

(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  
17. Januar 2008 (17.01.2008)

PCT

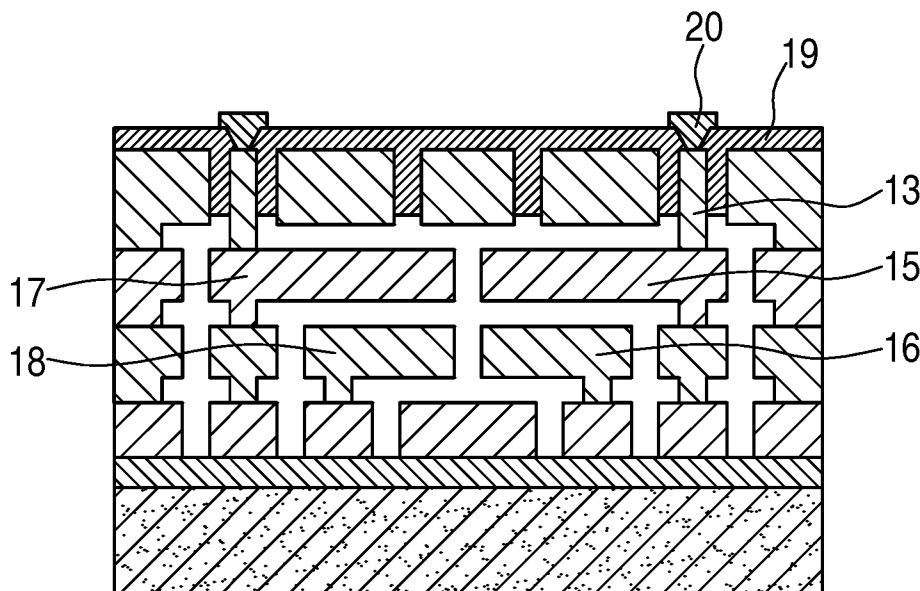
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2008/006641 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation:  
*B81C 1/00* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2007/054988
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
23. Mai 2007 (23.05.2007)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
10 2006 032 195.2 12. Juli 2006 (12.07.2006) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE]; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **SCHEURLE, Andreas** [DE/DE]; Ziegelaeckerstr. 38, 73529 Schwaebisch Gmuend (DE).
- (74) Gemeinsamer Vertreter: **ROBERT BOSCH GMBH**; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, 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, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR THE PRODUCTION OF MEMS STRUCTURES

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON MEMS-STRUKTUREN



(57) Abstract: The invention relates to a method for the production of MEMS structures with at least one functional layer of silicon that contains structures that are released by the removal of a sacrificial layer, with at least one sacrificial layer and at least one functional layer, precipitated in such a way that they grow monocrystalline, and with the sacrificial layer consisting of a mixed silicon-germanium layer.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von MEMS-Strukturen mit mindestens einer Funktionsschicht aus Silizium, die Strukturen enthält, die durch Entfernen einer Opferschicht freigestellt werden, wobei mindestens eine Opferschicht und mindestens eine Funktionsschicht so abgeschieden werden, dass sie einkristallin aufwachsen, und die Opferschicht aus einer Silizium-Germanium-Mischschicht besteht.

WO 2008/006641 A1



EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

**Veröffentlicht:**

— *mit internationalem Recherchenbericht*

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

5 VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON MEMS-STRUKTUREN

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von  
MEMS-Strukturen (Micro Electro Mechanical Systems) auf Sili-  
ziumbasis, vorzugsweise von mehrlagig abscheidbaren MEMS-  
10 Strukturen.

Stand der Technik

Insbesondere für eine Verwendung in Beschleunigungssensoren  
15 oder Drehratensensoren, die auf kapazitiven Messverfahren be-  
ruhen (kapazitive MEMS), umfassen derartige Strukturen im  
Wesentlichen eine leitfähige Funktionsschicht, die festste-  
hende und bewegliche Bereiche enthält. Bewegliche Bereiche  
werden während der Herstellung üblicherweise durch eine so ge-  
20 nannte Opferschicht fixiert, die am Ende des Fertigungspro-  
zesses durch aus der Mikromechanik- bzw. Halbleitertechnolo-  
gie bekannte Verfahrensschritte selektiv entfernt wird.

Es ist bekannt, Opferschichten aus Siliziumoxid in Verbindung  
25 mit epitaktisch gewachsenen Funktionsschichten aus polykri-  
stallinem Silizium einzusetzen. Diese Technologie schließt  
eine nachträglich Einstellung verschiedener Schichtparameter  
der Funktionsschicht, insbesondere der Leitfähigkeit, durch  
Eintreiben eines drei- oder fünfwertigen Dotierstoffes ein.  
30 Aus der polykristallinen Struktur folgt außerdem die Notwen-  
digkeit, durch zusätzliche Temperschritte herstellungsbeding-  
te Stressgradienten in den beweglichen Bereichen der Funkti-  
onsschicht zu kompensieren, um Deformationen dieser bewegli-  
chen Bereiche ohne das Auftreten bestimmungsgemäßer Belastun-  
35 gen zu vermeiden. Das Verfahren erlaubt nur relativ niedrige  
Ätzraten und Unterätzweiten.

Es ist weiterhin bekannt, die Opferschicht aus Siliziumoxid durch eine Opferschicht aus Silizium-Germanium zu ersetzen. Diese lässt sich beispielsweise durch  $\text{ClF}_3$ -Gasphasenätzen selektiv entfernen. Die erreichbaren Ätzraten und Unterätzweiten sind gegenüber dem Verfahren mit Opferschichten aus Siliziumoxid deutlich größer. Problematisch ist jedoch das Diffusionsverhalten von Germanium, welches in Prozessschritten mit länger anhaltenden thermischen Belastungen, beispielsweise während des Eintreibens erforderlicher Dotierstoffe, dazu führt, dass Germanium aus der Opferschicht in die Funktions-  
5 schicht diffundiert. Durch daraus folgende Schichtverschmelzungen können sich ursprünglich ausgebildete Strukturen verändern und in ihrer Funktionsfähigkeit beeinträchtigt werden.

15 Es ist bekannt, dieses Problem in Strukturen aus polykristallinen Schichten dadurch zu mindern, dass die Opferschicht mit einer Diffusionsbarriere gegenüber Germanium umgeben wird. Das bedeutet jedoch einen zusätzlichen Verfahrensschritt, der strukturabhängig, insbesondere wenn Kontaktlöcher zu „vergrabenen Leiterbahnen“ erforderlich sind, einen teilweise erheblichen Mehraufwand mit sich bringt und mit entsprechenden Mehrkosten verbunden ist.  
20

Ein weiterer Nachteil der genannten Verfahren besteht in der generell recht sensiblen Kompensation von Stressgradienten durch das Eintreiben der Dotierstoffe. Der Erfolg dieser Kompensation hängt empfindlich von der Vermeidung späterer thermischer Überlastungen der dotierten Schichten ab, weshalb bei einer gewünschten Integration mehrerer Sensorelemente in einen Chip die Sensorelemente lateral versetzt werden müssen, um sie während der Herstellung thermisch zu entkoppeln. Dadurch erhöhen sich Platzbedarf und Kosten der MEMS-Struktur und des fertigen Bauelementes.  
25  
30

35 Offenbarung der Erfindung

Technische Aufgabe

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zu schaffen, das die Herstellung von komplexen MEMS-Strukturen mit hoher Effektivität auf engem Raum ermöglicht und die Nachteile des Standes der Technik vermeidet.

#### Technische Lösung

Gelöst wird diese Aufgabe durch ein Verfahren mit den Merkmalen von Anspruch 1. Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens werden in den Ansprüchen 2 bis 10 angegeben.

Das erfindungsgemäße Verfahren beruht auf der Abscheidung weitgehend einkristalliner Funktions- und Opferschichten. Offensichtlich erfolgt durch den damit verbundenen Wegfall der Korngrenzen eine wirksame Behinderung insbesondere der Diffusion von Germanium. Dadurch wird der Einsatz von Opferschichten aus Silizium-Germanium möglich, ohne dass eine zusätzliche Barriere gegenüber Germanium aufgebracht werden muss, um dessen Diffusion zu begrenzen. Die Anwendung des Verfahrens erfolgt zur Herstellung von MEMS-Strukturen mit mindestens einer Funktionsschicht aus Silizium, die Strukturen enthält, die durch Entfernen einer Opferschicht freigestellt werden. Erfindungsgemäß werden mindestens eine Opferschicht und mindestens eine Funktionsschicht so abgeschieden, dass sie einkristallin aufwachsen, wobei die Opferschicht aus einer Silizium-Germanium-Mischschicht besteht.

#### 30 Vorteilhafte Wirkungen

Vorteilhafterweise werden mehrere Funktionsschichten und Opferschichten übereinander abgeschieden, wobei alle Funktionsschichten und alle Opferschichten so abgeschieden werden, dass sie einkristallin aufwachsen, und die Opferschichten jeweils aus einer Silizium-Germanium-Mischschicht bestehen. Die Mehrfachabscheidung ist möglich, da durch die relativ hohen

Aufwachsgeschwindigkeiten die Erwärmung der Gesamtanordnung nur einen relativ kurzen Zeitraum beansprucht, in dem eine Diffusion von Germanium, die zudem durch fehlende Korngrenzen behindert wird, vernachlässigt werden kann. Vorteilhafterweise erfolgt das Entfernen des Opfermaterials durch  $\text{ClF}_3$ -Gasphasenätzen. Somit lassen sich die Vorteile großer Unterätzweiten und hoher Ätzgeschwindigkeiten nutzen, ohne den zusätzlichen Aufwand für das Aufbringen einer zusätzlichen Isolationsschicht zur Verhinderung der Diffusion von Germanium treiben zu müssen.

Vorteilhafterweise werden dementsprechend Prozessparameter zumindest zeitweise so eingestellt, dass das epitaktische Wachstum mit einer Aufwachsgeschwindigkeit von mindestens 3  $\mu\text{m}/\text{min}$  erfolgt.

Wird eine Einstellung des Leitwertes der Siliziumschichten erforderlich, ist es vorteilhaft, diesen durch eine In-Situ-Dotierung einzustellen. Stressgradienten können so vermieden werden.

Der Wechsel zwischen Siliziumschichten und Silizium-Germanium-Mischschichten erleichtert durch Überwachung der Plasmaemission und/oder massenspektroskopisch nachweisbarer Species die Vermeidung falscher Äztiefen und damit das Auftreten von Fehlstrukturierungen.

Zur Erzielung der vorteilhaften Wirkungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sollten mindestens folgende Schritte umfasst sein:

- Bereitstellung eines SOI-Wafers (Silicon on Insulator) mit einer einkristallinen Startschicht aus Silizium,
- Strukturierung der einkristallinen Startschicht aus Silizium,

- epitaktisches Abscheiden eines Opfermaterials in Form von einkristallinem Silizium-Germanium,
- Strukturierung der einkristallinen Opferschicht,
- epitaktisches Abscheiden einer Funktionsschicht aus einkristallinem Silizium,
- Strukturieren der Funktionsschicht aus einkristallinem Silizium,
- erneutes epitaktisches Abscheiden des Opfermaterials in Form von einkristallinem Silizium-Germanium,
- Strukturierung der zuletzt abgeschiedenen einkristallinen Opferschicht,
- epitaktisches Abscheiden einer Kappenschicht aus einkristallinem Silizium,
- Durchstrukturierung der Kappenschicht bis auf die zuletzt abgeschiedene Opferschicht,
- Entfernen des Opfermaterials,
- Verschließen der Öffnungen in der Kappenschicht.

Je nach Bedarf und Komplexität der angestrebten Funktionsstruktur können die Schritte der Abscheidung und Strukturierung einer Opferschicht und der Abscheidung und Strukturierung einer Funktionsschicht mehrmals wiederholt werden, bevor ein Abschluss mit einer Kappenschicht erfolgt.

Die Justage einzelner Schichten zueinander kann mit Vorteil durch am Waferrand eingebrachte Marken erfolgen. Wird direkt beim ersten Ätzen eine Oxidfläche freigelegt, die so groß ist, dass sie während der folgenden Epitaxieprozesse nicht wächst, können dort Marken platziert werden, die während der gesamten Herstellung der MEMS-Struktur zugänglich sind. Vorteilhaft ist es, sich dazu der selektiven Epitaxie zu bedienen. Dazu werden die Prozessparameter so eingestellt, dass auf Siliziumoxid keine Abscheidung erfolgt.

### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

An einem Ausführungsbeispiel wird das erfindungsgemäße Ver-  
fahren näher erläutert. Die zugehörigen schematischen Dar-  
stellungen zeigen auszugsweise:

- Fig. 1 einen unstrukturierten SOI-Wafer;  
Fig. 2 einen SOI-Wafer mit strukturierter Startschicht;  
10 Fig. 3 einen SOI-Wafer mit einer zusätzlichen ersten strukturierten Opferschicht;  
Fig. 4 einen SOI-Wafer mit einer ersten strukturierten Funktionsschicht;  
Fig. 5 einen SOI-Wafer mit einer zweiten strukturierten Funk-  
15 tionsschicht;  
Fig. 6 einen SOI-Wafer mit einer geschlossenen Kappenschicht;  
Fig. 7 einen SOI-Wafer mit vollständig freigelegter Funktionsstruktur; und  
Fig. 8 einen SOI-Wafer mit versiegelter und kontaktierter  
20 MEMS-Struktur.

### Ausführungsform der Erfindung

Figur 1 zeigt einen unstrukturierten SOI-Wafer als Ausgangs-  
25 material für die Herstellung von mehrlagig abscheidbaren MEMS-Strukturen. Ein derartiger Wafer besteht aus einer dicken Siliziumschicht 1, die gleichzeitig als mechanischer Träger dient, auf der als Isolationsschicht 2 eine Siliziumoxidschicht abgeschieden ist. Auf der Isolationsschicht 2 be-  
30 findet sich eine einkristalline Startschicht 3 aus Silizium. Auf derartigen SOI-Wafern ist es möglich, durch entsprechende Strukturierung einzelne elektrisch voneinander isolierte Bereiche zu erzeugen, die als Startschicht für späteres epitaktisches Aufwachsen weiterer Schichten dienen können.

35

Fig. 2 zeigt einen SOI-Wafer mit strukturierter Startschicht 3. Die Strukturierung erfolgt durch einen Ätzschritt. Vorlie-

gend sind mehrere Bereiche der Startschicht 3 elektrisch voneinander isoliert, da die geätzten Gräben 4 bis zur Isolations-  
schicht 2 reichen. Die einzelnen auf diese Weise freigelegten Bereiche der Startschicht 3 bilden die Sockel der späteren MEMS-Strukturen.

Es können auch leitende Verbindungen zwischen einzelnen Strukturen definiert werden. Oftmals muss die Siliziumschicht dazu einen bestimmten Leitwert aufweisen. Der Leitwert kann durch Dotierung des Siliziums eingestellt werden. Um Schicht-  
stress und Leitwertschwankungen innerhalb der Strukturen zu vermeiden, wird der Leitwert der Startschicht 3 durch eine In-Situ-Dotierung während der Abscheidung weiterer Schichten beibehalten. Eine nachträgliche Dotierung und thermische Überlastung einzelner Strukturbereiche kann dadurch vermieden werden.

Ist die Startschicht 3 aus einkristallinem Silizium strukturiert, wird Opfermaterial in Form von einkristallinem Silizium-Germanium abgeschieden. Dabei dient die Fläche der nach der Strukturierung der Startschicht 3 verbliebenen Siliziumbereiche für das Aufwachsen einer zunächst geschlossenen Opferschicht 5 als Startschicht, um ein epitaktisches Wachstum zu ermöglichen. Die genaue Einstellung der Dicke der Opferschicht 5, welche für die Erstreckung später auszubildender Hohlräume in der fertigen Funktionsstruktur entscheidend ist, erfolgt beispielsweise durch einen CMP-Schritt (chemisch-mechanisches Polieren), als dessen Ergebnis eine polierte Oberfläche zur Verfügung steht, die wiederum als Startstruktur für weiteres epitaktisches Wachstum dienen kann. In Figur 3 ist außerdem sichtbar, dass die Ätzgräben 4 aus der vorangegangenen Strukturierung mit dem Opfermaterial gefüllt werden. Die polierte Opferschicht 5 wird anschließend durch einen Ätzschritt strukturiert, um Kontaktlöcher 6 zu einzelnen Bereichen der Startschicht 3, die als Sockel oder Leiterbahn dienen können, herzustellen. Um ein zu tiefes Ätzen zu vermeiden, kann während dieses Prozessschrittes die Plasmaemission überwacht werden. Verschwinden Emissionslinien, die eine

Präsenz von Germanium indizieren, ist eine Durchstrukturierung der Opferschicht 5 ablesbar und der Ätzvorgang wird abgebrochen.

5 Figur 4 zeigt einen SOI-Wafer mit einer ersten strukturierten Funktionsschicht 7 aus einkristallinem Silizium. Diese wird zunächst epitaktisch auf der Opferschicht 5 abgeschieden und anschließend in einem Trenchprozess strukturiert. Da keine Schicht vorhanden ist, die einen Ätzstopp verursacht und ein  
10 zu weites Überätzen unter Umständen ungewollte Verbindungen zwischen leitfähigen Bereichen herstellen könnte, sollte in diesem Prozessschritt in jedem Fall die Äzttiefe überwacht werden. Das kann beispielsweise durch ein Massenspektrometer erfolgen, dem die Abgase des Trenchers zugeleitet werden.  
15 Wird Germanium detektiert, erfolgt ein Abbruch des Ätzvorganges. Im Ergebnis dieses Schrittes besteht eine strukturierte Funktionsschicht 7, deren Bereiche sich teilweise auf der Opferschicht abstützen und teilweise mit Bereichen der Startschicht 3 in elektrisch leitender Verbindung stehen.

20 Die in den Figuren 3 und 4 ablesbaren Schritte der Abscheidung und Strukturierung einer Opferschicht und der Abscheidung und Strukturierung einer Funktionsschicht können mehrmals wiederholt werden, um mehrere Strukturen übereinander zu platzieren, bis eine angestrebte Funktionsstruktur ausgebildet ist. So können beispielsweise Beschleunigungssensoren auf  
25 einem Chip übereinander aufgebaut werden, deren Detektionsrichtungen um  $90^\circ$  versetzt liegen, was ohne Vergrößerung der Chipfläche zu zweiachsigen Beschleunigungssensoren führt. Des Weiteren sind kaskadierte Strukturen realisierbar. So können  
30 Drehratensensoren hergestellt werden, deren Detektionsstrukturen (Beschleunigungssensoren) auf oder unter einem Schwingger (Oszillator) angeordnet werden.

35 Figur 5 zeigt einen SOI-Wafer mit einer zweiten strukturierten Funktionsschicht 8 aus einkristallinem Silizium und einer zweiten Opferschicht 9 aus einkristallinem Silizium-

Germanium. Wichtig ist dabei, dass die Strukturierung so erfolgt, dass die durch das Opfermaterial erfüllten Zonen jeweils zusammenhängende und durch die letzte Siliziumschicht hindurch erreichbare Bereiche bilden.

5

Figur 6 zeigt einen SOI-Wafer mit einer geschlossenen Kappenschicht 10. Zwischen der Kappenschicht 10 und der obersten Funktionsschicht 8 befindet sich eine letzte Opferschicht 11 aus einkristallinem Silizium-Germanium, die an Stellen, an denen später eine Kontaktierung zu erfolgen hat, durchbrochen ist. Das Aufbringen der letzten Opferschicht 11, deren Strukturierung und das Aufbringen der Kappenschicht 10 erfolgen, nachdem die Funktionsstruktur vollständig ausgebildet ist.

15 Anschließend werden gemäß Figur 7 Zugänge 12 in der Kappenschicht 10 strukturiert, über die das gesamte Opfermaterial in einem Schritt durch  $\text{ClF}_3$ -Gasphasenätzen herausgelöst werden kann. Dadurch wird die mechanische Funktionsfähigkeit der Funktionsstrukturen hergestellt.

20

Zu beachten ist dabei, dass auch Strukturen 13, die einer späteren Kontaktierung der MEMS-Strukturen dienen sollen, vom Rest der Kappenschicht 10 getrennt werden müssen, was durch Ätzen eines ringförmigen Zugangs 14 erfolgen kann. Wenn sich in diesem Fall Instabilitäten einzelner Strukturen ergeben würden, könnte die Öffnung der ringförmigen Zugänge 14 auch vor der Öffnung der restlichen Zugänge 12 in der Kappenschicht vorgenommen werden. In diesem Fall müsste ein Verschließen der ringförmigen Zugänge 14 mit einem isolierenden Material, das gleichzeitig der Abstützung der zu stabilisierenden Struktur dienen würde, erfolgen, bevor das Herauslösen des Opfermaterials durch  $\text{ClF}_3$ -Gasphasenätzen veranlasst wird. Bei ausreichend stabilen Strukturen kann auf diese Form der mehrfachen Strukturierung der Kappenschicht 10 verzichtet werden, wodurch alle erforderlichen Zugänge 12, 14 in einem Prozessschritt durch Ätzen geöffnet werden können.

35

Nach der Entfernung des Opfermaterials wird die Kappenschicht 10 wieder hermetisch verschlossen. Figur 8 zeigt einen Ausschnitt aus einem SOI-Wafer mit versiegelter und kontaktierter MEMS-Struktur. Er weist beispielhaft vier mechanisch auslenkbare Strukturen 15, 16, 17, 18 auf, von denen jeweils zwei übereinander angeordnet sind. Die für das Herauslösen des Opfermaterials erforderlichen Zugänge in der Kappenschicht 10 wurden vorliegend durch plasmagestütztes nicht konformes Abscheiden eines Oxides 19 bei niedriger Temperatur, beispielsweise auf der Basis von Silan oder TEOS, hermetisch verschlossen. Durch die plasmagestützte Oxidabscheidung lässt sich durch entsprechende Einstellung der Plasmaparameter in Abstimmung mit den geometrischen Randbedingungen der Zugänge in der Kappenschicht 10 sichern, dass kein zu tiefes Eindringen des Plasmas in die strukturbedingten Hohlräume der Anordnung erfolgt. Dadurch wird verhindert, dass in tiefergelegenen Bereichen eine Oxidabscheidung erfolgen und mechanische Eigenschaften des Systems verändern kann.

Vor dem Vereinzeln des Bauelementes mit der erfindungsgemäß hergestellten MEMS-Struktur erfolgt vorzugsweise unter Zuhilfenahme der Sputtertechnologie die Prozessierung von Bondpads 20 auf Strukturen 13, die der Kontaktierung dienen.

## Ansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von MEMS-Strukturen mit mindestens einer Funktionsschicht aus Silizium, die Strukturen  
5 enthält, die durch Entfernen einer Opferschicht freigestellt werden, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Opferschicht und mindestens eine Funktionsschicht so abgeschieden werden, dass sie einkristallin aufwachsen, und die Opferschicht aus einer Silizium-Germanium-  
10 Mischschicht besteht.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Funktionsschichten und Opferschichten übereinander abgeschieden werden, wobei alle Funktionsschichten und alle Opferschichten so abgeschieden werden, dass sie einkristallin aufwachsen, und die Opferschichten jeweils aus einer Silizium-Germanium-Mischschicht bestehen.  
15
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch mindestens folgende Schritte:
  - Bereitstellung eines SOI-Wafers mit einer einkristallinen Startschicht aus Silizium,  
20
  - Strukturierung der einkristallinen Startschicht aus Silizium,
  - epitaktisches Abscheiden eines Opfermaterials in Form von einkristallinem Silizium-Germanium,
  - 25 - Strukturierung der einkristallinen Opferschicht,
  - epitaktisches Abscheiden einer Funktionsschicht aus einkristallinem Silizium,
  - Strukturieren der Funktionsschicht aus einkristallinem Silizium,
  - 30 - erneutes epitaktisches Abscheiden des Opfermaterials in Form von einkristallinem Silizium-Germanium,
  - Strukturierung der zuletzt abgeschiedenen einkristallinen Opferschicht,

- epitaktisches Abscheiden einer Kappenschicht aus einkristallinem Silizium,
  - Durchstrukturierung der Kappenschicht bis auf die zuletzt abgeschiedene Opferschicht,
  - 5 - Entfernen des Opfermaterials,
  - Verschließen der Öffnungen in der Kappenschicht.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass während des Abscheidens der Funktionsschichten eine In-Situ-Dotierung vorgenommen wird.
- 10 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Prozessparameter zumindest zeitweise so eingestellt werden, dass das epitaktische Wachstum mit einer Aufwachsgeschwindigkeit von mindestens 3  $\mu\text{m}/\text{min}$  erfolgt.
- 15 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Prozessparameter so eingestellt werden, dass auf Siliziumoxid keine Abscheidung erfolgt.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Entfernen des Opfermaterials durch
- 20  $\text{ClF}_3$ -Gasphasenätzen erfolgt.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass vor dem vollständigen Entfernen des Opfermaterials elektrische Durchführungen durch die Kappenschicht freigestellt und mit einem isolierenden Material
- 25 umgeben werden.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Verschließen von Öffnungen in der Kappenschicht durch eine nicht konforme Abscheidung eines Oxids erfolgt.
- 30 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass während der Strukturierung eine Überwachung der Plasmaemission und/oder massenspektroskopisch nach-

weisbarer Species erfolgt, um eine falsche Ätztiefe zu vermeiden.

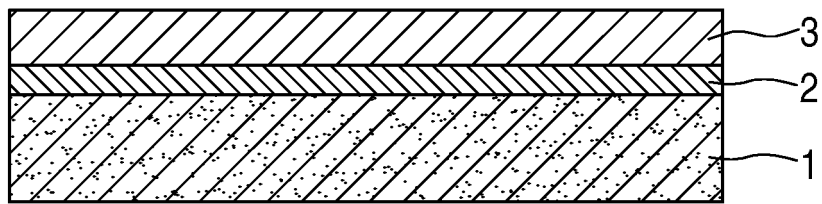


Fig. 1

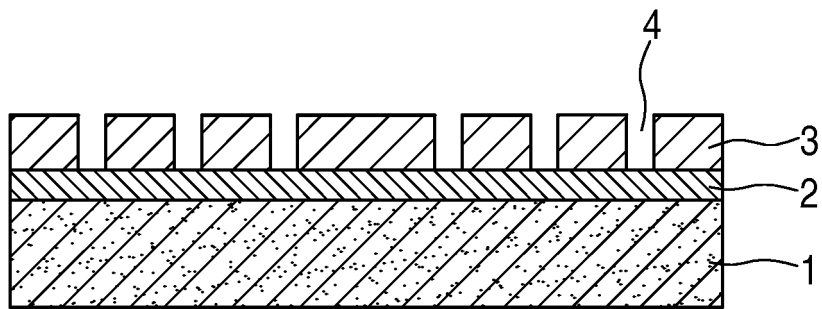


Fig. 2

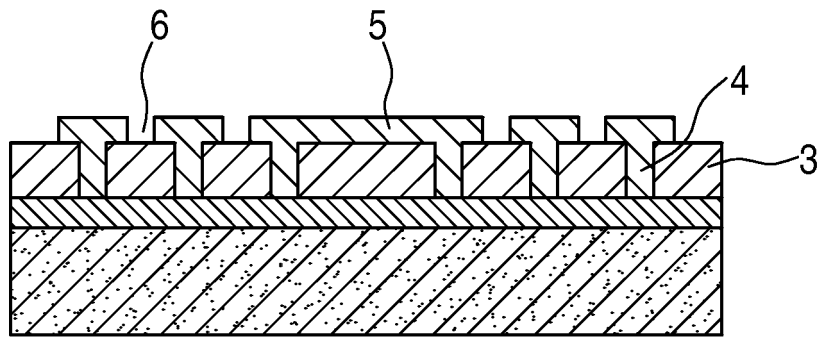


Fig. 3

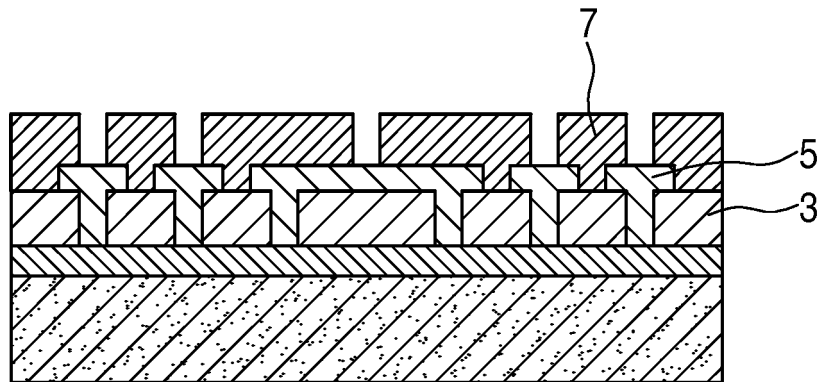


Fig. 4

3 / 4

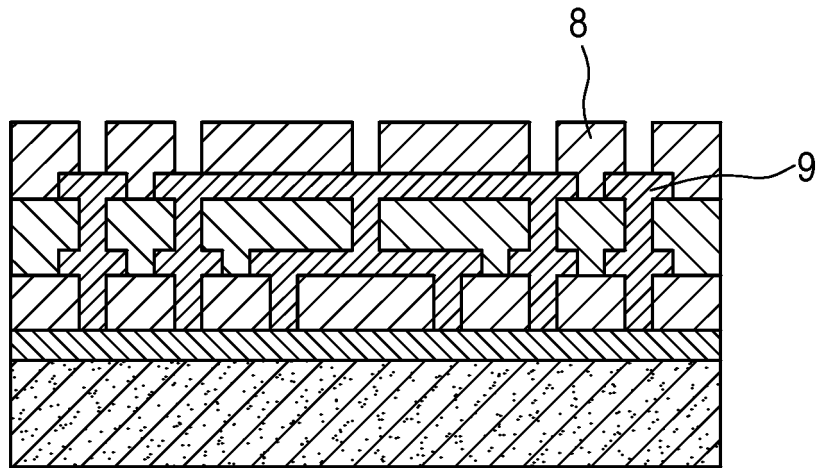


Fig. 5

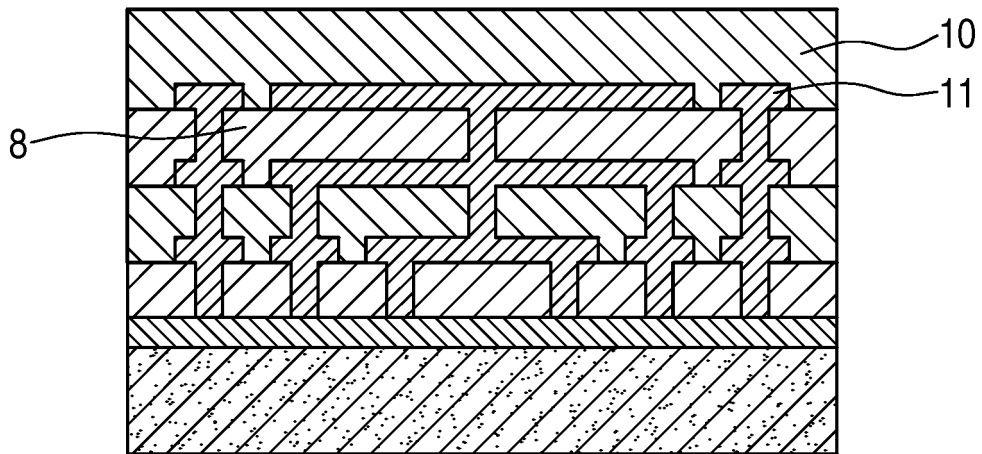


Fig. 6

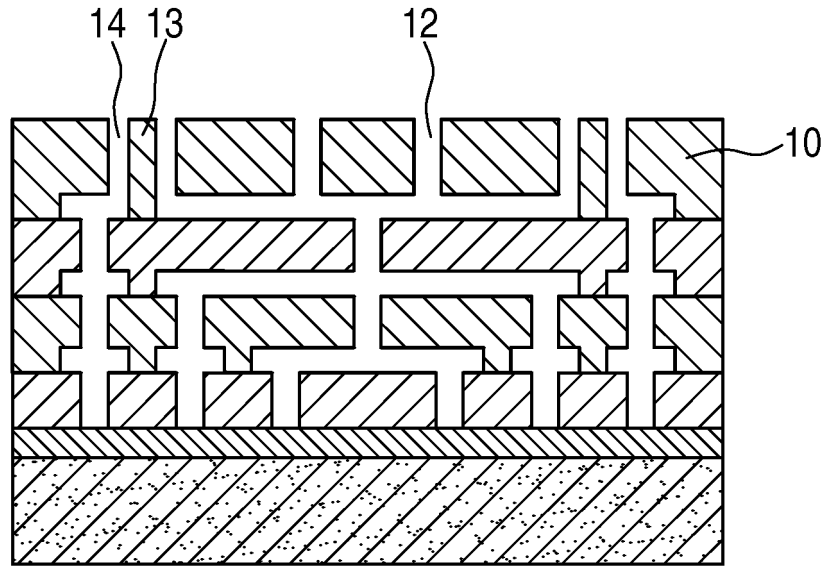


Fig. 7

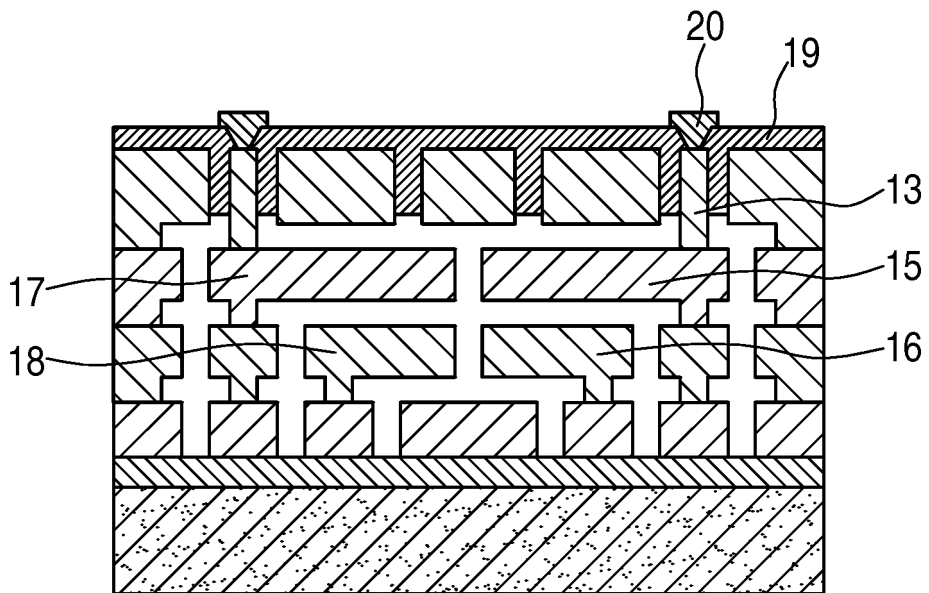


Fig. 8

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2007/054988

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. B81C1/00

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)

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

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2004/009623 A1 (VOSSENBERG HEINZ-GEORG [DE] ET AL) 15 January 2004 (2004-01-15) figures 1-15 paragraphs [0035], [0036], [0038]	1-10
X	US 2005/199970 A1 (MONFRAY STEPHANE [FR] ET AL) 15 September 2005 (2005-09-15) figures 1-6	1-10
A	WO 01/77008 A (BOSCH GMBH ROBERT [DE]; OFFENBERG MICHAEL [DE]; LUTZ MARKUS [DE]) 18 October 2001 (2001-10-18) figure 3	2,8,9
A	EP 1 435 336 A (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 7 July 2004 (2004-07-07) figures 2a,2b	2,6

 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.
- \*Z\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

11 September 2007

Date of mailing of the international search report

18/09/2007

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

McGinley, Colm

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2007/054988
---

Patent document cited in search report	A1	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2004009623	A1	15-01-2004	NONE	
US 2005199970	A1	15-09-2005	FR 2857952 A1	28-01-2005
WO 0177008	A	18-10-2001	DE 10017976 A1 EP 1274647 A1 JP 2003530233 T US 2003049878 A1	18-10-2001 15-01-2003 14-10-2003 13-03-2003
EP 1435336	A	07-07-2004	JP 2004209640 A US 2004124483 A1 US 2005014374 A1	29-07-2004 01-07-2004 20-01-2005

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2007/054988

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
INV. B81C1/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
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-Interna1

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2004/009623 A1 (VOSSENBERG HEINZ-GEORG [DE] ET AL) 15. Januar 2004 (2004-01-15) Abbildungen 1-15 Absätze [0035], [0036], [0038]	1-10
X	US 2005/199970 A1 (MONFRAY STEPHANE [FR] ET AL) 15. September 2005 (2005-09-15) Abbildungen 1-6	1-10
A	WO 01/77008 A (BOSCH GMBH ROBERT [DE]; OFFENBERG MICHAEL [DE]; LUTZ MARKUS [DE]) 18. Oktober 2001 (2001-10-18) Abbildung 3	2,8,9
A	EP 1 435 336 A (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 7. Juli 2004 (2004-07-07) Abbildungen 2a,2b	2,6

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen  Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*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)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden 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

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*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

\*&\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

11. September 2007

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

18/09/2007

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

McGinley, Colm

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2007/054988

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2004009623 A1	15-01-2004	KEINE	
US 2005199970 A1	15-09-2005	FR 2857952 A1	28-01-2005
WO 0177008 A	18-10-2001	DE 10017976 A1	18-10-2001
		EP 1274647 A1	15-01-2003
		JP 2003530233 T	14-10-2003
		US 2003049878 A1	13-03-2003
EP 1435336 A	07-07-2004	JP 2004209640 A	29-07-2004
		US 2004124483 A1	01-07-2004
		US 2005014374 A1	20-01-2005