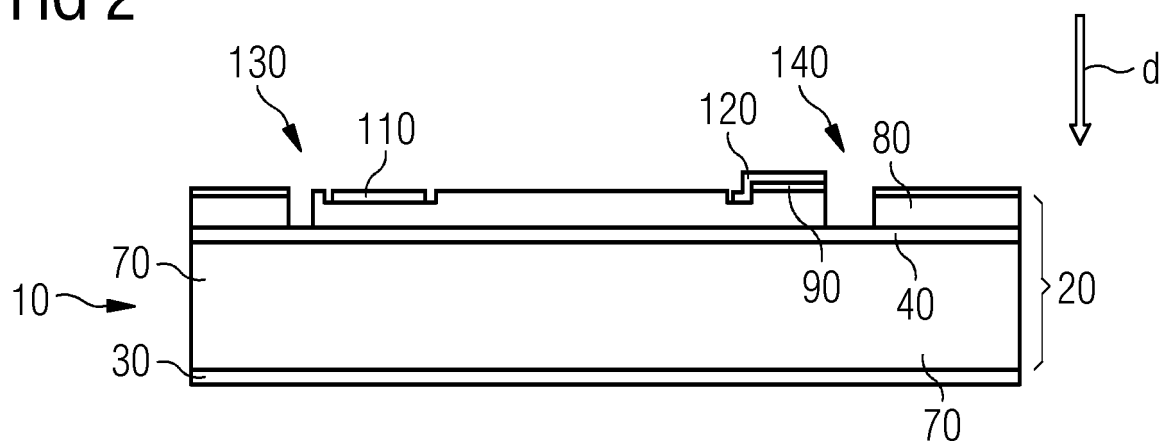


FIG 3

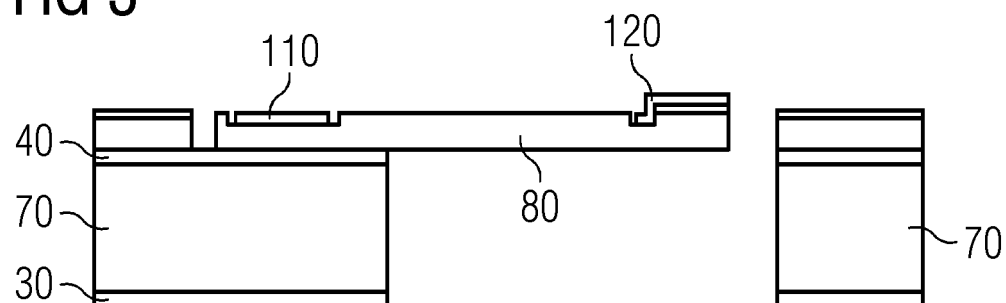


FIG 4

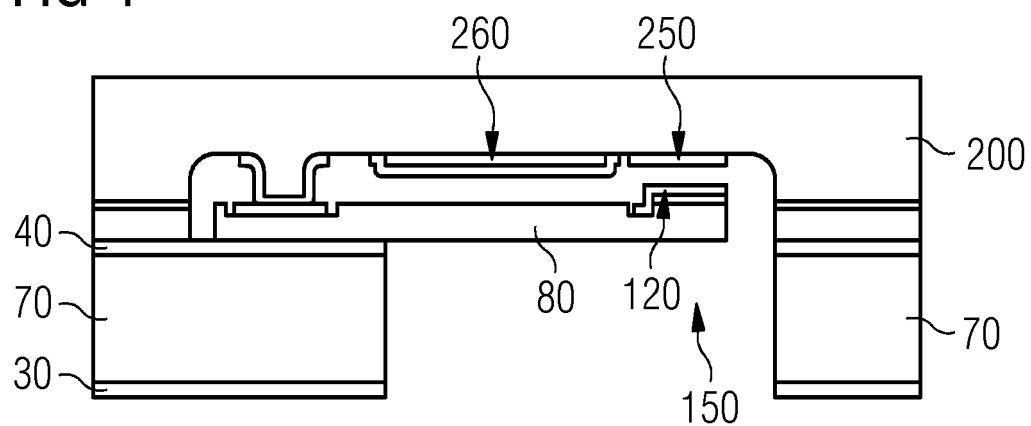


FIG 5

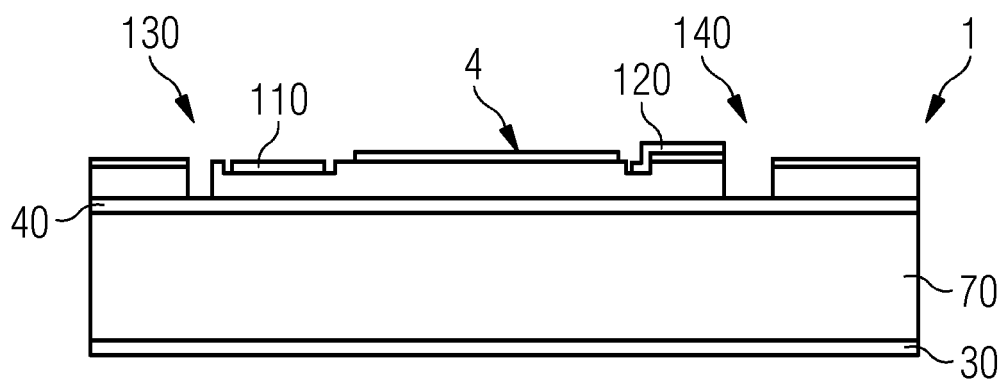


FIG 6

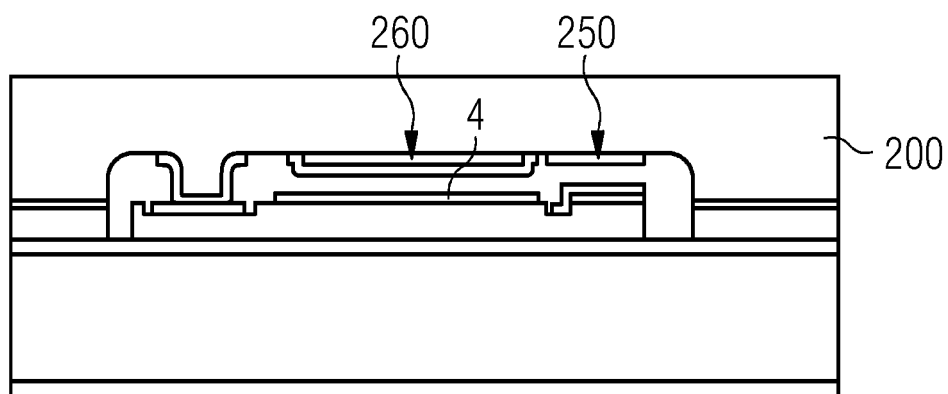


FIG 7

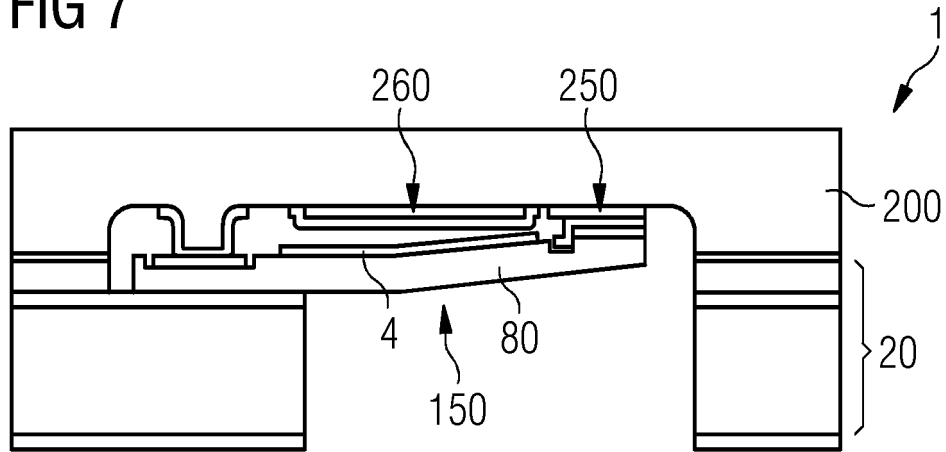


FIG 8

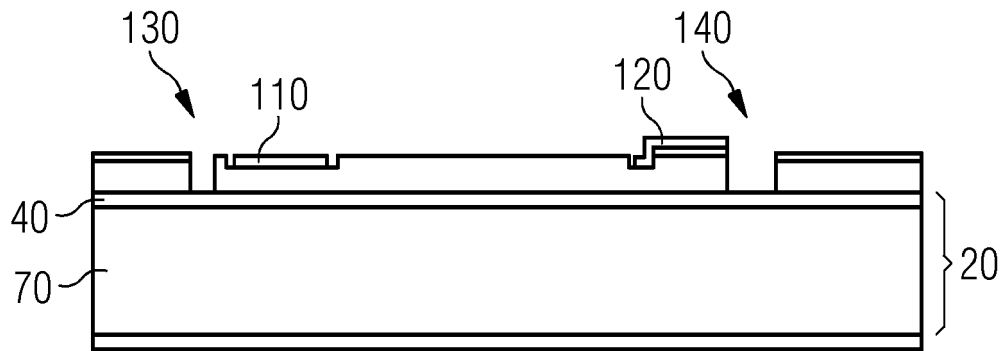


FIG 9

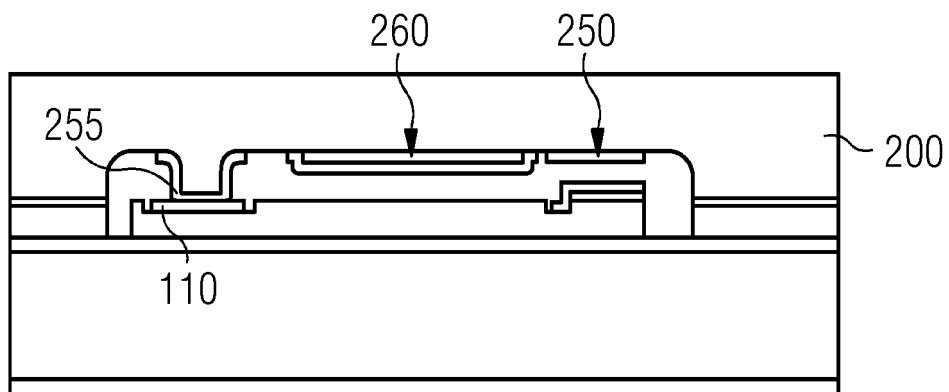
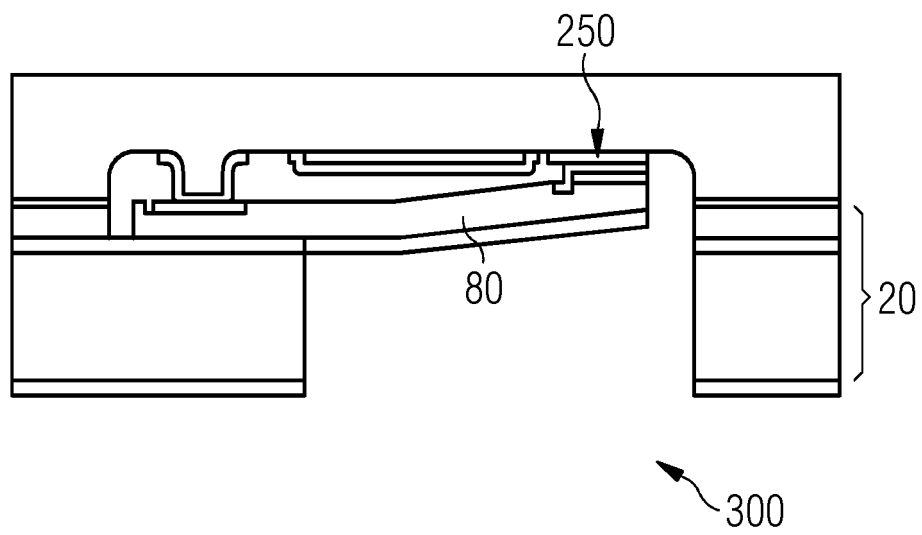


FIG 10





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 20 18 2568

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X A	US 2012/325630 A1 (PULSKAMP JEFFREY S [US] ET AL) 27. Dezember 2012 (2012-12-27) * Absätze [0016] - [0045]; Abbildungen 1-11 *	1-6,8,9, 11,13,14 7,12	INV. H01H57/00 H01H37/00
X Y A	WO 99/43013 A1 (SIEMENS AG [DE]; SCHLAAK HELMUT [DE] ET AL.) 26. August 1999 (1999-08-26) * Seiten 6-10; Abbildungen 5-11 *	1-5,9 10 6-8, 11-14	ADD. H01H1/00
X Y A	EP 2 398 028 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 21. Dezember 2011 (2011-12-21) * Absätze [0017] - [0036]; Abbildungen 2-6 *	1-4,9 7,12 5,6,8, 10,11, 13,14	
Y A	US 6 229 684 B1 (COWEN ALLEN BRUCE [US] ET AL) 8. Mai 2001 (2001-05-08) * Spalten 2, 6-12; Abbildungen 1-10 *	7,12 1-6, 8-11,13, 14	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) H01H
Y,D A	DE 10 2017 215236 A1 (SIEMENS AG [DE]) 28. Februar 2019 (2019-02-28) * Absätze [0020] - [0040]; Abbildungen 1-14 *	10 1-9, 11-14	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 9. Dezember 2020	Prüfer Rucha, Johannes
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

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

EP 20 18 2568

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

09-12-2020

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	US 2012325630 A1	27-12-2012	KEINE	
15	WO 9943013 A1	26-08-1999	DE 19807214 A1 EP 1057196 A1 TW 434617 B WO 9943013 A1	16-09-1999 06-12-2000 16-05-2001 26-08-1999
20	EP 2398028 A2	21-12-2011	CN 102394199 A EP 2398028 A2 JP 5802060 B2 JP 2012004112 A US 2011308924 A1	28-03-2012 21-12-2011 28-10-2015 05-01-2012 22-12-2011
25	US 6229684 B1	08-05-2001	AU 2872401 A CA 2361511 A1 CN 1408120 A EP 1157396 A1 US 6229684 B1 WO 0145120 A2	25-06-2001 21-06-2001 02-04-2003 28-11-2001 08-05-2001 21-06-2001
30	DE 102017215236 A1	28-02-2019	KEINE	
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102017215236 A1 [0034] [0040] [0041]