

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

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
19. Juli 2012 (19.07.2012)

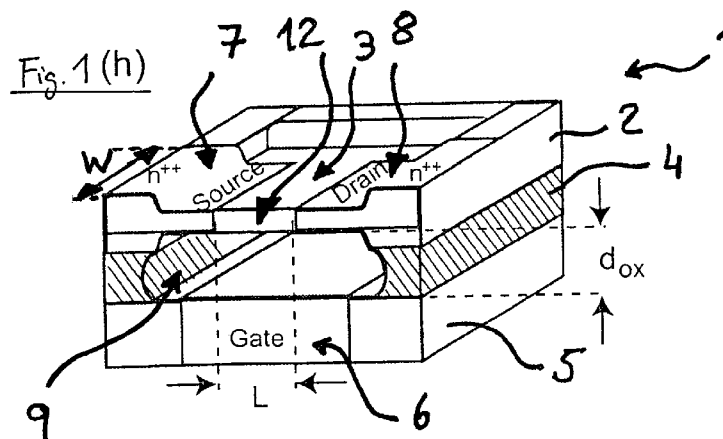


(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/095117 A1

- (51) **Internationale Patentklassifikation:**
G01L 9/00 (2006.01) *B81C 1/00* (2006.01)
H01L 21/336 (2006.01)
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/EP2011/000096
- (22) **Internationales Anmeldedatum:**
12. Januar 2011 (12.01.2011)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (71) **Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US):** TECHNISCHE UNIVERSITÄT DORTMUND [DE/DE]; August-Schmidt-Straße 4, 44227 Dortmund (DE).
- (72) **Erfinder; und**
- (75) **Erfinder/Anmelder (nur für US):** KNOCH, Joachim [DE/DE]; Am Steinhof 53, 44577 Castrop-Rauxel (DE).
KALLIS, Klaus [DE/DE]; Uhlenbruchweg 4, 44267 Dortmund (DE).
- (74) **Anwalt:** COHAUSZ DAWIDOWICZ HANNIG & SOZIEN; Schumannstrasse 97-99, 40237 Düsseldorf (DE).
- (81) **Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart):** AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) **Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart):** ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Veröffentlicht:**
— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(54) **Title:** MICROMECHANICAL PRESSURE SENSOR AND METHOD FOR PRODUCING SAME

(54) **Bezeichnung :** MIKROMECHANISCHER DRUCKSENSOR UND VERFAHREN ZU DESSEN HERSTELLUNG



(57) **Abstract:** The invention relates to a micromechanical pressure sensor (1) and to a method for producing same, wherein the pressure sensor comprises a membrane (3) which is formed in a first semiconductor layer (2), and a sacrificial layer (4) to which the semiconductor layer (2) is applied. In the membrane (3), a drain region (7) and a source region (8) are present, which face each other and which are separated from each other by a conducting channel (12), wherein the sacrificial layer (4) forms an insulation layer (4) beneath which an additional layer (5) with a gate electrode (6) is provided, which is located opposite the conducting channel (12). A cavity (9) is formed in the insulation layer (4) between the additional layer (5) and the membrane (3), into which cavity the membrane can move when pressure is applied to the pressure sensor. The invention further relates to a method for measuring pressure.

(57) **Zusammenfassung:**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2012/095117 A1



Die Erfindung betrifft einen mikromechanischen Drucksensor (1) und ein Verfahren zu dessen Herstellung, wobei der Drucksensor eine in einer ersten Halbleiterschicht (2) ausgebildeten Membran (3) und eine Opferschicht (4) aufweist, auf der die Halbleiterschicht (2) aufgebracht ist. In der Membran (3) ist ein Drain-Gebiet (7) und ein Source-Gebiet (8) vorhanden, die sich gegenüberliegen und durch einen Leitungskanal (12) voneinander getrennt sind, wobei die Opferschicht (4) eine Isolationsschicht (4) bildet, unterhalb der eine weitere Schicht (5) mit einer Gate-Elektrode (6) liegt, die dem Leitungskanal (12) gegenüberliegt. Zwischen der weiteren Schicht (5) und der Membran (3) ist eine Kavität (9) in der Isolationsschicht (4) ausgebildet, in die sich die Membran bei einem auf den Drucksensor ausgeübten Druck hinein bewegen kann. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Druckmessung.

Mikromechanischer Drucksensor und Verfahren zu dessen Herstellung

Die vorliegende Erfindung betrifft einen mikromechanischen Drucksensor mit einer in einer ersten Halbleiterschicht ausgebildeten Membran und einer Opferschicht, auf der die Halbleiterschicht aufgebracht ist. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines derartigen Drucksensors und eine Verwendung desselben zur hochauflösenden Druckmessung.

Mikromechanische Drucksensoren, sogenannte Druckdosen, werden seit einigen Jahren in verschiedensten technologischen Feldern eingesetzt. Zum Beispiel werden Druckdosen im automotiven Bereich zur Überwachung des Reifendrucks verwendet. Im medizinischen Bereich werden Drucksensoren zur Überwachung des Blutdrucks eingesetzt. Für das Auslesen heutiger mikromechanischer Druckdosen werden drei Verfahren verwendet. Bei einem ersten Verfahren wird der Sensor über die piezoresistive Änderung des Widerstandes einer Siliziummembran ausgelesen. Bei einem piezoresistiven Sensor wird die Änderung der elektronischen Transporteigenschaften eines Materials, insbesondere Silizium verwendet, um eine mechanische Verspannung als elektrisches Signal messbar zu machen. Durch mechanische Verspannung wird im Wesentlichen eine Widerstandsänderung erreicht, die gemessen werden kann. Der Grund hierfür ist mikroskopischer Natur. Dabei kann sich entweder die Bandstruktur ändern und/oder die Häufigkeit der Streuung der Elektronen im verspannten Material, was sich als eine Änderung des Widerstandes bemerkbar macht. Mit dem Widerstandswert bzw. der ermittelten Widerstandsänderung kann dann eine Aussage über den Druck getroffen werden.

Die piezo-resistive Auslesung liefert aber nur eine Widerstandsänderung von maximal 30%, weswegen sogenannte Wheatstonebrücken eingesetzt werden müssen, um eine ausreichende Empfindlichkeit des Sensors zu gewährleisten, wie in den Veröffentlichungen „A novel MEMS pressure sensor with MOSFET on chip“, IEEE Sensors 2008, 1564 (2008), Z.-H. Zhang, Y.-H. Zhang, L.-T. Liu und T.-L. Ren, und „A silicon piezoresistive pressure sensor“, Proc. 1st IEEE Internat. Workshop Electron Design, Test Appl. (2002), R. Singh, L.L. Ngo, H.S. Seng, F.N.C. Mok beschrieben ist. Die Wheatstonebrücke reagiert auf die Widerstandsänderungen mit einer Änderung einer elektrischen Spannung.

Bei einem zweiten Verfahren wird die Änderung der Kapazität des Drucksensors zwischen der Membran und dem darunter liegenden Substrat zur Druckbestimmung herangezogen. Die kapazitive Auslesung erfolgt z.B. über die Stromänderung eines in die Siliziummembran des Drucksensors integrierten MOSFETs (Metal Oxid Semiconductor Field Effect Transistor) im Anzustand. Die Integration eines MOSFET in die Siliziummembran des Drucksensors ist beispielsweise aus den Veröffentlichungen „A novel suspended gate MOSFET pressure sensor“, Smart Sensors, actuators and MEMS, vol. 5836, 363 (2005), J.A. Segovia, M. Fernandez-Bolanos und J.M. Otero, und „A novel MOSFET pressure microsensor“, Internat. Conf. on Solid-State and Integrated Circuit Technology 2006, 614 (2006), Y.-H. Zhang, L.-T. Liu, Z.-H. Zhang, Z.-M. Tan, H.-W. Lin und T.-L. Ren bekannt. Bei dieser Auslesemethode kann aber maximal eine $1/d_{ox}$ -Abhängigkeit des Auslesesignals vom Druck erreicht werden, wobei d_{ox} die für den Wert der Kapazität maßgebliche Oxiddicke ist. Außerdem bedingt der Betrieb des MOSFETs im Anzustand eine vergleichsweise hohe Verlustleistung.

Eine dritte Möglichkeit ist die Auslesung über die veränderte Resonanzfrequenz eines Schwingkreises auf Grund der Kapazitätsänderung der Druckdose, siehe z.B. die Veröffentlichung von H. Dudaicevs, M. Kandier, Y. Manoli, W. Mokwa und E. Spiegel in Sensors Actuators A, 43, 157(1994). In diesem Fall muss die Druckdose allerdings vergleichsweise große laterale Dimensionen aufweisen, um die nötige Kapazität im pF-Bereich zu realisieren. Eine weitere Verkleinerung und Integration der Druckdosen lässt sich mit dieser Auslesetechnik somit nicht erreichen.

Die Membranen mikromechanischer Drucksensoren werden heutzutage aus polykristallinem Silizium gefertigt. Dabei wird auf einem oxidierten Substrat (Oxid) eine Opferschicht, beispielsweise aus Siliziumnitrid, geeigneter lateraler und vertikaler Dimensionen aufgebracht und anschließend über diese Struktur Polysilizium gewachsen. Wird nun die Opferschicht weggeätzt, so bleibt eine Polysilizium-Membran übrig, die durch weiteres Wachstum des Polysiliziums verschlossen wird, so dass eine Kavität im zwischen Polysilizium und dem oxidierten Substrat entsteht. Entscheidende Nachteile dieser Technik sind eine mögliche Verkrümmung der Polysilizium-Membran und Restriktionen bezüglich der Größenskalierung der Membran auf Grund der Variation der mechanischen Eigenschaften bei Polysilizium, die wiederum mit der variierenden Morphologie zusammenhängen. Darüber hinaus ist eine Membran aus Polysilizium mechanisch weit weniger stabil als eine Membran aus kristallinem Silizium-Material.

Aus den US Patenten US 7235456 B2 und US 7512170 B2 ist es bekannt, durch Ätzen von Löchern in Silizium-Wafern und anschließendem Tempern in einer reinen Wasserstoffatmosphäre eine Kavität in dem das Substrat bildende Silizium, d.h. in sogenanntem bulk-Silizium, zu erzeugen, die dann allseitig von dem Silizium begrenzt ist. Die Verwendung der ersten beiden Ausleseverfahren ist mit einem derartigen Sensor nicht möglich, da die Membran von dem gegenüber von ihr liegenden Silizium, mit dem sie einteilig ausgebildet ist, nicht elektrisch isoliert ist. Die Anwendung eines kapazitiven Ausleseverfahrens führt dann zu nicht tolerablen Leckströmen. Ein weiterer Nachteil dieser Technologie ist, dass die Dimensionen der Kavität, insbesondere deren Höhe, von der Dicke der Membran abhängt und daher nur in geringem Maße frei einstellbar ist. Ein an eine spezielle Anwendung angepasster Drucksensor kann mit dieser Lehre nur schwer und nur mit erheblichem Aufwand hergestellt werden.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen verbesserten mikromechanischen Drucksensor bereitzustellen, der eine um ein Vielfaches höhere Messempfindlichkeit bei gleichzeitig vergrößertem Messbereich aufweist, so dass insbesondere der Niederdruckbereich für Druckmessungen zugänglich wird, wobei die Dimensionen der Kavität und der Membran unabhängig voneinander einstellbar sind, so dass eine Verkleinerung der Abmessungen des Drucksensors und eine einfache Anpassung

der Abmessungen an eine spezielle Verwendung des Sensors möglich ist. Des Weiteren ist es Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung eines derartigen Drucksensors und ein Verfahren zur Druckmessung mittels eines derartigen Drucksensors bereitzustellen.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale der Ansprüche 1, 10 und 20 gelöst. Bevorzugte Weiterbildungen des Drucksensors sowie des Herstellungs- und Messverfahren sind in den jeweiligen Unteransprüchen angegeben.

Erfindungsgemäß wird ein mikromechanischer Drucksensor mit einer in einer ersten Halbleiterschicht ausgebildeten Membran und einer Opferschicht, auf der die Halbleiterschicht aufgebracht ist, vorgeschlagen, bei dem in der Membran ein Drain-Gebiet und ein Source-Gebiet vorhanden ist, die sich gegenüberliegen und die durch einen Leitungskanal voneinander getrennt sind, wobei die Opferschicht eine Isolationsschicht bildet, unterhalb der eine weitere Schicht mit einer Gate-Elektrode liegt, die dem Leitungskanal gegenüberliegt, und wobei zwischen der weiteren Schicht und der Membran eine Kavität in der Isolationsschicht ausgebildet ist.

Des Weiteren wird ein Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Drucksensors der genannten Art vorgeschlagen, bei dem zunächst ein Schichtaufbau bestehend aus einer ersten Halbleiterschicht, einer Opferschicht und einer weiteren Schicht hergestellt wird, wobei die Opferschicht eine Isolationsschicht bildet und zwischen der ersten Halbleiterschicht und der weiteren Schicht liegt, anschließend Vertiefungen in die erste Halbleiterschicht derart eingebracht werden, dass eine Vertiefung zu den Seiten jeweils von einem Steg begrenzt wird und bis zur Isolationsschicht reicht, danach ein Unterätzen einer Kavität in die Isolationsschicht derart erfolgt, dass die Kavität durch die erste Halbleiterschicht und die weitere Schicht begrenzt ist, wobei die erste Halbleiterschicht zur Ausbildung einer im Wesentlichen gleichmäßig dicken Membran, die die Kavität zu einer Seite begrenzt, dann getempert wird, und wobei eine Gate-Elektrode in der weiteren Schicht gebildet wird, und ein Drain-Gebiet und ein Source-Gebiet in der Membran erzeugt werden, die sich gegenüberliegen und die durch einen Leitungskanal voneinander getrennt sind, der der Gate-Elektrode gegenüberliegt.

Ein derart hergestellter Drucksensor bildet einen Feldeffekttransistor (FET) und weist ein exponentiell vom Druck abhängiges Auslesesignal auf. Dadurch besitzt er eine um ein Vielfaches höhere Empfindlichkeit als es der Stand der Technik zulässt. Insbesondere lässt sich durch diese große Empfindlichkeit der messbare Bereich deutlich vergrößern, und speziell der Niederdruckbereich wird dadurch zugänglich. Die Dimensionen der Kavität und der Membran können durch die Dicke der Isolationsschicht und der Breite der Vertiefungen bzw. der Stege unabhängig voneinander eingestellt werden, so dass eine Verkleinerung der Abmessungen des Drucksensors möglich ist. Die Verwendung einer Isolationsschicht ermöglicht es, eine von der Membran isolierte Gate-Elektrode unterhalb der Membran zu erzeugen.

Vorzugsweise besteht die erste Halbleiterschicht aus Silizium, insbesondere einkristallinem Silizium. Silizium hat den Vorteil, dass es besonders gut bearbeitbar ist. Insbesondere können in ihm Strukturen besonders einfach und präzise geätzt werden und begrenzte Bereiche leicht dotiert werden. Die Verwendung von einkristallinem Silizium hat den Vorteil, dass sich dadurch eine höhere mechanische Belastbarkeit der Membran im Vergleich zu poly-kristallinem Silizium (also Polysilizium) ergibt, da keine mechanischen Variationen auf Grund der variierenden Morphologie auftreten.

Die weitere Schicht kann aus einer zweiten Halbleiterschicht, insbesondere aus Silizium, bestehen. Hierbei kann ein- oder poly-kristallines Silizium verwendet werden. Die Ausbildung einer Gate-Elektrode in der weiteren Schicht kann dann dadurch erfolgen, dass Ionen in die zweite Siliziumschicht durch die Membran implantiert werden. Dieser ionenimplantierte Bereich wird dadurch leitfähig, so dass eine Spannung an ihn angelegt werden kann, die ein im Wesentlichen senkrecht zum Leitungskanal wirkendes elektrisches Feld erzeugt. Alternativ kann die Gate-Elektrode auch dadurch erzeugt werden, dass als weitere Schicht ein Metall verwendet wird. Der Schichtaufbau kann dann dadurch hergestellt werden, dass ein Siliziumsubstrat oxidiert wird, anschließend eine genügend dicke, insbesondere mehrere 100µm dicke Metallschicht für eine ausreichende mechanische Stabilität aufgebracht wird, und dann das Substrat soweit wegschliffen wird, bis die resultierende Siliziumdicke diejenige Dicke erreicht hat, die als Membran benötigt wird. Dabei ist allerdings zu beachten, dass das zu verwendende Metall den hohen

Temperaturen beim Tempern widerstehen muss, so dass nur hochschmelzende Metalle wie beispielsweise Wolfram verwendet werden können.

Die Isolationsschicht kann aus Siliziumoxid (SiO_2) bestehen. Siliziumoxid ist zum einen ein guter Isolator, der leicht aus Silizium hergestellt werden kann, und der zum anderen gut geätzt werden kann.

Die in die erste Halbleiterschicht einzubringenden Vertiefungen können bevorzugt Gräben bilden, die parallel zueinander verlaufen. Diese können besonders einfach und präzise durch anisotropes Ätzen, d.h. durch vertikales Ätzen, in der ersten Halbleiterschicht erzeugt werden. Alternativ können die Vertiefungen durch Löcher gebildet sein, die jeweils eine Reihe bilden. Gräben haben jedoch den Vorteil, dass mit deren Breite und Abstand die Dicke der gewünschten Membran einfacher bestimmt werden kann.

Bevorzugt sind das Drain-Gebiet und das Source-Gebiet durch gleichartig hochdotierte Bereiche in der ersten Halbleiterschicht gebildet, wobei die Dicke der Membran, ihr Abstand zur Gate-Elektrode sowie die Weite und Abstand der dotierten Gebiete derart gewählt sind bzw. gewählt werden, dass die Kapazität zwischen der Gate-Elektrode und dem Leitungskanal gleich der oder kleiner als die Kapazität zwischen dem Drain-Gebiet und dem Source-Gebiet ist. Die dotierten Gebiete können demnach beide n-dotiert oder beide p-dotiert sein. Auf diese Weise wird ein Drucksensor als Feldeffekttransistor (FET) mit Kurzkanalverhalten gebildet, der aufgrund des über der Kavität liegenden Leitungskanals Short Channel on Nothing FET (SCHONFET) genannt werden kann.

Die Bezeichnung "Kurzkanal" und "Kurzkanaleffekt" bezieht sich auf die geometrischen Verhältnisse zwischen dem Abstand d_{ox} der Membran zur Gate-Elektrode (Oxidschichtdicke), der Dicke d_{si} der Membran (Kanalschichtdicke) und der Länge L des Leitungskanals (Kanallänge). Ein Bauelement zeigt Langkanalverhalten, solange die Gate-Kapazität C_G deutlich größer als die Drain-Source-Kapazität C_{DS} ist. Die Gate-Kapazität C_G entspricht für den erfindungsgemäßen Drucksensor dem Produkt aus relativer Dielektrizitätskonstante ϵ_{ox} und Gate-Fläche durch den Abstand d_{ox} der Gate-Elektrode zur Membran. Die Drain-Source-Kapazität C_{DS} kann

näherungsweise aus dem Produkt aus relativer Dielektrizitätskonstante ϵ_{Si} , der Weite W der dotierten Bereiche und der Membrandicke d_{Si} , geteilt durch die Kanallänge L berechnet werden. Aus der Kapazitätsrelation folgt in erster Näherung:

$$C_G = (\epsilon_{ox} * (W * L) / d_{ox}) \gg C_{DS} = (\epsilon_{Si} (W * d_{Si}) / L),$$

um Kurzkanaleffekte zu vermeiden. Hier ist ϵ_{ox} die relative Dielektrizitätskonstante der Isolationsschicht, die zwischen dem Gate und der Membran Luft ist, so dass $\epsilon_{ox}=1$ gilt. ϵ_{Si} ist die relative Dielektrizitätskonstante der ersten Halbleiterschicht, insbesondere der Siliziumschicht, W ist die Weite des FET, L seine Kanallänge und d_{ox} der Abstand zwischen der Membran und dem Gate, also der Luftspalt. Damit genügend Kurzkanaleffekte auftreten, die hier bewusst erzeugt werden, sollten die beiden Kapazitäten ungefähr gleich sein. Für die Kanallänge folgt damit als Richtwert: $L^2 = \epsilon_{Si} / \epsilon_{ox} * d_{Si} * d_{ox}$. Der erfindungsgemäße Drucksensor kann also so desigend werden, dass der darin eingebaute SCHONFET Kurzkanalverhalten, d.h. Kurzkanaleffekte zeigt.

In einer alternativen Ausführungsvariante können das Drain-Gebiet und das Source-Gebiet durch entgegengesetzt hochdotierte Bereiche in der ersten Halbleiterschicht gebildet sein, wobei die Dicke der Membran, ihr Abstand zur Gate-Elektrode sowie die Weite und der Abstand der dotierten Gebiete derart gewählt sind bzw. gewählt werden, dass die Kapazität zwischen der Gate-Elektrode und dem Leitungskanal viel größer als die Kapazität zwischen dem Drain-Gebiet und dem Source-Gebiet ist. Das eine Gebiet ist demnach n-dotiert während das andere Gebiet p-dotiert ist. Auf diese Weise wird der Drucksensor als Feldeffekttransistor (FET) ohne Kurzkanalverhalten realisiert, bei dem die elektrischen Ladungsträger in der Halbleiterstruktur der Membran vom Leitungsband zum Valenzband bzw. vom Valenzband zum Leitungsband tunneln, so dass der Drucksensor Band-zu-Band-Tunnel FET genannt werden kann. Die exponentielle Abhängigkeit des Stromes vom Druck wird durch Band-zu-Band Tunneln erreicht, das vom Druck, d.h. vom Abstand der Membran von der Gate-Elektrode abhängt.

Bevorzugt liegt die Dotierung des Drain- und des Source-Gebiets oberhalb einer Menge von $1 * 10^{19}$ Ladungsträgern pro cm^3 . Ein hochdotiertes Gebiet erlaubt, die

Verarmungszone in den Kontakten relativ zu den Verbiegungen des Leitungsbandes/Valensbandes im Kanal zu vernachlässigen, was das Design des Drucksensors vereinfacht. Die die Ladungsträger zur Verfügung stellenden Ionen können beispielsweise durch Diffusion oder Implantation in die jeweilige Siliziumschicht eingebracht werden.

In einer anderen alternativen Ausführungsvariante sind das Drain-Gebiet und das Source-Gebiet durch Metalle gebildet. Auf diese Weise wird ein Drucksensor als Schottky-Barrieren MOSFET (SB-MOSFET) erhalten. Am Metall-Halbleiter-Übergang, insbesondere am Source-Kanal-Übergang, bildet sich eine Potential-Barriere aus. Diese Barriere wird dünner, wenn Druck auf den Sensor ausgeübt wird, wodurch es zu einer exponentiellen Abhängigkeit des Stromes vom Druck kommt. Der Tunnelstrom durch die Barriere hängt dabei exponentiell von ihrer Dicke ab. Im Gegensatz zum SCHONFET muss der SB-MOSFET keine Kurzkanaleffekte aufweisen, um ein exponentielles Sensorsignal zu liefern.

In einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Drucksensors gemäß einer der vorbeschriebenen Ausführungsvarianten überlappen das Drain-Gebiet und das Source-Gebiet die Gate-Elektrode jeweils. Dies bewirkt, dass keine Gebiete existieren, die vom Gate nicht richtig beeinflusst werden.

Vorzugsweise wird bei dem erfindungsgemäßen Drucksensor eine dünne Membran verwendet, die eine Dicke im Bereich zwischen 5 bis 50nm aufweisen kann. Dies ist besonders bei dem SB-MOSFET oder bei dem Tunnel-FET vorteilhaft, da die Tunnelströme anderenfalls sehr klein werden können.

Wenn die weitere Schicht aus Silizium besteht, können zur Ausbildung der Gate-Elektrode Ionen in die zweite Siliziumschicht eingebracht werden. Dabei kann das Einbringen durch Implantation erfolgen, wobei die Ionen durch die Membran in die zweite Siliziumschicht implantiert werden. Dieser Prozessschritt fügt sich gut nach dem Tempern und vor der Ausbildung des Drain-Gebiets und des Source-Gebiets in die Prozessreihenfolge ein. Dies hat den Vorteil, dass der Schichtaufbau stets nur von oben, d.h. aus einer Richtung behandelt werden muss. Ein Umdrehen des Schichtaufbaus ist nicht notwendig.

Der Schichtaufbau kann bevorzugt nach zwei verschiedenen Verfahren hergestellt werden. Gemäß einem ersten Verfahren wird die Isolationsschicht aus Siliziumoxid gebildet, das durch Implantation von Sauerstoffionen in Silizium und anschließendem Tempern hergestellt werden kann. Diese Herstellmethode ist bekannt und wird SIMOX (Separation by Implantation of Oxygen) genannt. Dabei wird Sauerstoff in einen Siliziumwafer implantiert. Bei einem anschließenden Tempern oxidiert der Wafer von innen, im Gegensatz zur herkömmlichen Oxidation, die nur an der Oberfläche des Wafers erfolgt, weil dort der Sauerstoff ist. Durch das Implantieren von Sauerstoff befindet sich der Sauerstoff unterhalb der Waferoberfläche und erzeugt dort eine vergrabene Oxidschicht.

In einer alternativen Ausführungsvariante kann der Schichtaufbau aus einem gebondeten SOI-Wafer (Silicon-on-Insulator) hergestellt werden. Auch diese Herstellmethode ist bekannt. Dabei wird ein Wafer aus einem Siliziumeinkristall aufoxidiert und ein zweiter Wafer kopfüber auf den oxidierten Wafer gedrückt. Es ergibt sich dadurch eine Silizium-Oxid-Silizium Schichtstruktur. Diese Schichtstruktur wird dann getempert und anschließend ein Wafer abgeschliffen. Hierdurch entsteht eine dünne, einkristalline Siliziumschicht auf einem Isolator (SiO_2), der sich auf einem Silizium-Einkristall-Substrat befindet. Eine derartige Schichtstruktur wird SOI-Wafer genannt.

Das Einbringen der Vertiefungen kann durch anisotropes Ätzen der ersten Halbleiterschicht erfolgen. Ferner kann die Kavität durch isotropes Ätzen hergestellt werden. Dies kann nasschemisch oder durch reaktives Ionenätzen erfolgen. Beim anisotropen Ätzen wird nur in eine Richtung geätzt. Das heißt, dass die Vertiefungen nur durch vertikales Ätzen hergestellt werden. Beim isotropen Ätzen erfolgt das Ätzen dagegen in alle Richtungen gleich. Dies bedeutet, dass die Kavität sowohl vertikal wie horizontal geätzt wird.

Bevorzugt werden die Vertiefungen derart in die erste Halbleiterschicht eingebracht, dass die Breite der Vertiefungen kleiner als die Breite der Stege ist. Hiermit ist gewährleistet, dass sich die Stege beim Tempern unter Reduzierung ihrer Höhe derart verbreitern, dass sich ihre Seiten zu einer geschlossenen Membran berühren.

Die Membrandicke kann durch die Breite der Vertiefungen und die Breite der Stege festgelegt werden.

Der vorgeschlagene Drucksensor kann erfindungsgemäß zur Druckmessung verwendet werden. Hierfür wird ein Verfahren zur Auslesung des Drucksensors vorgeschlagen, bei dem zwischen dem Drain-Gebiet und dem Source-Gebiet eine Spannung angelegt und der Strom über das Drain-Source-Gebiet bei einer Spannung zwischen der Gate-Elektrode und dem Source-Gebiet unterhalb der Schwellenspannung gemessen wird, wobei gemäß einer exponentiellen Abhängigkeit des gemessenen Stroms von dem auf den Drucksensor ausgeübten Umgebungsdruck, dieser Umgebungsdruck bestimmt wird.

Der in dem Drucksensor integrierte Feldeffekttransistor wird folglich aufgrund einer Spannung zwischen der Gate-Elektrode und dem Source-Gebiet unterhalb der Schwellenspannung im Auszustand betrieben, da die Schwellenspannung diejenige Spannung ist, ab der das Bauelement in den Anzustand wechselt. Dies hat den besonderen Vorteil, dass die Verlustleistung minimiert wird. Denn die fehlende Gate-Spannung führt zu einem sehr kleinen Strom, dem sogenannten Ausstrom, der zudem in Abhängigkeit des auf die Membran ausgeübten Drucks exponentiell abnimmt. Hierdurch wird der Einsatz solcher Drucksensoren in energieautarken Sensornetzwerken ermöglicht. Zusammen mit der Möglichkeit der Reduzierung der Dimensionen des Drucksensors werden auf diese Weise zum Beispiel Sensoren für den medizinischen Bereich möglich.

Weitere Vorteile und Merkmale des erfindungsgemäßen Drucksensors, seines Herstellungsverfahrens und des Verfahrens zur Auslesung eines Drucksensors werden nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen und der beigefügten Figuren näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1a bis 1h Veranschaulichung des Herstellungsprozesses eines erfindungsgemäßen Drucksensors

Fig. 2a: Leitungsbandverlauf in einem MOSFET mit Kurzkanaleffekten

Fig. 2b: Drainstrom für ein Bauelement mit zunehmender Gateoxiddicke

Fig. 3a: Schemaskizze des Drucksensors mit vergrabenem Gate

- Fig. 3b: Leitungsbandverlauf durch das in die Silizium-Membran integrierte Bauelement
- Fig. 3c: Drainstrom als Funktion des Druckes
- Fig. 4a: Drucksensor mit integriertem Schottky-Barrieren MOSFET
- Fig. 4b: Veranschaulichung der exponentiellen Änderung des Stromes bei einer Veränderung der Gateoxiddicke
- Fig. 4c: exemplarisch experimentelle Kurven, die die starke Abhängigkeit der Transistorcharakteristiken von der Gateoxiddicke belegen
- Fig. 5a: oben: Drucksensor mit integriertem Tunnel FET
unten: der Bandverlauf für zwei verschiedene Gateoxiddicken
- Fig. 5b: experimentelle Charakteristiken eines Tunnel FETs für zwei verschiedene Gateoxiddicken.

Die Figuren 1a bis 1h zeigen die Herstellungsschritte für die Herstellung eines erfindungsgemäßen mikromechanischen Drucksensors 1 mit einer in einer ersten Siliziumschicht 2 ausgebildeten Membran 3 und einer Isolationsschicht 4, auf der die Siliziumschicht 2 aufgebracht ist. Unter der Isolationsschicht 4 liegt eine zweite Siliziumschicht 5, in der Ionen zur Ausbildung einer Gate-Elektrode 6 eingebracht sind. In der Membran 3 sind ferner zwei voneinander durch einen Leitungskanal 12 der Kanallänge L getrennte Bereiche 7, 8 gebildet, in denen Ionen zur Ausbildung jeweils eines die Gate-Elektrode 6 überlappenden Drain-Gebiets 7 und eines Source-Gebiets 8 eingebracht sind. Zwischen der zweiten Siliziumschicht 5 und der Membran 3 ist eine Kavität 9 in der Isolationsschicht 4 ausgebildet, in die sich die Membran 3 bei einem auf den Drucksensor 1 ausgeübten Umgebungsüberdruck hinein bewegen bzw. hinein biegen kann. Bei Unterdruck bewegt sie sich aus der Kavität heraus.

Die Isolationsschicht 4 besteht aus Siliziumoxid (SiO_2) und wird nachfolgend auch Oxidschicht genannt. Da sie zwischen der ersten und der zweiten Siliziumschicht 2, 5 liegt, stellt sie eine sogenannte „vergrabene Schicht“ dar. Die erste Siliziumschicht 2 besteht aus einkristallinem Silizium. Das Drain-Gebiet 7 und das Source-Gebiet 8 sind jeweils mit negativ geladenen Ionen n^{++} hochdotiert. Diese Gebiete 7, 8 überlappen die Gate-Elektrode 6 um zumindest ein Viertel ihrer Breite.

In einem ersten, in Figuren 1a bis h nicht gezeigten Herstellungsschritt wird der Schichtaufbau mit der vergrabenen Oxidschicht 4 hergestellt. Dies kann beispielsweise durch Implantation von Sauerstoffionen in eine Siliziumschicht und anschließendem Tempern dieser Schicht erfolgen, wodurch sich die Sauerstoffionen mit dem Silizium zu einer Schicht Siliziumoxid 4 verbinden. Alternativ können gebundene SOI (Silicon on Insulator) Wafer eingesetzt werden, um den Schichtaufbau zu realisieren. Die Dicke der vergrabenen Oxidschicht 4 bestimmt im Wesentlichen die Höhe der Kavität 3. Die Höhe der Kavität 3 kann völlig frei eingestellt werden, was insbesondere für das erfindungsgemäße Ausleseverfahren entscheidend ist.

In die erste Siliziumschicht 2 werden wie in Fig. 1a gezeigt, Gräben 10 derart anisotrop herausgeätzt, dass ein Graben 10 zu den Seiten jeweils von einem Steg 11 begrenzt wird und bis zur Isolationsschicht 4 reicht. Daraufhin wird mit einem isotropen Ätzschritt eine Kavität 9 in die vergrabene Oxidschicht 4 eingebracht, Fig. 1b. Dies kann entweder nasschemisch oder mit Hilfe von reaktivem Ionenätzen geschehen. In einem anschließenden Tempersschritt in reinem Wasserstoff (H_2) verrunden die Stege 11 zunehmend, siehe Figuren 1c und 1d. Sie bilden schließlich eine geschlossene Membran 3 der Dicke d_{Si} , wie in Fig. 1e zu sehen ist. Die Dimension der Stege 11 und der Gräben 10 sind also so zu wählen, dass sich die verrundeten Stege 11 durch das Tempern berühren können, um die Membran auszubilden.

In einem folgenden Verfahrensschritt werden durch die Membran 3 in die zweite Siliziumschicht 5 unterhalb der vergrabenen Oxidschicht 4 Ionen implantiert, die nach der Aktivierung eine Gate-Elektrode 6 bilden, siehe Fig. 1f.

Der letzte Schritt beinhaltet die Definition eines Source-Gebietes 7 und eines Drain-Gebietes 8. Dies erfolgt durch eine Maske 12, die diejenigen Bereiche der oberen Siliziumschicht 2 abdeckt, in die keine Ionen implantiert werden sollen, siehe Fig. 1g. Fig. 1g zeigt die anschließende Ionenimplantation gleichartiger Ionen n^{++} in die von der Maske 12 nicht bedeckten Bereiche 7, 8, die nach der Ionenimplantation das Source-Gebiet 7 und das Drain-Gebiet 8 bilden. Der fertige Drucksensor 1 ist in Fig. 1h dargestellt. Das Source-Gebiet 7, Drain-Gebiet 8 und die Gate-Elektrode 6 bilden

einen Transistor, der integraler Bestandteil des Drucksensors 1 ist, wobei der Strompfad des Transistors in der Membran 3 bzw. im Leitungsband 12 liegt.

Die Höhe der Kavität 9 wird im Wesentlichen durch die Dicke der Oxidschicht 4 und nicht durch die Silizium-Stege 11 bestimmt. Dadurch lassen sich die Dimensionen des Drucksensors 1 flexibel auf die angestrebte Anwendung optimieren. Wenn z.B. ein Drucksensor mit dünner Membran und großer Kavitätshöhe angestrebt ist, so lässt sich dies mit dem bekannten Verfahren des Silizium-Umformens durch Tempern eines Siliziumsubstrats nicht realisieren, da dazu tiefe Stege geätzt werden müssten, die entweder dünn und dicht beieinander oder relativ dick ausfallen müssen. In beiden Fällen ergibt sich ein Zusammenhang zwischen Kavitätshöhe und lateraler Dimension des Drucksensors. Durch die Erzeugung der Kavität in der Oxidschicht 4 lassen sich Membrandicke d_{Si} und Kavitätshöhe unabhängig voneinander einstellen.

Die Membran 3 ist durch ein thermisch gewachsenes Siliziumoxid 4, d.h. durch das vergrabene Oxid, vom Substrat 5 isoliert. Die exzellenten Isolationseigenschaften von Siliziumoxid machen die hier vorgestellte SCHONFET Technologie erst möglich. Durch die Isolation zwischen Substrat und der ersten Siliziumschicht 2, die durch das Herstellungsverfahren zur Silizium-Membran 3 im Bereich der Kavität 9 wird, lässt sich auf einem Chip direkt eine Auswerteelektronik in CMOS-Technologie integrieren.

Um die erfindungsgemäße Auslesetechnik zu realisieren, wird die Länge L des Kanals 12 zwischen den hochdotierten Source/Drain-Gebieten 7, 8 dergestalt eingestellt, dass die Source-Kanal und Kanal-Drain p-n-Übergänge stark überlappen. Wie in Figur 2 (a) gezeigt, haben diese p-n-Übergänge eine räumliche Ausdehnung von der Größenordnung $L = \sqrt{(\epsilon_{Si} / \epsilon_{ox}) d_{Si} d_{ox}}$. Sie hängen folglich von der Membrandicke d_{Si} und dem Abstand zwischen der Membran 3 und der Gate-Elektrode 6, nachfolgend Gateoxiddicke d_{ox} genannt, ab. Durch die Überlappung kommt es zu sogenannten Kurzkanaleffekten, die zu einer signifikanten Absenkung der den Strom bestimmenden Potentialbarriere im Kanal 12 führen. Dies ist in Figur 2 (a) schematisch dargestellt. Dies wiederum bedingt einen stark ansteigenden Drainstrom I_d zwischen dem Source-Gebiet 7 und dem Drain-Gebiet 8 im Auszustand des Transistors, d.h. bei einer Spannung zwischen der Gate-Elektrode 6 und dem Source-Gebiet 7 unterhalb der Schwellenspannung, wobei der Strom in erster

Näherung mit sinkendem Verhältnis zwischen der Kanallänge L und der Wurzel aus der Dicke d_{ox} des Gateoxids ansteigt, wie in Figur 2 (b) gezeigt ist. Dies bedeutet, dass bei konstanter Kanallänge L eine starke Abhängigkeit des Stromes I_d von der Gateoxidstärke d_{ox} besteht, d.h. von der Höhe der Kavität 9, die ohne Druck durch die vergrabene Oxidschicht gegeben ist. Durch die oben beschriebene Herstellungsmethode lassen sich sowohl die Membrandicke d_{si} , die Höhe d_{ox} der Kavität 9 (gleich Oxidstärke) als auch die Kanallänge L genau definiert einstellen und somit die gewünschten Kurzkanaleffekte erzielen. Dadurch wird auch ein Herunterskalieren der Drucksensoren 1 ermöglicht.

Figur 3 (a) zeigt schematisch die Bauelementstruktur des Drucksensors 1 und die Veränderung des Ausstromes des Drucksensors 1 ist in Figur 3 (c) veranschaulicht. Wird ein Druck p auf die Membran 3 ausgeübt, dann verringert sich die effektive Oxidstärke d_{ox} , d.h. der Luftspalt zwischen der Membran 3 und der Gate-Elektrode 6, wodurch die Kapazität C_G zwischen Gate-Elektrode 6 und Leitungskanal 12 vergrößert wird. Dies führt zu einer Verringerung der Kurzkanaleffekte und zu einer verbesserten Gatekontrolle, die wiederum bewirkt, dass die den Stromfluss zwischen Source und Drain bestimmende Potentialbarriere angehoben wird, siehe Figur 3 (b), ohne dass sich die Gate- Source-Spannung V_{gs} ändert, d.h. auch bei ausgeschaltetem Transistor $V_{gs} < V_{th}$, wobei V_{th} die Schwellenspannung des Transistors ist. Dadurch wird der Drainstrom durch den Transistor, auch im Auszustand, exponentiell abgesenkt, siehe Figur 3 (c).

Die Veränderung des Stroms ist also eine Folge des sich verändernden geometrischen Verhältnisses zwischen der Gatekapazität C_G und der Drain/Source-Kapazität C_{DS} . Bei einer Vergrößerung der Gatekapazität C_G wird der Einfluss von Source und Drain auf den Potential(Band)-Verlauf im Leitungskanal 12 besser "abgeschirmt" und dementsprechend folgt die Potentialbarriere eher der Gatespannung V_{gs} als der Drainspannung V_{ds} .

Figur 3 (b) zeigt den Leitungsbandverlauf in der Silizium-Membran 3 für die Drücke $p = 0$ (oben) und $p \neq 0$ (unten). Exemplarisch zeigt Figur 3 (c) den Drainstrom als Funktion des Drucks für einen erfindungsgemäßen Drucksensor 1. Man erkennt deutlich die starke Abhängigkeit des Stroms vom Druck mit einem Umfang von fast 6

Größenordnungen. Durch geeignete Wahl der Dicke der Oxidschicht 4, der Dicke der ersten Siliziumschicht 2 (SOI Schicht) sowie der Breite und des Abstands der in die erste Siliziumschicht zu ätzenden Gräben 10, siehe Figur 1 (a), kann wie bereits erwähnt die Membrandicke d_{Si} , die laterale Dimension des Drucksensors 1 und die Kanallänge L des in den Drucksensor 1 integrierten MOSFETs auf den jeweiligen Anwendungsbereich hin optimiert werden.

Ein MOSFET nach dem Stand der Technik ohne Kurzkanaleffekte muss demgegenüber zwingend im Anzustand betrieben werden, d.h. $V_{GS} \geq V_{th}$, damit eine sich verändernde Gatekapazität C_G überhaupt einen Einfluss auf den Strom hat. Der Anstrom ist dann proportional zur Gatekapazität C_G , womit sich ein sich linear ändernder Strom ergibt. Ein solcher MOSFET kann aber nicht im Auszustand betrieben werden, weil das Design keine Stromvariation im Auszustand ermöglicht.

Wird der Kanal geeignet dotiert, dann entsteht parallel zur Gatekapazität C_G eine Verarmungszonenkapazität. Wird nun Druck auf die Dose ausgeübt, dann verändert sich das Verhältnis zwischen Gate- und Verarmungszonenkapazität, was zu einem sich exponentiell ändernden Ausstrom führt. Demgegenüber ist bei dem SCHONFET wie zuvor beschrieben das Verhältnis zwischen Gate- und Drainkapazität C_G , C_{DS} relevant.

Ein exponentiell vom Druck abhängiges Sensorsignal lässt sich auch mit einem in den Drucksensors 1 integrierten Schottky-Barrieren MOSFET, siehe Figur 4 (a) und einem Band-zu-Band Tunnel FET, siehe Figur 5 (a), erreichen. Bei dem Schottky-Barrieren MOSFET sind das Source-Gebiet 7 und das Drain-Gebiet 8 durch Metalle gebildet, wohingegen Source und Drain bei dem Band-zu-Band Tunnel FET mit unterschiedlichen Ionensorten n^{++} und p^{++} hochdotiert sind.

Das Schaltverhalten eines Schottky-Barrieren MOSFETs hängt stark von der Dicke der Schottky-Barriere ab, die ihrerseits von der Dicke des Gateoxids d_{ox} abhängt, wie in Figuren 4 (a)-(c) gezeigt. Wird Druck auf den Drucksensor 1 ausgeübt, so verändert sich die Dicke der Schottky-Barriere, Figur 4 (b), was zu einem exponentiell vom Druck abhängigen Strom führt, Figur 4(c).

Auch in einem Band-zu-Band Tunnel FET hängt der Strom exponentiell von der Band-zu-Band Tunnel-Barriere und damit von der Gateoxidicke d_{ox} ab. Wie in Figur 5 (a) schematisch gezeigt, führt ein dünneres Gateoxid zu einem steileren p-n-Übergang am Source-Kanal-Übergang, was zu einer dünneren Barriere und damit exponentiell angestiegenem Strom führt. Fig. 5 (a) unten zeigt, dass eine Verringerung der Oxiddicke zu einem exponentiellen Anstieg des Stroms führt.

Bevorzugt werden bei dem Band-zu-Band Tunnel MOSFET sehr dünne Membranen verwendet, um einen signifikanten Tunnelstrom zu bekommen. Auch im Falle eines Schottky-Barrieren MOSFETs sollten bevorzugt dünne Membranen zum Einsatz kommen. Weiterhin wird die Empfindlichkeit eines Drucksensors basierend auf Tunneln (Schottky-Barrieren MOSFET bzw. Band-zu-Band Tunnel FET) zwar größer sein, als mit existierenden, piezo-resistiven Drucksensoren erreichbar, aber im Vergleich zu der zuvor vorgestellten SCHON-FET Technologie schlechter ausfallen.

Die vorgestellte Erfindung ermöglicht die Realisierung von mikromechanischen Drucksensoren mit einem exponentiell vom Druck abhängigen Auslesesignal, so dass eine um ein Vielfaches höhere Empfindlichkeit der Druckdosen erzielt wird, als es mit dem derzeitigen Stand der Technik möglich ist. Insbesondere lässt sich durch diese große Empfindlichkeit der messbare Druckbereich eines mikromechanischen Drucksensors signifikant vergrößern, was speziell den Niederdruckbereich zugänglich macht. Weiterhin erlaubt die Erfindung auf Grund der im Gegensatz zu existierenden Drucksensoren viel geringeren Leistungsaufnahme den Einsatz in energieautarken Sensornetzwerken. Darüber hinaus ist die hier vorgestellte Technik vollständig CMOS-kompatibel und in Planartechnologie herstellbar.

Ansprüche

1. Mikromechanischer Drucksensor (1) mit einer in einer ersten Halbleiterschicht (2) ausgebildeten Membran (3) und einer Opferschicht (4), auf der die Halbleiterschicht (2) aufgebracht ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Membran (3) ein Drain-Gebiet (7) und ein Source-Gebiet (8) vorhanden ist, die sich gegenüberliegen und durch einen Leitungskanal (12) voneinander getrennt sind, und dass die Opferschicht (4) eine Isolationsschicht (4) bildet, unterhalb der eine weitere Schicht (5) mit einer Gate-Elektrode (6) liegt, die dem Leitungskanal (12) gegenüberliegt, wobei zwischen der weiteren Schicht (5) und der Membran (3) eine Kavität (9) in der Isolationsschicht (4) ausgebildet ist.
2. Mikromechanischer Drucksensor (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Halbleiterschicht (2) aus einkristallinem Silizium besteht.
3. Mikromechanischer Drucksensor (1) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die weitere Schicht (5) aus Silizium oder Metall besteht.
4. Mikromechanischer Drucksensor (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Isolationsschicht (4) aus Siliziumoxid besteht.
5. Mikromechanischer Drucksensor (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Drain-Gebiet (7) und das Source-Gebiet (8) durch gleichartig hochdotierte Bereiche in der ersten Halbleiterschicht (2) gebildet sind, wobei die Dicke (d_{Si}) der Membran (3), ihr Abstand (d_{ox}) zur Gate-Elektrode (6) sowie die Weite (W) und Abstand (L) der dotierten Gebiete

- (7, 8) derart gewählt sind, dass die Kapazität zwischen der Gate-Elektrode (6) und dem Leitungskanal (12) gleich der oder kleiner als die Kapazität zwischen dem Drain-Gebiet (7) und dem Source-Gebiet (8) ist.
6. Mikromechanischer Drucksensor (1) nach einem der vorherigen Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Drain-Gebiet (7) und das Source-Gebiet (8) durch entgegengesetzt hochdotierte Bereiche in der ersten Halbleiterschicht (2) gebildet sind, wobei die Dicke (d_{Si}) der Membran (3), ihr Abstand (d_{ox}) zur Gate-Elektrode (6) sowie die Weite (W) und Abstand (L) der dotierten Gebiete (7, 8) derart gewählt sind, dass die Kapazität zwischen der Gate-Elektrode (6) und dem Leitungskanal (12) viel größer als die Kapazität zwischen dem Drain-Gebiet (7) und dem Source-Gebiet (8) ist.
 7. Mikromechanischer Drucksensor (1) nach einem der vorherigen Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Drain-Gebiet (7) und das Source-Gebiet (8) durch Metalle gebildet sind.
 8. Mikromechanischer Drucksensor (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Drain-Gebiet (7) und das Source-Gebiet (8) die Gate-Elektrode (6) jeweils überlappen.
 9. Mikromechanischer Drucksensor (1) nach einem der vorherigen Ansprüche 1 bis 4 oder 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dicke (d_{Si}) der Membran (3) zwischen 5 und 50 nm beträgt.
 10. Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Drucksensors (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **gekennzeichnet durch** die Schritte
 - a. Herstellen eines Schichtaufbaus bestehend aus einer ersten Halbleiterschicht (2), einer Opferschicht (4) und einer weiteren Schicht (5), wobei die Opferschicht (4) eine Isolationsschicht (4) bildet und zwischen der ersten Halbleiterschicht (2) und der weiteren Schicht (5) liegt,

- b. Einbringen von Vertiefungen (10) in die erste Halbleiterschicht (2) derart, dass eine Vertiefung (10) zu den Seiten jeweils von einem Steg (11) begrenzt wird und bis zur Isolationsschicht (4) reicht,
 - c. Unterätzen einer Kavität (9) in die Isolationsschicht (4) derart, dass die Kavität (9) durch die erste Halbleiterschicht (2) und die weitere Schicht (5) begrenzt ist,
 - d. Tempern der ersten Halbleiterschicht (2) zur Ausbildung einer im Wesentlichen gleichmäßig dicken Membran (3), die die Kavität (9) zu einer Seite begrenzt,
 - e. Ausbilden einer Gate-Elektrode (6) in der weiteren Schicht (5),
 - f. Erzeugen eines Drain- Gebiets (7) und eines Source- Gebiets (8) in der Membran (3), die sich gegenüberliegen und durch einen Leitungskanal (12) voneinander getrennt sind, der der Gate-Elektrode (6) gegenüberliegt.
11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vertiefungen durch parallele Gräben (10) gebildet sind.
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die weitere Schicht (5) eine zweite Siliziumschicht (5) ist, und zur Ausbildung der Gate-Elektrode (6) Ionen in die zweite Siliziumschicht (5) eingebracht werden.
13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ionen durch die Membran (3) in die zweite Siliziumschicht (5) implantiert werden.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schichtaufbau durch Implantation von Sauerstoffionen in Silizium und anschließendem Tempern hergestellt wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schichtaufbau aus einem gebondeten SOI-Wafer hergestellt wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Einbringen der Vertiefungen durch anisotropes Ätzen der ersten Halbleiterschicht (2) erfolgt.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kavität (9) durch isotropes Ätzen hergestellt wird.
18. Verfahren nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kavität (9) durch nasschemisches Ätzen oder reaktives Ionenätzen hergestellt wird.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vertiefungen (10) derart in die erste Halbleiterschicht (2) eingebracht sind, dass die Breite der Gräben (10) kleiner als die Breite der Stege (11) ist.
20. Verfahren zur Auslesung eines Drucksensors (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen dem Drain-Gebiet (7) und dem Source-Gebiet (8) eine Spannung angelegt und der Strom über das Drain-Source-Gebiet (7, 8) bei einer Spannung zwischen der Gate-Elektrode (9) und dem Source-Gebiet (8) unterhalb der Schwellenspannung gemessen wird, wobei gemäß einer exponentiellen Abhängigkeit des gemessenen Stroms von dem auf den Drucksensor (1) ausgeübten Umgebungsdruck, dieser Umgebungsdruck bestimmt wird.

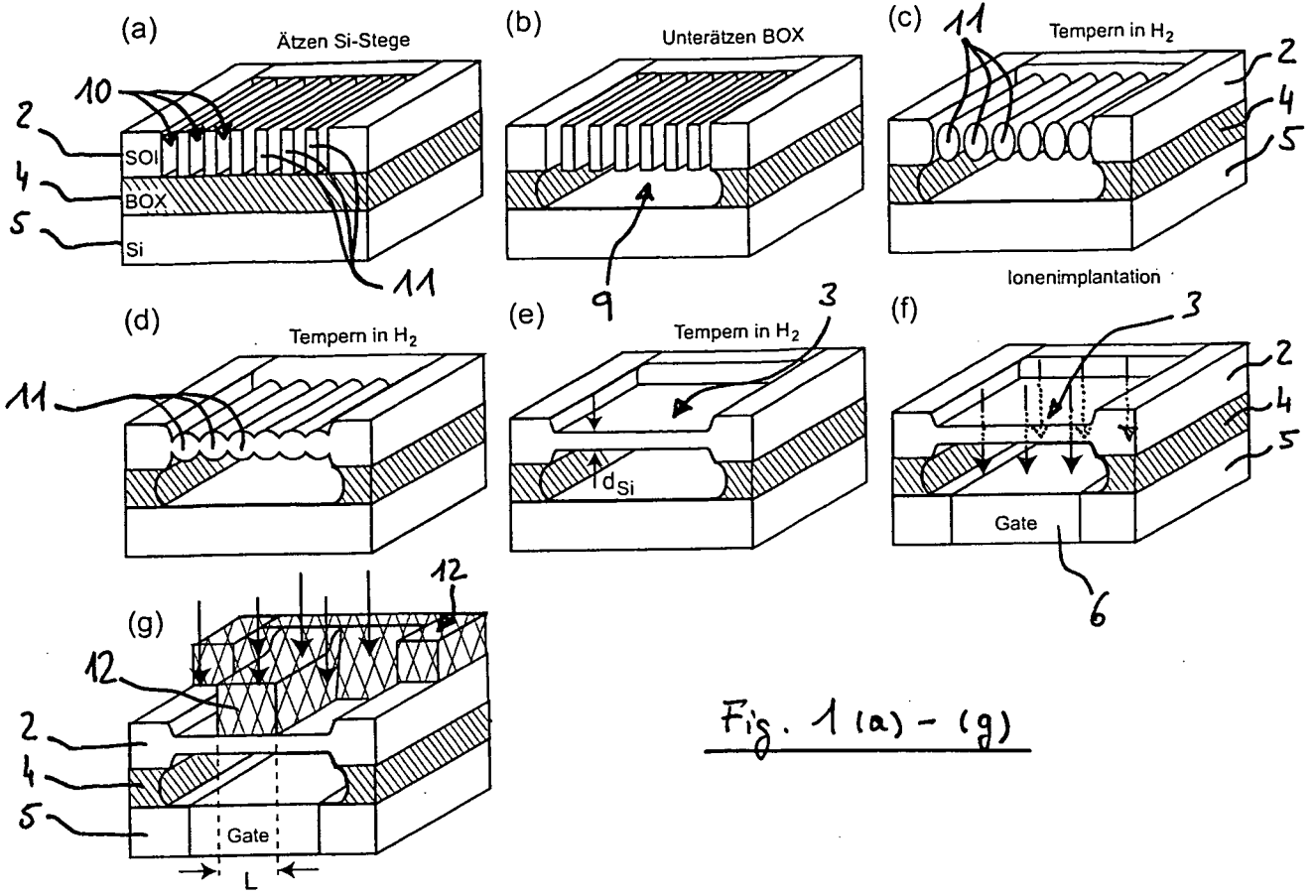
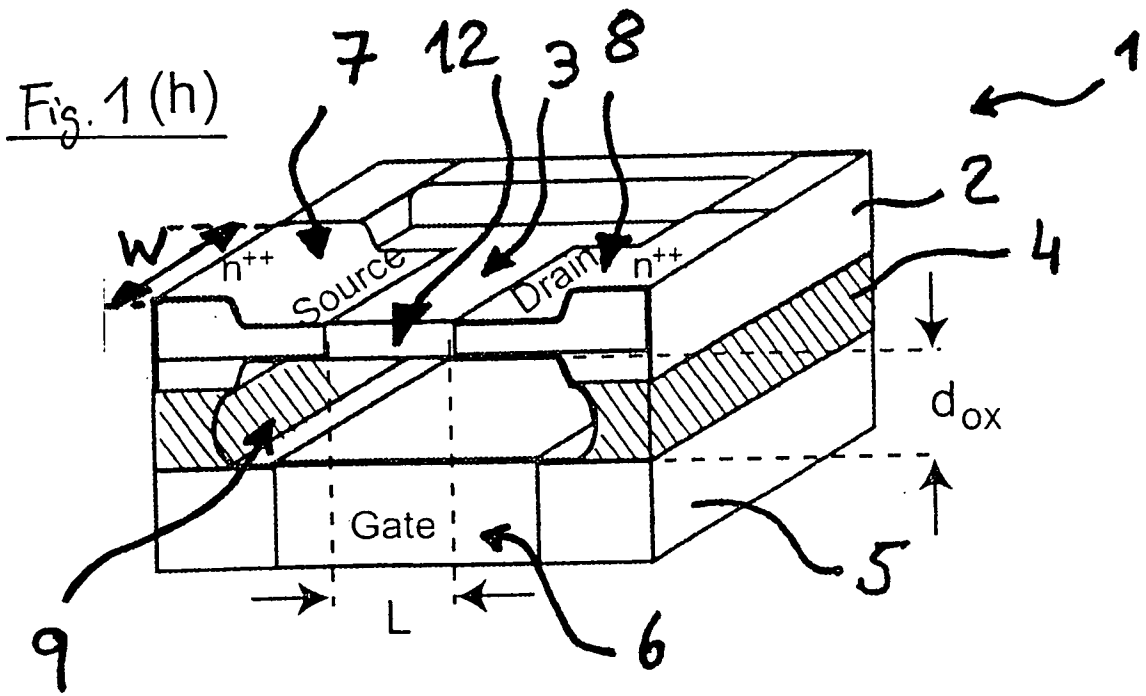


Fig. 1(a) - (g)



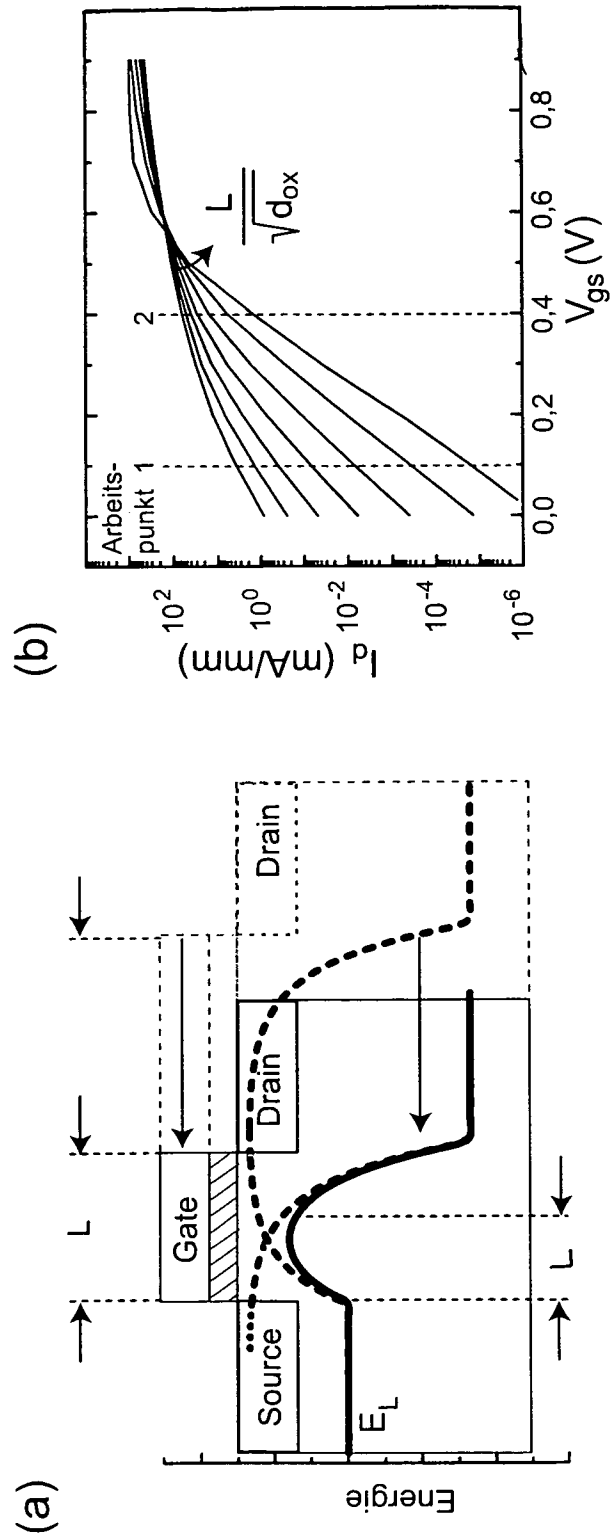


Fig. 2

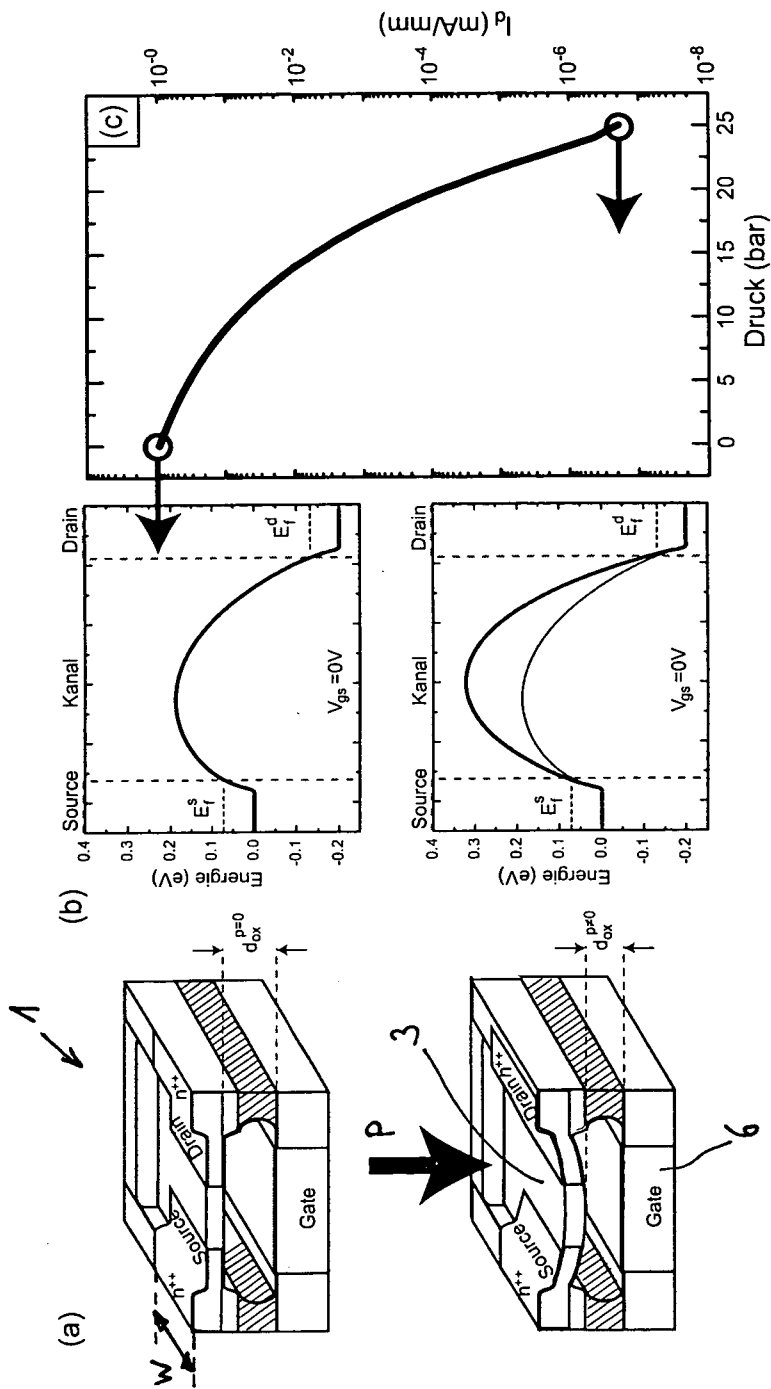


Fig. 3

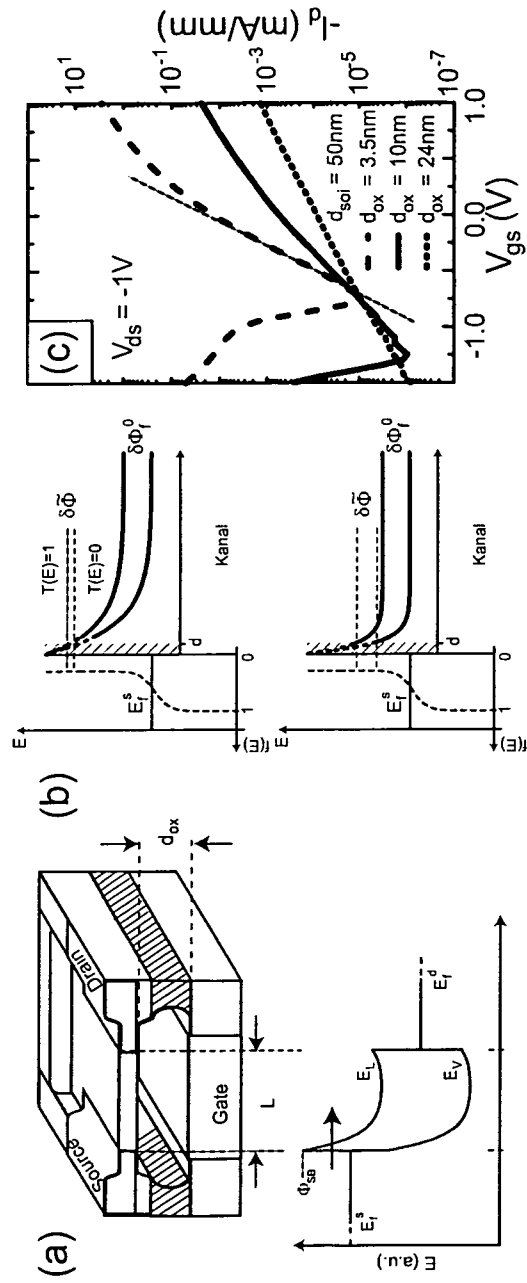


Fig. 4

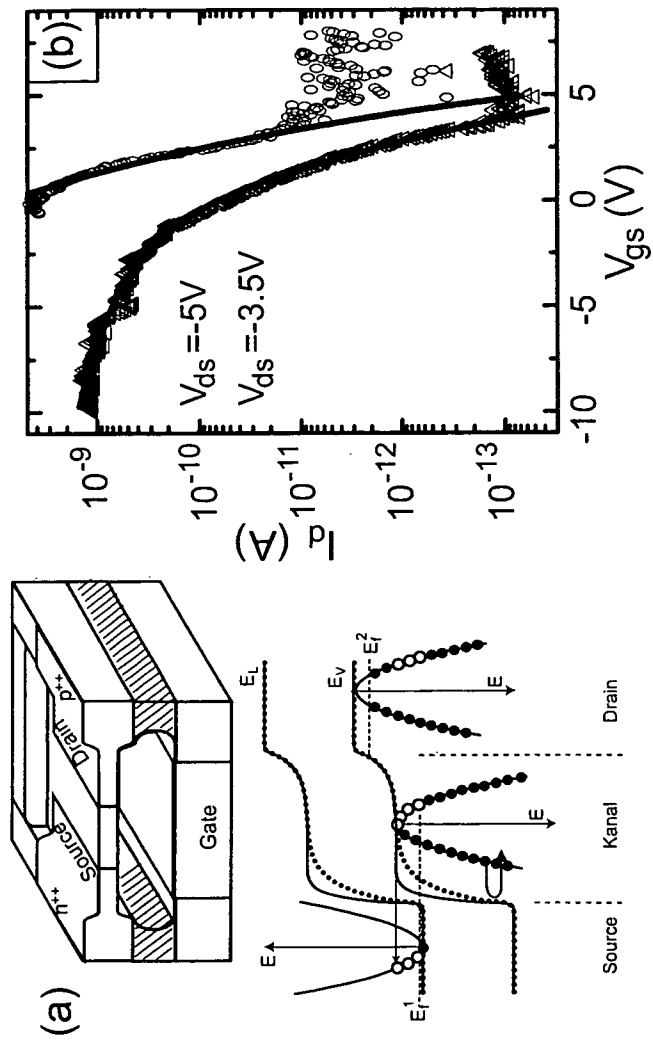


Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2011/000096

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01L9/00 H01L21/336 B81C1/00
ADD.
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01L H01L B81C
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	FERNANDEZ-BOLANOS M ET AL: "Polyimide sacrificial layer for SOI SG-MOSFET pressure sensor", MICROELECTRONIC ENGINEERING APRIL/SEPTEMBER 2006 ELSEVIER NL, vol. 83, no. 4-9 SPEC. ISS., April 2006 (2006-04), pages 1185-1188, XP002660486, DOI: DOI:10.1016/J.MEE.2005.12.021	1-9,20
A	the whole document	10-19
A	US 7 235 456 B2 (SATO TSUTOMU [JP] ET AL) 26 June 2007 (2007-06-26) columns 5, 27; figures 1A-1E, 41B	1-20
A	DE 40 31 369 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 9 April 1992 (1992-04-09) column 4; figure 4	1-20
	----- -/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 4 October 2011	Date of mailing of the international search report 19/10/2011
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Debesset, Sébastien

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2011/000096

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2009/128084 A1 (INDIAN INST SCIENT [IN]; BHAT NAVAKANTA [IN]; PRATAP RUDRA [IN]; KAUR) 22 October 2009 (2009-10-22) pages 6-9; figures 1-3 -----	1-20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2011/000096

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
US 7235456	B2	26-06-2007	CN 1323056 A	21-11-2001
			JP 4074051 B2	09-04-2008
			JP 2001144276 A	25-05-2001
			KR 20010030200 A	16-04-2001
			US 2006131651 A1	22-06-2006
			US 7019364 B1	28-03-2006

DE 4031369	A1	09-04-1992	WO 9206362 A1	16-04-1992

WO 2009128084	A1	22-10-2009	US 2011023632 A1	03-02-2011

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G01L9/00 H01L21/336 B81C1/00 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G01L H01L B81C		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, INSPEC, COMPENDEX		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	FERNANDEZ-BOLANOS M ET AL: "Polyimide sacrificial layer for SOI SG-MOSFET pressure sensor", MICROELECTRONIC ENGINEERING APRIL/SEPTEMBER 2006 ELSEVIER NL, Bd. 83, Nr. 4-9 SPEC. ISS., April 2006 (2006-04), Seiten 1185-1188, XP002660486, DOI: DOI:10.1016/J.MEE.2005.12.021	1-9,20
A	das ganze Dokument	10-19
A	US 7 235 456 B2 (SATO TSUTOMU [JP] ET AL) 26. Juni 2007 (2007-06-26) Spalten 5, 27; Abbildungen 1A-1E, 41B	1-20
A	DE 40 31 369 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 9. April 1992 (1992-04-09) Spalte 4; Abbildung 4	1-20
	----- -/-	
<input checked="" type="checkbox"/>	Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen	<input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :		
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist		"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist		"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)		"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht		"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts	
4. Oktober 2011	19/10/2011	
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Debesset, Sébastien	

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 2009/128084 A1 (INDIAN INST SCIENT [IN]; BHAT NAVAKANTA [IN]; PRATAP RUDRA [IN]; KAUR) 22. Oktober 2009 (2009-10-22) Seiten 6-9; Abbildungen 1-3 -----	1-20

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2011/000096

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung	
US 7235456	B2	26-06-2007	CN 1323056 A	21-11-2001
			JP 4074051 B2	09-04-2008
			JP 2001144276 A	25-05-2001
			KR 20010030200 A	16-04-2001
			US 2006131651 A1	22-06-2006
			US 7019364 B1	28-03-2006

DE 4031369	A1	09-04-1992	WO 9206362 A1	16-04-1992

WO 2009128084	A1	22-10-2009	US 2011023632 A1	03-02-2011
